

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개() 발간등록번호()
국토교통기술사업화지원 사업 제 2차연도 최종 보고서

R&D / 18TBIP-C125155

수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템 개발 최종보고서

2019 . 01 . 25 .

주관연구기관 / (주)대도엔텍
공동연구기관 / (주)금성이앤씨

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템 개발’(연구개발 기간 : 2017. 04. ~ 2018. 12.) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2019 . 01 . 25 .

주관연구기관명 : (주)대도엔텍

(대표자) 장 정 수



공동연구기관명 : (주)금성이앤씨

(대표자) 구 본 철



주관연구기관책임자: 장 정 수

공동연구기관책임자: 하 성 복

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18TBIP-C125155	해당 단계 연구 기간	2018.01.01. ~ 2018.12.31.	단계구분	(2차년도)/ (2차년도)
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화지원사업			
	세부사업명	중소기업 보유기술 사업화 분야			
연구과제명	대과제명	수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템 개발			
	세부과제명				
연구책임자	장 정 수	해당단계 참여 연구원 수	총: 32명 내부: 32명 외부: -명	해당단계 연구개발비	정부: 569,000 천원 기업: 400,000 천원 정부 외: 0 천원 계: 969,000 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 32명 내부: 32명 외부: -명	총 연구개발비	정부:1,151,000 천원 기업: 800,000 천원 정부 외: 0 천원 계: 1,951,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)대도엔텍			참여기업명 (주)대도엔텍 (주)금성이앤씨	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 동부엔지니어링(주) (주)에이콘테크			연구책임자: 김지호 박정민	
요약				보고서 면수	
- 국토교통기술사업화 지원사업 연구를 진행하여 시제품 제작, 수치모의, 모니터링을 통해 제품 성능을 보완·검증하였으며, 특허 출원, 설계 표준화를 수행하여 표준화된 설계·제작 능력을 보유하였음 - 직립형 고무보는 높이 1.0m, 폭 3.0m, 높이 1.5m, 폭 3.2m와 높이 3.0m, 폭 10.0m의 3가지 시제품을 제작하여 테스트베드에서의 성능시험 및 수치모의를 수행하여 제품표준화를 달성하였음 - 스마트수문을 활용한 소규모에너지 개발은 1.5m × 1.5m 의 수문 상부에 권양장치를 설치해 별도의 토목구조물이 필요없도록 하였고, 수문 하부 중앙에 환형의 영구자석발전기와 수차를 배치하여 소규모 에너지 생산이 가능토록 하였음 - 부유물질 저감 전처리 취수시설의 시제품을 제작하고 수질시험을 수행하여 전처리 취수시설의 탁도와 부유물질이 저감되는 것을 확인하였고, 설계 및 제품 생산 표준화를 수행하였음 - 수자원 활용 시스템의 효율적 운용을 위한 IoT 통합 유지관리 시스템을 개발하여 모바일을 통한 시설 운영, 제어가 가능토록 하였음 - 수재해 대응 수자원 활용 기술의 전과정 환경영향평가 및 경제성 분석을 수행하여 기존기술 대비 우수성을 검증하였음				105	

연구의 목적 및 내용	수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템은 기후변화에 대응하여 물 스트레스를 해소할 수 있으며, 안정적인 물 공급과 친환경에너지 생산이 가능함 또한 각종 용수확보가 가능한 직립형 고무보와 부유물질 저감 전처리 취수시설, 스마트 수문을 활용한 에너지의 개발로 통합유지관리시스템을 개발하여, 친환경적인 기술과 시스템으로 선진화된 기술로써 거듭날 수 있음 국내뿐만 아니라 해외 수자원 분야와 ODA 사업에 진출 가능하며, 녹색신기술로서의 인증을 통해 기후변화에 적극 대응 가능하도록 함 수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템을 개발하는 것이 연구내용임 이를 위해 - 직립형 고무보 개발 및 실용화 - 수문 매입식 PMG 일체형 수차 및 부유물질 저감 전처리 취수시설 개발 및 실용화 - 수치모의 및 통합 유지관리 시스템 프로토타입 개발 - 수재해 대응을 위한 수자원 활용 시스템의 환경성 및 경제성 분석 - 시제품 제작 및 모니터링을 통한 제품 생산 표준화 및 설계 표준화				
연구개발성과	기술적으로는 시제품 개발과 모니터링을 통해 제품의 성능을 인증받아 기술을 상용화시키며 사회·경제적으로는 국내시장의 조기진입을 유도하고 해외 물시장 분야와 ODA사업에 진출할 수 있음				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템으로 하천과 저수지에서의 효율적 용수확보, 용수의 이용시 친환경 신재생 에너지 개발, 용수 활용시 부유물질 저감 전처리 취수시설 개발 및 IoT 기술을 접목한 통합 유지관리가 가능하게 하여 안정적인 수자원 확보 및 관리가 가능함				
핵심어 (5개 이내)	기후변화	직립형 고무보	전처리	스마트 수문	통합유지관리 시스템

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	Water disaster response technology and IoT integration system can solve water stress in response to climate change, and can provide stable water supply and environment friendly energy production. In addition, it can develop as an advanced technology with eco-friendly technology and system by developing an integrated maintenance system by developing an Perpendicular Rubber Dam capable of securing various kinds of water, a pretreatment facility for reducing suspended matter, and development of energy using smart water gate It is possible to enter overseas water resources field and ODA business as well as domestic, and to be able to respond positively to climate change through certification as new green technology. Development of water resources use technology and IoT integration system for disaster response – Development and practical use of Perpendicular Rubber Dam – Development and practical use of Integrated type of PMG water gate and floating material reduction pretreatment intake facility – Development of numerical simulation and integrated maintenance system prototype – Promotion of green certification of water use system for water disaster response – Product standardization and design standardization through prototype manufacturing and monitoring				
Results	Technically, it is possible to commercialize the technology by certifying the product's performance through prototype development and monitoring. It can induce early entry into the domestic market and advance into the overseas water market field and ODA business, both socially and economically.				
Expected Contribution	Water disaster response Water resource utilization technology and IoT integration system ensure efficient water supply in rivers and reservoirs, development of eco-friendly new renewable energy when using water, reduction of suspended substances in water use, development of pre-treatment water intake facilities, and integrated maintenance by incorporating IoT technology To secure and manage water resources.				
Keywords	Climate Change	Perpendicular Rubber Dam	Pretreatment Water	Smart gate	Integrated Management System

< Contents >

1. Overview	1
2. Development Status of Technology at Domestic and Foreign	2
3. Contents and Results of R&D	5
4. Performance and Effectiveness of Research Objectives	96
5. Future Utilization of Research Results	100
6. Science and Technology Information Surveyed from Overseas	102
7. Security Rating	102
8. Research Facility and Equipment	102
9. Performance of Safety Measures	102
10. Representative Research Results	103
11. Others	104
12. References	105

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 국내외 기술 개발 현황	2
3. 연구 수행 내용 및 성과	5
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	96
5. 연구개발성과의 활용 계획	100
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	102
7. 연구개발성과의 보안등급	102
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	102
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	102
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	103
11. 기타 사항	104
12. 참고 문헌	105

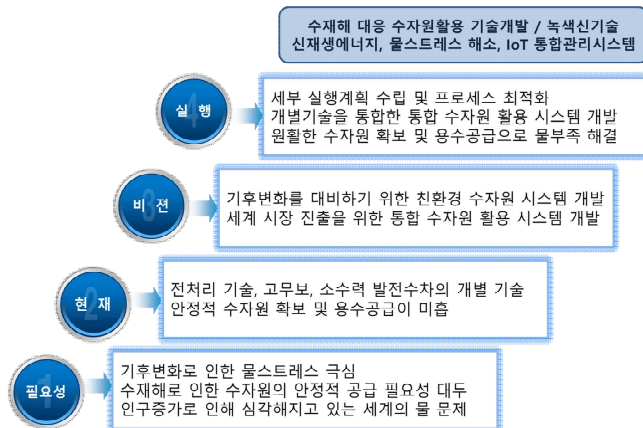
제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

최근의 급격한 세계 인구 증가 및 산업화로 인한 기후변화에 대비하여 수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템을 개발하여 국내 물관련 시장 뿐 아니라 해외 물시장 분야 및 ODA 사업에 진출할 수 있는 기술력을 확보하고자 한다.

2. 연구개발의 필요성

급격한 세계 인구 증가 및 산업화에 의한 기후변화는 남극의 오존을 감소시키고 대기 중의 이산화탄소를 증가시켜 지구온난화를 일으키고 있으며, 다양한 환경문제를 야기시키고 있다. 기후변화 대응 미래 수자원 전략 보고서에 따르면 향후 100년간 가뭄의 발생횟수는 2배, 가뭄 계속 기간은 6배 이상 증가할 것으로 전망하고 있으며, 21세기 중반에는 우리나라를 비롯하여 중위도 지역의 하천유량이 10~30% 감소 할 것으로 예측하고 있다. 안정적인 수자원의 확보는 21세기 메가트렌드이며 통합 수자원 활용 시스템에 대한 연구개발은 물수요 증가, 홍수와 가뭄 등의 물문제 및 물안보 해결을 위해서 반드시 필요한 실정이며, 수재해에 대응한 수자원의 효율적 활용 방안이 절대적으로 필요한 상황이라 할 수 있다. 본 연구에서 개발한 수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템은 기후변화로 인한 수재해에 대응하여 물 스트레스를 해소할 수 있으며, 안정적인 물 공급과 친환경에너지 생산이 가능하다. 또한 ① 각종 용수확보가 가능한 직립형 고무보, ② 부유물질 저감 전처리 취수시설, ③ 신재생에너지 생산이 가능한 스마트 수문의 조합으로 ④ 통합유지관리시스템을 개발하여, 친환경적인 기술과 시스템으로 선진화된 기술로써 거듭날 수 있다. 국내뿐만 아니라 해외 수자원 분야와 ODA 사업에 진출 가능하다.



<그림 1-3> 연구개발의 필요성

3. 연구개발 범위

수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템의 연구개발 범위는 다음과 같다.

- ① 균등한 수위 조절 및 90° 까지 조절이 가능한 직립형 고무보 개발
- ② 스마트 수문을 활용한 소규모 에너지의 개발
- ③ 부유물질 저감 전처리 취수시설의 개발
- ④ 수치모의에 의한 설계인자 도출 및 실용화
- ⑤ IoT 기반 통합 유지관리 시스템 개발
- ⑥ 직립형 고무보의 환경성 및 경제성 분석을 통한 기술의 우수성 검증

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 고무보와 S&R GATE

보유기술 관련 국내외 기술 특허는 원천 기술 특허권리 소멸 이후 국부적인 기능에 관한 특허 위주로 개발되어 있으며 실제로 사업화에 성공한 사례는 드물다. 사업화 성공 사례는 당사 보유 특허기술과 마모확인이 가능한 고무본체 제조방법 등 일부에 불과하다. 당사 보유 특허기술인 격자형 보강포구조 고무본체 제조방법과 보호커버 고정구조 기술은 고무보의 내구성과 품질에 직접적인 효과가 있는 특허이며 국내외 70여 개소 현장에 적용되어 있다. 연구진의 보유기술과 관련된 국내외 특허 기술 동향은 다음과 같다.

〈표 2-7〉 당사 보유 특허 기술

구분	등록번호	등록권리자	등록일
고무댐용 고무본체 및 이의 제조방법	10-0737839	(주)대도엔텍 동부엔지니어링(주)	2007.07.04
		고무보용 고무본체를 제조함에 있어서 고무 사이에 보강포가 고무보의 길이방향 및 폭방향으로 교차되도록 배치함으로써, 고무보가 길이방향은 물론 폭방향으로도 신장되지 않고 보강포와 고무사이에 박리현상을 방지하여 고무보의 수명을 연장할 수 있도록 한 고무보용 고무본체 및 이의 제조방법	
고무댐 보호커버 고정구조	10-0768556	(주)대도엔텍 동부엔지니어링(주)	2007.10.12
		고무보의 전면에 보호커버를 설치하여 외부충격을 차단함에 있어 고무보를 보호할 있도록 보호커버 체결에 필요한 클램핑 플레이트 사용을 하지 않고 고무본체용 클램핑 플레이트에 볼트로 체결함으로써 시공성 및 경제성을 향상시킨 보호커버 고정구조 방법	

〈표 2-8〉 유사 기술의 비교표

항 목	고무보	S&R 가동보	직립형 고무보
기립방식	공기주입식	공기주입식	공기주입식
재 질	EPDM고무+보강포	EPDM고무+보강포	EPDM고무+보강포
장 점	- 공사비 저렴 - 구조가 간단하여 유지관리 편리	- 철판으로 에어백 보호 0~58도 수위조절 가능	- 철판으로 에어백 보호 0~90도 수위조절 가능 - 직립 기동으로 설치면적 최소화 - 패널 고정장치로 역수압에 의한 파손 방지 - 환경성 및 경제성 유리
단 점	수위조절 어려움	- 역수압에 파손 우려 - 공사비 고가	공사비 다소 고가

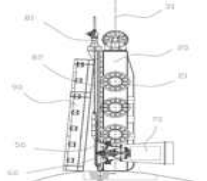
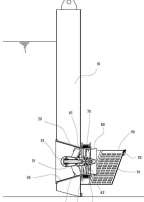
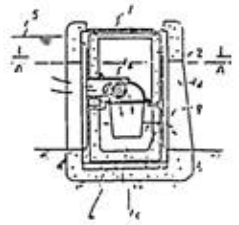
〈표 2-9〉 관련 국내외 특허(2)

선행기술명	특허권자	기술내용
고흡수성 보강포를 이용한 고무댐 및 그 제조방법	(주)화승알앤에이	- 상기 상부 및 하부 고무본체의 내부에 고무 및 폴리아크릴레이트염과 일체로 적층된 보강포를 통하여, 고무댐의 인장 강도를 가일층 증대시킬 수 있도록한 고흡수성 보강포를 이용한 고무댐 및 고흡수성 보강포 제조방법
마모확인이 가능한 고무보	유일기연 (주)	- 고무본체의 외면으로부터 일정한 위치의 내부에 카본블랙의 색상과 다른 유색을 가지고 마모 정도를 표시하여 주는 마모확인용 피복층이 고무본체의 길이방향과 폭방향을 따라 연속되게 형성
역전도방지용 공압식 가동보	(주)청수환경	- 에어백에 의해 가동패널과 지지패널을 동시 회동시키고, 회동되는 지지패널에 의해 가동패널의 전도를 방지하도록 하는 역전도방지용 공압식 가동보
공압식 가동보의 각도검출장치	(주)청수환경	- 에어백의 공압상태에 따라 기립되는 스틸패널의 각도를 실시간 검출하여 기립위치 상태를 유지시키도록 하는 각도검출장치에 관한 특허
고무댐용 가요성 고무본체 및 그 제조방법	유일기연 (주)	- 가요성 고무본체가 공기의 주입 때 외향으로 펼쳐져 구형상으로 기립되고, 공기의 배출 때에는 내향으로 완전하게 접혀져 지면에 대해 평판형으로 도복되어짐으로써 물의 방류 때 함께 방류되는 날카로운 유목 또는 유석 등으로부터의 손상 방지

2. 스마트 수문을 활용한 소규모 발전

본 연구진의 스마트 수문 및 수문에 소규모 발전장치를 부착한 관련된 국내외 특허 기술 동향은 다음과 같다. 선진국에서는 수문 부착형 또는 매입형 수차는 이미 Andritz Hydro사(오스트리아), Gugler사(오스트리아), WWS사(오스트리아), Toshiba사(일본)에서 개발 사례가 조사되었다. 그러나 국내의 경우는 유사한 특허 이외에는 아직 설치 및 적용이 전무한 상태다.

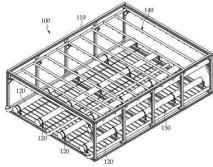
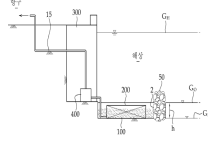
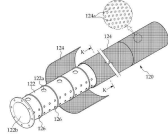
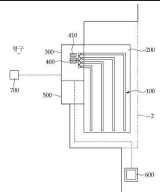
〈표 2-10〉 국내 특허 및 선행기술 조사

선행기술명	특허권자	기술내용	도면
수문 일체형 발전장치	금성이앤씨	수문에 하단부에 별도의 수력 발전 장치를 부착하고 발전기와 벨트 또는 기어를 구동축으로 이용하여 동력을 전달하여 발전하는 방식	
포켓식 수차	금성이앤씨	수문에 환형의 고리로 되어있는 PMG(영구자석 발전기)와 결합된 수차 러너의 작동으로 발전되는 형태로 수차를 매입형태로 설치하고 입구부를 포켓 형식으로 유입수를 안정적으로 유도하는 방식	
댐의 수문설비를 이용한 소수력 발전 장치	심상규	수문설치용 콘크리트 구조물의 기존의 수문설비장치에 수문의 하방으로 통상의 소수차 발전기를 설치하여 댐의 담수를 수차 발전기를 통하여 방류시키면서 발생하는 수압에 의한 유속 에너지로서 전력을 얻을 수 있도록 함을 특징으로 한 댐의 수문설비를 발전장치	

3. 전처리 취수시설

본 연구진의 전처리 취수시설과 관련된 국내외 특허 기술 동향은 다음과 같다.

〈표 2-11〉 당사 보유 특허 기술

구분	등록번호	등록권리자	등록일
조수 간만의 차가 있는 해수환경에 적용되는 해수 취수 장치	10-2011-0082652	동부건설(주), 동부엔지니어링(주), 권상길	2011.08.19
		여과된 해수를 취수하고 역세척시에는 공기와 역세척수를 통해 여과사가 세척되고 부유된 점토질은 슬러지 포집관을 통해 포집하는 장치	
돌적층형 수중보를 갖는 해수 취수 시스템 및 그 시공방법	10-2011-0082650	동부건설(주), 동부엔지니어링(주), 권상길	2011.08.19
		취수장 내로 해수가 침출될 수 있도록 해상쪽을 향해 돌적층형 수중보를 설치하는 시스템 및 그 시공방법	
해수취수용 파이프 조립체	10-2011-0082652	동부건설(주), 동부엔지니어링(주), 권상길	2011.08.19
		취수관은 여과수를 흡수집수하고 역세척수를 균등분배 하는 기능을 수행하는 장치	
조수 간만의 차가 있는 해안환경에 적용되는 해수 취수 시스템 및 그 시공방법	10-2011-0082649	동부건설(주), 동부엔지니어링(주), 권상길	2011.08.19
		조수간만이 일어나는 해안에 간조 해수면으로부터 일정 깊이로 터파기하여 해수를 여과 유입하는 시스템 및 그 시공방법	

〈표 2-12〉 관련 선행 기술

선행기술명	특허권자	기술내용
해수 표면 취수 장치	(주)고려산업 외 2명	부유물질의 침투를 방지하는 모래여과수단을 하향 통과시켜 얻은 여과수를 중앙부의 취수 하우징부로 모아지게 하고 상기 여과수를 취수수단을 통하여 표면 취수할 수 있게 한 해수 표면 취수장치
바다의 모래층을 여과층으로 활용하는 해수 취수 시스템	영남대학교 산학협력단	해수면 이하 일정 깊이까지 파내려간 터널이나 도랑과 해수를 집수하는 도랑이나 터널에서 바다 쪽으로 설치되는 다수의 집수관과 해수의 유량을 제어하는 유량조절밸브와 여과된 해수를 모아 밖으로 이송하는 송수관 및 송수펌프로 이루어지는 해수취수 시스템
취수장 전처리 시스템	이동건	하천 지류에 여과수 저장조를 형성하되, 상기 여과수 저장조는 자갈층과 모래층을 순차적으로 적층하며, 상기 자갈층 사이에 분사노즐 또는 함침수 배출 기능을 수행하는 여과관을 삽설하고 여과수 저장조에 취수관을 설치하며 여과수 저장조의 여과수를 역공급하여 침적된 슬러지나 퇴적물을 부유시켜 흘러 보내도록 역세척관을 지류의 중간 자갈층으로 삽설하여 구성한 취수장 전처리 시스템

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

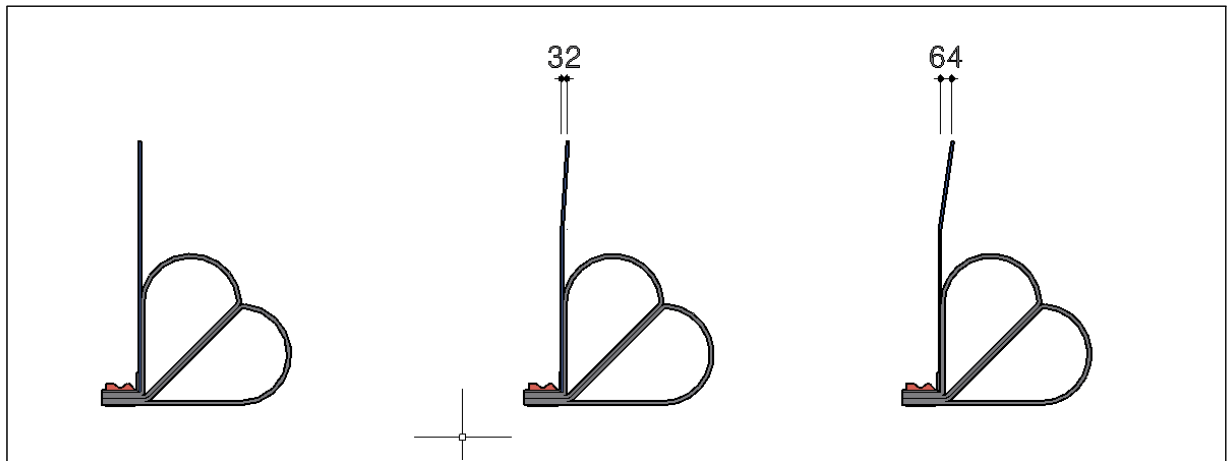
제1절 직립형 고무보 개발

1. 수행 내용 및 결과

가. 수두별 모델링 분석

(1) 단면 설정

수두별 모델링 수행 전 철판 패널의 단면 형상에 따른 응력분포를 구하여 최적의 단면 형상을 구하기 위해 세 가지 조건의 단면을 가정 후 해석을 실시하였다. <case 1>은 일반적인 형태의 직선형 패널, <case 2>는 상단 32mm 변형을 준 패널, <case 3>은 상단 64mm의 변형을 준 패널이다. 각 케이스별 단면 형상은 다음과 같다.



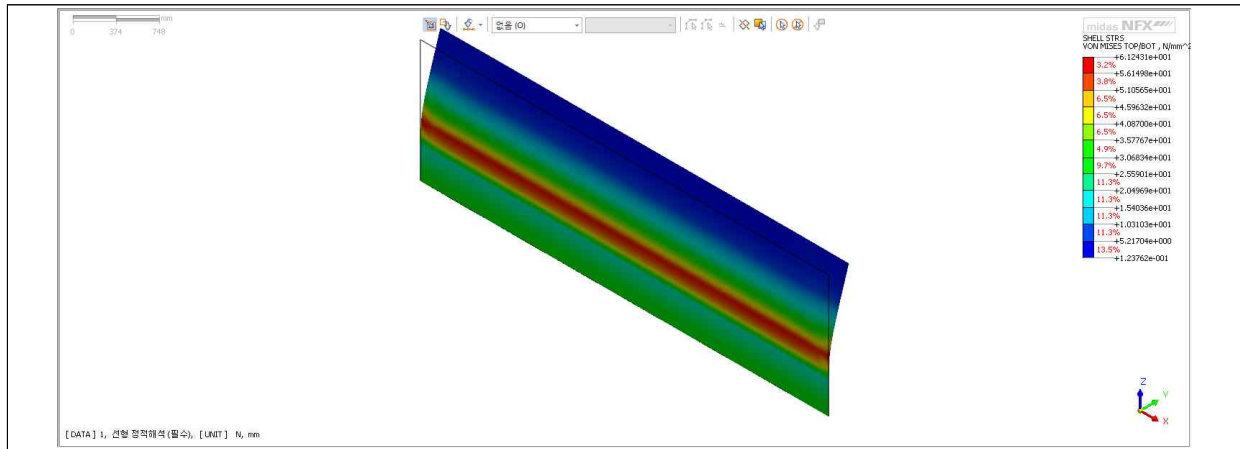
<그림 3-1> 단면 설정을 위한 분석 케이스

(가) 설계 조건

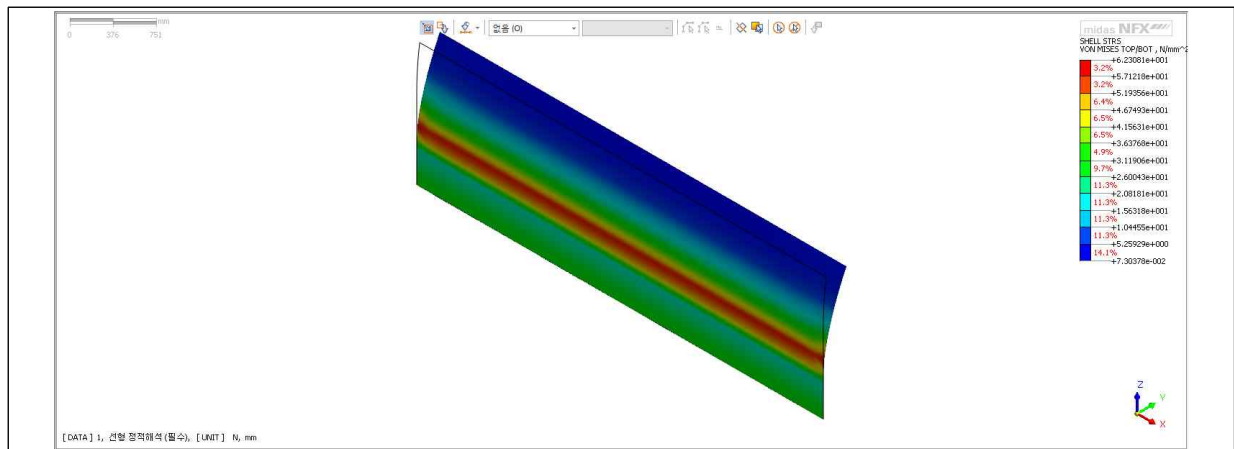
공통조건

- 보 높이 : 1.5m
- 보 폭 : 5.0m
- 하단 지지부 : 0.5m
- 수압하중 : 전면 재하

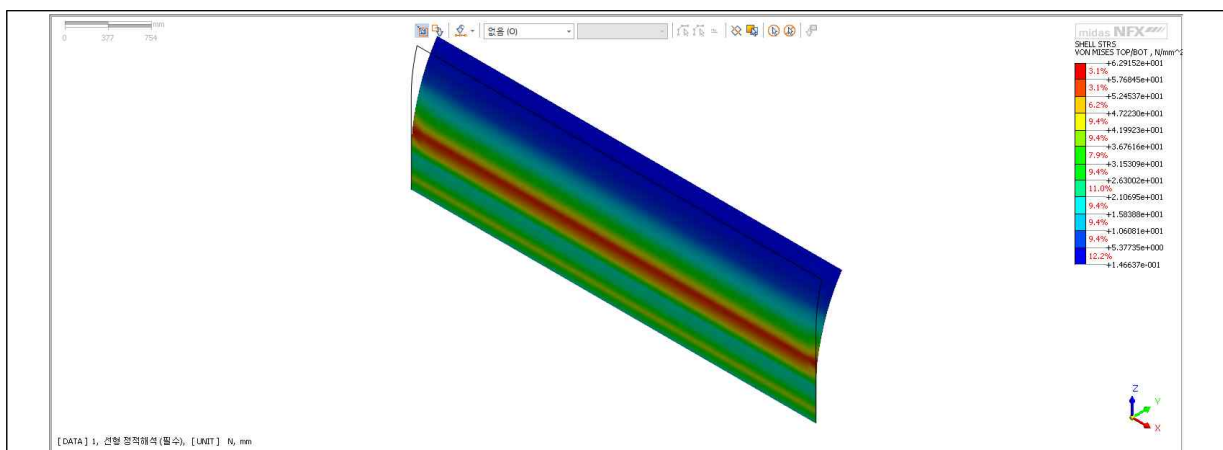
(나) 해석 결과



<그림 3-2> CASE 1 응력도



<그림 3-3> CASE 2 응력도



<그림 3-4> CASE 3 응력도

각 케이스 별 해석 결과 최대 응력은 다음과 같다.

<표 3-1> 케이스별 응력 해석 결과

구 분	case 1	case 2	case 3
최대 응력	61.23 MPa	62.31 MPa	62.92 MPa

조건별 해석 결과 패널 상단의 굴곡에 따른 영향은 크지 않으며, 또한 굴곡이 1 정도가 클수록 발생하는 응력이 소폭 증가함을 확인할 수 있다. 따라서 본 해석에서는 패널의 굴곡이 없는 <case 1>을 기본 단면으로 정하고 검토하도록 한다.

(2) 수두에 따른 수문 두께 최적화 검토

(가) 개요

수두에 따른 패널의 최적 두께를 산출하기 위하여 높이 0.5m ~ 3.0m까지 0.5m 간격으로 모델링을 실시하였다. 패널은 앞서 해석 결과에 따라 <case 1>의 직선형 패널로 하였으며, 전면부 전면 재하 조건으로 안전율 2를 만족할 수 있는 최적 두께를 산출하였다. 안전율은 댐·언시설기술기준(일본 댐·언시설기술협회, 2011)을 적용하였다.

(나) 검토 조건

〈표 3-2〉 고무 지지단 위치

구 분	높이(m)	고무 지지단(m)
1	0.5	0.167
2	1.0	0.334
3	1.5	0.500
4	2.0	0.667
5	2.5	0.834
6	3.0	1.000

* 고무 지지단은 패널과 고무본체의 접촉면이며 보 높이의 1/3 지점까지 지지하는 것으로 가정한다.

(다) 사용 재료

철판 패널 : KS 규격의 STS304

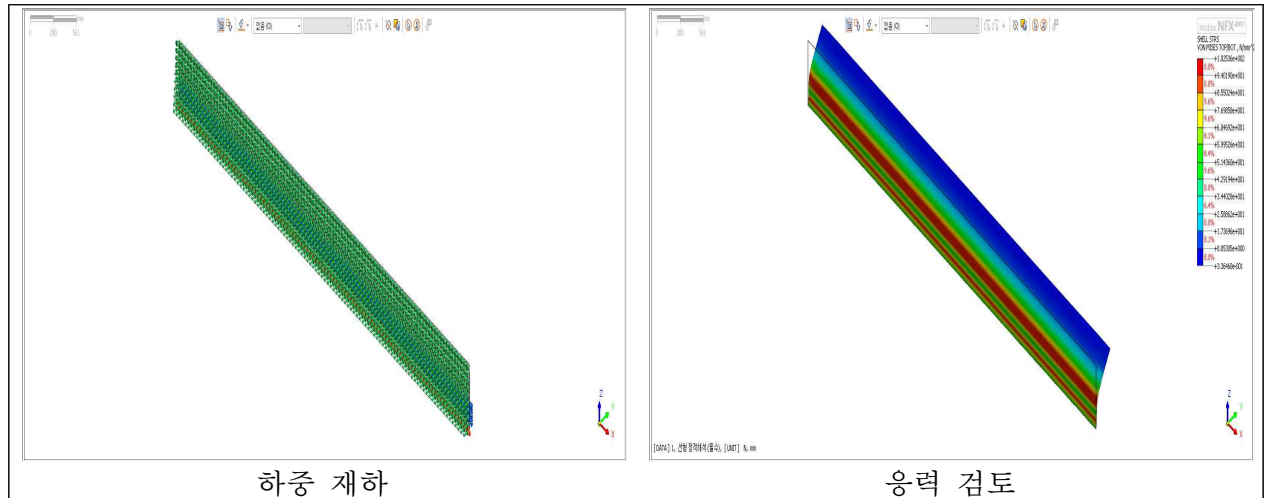
(라) 사용 프로그램

MIDAS NFX

(마) 높이별 패널 두께 검토

수두별 최적 패널 두께를 검토하였으며 안전율은 2로 설정하였다. 모델링은 두께 1mm 부터 시작하여 0.5m 패널의 구조검토를 한 후 다음 수두에서는 이전 구조검토 결과 최적 두께부터 시작하는 방식으로 진행하였다.

① 높이 0.5M 패널 검토



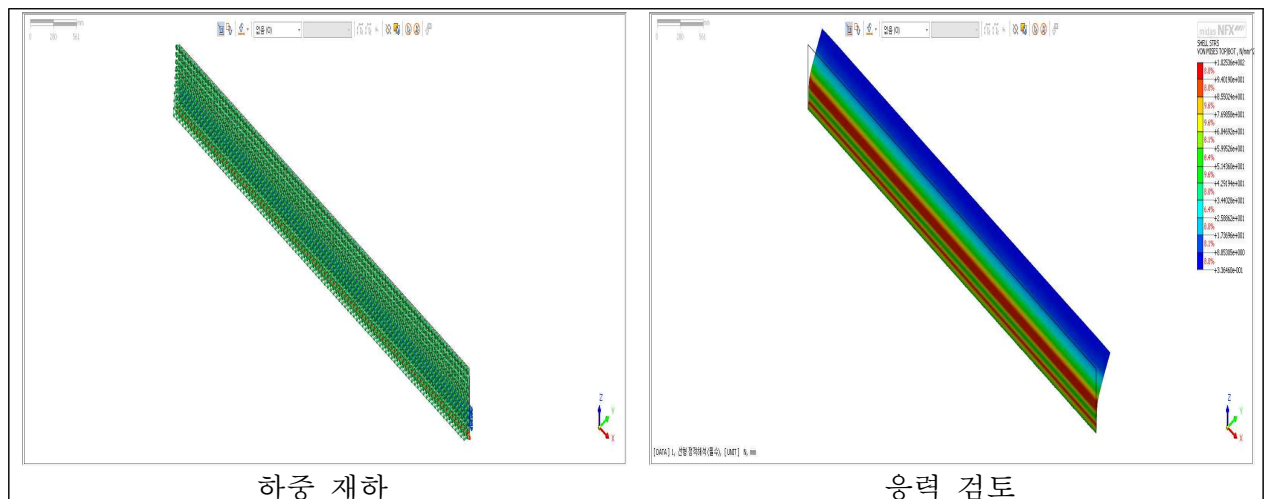
<그림 3-5> 높이 0.5m 패널 검토

- 수문 두께 $t = 2 \text{ mm}$ 적용

허용 응력 $\sigma = 209 \text{ MPa}$ (STS304 항복강도) / 2 (Safety Factor) = 104.5 MPa

발생 응력 $\sigma = 102.54 \text{ MPa} < 104.5 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K}$

② 높이 1.0M 패널 검토



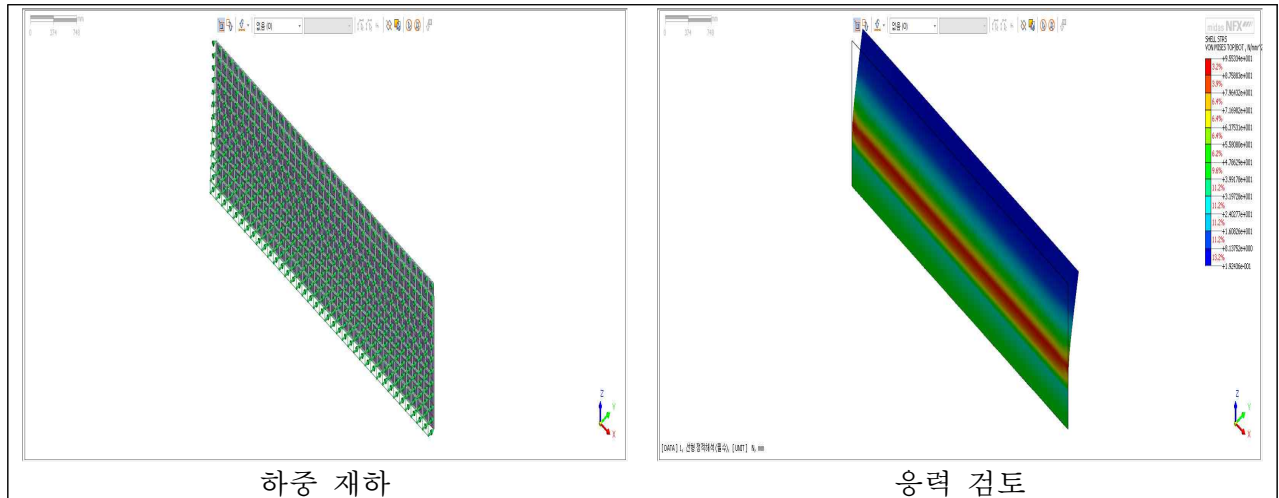
<그림 3-6> 높이 1.0m 패널 검토

- 수문 두께 $t = 4 \text{ mm}$ 적용

허용 응력 $\sigma = 209 \text{ MPa}$ (STS304 항복강도) / 2 (Safety Factor) = 104.5 MPa

발생 응력 $\sigma = 102.65 \text{ MPa} < 104.5 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K}$

③ 높이 1.5M 패널 검토



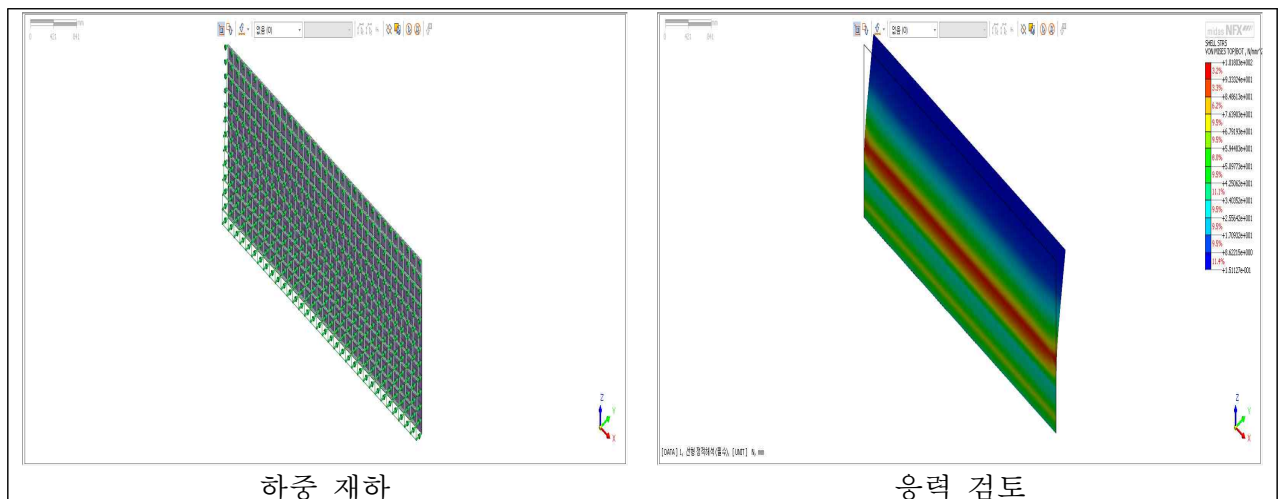
<그림 3-7> 높이 1.5m 패널 검토

- 수문 두께 $t = 8 \text{ mm}$ 적용

허용 응력 $\sigma = 209 \text{ MPa}$ (STS304 항복강도) / 2 (Safety Factor) = 104.5 MPa

발생 응력 $\sigma = 95.53 \text{ MPa} < 104.5 \text{ MPa}$ O.K

④ 높이 2.0M 패널 검토



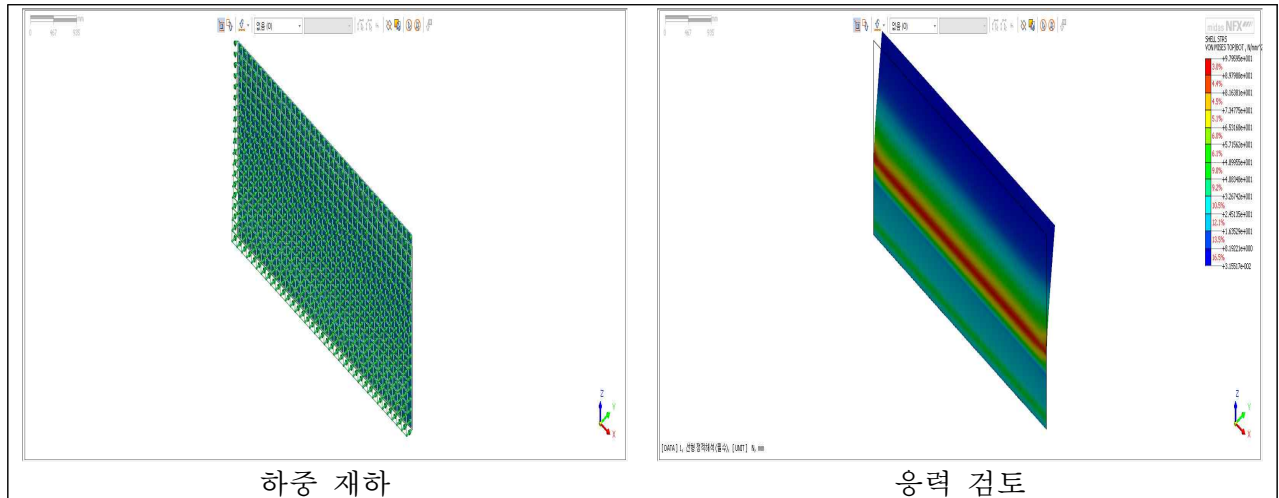
<그림 3-8> 높이 2.0m 패널 검토

- 수문 두께 $t = 12 \text{ mm}$ 적용

허용 응력 $\sigma = 209 \text{ MPa}$ (STS304 항복강도) / 2 (Safety Factor) = 104.5 MPa

발생 응력 $\sigma = 101.80 \text{ MPa} < 104.5 \text{ MPa}$ O.K

⑤ 높이 2.5M 패널



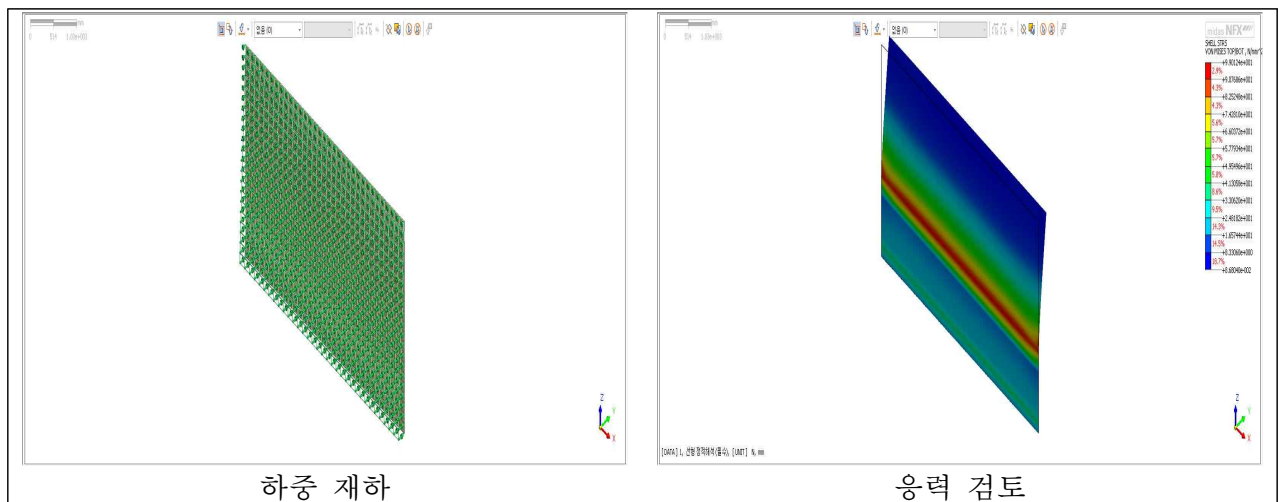
<그림 3-9> 높이 2.5m 패널 검토

- 수문 두께 $t = 18 \text{ mm}$ 적용

허용 응력 $\sigma = 209 \text{ MPa}$ (STS304 항복강도) / 2 (Safety Factor) = 104.5 MPa

발생 응력 $\sigma = 97.96 \text{ MPa} < 104.5 \text{ MPa}$ O.K

⑥ 높이 3.0M 패널



<그림 3-10> 높이 3.0m 패널 검토

- 수문 두께 $t = 24 \text{ mm}$ 적용

허용 응력 $\sigma = 209 \text{ MPa}$ (STS304 항복강도) / 2 (Safety Factor) = 104.5 MPa

발생 응력 $\sigma = 99.01 \text{ MPa} < 104.5 \text{ MPa}$ O.K

(바) 검토 결과

위와 같이 수두별 모델링 해석 결과와 적용 두께는 다음과 같다.

〈표 3-3〉 수두별 적용 두께

구 분	높이(m)	발생 응력(MPa)	안전율(S.F)	최적 두께(mm)	적용 두께(mm)
1	0.5	102.54	2.03	2	8
2	1.0	102.65	2.03	4	8
3	1.5	95.53	2.18	8	10
4	2.0	101.80	2.05	12	14
5	2.5	97.96	2.13	18	20
6	3.0	99.01	2.11	24	26

검토된 바와 같이 높이 0.5~3.0m 높이별로 최적화된 패널 두께를 결정할 수 있다. 안전율은 3을 고려하였으며 패널 두께는 1mm 단위로 변경하며 해석하였다. 수문 자재의 최소 두께는 8mm를 기준으로 하며 부식 등으로 인한 손실 등을 고려하여 최종 적용 두께를 적용하였다.

나. 자재시험

직립형 고무보의 핵심 부품인 고무본체의 품질시험을 위해 고무본체의 절단시 신장율 시험, 인장력 시험, 고무시편의 물성시험을 실시하였다.

(1) 고무본체의 절단시 신장율 시험

절단시 신장율 시험은 건설신기술 738호의 구성 특허인 특허번호 10-0737839 “고무본체 및 이의 제조방법” 과 관련된 시험이다. 기존 기술로 제작된 제품의 경우 절단시 신장율이 50% 이상이지만 신기술 적용 시 신장율을 20% 이하로 낮춰 장기간 사용 시에도 늘어나지 않고 본래 품질을 유지할 수 있어 내구성이 증대되는 장점이 있다. 시험은 KS M 6534 시험을 실시하였으며 시료는 가로방향 세로방향 각 2개씩 실시하였다. 시험 결과 폭방향과 길이방향의 절단시 신장률이 평균 15와 17로 나타나 장기간 사용 시에도 신장을 억제할 수 있는 것으로 나타났다.

〈표 3-4〉 신장율 시험 결과

구 분	시료명	시료상세	절단시 신장률(%)	평균값(%)
1	고무시편	고무본체(제품)-교차(폭)	16	15
2	고무시편	고무본체(제품)-교차(폭)	14	
3	고무시편	고무본체(제품)-교차(길이)	16	17
4	고무시편	고무본체(제품)-교차(길이)	19	

(2) 고무시편 물성시험

고무시편의 물성시험은 가황 전 순수 고무의 물성시험이며 KS M 6518의 시험방법을 사용하였다. 고무시편의 규격치 및 결과는 다음과 같다.

<표 3-5> 고무시편 물성시험 결과

구 분	시 험 방 법		단 위	규 격 치	결 과 치	비 고
고 무	노화전	인장강도	Mpa	11.8 이상	16.8	
		신장율	%	400 이상	760	
	노화후	인장강도	Mpa	9.81 이상	15.9	100℃ × 96시간
		신장율	%	300 이상	670	
	내수성	인장강도	Mpa	9.81 이상	15.8	70℃ × 96시간
		신장율	%	350 이상	750	
		부피 변화율	%	20 이하	2.0	
	내 오 존 성		-	이상 없음	이상 없음	50pphm × 40℃ × 40%EL × 96시간

시험 결과 시제품에 사용된 고무시편의 물성이 규정치를 상회하는 것으로 나타났다.

(3) 고무본체의 인장시험

고무본체는 수압을 충분히 견딜 수 있도록 8배의 안전율을 적용하여 생산하고 있다. 높이 1.5m의 고무본체에 작용되는 응력은 다음과 같이 구할 수 있다.

(가) 내압 만수시(월류시) 설계 내압은 아래와 같이 계산한다.

$$P_0 = \alpha \times \omega \times Hr = 1.0 \times 9.8 \times 1.5 = 14.7 N/m^2$$

(나) 고무보 본체에 작용하는 장력

최대로 작용하는 장력은 최대 월류시에 발생되며 물의 흐름방향으로 적용된다.

단위 면적당 장력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T = (0.5 \times \omega \times Hr^2) + (k \times hu) = (0.5 \times 9.8 \times 1.5^2) + (8.9 \times 0.3) = 13.7 kN/m$$

안전율 8을 적용하면 고무본체 필요 강도 = $13.7 \times 8 = 109.6 kN/m$

따라서 고무본체 시험 결과값이 최소 $110 kN/m$ 이상이어야 한다. 시험 결과 평균값은 $372 kN/m$ 로 안전율을 고려한 필요 인장강도의 3배 이상인 것으로 나타났다.

〈표 3-6〉 고무본체 인장강도 시험결과

구 분	시료명	시료상세	인장강도(kN/m)	평균값(kN/m)
1	고무시편	본체(연구과제)	378	372
2	고무시편	본체(연구과제)	378	
3	고무시편	본체(연구과제)	360	

다. 직립형 고무보 설계

(1) 개요

직립형 고무보는 기초금구류, 철판패널, 에어백, 공압공급장치, 제어장치로 구성된다. 철판패널은 MIDAS NFX를 이용한 구조검토를 통해 규격을 결정하고, 수치모의를 통해 최적 형상을 결정하였다. 기초금구류, 공압공급장치, 제어장치는 이미 검증된 건설신기술 738호의 규격을 사용할 것이다.

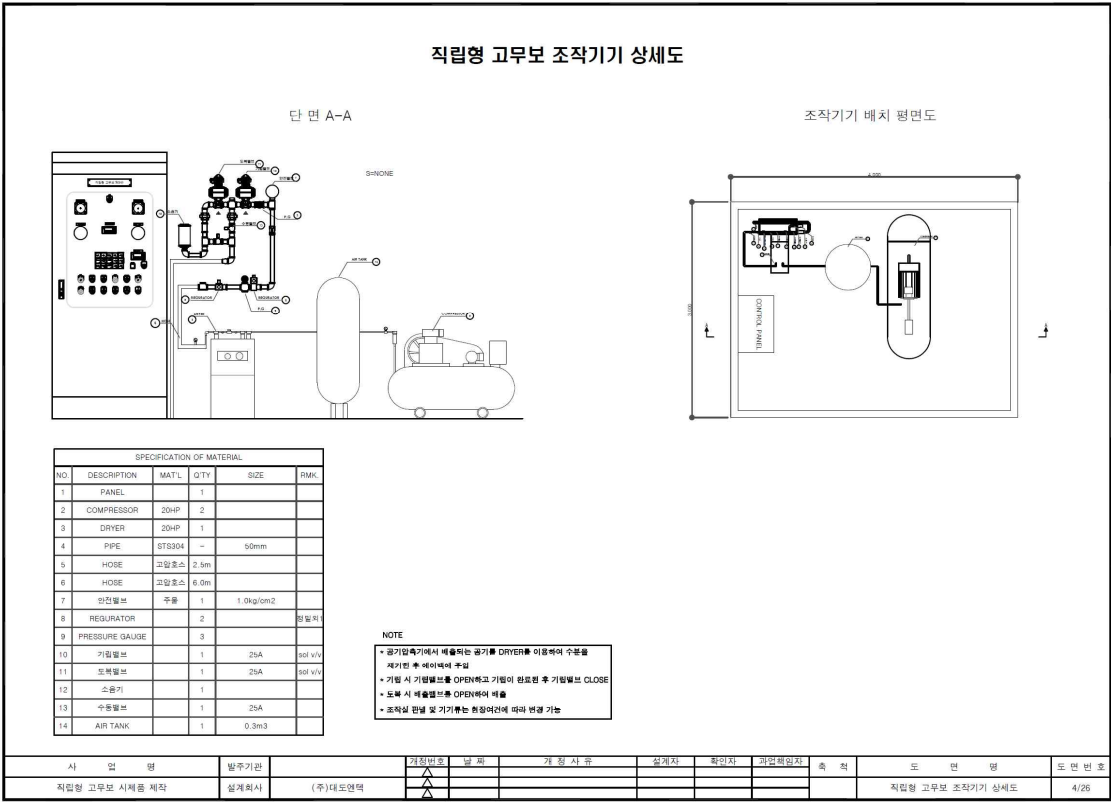
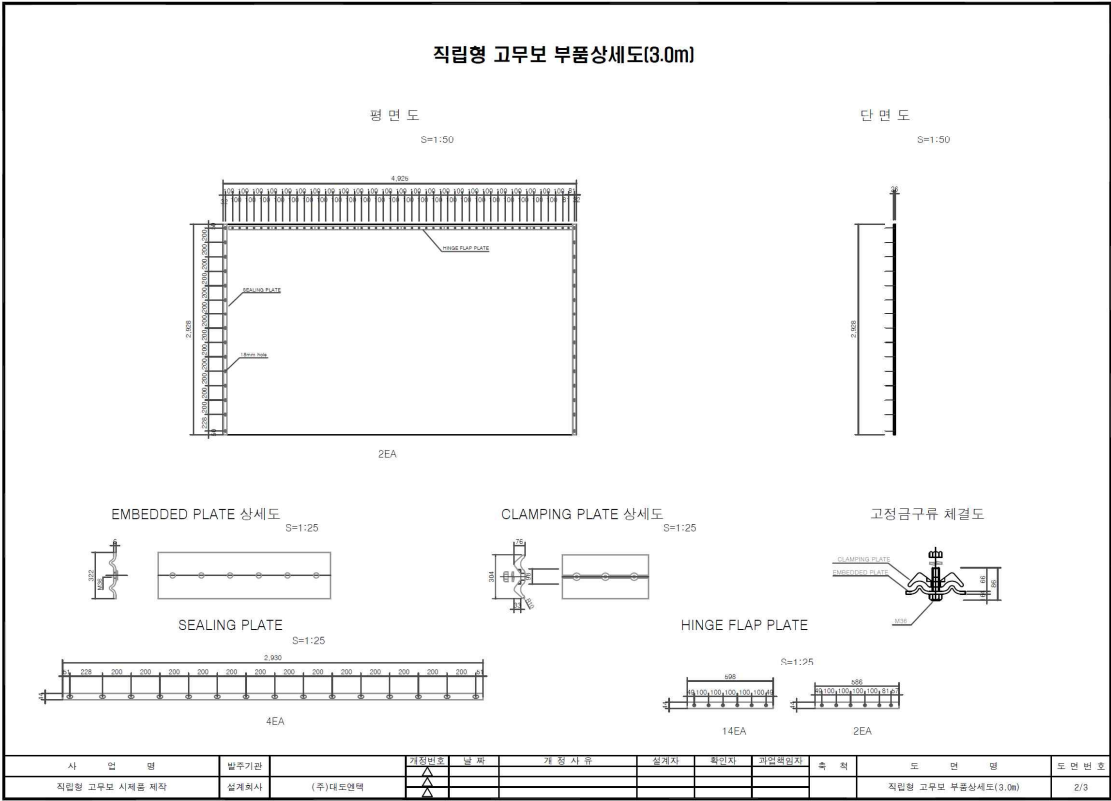
(2) 시제품 설계

(가) 1차 시제품

본 연구과제를 통해 2개의 시제품을 제작할 예정이며 1번 시제품은 높이 1.5m, 폭 3.2m의 규격이다. 일반적인 하천에 주로 설치하는 높이이며 연구과제 성과지표 중 자재시험의 내압테스트 실시와 2차년도에 계획중인 높이 3.0m의 시제품 제작 시 안전성 확보를 위한 목적으로 제작한다.

(나) 2차 시제품

2차 시제품은 2차년도 계획에 성과지표인 시제품이며 실질적인 최종 목표 달성을 위한 시제품이다. 2차 시제품의 규격은 높이 3.0m, 폭 10.0m의 실물규모 시제품이며, 현재 국내에 설치되고 있는 가동보의 일반적인 최고 높이인 3.0m를 기준으로 제작하여 현장 적용성과 안정성을 시험할 계획이다. 2차 시제품은 현장에 설치되는 동일한 형태로 설계/제작하고 제작비 절감을 위해 1차와 2차 시제품을 동일한 공압장치를 사용할 수 있도록 2차 시제품의 규격에 맞는 공압장치를 설치하도록 하였다. MIDAS NFX를 이용하여 결정된 패널의 규격 외 다른 구성품은 건설신기술 738호의 규격품을 사용하였으며, 공압장치 등은 고압의 공기를 주입할 수 있도록 기존의 BLOWER에서 COMPRESSOR로 변경하여 설계하였다. 이에 따라 공압밸브, 압력계, 공기 공급 배관 등의 규격 및 형태도 제품에 맞게 변경 또는 규격 변경을 하였다.

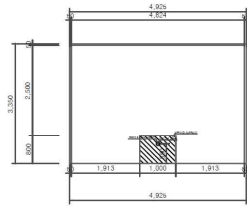


〈그림 3-11〉 직립형 고무보 시제품 설계도(1)

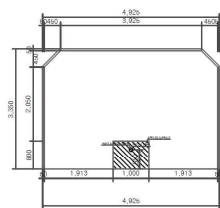
에어백 상세도(3.0m)

에어백 #1 평면도

S=1:100

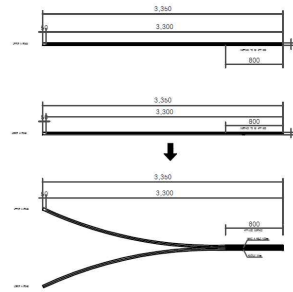


에어백 #2 평면도



에어백 단면도

S=1:50

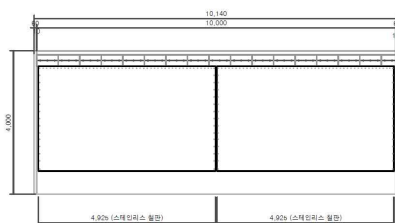


사 업 명	발주기관	계정번호	날 짜	개 정 시 유	실제자	확인자	귀업담당자	촉 적	도 면 명	도 면 번 호
직립형 고무로 시제를 제작	실계회사	(주)대도연력	▲						에어백 상세도(3.0m)	3/3
			▲							
			▲							
			▲							

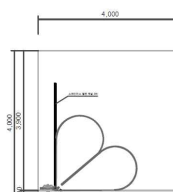
직립형 고무보 일반도 (3.0m)

S=1:100

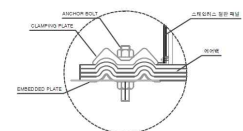
평면도



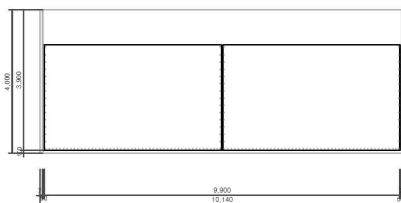
측면도



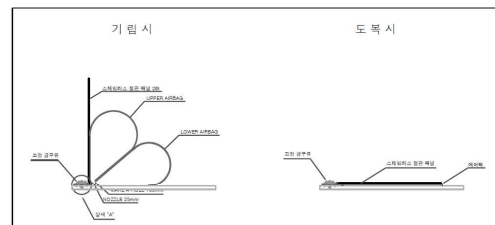
상 세 " A "



정 면 도



단면상세도



사 업 명	발주기관	계정번호	날 짜	개 정 사 유	실제자	확인자	과업책임자	총 칙	도 면 명	도 면 번 호
직립형 고무보 시계로 제작	설계회사	(주)대도연역	▲						직립형 고무보 일반보(3.0)	1/3

〈그림 3-12〉 직립형 고무보 시제품 설계도(2)

(라) 특허 출원 및 등록

본 기술의 지식재산권 보호를 위해 특허를 출원 및 등록을 하였다. 특허 상세 정보는 다음과 같다.

특허번호 : 10-1767945호

특 허 명 : 직립형 기능성 고무보

등 록 일 : 2018년 06월 08일

출원번호통지서

1의 3페이지

관 인 생 략 출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2017.11.08
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호 10-2017-0148350 (경수번호 1-1-2017-1110164-95)
출 원 인 명 칭 (주)대도엔텍(1-2003-024418-1)
대 리 인 성 명 최학현(9-1998-000578-7)
발 명 자 성 명 장정수
발 명 의 명 칭 직립형 기능성 고무보

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고격번호 정보변경(경경)], 정정신고서를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허도(patent.go.kr) 검색 > 민원서비스안내 > 특허법 시행규칙 별시 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr/특허마당-PCT/마드리드>
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표(디자인)은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

<http://www.patent.go.kr/jsp/kiponet/ir/receipt/online/applNoOffcAct.do>

2017-11-08

<특허출원서>

특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 제 10-1867945 호
Patent Number

출원번호 제 10-2017-0148350 호
Application Number

출원일 2017년 11월 08일
Filing Date

등록일 2018년 06월 08일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention
직립형 기능성 고무보

특허관자 Patente
(주)대도엔텍(110111-*****)
전라북도 김제시 성덕면 성덕로 10 ()

발명자 Inventor
장정수(631119-*****)
경기도 고양시 일산서구 일산로 808, 302동 802호 (대화동, 장성마을3단지아파트)

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2018년 06월 08일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

성준모

QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요

<특허증>

<그림 3-13> 특허출원서 및 특허증

(마) 신기술 신청

본 연구결과를 기초로 건설신기술을 신청할 예정이었으나 개발기술의 현장 적용에 어려움이 있어 건설신기술 신청에 필요한 현장실사 요건을 갖추지 못하였다. 건설신기술을 담당하는 국토교통과학기술진흥원 소속 직원과의 미팅을 통해 현장실사 장소가 없으면 반려대상이며, 신청서를 제출하여도 검토 후 반려된다는 점을 확인하였다. 개발기술의 특성상 국가가 관리하는 하천에 시험설치가 불가능 하다는 점과, 테스트베드를 통한 현장실사도 불가능한 점이 가장 큰 문제점이었다. 비록 연구기간 내에 건설신기술을 신청하지 못하였지만 향후 사업화를 통해 설치현장을 확보한 후 본 연구결과를 바탕으로 건설신기술을 신청할 예정이다.

(바) 직립형 고무보 제작

직립형 고무보의 성능평가를 위해 2기의 시제품을 계획하였으나 직립형 고무보 외 스마트수차와 전처리 취수시설을 통합한 테스트베드 구축을 위해 1기의 시제품을 추가로 계획하였다. 현재까지 제작된 시제품은 다음과 같다.

〈표 3-7〉 직립형고무보 시제품 리스트

구 분	규 격	용 도
1	1.5m H × 3.2m L	직립형 고무보의 90° 기립 여부 확인
2	3.0m H × 10.0m L	제작 가능한 최대 규모의 시제품 제작
3	1.0m H × 3.0m L	테스트베드 구축, 통합시스템 가동 테스트

① 1차 시제품 제작

1차 시제품은 시제품의 성능 평가가 아닌 1차년도 출원 특허인 이중구조 에어백의 실제 기립 형상 및 작동 여부를 확인하기 위하여 비교적 소규모로 제작하였다. 에어백은 직사각형 형태와 마름모 형태의 두 가지 타입으로 제작하였으며 두 타입 모두 성능에 이상이 없이 작동하였다. 에어백 압력 테스트와 기립각 테스트를 실시하였으며 90도 기립에 성공하였다. 테스트 결과를 토대로 높이 3.0m의 2차 시제품 제작에 착수하였다.



직사각형 에어백



마름모형 에어백



철판기초 제작



철판 패널 제작

〈그림 3-14〉 1차 시제품 제작 및 시험(1)



금구류 체결



기립 작동



기립 완료(정면)



기립 완료(배면)



기립각 테스트

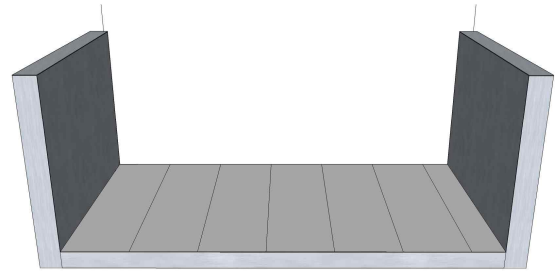
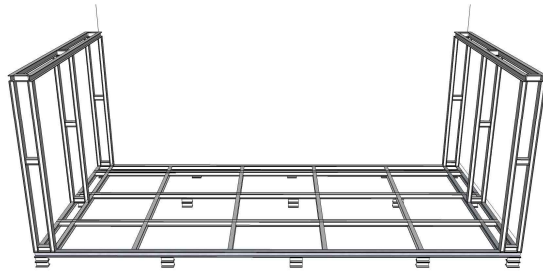


기립 내압 테스트

〈그림 3-15〉 1차 시제품 제작 및 시험(2)

② 2차 시제품 제작

2차 시제품은 일반적으로 하천에 설치될 수 있는 최대 높이인 높이 3.0m 폭 10.0m 2기로 계획하였다. 직립형 고무보의 현장 적용성을 판단할 수 있도록 비교적 규모가 큰 실물규격으로 제작하였다. 현재 국내에 설치되는 가동보의 최고 높이가 3.0m를 넘지 않는 것을 고려하였을 때 시제품 테스트가 성공하면 국내 하천에 높이 1.0m~3.0m의 규모로 적용할 수 있으며, 육갑문 등 홍수방어벽의 역할도 할 수 있을 것이라 판단된다.



2차 시제품 기초 프레임 제작



2차 시제품 에어백 및 가동철판 설치



기립 및 도복 작동 확인

<그림 3-16> 2차 시제품 제작 및 시험

2차 시제품 제작 및 시험 결과 높이 3.0m의 철판 패널을 90도 기립시키는데 성공하였으며, 조작패널, 공압장치등과 연동도 원활히 작동되었다. 기존 기술의 최대 기립각인 약 58도를 넘어서 90도까지 기립각을 변동시킬 수 있게 됨으로써 다양한 환경에 적용

시킬 수 있는 범용성도 확보할 수 있게 되었다.

(사) 시제품의 성능시험 및 검증

① 테스트 베드 구축

시제품의 정상작동 유무와 성능을 검증하고자 직립형 고무보, 스마트 수차가 결합된 통합 테스트베드를 구축하여 외부시험기관의 시험을 통해 검증하였다. 테스트베드는 연구계획서 원안에는 계획되지 않았으나 직립형고무보, 스마트수차 그리고 통합유지관리시스템간의 작동성을 객관적으로 평가할 필요가 있어 보완하여 구축하게 되었다. 드는 실물 규모로 제작하였으며 다음의 그림과 같다.



〈그림 3-17〉 통합 테스트베드 전경

㉠ 시험 목적

수자원의 효율적인 활용을 위해 개발한 직립형 고무보의 성능을 평가하며, 각 기기류 작동의 기능을 판정하여 유효성과 성능을 검증하고자 한다.

㉡ 시험일시 : 2018년 10월

㉢ 시험기관 : 하이드로랩

㉣ 시험장소 : 금성이앤씨 수력성능시험장

㉤ 시험대상 : 직립형 고무보

〈표 3-8〉 직립형 고무보 제원

대 상	형 식	높 이	길 이
직립형고무보	공압식 가동보	1.0m	3.0m

㉞ 시험방법

- 작동상태 : 관능검사 및 인디게이터에 의한 수치 확인
- 기 립 각 : 각도계에 의한 직립형 고무보의 기립각 측정

② 시험개요

㉠ 시험조건

- 가능한 시험 시 수위가 정격수위의 $\pm 3\%$ 이내 조건에서 실시
- 현장 상황이 불가한 경우는 관계자 협의 후 진행

㉡ 시험장비

〈표 3-9〉 직립형 고무보 시험 측정 장비

측정항목	측정장비	비 고
압력	현장 압력계	
수위	제어반 수위계	LR-200
기립각	각도계	조작패널 인디게이터
기립시간	타이머	통합시스템 로그값 참고
도복시간	타이머	통합시스템 로그값 참고

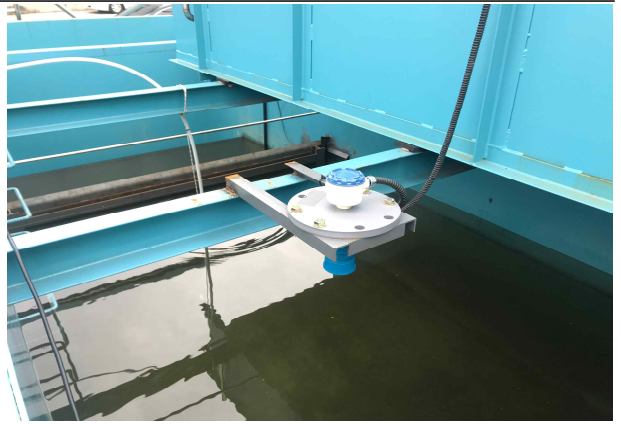
㉢ 시험항목

- 압 력 : 직립형 고무보 에어백 내의 압력
- 수 위 : 직립형 고무보 작동 시 수위
- 기 립 각 : 직립형 고무보 기립 시 철판패널의 기립각
- 기립시간 : 직립형 고무보 기립 완료 소요 시간
- 도복시간 : 만수위에서 직립형 고무보의 도복 소요 시간
- 기립작동 : 직립형 고무보의 밸브열림, 송풍기 작동 및 정지성능, 에어백 기립, 철판 기립 여부
- 도복작동 : 도복밸브 열림, 에어백 도복 여부
- 작 동 성 : 각 부품별 구조에 따른 작동상태

위와 같은 항목으로 시험을 실시하였으며 통합시스템에서 기립 및 도복을 온라인 상에서 원격으로 작동하였다. 통합시스템에서 기립 작동을 하게되면 콘트롤패널에 프로그램에 따라 도복밸브 닫힘, 기립밸브 열림, 콤프레서 작동, 압력 SETTING값에 도달했을 경우 기립밸브 닫힘, 콤프레서 작동 중지의 순서로 자동 작동된다. 도복작동은 도복밸브 열림이 작동된다.



공압장치 및 콘트롤패널



초음파 수위계



직립형 고무보(1.0mH × 3.0mL)



원격제어감시망 연결 회로 구성



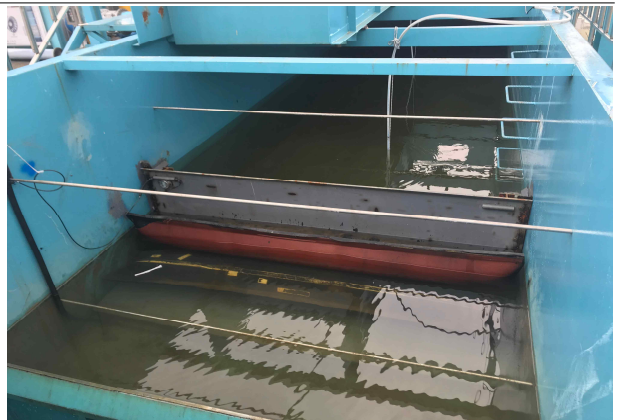
각도지시계



압력지시계



도복상태



기립상태

〈그림 3-18〉 통합 테스트베드에 설치된 장비 및 기기류

㉠ 시험 결과

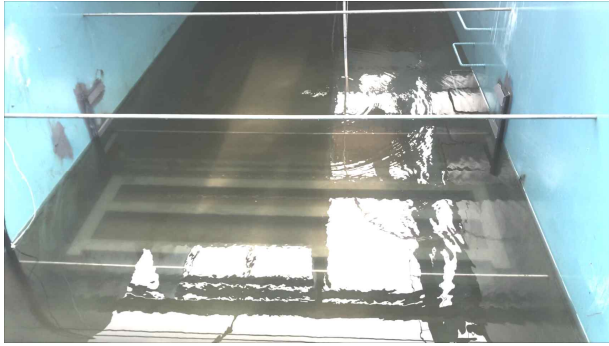
제품의 겉모양 확인 결과 특이사항은 없는 것으로 확인되었으며 기립 작동과 도복 작동이 결과표의 순서의 의해서 정상 작동됨을 확인하였다. 수문의 기립각도는 확인 결과 0~90도까지 작동하였으며 이에 걸린 시간은 약 1분 6초 정도 소요되었다. 도복 작동은 수위가 보 높이인 1.0m보다 높은 약 1.1m 정도의 물 흐름 속에서 확인하였으며 완전 도복 시까지의 소요시간은 약 2분 4초였다. 보의 도복 작동은 보의 자중과 밸브를 통한 공기의 자연 배기로 무동력 도복시키기 때문에 기립시간보다 도복시간이 상대적으로 더 소요되는 것으로 나타났다. 육안으로 확인 결과 보의 작동은 기립, 도복 시 멈춤 현상은 발견되지 않았으며 0~90도 사이를 연속적으로 작동하여 적상적인 작동이 되는 것을 확인하였다. 통합시스템의 명령이 직립형 고무보 제어판넬에 정상적으로 전달되었으며 양방향 통신이 원활이 진행되었다.

<표 3-10> 직립형 고무보 시험 결과

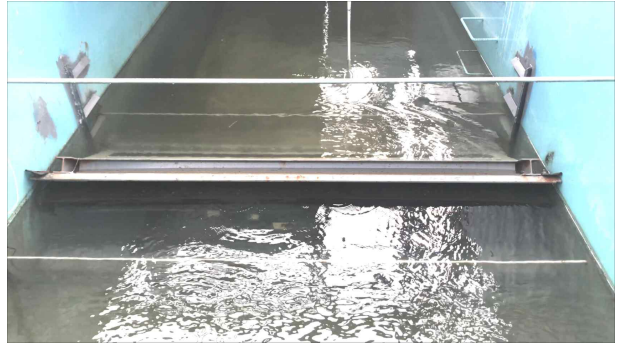
시험항목	기준치		시험결과
겉모양	작동시 인체에 상해를 입힐만한 날카로운 부분이 없어야 하고 변형, 결함, 흠 등 기타 결점이 없을 것		이상 없음
	용접부위는 내구성을 저하시킬 수 있는 비틀림, 균열, 슬래그가 없어야 할 것		이상 없음
	송풍기 등 외부 회전체는 안전커버를 씌워야 할 것		이상 없음
	사용상 주의를 요하는 부위는 안전표시가 되어있어야 하며, 표시가 어려운 부위는 취급설명서 등에 게재하여야 할 것		이상 없음
기립 작동	기립밸브 열림	기립작동시 기립밸브가 작동하여 OPEN방향으로 열려야 할 것	정상
	송풍기 작동	기립밸브 OPEN 후 송풍기가 작동하여야 할 것	정상
	에어백 기립	기립밸브 OPEN 후 에어백에 공기를 주입하여 기립각 90도가 될 때 까지 기립할 것	정상
	송풍기 작동 중지	기립이 완료되면 송풍기 작동이 중지될 것	정상
	기립밸브 닫힘	송풍기 작동이 중지되면 기립밸브가 닫힐 것	정상
	기립시간	기립시간 내 기립할 것(20분 이내)	1분 6초
	기립각	기립각이 90° 일 것	90°
도복 작동	수위	도복 전 수위가 1m 일 것(오차범위)	1.1m
	도복밸브 열림	도복 작동 시 도복밸브가 작동하여 OPEN 방향으로 열려야 할 것	정상
	도복 작동	도복밸브 OPEN 후 에어백 내의 공기가 배출되어 바닥에 밀착되어야 할 것	정상
	도복 시간	도복시간 내 도복할 것(20분 이내)	2분 4초

㉡ 향후 보완사항 및 추가 연구계획

직립형 고무보 현장 적용시 양방향 흐름, 하류측 역류 등 다양한 상황이 발생할 수 있으므로 이에 대비한 스틸 패널 고정장치를 추가 개발중이다. 스틸 패널 고정장치를 통해 양방향 수압발생으로 인한 보의 안전성을 확보할 수 있고, 대형 육갑문 등에도 적용하여 현장 적용성을 높일 수 있을 것이라 기대된다.



완전 도복



45도 기립

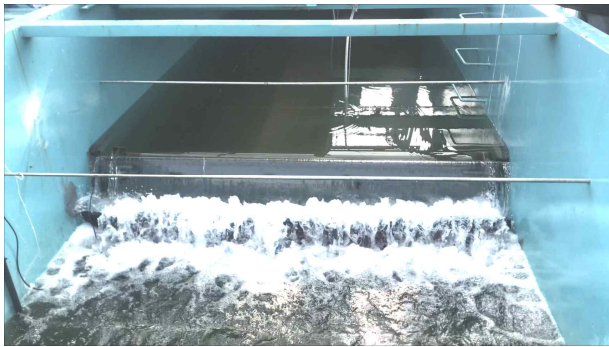


60도 기립

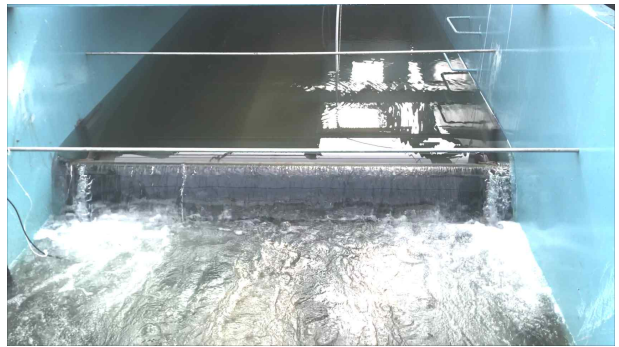


90도 기립

〈그림 3-19〉 직립형 고무보 각도별 기립 상태



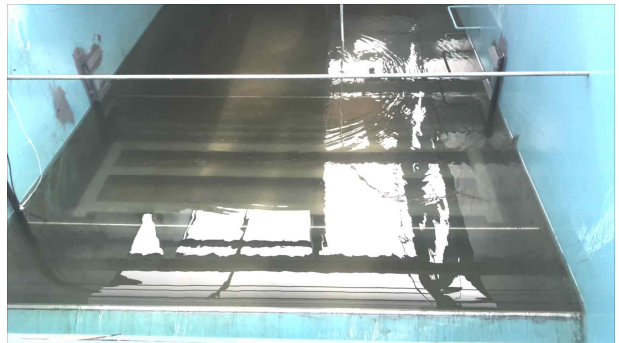
90도 기립



60도 도복



45도 도복



완전 도복

〈그림 3-20〉 직립형 고무보 각도별 작동 상태

(7) 제품 표준화

시제품 설계와 제작을 통해 문제점을 파악한 후 실제 제품을 생산하고 설치하는데 필요한 제작도면, 내역서, 시방서를 작성하여 제품 사업화에 필요한 표준화된 설계도서를 작성하였다. 수치모의를 통해 직립형 고무보의 유수 낙하 형상을 고려하여 철판패널의 종단부를 45도 절곡하는 형태로 하였으며, 에어백의 규모도 조정하였다. 직립형고무보 높이 1.0m 길이 5.0m 규격의 내역서, 도면, 시방서가 포함된 표준 설계도서를 부록에 수록하였다.

(8) 제품 사업화

국내외 시장조사 및 수요처 발굴을 위해 기술사업화 컨설팅을 실시하였다. 효율적인 컨설팅을 위해 해외 수요처 발굴은 사업화 가능성이 높다고 판단되는 인도네시아를 중점적으로 조사하였으며, 현지 전문가를 이용한 조사를 실시하였다. 직립형 고무보는 국내 가동보 시장이 포화상태이며 기존의 영업망으로 사업화를 진행할 수 있으므로 전세계적으로 사용되는 가동보의 수요를 대체하기 위하여 유럽지역, 동남아시아지역, 인도지역을 중심으로 해외 사업화를 진행하였다. 현재 가장 사업화 진척도가 높은 지역은 동남아시아 지역이며 중국산 저가제품을 사용 후 품질문제가 많이 발생하면서 이제는 비용이 더 발생하더라도 고품질의 제품을 선호하는 성향이 늘고 있어 직립형고무보의 시장 진출 가능성이 높아지고 있다.

① 유럽지역 사업화

유럽지역은 네덜란드 소재 수처리 전문 기업인 LANDUSTRIE와의 협업을 통해 사업화를 진행하였다. MOU체결을 통해 직립형고무보 유럽시장 사업화의 교두보를 확보하였으며, 수처리 전문기업과의 협업으로 상호 보완적 관계를 정립하여 현지 대리점 운영 등의 고정지출 없이 사업화를 진행하고 있다. 상호 방문을 통해 기술 소개, 시장 조사, 현지 관련 업체 방문 미팅을 진행하였다. 환경을 중요시하는 유럽지역의 성향으로 신재생에너지의 활용이 활발한 유럽지역에서 직립형고무보를 이용한 소수력발전의 수요가 많을 것으로 판단하고 있으며 연구개발 종료 후 유럽지역 전시회 참가 등으로 사업화를 진행할 것이다.

② 인도네시아 지역 사업화

1차년도에 실시한 해외 사업화 컨설팅을 통해 시장 진출 가능성이 가장 유력한 인도네시아 지역의 시장조사를 실시하였으며, 이를 토대로 인도네시아 현지 법인인 INKODM GLOBAL과의 협업을 통해 인도네시아 시장 사업화를 진행하고 있다. 인도네시아는 현재 수질 정화시설 설치, 전기 농업용수 확보를 위한 취수보의 수요가 늘어나고 있다. 현지 하천관리 공무원을 위주로 기술소개를 하고 있으며 자카르타, 반둥, 수라바야, 팔렘방 등의 지역을 중점적으로 진행하고 있다.

③ 말레이시아 지역 사업화

말레이시아는 도심하천 제방을 수직으로 정비한 곳이 많아 직립형고무보의 적용이 유리한 지역이다. 2014년 일반형 고무보 3기를 수주했던 경험을 바탕으로 현지 기업인 TAI HOE RESOURCES Sdn Bhd 와 협업을 통해 시장 진출을 준비하고 있으며, 2018년 10월 한국 방문을 통해 개발기술을 소개하였다. 말레이시아 지역 역시 몬순 기후로

인해 도심 홍수가 빈번하게 발생하고, 수질악화로 인한 문제점이 발생하고 있어 도심 하천의 수질 정화를 위한 가동보 수요가 있을 것으로 판단하고 있다.

④ 인도지역 사업화

인도지역은 현지 소수력 설계 전문 기업과 MOU체결을 준비 중이며 파키스탄, 인도, 네팔 등 접경지역에 위치한 소수력 발전소의 보 개량과 신설에 대한 수요가 많다. 이 지역은 대부분 콘크리트 고정보를 사용 중이며 히말라야 지형으로 인해 유하물이 많이 내려와 홍수기 이후 주기적인 준설작업이 필요한 점과, 전석 등에 의한 파손의 위험이 있어 철판 패널을 이용하는 직립형 고무보의 적용이 유리하여 향후 꾸준한 수요가 있을 것으로 기대된다.



직립형 고무보 사업화 MOU 체결



LANDUSTRIE 한국 방문 미팅



독일 가동보 설치 현장 견학



가동보를 이용한 소수력 발전

〈그림 3-21〉 해외 사업화 추진

2. 직립형 고무보에 대한 수치모의

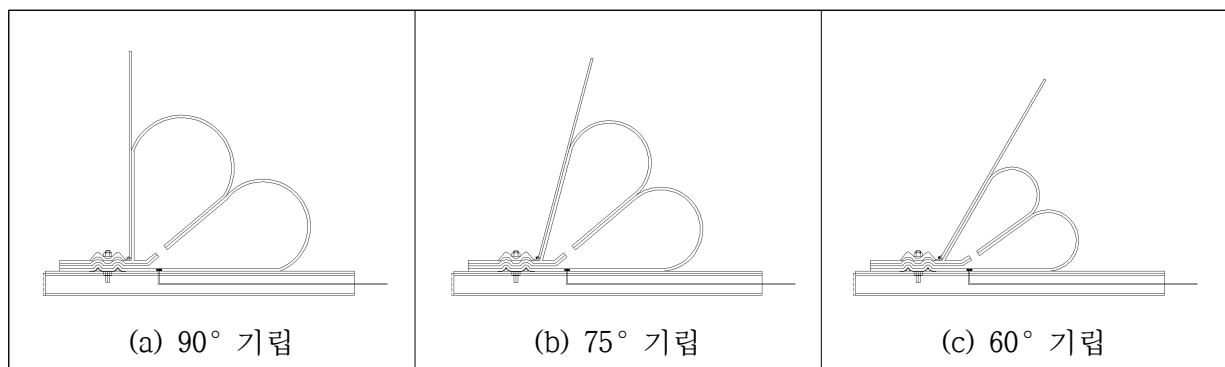
가. 서론

(1) 연구 목적

본 연구는 “수재해 대응 수자원 활용 기술과 IoT 통합 시스템 개발”의 일환으로 이수와 치수 기능을 가진 직립형 고무보(perpendicular rubber dam)의 개발 및 실용화를 위해, 직립형 고무보에 대한 수치모의를 수행하여 발생 가능한 여러 가지 수리학적(hydraulic) 문제점들에 대한 의견을 제시하고, 최적의 구조물을 설계하기 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다. 이때 직립형 고무보는 일반 고무보와 기능은 동일하나, Steel panel을 혼용하여 상대적으로 더 많은 저수량을 확보하고 이송 잡물로부터 에어백(airbag)을 보호할 수 있는 장점을 가지고 있다.

(2) 연구 범위

직립형 고무보 주변에서 발생하는 흐름특성을 분석하기 위한 공간적 범위(또는 계산 영역)는 Steel panel을 기준으로 상류(upstream) 방향으로 5 m, 하류(downstream) 방향으로 5 m 구간이며, 직립형 고무보의 높이는 1.0 m 이다. 시설물의 범위는 Steel panel, Upper airbag, Lower airbag 및 Clapping plate 등으로 구성되어 있으며, Airbag 내부로 주입되는 공기량에 따라 직립형 고무보가 기립(inflation) 또는 도복(deflation)되는 가동보(movable weir)의 특징을 가지고 있다. 따라서 수치모의는 다음의 그림과 같이 직립형 고무보의 기립각 변화에 따른 검토를 수행하였다.



〈그림 3-22〉 기립각 변화에 따른 직립형 고무보의 형상

(3) 연구 내용

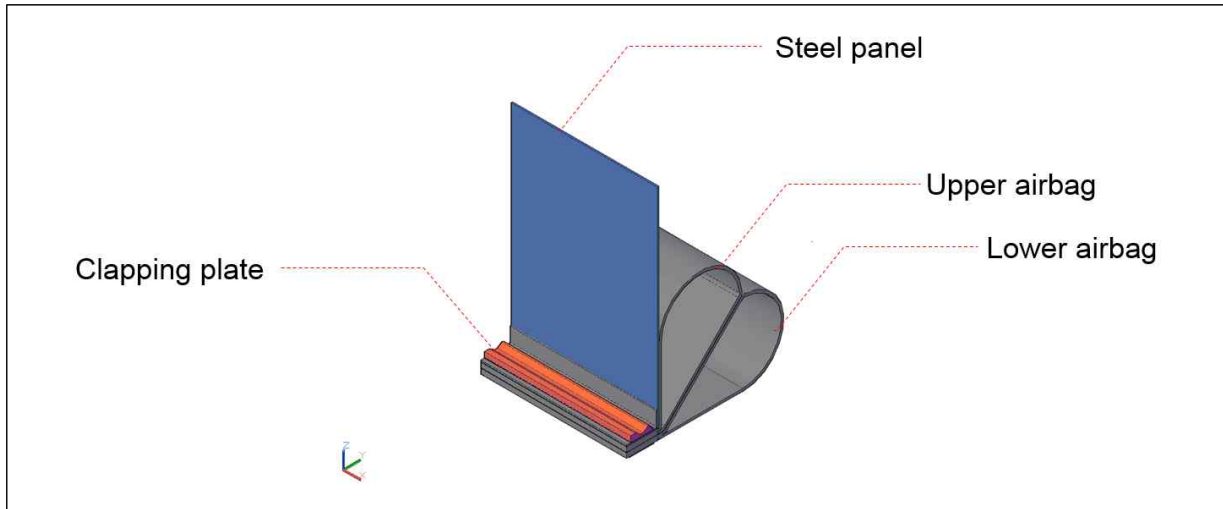
직립형 고무보의 다양한 기립 조건에서 수리학적 기능성 및 안전성 확보 여부를 검토하기 위해 수치모의를 수행하였으며, 주요 내용은 다음과 같다.

- 직립형 고무보의 월류량(또는 방류량) 검토
- 직립형 고무보의 유량계수(discharge coefficient) 검토
- 직립형 고무보의 수맥(nappe) 검토
- 직립형 고무보 주변 흐름특성(압력, 수위, 유속, Froude number) 검토

나. 기초자료 구성

(1) 구조물 구성

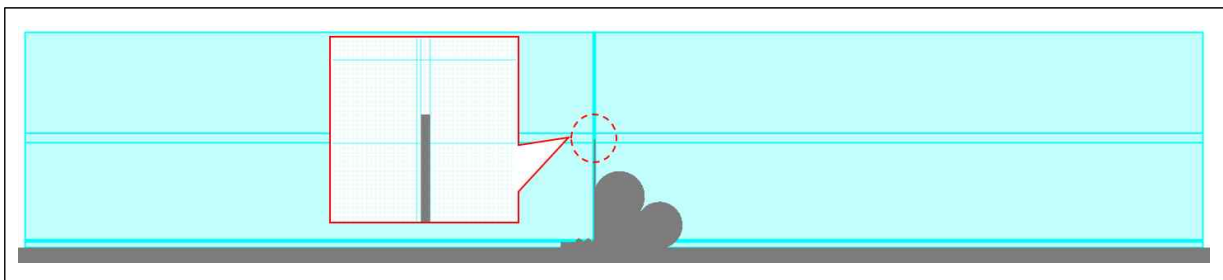
3차원 수치모의를 위해서는 지형 및 구조물의 형상을 3차원으로 입력하여야 하며, 이를 위해 지형측량 자료 및 설계 도면을 기초로 FLOW-3D 모형의 입력자료 형태인 STL (stereolithography) 형식으로 작업하여야 한다(〈그림 3-23〉 참조). 3차원 지형 및 구조물 구성은 형상의 난이도 및 자료의 품질에 따라 수시간에서 수주의 작업 시간이 요구되며, 경우에 따라 모의 결과를 좌우하기도 한다.



〈그림 3-23〉 3차원 구조물 구성 결과

(2) 격자 구성

격자는 단일블록(single-block)으로 구성하였으며, 직립형 고무보 주변 흐름특성 및 중요도를 고려하여, 흐름이 급변류(rapidly varied flow)이고 중요도가 높은 구조물 주변은 조밀하게 구성하고, 흐름이 점변류(gradually varied flow)이고 중요도가 낮은 구조물 주변은 느슨하게 구성하는 가변격자를 사용하였다. 격자는 총 924,000개가 사용되었으며, x축, y축 및 z축으로 0.005 m 간격을 적용하였다(〈그림 3-24〉 및 〈표 3-11〉 참조).



〈그림 3-24〉 3차원 격자 구성 결과

〈표 3-11〉 격자 내역

구 분	x, y, z축 격자수(개)	총 격자수(개)	격자 간격(m)
Block 1	2,200 × 1 × 420	924,000	x축, y축 및 z축 : 0.005
계	-	924,000	-

다. 매개변수

(1) 조고

조고(roughness height)는 수로 표면을 구성하고 있는 재료의 거칠기를 나타내며, 마찰의 척도를 나타낸다. Chow (1959)는 많은 실험 자료를 바탕으로 <표 3-12>와 같이 각 재료에 해당하는 조고를 범위로 제시하였다. FLOW-3D 모형에 <표 3-12>의 값을 적용할 수 있으나, 많은 프로그램(HEC-RAS, RMA-2 등)에 사용되는 매개변수인 조도계수와 동일한 값을 찾기 어렵다. 따라서 Christensen (1984)이 제시한 경험식 (3.2.1)에 의해 계산된 값을 적용하였다 (<표 3-13> 참조). 이때 식 (3.2.1)은 Manning' s 조도계수(n)와 조고(k_s)의 관계식이다.

$$n = \frac{k_s^{1/6}}{8.25 \sqrt{g}} = 0.039 k_s^{1/6} \quad (3.2.1)$$

<표 3-12> 재료별 조고의 범위(Chow, 1959)

재 료	조 고(m)
Brass, Copper, Lead, Glass	0.00003 ~ 0.00091
Wrought iron, Steel	0.00006 ~ 0.00244
Asphalted cast iron	0.00012 ~ 0.00213
Galvanized iron	0.00015 ~ 0.00457
Cast iron	0.00024 ~ 0.00549
Wood stave	0.00018 ~ 0.00091
Cement	0.00040 ~ 0.00122
Concrete	0.00046 ~ 0.00305
Drain tile	0.00061 ~ 0.00305
Riveted steel	0.00091 ~ 0.00914
Natural river bed	0.03048 ~ 0.91440

<표 3-13> FLOW-3D 모형에 적용된 조고

구 분	조도계수(n)	조 고(k_s)	비 고
개수로(open channel)	0.013	0.0014	Concrete
Steel panel	0.012	0.0008	Steel

(2) 기타 매개변수

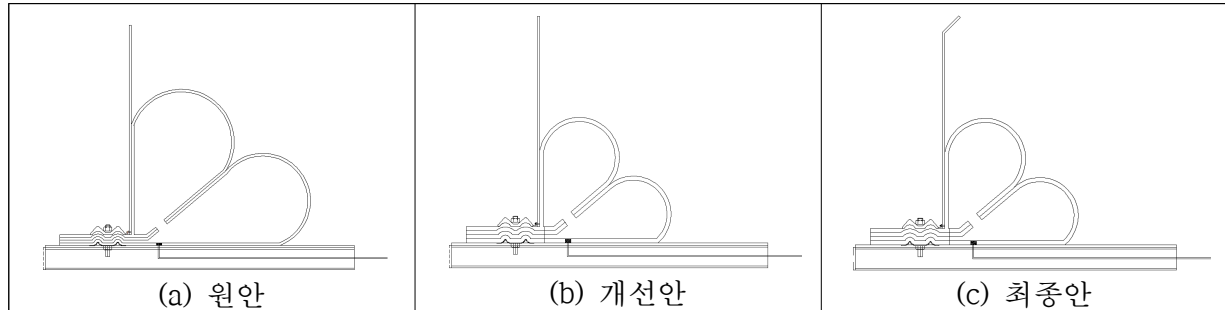
FLOW-3D 모형에 입력되는 기타 매개변수는 <표 3-14>와 같이 밀도(density), 점성계수(viscosity), 중력가속도(gravitational acceleration) 등이 있다.

<표 3-14> FLOW-3D 모형에 적용된 기타 매개변수

물리량	입력 값
밀도(ρ)	1,000 kg/m ³
점성계수(μ)	0.001 kg/m·s
중력가속도(g)	9.81 m/s ²

라. 수치모의 결과

직립형 고무보에 대한 수치모의는 <그림 3-25> 및 <표 3-15>와 같이 다양한 검토안에 대해 수행하였다. 검토안 중 원안은 최초 설계안을 나타내고, 개선안은 Airbag으로 수맥이 낙하되지 않도록 Airbag의 크기를 원안 대비 70%로 변경하였으며, 최종안은 Steel panel의 끝부분을 45° 구부려 개선안과 동일한 목적으로 변경하였다.



<그림 3-25> 직립형 고무보 검토안

<표 3-15>의 월류량은 수치모형에서 산정된 월류량을 단위유량으로 환산한 것이며, 유량계수는 식 (3.2.2)를 이용하여 산정하였다. 산정된 유량계수는 Rehbock (1929)의 경험식에 의한 유량계수 0.62보다 10~32% 크게 검토되었다. 이는 금회 검토안이 H/W(H: 월류수심, W: 보 높이)가 작은 조건에서 검토하여 차이가 다소 큰 것으로 판단되며, Aydin et al. (2011), Mahtabi and Arvanaghi (2018) 등의 실험 결과도 H/W가 작은 조건에서 Rehbock (1929)의 결과와 큰 차이를 보였다.

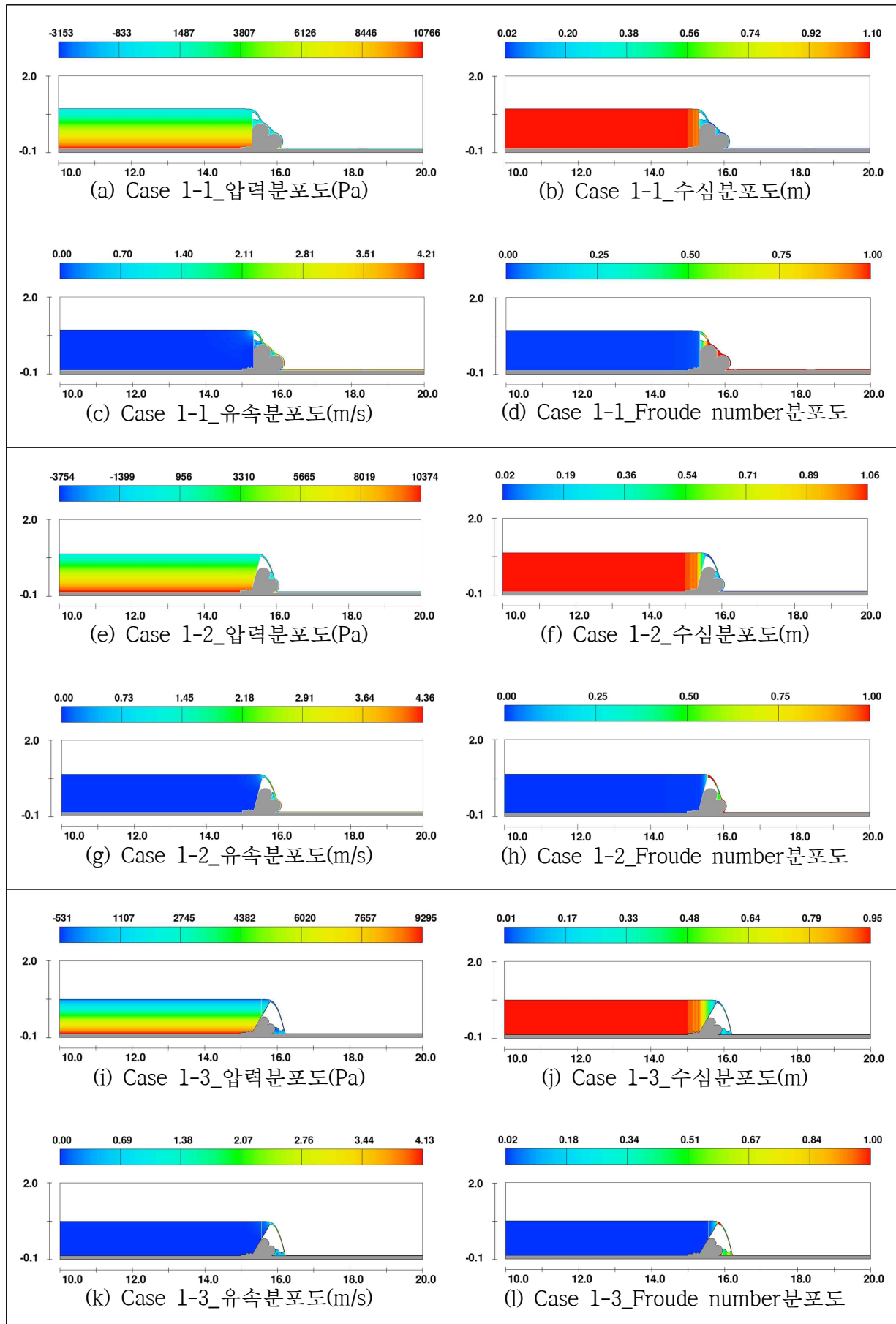
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} b H^{3/2} \quad (3.2.2)$$

<표 3-15> 직립형 고무보 검토안 및 결과

구 분		상류경계조건 (수심, m)	하류경계조건	Steel panel 각도(°)	월류량 (m ³ /s/m)	유량계수	수맥
원안	Case 1-1	1.10	Outflow	90	0.070	0.75	N.G.
	Case 1-2	1.06		75	0.056	0.68	N.G.
	Case 1-3	0.95		60	0.044	0.68	O.K.
개선안	Case 2-1	1.10		90	0.068	0.73	N.G.
	Case 2-2	1.06		75	0.058	0.74	O.K.
	Case 2-3	0.95		60	0.044	0.82	O.K.
최종안	Case 3-1	1.10		90	0.072	0.77	N.G.
	Case 3-2	1.06		75	0.076	0.73	O.K.
	Case 3-3	0.95		60	0.072	0.71	O.K.

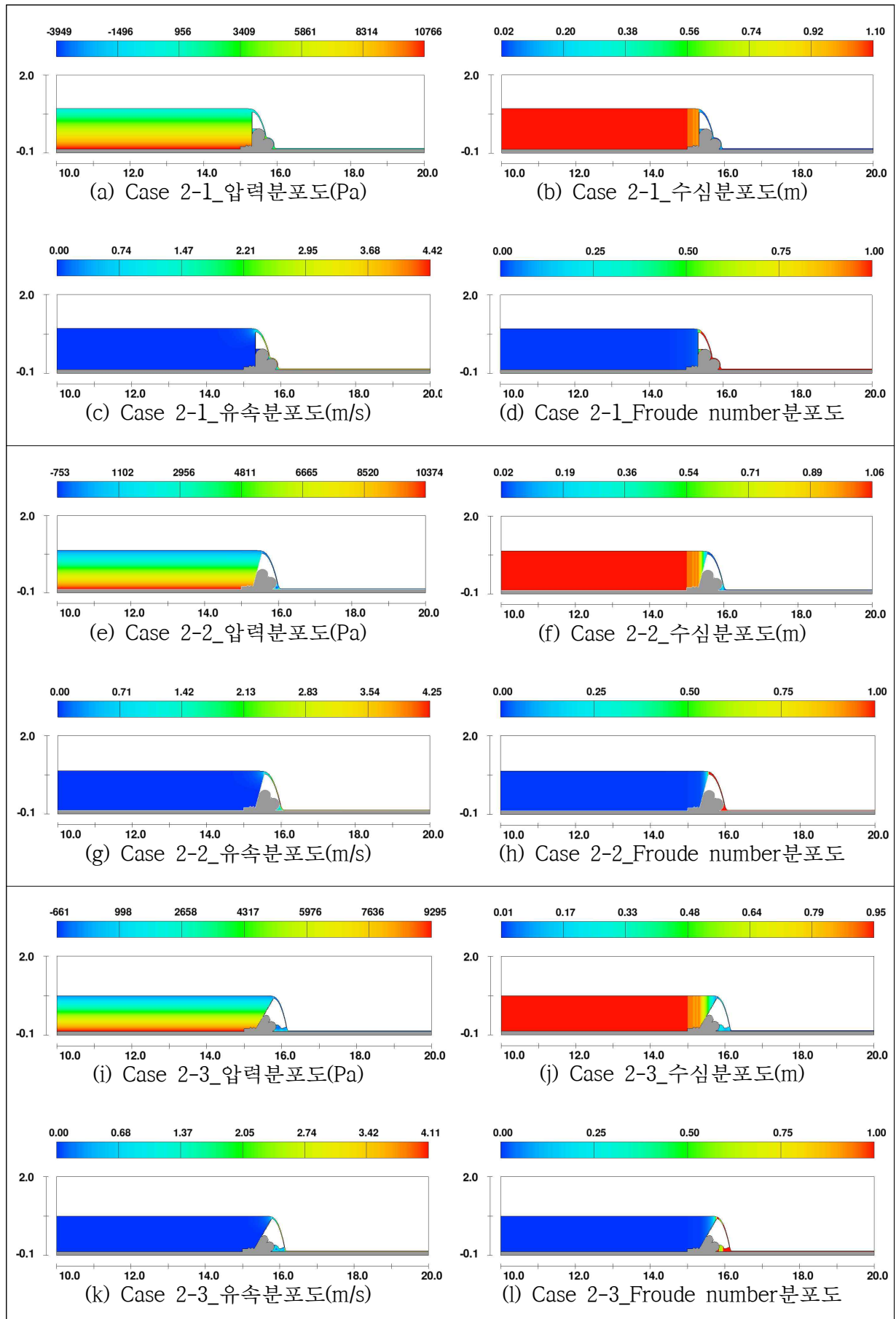
수치모의를 통해 계산된 흐름특성은 <그림 3-26>~<그림 3-28>과 같다. 원안의 경우 Airbag의 크기가 큰 특징을 가지고 있어 기립각 60° 이하로 운영될 때 Airbag으로 수맥이 낙하하지 않았으며, Airbag의 크기를 30% 축소한 개선안의 경우 기립각 75° 이하로 운영되어야 하는 것으로 검토되었다. 개선안에서 수맥이 더 멀리 사출되도록 Steel panel 끝부분에 45° 각도를 부여한 결과 사출거리는 길어졌으나, 기립각 90° 조건에서 Lower airbag에 수맥이 낙하하는 것으로 검토되었다.

(1) 원안



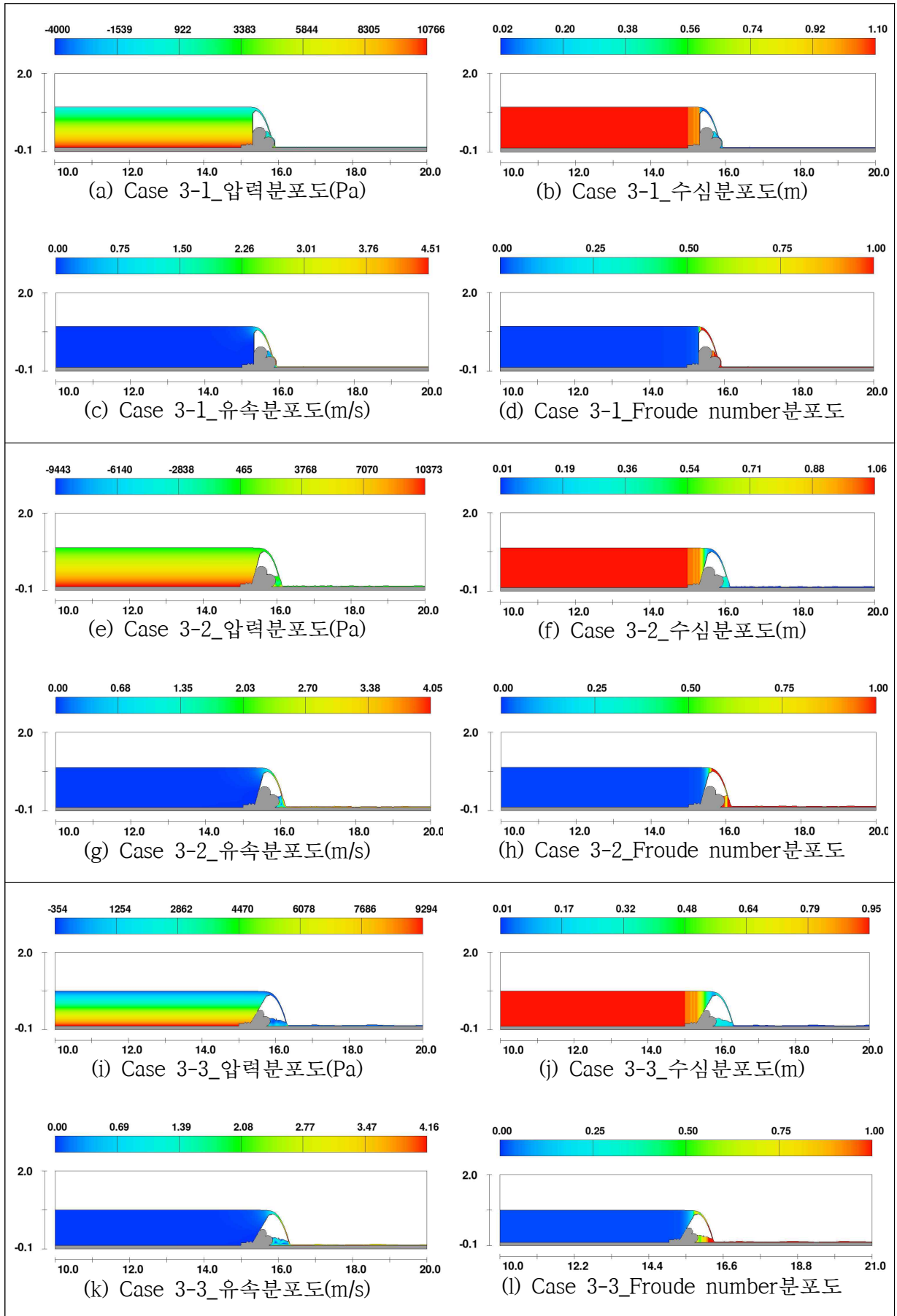
<그림 3-26> 원안에 대한 흐름특성 분포도

(2) 개선안



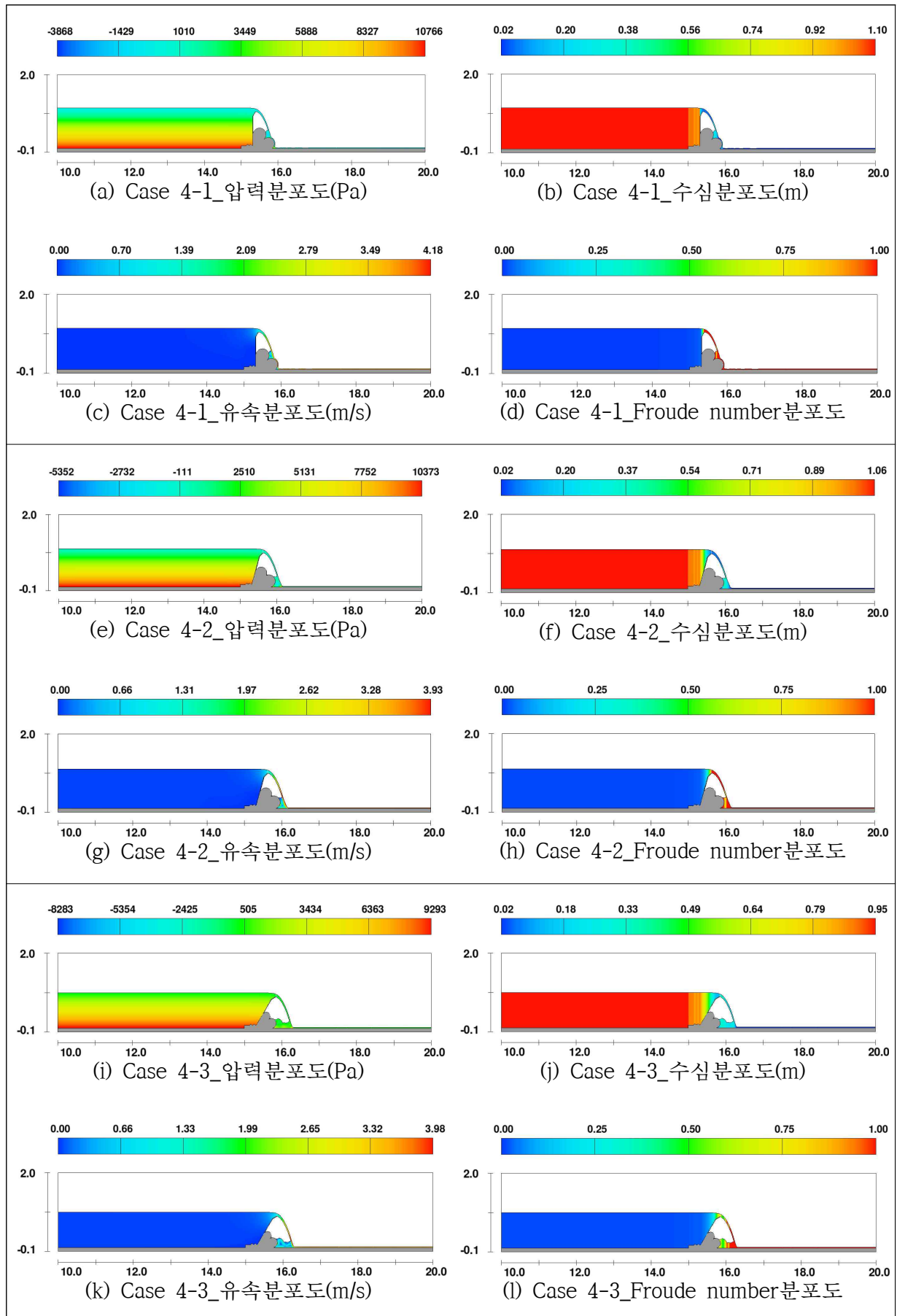
<그림 3-27> 개선안에 대한 흐름특성 분포도

(3) 최종안



<그림 3-28> 최종안에 대한 흐름특성 분포도

(4) 추가 검토안(Steel panel 끝부분 각도 60°)



〈그림 3-29〉 추가 검토안에 대한 흐름특성 분포도

마. 결론

본 연구에서는 직립형 고무보의 개발 및 실용화를 위해 RANS를 지배방정식으로 하는 FLOW-3D 모형을 이용하여 수치모의를 수행하였다. 수치모의는 직립형 고무보의 월류수심, 기립각 및 구조적 특성 변화에 따른 9개 검토안에 대해 수행하였으며, 결과의 분석에 앞서 모의 결과의 적정성을 평가하기 위해 Rehbock (1929)의 경험식과 비교하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

수치모의를 통해 계산된 유량계수는 0.68~0.82로 Rehbock (1929)의 경험식으로부터 계산된 유량계수 0.62보다 10~32% 크게 검토되었다. 이는 금회 검토안이 H/W가 작은 조건이기 때문인 것으로 예측되며, Aydin et al. (2011), Mahtabi and Arvanaghi (2018) 등의 실험 결과도 H/W가 작은 조건에서 Rehbock (1929)의 결과와 큰 차이를 보이는 것으로 조사되었다.

Steel panel이 없는 일반적인 고무보는 진동 문제를 해소하기 위해 핀(deflector) 구조를 Airbag에 설치하나 본 연구 대상의 고무보는 Steel panel이 있는 직립형 고무보로 진동 문제에 대한 흐름특성이 규명되지 않았다. 따라서 Airbag 상단으로 수맥이 낙하되는 경우 진동 문제가 발생될 것으로 가정하여 평가하였다. 원안의 경우 Airbag의 크기가 큰 특징을 가지고 있어 기립각 60° 이하로 운영될 때 Airbag으로 수맥이 낙하하지 않는 것으로 검토되었다. 이에 직립형 고무보가 더 높은 기립각으로 운영할 수 있도록 Airbag의 크기를 30% 축소시켰으며(개선안), 그 결과 75° 이하로 운영될 때 Airbag으로 수맥이 낙하하지 않는 것으로 검토되었다. 추가적인 Airbag 축소는 구조적인 한계가 있기 때문에 수맥의 사출거리가 길어지도록 Steel panel 끝부분에 45°의 각도를 부여하였다(최종안). 그 결과 사출거리는 개선안 대비 증가하였으나 여전히 75° 이하로 운영될 때 Airbag으로 수맥이 낙하하지 않는 것으로 검토되었다.

본 연구는 다양한 월류수심, 기립각 및 구조적 특성 변화에 따른 흐름특성 결과를 도출하였다. 수치모의 결과의 정확한 검증이 이루어지지 않았기 때문에 수리실험 등을 통한 검증이 필요할 것으로 판단되며, 기립각 90° 조건에서 수맥을 하류측으로 더 멀리 사출시킬 수 있는 대안 모색이 향후 연구에서 수행되어야 할 것으로 사료된다.

제2절 스마트 수문을 활용한 소규모 에너지의 개발

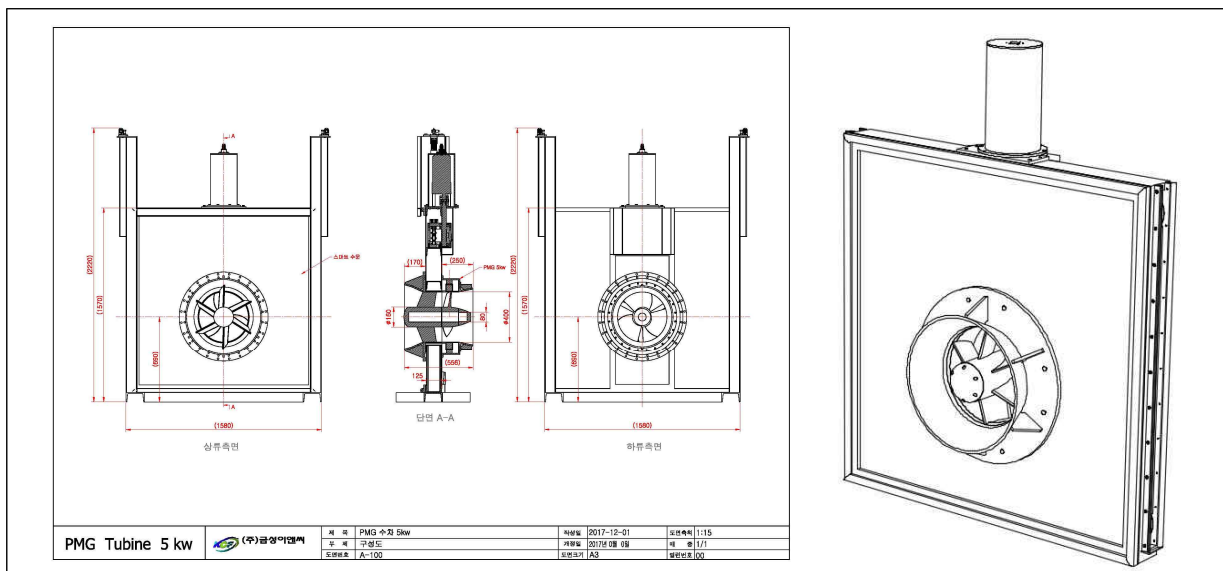
1. 연구개요

본 기술은 스마트 수문과 수차가 결합된 형태로 기존 검증된 수력기술을 활용하는 방식으로 수문을 사용하면서 별도의 구조물 건설 없이 수문 자체로 개폐 제어가 가능하며 부가적으로 수문에 프로펠러형 수차를 부착하고 환형의 PMG(Permanent Magnetic Generator, 영구자석 발전기)가 결합된 발전기술로 수문의 특징인 계획된 낙차와 유량을 활용하여 소규모 발전이 가능하도록 한 소규모 낙차에 의한 에너지 회수를 위한 연구이다.

본 연구는 러너와 회전자의 동시 회전에 의한 결합구조와 환형태의 PMG 활용으로 낙차와 유량의 변동에 수차의 운영 범위가 넓다. 주요 기술의 내용 및 특징으로는 저 회전의 수운할 베어링이 적용된 기술로서 하천 및 해양 등의 수질에 영향이 없는 우위성 있고, 소형화 및 경량화를 통해 스마트형 수문에 탈·부착이 가능한 형태로 단순한 구조로 인해 경제적이며, 기존의 수문을 개량 사용하므로 공기 및 시간의 단축과 유수소통을 통한 환경적인 측면에 기여할 수 있으며, 기존의 시설물에 부가적인 건설로 인하여 발전소 건설에 대한 사회적 갈등을 원천적으로 해소 할 수 있으며, 간단한 구조와 결합으로 인하여 정기점검 및 유지보수가 용이한 획기적인 발전방식이다.

가. 스마트수문 형상도

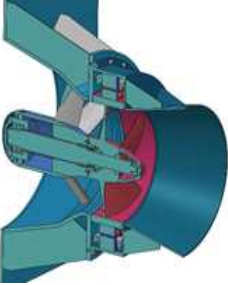
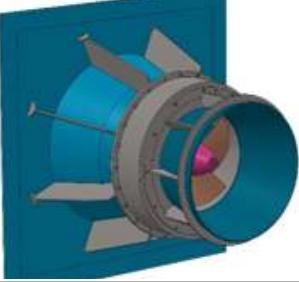
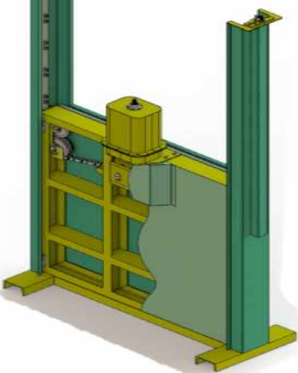
기술의 내용은 아래그림에서 보여지는 바와 같이 기존의 수문(1.5m x 1.5m)에 수문의 상부에 권양장치를 설치하여 수문을 개폐가 되도록 하여 권양데크를 사용하지 않음으로 하여 토목 구조물의 추가 설치를 축소하는 구조를 가지고 있으며, 수문 내부에 공간을 활용하여 수문을 인양하기 위한 구조적 배치로 일석이조의 기능을 갖도록 구성하였다. 수문의 하부 중앙에는 환형의 영구자석발전기와 수차를 배치하였다.



〈그림 3-30〉 스마트 수문과 수차가 결합된 형태

나. 스마트수문 특징

〈표 3-16〉 스마트 수문과 소규모 발전의 특징

구분	특징
	· 러너와 결합된 환형의 PMG를 적용 · 공간의 활용성이 우수한 장점 · 스마트 수문과 소규모 발전의 활용 · 유량의 영역별 표준화가 가능한 장점
	· 적용 가능한 영역별 기술로 설계 시간 단축 · 발전 시설 건설 시 발생하는 60% 이상의 토건 비중이 10% 이하로 축소 · 제작, 건설 및 시공성이 1/3로 단축되는 혁신적이면서 경제적인 장점
	· 기존의 수문 설비를 활용하여 발전함으로서 사회적 갈등의 요소가 전혀 없음 · 친환경적 기능인 유수소통과 공간의 활용 · 환경파괴 및 소음, 별도의 발전소 대형 건축물 건설 감소 · 미관이나 심미적 기능으로도 환경적 사회적 문제 야기를 해소

다. 연구내용

〈표 3-17〉 연구과제 및 주요내용

주요 연구활동	세부추진내용
관련자료 조사 및 분석	· 시장 동향 분석 · 스마트 수문과 소규모 발전의 활용 · 유량의 영역별 표준화가 가능한 장점
스마트 수문을 활용한 소규모 에너지의 개발	· 러너와 결합된 환형의 PMG를 적용 · 공간의 활용성이 우수한 장점 · 스마트 수문과 소규모 발전의 활용 · 유량의 영역별 표준화가 가능한 장점

2. 연구수행내용

가. 시장조사

(1) 국내 시장 분석 및 사업화 전망

국내 소수력 관련 개발 잠재량을 검토해 본 결과 <표 3-18>과 같이 하천, 저수지, 농업용 보 등 768개 지점, 개발가능량 456,997kW 인 것으로 조사되었으며, 특히 하천의 수자원공사의 댐 및 친환경 보를 활용한 시설물을 사용할 경우 에너지 잠재량이 연간 803.380MW로 조사되었다. 이 외에도 <표 3-19>와 같이 한국농어촌공사의 저수지 등의 경우 정부 신재생에너지 보급 정책목표 등 기후변화에 대처하기 위해 준정부 기관으로서 적극 참여하는 등 수자원과 물 재이용을 통한 신재생 에너지 사업은 활발히 진행되고 있으며, 용수공급 외에 에너지회수 및 수자원 활용의 복합기능을 가지는 수자원의 이용은 그 시장성이 크다고 판단된다.

<표 3-18> 국내 소수력 개발 잠재량

구분	지점수	개발가능량 (KW)	에너지 잠재량 (MW/년)	비고
일반하천	72	305,700	803,380	친환경 보
농업용 저수지	180	30,064	92,176	
농업용 보	232	46,843	164,137	가동보 3m 이용 가정
댐 이용	20	15,800	55,363	
양식장 이용	129	8,442	66,558	유효낙차 6m 가정
정수장 이용	70	17,641	131,360	유효낙차 10m 가정
하수처리장 이용	59	8,385	62,437	유효낙차 5m 가정
화력발전소 냉각수 이용	6	24,122	126,785	이용율 60% 가정
계	768	456,997	1,502,196	

<표 3-19> 한국농어촌공사 신재생에너지 개발 사업 연도별 추진현황 (단위 : 백만원, kW)

구분	총 계획		2014년 까지		2015년		2016년 이후	
	사업비	발전 규모	사업비	발전 규모	사업비	발전 규모	사업비	발전 규모
계	209,179	54,481	109,821	29,053	21,485	6,820	77,873	18,608
소수력	75,476	22,574	53,875	16,459	5,212	1,190	16,389	4,925
태양광	109,703	22,907	50,946	9,594	11,084	3,630	47,673	9,683
풍력	24,000	9,000	5,000	3,000	5,189	2,000	13,811	4,000

앞서 검토한 내용과 같이 국내 신규 수자원 관련 개발 뿐 아니라 가뭄 대비 수자원 확보 및 기존 저수지 및 하천 그리고 하천내 농업용 보 등의 노후화 개선 및 성능 향상을 위한

사업 투자가 적지 않으므로 최근의 기후변화 대응을 위한 통합 수자원 활용 시스템을 적극 홍보하고 사업화 추진을 수행 한다면 국가 수자원의 효율적 이용 가치가 향상될 것이라 판단 된다.

(2) 수력 발전 관련 주요국가별 시장 규모

최근 수력동향이나 시장 전망자료에 따르면 세계 수력시장의 규모는 2035년까지 약 1.6~1.9 배 성장 할 것으로 기대되고 있다. 남미 및 동남아시아 개발 국가들의 경우 중·대규모 이상의 신규 수력개발이 700GW 정도를 개발 할 것으로 예상하고 있으며, 이는 신규 개발에 따라 기존의 소수력도 통계상 약 4~5GW정도의 시장은 형성될 것으로 예측된다. 수력시장의 선도 기술은 유럽 위주로, 양적 성장은 중국에 의해서 주로 진행되고 있으며, 신규 수력의 개발도 기존의 선진 기업-ANDRITZ, GE, VOITH-과 함께 저가의 경쟁력과 자국의 구매 특성이 강한 중국-동광 전기, 하얼빈 수력, 저푸 수력 발전등-이 주도 할 것으로 예상하고 있다. 수력시장의 변화는 전통적인 방법의 신규 수력과 소규모 틈새 자원의 개발과 양극화된 다양한 형태의 소규모 수문에 적용된 마이크로 수차의 변형 및 개발이 주류를 이루고 있다. 특히 개발도상국에서 소규모 수력자원의 활용과 용수공급, 물의 재이용 측면의 경제성, 기술 신뢰성 등을 고려하여 소수력의 개발이 중점을 이루고 있다. 이에 대한 시장 점유율 역시 전통적으로 수력의 기술력 차원의 유럽과 방대한 자본과 경제력을 내세워 양적인 팽창을 유지하려는 중국의 시장 진입으로 각축전을 벌이고 있다.

- (가) 글로벌 시장의 경우 총 1,050GW 설치되어 글로벌 발전용량의 19%, 발전량의 17%를 차지함
- (나) 중국, 브라질, 미국, 캐나다, 러시아가 글로벌 총 설치량의 51%를 차지함
- (다) 알바니아, 콩고, 네팔 등은 수력발전량이 전력생산의 대부분을 차지함
- (라) 기술적으로 실현가능한 수력발전 잠재력 대비 25%만이 개발되어 수력발전 잠재력이 풍부함
- (마) 북미, 유럽(CIS 포함)은 잠재력대비 30%, 호주·오세아니아도 27% 수준이 개발되었으며 아시아는 23%, 남미는 20% 개발됨

수력시장의 신규설치는 전세계 2035년까지 722GW가 증가하여 가스(1,392GW), 석탄(1,085GW), 풍력(1,427GW) 다음으로 증가하고 있어 시장 개척 가능성이 많다.

그러나 최근 국내 관련 기업들은 국내 시장성에 한계를 느끼며 베트남, 인도네시아, 파키스탄 등 동남아 중심으로 EPC 단독 또는 발전회사와 EPC 컨소시엄 형태로 사업을 추진하고 있는 상태이나 아직도 대부분의 소수력 설비들은 국외 선진 제작사들이 공급하고 있다. 이중 국내에서 개발이 가능하고 개발품의 적용이 가능한 스마트 수문수차의 분야는 아직 시장 조사 및 적지조사 등이 이루어지지 않은 관계로 별도로 구분하여 정리되진 않았으나 소수력시장의 성장 추세를 고려하고 아래의 시장 동향을 고려해 볼 때 시장성은 매우 큰 편이다.

〈표 3-20〉 주요 국가의 수력 발전 현황 및 시장 규모

구분	수력 발전 주요 국가 현황 및 시장 규모
중국	가장 빠르게 성장하는 세계 최대 시장으로 수력이 총 발전설비용량의 21.8%, 2010년 213GW에서 2020년 380GW로 증가 예상
인도	2010년 40GW에서 2020년 62GW로 증가 예상 되며, 수력발전 잠재량은 150GW로 추정
베트남	수력발전 설치용량은 2011년 8.3GW(총 발전용량의 43%, 발전량의 29%)로 2020년까지 15.4GW로 7.1GW 증가 예상
인도네시아	수력 잠재량은 76GW로 추정되며, 수력발전 용량은 2011년 5GW(총 전력량의 7%공급)에서 2020년까지 5.9GW로 증가 예상
브라질	수력발전이 총 발전용량의 78%를 차지하는 전통적인 수력중심
아프리카	수력발전용량은 2010년 27GW에서 2020년 43GW로 16GW가 증가 전망되며, 수력발전 잠재력이 높음
우리나라	수력발전 설비용량은 남한 1,767MW, 북한 6,920MW로 북한은 약 70%(4,844MW)가 노후화되어 통일 시 신규 및 다양한 수력 개발이 예상

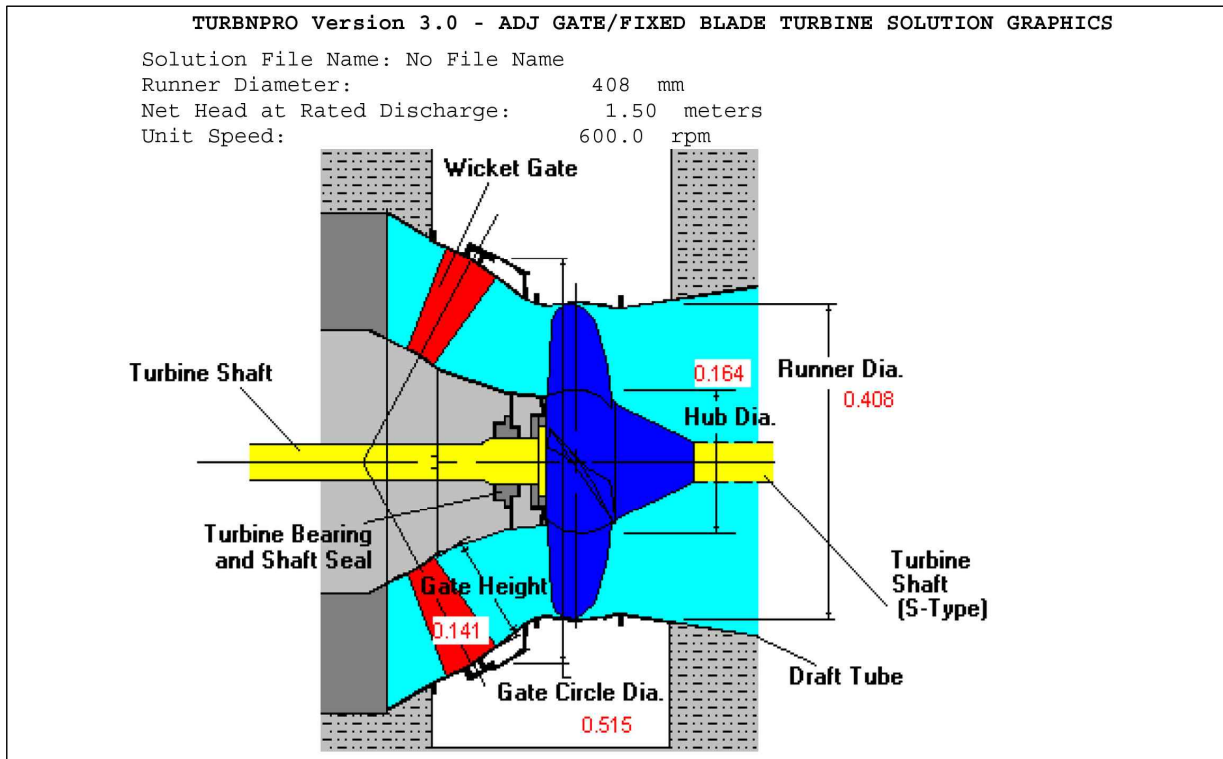
나. 설계

(1) 5kW 포켓식수차(영구자석발전기(PMG) 일체형 프로펠러수차) 설계

최근의 수력 설계는 기본적인 기구의 설정과 낙차 및 유량의 선정이후 설치하고자하는 상태와 발전 운영 조건 및 환경이 정해지면 수차 전문 프로그램 및 기초설계를 통하여 제원을 결정하고 이를 확인해보고자 전산수치해석을 통하여 수력 성능을 검증 하는 방법이 사용되고 있다.

(가) 수력설계 : 수차 데이터 활용(수차런너, Intake, Draft tube 등)

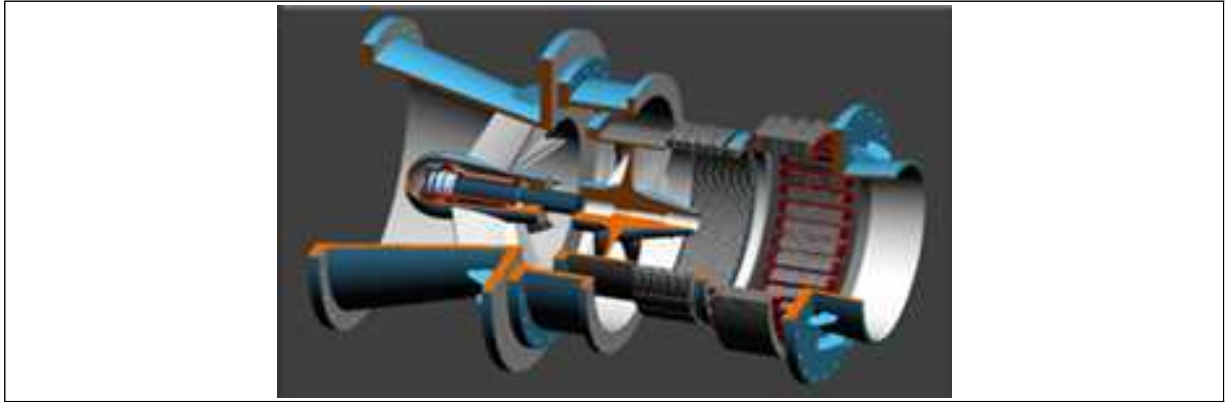
수문 블록 회피 개도량 개략 범위 산정 : 수두, 유량, 시간 등 다양한 조건 변화에 대한 최적 활용을 위해 수차설계 및 운영 안에 반영하였다.



〈그림 3-31〉 포켓식수차 설계과정

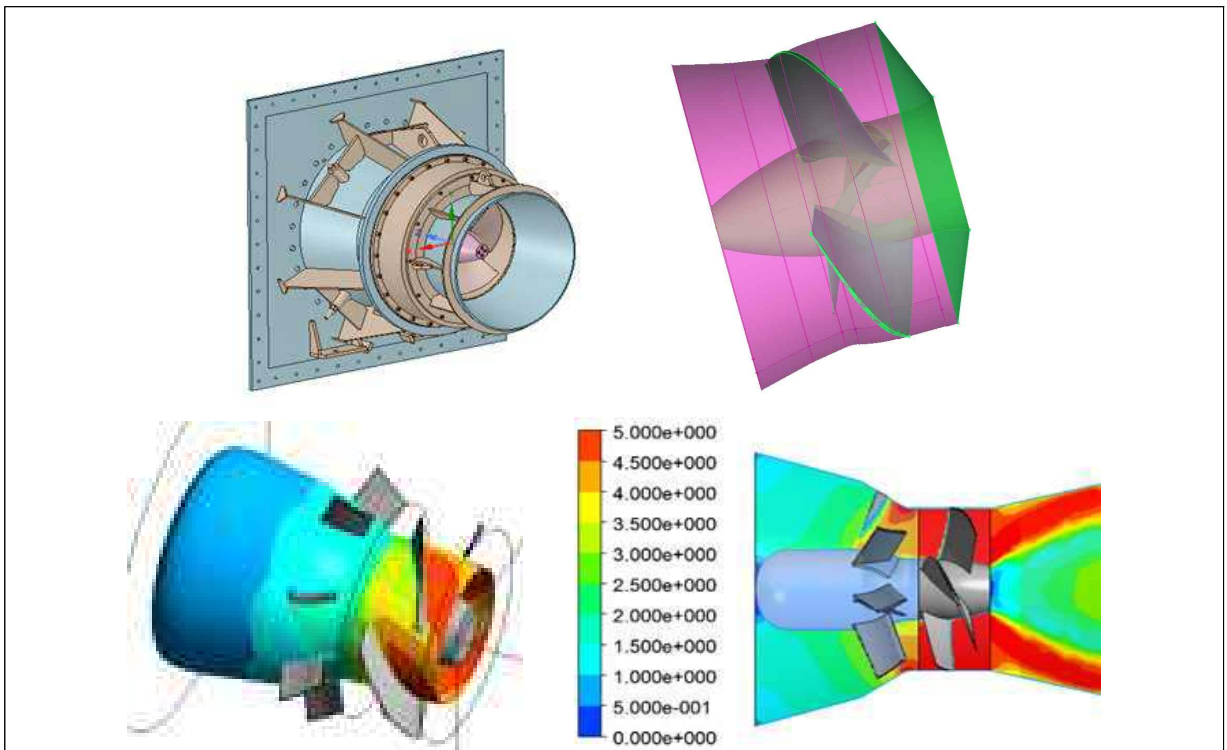
〈표 3-21〉 수차발전기 제원

구분	항목	단위	제원
Runner	직경	mm	400
	날개수	개	3
	블레이드얼림각	각도	고정, (21°)
	Hub 직경	mm	160
Shaft	직경	mm	80
	길이	mm	556
Stay Vane	수량	개	6
Inlet	형식		Bell Mouse/Pocket Type
	입구경	mm	600
D/T	직경	mm	480
발전기	형식	type	영구자석발전기
	용량	kW	5kw(max : 7kW)

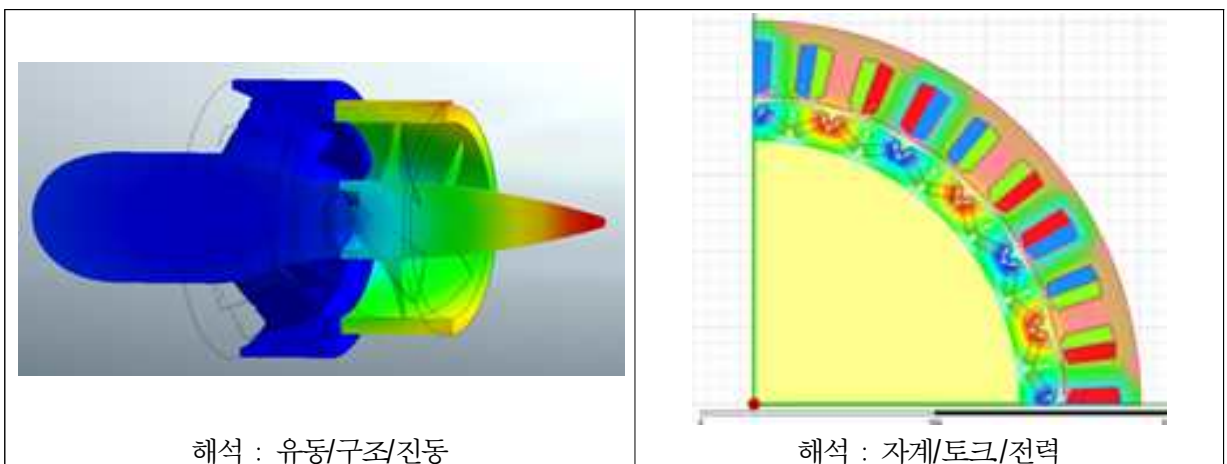


〈그림 3-32〉 3D 모델링 : 수차발전기 형상 모델링 및 조립 예상도 작성

수차의 기본제원이 정해지고 제작에 앞서 수력성능을 사전검증하고 기본 제원에 따라 설계된 수차의 특성을 보고자 아래와 같이 유동해석을 수행하였다.



〈그림 3-33〉 수차의 유동해석 형상



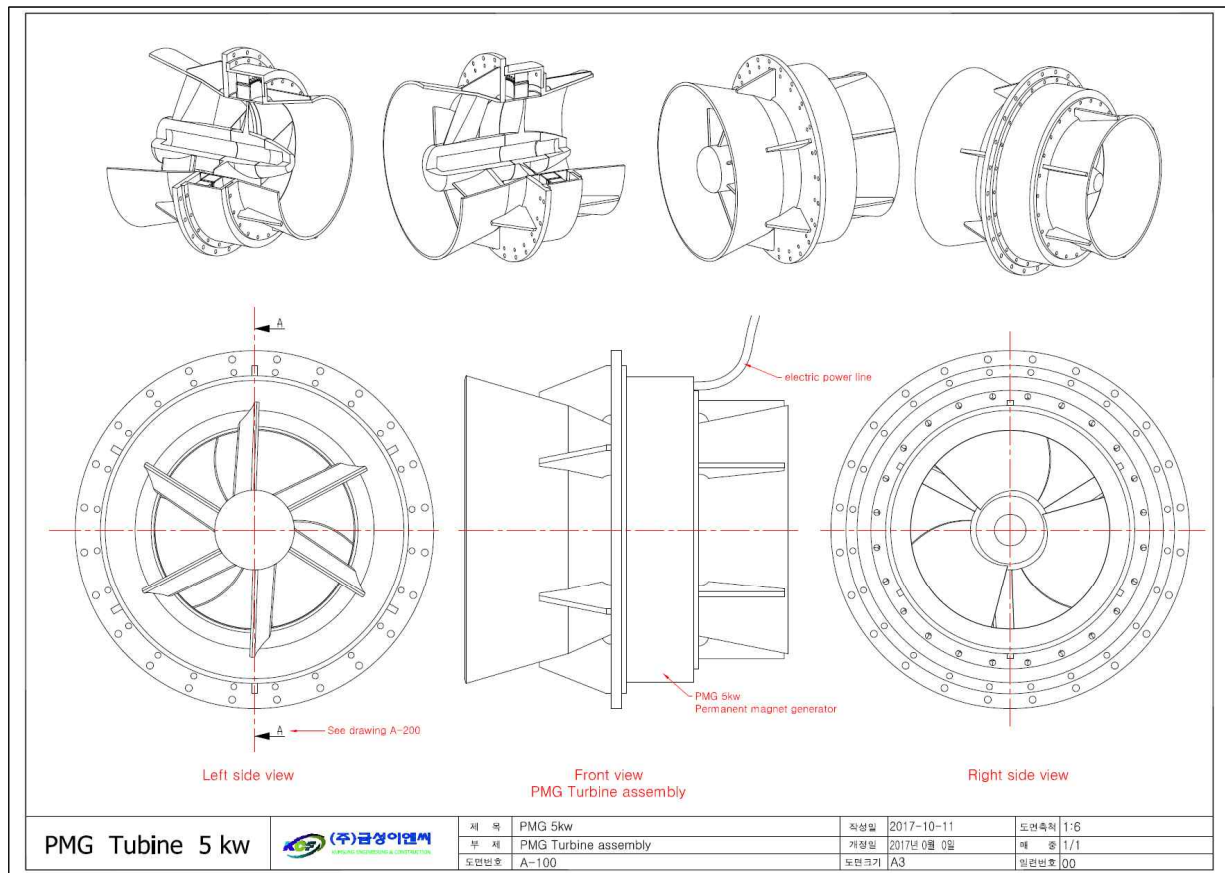
〈그림 3-34〉 CFD/FEM/자계해석 : 수차(유력/변위/진동), 발전기(자력/토크/전력)

(나) PMG효율 및 모델 구성, 분석

- ① 코어설계 : 장하분배법(슬롯크기, 점적률을 고려하여 권선사양 및 코어형상 설계)
테스트베드에 장착하여 효율시험을 할 수 있도록 브라켓 및 샤프트를 설계하였다.
샤프트, 로터코어 블록, 스테이터코어 블록, 하우징, 앤드벨 등으로 구성하였다.
- ② 자력 가속체를 적용한 회전체 설계 및 자계해석
장하분배법에 의한 코어형상 설계를 바탕으로 최적화 설계 프로세스를 통하여 유한요소 해석을 수행하였다.
- ③ 발전기의 경우 수중에 잠기는 구조로 인하여 외부로 이어지는 전력선의 고정과 실링에 주안점을 두고 설계하였다.

(다) 포켓식수차 도면

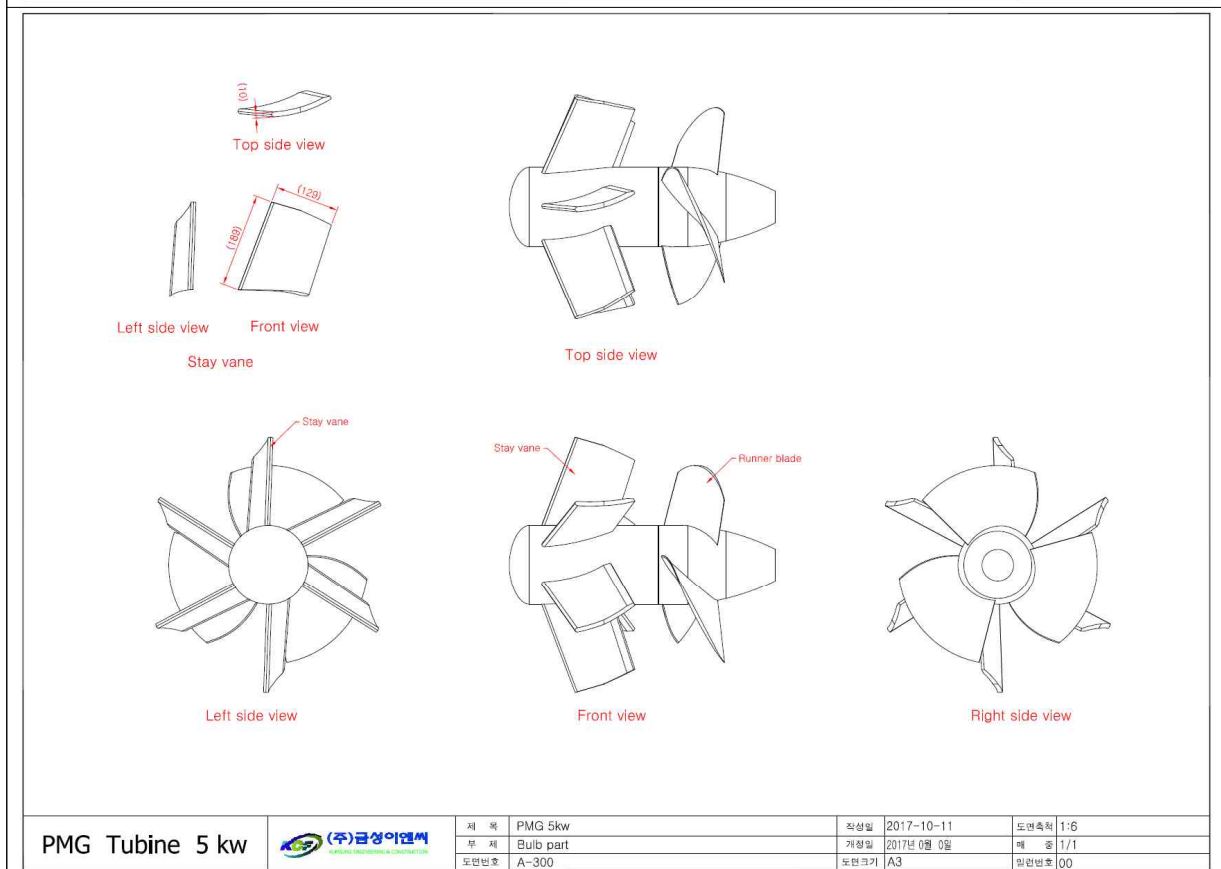
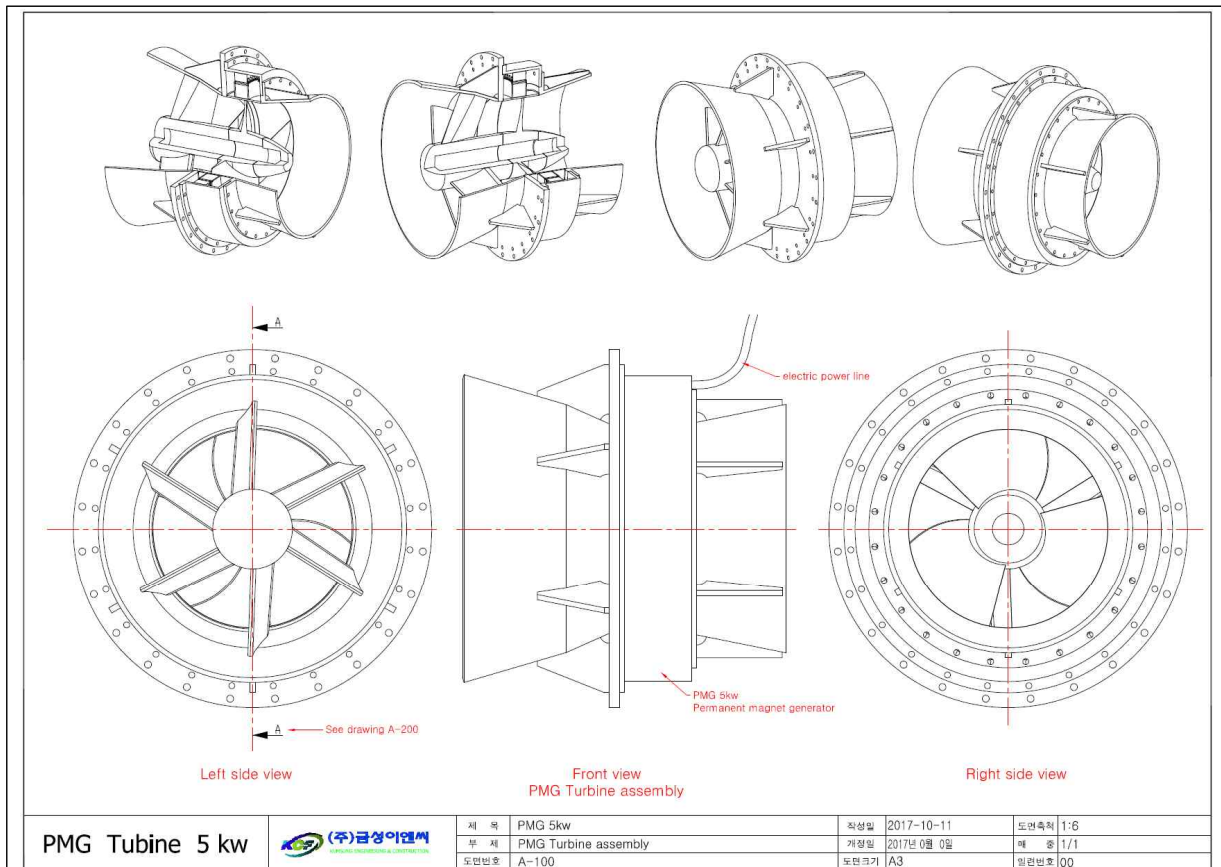
수차의 기본제원에 따라 CFD를 수행하고 제작을 위한 도면을 확정하였다.



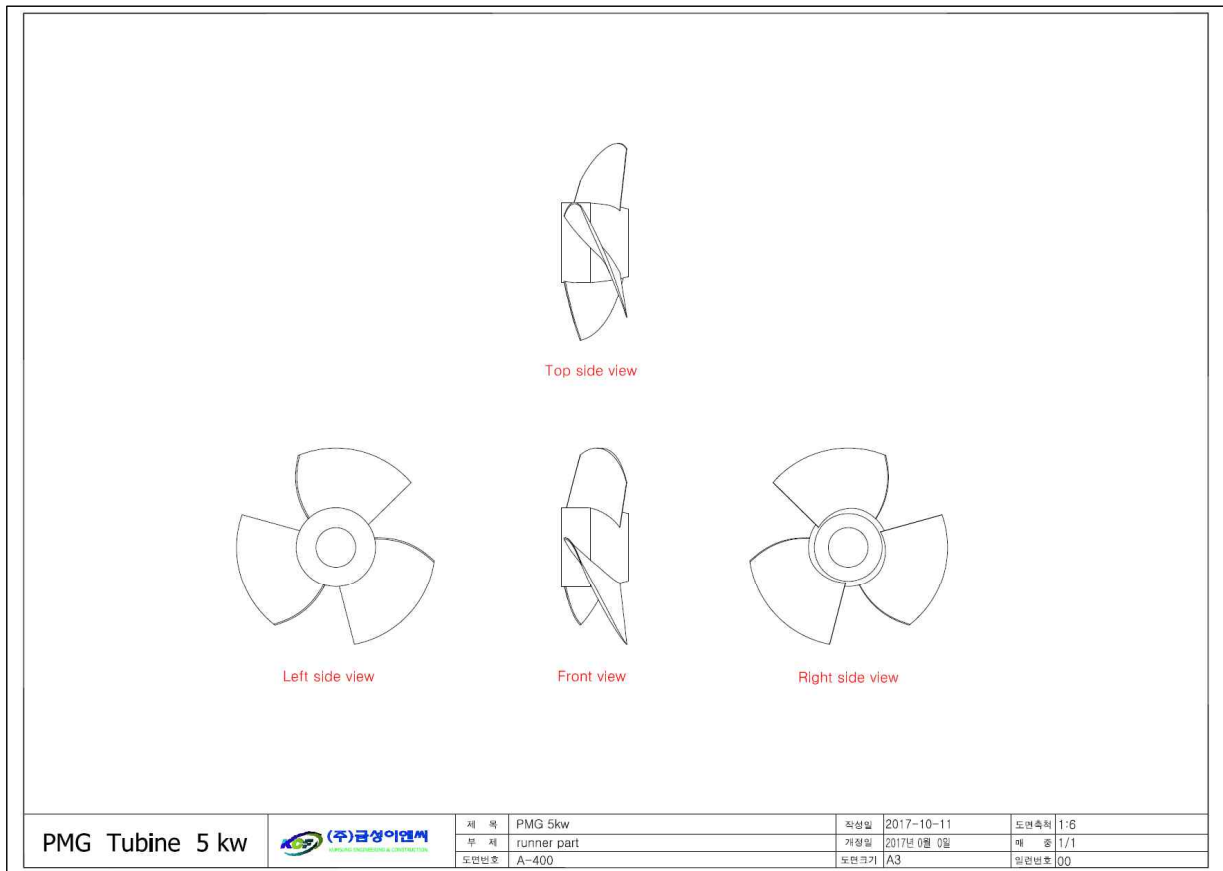
〈그림 3-35〉 포켓식 수차 도면

(라) 특허 등록

“인양수문의 급제동 장치” 특허를 등록하였다. 이 특허는 수문에 결합된 수차의 중량에 의한 이탈 및 파손시를 대비한 안전한 구조물 운영을 위한 보조 장치로서 파생된 특허이이며, 수문 운영시 발생할 수 있는 위험 요소에 대한 안정성을 확보할 수 있는 기술이다.



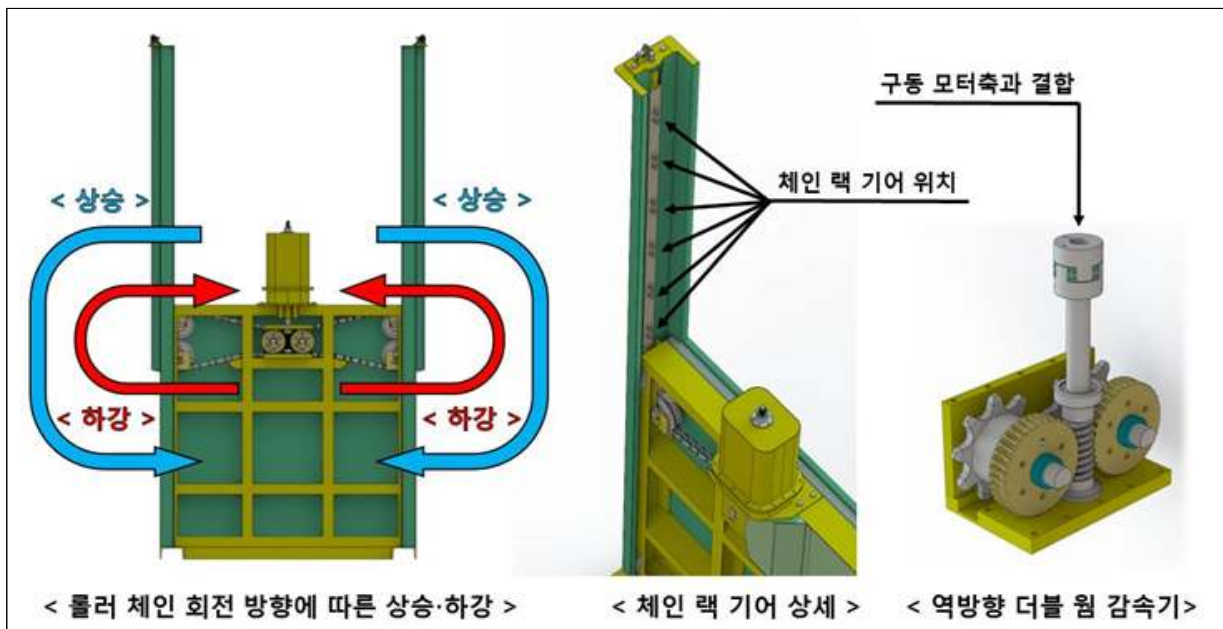
〈그림 3-36〉 포켓식 수차 도면



<그림 3-37> 포켓식 수차 도면

(2) 스마트수문 설계

(가) 스마트수문의 작동원리 검토



<그림 3-38> 스마트수문의 작동원리 검토

① 구동모터 축과 역방향 더블 웜 감속기

구동모터의 축이 웜축을 회전시켜 웜기어가 서로 다른 방향으로 회전하여 롤러체인이 연결된 체인스프로켓을 회전시킨다. 유압식과 다르게 정확한 동조로 수문을 개폐한다.

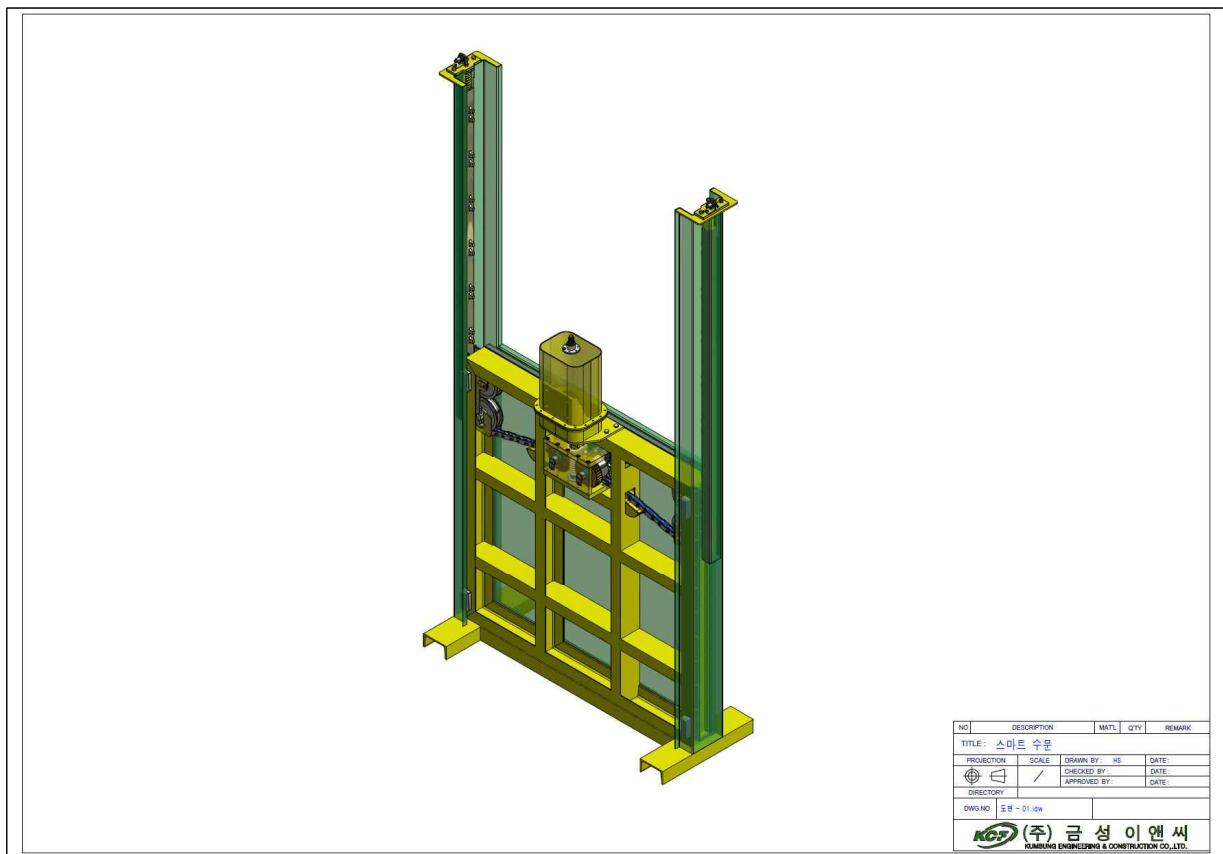
② 롤러체인과 체인 랙 기어

롤러체인이 수직으로 연속된 체인 랙 기어와 맞물려 회전하면서 문비는 롤러체인의 회전방향에 따라 상승 및 하강 운동을 하게 된다.

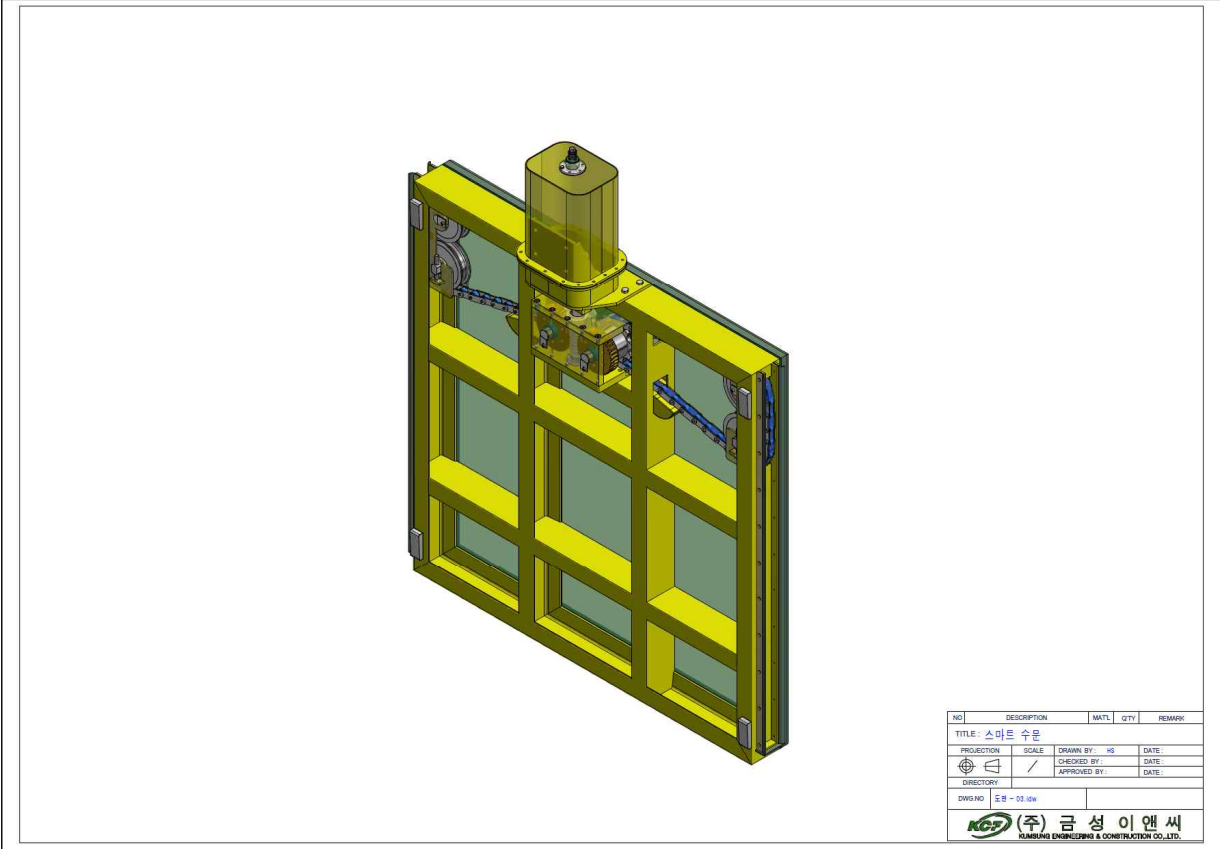
③ 과부하에 의한 파손 방지

수문 하강시 하부에 이물질이 걸려서 과부하가 발생하면 체인 랙 기어를 롤러체이니 위로 밀어 올리게 되어 이를 감지한 센서가 동작을 멈추게 하여 파손을 방지한다.

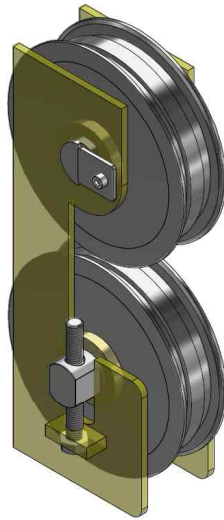
(나) 스마트수문 설계도면



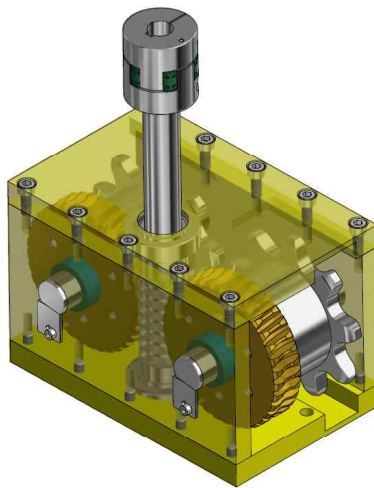
〈그림 3-39〉 스마트수문 설계도면



〈그림 3-40〉 스마트수문 설계도면

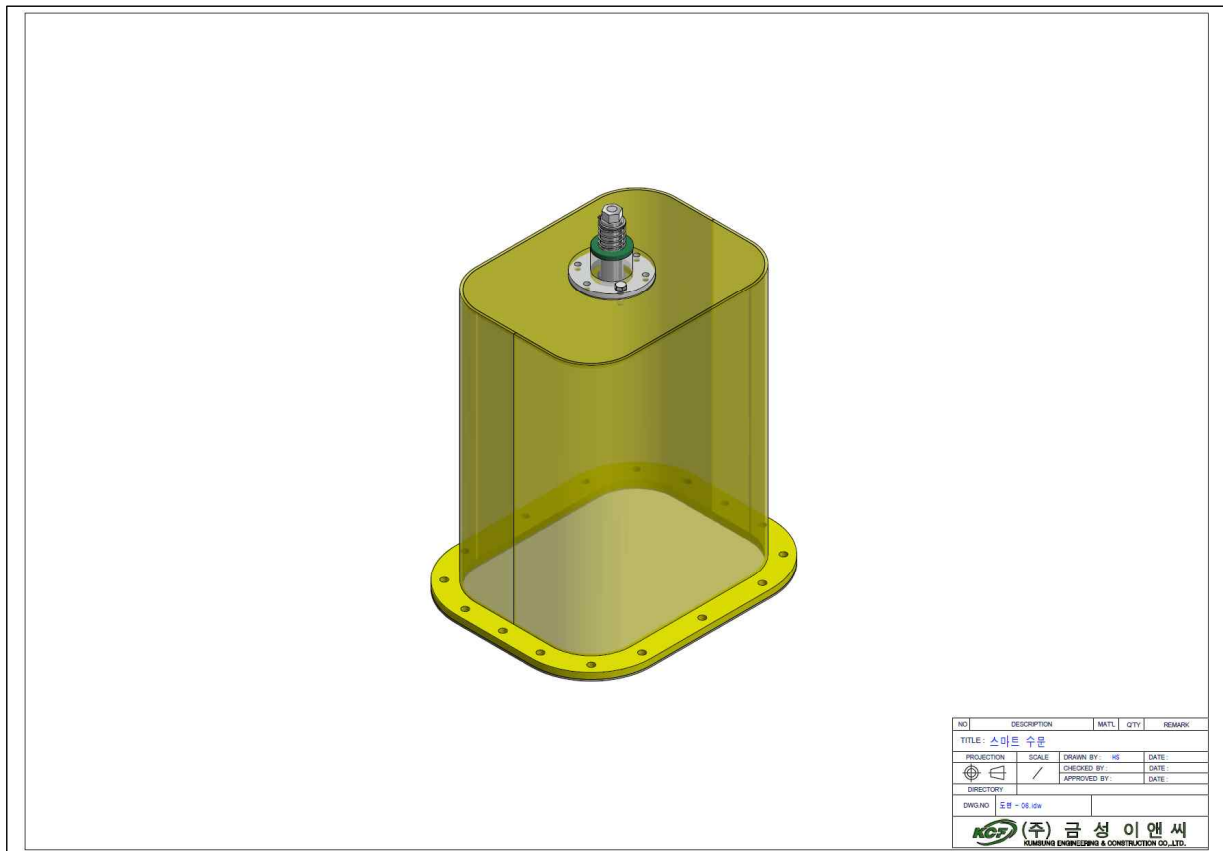


NO	DESCRIPTION	MATL	QTY	REMARK
TITLE : 스마트 수문				
PROJECTION	SCALE	DRAWN BY : HS	DATE :	
	/	CHECKED BY :	DATE :	
		APPROVED BY :	DATE :	
DIRECTORY				
DWG NO	도면 - 04 (a)			
 (주) 금 성 이 엔 씨 KUMHANS ENGINEERING & CONSTRUCTION CO., LTD.				



NO	DESCRIPTION	MATL	QTY	REMARK
TITLE : 스마트 수문				
PROJECTION	SCALE	DRAWN BY : HS	DATE :	
	/	CHECKED BY :	DATE :	
DIRECTORY		APPROVED BY :	DATE :	
DWG NO	도면 - 05 (a)			
 (주) 금 성 이 엔 씨 KUMHANS ENGINEERING & CONSTRUCTION CO., LTD.				

〈그림 3-41〉 스마트수문 설계도면

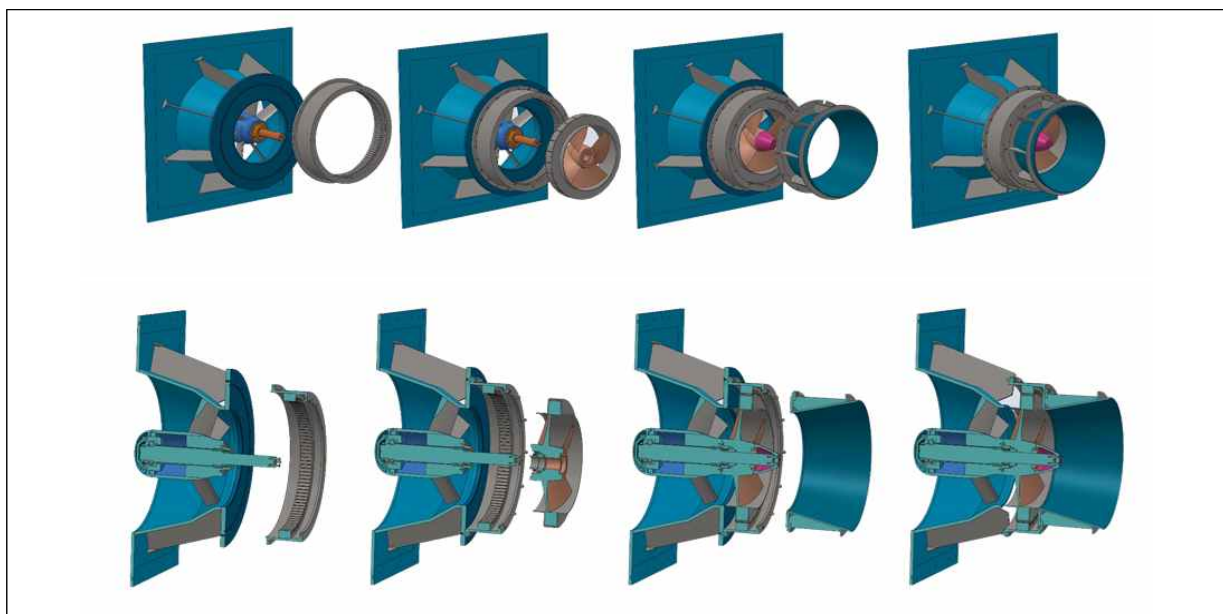


〈그림 3-42〉 스마트수문 설계도면

다. 제작

(1) 5kW 포켓식수차(영구자석발전기(PMG) 일체형 프로펠러수차) 제작

(가) 수차 제작 조립도



〈그림 3-43〉 수차 제작 조립도

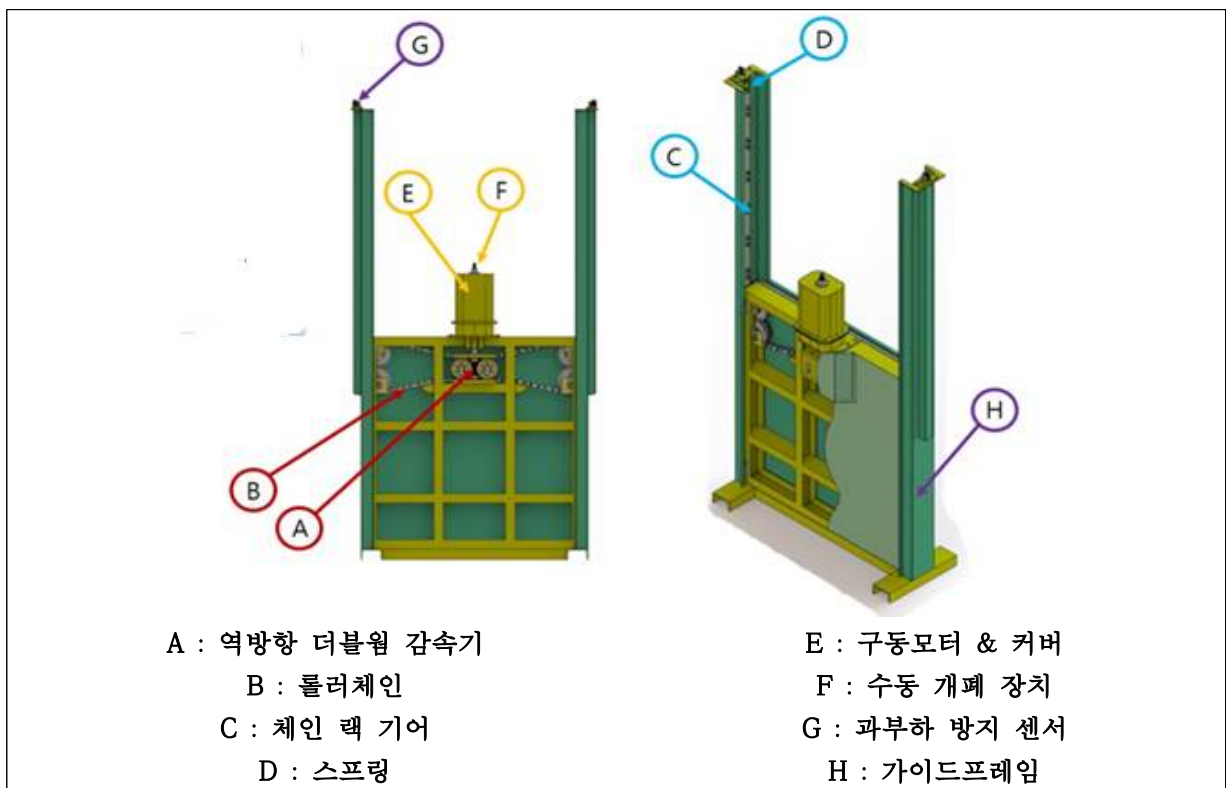
(가) 수차 제작 사진



<그림 3-44> 수차 제작사진

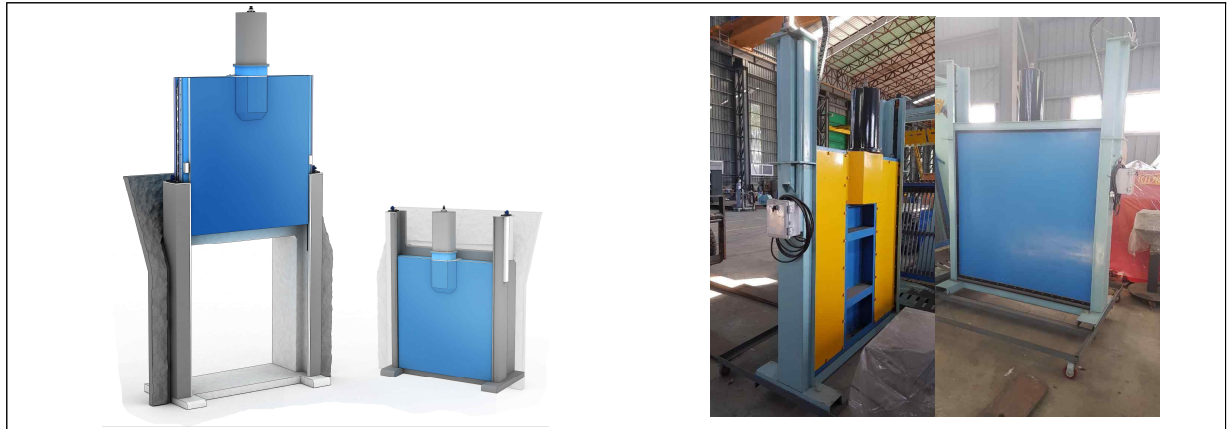
(2) 스마트수문 제작

(가) 스마트수문 기본구조



<그림 3-45> 스마트 수문 기본구조

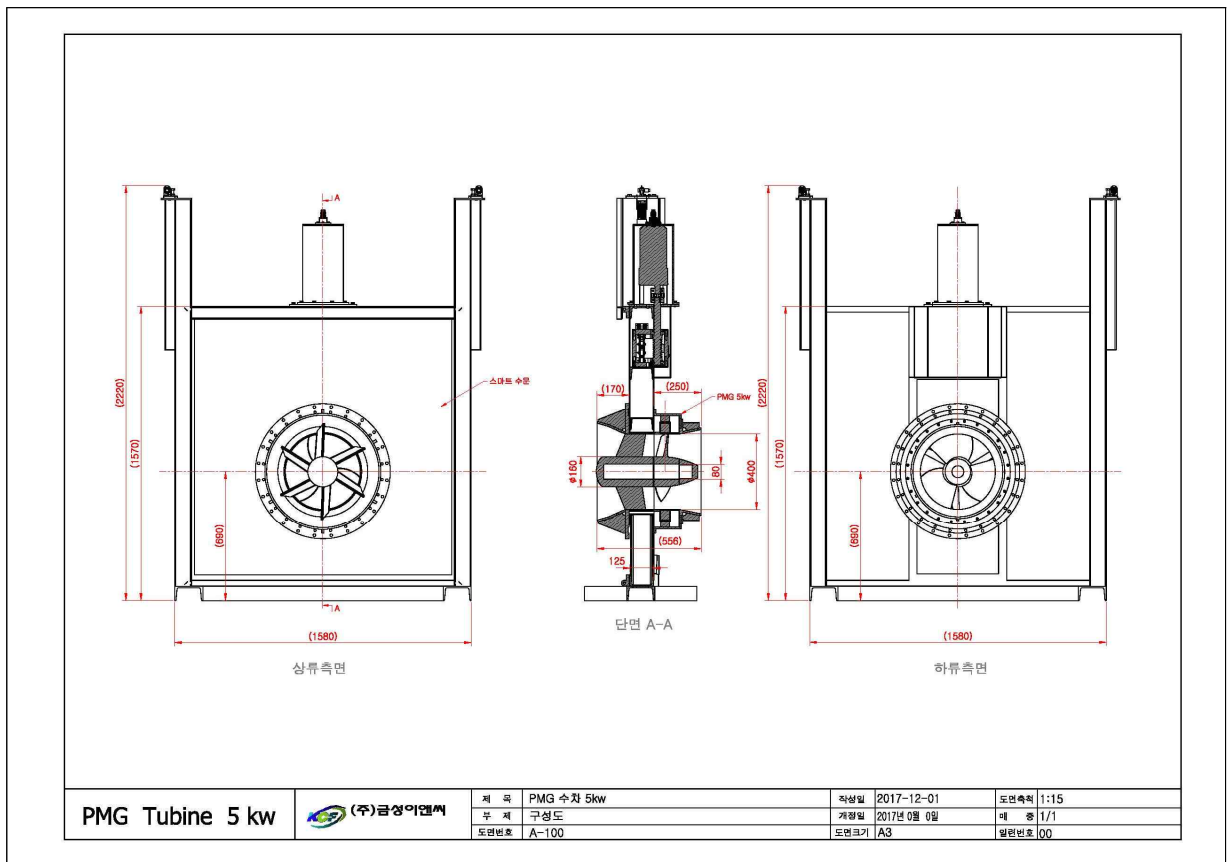
(나) 스마트수문 제작 사진



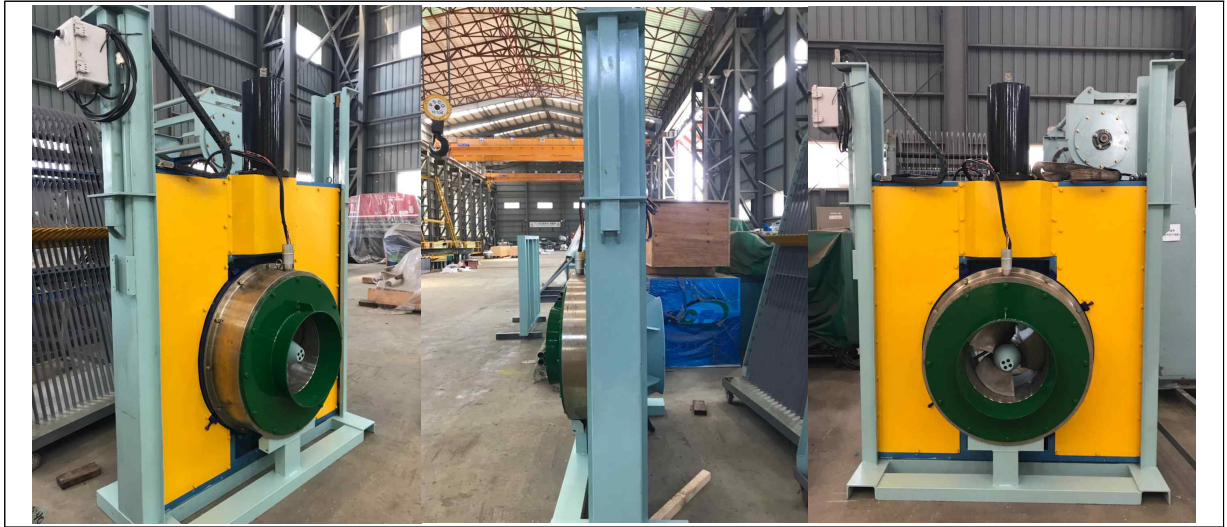
〈그림 3-46〉 스마트 수문 제작사진

(3) 조립

설계되고 제작된 스마트수문과 수차발전기를 스마트 수문의 하단 중앙부에 아래 그림과 사진에서 보는 바와 같은 형태로 조립하였다.



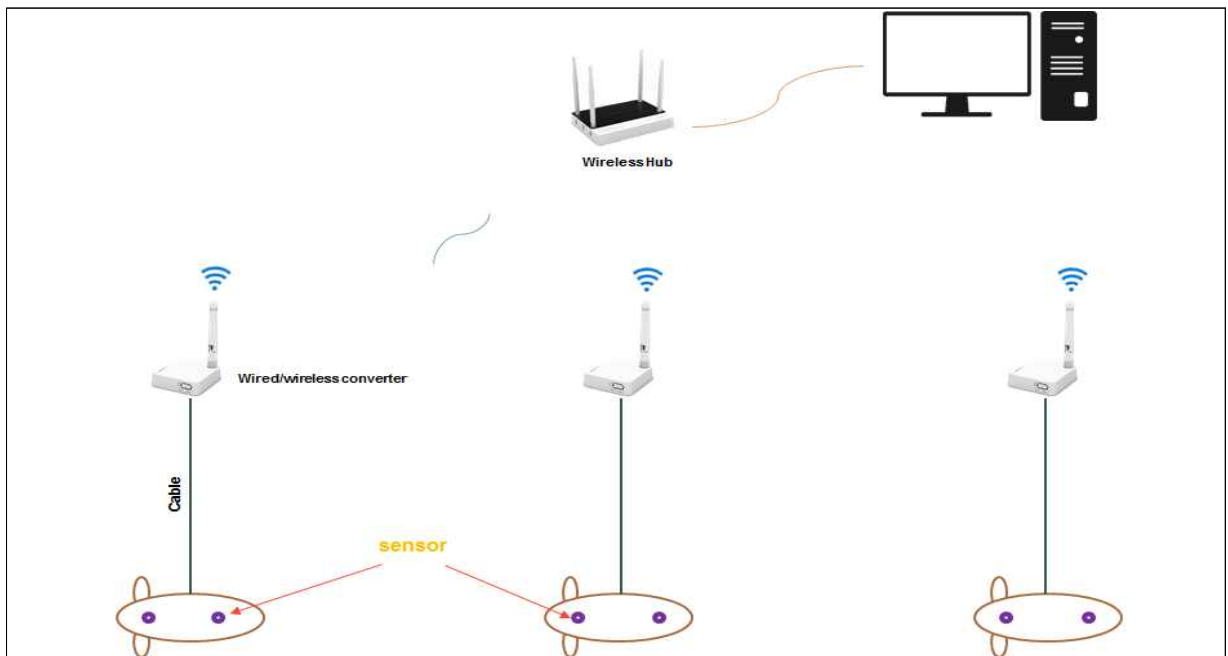
〈그림 3-47〉 스마트 수문 + 수차 조립도



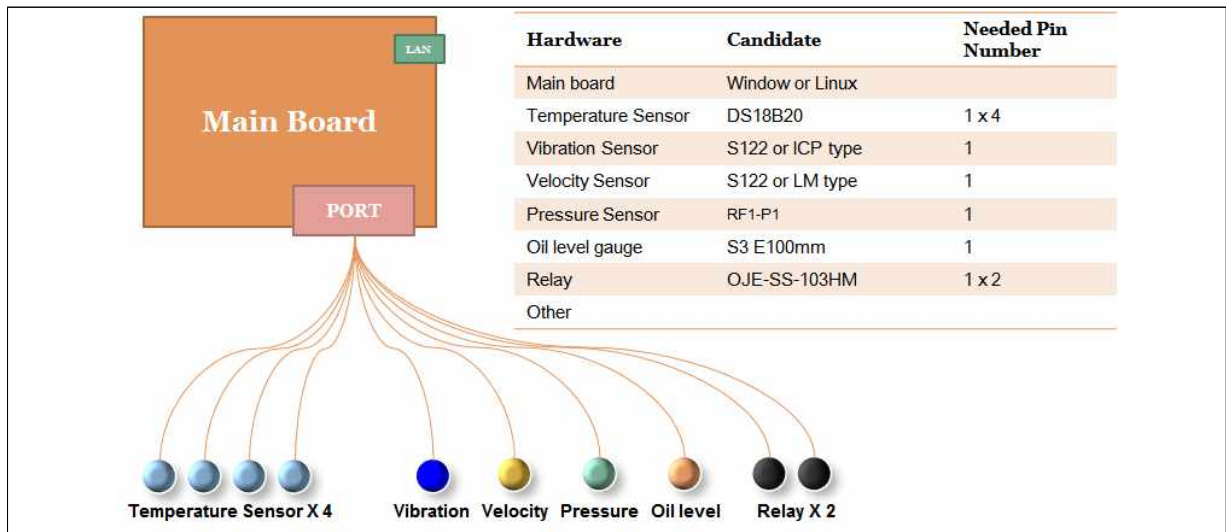
〈그림 3-48〉 스마트 수문 + 수차 조립 사진

라. IoT 활용성 검토

스마트 수문수차에 대하여 소규모 발전원이며 수차 및 발전기가 수중에서 작동되는 점을 고려하여 센서 및 각종 정보의 수집용 보드를 활용하여 스마트 수문수차를 제어 할 수 있는지의 확인과 IoT 연계성을 검토하여 보았다. 검토 결과는 〈그림 3-49〉의 모식도와 〈그림 3-50〉과 같이 기본 정보를 수집할 수 있는 측정용 센서와 미니보드를 수차발전기에 내부에 부착하여 기존의 상용화된 무선 인터넷과 접목하여 스마트 수문수차에 적용한다면 제어 및 상태 정보의 수집 및 활용이 가능한 것으로 검토되었다.



〈그림 3-49〉 스마트 수문수차 IoT 활용도



〈그림 3-50〉 스마트 수문 센서 블럭도

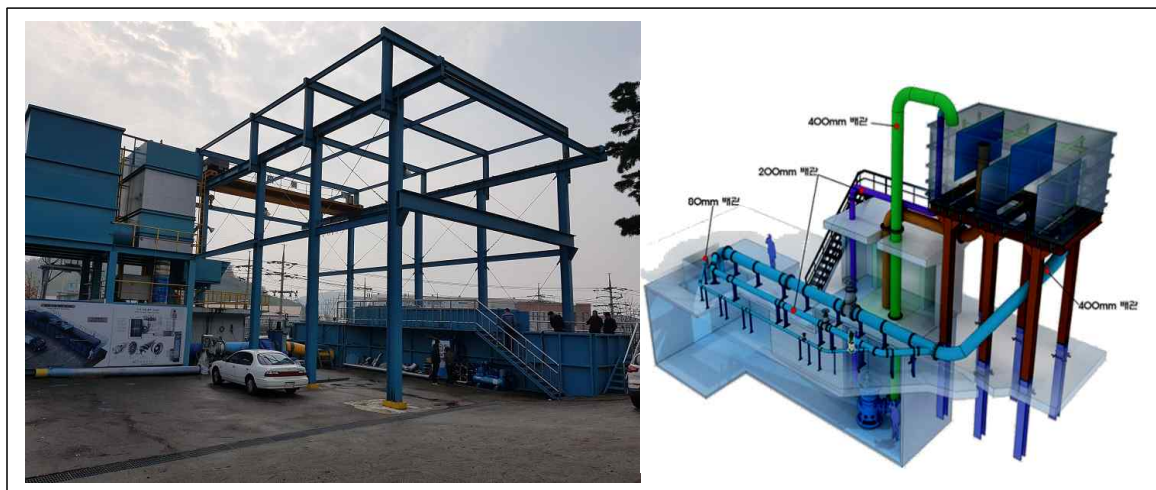
마. 성능시험

외부의 3m크기의 가동보 및 스마트 수문수차 동시 시험을 위한 시설이 국내에 없으므로 금성이앤씨에서 보유한 수조시험장 및 수력성능 시험장의 시험설비를 개조하여 활용하는 것으로 계획하였다. 시험설비는 하부의 수조에 저장되어 있는 물을 상부의 탱크로 이송하여 임의로 낙차를 조성하고 수차를 설치하여 가동시키면서 시험하는 설비로 구성되어 있다. 타워형의 시험 설비는 운영 중 유량과 낙차를 측정하였으며 발전된 출력은 임의의 장치인 부하기(load bank)를 사용하여 소멸시켜가면서 수력설비의 출력성능을 장치를 이용하여 측정하는 것으로 계획하였다. 또한 객관성의 확보를 위하여 외부 전문기관 또는 산학연의 시험확인서로 확인 받는 것을 검토하였다.

(1) 성능시험방법

(가) 시험목적 : 수자원의 효율적인 활용을 위해 개발된 소수력수차의 효율 성능 평가

(나) 시험현장 : 금성이앤씨 수력성능시험장



〈그림 3-51〉 시험현장

(다) 시험대상

〈표 3-22〉 시험대상

대 상	형 식	제 원	비 고
소수력용 수차	수문수차	유량 : $\leq 1\text{m}^3/\text{s}$ 유효낙차 : 1.5 m(최소), 3.0m(최대) 발전량 : 5 kW	스마트 수문수차

(라) 시험방법

- ① 유량계법 : 현장 설치 유량계를 사용하여 유량 측정

(마) 시험개요

① 시험조건

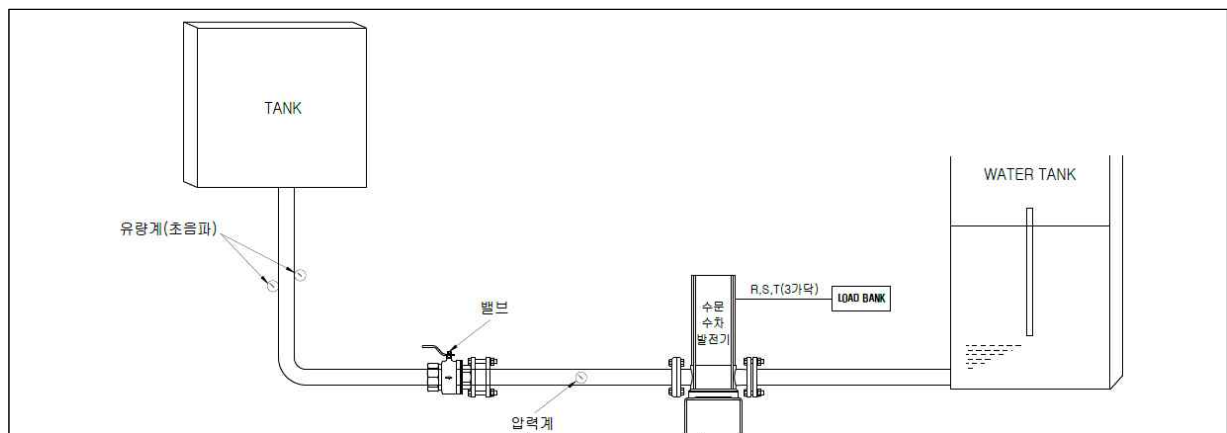
- ㉔ 수차 기동 후 수위변화에 따른 주파수 변화에 비례하여 60Hz, 55Hz, 50Hz, 45Hz에서 데이터확인
- Turbine inlet area(A1) : 0.2826 m^2
 - Draft tube outlet area(A2) : 0.2826 m^2
 - Turbine center EL - Inlet pressure sensor EL : -0.2 m
 - Gravity at site : 9.8m/s^2
 - Water density : 999.4kg/m^3

② 시험장비

〈표 3-23〉 시험장비

측정항목	측정장비	모델	제작사	비고
압력	Pressure Transducer	TPS20G1ZFS	KONICS	
수위	제어실 수위계	LR-200		
유량	초음파유량계	TTPM100B	B.M. Technologie	
발전량	Digital Power Meter	GIMAC-i	LS산전	
데이터수집	Data Acquisition	NI9208	National Instruments	

③ 시험장 계통도



〈그림 3-52〉 시험 계통도

(바) 시험

수차의 시험은 데이터를 수집하기 위하여 별도의 <표 3-23>과 같은 시험 장비를 활용하였고, <그림 3-52>와 같이 수력성능 시험장의 지하탱크에서 물을 상부로 유입시키고 상부의 탱크에서 자연낙하는 상태로 시험을 하였으며, 관로의 중간에 수문수차를 연결시키고 전계장과 연결하여 발전량을 측정 할 수 있도록 하였다. 낙차는 손실 낙차를 고려하지 않은 상태로 읽을 수 있도록 상부 탱크에 별도의 지시계를 설치하여 낙차를 측정하였고, 유량은 상부탱크로부터 연결된 관로에 초음파 유량계를 설치하여 측정하였다.

수차를 통과하여 방류된 물은 가동보가 설치된 위어식 유량계로 유입되도록 하였으며 이때의 하류 낙차를 상부낙차의 계산에서 반영하여 정격 낙차가 계산되도록 하였다.



<그림 3-53> 시험현장

(사) 시험결과

스마트 수차의 시험은 객관성과 시험의 전문성을 확보하기 위하여 국내의 수차설비 효율시험 전문기업인 하이드로 랩에 의뢰하여 진행하였다. 시험방법은 기존의 소수력용 수차의 효율 시험과 동일한 방법을 사용하였으며, 시험은 주파수별로 45Hz에서 60Hz까지 순차적으로 측정하였으며 이때 수차와 발전기의 압력과 유량을 측정하여 반영하였고 중력은 $9.8m/sec^2$ 로, 물의 밀도는 $999.4kg/m^3$ 로 하고 나머지 변수는 고려하지

않았다.

아래와 같이 10회에 걸쳐 측정된 각종 데이터를 기초로 하여 유량계를 이용한 인덱스 법(index-method)으로 수행하였으며, 60 Hz에서 45 Hz까지의 주파수별 시험결과는 다음과 같이 성적서로 나타났다.

① 주파수별 시험결과

Test No.	Measured data											
	Generator		Turbine									
	Gen output	Gen eff.	Frequency	Turbine output	Inlet Press	Inlet head	TWL	Suction head	Discharge	Net head	Turbine input	Turbine eff.
	PG	η_G		Pm	P1	Hu	Z2	Hs	Q	H	Ph	η_T
	kW	%	Hz	kW	mAq	mAq	EL.m	m	m ³ /s	m	kW	%
1	5.760	92.5	60	6.23	2.35	2.55	0.17	-0.17	0.353	2.38	8.23	75.7
2	5.790	92.5	60	6.26	2.40	2.60	0.17	-0.17	0.341	2.43	8.12	77.1
3	5.790	92.5	60	6.26	2.40	2.60	0.17	-0.17	0.356	2.43	8.47	73.9
4	5.750	92.5	60	6.22	2.40	2.60	0.17	-0.17	0.337	2.43	8.02	77.5
5	5.810	92.5	60	6.28	2.45	2.65	0.17	-0.17	0.342	2.48	8.31	75.6
6	5.854	92.5	60	6.33	2.40	2.60	0.17	-0.17	0.361	2.43	8.59	73.7
7	5.828	92.5	60	6.30	2.40	2.60	0.17	-0.17	0.356	2.43	8.47	74.4
8	5.810	92.5	60	6.28	2.42	2.62	0.17	-0.17	0.343	2.45	8.23	76.3
9	5.814	92.5	60	6.29	2.45	2.65	0.17	-0.17	0.340	2.48	8.26	76.1
10	5.811	92.5	60	6.28	2.40	2.60	0.17	-0.17	0.348	2.43	8.28	75.9

〈그림 3-54〉 60Hz 시험결과

Test No.	Measured data											
	Generator		Turbine									
	Gen output	Gen eff.	Frequency	Turbine output	Inlet Press	Inlet head	TWL	Suction head	Discharge	Net head	Turbine input	Turbine eff.
	PG	η_G		Pm	P1	Hu	Z2	Hs	Q	H	Ph	η_T
	kW	%	Hz	kW	mAq	mAq	EL.m	m	m ³ /s	m	kW	%
1	4.840	92.5	55	5.23	2.20	2.40	0.16	-0.16	0.318	2.24	6.98	75.0
2	4.860	92.5	55	5.25	2.20	2.40	0.16	-0.16	0.320	2.24	7.02	74.8
3	4.790	92.5	55	5.18	2.30	2.50	0.16	-0.16	0.303	2.34	6.94	74.6
4	4.910	92.5	55	5.31	2.26	2.46	0.16	-0.16	0.322	2.30	7.25	73.2
5	4.845	92.5	55	5.24	2.25	2.45	0.16	-0.16	0.309	2.29	6.93	75.6
6	4.910	92.5	55	5.31	2.30	2.50	0.16	-0.16	0.322	2.34	7.38	71.9
7	4.889	92.5	55	5.29	2.20	2.40	0.16	-0.16	0.323	2.24	7.09	74.6
8	4.875	92.5	55	5.27	2.20	2.40	0.16	-0.16	0.315	2.24	6.91	76.3
9	4.929	92.5	55	5.33	2.25	2.45	0.16	-0.16	0.330	2.29	7.40	72.0
10	4.844	92.5	55	5.24	2.20	2.40	0.16	-0.16	0.323	2.24	7.09	73.9

〈그림 3-55〉 55Hz 시험결과

Test No.	Measured data											
	Generator		Turbine									
	Gen output	Gen eff.	Frequency	Turbine output	Inlet Press	Inlet head	TWL	Suction head	Discharge	Net head	Turbine input	Turbine eff.
	PG	η_G		Pm	P1	Hu	Z2	Hs	Q	H	Ph	η_T
	kW	%	Hz	kW	mAq	mAq	EL.m	m	m ³ /s	m	kW	%
1	4.030	92.5	50	4.36	2.00	2.20	0.16	-0.16	0.301	2.04	6.01	72.4
2	4.013	92.5	50	4.34	2.04	2.24	0.16	-0.16	0.298	2.08	6.07	71.5
3	4.030	92.5	50	4.36	2.10	2.30	0.16	-0.16	0.290	2.14	6.08	71.7
4	4.030	92.5	50	4.36	2.05	2.25	0.16	-0.16	0.287	2.09	5.87	74.2
5	4.034	92.5	50	4.36	2.00	2.20	0.16	-0.16	0.290	2.04	5.79	75.3
6	4.080	92.5	50	4.41	2.05	2.25	0.16	-0.16	0.284	2.09	5.81	75.9
7	4.082	92.5	50	4.41	2.10	2.30	0.16	-0.16	0.291	2.14	6.10	72.4
8	4.063	92.5	50	4.39	2.10	2.30	0.16	-0.16	0.295	2.14	6.18	71.0
9	4.011	92.5	50	4.34	2.05	2.25	0.16	-0.16	0.283	2.09	5.79	74.9
10	4.099	92.5	50	4.43	2.08	2.28	0.16	-0.16	0.289	2.12	6.00	73.8

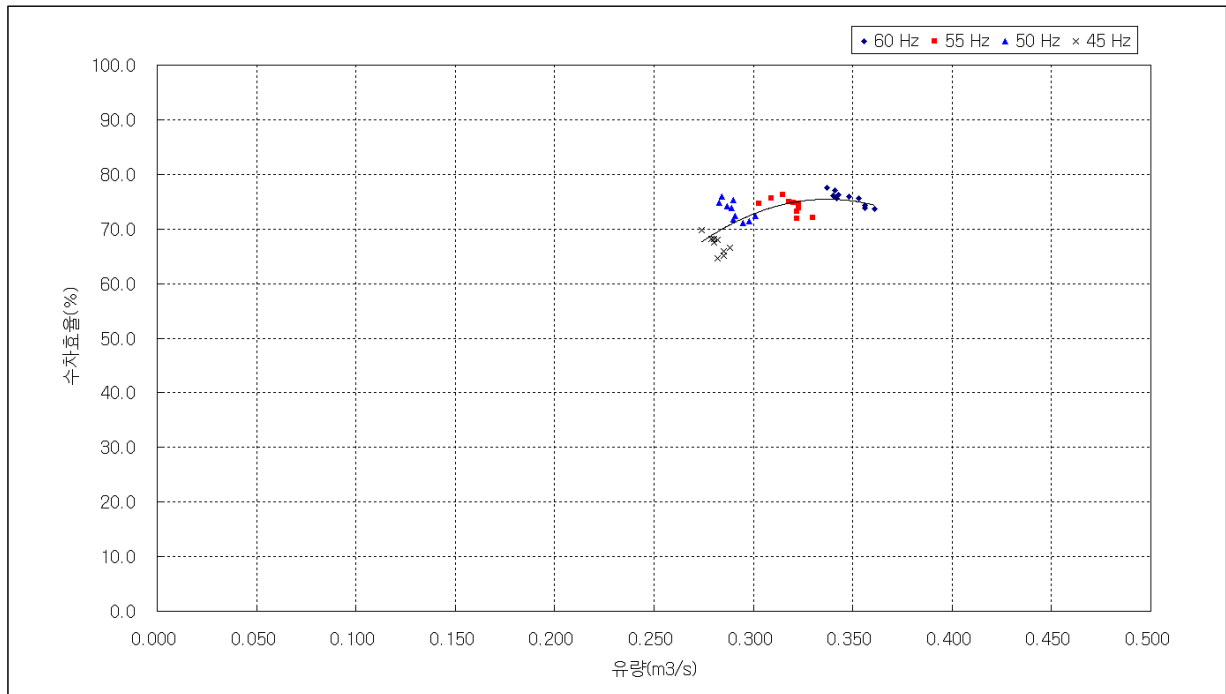
〈그림 3-56〉 50Hz 시험결과

Test No.	Measured data											
	Generator		Turbine									
	Gen output	Gen eff.	Frequency	Turbine output	Inlet Press	Inlet head	TWL	Suction head	Discharge	Net head	Turbine input	Turbine eff.
	PG	η_G		Pm	P1	Hu	Z2	Hs	Q	H	Ph	η_T
	kW	%	Hz	kW	mAq	mAq	EL.m	m	m ³ /s	m	kW	%
1	3.276	92.5	45	3.54	1.85	2.05	0.15	-0.15	0.279	1.90	5.19	68.2
2	3.235	92.5	45	3.50	1.85	2.05	0.15	-0.15	0.285	1.90	5.30	65.9
3	3.288	92.5	45	3.55	1.85	2.05	0.15	-0.15	0.280	1.90	5.21	68.2
4	3.299	92.5	45	3.57	1.85	2.05	0.15	-0.15	0.282	1.90	5.25	68.0
5	3.256	92.5	45	3.52	1.85	2.05	0.15	-0.15	0.280	1.90	5.21	67.6
6	3.285	92.5	45	3.55	1.94	2.14	0.15	-0.15	0.282	1.99	5.50	64.6
7	3.297	92.5	45	3.56	1.85	2.05	0.15	-0.15	0.288	1.90	5.36	66.5
8	3.274	92.5	45	3.54	1.90	2.10	0.15	-0.15	0.285	1.95	5.44	65.0
9	3.285	92.5	45	3.55	1.85	2.05	0.15	-0.15	0.280	1.90	5.21	68.2
10	3.290	92.5	45	3.56	1.85	2.05	0.15	-0.15	0.274	1.90	5.10	69.8

〈그림 3-57〉 45Hz 시험결과

위의 4가지 주파수별 10회의 측정 결과를 기초로 하여 환산한 수차효율을 〈그림 3-58〉에 항목별로 표기하였으며 각 주파수별 유량에 따른 효율치를 평균값을 기준으로 실선 그래프로 연결하여 유량의 증가 시 효율이 변화하는 경향성을 표시하였다.

그래프에서 나타난 바와 같이 60 Hz에서 유량이 최대인 $0.348m^3/s$ 부근에서 최고 효율로 나타났다.



〈그림 3-58〉 효율시험 결과 그래프

60Hz, 55Hz, 50Hz, 45Hz의 각 주파수별 시험 결과를 유량과 유효낙차에 따른 출력과 효율을 <표 3-24>와 같이 정리하였다.

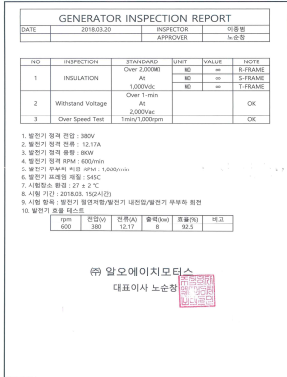
주파수별로 시험한 결과를 효율까지 비교한 결과 60Hz에서 $0.348m^3/s$ 의 유량과 2.44 m의 유효낙차에서 약 5.8 kW의 발전량이 나타났으며 이때의 효율은 75.6 %로 환산되었다.

〈표 3-24〉 주파수별 효율시험 결과표

주파수	유량(m³/s)	유효낙차(m)	발전량(kW)	수차효율(%)
60	0.348	2.44	5.802	75.6
55	0.319	2.28	4.869	74.2
50	0.291	2.10	4.047	73.3
45	0.282	1.91	3.279	67.2

발전기의 효율 증명에 대한 것은 주문 제작된 발전기 업체로부터 효율이 기재된 확인 레포트를 제출받았으며 결과는 다음과 같다.

〈표 3-25〉 주파수별 효율시험 결과표

항목	내용	성적서
정격 전압	380V	
정격 전류	12.17A	
정격 용량	8KW	
정격 RPM	600/MIN	
무부하 허용 RPM	1,000/MIN	
발전기 프레임 재질	S45C	
효율	92.5%	

바. 결론

본 연구는 수문이 설치된 소형 하천이나 방류지, 제방 등에서 일체화되고 시스템화가 이루어진 스마트수문에 수차발전기를 설치하여 무효 방류되고 있는 소규모 에너지를 회수하기 위한 연구이다.

주요 연구의 내용으로서는 조사 된 환경에 적합한 소형 스마트 수문과 수차발전기를 설계 제작하여 사전 검증과 현장 실증을 수행하여 소규모 에너지원에 대한 회수 가능성을 확인하고 기후변화에 대응하여 소규모 에너지원의 활용을 통해 사업화되도록 하는데 목적이 있는 연구이다.

시험을 통한 연구 결과는 다음과 같다.

- 가) 시험은 60Hz, 55Hz, 50Hz, 45Hz에서 각 10회씩 데이터를 취득하였으며, 주파수별 성능 값을 측정하였다.
- 나) 시험은 수차의 정격 유효낙차 최대, 최소인 3m ~ 1.5m 이내인 2, 44m ~ 1.91m에서 수행되었으며 60Hz 이상에서는 발전량 5,8 kW로 정격 발전량인 5.5kW를 상회하였다.
- 다) 60Hz에서 수차의 효율은 75.6%로 가장 높았으며, 55Hz에서는 74.2%, 50Hz에서는 73.3%, 45Hz에서는 67.2 측정되었으며, 주파수가 낮아질수록 수차 효율은 감소하였다.

시험결과에서 볼 수 있듯이 저낙차의 소규모 에너지원을 활용하기 위한 방안으로 저낙차인 3m 이내의 낙차와 유량 0.348m³/s의 이상, 정격 주파수를 가진 조건이라면 5kW를 상회하는 출력과 수차 효율 75%이상의 표준화된 일체형의 수문수차를 하천이나 소하천 및 방류지 등에 적용하여 무효 방류되는 에너지원의 활용이 가능할 것으로 예측된다.

제3절 환경성 및 경제성 분석

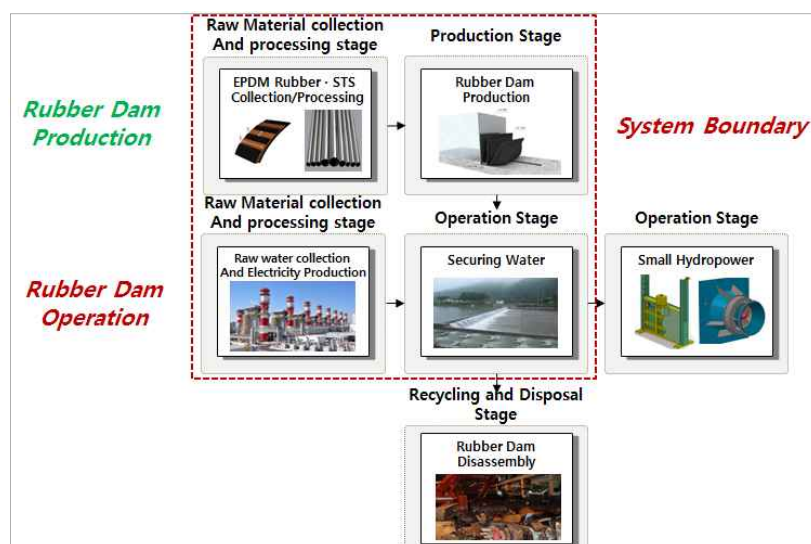
1. 연구방법

가. 연구범위

본 연구에서는 기존 하천에 사용되고 있는 공압식 고무보와 신기술인 직립형 고무보의 생산과 운영시 발생하는 환경영향을 분석하고자 한다. 환경성 분석은 각 규격별 고무보의 설치를 위한 투입자재량과 운영에 따른 전기 사용량을 이용하여 전과정평가 기법을 통해 분석하였다. 전과정평가를 위해선 제품이나 시설의 자재의 생산, 수송, 제작 그리고 소비자의 사용과 폐기 단계 까지 고려하여 분석이 이루어져야 한다. 하지만 본 연구에서는 고무보 시스템의 제작과 운영 단계만을 시스템 경계로 설정하였다. 전과정 목록분석에서는 규격별 고무보의 소요 자재량과 소비전력량을 이용하여 분석하였다. 전과정 영향평가 방법은 영향평가 방법 목록 중 기후변화대응 효과를 보기 위해 지구온난화 결과 값을 도출하였으며, 고무보의 규격별 환경영향을 알아보기 위해 가중화 결과를 통해 환경성 평가를 진행하였다.

나. 시스템 경계

고무보는 수자원 활용 시설로써 제작단계와 운영단계, 폐기단계로 크게 나눌 수 있지만, 본 연구에서 적용한 시스템 경계는 고무보의 제작과 운영까지이다. 폐기 단계를 제외한 이유는 현재 수자원 활용 시설에는 고무보를 포함하여 수처리 장치, 소수력 장치, IoT 등 다양한 시설과 병행하여 운영중이며, 고무보를 포함한 수자원 활용 시설의 각 내구년한이 다르기 때문에 폐기에 대한 데이터 수집이 한계가 있다. 직립형 고무보와 공압식 고무보는 규격에 따라 동일한 기능 (보의 기립과 도복)을 가지고 있다. 비교 대상 규격은 1,500H×10,000L (mm), 3,000H×20,000L (mm)로 두 가지 규격이며, 각 고무보를 제작 후 운영 단계에서 10년 가동을 고려하였다.



〈그림 3-60〉 시스템 경계

다. 전과정목록분석

공압식 고무보 기술은 팽창매체로 공기를 사용하므로 도복이 시작된 직후 수압을 가장 많이 받는 부분부터 공기가 배출되어 특정 부분이 먼저 도복되는 현상이 발생한다. 이렇게 부분적으로 도복이 시작되면 특정 부분에 방류량이 집중되어 하류측 세굴의 원인이 될 수 있고, 가동보 수위 조절 능력도 제한될 수밖에 없다. 직립형 고무보 기술은 도복 시 보 상단이 균등한 높이로 조절되어 방류량이 전 구간에 걸쳐 동일하게 분산되므로 수압 분산 효과가 있고, 필요한 높이 만큼 수위를 조절할 수 있는 장점이 있다.

기존 S&R GATE 방식은 고무보 위에 철판을 설치하고 고무보를 기립시킴으로써 보의 기능을 하였다. 하지만 최대 기립 각도가 0~58°에 불과하여 설계 수위 대비 소요되는 철판 길이가 길어 제작비용이 증가하고 그만큼 넓은 기초를 필요로 하여 전체적인 공사비 상승 요인이 된다. 따라서 0~90°까지 기립이 가능한 직립형 고무보 기술을 적용하여 소요되는 자재량을 절감하고 소규모 기초 설치를 통해 전체 공사비를 큰 폭으로 낮출 수 있다.

공압식 고무보의 규격은 500H×5,000L (mm)부터 3,000H×60,000L (mm)까지이며 고무본체의 두께는 9~13mm, 본체부 강도는 규격별로 100 kN/m에서 400 kN/m 이상의 하중을 견딜 수 있다. 자재 구성은 고무본체, 보호커버, 엠베디드 플레이트, 클램핑 플레이트, 양카볼트로 구성되어 있으며 재질은 EPDM고무, STS304, GCD500이다. 소요전력은 공기이송설비와 제어 설비, 조작실 등에서 사용되어지며, 고무보의 규격 별로 6~24 kWh가 소요된다.

직립형 고무보의 규격은 500H×5,000L (mm)부터 3,000H×60,000L (mm)까지 높이와 길이로 설계·설치 가능하며, 공압식 고무보에서 자재로 사용되었던 고무본체 대신 스틸패널을 사용한다. 스틸패널의 두께는 10~20 mm이며, 본체부 강도는 100 kN/m에서 400 kN/m 이상으로 공압식 고무보와 동일하다. 소요전력은 6~20 kWh로 공압식 고무보와 규격에 따라 차이를 보인다. 자재 구성에 따른 전과정목록 분석은 다음의 <표 3-25>와 같다.

<표 3-26> 고무보의 전과정목록분석

구 분		공압식 고무보 (1,500H×10,000L)	직립형 고무보 (1,500H×10,000L)	공압식 고무보 (3,000H×20,000L)	직립형 고무보 (3,000H×20,000L)
투 입 물	고무본체 (kg)	8938.7	6243.6	4250.1	2786.4
	보호커버 (kg)	1297.1		536.8	
	스틸패널 (kg)		12992.1		9212.5
	엠베디드 플레이트 (kg)	274.3	154.3	699.3	218.5
	클램핑 플레이트 (kg)	217.4	136.9	1006.1	342.9
	양카볼트 (kg)	22.7	16.5	159.0	117.3
	전기 (kWh)	52,560	52,560	210,240	175,200

〈표 3-27〉 고무보의 생산, 운영단계 상/하위 흐름 DB

항 목	상/하위 흐름 DB	데이터 출처
고무본체	EDPM	환경부
보호커버		
스틸패널	Stainless steel	환경부
엠베디드 플레이트		
클램핑플레이트		
앙카볼트		
전기	전기	산업자원부

직립형 고무보와 기존 공압식 고무보의 소비 전력량은 규격이 커질수록 직립형 고무보가 공압식 대비 적게 소요되어 에너지 사용면에서는 우수하다. 규격이 작을수록 소요전력은 같아 지나, 자재의 종류가 스틸패널이 추가되면서 자원활용면에서는 공압식 고무보가 적게 사용되어진다. 수자원 확보 및 재난·재해 방지를 위해 각 고무보의 특성에 따라 효율이 다르기 때문에 수자원 확보를 목적으로 어떤 고무보를 사용할 것인지에 대한 선정이 매우 중요하다. 하지만 현재 기후변화로 인하여 물 문제와 물 재난이 발생하고 있는 현시점에서 수자원 확보와 경제성의 관점이 아닌 기후변화를 비롯한 환경성 관점에서 살펴보고 시설을 선정해야 한다. 본 연구에서는 각 고무보의 소요 전력량과 투입 자재량을 분석하여, 수자원 확보뿐만 아니라 기후변화에 능동적으로 대응할 수 있는 시설의 선택을 위해 각 고무보의 환경영향을 분석하고자 한다.

2. 연구결과

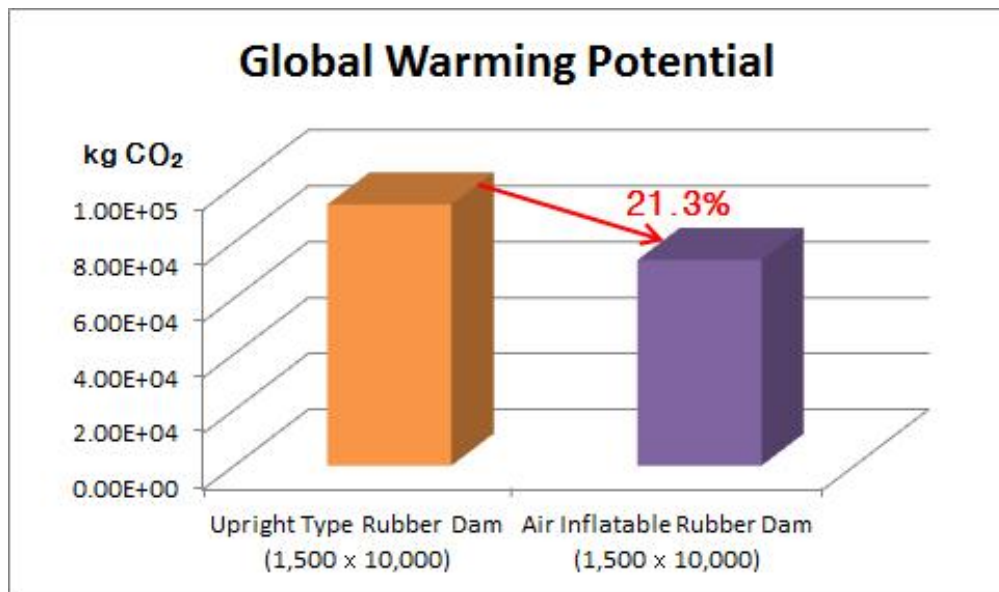
가. 전과정영향평가 특성화 결과

직립형 고무보와 공압식 고무보의 두 가지 규격에 대한 전과정평가를 수행하였다. 1,500H×10,000L (mm) 규격을 특성화 결과값으로 분석한 결과 다음 〈표 3-27〉과 같이 나타났다. 환경영향범주는 부영양화, 지구온난화 등 8가지이며, 제작부터 운영까지 발생하는 온실가스 발생량을 계산하기 위해 지구온난화 지수를 중심으로 분석을 진행하였다. 또한 〈그림 3-60〉과 같이 가중화 결과 값을 이용하여 전체 환경영향범주를 지수화하고, 기후변화뿐만 아니라 전체 환경영향을 비교해보았다.

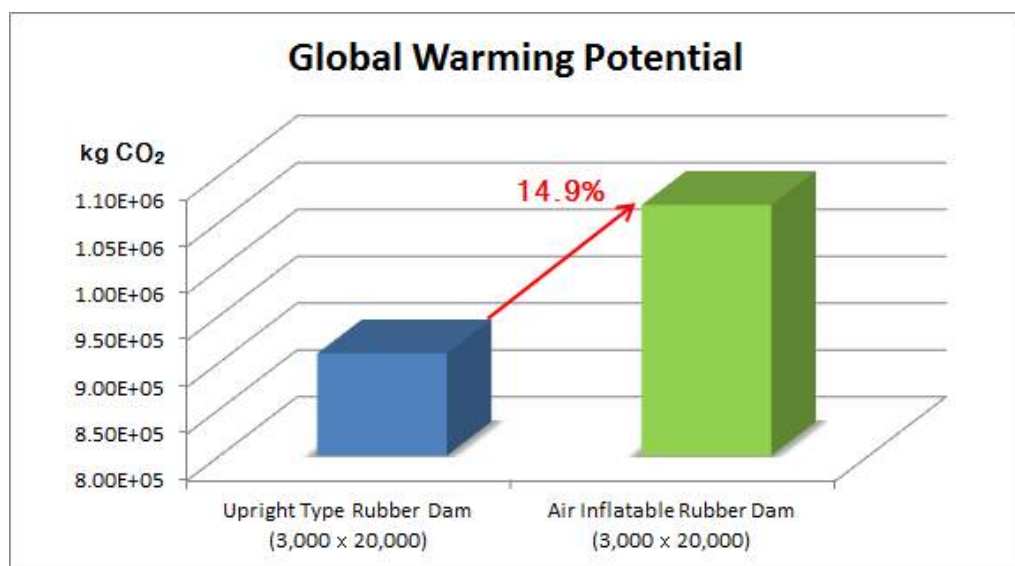
〈표 3-28〉 전과정평가 특성화 결과

Environmental Impact Category (Unit)	Upright Type Rubber Dam (1,500× 10,000)	Air Inflatable Rubber Dam (1,500× 10,000)	Upright Type Rubber Dam (3,000× 20,000)	Air Inflatable Rubber Dam (3,000× 20,000)
Abiotic Depletion Potential (1/yr)	6.32E+02	6.73E+02	3.32E+03	3.92E+03
Acidification Potential (kg SO ₂ -eq.)	2.59E+02	2.99E+02	1.58E+03	1.89E+03
Eutrophication Potential (kg PO ₄ ³⁻ -eq.)	3.61E+01	3.47E+01	2.89E+02	3.41E+02
Global Warming Potential (kg CO ₂ -eq.)	9.35E+04	7.36E+04	9.09E+05	1.07E+06
Human Toxicity Potential (kg 1,4 DCB-eq.)	7.77E+04	1.45E+04	5.59E+04	1.56E+04
Ozone layer depletion Potential (kg CFC 11-eq.)	2.15E-02	8.83E-03	1.46E-02	6.17E-03
Photochemical Ozone Creation Potential (kg ethylene-eq.)	7.90E+01	1.06E+02	6.30E+02	7.63E+02
Terrestrial Ecotoxicity Potential (kg 1,4 DCB-eq.)	2.47E+01	1.22E+00	1.84E+01	3.57E+00

위의 <표 3-27>과 같이 1,500H×10,000L 규격의 경우, 전과정영향평가 지구온난화 결과가 직립형 고무보는 9.35E+04kg CO₂-eq., 공압식 고무보는 7.36E+04 kg CO₂-eq.로 나타났으며, 직립형 고무보가 공압식 고무보보다 지구온난화 지수가 더 높은 것으로 나타났다. <그림 3-60>과 같이 직립형 고무보가 공압식 고무보 대비 21.3%의 온실가스를 더 발생시키는 것을 볼 수 있다. 이는 기존 고무본체의 자재로 사용한 EPDM 고무를 스틸패널로 개선함으로써 자원사용에 대한 영향과 해당규격에서 소요되는 전력량이 같기 때문에 이와 같은 결과가 나오는 것으로 판단된다. 3,000H×20,000L 규격의 경우, 전과정영향평가 지구온난화 결과가 직립형 고무보는 9.09E+05 kg CO₂-eq., 공압식 고무보는 1.07E+06 kg CO₂-eq.로 나타났으며, 공압식 고무보가 직립형 고무보보다 지구온난화 지수가 더 높은 것으로 분석되었다. 앞에서 분석한 1,500H×10,000L의 규격과는 상반된 결과이며, <그림 3-61>과 같이 직립형 고무보가 공압식 고무보 대비 14.9%의 온실가스를 적게 발생시키는 것을 볼 수 있다. 기존 공압식 고무보보다 기후변화 대응에 긍정적인 효과가 있음을 확인할 수 있었고, 직립형 고무보가 투입된 자재의 양이 많더라도 공압식 고무보의 소비전력이 더 크기 때문에 장시간 운영하면서 발생하는 간접 배출량으로 인해 이와 같은 분석 결과가 도출되었다.



〈그림 3-61〉 1,500H×10,000L 규격 고무보의 온실가스 발생량

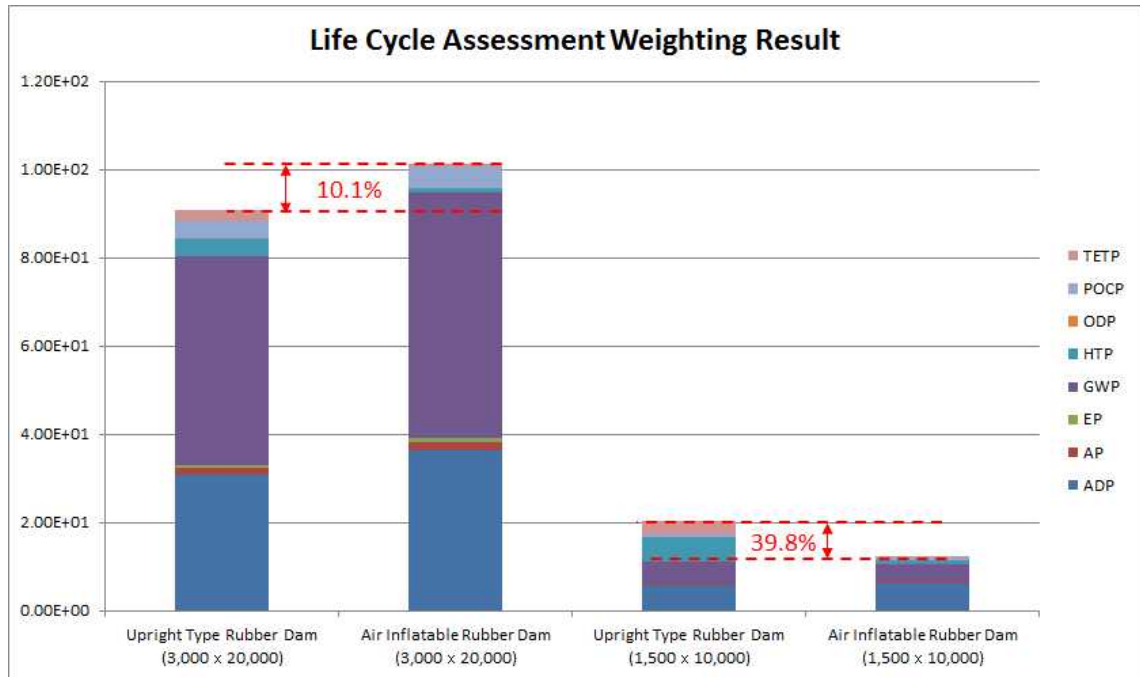


〈그림 3-62〉 3,000H×20,000L 규격 고무보의 온실가스 발생량

나. 전과정영향평가 종합 분석

고무보의 규격별 전과정평가 기법을 이용하여 전과정 환경영향을 가중화하여 〈그림 3-62〉와 같은 결과가 도출되었다. 전과정영향평가 가중화 합계는 1,500H×10,000L 규격의 경우, 직립형 고무보의 20.5 pt, 공압식 고무보는 12.4 pt의 환경영향을 보이고 있으며, 공압식 고무보가 직립형보다 39.8% 적게 발생하였다. 3,000H×20,000L 규격은 직립형 고무보가 90.9 pt, 공압식 고무보가 101.1 pt로서 직립형고무보가 공압식 고무보보다 10.1% 환경영향이 더 좋은 것으로 도출되었고, 규격이 커질수록 직립형 고무보가 공압식 고무보보다 전체 환경영향이 우수한 것으로 분석되었다.

이와 같은 결과는 직립형 고무보와 기존 공압식 고무보의 소비 전력량은 규격이 커질수록 직립형 고무보가 공압식 고무보 대비 적게 소요되어 에너지 사용면에서 적어지기 때문이다. 반대로, 규격이 작아질수록 소요전력은 같아지고, 직립형 고무보의 제작에서 투입되는 자재가 스틸패널이 추가되면서 자원활용면에서는 공압식 고무보가 환경영향이 더 좋게 나타나기 때문에 아래와 같은 결과가 나타나는 것이다.



〈그림 3-63〉 전과정평가 가중화 결과

다. 온실가스 발생량에 따른 경제성 분석

앞에서 분석한 결과를 이용하여 3,000H×20,000L 규격에서 공압식 고무보와 직립형 고무보의 온실가스 발생량의 차이를 탄소배출권 비용으로 환산하였다. 3,000H×20,000L 규격의 직립형 고무보와 공압식 고무보를 1년동안 가동하였을 때 운영단계에서 소요되는 전력으로 인한 온실가스 발생량의 차이는 17,360톤으로 탄소 배출권 비용으로 환산하면 370,000천원이다. 또한 생산단계와 운영단계를 포함한 온실가스 발생량의 차이는 2,557톤이며 탄소배출권 비용으로 환산하면 약 55,000천원이다. 이 비용은 공압식 고무보를 운영중에 직립형 고무보로 교체 시 발생할 수 있는 편익이라고 할 수 있다.

〈표 3-29〉 온실가스 발생량에 따른 탄소배출권 비용 분석

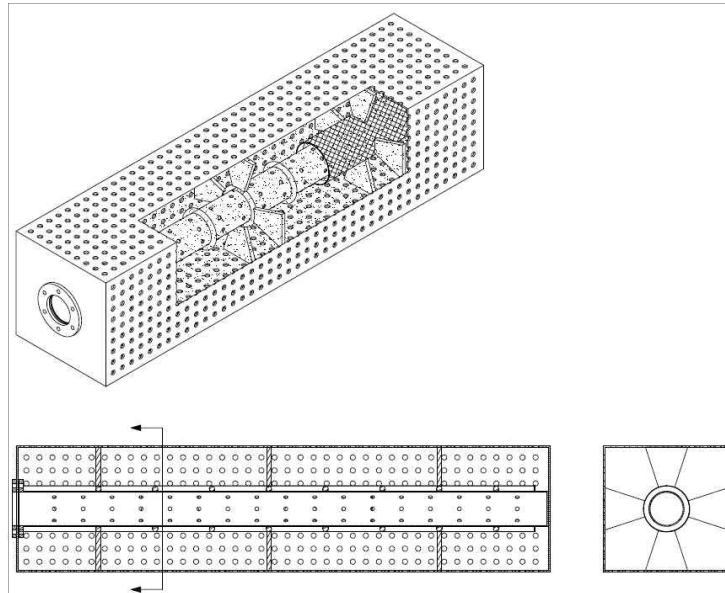
구분	운영단계		전과정	
	공압식 고무보	직립형 고무보	공압식 고무보	직립형 고무보
온실가스 발생량 (kg CO ₂ -eq.)	104,100	86,740	131,190	128,633
온실가스 발생량 차이 (kg CO ₂ -eq.)	17,360		2,557	
탄소배출권 환산 비용 (원)	374,976,000		55,231,200	
※ 비교 규격 : 3,000H×20,000L ※ 배출권등록부시스템(ETRS) :2018년 할당배출권 거래소 거래 현황, 21,600원/kg CO ₂				

제4절 부유물질 저감 전처리 취수시설 개발

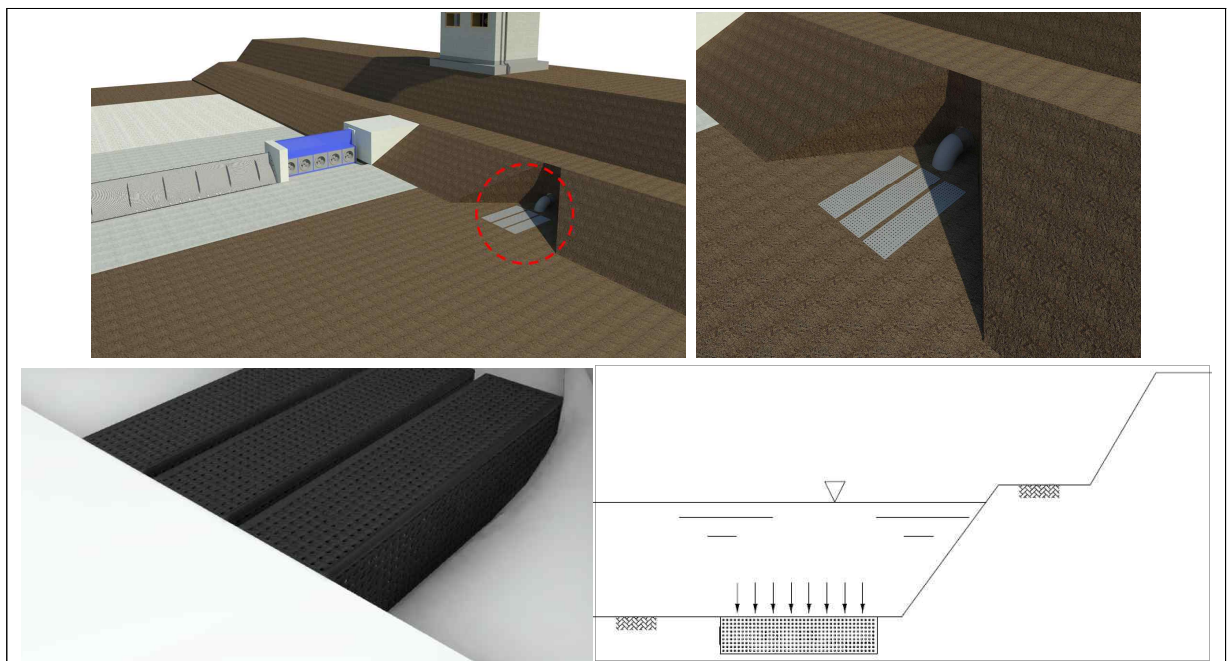
1. 개발 개요

보유기술인 매설식 해수 전처리 취수시설과 모듈형 물생산시스템의 전처리 취수시설 및 관련 기술, 기준을 검토하였으며, 기존의 고정식 전처리 취수시설의 모듈형, 이동형이 가능하도록 연구개발을 진행하였다. 또한 1차년도에서의 연구개발을 통해 여과재가 개선된 특허 출원을 완료했으며, 현재 특허 등록 진행 중이다.

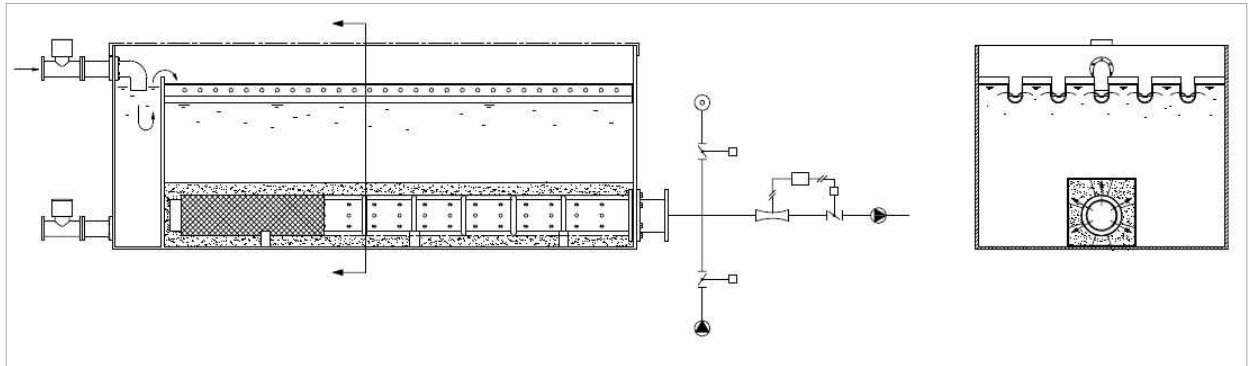
본 과제에서의 전처리 취수시설은 보유기술에서의 전처리 해수취수 시설 여과방식과 유사한 방식으로 이중관으로 구성된 여과관에 여과재를 충전하도록 하였고, 고정식에서 모듈형, 이동형이 가능하도록 설계, 개발을 진행하였다.



〈그림 3-64〉 모듈형 전처리 취수시설(안)



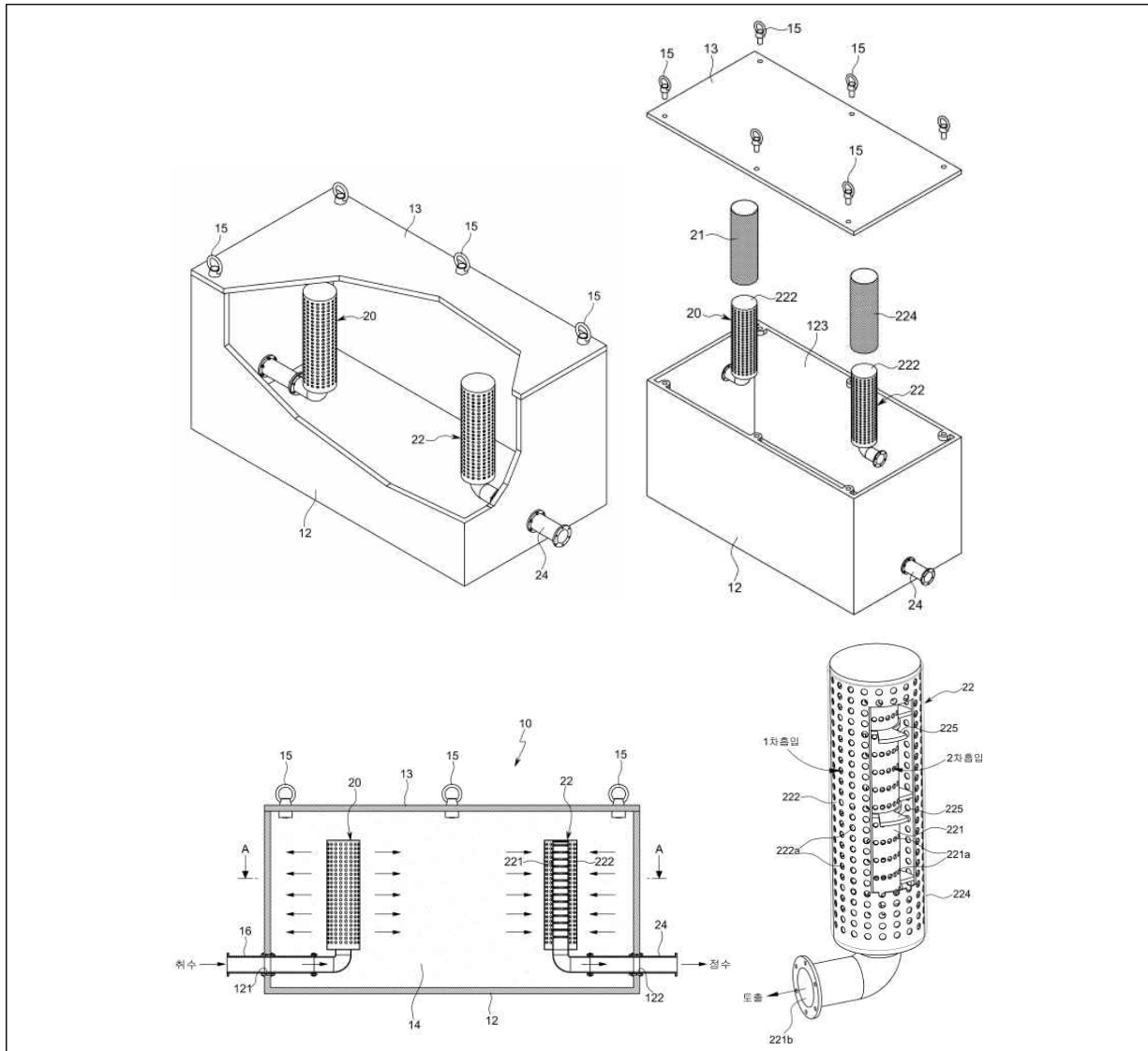
〈그림 3-65〉 모듈형 전처리 취수시설의 설치 예



〈그림 3-66〉 이동형 전처리 취수시설(안)

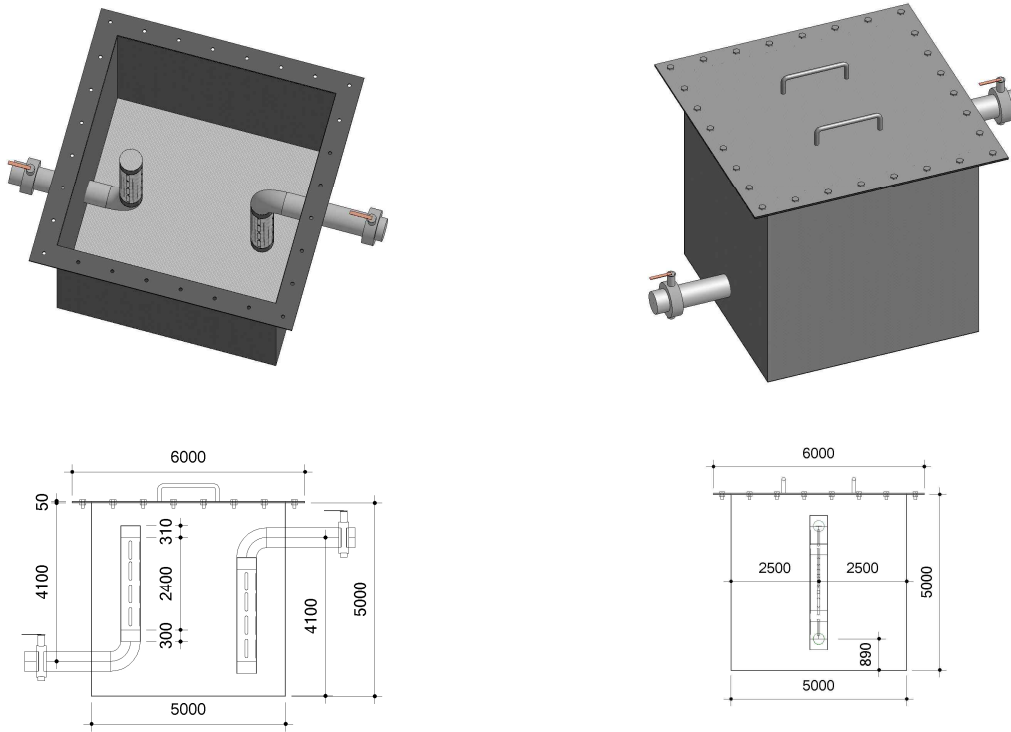
2. 시제품 개발

특히 출원한 전처리 취수시설은 「여과재의 폐색 지연과 용이한 교체를 위한 여과장치」로써, 유입부에 이중관을 적용해 여과재 폐색을 지연시키고, 유출부에도 이중관이 있어 2중 여과가 가능하다. 또한 여과재 폐색시 전체 교체가 용이하도록 하였고, 개요도는 다음과 같다.

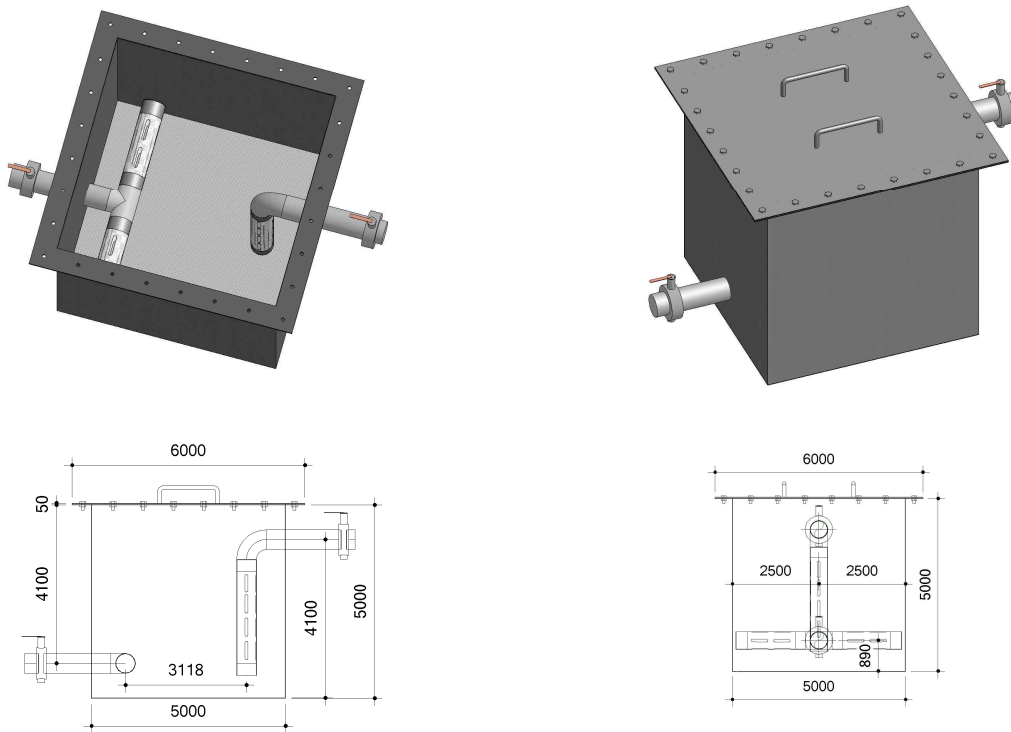


〈그림 3-67〉 여과재의 폐색 지연과 용이한 교체를 위한 여과장치(특히 출원)

특히 출원을 토대로 시제품을 설계하였으며, 시제품에서는 여과성능 향상을 위해 유입관의 위치를 상단으로 변경하여 설계하였다.



(1) 유출부 수직형태 시제품 설계



(1) 유출부 수평형태 시제품 설계

<그림 3-68> 부유물질 저감 전처리 취수시설 시제품 설계도

시제품 설계를 토대로 스테인리스 재료를 사용하여 시제품을 제작하였으며, 부유물질 저감 전처리 취수시설의 시제품은 다음과 같다.



〈그림 3-69〉 부유물질 저감 전처리 취수시설 시제품(1)



〈그림 3-70〉 부유물질 저감 전처리 취수시설 시제품(2)

3. 시제품 수질시험

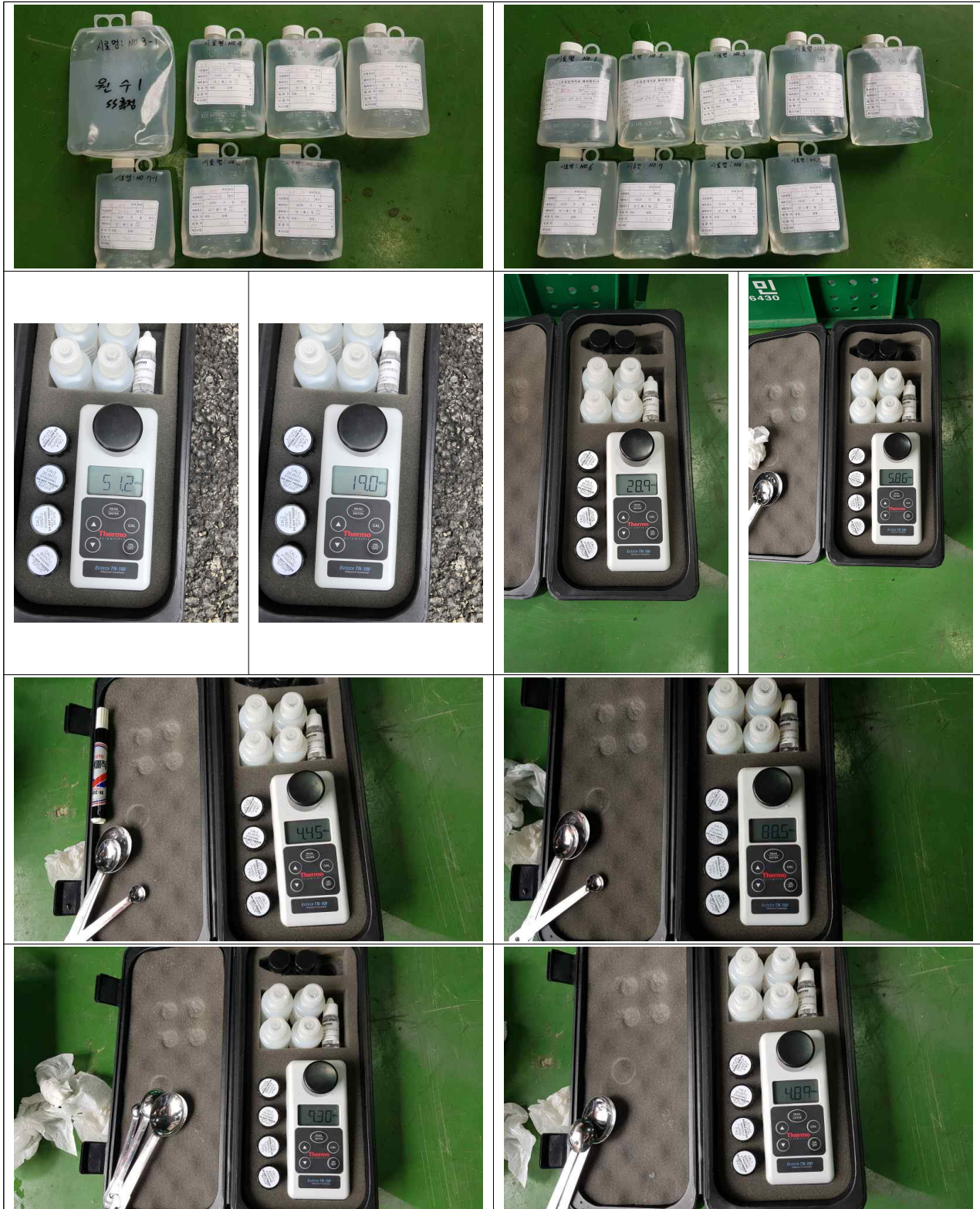
제작한 시제품의 수질 시험을 수행하였다. 원수는 수돗물이고, Kaolin 시약을 투여하여 인위적인 탁도를 유발시켜 시제품의 부유물질 전처리 효과를 시험토록 하였다.



〈그림 3-71〉 부유물질 저감 전처리 취수시설 시제품 수질 시험

수질시험은 시험원수와 최초 전처리 후 취수한 것을 1차 측정하고, 2차에 Kaolin 시약을 추가 투입 후 원수 측정 및 15분 단위로 2회에 걸쳐 2차 측정을 실시하였다.

3차에도 Kaolin 시약을 추가 투입하여 원수 측정 및 15분 단위로 3회에 걸쳐 3차 측정을 실시하였으며, 현장에서 총 9개의 시료 데이터를 채수하여 탁도(NTU) 측정을 실시하였다.



〈그림 3-72〉 시제품 수질 시험수 채수 및 현장 시험

4. 시제품 수질시험 결과

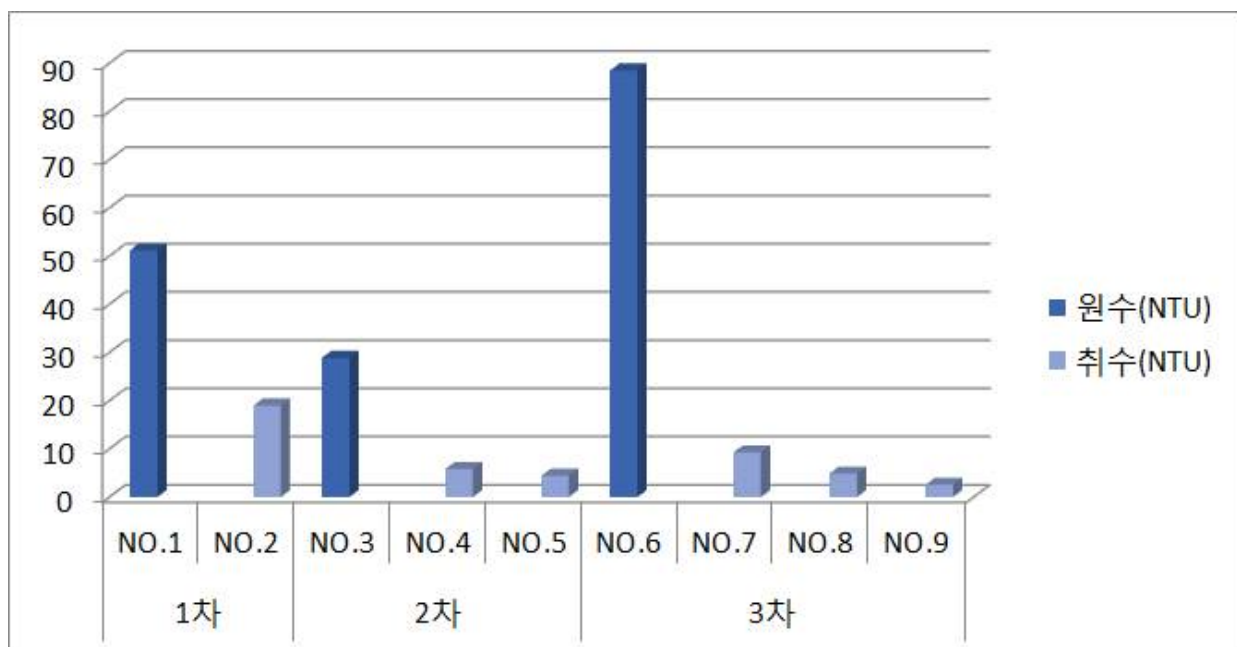
가. 탁도(NTU) 수질시험 측정결과

탁도(NTU) 수질시험 결과 1차 시험의 경우 원수대비 62.9%의 탁도(NTU) 감소율이 나타났으며, 2차 Kaolin 시약 투입 후 최대 84.6%, 3차 Kaolin 시약 투입 후 최대 97.1%의 탁도(NTU) 감소율을 보이는 것으로 나타났다.

3차례의 탁도(NTU) 수질시험 결과 시간이 흐를수록 원수대비 전처리 효과가 커지는 것으로 검토되었으며, 그 결과는 다음의 표와 같다.

〈표 3-30〉 탁도(NTU) 수질시험 측정결과

1차 : 가동후 바로 취수				
시료명	측정시간(분)	원수(NTU)	취수(NTU)	탁도 감소율(%)
NO.1	0	51.2	-	-
NO.2	0	-	19	62.9
2차 : 15분 단위 취수				
시료명	측정시간(분)	원수(NTU)	취수(NTU)	탁도 감소율(%)
NO.3	0	28.9	-	-
NO.4	15	-	5.86	79.7
NO.5	30	-	4.45	84.6
3차 : 15분 단위 취수				
시료명	측정시간(분)	원수(NTU)	취수(NTU)	탁도 감소율(%)
NO.6	0	88.50	-	-
NO.7	15	-	9.30	89.5
NO.8	30	-	4.89	94.5
NO.9	45	-	2.57	97.1



〈그림 3-73〉 탁도(NTU) 수질시험 측정결과

나. 부유물질(SS) 수질시험 측정결과

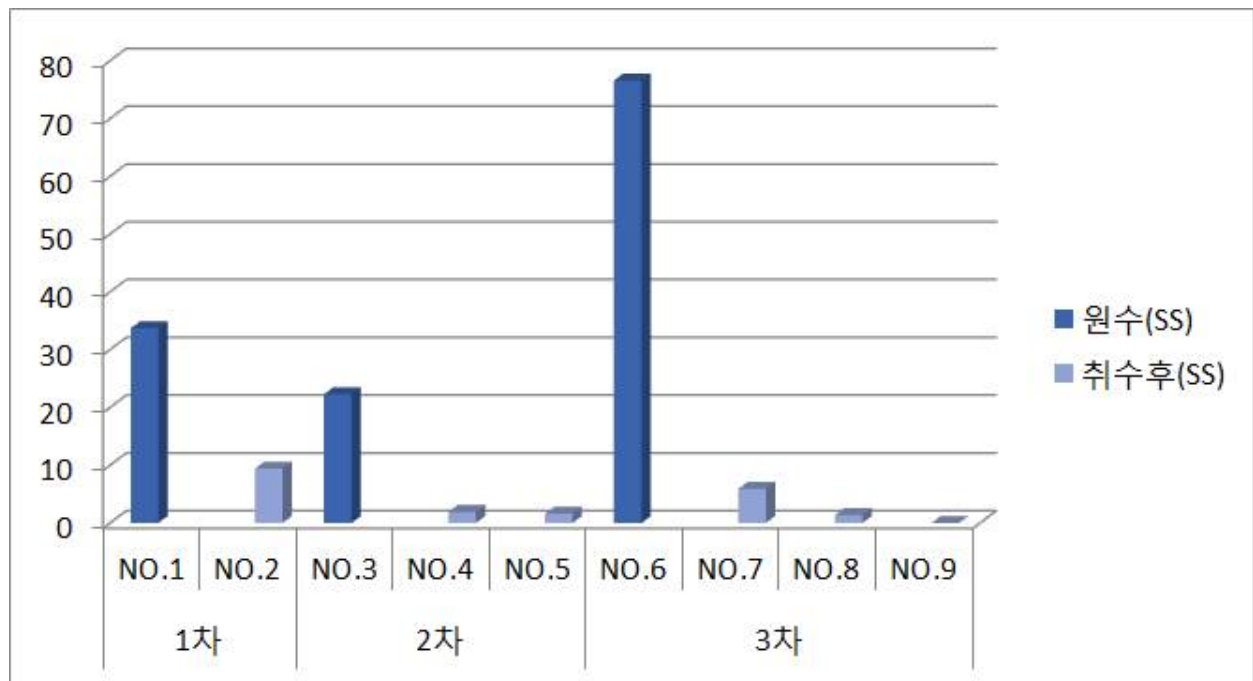
부유물질(SS) 저감 농도 변화 검토를 위해 9개의 시험수를 시제품을 제작한 K1에코텍에서 부유물질 측정방법에 의해 시료를 검토하고, 추가로 국가공인기관인 한국화학융합시험연구원에 시험을 의뢰하였다.

부유물질(SS) 수질시험 결과 1차 시험의 경우 원수대비 72.1%의 부유물질(SS) 감소율이 나타났으며, 2차 Kaolin 시약 투입 후 최대 92.8%, 3차 Kaolin 시약 투입 후 최대 100.0%의 부유물질(SS) 감소율을 보이는 것으로 나타났다.

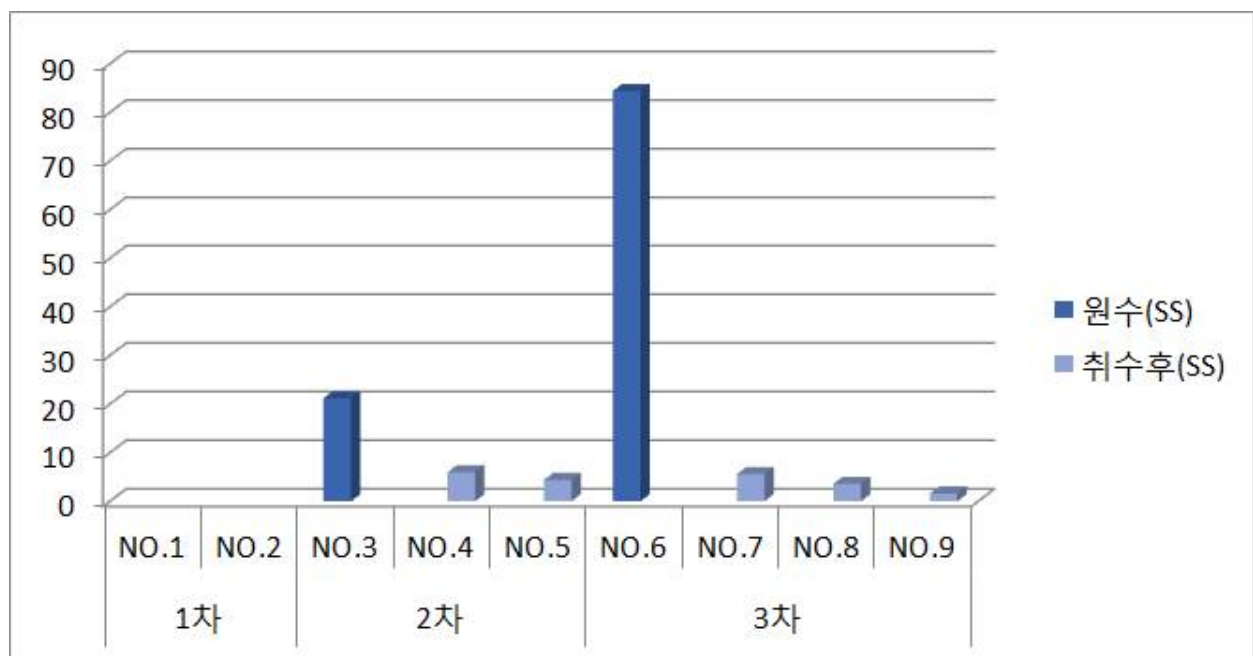
3차례의 부유물질(SS) 수질 시험 결과 시간이 흐를수록 원수대비 전처리 효과가 커지는 것으로 검토되었으며, 그 결과는 다음의 표와 같다.

〈표 3-31〉 부유물질(SS) 수질시험 측정결과

1차 : 가동후 바로취수		연구기관 측정 (K1에코텍)			공인시험기관 측정(KTR)		
시료명	측정시간 (분)	원수 (SS)	취수후 (SS)	부유물질(SS) 감소율(%)	원수 (SS)	취수후 (SS)	부유물질(SS) 감소율(%)
NO.1	0	-	-	-	33.7	-	-
NO.2	0	-	-	-	-	9.4	72.1
2차 : 15분 단위취수		연구기관 측정 (K1에코텍)			공인시험기관 측정(KTR)		
시료명	측정시간 (분)	원수 (SS)	취수후 (SS)	부유물질(SS) 감소율(%)	원수 (SS)	취수후 (SS)	부유물질(SS) 감소율(%)
NO.3	0	21.2	-	-	22.3	-	-
NO.4	15	-	6.0	71.7	-	1.9	91.5
NO.5	30	-	4.4	79.2	-	1.6	92.8
3차 : 15분 단위취수		연구기관 측정 (K1에코텍)			공인시험기관 측정(KTR)		
시료명	측정시간 (분)	원수 (SS)	취수후 (SS)	부유물질(SS) 감소율(%)	원수 (SS)	취수후 (SS)	부유물질(SS) 감소율(%)
NO.6	0	84.4	-	-	76.6	-	-
NO.7	15	-	5.6	93.4	-	5.9	92.3
NO.8	30	-	3.6	95.7	-	1.4	98.2
NO.9	45	-	1.6	98.1	-	불검출	100.0



〈그림 3-74〉 부유물질(SS) 수질시험 측정결과 (연구기관 측정, K1에코텍)



〈그림 3-75〉 부유물질(SS) 수질시험 측정결과 (KTR 한국화학융합시험연구원)



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98(중앙동)

TEL (031) 679-9515 FAX (031) 679-9528

성적서번호 : TAK-2018-123956

접 수 일 자 : 2018년 08월 08일

대 표 자 : 김종학

시험완료일자 : 2018년 08월 23일

업 체 명 : 케이원애크텍(주)

주 소 : 서울 강동구 구천연로 192, 1919(천호동, 천호역 한강 푸르지오시티)

시 료 명 : 수질 여과실험

시험결과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
부유물질	mg/L	no.1	33.7	수질오염공정시험기준 : 2017
부유물질	mg/L	no.2	9.4	수질오염공정시험기준 : 2017
부유물질	mg/L	no.3	22.3	수질오염공정시험기준 : 2017
부유물질	mg/L	no.4	1.9	수질오염공정시험기준 : 2017
부유물질	mg/L	no.5	1.6	수질오염공정시험기준 : 2017
부유물질	mg/L	no.6	76.6	수질오염공정시험기준 : 2017
부유물질	mg/L	no.7	5.9	수질오염공정시험기준 : 2017
부유물질	mg/L	no.8	1.4	수질오염공정시험기준 : 2017
부유물질	mg/L	no.9	불검출	수질오염공정시험기준 : 2017

* 부유물질 : 1 mg/L 미만은 "불검출"로 표기함

- 용 도 : 품질관리용

- 비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인용 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Park Junho

작성자 : 박준호

Tel : 02-2092-3836

Lee Junhee

기술책임자 : 이준희

Tel : 1577-0091(ARS ①-④)

2018년 08월 23일

KTR 한국화학융합시험연구원장



위변조 확인용 QR code

Page : 1 of 1

전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

전자문서본(Electronic Copy)

KTR KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE KTR-OP-T09-F01-02(08)

A4(210 X 297)

<그림 3-76> 부유물질(SS) 수질 시험 측정 시험성적서

5. 시제품 수질시험 결과 종합결론

하천수 수질환경기준에서는 생활환경에 따른 상수원수 1급, 자연환경보전, 수산용수1급, 수영용수 등을 만족하기 위해 부유물질(SS) 25mg/l이하로 기준이 마련되어 있으며, 기준현황은 다음의 표와 같다.

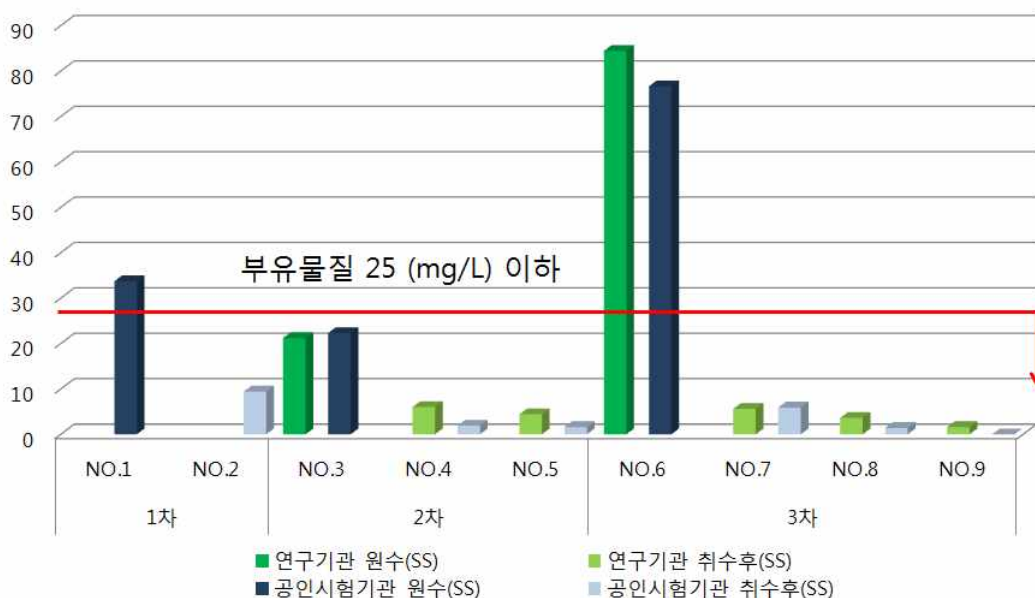
〈표 3-32〉 하천수 수질환경기준

구분	등급	이용목적별 적 용 대 상	기 준				
			pH	BOD (mg/l)	SS (mg/l)	DO (mg/l)	대장균군수 (MPN/100ml)
생활환경	I	상수원수1급 자연환경보전	6.5~8.5	1이하	25이하	7.5이상	50이하
	II	상수원수2급 수산용수1급 수영용수	6.5~8.5	3이하	25이하	5이상	1,000이하
	III	상수원수3급 수산용수2급 공업용수1급	6.5~8.5	6이하	25이하	5이상	5,000이하
	IV	공업용수2급 농업용수	6.0~8.5	8이하	100이하	2이상	-
	V	공업용수3급 생활환경보전	6.0~8.5	10이하	쓰레기 등이 떠 있지 아니 할 것	2이상	-

- ※ 1. 수산용수 1급 : 빈부수성수역의 수산생물용;
2. 수산용수 2급 : 중부수성수역의 수산생물용
3. 자연환경보전 : 자연경관등의 환경보전;
4. 상수원수 1급 : 여과등에 의한 간이정수처리후 사용
5. 상수원수 2급 : 침전여과등에 의한 일반적 정수처리후 사용;
6. 상수원수 3급 : 전처리등을 거친 고도의 정수처리후 사용
7. 공업용수 1급 : 침전등에 의한 통상의 정수처리후 사용;
8. 공업용수 2급 : 약품처리등 고도의 정수처리후 사용
9. 공업용수 3급 : 특수한 정수처리후 사용;
10. 생활환경보전 : 국민의 일상생활에 불편감을 주지 아니할 정도

본 연구의 시제품 성능검토를 위해 실험을 수행한 결과 부유물질(SS)은 원수대비 최대 100.0%의 부유물질(SS) 감소율을 보이는 것으로 나타났다.

또한, 3차례의 전처리를 통한 부유물질(SS) 수질시험결과 모두 하천수 수질환경기준 중 생활환경 I~III등급(상수원수1급, 수산용수1급, 자연환경보전)을 만족하는 것으로 검토되었으며, 그 현황은 다음의 그림과 같다.



〈그림 3-77〉 부유물질(SS) 수질시험 측정결과

제5절 통합유지관리 시스템 개발

1. 통합 유지관리 시스템 특징

수자원 활용 시스템을 효율적으로 운용하기 위한 통합 유지관리 시스템 개발을 위해 사용자 요구반영을 위한 시스템 프로토타입 개발이 필요함에 따라, 요구사항 정의 및 분석 그리고 반영을 반복해가면서 프로토타입의 완성도를 높여 최종 프로토타입을 설계하고 개발하였다.

가. 기술적 특징

(1) 클라우드 및 모바일 기술 적용을 고려한 설계

모바일 기술을 활용하여 장소와 시간에 구애받지 않고 언제 어디서나 원격에서도 용수공급, 전처리 취수, 에너지 생산 시스템을 감시/제어가 가능하도록 설계하였다.

그리고 클라우드(Cloud) 기반의 통합 유지관리 체계 구축을 통해 다양한 접속 환경(PC/노트북, 스마트폰, 태블릿 등)에서도 활용 가능하도록 개발하였다.

(2) 효율적이고 안전한 시스템 연동방안

다양한 시설물들을 효율적이고 안전하게 연동하기 위해 아래와 같은 요소를 고려하여 개발하였다.

- WEB 또는 C/S 기반의 클라이언트 연동 편의를 위한 HTTP 기반 표준프로토콜 제공
- JSON 기반의 HTTP Body 구성을 통한 프로토콜 데이터 구성
- 시설물이 설치된 단위별/유역별 정보로 구성된 아이디와 로그인 관리
- 통합관리 서버에서 컨트롤 G/W에 대한 인증키 발급 및 관리
- SSL 기반의 보안통신 적용
- JWT 기반의 인증토큰 생성 및 공개키 암호화 적용

(3) 모듈화를 통한 시스템 확장성 확보

현장 여건에 따라 용수공급, 전처리 취수, 에너지 생산 설비가 다양하게 조합되더라도 탄력적으로 적용 가능하도록 컨트롤 G/W를 설계 및 개발하였으며, 개별 시설물 별로 모듈화된 단위시설을 조합에 따라 통합하는 확장성 있는 통합 관리 시스템을 구축하였다.

2. 통합 유지관리 시스템 주요 요소기술

주요 요소기술은 아래와 같으며, 4가지 주요 개발부분(클라이언트 App., 관리서버, 게이트웨이, IoT 시설) 및 기반기술로 구분된다.

가. 주요 요소기술

(1) 클라이언트 App.

관리 서버를 통해 클라우드 가상화된 게이트웨이에 접속하여 IoT 시설물을 관리(장치제어,

정보데이터 수집) 한다.

(2) 관리서버

게이트웨이를 가상화하여 '통합관리 서비스' 세션을 관리하고 클라이언트 App.의 '통합관리 서비스' 접속을 위한 PROXY 역할을 수행한다.

(3) 게이트웨이

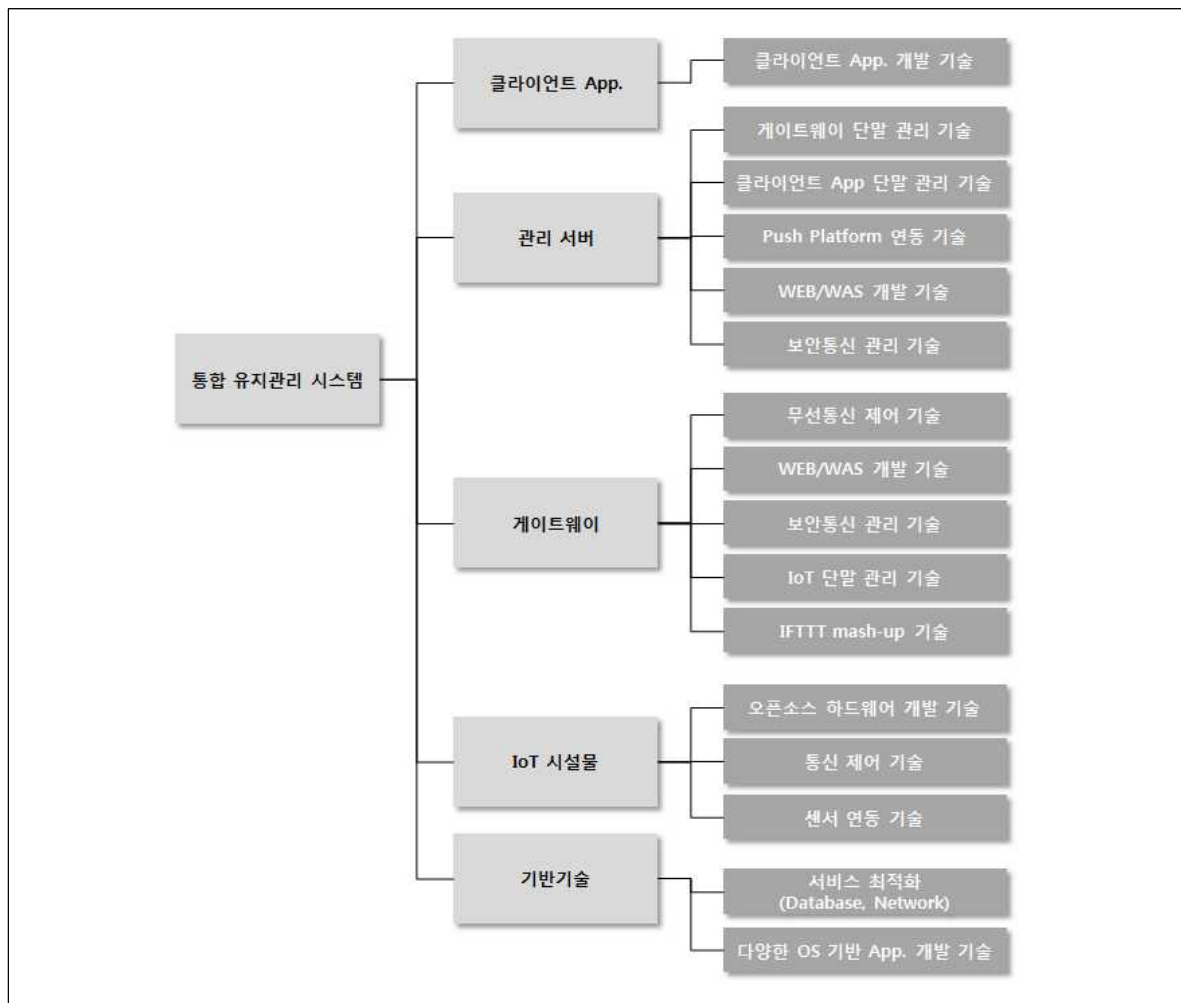
유/무선 네트워크 기반의 IoT 시설물을 관리(장치제어, 정보수집)하고 클라우드 가상화를 통해 '통합관리 서비스'를 실현한다.

(4) IoT 시설물

라즈베리파이 오픈소스 보드에 PLC 기반의 시설물을 연동하여 수집된 환경정보를 통합관리 시스템과 연동한다.

(5) 기반기술

현장 내 IoT 시설물을 위한 '통합관리 서비스'를 위해서는 클라이언트, 서버, 게이트웨이 그리고 IoT 시설물에 대한 기반기술과 Database, Network 최적화 기술이 필수적이다.



〈그림 3-78〉 주요요소 기술

나. 주요 기능

통합관리 시스템을 구성하는 개발항목은 아래와 같으며, 각 항목별 기능은 아래와 같다.

(1) 클라이언트 App.

- IoT 시설물에서 제공되는 실시간 정보데이터 조회 기능
- IoT 시설물 제어 기능
- IF This Then That 기반 제어 및 알람 조건 설정 기능
- 전원 제어 장치 제어 기능
- 관리서버와의 통신 구간 암호화 기능

(2) 관리서버

- 게이트웨이와 클라이언트 App.을 중계하며, 가입자 관리
- 관리서버는 사용자가 많아질 것을 대비하여, 클라우드 기반으로 설계 및 제작
- 클라이언트 App.과의 통신 구간은 HTTPS를 이용
- 게이트웨이와의 통신 구간은 HTTPS를 이용
- 인터넷 통신 구간은 RSA(비대칭키암호화), AES(대칭키암호화)를 혼합한 암호화 방식을 이용
- IF This Then That 기반 제어 및 알람 조건 설정 기능
- 클라이언트 App. 사용자 인증 기능

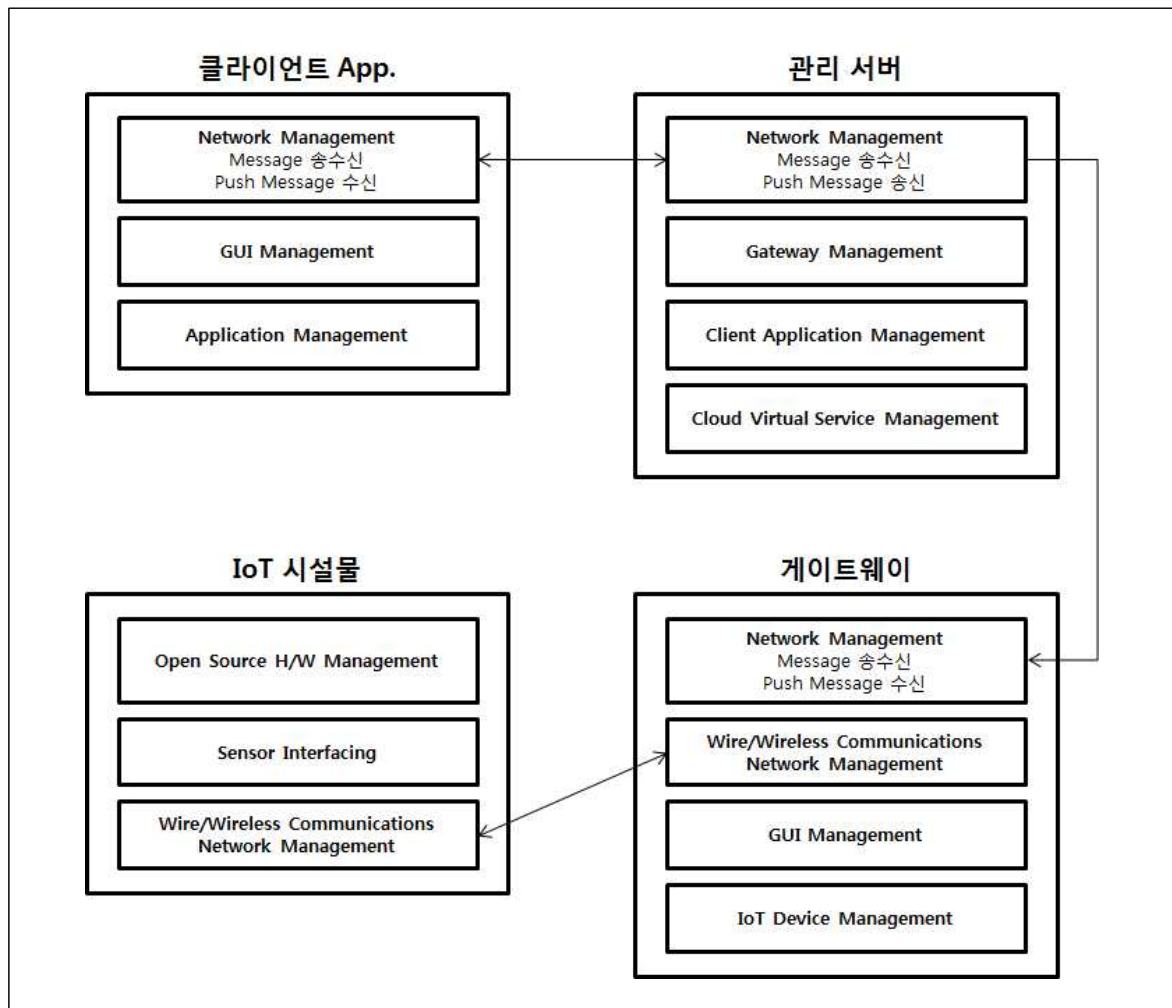
(3) 게이트웨이

- 각종 IoT 시설물 장치(고무보, 수문, 수차발전기 등) 등록 기능
- 각종 IoT 시설물에서 획득한 실시간 정보데이터 업로드 기능
- 각종 IoT 시설물 장치 제어 기능
- 관리서버와의 통신 구간 암호화 기능

(4) IoT 시설물

IoT 시설물은 전원의 On/Off 상태 및 제어, 다양한 상태 정보데이터를 모니터링 할 수 있으며, 유무선 네트워크를 이용해서 다른 장비와 제어 및 상태를 공유 할 수 있어야 된다.

개발 범위에 대한 논리적 구조는 다음의 그림과 같다.



〈그림 3-79〉 논리적 구조

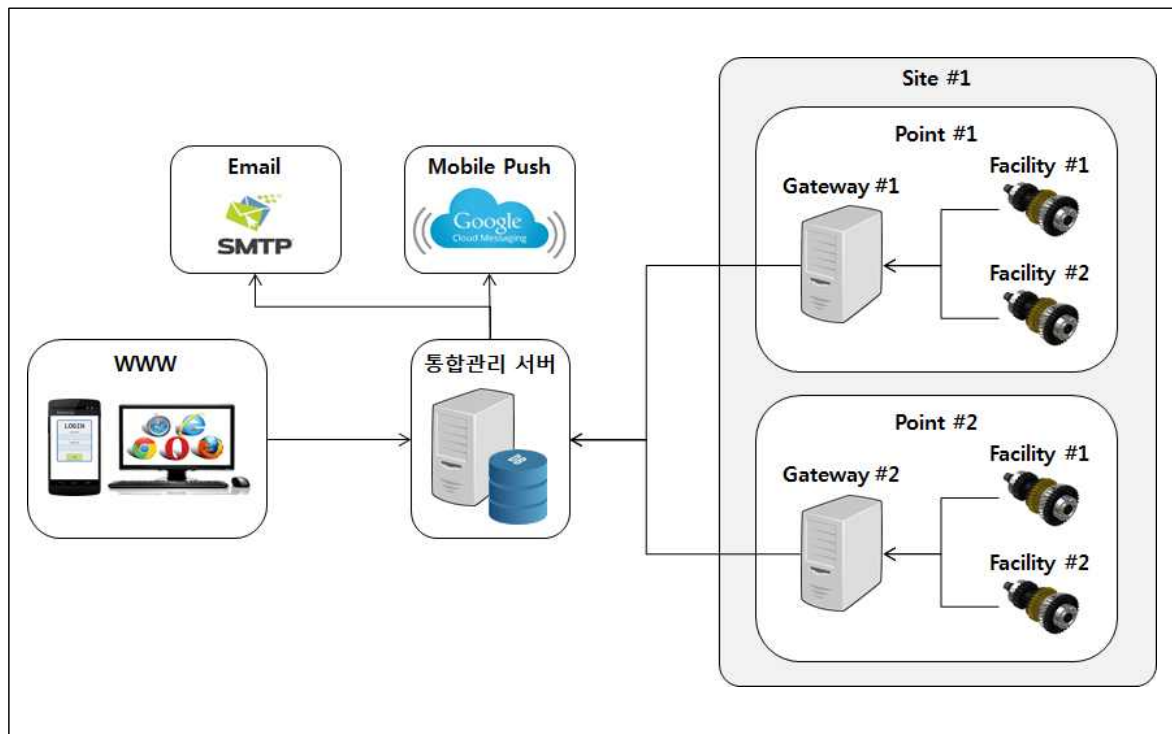
3. 통합 유지관리 시스템 설계

본 연구에 따른 용수 확보 및 전처리 취수, 에너지 생산 설비의 다양한 조합을 통한 수자원 활용시스템의 탄력적인 운영 및 유지관리 비용 최소화를 위한 통합 유지관리 시스템 설계항목은 아래와 같다.

- 시스템 구성도
- 기능정의서
- 프로토콜 정의서
- FacilitySpecification정의서
- IA(Information Architecture) 설계

가. 시스템 구성도

통합 유지관리 시스템 구성도는 다음의 그림과 같다.



〈그림 3-80〉 시스템 구성도

나. 기능정의서

통합 유지관리 시스템 개발을 위해 설계단계에서 정의해야 할 기능정의서 작성을 위해 사용자 요구사항 정보를 수집하고 시스템 기능으로 충족시켜야 하는 요구사항 정보를 수집하여 기술 요구사항을 정의한다.

또한 사용자 및 시스템 요구사항 정의 및 분석 그리고 반영을 반복해가면서 프로토타입의 완성도를 높여 최종 프로토타입을 설계한다.

향후 본 과제 산출물인 프로토타입을 활용하여 개발된 수자원 활용 시스템은 직립형 고무보에 의한 용수를 확보하고, 스마트 수문을 활용한 친환경 소수력 에너지와 하천 및 저수지 등 다양한 조건에서의 조합, 융합된 시스템을 구성하여 통합 유지관리 시스템을 통해 효율적 운용이 가능하도록 한다.

〈표 3-33〉 기능정의 분류

기능정의		
대분류	중분류	상세내역
회원관리	회원가입	이메일 아이디 기반의 회원가입이 정상적으로 처리되어야 한다.
	로그인	회원가입 정보로 로그인이 정상적으로 처리되어야 한다.
	비밀번호 찾기	랜덤 생성한 비밀번호를 이메일 아이디로 메일이 발송되어야 한다.
	개인정보 변경	회원 비밀번호, 소속 회사명, 소속 부서명을 변경할 수 있어야 한다.
	회원 탈퇴	회원 탈퇴가 정상적으로 처리되어야 한다. 탈퇴 시 회원 관련 정보는 모두 삭제되어야 한다.
사이트관리	사이트 조회	사이트(현장) 정보 조회가 정상적으로 처리되어야 한다.
		특정 사이트 정보를 조회할 수 있어야 한다.
		전체 사이트 정보를 조회할 수 있어야 한다.
	시설 조회	사이트에 설치된 시설정보를 조회할 수 있어야 한다.
		시설의 최종 상태 업로드일시 정보를 조회할 수 있어야 한다.
		시설의 상태를 조회할 수 있어야 한다.
	사이트 등록	사이트(현장) 정보를 등록할 수 있어야 한다.
	시설 등록	사이트에 설치되는 시설정보를 사이트 정보와 함께 등록할 수 있어야 한다.
	사이트 변경	사이트(현장) 정보를 변경할 수 있어야 한다.
	시설 변경	사이트에 변경되는 시설정보를 사이트 정보와 함께 변경할 수 있어야 한다.
	사이트 삭제	사이트(현장) 정보를 삭제할 수 있어야 한다.
사용자 IFTTT 관리	IFTTT 조회	사용자의 IFTTT 정보 조회가 정상적으로 처리되어야 한다.
		특정 사용자의 정보를 조회할 수 있어야 한다.
		IFTTT의 조건을 조회할 수 있어야 한다.
	IFTTT 등록	사용자의 IFTTT 정보를 등록할 수 있어야 한다.
		IFTTT 조건을 IFTTT 정보와 함께 등록할 수 있어야 한다.
	IFTTT 변경	사용자의 IFTTT 정보를 변경할 수 있어야 한다.
		IFTTT 조건을 IFTTT 정보와 함께 변경할 수 있어야 한다.
	IFTTT 삭제	사용자의 IFTTT 정보를 삭제할 수 있어야 한다.
		IFTTT 조건을 IFTTT 정보와 함께 삭제할 수 있어야 한다.

다. 프로토콜 정의서

(1) 프로토콜 개요

- 본 프로토콜은 Gateway와 통합관리 서버 및 클라이언트 사이에 전송되는 데이터와 전송 방법에 대한 규약이다.
- TCP기반의 HTTP 통신을 지원한다.
- HTTP 1.1 규약을 준수하여 데이터 크기는 제한이 없으며 대용량 데이터의 경우 Chunked Type으로 전송될 수 있다.
- 전송되는 데이터 포맷은 JSON을 사용한다.
- 서비스 요청 시에는 Rest 기반의 GET, POST 메소드를 사용한다.
- 비동기 등의 처리를 지원하기 위해 transaction_id 필드를 제공한다.
- transaction_id 값은 “년/월/일/시/분/초/밀리초” 구성을 권장한다.

(2) 프로토콜 예시(시설상태 업로드)

facility_status_upload.REQ
POST /facility_status_upload { “transaction_id” : “20171019210528000” , “payload” : { “id” : “960d2269-e6e6-31f5-b876-67afab81ds” , “status_list” : [{ “name” : “water_level” , “value” : “39” } , { “name” : “pressure” , “value” : “1764” } , { “name” : “power” , “value” : “on” }] } }
facility_status_upload.RES
HTTP/1.1 200 OK { “transaction_id” : “20171019210528000” , “result” : { “code” : “0” , “message” : “ok” } }

(3) 프로토콜 종류

프로토콜 종류는 다음의 표와 같으며 세부내역은 성과증빙서류 중 산출물 보고서에서 설명한다.

〈표 3-34〉 프로토콜 종류

Service Name	Service Description
sign_up	회원 가입
sign_in	로그인
find_user	비밀번호 찾기
change_user	개인정보 변경
leave_user	회원 탈퇴
get_site	사이트 조회
add_site	사이트 등록
set_site	사이트 변경
del_site	사이트 삭제
facility_status_upload	시설 상태 업로드
facility_control	시설 제어
get_user_ifttt	사용자 IFTTT 조회
add_user_ifttt	사용자 IFTTT 등록
set_user_ifttt	사용자 IFTTT 변경
del_user_ifttt	사용자 IFTTT 삭제

라. FacilitySpecification 정의서

(1) Facility Specification 개요

- Facility Specification은 통합유지관리 시스템 시설의 상태정보에 대한 명세서이다.
- 명세서의 내용에는 시설 상태의 표시이름 및 상태이름과 상태값에 대한 명세를 포함한다.
- 시설의 상태값은 수치형(Number)과 텍스트(Text)형으로 구분되며 열거형(Enum)과 범위형(Range)을 제공한다.

(2) Specification 예시(고무보 - FacilitySpec_Dam)

FacilitySpec_Dam
<pre>{ "type" : "Dam", "name" : "Specification_Dam", "general" : { "display" : "고무보", }, "status" : [{ "name" : { "value" : "power", "display" : "전원" }, "value" : { "form" : "text", "type" : "enum", }, }, { "value" : "on", "display" : "켜짐" }, { "value" : "off", "display" : "꺼짐" }] }</pre>

(3) Specification 종류

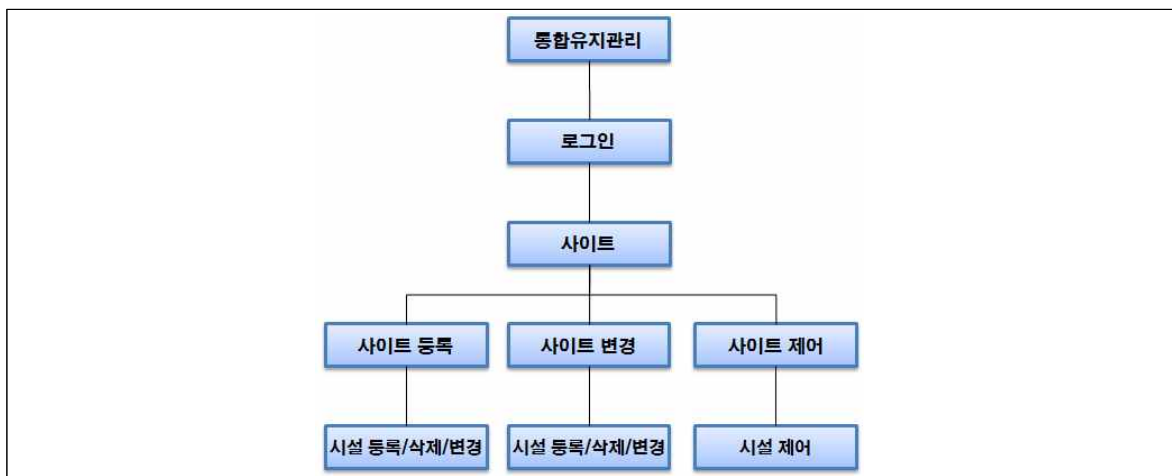
Specification 종류는 아래표와 같으며 세부내역은 성과증빙서류 중 산출물 보고서에서 설명한다.

〈표 3-35〉 Specification 종류

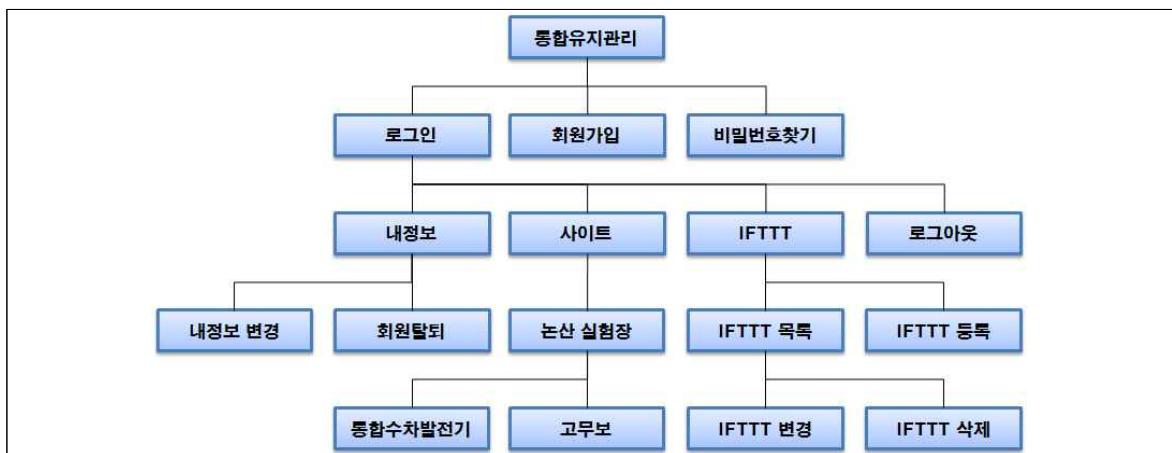
Type	SpecName	Description
Dam	Specification_Dam	고무보 시설 명세서
FloodGate	Specification_FloodGate	수문 시설 명세서
WaterTurbing	Specification_WaterTurbing	수차 발전기 시설 명세서
WaterPowerObserver	Specification_WaterPowerObserver	수차 전력 감시 시설 명세서

마. IA(Information Architecture) 설계

통합 유지관리 시스템 개발을 위해 설계단계에서 정의해야 하는 화면UI/UX 설계를 위해 각 시설물에 기능 및 정보 데이터를 구조화하는 각 시스템별 IA(Information Architecture) 구성도는 다음의 그림과 같다.



〈그림 3-81〉 관리자 시스템 IA 구성도



〈그림 3-82〉 사용자 시스템 IA 구성도

4. 통합 유지관리 시스템 개발

최종 프로토타입 설계를 토대로 시스템을 구성하는 부분을 개발하였으며 개발항목은 아래와 같다.

- 관리서버
- 클라이언트 App.
- 게이트웨이

시스템 설계에 따라 구현한 관리서버(Admin)와 클라이언트(User)의 주요 기능별 화면UI는 아래와 같으며 세부내역 및 시스템 테스트 결과는 성과증빙서류 중 산출물 보고서에서 설명한다.

가. 관리서버(Admin)

(1) 인트로 및 로그인 화면

(가) 인트로

- 서비스 로고 노출

(나) 로그인

- 로그인 아이디 및 비밀번호를 입력 후 로그인



<그림 3-83> 인트로-로그인 화면

(2) 사이트 목록 및 등록 화면

(가) 사이트 목록

- 시스템에 등록된 모든 사이트의 기본정보 조회
- [상세] 버튼을 눌러 사이트에 등록된 시설 목록 조회

(나) 사이트 등록

- 사이트 기본정보 입력
- 사이트 시설 추가
- [제어 URI] 항목의 경우 게이트웨이 접속주소를 기입(사이트 실무 담당자 확인 필요)



<그림 3-84> 사이트 목록 화면

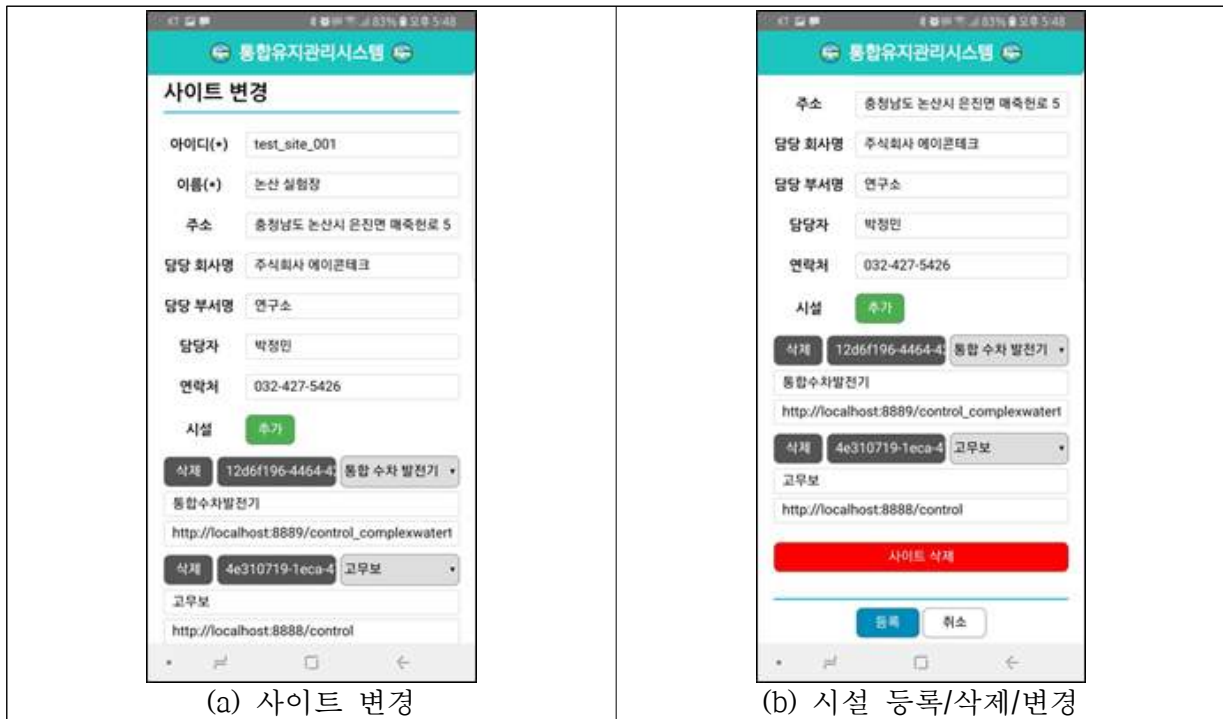
(3) 사이트 변경 화면

(가) 사이트 변경

- 사이트의 기본정보를 변경

(나) 시설 등록/삭제/변경

- 사이트의 시설을 추가/삭제
- 시설의 [이름], [제어 URI] 항목을 변경



<그림 3-85> 사이트 변경 화면

(4) 사이트 제어 화면

(가) 사이트 제어

- 사이트에 등록된 시설의 상태를 제어

(나) 시설 제어

- 제어하고자 하는 시설의 [제어상태], [제어값]을 차례대로 선택하고 [제어] 버튼을 눌러 제어
- 시설의 여러 상태를 동시에 제어 가능



<그림 3-86> 사이트 제어 화면

나. 클라이언트(User)

(1) 회원가입 및 비밀번호 찾기

- (a) 회원가입
- 회원가입에 필요한 정보를 모두 입력
 - MQTT, FCM 항목은 자동가입

- (b) 비밀번호 찾기
- 회원가입 이메일로 임시 비밀번호를 발송

<그림 3-87> 회원가입 화면

(2) 메인메뉴 화면

- (a) 메인메뉴
- [내정보] 메뉴를 통해 회원가입 정보 변경
 - [사이트] 메뉴를 통해 사이트 목록 조회
 - [IFTTT] 메뉴를 통해 내조건 목록 조회

- (b) 내정보
- 회원가입 정보를 변경
 - MQTT, FCM의 갱신 버튼을 눌러 자동가입

<그림 3-88> 메인메뉴 화면

(3) 사이트 목록 화면



(a) 사이트 목록

- 시스템에 등록된 모든 사이트의 기본정보 조회
- [상세] 버튼을 눌러 사이트에 등록된 시설 목록 조회



(b) 시설 목록-1

- 사이트에 등록된 시설 목록을 조회
- 시설의 최신 상태를 [항목], [값], [일시]로 표시



(c) 시설 목록-2

- 제어가 가능한 항목의 경우 제어버튼 노출

<그림 3-89> 사이트 목록 화면

(3) IFTTT 목록 화면

(가) IFTTT 목록

- 사용자의 모든 IFTTT 목록 조회
- [고무보, 수위, # {X } < 0] 항목의 경우 고무보의 수위가 0보다 작은 조건을 의미
- [고무보, 모드, 원격] 항목의 경우 고무보 모드가 원격으로 변경되는 조건을 의미

(나) IFTTT 등록

- 등록에 필요한 정보를 모두 입력
- 고무보의 수위가 10이상인 조건을 추가하고자 하는 경우 [고무보], [수위]를 차례대로 선택하고 [# {X } >= 10]을 조건식으로 입력

(다) IFTTT 삭제

- IFTTT 변경화면에서 [IFTTT 삭제] 버튼을 눌러 삭제



〈그림 3-90〉 IFTTT 목록 화면

다. 게이트웨이

(1) 게이트웨이 기능

통합관리를 위해 게이트웨이는 시설의 상태를 수집하고 수집된 정보를 통합유지관리 시스템으로 업로드하는 기능을 수행하고, 통합유지관리 시스템의 제어명령을 수신하여 시설의 상태를 제어한다.

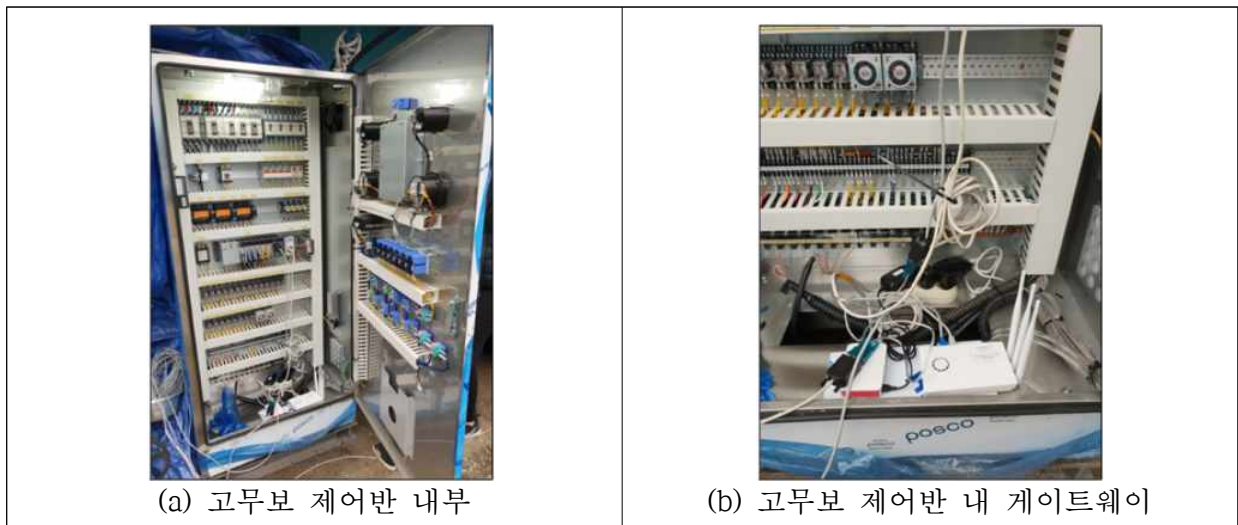
게이트웨이를 구성하는 주요 구성품은 아래와 같다.

〈표 3-36〉 게이트웨이 주요 구성품 리스트

구성품	주요 기능
라즈베리파이3	PLC 장비의 신호를 분석하고 통합유지관리시스템을 연동
MicroSD	라즈베리파이3 메모리로 사용
usb to rs232	PLC 장비의 RS232 신호를 라즈베리파이3 USB 신호로 변환
와이파이 확장기	와이파이 확장기
와이파이 공유기	테스트 실험장 사이트에 WAN 환경을 구성하기 위한 장치



〈그림 3-91〉 통합수차발전기 제어반



〈그림 3-92〉 고무보 제어반

라. 통합관리 시스템 테스트 결과

통합관리 시스템의 정보 전달율과 메시징 수신율 테스트를 위해 각 시설물의 테스트 시나리오를 작성하고 그에 따른 테스트 환경을 구성하여 실시하였으며, 그 테스트 결과는 아래와 같다. 테스트 결과 로그파일은 성과증빙서류 중 산출물 보고서에서 확인할 수 있다.

〈표 3-37〉 테스트 결과

성과지표	최종 성과점검기준			검증방법
	테스트 항목	목표치	결과치	
정보전달율	통합수차발전기 상태 업로드	99% 이상	100%	테스트 보고서
	고무보 상태 업로드	99% 이상	100%	
	고무보 상태제어	99% 이상	100%	
메시징수신율	IFTTT 메시징	95% 이상	100%	

(1) 통합수차발전기 상태 업로드 테스트

(가) 테스트 일시

- 2018/11/13 15:28:23 ~ 2018/11/13 16:30:19

(나) 테스트 시나리오

- 게이트웨이측에서 통합수차발전기의 [TOTAL 전력] 상태를 임의 변경하여 통합유지관리 시스템으로 상태를 업로드

(다) 테스트 수치

- 약 1시간동안 게이트웨이 측에서 3506건의 업로드 발생
- 약 1시간동안 통합유지관리 시스템 측에서 3506건의 트랜잭션 발생

(라) 테스트 결과

- 수치결과는 100%로서 정보전달율 목표 99% 충족
- 첨부파일명 : upload_enc.zip, upload_enc_server_log.zip

(2) 고무보 상태 업로드 테스트

(가) 테스트 일시

- 2018/11/13 13:21:36 ~ 2018/11/13 14:29:07

(나) 테스트 시나리오

- 게이트웨이측에서 고무보의 [압력] 상태를 임의 변경하여 통합유지관리 시스템으로 상태를 업로드

(다) 테스트 수치

- 약 1시간동안 게이트웨이 측에서 3815건의 업로드 발생
- 약 1시간동안 통합유지관리 시스템 측에서 3815건의 트랜잭션 발생

(라) 테스트 결과

- 수치결과는 100%로서 정보전달율 목표 99% 충족
- 첨부파일명 : upload_daedo.zip, upload_daedo_server_log.zip

(3) 고무보 상태제어 테스트

(가) 테스트 일시

- 2018/11/13 17:01:00 ~ 2018/11/13 17:04:37

(나) 테스트 시나리오

- 사용자 로그인 후 [사이트] 메뉴의 [고무보] 시설 상태 화면에서 직접 제어
- 제어 가능한 [기립밸브], [도복밸브]에 대해 [열기], [닫기] 제어를 수행

(다) 테스트 수치

- 약 4분동안 사용자 측에서 100건의 상태 제어
- 통합유지관리 시스템 측에서 100건의 트랜잭션 발생
- 게이트웨이 측에서 100건의 상태 제어 요청 확인

(라) 테스트 결과

- 수치결과는 100%로서 정보전달율 목표 99% 충족
- 첨부파일명 : control_daedo.zip, control_daedo_server_log.zip

(4) IFTTT 메시징 테스트

(가) 테스트 일시

- 2018/11/13 17:34:28 ~ 2018/11/13 17:35:10

(나) 테스트 시나리오

- 사용자가 등록한 IFTTT 조건을 통합유지관리 시스템에서 임의 발생
- 사용자측 MQTT Client에서 IFTTT Triggering 메시지 수신

(다) 테스트 수치

- 약 1분동안 통합유지관리 시스템 측에서 105건의 IFTTT Trigger 트랜잭션 발생
- 사용자측 MQTT Client에서 105건의 IFTTT Triggering 메시지 수신

(라) 테스트 결과

- 수치결과는 100%로서 메시징수신을 목표 95% 충족
- 첨부파일명 : ifttt_daedo.zip, ifttt_daedo_server_log.zip

(마) 향후 보완사항 및 추가 연구개발

- 복합적인 테스트를 통한 운영상의 변수 도출 및 문제점 보완
- 일반적인 경고 기능은 구현되어 있으나, 보다 다양한 운영상의 변수를 고려하여 안정성 확보

제4장. 목표 달성도 및 관련분야 기여도

제1절 목표 달성도

1. 양적 성과지표 달성도

핵심성과		단위성과		성과목표	결 과
A	직립형 고무보 개발	A-1	직립형 고무보 설계	보고서 : <u>1 건</u>	보고서 : <u>1 건</u>
		A-2	특허	출원 : <u>1 건</u> 등록 : <u>1 건</u>	출원 : <u>1 건</u> 등록 : <u>1 건</u>
		A-3	신기술	신청 : <u>1 건</u>	신청 : <u>0 건</u>
		A-4	직립형 고무보 제작	시제품 : <u>1 건</u>	시제품 : <u>3 건</u>
		A-5	성능시험 및 검증	시험성적서 : <u>2 건</u>	시험성적서 : <u>2 건</u>
		A-6	제품 표준화	보고서 : <u>1 건</u>	보고서 : <u>1 건</u>
		A-7	제품 사업화	보고서 : <u>1 건</u> 브로셔제작 : <u>1 건</u>	보고서 : <u>1 건</u> 브로셔제작 : <u>1 건</u>
		A-8	수치모의	보고서 : <u>1 건</u> 학술발표 : <u>1 건</u> 논문 : <u>1 건</u>	보고서 : <u>1 건</u> 학술발표 : <u>1 건</u> 논문 : <u>1 건</u>
		A-9	환경성 및 경제성 분석	보고서 : <u>1 건</u> 학술발표 : <u>1 건</u> 논문 : <u>1 건</u>	보고서 : <u>1 건</u> 학술발표 : <u>1 건</u> 논문 : <u>1 건</u>
B	스마트 수문을 활용한 소규모 에너지의 개발	B-1	스마트 수문 및 수차의 설계	보고서 : <u>1 건</u> 시험성적서 : <u>2 건</u>	보고서 : <u>1 건</u> 시험성적서 : <u>2 건</u>
		B-2	시제품 제작	시제품 : <u>1 건</u>	시제품 : <u>1 건</u>
		B-3	특허	출원 : <u>1 건</u> 등록 : <u>1 건</u>	출원 : <u>3 건</u> 등록 : <u>1 건</u>
		B-4	학술대회	논문 : <u>1 건</u>	논문 : <u>1 건</u>
		B-5	전시회	전시회 참가 : <u>1 건</u>	전시회 참가 : <u>2 건</u>
C	부유물질 저감 전처리 취수시설 개발	C-1	시제품 설계	보고서 : <u>1 건</u>	보고서 : <u>1 건</u>
		C-2	특허	출원 : <u>1 건</u> 등록 : <u>1 건</u>	출원 : <u>1 건</u> 등록 : <u>0 건</u>
		C-3	시제품 제작	시제품 : <u>1 건</u> 시험성적서 : <u>1 건</u>	시제품 : <u>1 건</u>
D	통합 유지관리 시스템 개발	D-1	시스템 프로토타입 설계	보고서 : <u>1 건</u>	보고서 : <u>1 건</u>
		D-2	시스템 프로토타입 개발	보고서 : <u>1 건</u>	보고서 : <u>1 건</u>
계				특허출원 : <u>3 건</u> 특허등록 : <u>3 건</u> 신기술 : <u>1 건</u> 논문 : <u>3 건</u> 학술발표 : <u>2 건</u> 시험성적서 : <u>5 건</u> 보고서 : <u>8 건</u> 시제품 : <u>3 건</u>	특허출원 : <u>5 건</u> 특허등록 : <u>2 건</u> 신기술 : <u>0 건</u> 논문 : <u>3 건</u> 학술발표 : <u>2 건</u> 시험성적서 : <u>5 건</u> 보고서 : <u>8 건</u> 시제품 : <u>5 건</u>

본 연구의 양적성과 목표 및 달성도는 위의 표와 같으며, 각각의 목표에 대한 달성도를 간략히 기술하면 다음과 같다.

- (1) 국내 특허를 총 5건 출원하였으며 2건이 등록되었고 1건은 등록 진행 중이다. (목표치: 출원 3건, 등록 3건 / 달성치: 출원 5건, 등록 2건)
- (2) 논문은 3건을 게재하였다. (목표치: 3건 / 달성치: 3건)
- (3) 학술발표는 한국산학기술학회, 한국기후변화학회 등에 2건을 발표하였다. (목표치: 2건 / 달성치: 2건)

2. 질적 성과지표 달성도

최종성과 점검기준						결과
핵심성과	단위성과	성과지표	목표치	측정방법	검증방법	
직립형 고무보 개발	조사 및 분석	자재시험	성능분석을 통해 설정된 목표치 이상	검측	성적서	시험성적서
		수두별 모델링 분석자료	0.5m~3.0m case별 자료	수치모의	보고서	보고서
	직립형 고무보 설계	설계서			보고서	보고서
	특허	특허 출원, 등록	특허 1건	-	특허증	출원 1건 등록 1건
	신기술	신기술 신청	신청 2건	-	보고서	-
	직립형 고무보 제작	시제품	기립각 90°	기능검사	동영상 제출	사진, 동영상
	성능시험 및 검증	시제품 정상작동 모니터링	성능분석을 통해 설정된 목표치 이상	공인기관 시험의뢰	시험성적서	시험성적서
	제품 표준화	표준 설계도서	도면,내역,시방서	산출물검사	종합기술보고서	보고서
	제품 사업화	사업화 컨설팅			종합기술보고서	보고서
		종합 브로셔 제작			브로셔	브로셔
스마트 수문을 활용한 소규모 에너지의 개발	스마트 수문 및 수차의 설계	스마트 수문	제작설계	검측	확인서	검측확인서
		수력효율	75%	검측	성적서	시험성적서 (75.6%)
		수문 진동	3.5mm	검측	검측서	시험성적서 (0.9mm)
	시제품 제작	시제품 제작	시제품	현물	도면	시제품 1건
	특허	특허 출원, 등록	특허 1건	-	특허증	출원 3건 등록 1건
	학술대회	논문발표	1건	학회	논문	논문발표 1건
	부유물질 저감 전처리 취수시설 개발	시제품 설계	기술보고서		보고서	보고서
부유물질 저감 전처리 취수시설 개발	특허	특허 출원, 등록	특허 1건		특허증	출원 1건 등록 0건(진행중)
	시제품 제작	시제품		수질검사	시험성적서	시험성적서

최종성과 점검기준						결과
핵심성과	단위성과	성과지표	목표치	측정방법	검증방법	
통합 유지관리 시스템 개발	시스템 프로토타입 설계, 개발	설계 정보전달율 메시징 수신율	99% 이상 95% 이상	기능 테스트 기능 테스트	보고서	보고서

제2절 관련분야 기여도

1. 기술적 측면

기술적으로는 시제품개발과 모니터링을 통해 제품의 성능을 인증받아 기술을 상용화시킬 수 있다. 세부적인 기술적 측면의 기대성과는 다음과 같다.

기술개발 목표	기술적 측면의 기대성과
직립형 고무보 개발	- 내구성, 경제성이 향상된 직립형 고무보 기술 개발 - 균등한 수위 조절 및 90° 까지 조절이 가능한 직립형 고무보 개발
스마트 수문을 활용한 소규모 에너지의 개발	- 일체형 스마트 수문과 수차로 토건 비용 절감 - 소형화, 경량화, 저낙차, 고효율 가능 수차 개발
부유물질저감 전처리 취수시설 개발	- 하천 및 저수지에서 적용 가능한 모듈형 전처리 취수시설 - 큰 이물질, 부유물질을 제거
수치모의에 의한 설계인자 도출 및 실용화	- 수치모형실험에 의한 성능 효과 검토 - 수치모형실험에 의한 설계인자 도출 및 가이드라인 제안
통합유지관리시스템 개발	- 모바일 기반의 원격 감시/제어/관리 시스템 구축 - 빅데이터 분석을 통한 시스템 최적 운영 및 유지관리 비용 절감
환경성 및 경제성 분석	- 통합 수자원 활용 시스템의 환경성 분석 - 통합 수자원 활용 시스템의 경제성 분석

직립형 고무보, 스마트 수문을 이용한 소규모 발전을 통합한 유지관리 시스템을 통해 각 개별로 존재하던 기술을 통합하여 유지관리를 편리하게 할 수 있는 장점이 있다. 또한 하천 중요 시설물인 가동보와 수문의 작동 상태를 원격지에서 스마트폰이나 PC를 통해 실시간 확인할 수 있으며 위험 요소 발생 시 경보기능을 통해 신속하게 전파할 수 있고, 이를 통해 신속한 유지보수가 가능하므로, 개별 시설물과 관리자간의 양방향 소통이 가능해지는 IoT 결합 시스템이다.

2. 사회경제적 측면

사회·경제적으로는 국내시장의 조기진입을 유도하고 해외 물시장 분야와 ODA사업에 진출할 수 있다. 세부적인 사회·경제적 측면에서 기대성과는 다음과 같다.

- 기존 농업용 저수지 증고 사업시 여수로 수문 전면 교체 등 토건 비용에 막대한 예산이 소요되나 통합 수자원 활용 시스템으로 기존 시설 보강후 직립형 고무보 도입이 가능함으로써 예산을 절감할 수 있음

- 기후변화 대응 수자원 활용 시스템으로 효율적 수자원 활용이 가능할 뿐만 아니라 유지관리 비용도 절감됨
- 용수 이용 및 재이용시 친환경 소수력 발전을 이용한 전력 생산이 가능하여 탄소 저감, 녹색 성장이 가능한 친환경성, 경제성이 있음
- 용수 활용시 이물질이나 부유물질이 저감 가능한 취수시설로 농업용수, 조정용수, 전처리 생활용수로 활용 가능함으로 자원의 활용효과가 증대됨

3. 정책적 측면

농업이 주산업인 동남아시아나 가뭄으로 인한 물부족이 극심한 개발도상국의 경우 용수 확보 뿐만 아니라 전처리된 용수의 이용도 필요하고, 전력 생산이 가능한 소수력 발전도 절실히 요구되고 있는 실정이다. 정부 주도의 동남아시아 개발도상국을 상대로 한 ODA 사업을 통해 유지관리도 경제적이고 효율적 수자원 활용이 가능한 본 기술을 현지의 관리청과 연계하여 보급한다면 다양한 조건에 적용이 가능하여 수출증대 및 국가이미지 상승의 효과가 기대된다.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

제1절 성과물의 활용 방안

본 연구에서 개발한 수자원 활용 시스템은 용수확보, 용수취수, 용수이용 등 기후변화 대응 가뭄대비 효율적 유지관리가 가능한 수자원 활용 시스템으로 각 지자체, 한국농어촌공사, 한국수자원공사, 국토교통부, 국민안전처 등에 제안하여 판매할 계획이다. 인구증가, 경제성장에 따른 물수요 증가, 기후변화에 따른 가뭄 등 재난으로 인한 물부족, 수질확보 필요로 인한 물생산시스템의 필요성에 대한 인식이 증가하므로, 각 지방자치단체 및 정부기관에 지속적으로 접촉하여 기후변화 대응 수자원 활용 시스템의 장점을 최대한 홍보한다면, 장기적으로 지속적인 매출이 발생할 것으로 예상된다. 또한 환경부, KOICA 및 KOTRA와 연계하여 해외 물부족국가에 판매할 계획이다. 본 연구 개발 제품의 연도별 판매계획은 다음과 같다.

〈표 5-1〉 연도별 판매계획

(단위 : 백만원)

연 도 별		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025~2034 (안정기)	2035~2039 (쇠퇴기)
통합 수자원 활용 시스템	국내	2,100	4,500	7,500	10,000	12,000	12,000	48,000	24,000
	해외	1,500	4,500	7,000	10,000	11,000	12,000	48,000	24,000
합 계		3,600	9,000	14,500	20,000	23,000	24,000	96,000	48,000

현장의 상황이나 조건, 수문의 개방 여부나 종류에 따라 약간의 차이가 있을 수도 있겠으나 현 시점을 기준으로 볼 때 지금까지는 소외되고 고려되지 않았던 저낙차 소유량의 하천 및 제방, 하수 및 정수 처리장 등에서 소규모 에너지를 회수 할 수 있는 것으로 예상되며, 이를 기초로 하여 IoT를 접목하는 방향을 좀 더 구체화하여 소규모 에너지원의 적용성 및 사업화에 대한 활발한 가능성이 기대되고 이를 통하여 당초의 연구목적과 같은 기후변화에 대한 대응과 기여에 일조할 수 있을 것으로 본다.

기존의 수력건설시 현장에서 모든 일정이 진행되므로 인하여 건설기간이 많이 소요되므로 인하여 경제적, 민원적 요인이 많았으나 일체형으로 공장에서 조립되어 현장에서 간단히 설치되는 구조로 인하여 건설에 따르는 사회적 갈등의 해소와 더불어 경제성이 개선될 수 있을 것으로 보며, 유압, 냉각, 윤활제 등의 사용이 없음으로 부속설비의 감소로 인한 경제성 이외에도 환경적으로 안전한 기능을 수행하며 간단한 조립 및 설치로 인하여 기술의 보급성이 확산될 것으로 예상되고 표준화와 규격생산의 접목으로 활용도가 증가할 것으로 예측된다.

성과물의 활용 예상지로는 아래와 같은 조건에 적용이 가능하다.

가. 댐 및 제방의 수문.

나. 중, 대규모의 하천에 설치된 수문 및 보 시설.

다. 취수탑 및 용수 공급시설의 수문설비.

라. 용수 관로 및 수로시설의 수로.

마. 정수, 취수, 하수, 양어장 및 저수 설비 입출구부

바. 항만 및 제수 및 배수를 위한 문비가 설치된 곳

소형 발전시장이 국내의 경우 크지는 않으나 국내의 시장을 5년 단위로 구분하여 매출화를 추진한다면 아래 〈표 5-2〉와 같은 규모의 시장과 매출을 달성할 수 있을 것으로 전망되며 이를

통한 일자리 창출과 전문기업의 시너지 효과로 기술육성과 국내외 시장을 공략하기 위한 협력 대응으로 활용될 것으로 예상된다.

〈표 5-2〉 국내 시장규모 및 예상 매출 목표

[단위 : 억원]

구 분	2020년	2025년	2030년
시장 규모	60	100	180
예상 매출	20	30	50

국내 하천환경 변화 및 정책변화에 따라 하천 내 대형 구조물 설치를 지양하며 자연형 하천 조성에 중점을 두고 있다. 하지만 최근 기후변화에 따른 농업용수 부족으로 인해 하천 내 소규모 취수보 설치 수요는 꾸준히 증가하며 있으며, 취수보 설치에 필요한 소규모 수문을 통해 소규모 발전을 하고, 직립형 고무보를 통해 홍수 위험을 저감할 수 있다는 점을 강조하며 시장을 공략할 것이다.

제2절 성과물의 향후 추진 계획

직립형 고무보는 해외 수요처 발굴 사업화 가능성이 높을 것으로 예상되는 인도네시아를 중점적으로 조사, 검토하였다. 국내 시장의 경우 가동보 시장이 포화상태이므로 국외 유럽지역, 동남아시아지역, 인도지역 등을 중심으로 해외 사업화를 진행할 것이다.

① 유럽지역 사업화

유럽지역은 네덜란드 소재 수처리 전문 기업인 LANDUSTRIE와의 협업을 통해 사업화를 진행하였다. MOU체결을 통해 직립형고무보 유럽시장 사업화의 교두보를 확보하였으며, 수처리 전문기업과의 협업으로 상호 보완적 관계를 정립하여 현지 대리점 운영 등의 고정지출 없이 사업화를 진행하고 있다.

② 인도네시아 지역 사업화

1차년도에 실시한 해외 사업화 컨설팅을 통해 시장 진출 가능성이 가장 유력한 인도네시아 지역의 시장조사를 실시하였으며, 이를 토대로 인도네시아 현지 법인인 INKODM GLOBAL과의 협업을 통해 인도네시아 시장 사업화를 진행하고 있다.

③ 말레이시아 지역 사업화

말레이시아는 도심하천 제방을 수직으로 정비한 곳이 많아 직립형고무보의 적용이 유리한 지역이다. 2014년 일반형 고무보 3기를 수주했던 경험을 바탕으로 현지 기업인 TAI HOE RESOURCES Sdn Bhd 와 협업을 통해 시장 진출을 준비하고 있으며, 2018년 10월 한국 방문을 통해 개발기술을 소개하였다.

스마트 수문에 대한 국내시장의 시장 진입과 검증을 통하여 적용성이 확보 된다면 독립형 전원과 소규모 에너지원이 요구되는 동남아 및 중앙아시아 지역의 국가들을 대상으로 향후 국외 시장으로의 확산과 진출을 계획하고 있다.

기술, 경제적 측면에서 볼 때 단순한 구조와 건설의 경제성과 더불어 기존의 300년 이상의 검증된 수력 기술을 활용한 것이므로 시장의 신뢰를 바탕으로 한 적용이 가능 할 것으로 기대되며, 사회 환경적으로 신재생에너지에 대한 관심이 지속적으로 증가되고 있으며 환경에 대한 영향을 민감하게 고려하여야하는 특성상 간단하면서도 환경적인 영향을 최소화한 새로운 기술로서의 적용성이 주목받을 것으로 예측되고, 기술개발을 통한 중소기업의 해외시장 개척 지원을 위한 부처 및 공사, KOICA등의 전문 기관들의 협업으로 시장의 적용성이 증가 할 것으로

예상된다. 다만, 국내의 경우 최근 강수량 부족과 갈수기에 유량이 부족한 경우를 대비하여 수문수차의 발전을 최대화 할 방안으로 정격에서만 아니라 소유량인 경우를 고려하여 정격 유량 대비 50%~110%까지의 유량의 적용성을 감안하여 발전 운영 범위를 설정하므로서 발전의 불리한 점을 극복한 방안으로 검토하고자 한다.

또한 기술적인 측면에서 추가로 기존의 스마트 수문수차가 단방향의 발전 방식에서 양방향 발전방식에 대한 연구로 발전시간을 두 배 이상 증가 시킬 수 있는 방법에 대한 연구개발과 1~2m 이하까지도 발전이 가능한 환경을 고려하여 초저낙차의 시설물이나 낙차에 대한 적용을 위하여 러너가 가변형으로 운영되는 추가적인 연구로 시장의 확대와 더불어 초소형 에너지의 영역에서 전기를 생산하는 가능성이 있다고 하겠다.

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

해당사항 없음

제7장. 연구개발성과의 보안등급

해당사항 없음

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

해당사항 없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	학술 발표 논문	저낙차용 카트리지형 IoT 수차의 운용방안 연구	(주)금 성이앤 씨	공동 기관	한국 (유체 기계학회)		2018.11.28	단독	
2	논문	기후변화 대응을 위한 고무보시스템 선정 방안 연구	(주)에 코피엔 지	연구 용역	한국기후변 화학회		2018.12.31	단독	KCI
3	논문	Flow-3D 모형을 이용한 순환수취수펌프 장 내 흐름현상 연구	(주)지 티이	연구 용역	한국산학기 술학회		2019.	단독	
4	특허	직립형 기능성 고무보	(주)대 도엔텍	주관 기관	한국		특허출원 2017.11.08	단독	
5	특허	직립형 기능성 고무보	(주)대 도엔텍	주관 기관	한국		특허등록 2018.06.08	단독	
6	특허	인양수문의 급제동 장치	(주)금 성이앤 씨	공동 기관	한국		특허출원 2017.10.30	단독	
7	특허	카트리지형 발전수차를 이용한 발전장치	(주)금 성이앤 씨	공동 기관	한국		특허출원 2017.10.31	단독	
8	특허	양방향 발전장치	(주)금 성이앤 씨	공동 기관	한국		특허출원 2018.06.25	단독	
9	특허	인양수문의 급제동 장치	(주)금 성이앤 씨	공동 기관	한국		특허등록 2018.11.01	단독	
10	특허	여과재의 폐색 지연과 용이한 교체를 위한 여과장치	동부엔 지니어 링(주)	위탁 기관	한국		특허출원 2017.12.21	단독	

제11장. 기타 사항

해당사항 없음

제12장. 참고 문헌

- 2012 우리나라 ODA 통계자료집, 2012, 대외경제협력기금
 - 21세기 기술사업화, 2014, 책과나무
 - 공적개발원조(ODA)가 개발도상국의 투자에 미치는 영향에 관한 연구, 2012, 동국대학교
 - 국내 물산업의 해외진출 전략(2014, 한국수출입은행)
 - 국제마케팅, 2014, 탐복스
 - 기술사업화 전략과 제도, 2014, 도서출판 두남
 - 기후재난에 대비한 사회기반 및 기후금융 보험시스템 구축(2010, 중앙대학교 산학협력단)
 - 대체수원개발방안 기본조사, 2009, 한국수자원공사
 - 물산업 해외시장 진출 활성화 방안 연구, 2011, 국토해양부
 - 민관협력시스템을 통한 해외도시개발 촉진방안 연구, 국토연구원
 - 상수도공사 표준시방서, 2007, 환경부
 - 상수도공학 : 일반 및 고도 정수처리, 2007, 동화기술
 - 상수도시설기준, 2010
 - 제품개발과 기술사업화 전략, 2014, 한티미디어
 - Bond, T., Gooslan, E.H., Parsons, S.A., Jefferson, B. (2012). A critical review of trihalomethane and haloacetic acid formation from natural organic matter surrogates, *Environmental Technology Reviews* 1, 93-113.
 - Chen, H., Liao, Z., Gu, X., Xie, J., Li, H., Zhang, J. (2017). Anthropogenic Influences of Paved Runoff and Sanitary Sewage on the Dissolved Organic Matter Quality of Wet Weather Overflows: An Excitation-Emission Matrix Parallel Factor Analysis Assessment, *Environ. Sci. Technol.*, 51, 1157-1167.
 - Fouga, G.G., Micco, G.D., Bohe, A.E. (2009). Chlorination of manganese oxides, *Thermochimica Acta* 494(1-2), 141-146.
 - Fritzmann, C., L?wenberg, J., Wintgens, T., Melin, T. (2007) State-of-the-art of reverse osmosis desalination, *Desalination* 216, 1-76.
 - Hosen, J.D., McDonough, O.T., Febria, C.M., Palmer, M.A. (2014). Dissolved Organic Matter Quality and Bioavailability Changes Across an Urbanization Gradient in Headwater Streams, *Environ. Sci. Technol.*, 48, 7817-7824.
 - Huguet, A., Vacher, L., Saubusse, S., Etcheber, H., Abril, G., Relexans, S., Ibalot, F., Parlanti, E. (2010). New insights into the size distribution of fluorescent dissolved organic matter in estuarine waters, *Org. Geochem.*, 41(6), 595-610.
 - Hur, J., Shin, J.K., Park, S.W.. (2006). Characterizing fluorescence properties of dissolved organic matter for water quality management of rivers and lakes, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers* 28(9), 940-948.
 - Inamdar, S., Singh, S., Dutta, S., Levia, D., Mitchell, M., Scott, D., Bais, H., McHale, P. (2011). Fluorescence characteristics and sources of dissolved organic matter for stream water during storm events in a forested mid-Atlantic watershed, *J. Geophys. Res.*, 116, G03043, doi:10.1029/2011JG001735.
-

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화지원 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.