

과제번호
317068-3

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호(○)
첨단생산기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003431-01

IOT 기반 스마트 펌프일체형 수문 개발
농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한

2021

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

**농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한
IOT 기반 스마트 펌프일체형 수문 개발**

2021.03.26.

주관연구기관 / 하서산업(주)
참여연구기관 / 인버터기술(주)
참여연구기관 / 목포대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

<제출문>

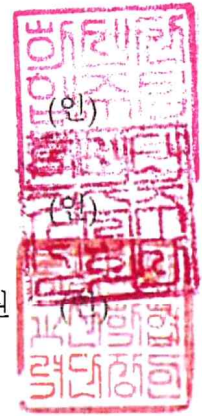
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발”(개발기간 : 2017.11.15. ~ 2020.11.14.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2021. 03. 26.

주관연구기관명 : 하서산업(주) (대표자) 김 국 (인)
참여기관명 : 인버터기술(주) (대표자) 임 연 (인)
참여기관명 : 목포대학교 산학협력단 (대표자) 정 원 (인)



주관연구책임자 : 김 국

참여기관책임자 : 박 우

~~참여기관책임자 : 김 수~~

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	317068-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2019.11.15.~ 2020.11.14	단 계 구 분	(3단계)/ (총 3 단 계)
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	침단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발			
연구책임자	김상국	해당단계 참여연구원 수	총: 19명 내부: 19명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:248,500천원 민간:106,500천원 계:355,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 17명 내부: 17명 외부: 명	총 연구개발비	정부:639,000천원 민간:273,870천원 계:912,870천원
연구기관명 및 소속부서명	하서산업(주)			참여기업명 인버터기술(주) 목포대학교	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	3	3									

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

강이나, 하천제방, 수로, 양식장, 하수처리장 등에 설치하여 내수로 유속과 유량을 이용하여 축류 펌프를 수문에 발전기와 플랩밸브를 일체화 시킨 후 개폐기로 개폐시키는 고효율 저양정 수중 축류 펌프일체형수문 개발함.
유속과 유량을 이용해 고효율 저양정 수중 축류 펌프일체형수문이 자동개폐가 및 이물질 제거용 제진 스크린 기능 등을 탑재하여 수위를 조절이 가능한 친환경 경수문을 개발하고자 함.

보고서 면수

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p style="text-align: center;">농지 침수재해를 예방하고 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT 기반 원격모니터링 및 제어가 가능한 펌프일체형 수문 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ IoT 기술을 적용한 배수시설인 펌프 일체형 수문 및 개폐장치 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 국내·외 펌프일체형수문의 운영 현황 조사 및 문제점 발굴 - 펌프 일체형 수문 및 개폐장치 개발 - 개발된 수문 및 수문개폐 장치의 성능 검사설비(펌프, 개폐기 등) 개발 ○ 개발된 수문 및 개폐장치의 중요 시스템 구조해석 및 2D 모델링 <ul style="list-style-type: none"> - 상기 개발된 제품을 구조성 안전성 확보를 위한 검증 - 펌프일체형수문 시스템 방진장치의 성능 확보를 위한 진동해석 - 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 FEM모델 개발 ○ 원격 모니터링 시스템을 통해 관리자와 실시간 피드백 가능한 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 원격 모니터링 및 제어를 위한 통신형 통합 제어보드 개발 - 인터넷을 이용한 유/무선 통신 프로토콜 개발 - 이력관리 및 빅데이터 분석을 위한 서버시스템 개발 ○ 펌프 일체형 수문에 적용 가능한 원격 모니터링/제어 기술개발 <ul style="list-style-type: none"> - 펌프 일체형 수문 시스템의 이수 및 치수 수자원 관리 기능 개발 - 원격 모니터링/제어시스템 통합 유지관리 시스템 개발 - PC 및 스마트폰 어플리케이션 실시간 모니터링/제어 및 SMS 알림 서비스 개발 - 개체식별장치 및 제어시스템 개발을 통한 개체관리 통합시스템 구축 ○ 개발된 수문 장치와 연계된 통합관리 시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 통합관리 시스템 개발로 유지관리 시스템을 강화를 통한 수출시장 경쟁력 확보 - 다양한 농업환경에서 안전운전이 가능한 구동 제어알고리즘 개발 - PLC와 센서를 이용한 수위 높낮이에 따라 자동 운전 제어 알고리즘 개발 - 현장에서 서버로 데이터를 전송 및 자동제어 할 수 있는 알고리즘 개발 ○ 상기 기술들이 연계된 통합형 제품의 산업화 <ul style="list-style-type: none"> - 제품의 현장 보급 및 해외 시장 개척 추진
------------------------	--

연구개발성과	기술 성과	권양하중 : 15ton 이하	전 양 정 : 3.8m 이상		
		소 음 : 85dB 이하	펌프출력 : 45kW 이하		
		권상속도 : 0.4m/min 이하	펌프효율 : 75% 이상		
		모터부하 : 15kW이하	토 출 량 : 33m ³ /min 이상		
		과 전 류 : 97% 이상	과부하 검출 : 11sec 이하		
		헌팅제어 : 98% 이상	모니터링 오차율: 5% 이하		
		특허출원 : 5건	특허등록 : 3건		
		기술실시 : 1건	기술실시 기술료: 6,000천원		
	경제 성과	수 출 액 : 0.5억	매 출 액 : 2억		
		종 료 후 수 출 액: 1억	종 료 후 매 출 액: 24억		
고용창출 : 4명		홍보전시 : 3회			
연구 성과	S C I : 1건 게재	학술발표 : 3회 발표			
	비 S C I : 2건 게재	인력양성 : 석·박사 3명 진학			
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> - 노인인구 증가로 실시간 유지보수가 어려운 농어촌 지역의 수문관리 가능 - IoT 기술을 적용하여 국내·외 펌프일체형수문의 운전상태 확인 및 서비스 범위 확대를 통한 수출 경쟁력 강화 - 통합관리 시스템 개발로 유지관리 시스템을 강화를 통한 수출시장 경쟁력 확보 - 빅데이터 분석을 통해 실시간으로 고장이력 및 운전상태 파악 가능한 설비 - 원격 모니터링 시스템을 통해 관리자와 실시간 피드백 가능한 시스템 개발 - 현재 보급되어있는 펌프일체형수문에 적용 가능한 원격 모니터링/제어 기술개발 - 펌프일체형수문을 통해 신개념 배수설비 제공 및 수자원 관리 강화 				
국문핵심어 (5개 이내)	펌프일체형 수문	실시간 고장이력 조회/안내서비스	실시간 원격제어시스템	실시간 모니터링시스템	IoT기반 빅데이터 분석

<본문목차>

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
1-1. 연구개발 목적	1
1-2. 연구개발 필요성	12
2. 연구수행 내용 및 결과	15
2-1. 최종목표 및 추진 일정	29
2-2. 펌프일체형수문시스템 설계 관련 자료조사 및 검토	32
2-3. 전체 시스템 Layout 작성 및 상세 설계	55
2-4. 펌프일체형수문의 3D 모델링	74
2-5. 펌프일체형수문의 간섭검토	84
2-6. 펌프일체형수문시스템 해석	86
2-7. 펌프일체형 수문 제작	147
2-8. 펌프일체형수문 시스템 제어장치 설계 및 제작	159
2-9. 성능시험용 펌프 수조 설계 및 제작	167
2-10. 개폐기 및 플랩밸브 제작 및 조립	169
2-11. 통합 모니터링 시스템 및 서버시스템 구성	171
2-12. 통합 모니터링 시스템 및 서버시스템 제작	175
2-13. 스마트폰 어플을 통한 IoT 모니터링	179
2-14. 펌프일체형수문 시스템의 사용용량에 따른 설계지침 작성	180
2-15. 적용처에 따른 펌프일체형수문 시스템의 시공지침 작성	182
2-16. 시운전용 펌프일체형수문 시스템 설치에 적합한 Test Bed 설치 및 성능검사	242
2-17. 펌프일체형수문 시스템 성능시험을 통한 보완 및 수정	246
2-18. 연구개발 성과 및 평가방법	264
2-19. 국내 전시회 참여	273
2-20. 해외 현지 업무진행 및 공사 진행 건	2763
2-21. 국내논문발표	280
2-22. 국제학술지 1건	288
2-23. 국내학술지 2건	297
2-24. 고용창출 실적 및 신규고용 활용내용	312
2-25. 사업화 매출실적	317
2-26. 기술이전실적	319
2-27. 사업화성과 및 매출실적	320

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	327
3-1. 목표	327
3-2. 목표 달성여부	329
4. 연구결과의 활용 계획 등	330
4-1. 연구개발 결과의 활용방안	330
4-2. 기대성과 및 파급효과	331
붙임. 참고 문헌	335
<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서	
<부록> 부 록 _ 통신 프로토콜	

1. 연구개발과제의 개요

1-1. 연구개발 목적

- 물 산업은 생활 및 농업 및 공업용수를 생산하여 공급하거나, 하수 및 폐수를 이송하고 처리하는 것과 관련된 모든 서비스를 일컫고, 이와 관련된 상하수도 폐수처리 시설, 상하수도 장치, 처리, 측정기기 산업과 정수기 제조와 관련한 건설 및 엔지니어링 산업이 포함된다.
- 수처리기계의 산업은 환경규제에 의하여 수요가 창출되는 규제 의존형 산업으로 삶의 질 향상에 대한 욕구에 의하여 시장의 수요가 증가되는 선진국형 산업이며, 또한 수처리 기계는 풍부한 수량을 확보할 수 있고 수온도 흐르는 물보다는 높은 경우가 많아 농업용수로 유리하여 농촌활성화에 필요한 시설이다.
- 수리시설물의 노후화, 물관리자동화 사업의 한계성, 물 관리인력의 부족을 해결하여 농업 생산성 향상과 수리시설물 운영과 관리의 생력화를 이룩하기 위해서는 물관리에 가장 핵심이 되는 수문의 개선 또는 개량이 가장 시급한 실정이다.
- 수리시설 노후화 현황을 살펴보면 설치된 지 50년 이상된 것이 32.3%, 30년 이상 50년 미만인 것이 29.1%로 30년이 지난 시설이 61.4%(4만5천213개소)에 이르고 특히 자연재해에 취약해 기상이변에 대한 안정성을 확보하는 것이 시급하다.(Fig. 1 참조)



Fig. 1 국내 수리시설 현황

- 최근 전세계적으로 지구온난화에 따른 기후변화로 홍수 및 가뭄 등 수재해 발생빈도가 높아짐에 따라 국내 지자체와 태국, 필리핀 등 동남아시아 및 아프리카의 알제리 등 해외에서 홍수재해 통합관리 등 수재해 관리에 대한 관심이 증가되고 있음.

- 근래 이산화탄소로 대표되는 온실효과기체의 증가에 동반하여 1980년대부터 기온상승은 특히 급격하고 지구온난화문제는 전 지구적 관심사가 되고 있고 지구온난화의 영향으로 1966년 및 1997년 라인강 홍수, 1995년 중국 홍수, 1998년 및 2000년 동유럽 홍수 등 잦은 태풍과 집중호우로 침수피해가 빈발하게 발생되고 있다.
- 국내의 홍수위험지수는 세계 최고 수준으로 2004년 UNDP(유엔개발계획) 자료에 따르면 우리나라의 홍수위험지수는 6.85로 2위인 이탈리아(4.68)보다 약 0.7배 높아 주요 선진국 중 압도적인 1위를 차지하고 있으며, 가장 낮은 영국(0.23)보다는 무려 30배에 달하는 위험성을 내포하고 있다.(Fig. 2 참조)
- 지난 10년간 삶의 터전을 송두리째 날려버린 ‘물난리’가 무려 7차례가 발생하고 2016년 12월, 국민안전처가 발표한 자료에 따르면 1974년 이후 자연재해로 인한 연평균 재산피해액은 10년마다 3.2배씩 증가하고 있는 추세이며, 특히 1조원 이상 대규모 피해는 1998년 이후 집중되어 10년간 자연재해에 재산피해액은 무려 20조원에 달한다.

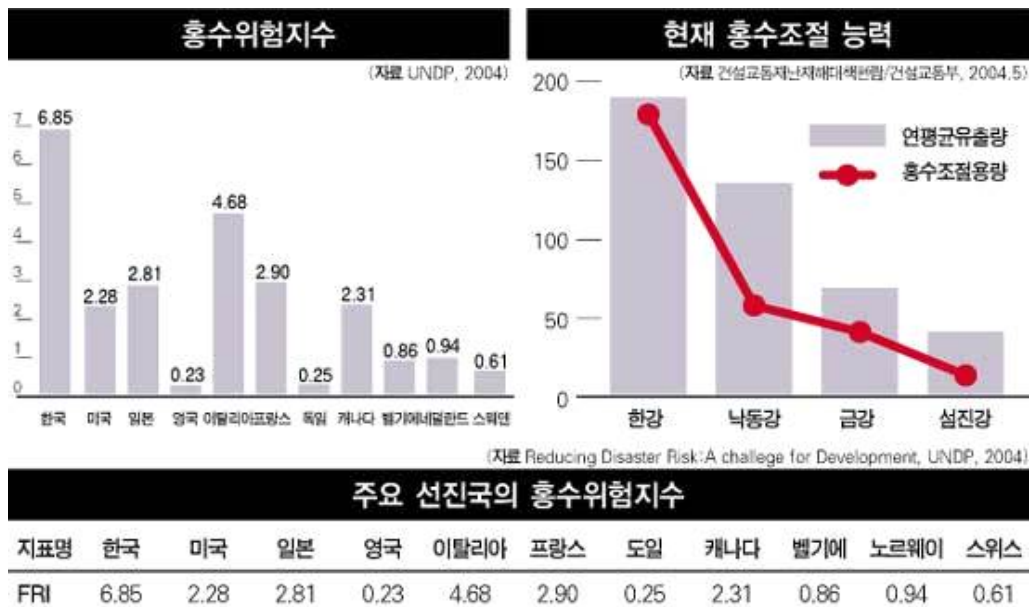


Fig. 2 주요 국가별 홍수 위험지수 비교

- 2006년부터 2015년까지 최근 10년간 풍수해로 인한 피해가 총 약 51조원(불변가격 기준)이 발생하였고, 인명피해(사망)도 217명에 달하고 있으며, 전반적으로 도시지역(농경지 제외)의 침수면적은 감소추세에 있으나 도시화와 집중화로 인한 단위면적 당 피해인 수해밀도는 증가추세에 있는 것으로 확인하였다.(Table 1 및 Fig. 3 참조)

Table 1 최근 10년간 국내 재해발생 피해 총괄 현황

(단위: 억원)

구 분	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	평 균
태 풍	135	1,826	9	0	1,741	2,065	9,429	16	50	134	1,540
호 우	21,950	494	607	2,671	1,825	4,991	361	1,509	1,365	12	3,578
대 설	59	84	38	133	669	453	191	108	311	130	218
강 풍	161	78	11	73	2	0	250	9	1	38	62
풍 랑	65	376	0	352	71	3	0	0.5	0	3	77
계	22,370	2,858	665	3,229	4,308	7,512	10,231	1,643	1,727	317	5,475



Fig. 3 재해발생 원인별 피해액 현황

- 국내 하천의 경우 길이가 짧고 유역에 산지가 많아 하천경사가 급해 홍수 시 물이 일시에 유출되고 연강수량의 2/3가 6~9월에 집중되어, 11월부터 다음해 4월까지의 강수량은 전체의 1/5에 불과하기 때문에 이러한 지역별, 연도별, 계절별 강수량의 편차와 지형적인 특성 때문에 홍수위험 관리에 있어 많은 어려움이 존재한다.
- 도시침수면적은 서해안 및 남해안 연안의 평야 지역과 호남권, 수도권 내륙평야지역에서 많이 발생하였으며, 인명피해가 큰 지역은 재산피해가 큰 지역과 유사하게 나타나고 있고 기후변화 등으로 인한 홍수피해가 대형화 추세에 있어 재산피해가 불가항력으로 발생하여도 대규모 홍수피해시 인명피해를 줄이기 위한 지속적인 노력이 필요하다.
- 홍수피해의 직접적인 원인은 외수에 의한 것과 내수에 의한 것으로 분류하여, 외수범람 피해는 주로 하천 및 지천의 범람, 제방의 붕괴, 해수의 역류 등으로 발생한 것이며, 내수침수 피해는 배수로, 하수도 및 펌프장의 내수배제 능력 부족이 주된 원인으로 지적되고 있다.

- 내수침수 피해를 방지하기 위해서는 적절한 배수펌프장을 설치하는 것이 가장 빠른 대응책이지만, 기존의 하천정비로 내수 침수피해를 효과적으로 방지하는데 한계가 있어, 하천변 저지대를 활용하는 우수유출 저감시설 및 침수에 관계없이 배수기능을 유지할 수 있도록 배수장의 펌프와 전기시설 등의 효율적인 설치와 운영이 시급하다.
- 기존 배수펌프장의 경우는 하천 수위가 일정 수위 이상으로 상승하면 배수가 곤란하여 내수침수 우려가 여전히 상존하는 문제점이 있으며, 내수의 경우 일정 수위별로 펌프를 동일 규격으로 설치되어 있어 다양한 유출변화에 적절하게 대응하기가 곤란한 문제점이 지적되고 있는 실정이다.
- 배수펌프는 자연배수에 의한 효과가 거의 없을 경우에 강제배수를 실시하는 것으로 시설과 제방이 근접한 경우 펌프의 진동이 제방에 미치는 액상화를 회피시켜야 하고 내수의 수위상승이 제방에 미치는 영향을 고려하여 방진설비와 수위상승을 효과적 조절하도록 배수시설을 설치 운영하는 것이 중요하다.
- 강제배수는 홍수 시에 내수배제를 원활하게 하여 내수침수를 방지할 수 있다는 장점이 있지만, 단점으로는 우수지내 도수로 및 내·외수위계, 스크린의 여과 설비 등의 마비, 유입배수관로 및 우수지의 퇴적토에 의한 펌프의 미작동으로 인한 배수 설비의 고장이 발생하면 대형 침수피해를 초래할 수 있다는 점이 있다.
- 국내 농촌의 경우, 물을 주로 이용하는 벼농사 대신 시설재배 면적이 증가하고 있으며, 벼를 재배하는 논인 경우 24시간 관두수위 침수를 허용하고 있는데 비하여 시설재배는 5분의 침수에도 시설 농작물에 치명적인 경제적인 손실을 주게 됨으로써, 침수 허용시간이 24시간에서 5분 이내로 급격하게 단축시킬 수 있는 배수시설이 요구된다.
- 농경지의 용도변경(벼농사에서 시설재배)이 농가 임의로 하고 있으나, 배수정책 측면에서는 중요한 설계인자의 매우 급격한 변동이 발생하기 때문에 시설재배에 주로 사용되는 비닐하우스는 강우의 유하시간을 논과 비교할 때 매우 빨라지게 하여 침수를 발생시키는 주원인이 되고 있다.
- 최근 10년간 국내에서 2011년도 7월에 호우에 따른 홍수 및 침수에 의한 피해액이 가장 많이 발생하였으며, 각 지역별 시설농업지구의 피해현황을 분석한 결과, 배수능력 및 배수용량 부족에 의한 침수원인이 38건중 25건으로 가장 많은 것으로 확인되어 기존 배수시설 장비의 성능향상을 위한 개선정책이 필요하다.

Table 2 국내 호우에 따른 침수피해 현황

시 군	지구	계	침수면적(ha)		침수원인
			벼	원예	
진천	용몽	32	30	2	한천천 배수능력 부족, 외수위상승
청원	서평2	22	21	1	배수시설 용량부족
논산	아호	276	194	82	논산천수위상승 및 배수용량부족
논산	사포	245	175	70	강경천수위상승 및 배수용량부족
논산	방축	80	60	20	방축천수위상승 및 배수용량부족
익산	내촌	119	92	27	배수본천 수위상승, 배수장 용량 부족
정읍	거산	119	119	2	저지대로써 통수능력 부족
정읍	화호	110	109	3	저지대로써 통수능력 부족
보성	고읍	270	250	20	홍수배제 시설 미비(토공수료)
성주	관화	70	-	70	배수로 불량 및 외수 상승
성주	섬안	28	-	28	배수로 불량 및 외수 상승
상주	수상	3	2	1	집중호우
밀양	밀양	100	80	20	기설배수장 용량 및 배수로 단면 부족
의령	화양	33	25	8	시설용량부족
진주	단복	40	-	10	시설용량 부족 및 이상강우
사천	완사	47	38	9	기설배수장 용량부족 등
창녕	오호	84	10	74	시설용량 부족 및 이상강우 발생
밀양	수산	100	90	10	기설배수장 용량 및 배수로 단면 부족
진주	홍정	15	-	15	배수로 단면부족
밀양	초동	50	47	3	배수로 단면부족
강릉	경포	60	50	10	이상강우 발생
청원	서평2	3	3	1	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
군산	장산	431	430	1	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
익산	창리	200	153	47	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
익산	산수	116	113	3	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
익산	화산	190	100	90	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
익산	봉동	30	25	5	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
익산	내촌	74	52	22	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
익산	어동	82	75	7	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
익산	성당	103	102	1	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
익산	석동	100	60	40	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
완주	하리	120	90	30	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
완주	해전	50	10	40	시설용량 부족, 이상강우 발생 및 외수위상승
영천	황정	53	50	3	이상강우발생
의성	속암	4	3	1	시설용량 부족 및 이상강우 발생
의성	성암	12	10	2	시설용량 부족 및 이상강우 발생
김제	백공	620	550	70	배수장 및 배수로 미시공
진주	응석	50	-	50	외수위 상승

○ Table 2와 같이 농어촌에서 발생하는 호우에 따른 침수원인을 분석하고 해결하고자 하는 다양한 방법들이 제시되고는 있지만, 농어촌의 인구의 급격한 고령화와 낮은 배수시설의 원활한 유지 및 보수가 매우 어려운 실정이고 현재 국내 농업기계와 관련하여 일본과 비교할 경우 자동화 기술분야의 적용성이 매우 낮은 것으로 나타난다.

- 고령화 정도는 도시와 비교했을 때 농촌에서 훨씬 심각하게 나타나고 있으며, 1990년부터 2010년까지 약 20년 동안 도시의 고령자비율이 3.6%에서 9.2%까지 증가하는 동안 농촌의 고령자비율은 9.1%에서 20.9%까지 증가하였으며, 2020년대에 농촌의 고령자 비율은 27.8%까지 증가할 전망이다.(Table 3 참조)

Table 3 인구 고령화 추이: 도시 농촌 비교(1990-2020)

(단위: 천명, %)

연 도	전 국		도 시		농 촌	
	인 구	고령자 비율	인 구	고령자 비율	인 구	고령자 비율
1990	43,390	5.0	32,290	3.6	11,100	9.1
2000	45,985	7.3	36,642	5.5	9,943	14.7
2010	47,991	11.3	39,363	9.2	8,627	20.9
2020	51,435	15.7	41,822	N/A	9,613	27.8

- 한국농어촌공사의 관계자에 따르면, 경제성, 기술상의 문제로 인해 농촌의 자동화 시스템은 축산, 비닐하우스 등 제한적인 분야에서 사용하고 있는데 필요한 시스템이 개발된다면 그 적용범위가 상당히 크고 넓을 것이라 전망하고 있으며, 농업과학기술 중장기 연구개발의 방향으로 미래지향적 기초기반 기술 및 현장실용화 기술개발이 매우 필요하다고 강조한다.
- 온실작물에 대한 수요 급증과 농가소득 증진방안으로 제철 이외의 작물 생산을 위해 보온성과 저렴한 가격 등으로 인하여 농가에 비닐하우스 시설면적이 급격히 증가와 다양한 농업활동으로 인해 농업용 비닐 사용량이 증가하고 있어 그에 따라 폐비닐 발생량도 증가한다.
- 국내 시설농업 단지의 온실 외부표면 재질을 살펴보면, 99%가 비닐로써, 연평균 비닐 발생량이 약 32만 톤(12~14년) 중 22.7%(7.2만톤) 미수거로 누적되어 있는 폐기물은 약 88만 톤으로 추정되고 정부의 영농폐기물 수거·처리 사업에도 불구하고 미 수거된 폐비닐의 양은 해마다 증가 하고 있다.(Table 4 참조)

Table 4 영농폐비닐 발생량 및 미수거량

(단위: 톤)

구분	연평균	'12년	'13년	'14년
발생량	319,404	310,009	324,101	324,101
미수거량	72,251	65,158	78,178	73,418

- 미수거된 폐비닐은 경작지에 방치되어 토양오염 및 정전을 유발하거나, 호우시 침수피해를 방지하기 위한 강제 배수를 할 경우 배수시설의 여과가 원활하게 되지 않기 때문에 수로를 타고 유입되어 배수시설의 고장원인이 되거나 수문 막힘 현상이 발생된다.(Fig. 4 참조)



Fig. 4 폐비닐로 인한 토양 오염 및 수문 막힘 현상

- 물부족 국가인 우리 농·어촌 지역은 우기시 소중한 수자원을 저류할 수 있는 배수로를 충분히 확보하고도 이를 활용할 수 있는 수문 및 관리설비가 부족하고 빗물을 무방비로 방류시키는 등 농업용수를 확보하지 못하는 경우가 농·어촌 전반에 걸쳐 부족한 수자원의 유실을 초래하고 있는 실정이다.(Figs. 5~6 참조)
- 수문의 수동식 관리로 용수 사용을 위한 수위관리의 효율성이 미흡한 실정이고 노령화에 따른 수동개폐 수문의 사용이 어렵고 기기의 관리가 소홀하다. 따라서 가뭄시의 용수 확보 대책으로 우기 시 적정 수위를 저류시켜 용수를 확보하고 관리수위 이상의 수위는 월류시키는 배수관로 수위 관리시스템 보급이 요구된다.



(a) 접근이 힘든 노후화된 수문



(b) 노후화로 인한 용수가 유실되는 수문

Fig. 5 수문관리가 어려운 농수로 현장



(a) 사용하기 버거운 수동식 개폐장치



(b) 시설 관리가 안 되어 작동이 안 되는 현장

Fig. 6 수문관리가 어려운 농수로 수문 현장

- 폭우나 야간 집중호우시 농수로 수문의 제어관리가 취약하여 침수 등의 재해가 발생하고 수문의 개폐시 용수로 추락 사고발생 등 노령화에 따른 안전관리에 취약하다.(Figs. 7~8 참조)



(a) 침수된 벼 농경지

(b) 폭우에 침수된 폐사 피해

Fig. 7 폭우 및 배수불량의 침수 및 폐사 피해



(a) 높은 옹벽을 타고 수문을 개폐

(b) 깊은 수로의 난간 위를 타고 수문사용

Fig. 8 추락위험이 높은 농수로 수문 현장

- 풍수해관련 침수는 긴급한 상황과 위험한 현장에서 진행되기 때문에 배수시설의 고장이 발생할 경우 원인을 파악하기도 어려우며, 인구의 고령화로 인해 시설 정비를 적절한 운영 및 관리가 미흡한 실정이기 때문에 배수시설의 원격 모니터링을 통해 고장원인을 파악하고 원격에서 신속하게 제어하여 대응하며, 다양한 현장상황에 적절하게 조치할 수 있는 시스템 기술개발이 시급하다.
- 급속한 산업화를 통해 도시 근교의 구릉이나 계곡이 절취됨으로서, 단지개발이 이루어지는 등 도시화가 급진전되어 성숙됨에 따라 토지의 투수에 의한 침투는 감소하고 지표면 조도도 감소하므로 유출지점에서의 침투유량과 유속이 증가하는 현상이 발생하여 도시홍수재해를 증대의 주요원인이 된다.
- 도시화와 토지이용이 고도화되고 지구온난화, 엘니뇨 등 기상이변에 의하여 단시간 동안 특정지역에 집중되는 국지성 집중호우가 빈발하고 있어서, 잠재적인 침수재해에 대비한 수방 시설 용량의 증가는 물론 전통적인 하천중심의 수방체계에서 유역정비를 포함한 종합적인 수방체계 구축이 시급하다.

- 침수예방 등 구조적 홍수방어대책은 하나 또는 다수의 대안의 조합으로 구성될 수 있으며, 예를 들면 제방, 우수지·저류지, 방수로, 배수펌프, 댐, 하도정비(하폭확장, 유로변경 등), 기존 저수지 제방승상, 홍수예경보 등의 조합이 홍수로 인한 피해감소를 위한 방안 수립이 요구된다.
- 이와 같은 홍수피해를 성공적으로 관리한 사례로는, 경기도 파주시 문산읍을 들 수 있으며, 문산읍은 대표적인 상습 수해지역으로 1999년에는 1,499mm의 집중호우로 798억원의 재산 피해를 입은 지역이고 정부는 지난 2000년 3,300억원의 수해예방사업비를 들여 하천 주변에 새로운 제방을 건설하고 대형 집중호우에도 견딜 수 있는 배수펌프장을 설치하여 침수 피해를 해결하였다.
- 지난 2003년 1,359mm의 대규모 집중호우에도 피해규모는 모두 6억여원에 그쳐 과거 수백억원의 피해와 비교하면 0.75% 수준에 불과한 엄청난 방재 효과를 확인하였고 이는 예방사업에 예산을 들여 배수펌프장이나 제방과 같은 재해 방지시설을 만들고 유지·관리에 투자하면 투자비용보다 훨씬 큰 방재효과를 볼 수 있다는 것을 시사한다.
- 말레이시아의 경우, 연간 강우량의 60%가 11월과 1월에 집중되어있으며, 다수의 강안지역 및 해안지역이 홍수 경험, 국토의 10%가 홍수로 인한 피해복구 및 홍수 예방을 위하여 국가 지출을 필요로 하고 있는 실정이며, 강우의 계절적, 지역적 불균형은 일부 지역에 산림파괴, 농업 및 산업활동에 장애를 초래한다.
- 말레이시아의 다수 강 및 수로 등이 점, 비점오염원에 노출되고 매일 60톤가량의 폐기물이 클랑 계곡(Klang Valley)에 투기되고 있기 때문에 극심한 가뭄 및 홍수유발과 동반하여 수자원의 오염이 초래된다.(Fig. 9 참조)



Fig. 9 말레이시아 홍수피해 및 수질오염

- 이러한 문제점을 해결하기 위하여 말레이시아는 수자원 관리를 위하여 국가수자원정책(National Water Resources Policy 2012), 5개년 개발계획, 국가수자원연구(Review of the National Resources Study 2000~2050) 등 국가적 의지를 표명에 따라 경제체제 변환계획을 뒷받침하기 위한 수자원관리 개선이 요구된다.

- 인도네시아의 연 평균 강우량은 연간 약 2000mm, 지역 별로 연간 800mm~4천mm 강우량을 기록하고 있으며, 이는 지역 및 시간적으로 불균형을 이루고 있음을 나타내고 서쪽 지방의 경우 대체로 물이 풍부하지만 동쪽 지방으로 갈수록 건조해지고 있으며, 계절이 두 가지로 나뉜 만큼 우기에는 굉장한 홍수와 건기에는 가뭄을 겪고 있다.
- 기후변화로 인해 최근 이 같은 풍수재해의 빈도가 증가하는 추세지만, 오히려 기습적 홍수에 의한 희생자 수는 감소하고 있으며, 이는 기후변화에 대응한 위기대책역량강화 노력이 있었기 때문으로 여러 부문 중에서도 돌발적 홍수 지역에 대한 대책 노력이 집중되고 있는 실정이다.(Fig. 10 참조)



Fig. 10 인도네시아 도시침수 및 수자원 문제

- 인도네시아에서는 외부 기술 및 공급자가 매우 절실한 실정이며, 2005년 1월, 공공사업부는 2015년까지 사업비용 3.5억 달러의 규모에 달하는 24개 수자원 개선사업에 착수할 것을 발표했는데 2015년까지 50억 달러를 투자함으로써, 수자원 서비스 수준을 현재 20%에서 최대 60%까지 끌어 올리는 것을 목표로 하고 있다.(Table 5 참조)

Table 5 인도네시아 수자원 개발 투자 현황

(단위: 1조 루피아)

자금원	필요한 투자금액	가능한 투자금액	금액 차이	비고
Cipta Karya 집행위원회	21.21	14.97	6.24	외부 자금 및 공급자 필요
수자원 집행위원회 총국	7.00	3.88	3.12	수자원 집행위원회 총국에 대한 할당 증가
다른 중앙정부	3.40	2.13	1.28	물에 대한 건강 펀드 가능성 증가
특별할당펀드(수자원)	6.00	2.15	3.85	수자원의 투자 증가 필요
지방정부/수도회사	27.64	5.37	22.27	외국자금 및 공급자 필요
합계	65.26	28.49	36.76	-

- 최근에, 미국 국립건물과학 연구소 다중재해 예방 위원회의 연구 결과에 따르면, 재해예방에 1달러를 투자하면 사회 전체적으로 4달러의 비용 절감 효과를 확인하였고 인도의 경우 '국가 재해예방사업 효과분석 결과 수해예방을 위해 실시한 여러 사업의 복합적인 효과는 투자금액 1단위당 3.76의 효과가 있는 것으로 나타났다'는 비슷한 연구결과를 확인하였다.
- 세계은행(World Bank)과 미국지질조사국(USGS)도 각국 정부가 재해예방사업에 400억달러를 투자할 경우 90년대 발생한 자연재해 손실액 6천700억달러 중 약 42%에 해당하는 2천800억달러 정도를 절감했을 것으로 추산한 바 있다.
- 이상에서 알 수 있는 바와 같이 대부분의 국가들이 급증하는 풍수해로 인한 피해로부터 완전히 자유롭지는 않은 상황이지만, 특히 국내에서 홍수의 위험이 높은 국가임을 확인하였으며, 이와 함께 예방투자를 통해 자연재해로 인한 피해규모를 줄일 수 있다는 것이 입증되고 있어 지속적인 투자가 시급한 상황이다.
- 풍수해의 규모와 발생원인이 계속해서 바뀌고 있는 것을 대응하도록 신개념의 배수설비가 필요하지만 신규설치의 사업에 있어서 토지매입, 공간활용, 사업기간 등으로 사업이 원활히 추진되지 못한다. 이를 극복할 수 있는 기술적 대안이 필요한 상황이며, 펌프일체형수문은 당면한 문제점을 해결할 수 있는 현실적인 대안으로 적용이 가능할 것으로 기대된다.

1-2. 연구개발의 필요성

- 범세계적인 지구 온난화의 영향으로 대두되는 홍수관련 재해 중에서 특히 동남아시아는 매년 기록을 갱신하는 강우량, 강우강도, 강우지속시간 및 도시화, 산업화에 따라 발생하는 경제적, 인명피해를 감소시키기 위하여 증가된 설계기준에 적합한 새로운 개념의 배수장치 개발이 요구되고 펌프장 설치에 앞서 유역 및 수로에 대한 획기적인 계획을 통하여 효율 및 효과적인 자연 및 강제배수설비의 보급으로 침수를 예방하는 것이 시급하다.
- 인도네시아의 수도인 자카르타는 도시의 고저차이가 2m로서 대통령궁과 주요 산업단지로 연결된 도로의 침수로 침수피해가 심각하며, 약 200여개소에 펌프일체형수문이 신설되어야 해결할 수 있고 생활쓰레기의 하천 투기(投棄)로 자연/강제배수를 더욱 악화시키고 있다.
- 태국은 2011년 대홍수로 전국 77개주의 65주 20,000km²이 4개월간 침수되는 대형 침수피해를 입었고 태국은 현재 한국의 4대강과 같은 대규모 하천정비사업을 추진 중에 있었으나, 정치적인 이유로 중단되고 있으며, 수도인 방콕 또한 도시화로 종래 펌프장을 건설할 수 있는 부지가 없어서 펌프일체형수문을 검토하고 있다.
- 동남아시아 국가의 공통적인 문제점은 시민들이 하천에 생활쓰레기를 투기로 연결 협잡물이 펌프의 프로펠러에 고착되어 펌프의 주요 고장원인이 되고 있으며, 이러한 많은 양의 협잡물을 제거하기 위한 조목 및 세목 제진장치의 설치와 적정 용량의 배수펌프 설치가 필요하다.
- 펌프의 고장원인을 신속하게 파악하여 적기에 대응하여야만 침수피해를 예방할 수 있으나, 여러 복합적인 고장원이 있음에도 불구하고 고장원인을 바로 모니터링할 수 없으므로, 신속하게 대처할 수 있는 원격 모니터링 및 제어(TM/TC)시스템의 도입과 가장 신속, 정확, 경제적인 IoT 기반 모니터링 및 제어시스템의 도입이 시급하다.
- 배수 및 하수시장은 상수시장 대비 30%에 불과한 수준이나 도시화 및 환경오염 이슈로 상수시장보다 빠른 성장세가 전망이며, 배수 및 하수시장 규모는 2013년 5.8억 달러에 불과하나 2018년 13억 달러로 두 배 이상 확대될 전망으로 국내 수처리 장비들과 외국제품들이 인도네시아의 수처리장비의 주요 공급자로 자리매김 할 수 있을 것으로 예상되고 있다.
- 국내의 경우 설치되어 있는 기존 배수펌프장을 신규 설치할 경우 넓은 부지가 필요하고 설치 제약이 많으며, 주변 생활환경에 악취 소음등의 영향이 크기 때문에 주민들의 기피현상이 뚜렷하며, 복잡한 설비구성으로 장기간 공사가 예상되기 때문에 예산의 과다소요로 유지관리가 매우 어려운 실정에 있다.
- 기존 배수펌프장은 침수피해를 방지하기 위하여 저지대 상습침수지역에 설치하는데, 유수지, 펌프장, 수문 설치에 넓은 부지가 필요하여 많은 예산과 장기간이 소요되는 문제가 있었으나, 펌프를 수문에 이와 같이 직접 결합함으로써 별도부지가 필요하지 않아 예산과 공기를 크게 줄일 수 있어서 신속하게 재해를 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

- 이러한 여러 가지 장점에도 불구하고, 펌프일체형수문은 유수지 대신 수로를 유수지로 활용하기 때문에 수문의 내측 수위와 외측 수위의 변화가 심하여 펌프의 운전에 영향을 미치는 토출량(Q)과 양정(H)이 심하게 변화하게 된다. 그러나 펌프는 최적운전조건(BEP)에 맞추어 펌프의 동력(P)과 회전수(n)가 결정되어 제작되기 때문에 운전조건의 변화에 일일이 대응하여 운전할 수 없는 문제점이 상존한다.
- 기존의 배수펌프장의 경우 유수지, 제진기, 수전시설, 펌프, 수문 등 복잡한 설비구성으로 하천에 적용하는데 매우 큰 어려움이 있으나, 본 기술개발을 통해 개발하고자 하는 펌프일체형수문 시스템의 경우 펌프, 수문, 개폐기를 일체화시켜 설비구성을 간소화시킴으로써, 새로운 개념의 배수설비를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.(Fig. 11 참조)
- 이러한 배수설비의 경우 최적의 물관리 효율적으로 하기 위하여 국내에서는 한국농어촌공사에서 시행하고 있는 TM/TC(물관리자동화) 사업에 의해서 전동화가 이루어져 가고 있으나, 물관리자동화사업은 수원공 및 간선급 위주로 시행하기 때문에 수로내 유힘의 감시 및 제어에 한정되기 때문에 고장발생 등은 일일이 인력에 의존할 수밖에 없는 실정이다.

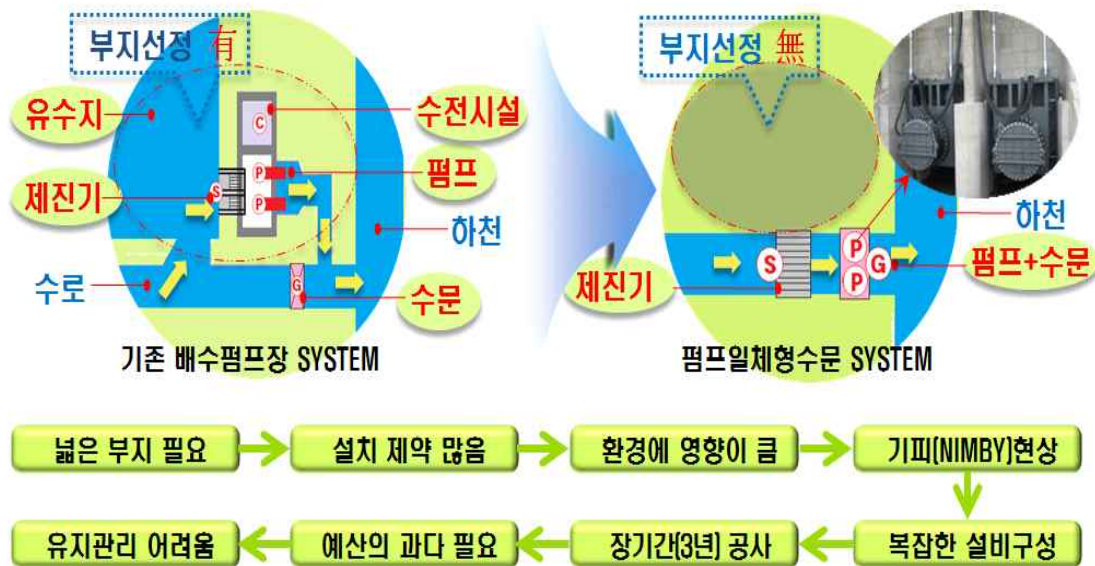


Fig. 11 기존 배수펌프장 시스템 문제점 분석

- 최근에 인도네시아 및 말레이시아에 설치된 다수 배수설비들의 경우 TM/TC가 전혀 구성되어 있지 않을 뿐더러 단순히 오물끼임 및 단순 구조적 결함에 의한 A/S 요청에도 정확한 원인파악이 불가능하기 때문에 공급사에서 직접 해외파견을 통해 장기간 노력과 경비를 발생시키고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위한 배수설비의 운전 및 고장 모니터링 시스템 및 원격조정을 통한 제어시스템이 시급하다.

- 상기에 살펴본 바와 같이 펌프장 및 배수설비의 노후화,물관리자동화 사업의 한계성, 배수설비 관리 인력의 부족 문제를 해결하고 농업생산성 향상과 해외에 설치된 배수설비들의 운영과 관리를 보다 효과적으로 원활하게 수행하기 위해서는 많은 비용과 인력을 소모하는 배수설비의 운영 및 유지관리에 대해 획기적인 방안수립이 필요하다.
- 본 과제를 통해 개발하고자 하는 “ 침수재해를 예방하고 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT 기반 원격모니터링 및 제어가 가능한 펌프일체형 수문 개발”은 펌프의 원활한 운전과 원격으로 현장상황을 모니터링하고 고장이력에 대한 빅데이터를 분석하여 서버시스템을 구축함으로써, 수위에 따라 배수설비의 부하를 최소화시키고 축류 펌프의 최대성능을 포함하여 상하 및 회동개폐가 가능한 펌프일체형수문 시스템을 개발하고자 한다.(Fig. 12 참조)

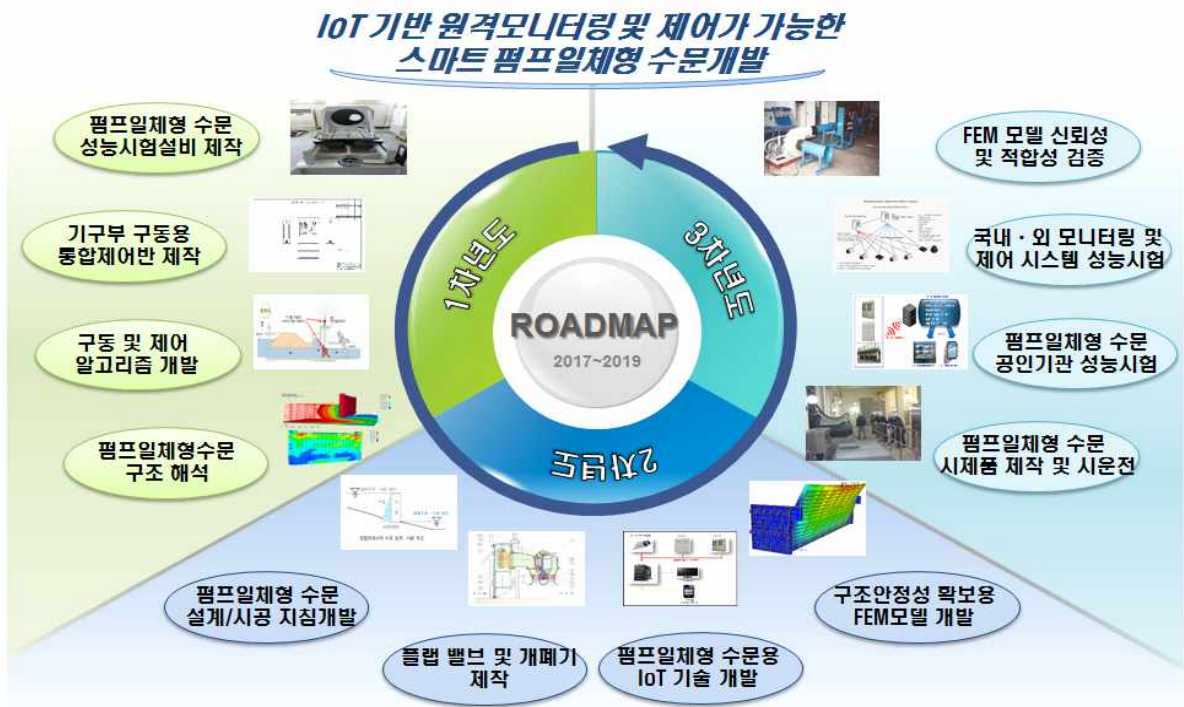


Fig. 12 농지 침수재해 예방하고 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 원격모니터링 및 제어가 가능한 펌프일체형 수문 개발 연차별 Road Map

2. 연구수행 내용 및 결과

. 1차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관(하서산업(주)) : 펌프일체형수문 시스템의 주요부품(수문) 설계 및 성능시험 장비 제작
- 참여기관 1 (인버터기술(주)) : 펌프일체형수문 시스템의 통합제어반 제작 및 수문 구동 및 제어 알고리즘 개발
- 참여기관 2 (목포대학교) : 펌프일체형수문 시스템의 모델링 및 구조해석 수행

② 개발 내용 및 범위

□ 주관연구기관(하서산업(주))

(1) 사업화 역량강화를 위한 시장조사 및 특허조사

- 펌프일체형수문 시스템의 경쟁력강화를 위한 자료수집
- 현장에 적합한 펌프일체형수문의 주요 부품의 개발사양 선정
- 기존 시제품 외형 디자인을 토대로 Layout 작성

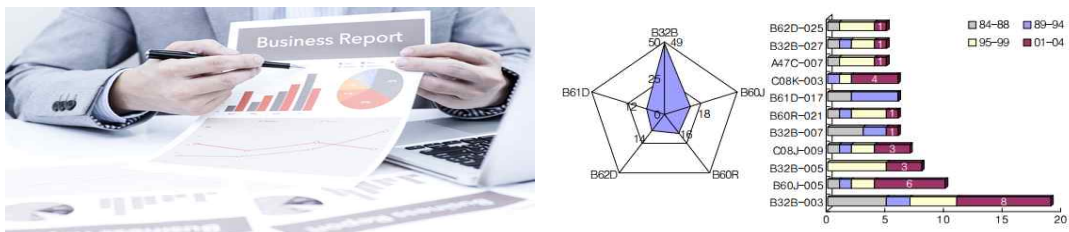


Fig. 13 사업화 역량강화를 위한 시장조사 및 특허조사

(2) 펌프일체형수문 시스템 관련 예비조사

- 펌프일체형수문 시스템의 적용을 위한 토목적, 기계 구조적 측면의 자료조사 및 검토
- 외부환경을 고려한 수문본체, 권양기, 플랩밸브 등 주요 기구부에 대한 사양선정
- 유입수압 및 설계 수심의 구조적 안정성 확보 및 부식에 강한 재질 선정



Fig. 14 예비조사 수행 및 펌프일체형수문 시스템 선정

(3) 펌프일체형수문 시스템의 수문 및 개폐장치 설계

- 외부환경을 고려한 펌프일체형수문 시스템의 주요부품 Layout 작성
- 안정성 및 성능을 고려한 플랩밸브 및 개폐기의 사양 선정
- 가반 하중 및 수압을 고려한 펌프일체형수문 시스템의 개폐기 및 플랩밸브의 주요 기구부 상세설계

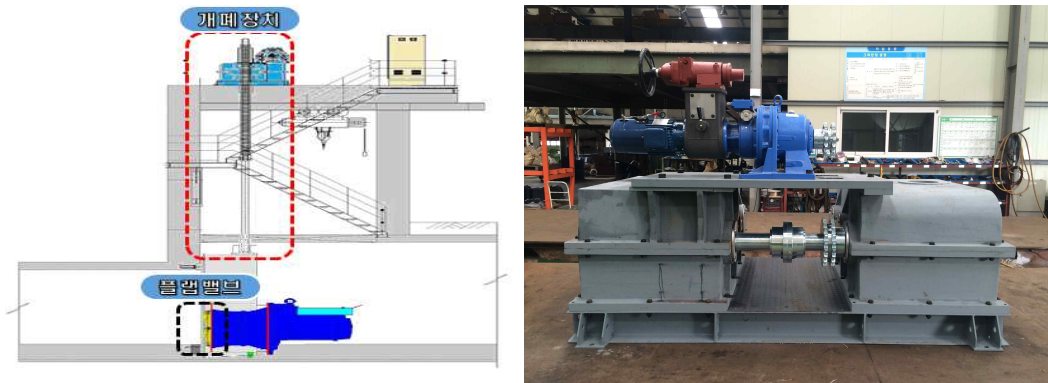


Fig. 15 펌프일체형수문 시스템의 주요부품 설계

(4) 펌프일체형수문 시스템의 성능 테스트를 위한 시험장비 설계 및 제작

- 국내 규격에 부합된 시험장비 스펙 설정
- 유량 및 수위조절이 가능한 시험장비 구성
- 시험 장비를 통해 자체적으로 성능을 검증할 수 있는 구조 설계 및 제작



Fig. 16 성능테스트용 시험장비 제작

□ 1 (인버터기술(주))

(1) 펌프일체형수문 시스템의 제어용 센서·제어시스템 예비조사 및 사양 선정

- 펌프일체형수문 시스템의 기능적으로 적합한 센서의 자료조사 및 검토
- 척박한 환경에서 펌프일체형수문 시스템의 구동 가능한 PLC시스템 개발사양 선정

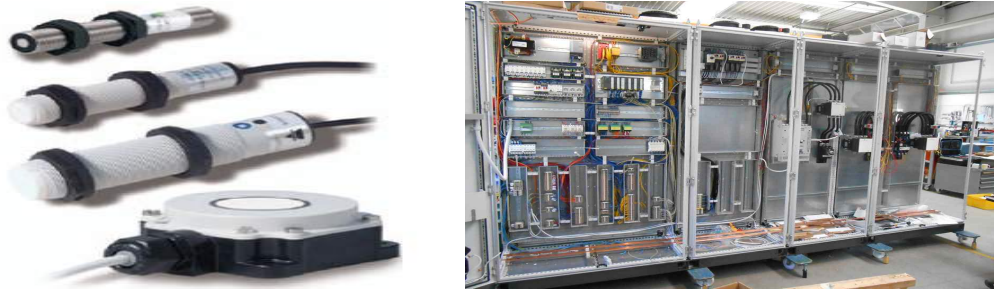


Fig. 17 센서 및 PLC 개발사양 선정

(2) 다양한 환경에서 안전운전이 가능한 구동 제어알고리즘 개발

- PLC와 초음파센서를 이용한 수위 높낮이에 따라 자동 운전 제어알고리즘 개발
- 헌팅현상 방지를 위해 PID 제어를 통한 내수위의 수위레벨을 일정하게 유지할 수 있는 제어알고리즘 개발
- 현장 자동제어반에서 서버로 데이터를 전송할 수 있는 제어보드 알고리즘 개발



Fig. 18 PLC와 초음파센서를 이용한 내수위 PID 제어

(3) 펌프일체형수문 시스템의 구동에 필요한 기동제어반 프로토타입 제작

- PLC 제어부 시퀀스 설계
- 인버터와 MC의 병행기동 방식의 시퀀스를 구성하여 시퀀스 고장 시 대체 가능한 시스템 및 시퀀스방식으로 권양기 및 펌프구동 제어 시스템 제작
- 척박한 환경에서도 동작 가능한 판넬 설계

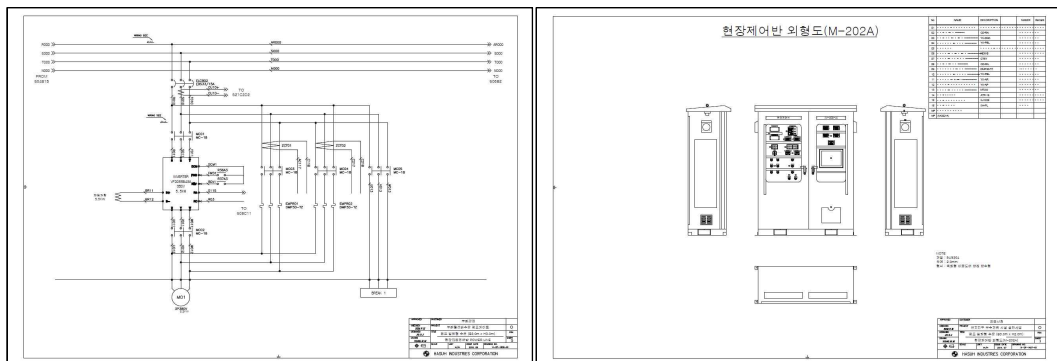


Fig. 19 전기제어부 시퀀스 및 판넬 설계

□ 2 (목포대학교)

(1) 펌프일체형수문 시스템의 주요부품 3D 모델링 및 간섭검토

- 설계 범용 프로그램을 이용한 자동개폐 수문의 상세 설계
- 3D 설계프로그램을 통해 DMU(Digital Mock-Up)의 주요부품 가상 조립
- 시뮬레이션을 통한 가동부 간섭검토 및 가상 구동테스트

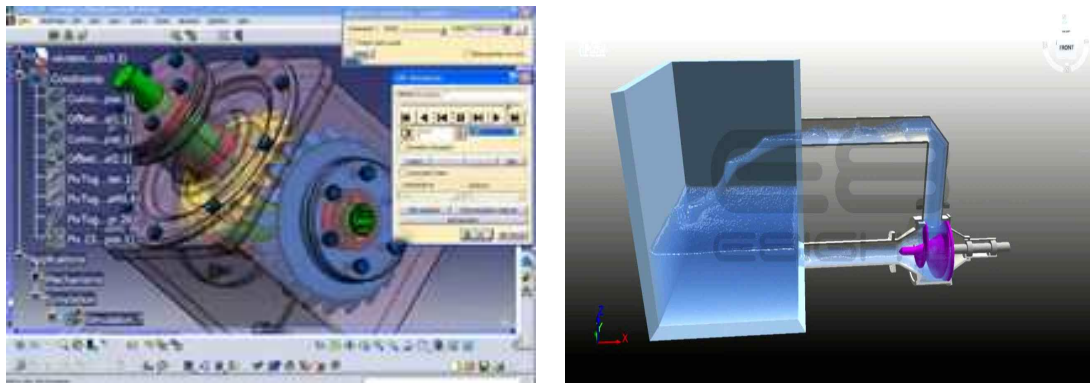


Fig. 20 3D 모델링 및 간섭검토

(2) 펌프일체형수문 시스템의 주요부품의 구조 안정성 검토를 위한 구조해석

- 개폐기에 가해지는 압력에 따른 구조해석
- 플랩밸브에 가해지는 압력에 따른 힌지의 구조안정성 검토를 위한 구조해석
- 펌프일체형수문 시스템 체결부의 부하 파악 및 안전설계를 위한 구조해석

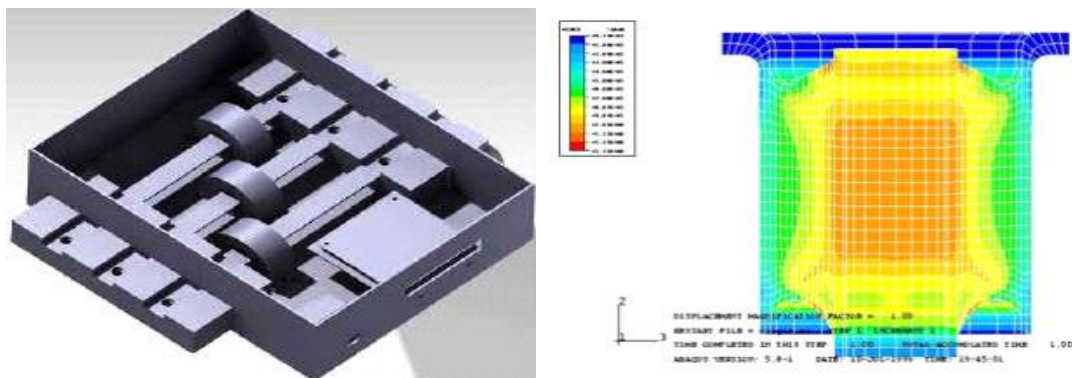


Fig. 21 구조해석을 통한 펌프일체형수문 시스템의 주요부품 구조해석

(3) 펌프일체형수문 시스템 방진장치의 성능 확보를 위한 진동해석

- 방진가이드 종류에 따른 수문 구조물의 진동 감소를 위한 진동해석
- 수직진동방지장치의 형상별 수문구조물 진동 안정성 확보를 위한 해석
- 펌프일체형수문 시스템의 결합상태에 따른 수문의 진동현상 분석을 위한 해석

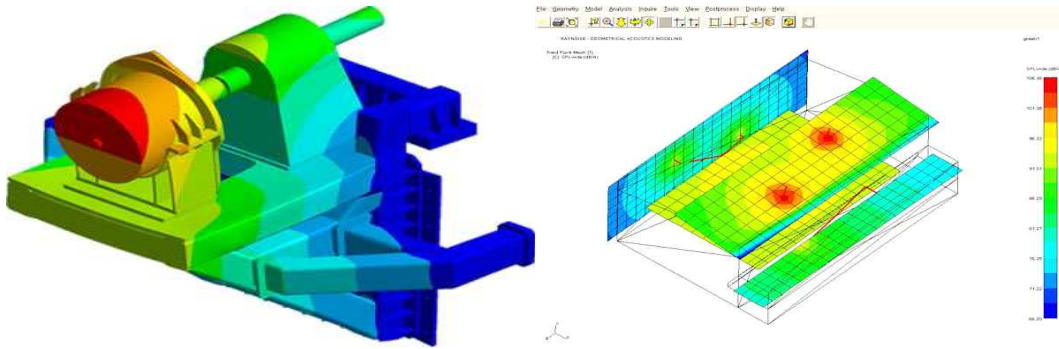


Fig. 22 펌프일체형수문 시스템의 방진장치 성능 확보를 위한 진동해석

. 2차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관(하서산업(주)) : 펌프일체형수문 시스템의 주요부품(배수펌프, 수문구조물) 설계 및 수문 구성품 제작
- 참여기관 1 (인버터기술(주)) : 통신용 통합제어보드 개발 및 펌프일체형수문 시스템의 IoT기술 개발
- 참여기관 2 (목포대학교) : 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 FEM모델 개발

② 개발 내용 및 범위

□ 주관연구기관(하서산업(주))

(1) 시제품 설치 부지 조사 및 설계/시공지침 개발

- 시운전용 펌프일체형수문 시스템 설치에 적합한 Test Bed 부지 조사
- 펌프일체형수문 시스템의 사용용량에 따른 설계지침 작성
- 적용처에 따른 펌프일체형수문 시스템의 시공지침 작성

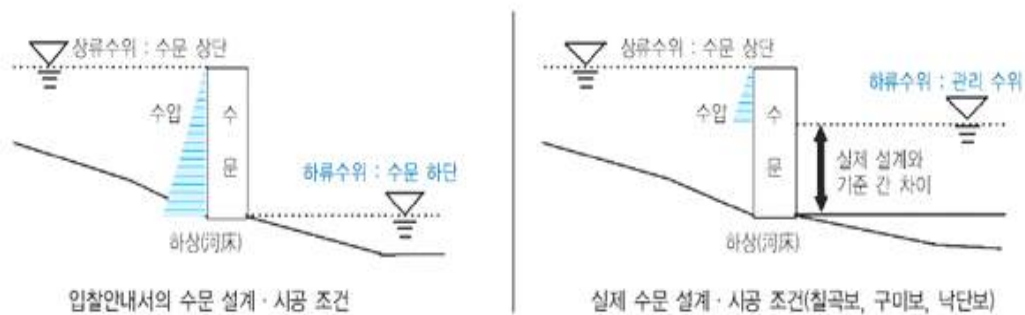


Fig. 23 시제품 설치 부지조사 및 설계/시공방침 개발

- (2) 펌프일체형수문 시스템용 배수펌프 상세설계
- 수중에서 가동 가능한 배수펌프 2D도면 설계
 - 수중에서 안정성 및 성능에 적합한 배수펌프 사양 선정
 - 플랩밸브 작동을 고려한 배수펌프 상세설계

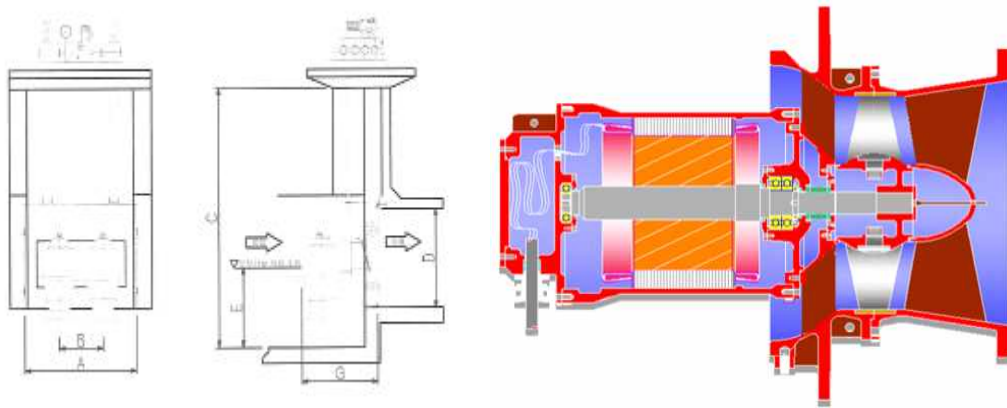


Fig. 24 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 상세설계

- (3) 펌프일체형수문 시스템의 개폐기 및 플랩밸브 제작 및 조립
- 개폐기 및 플랩밸브의 주요부품 제작을 위한 자재 가공
 - 펌프일체형수문 시스템용 환경변화에 강건한 부품 제작
 - 펌프일체형수문 시스템의 개폐기 및 플랩밸브 조립

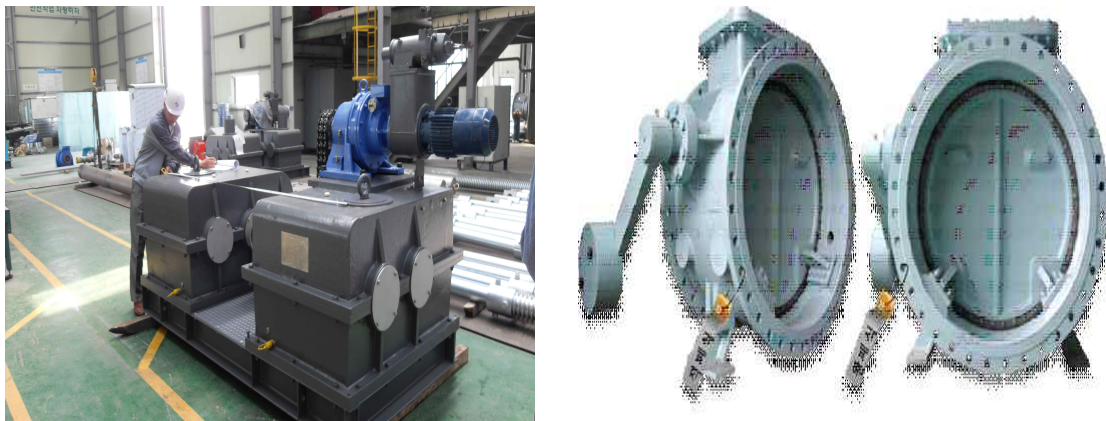


Fig. 25 개폐기 및 플랩밸브 제작 및 조립

- (4) 펌프일체형수문 시스템의 수문구조물 상세설계
- 진동해석 결과를 적용하여 펌프와 수문의 진동 연관성 검토
 - 방진기능을 갖춘 수문부 및 Guide Frame의 설계
 - 수문부와 Guide Frame 연관성을 검토하여 수문부 상세 설계

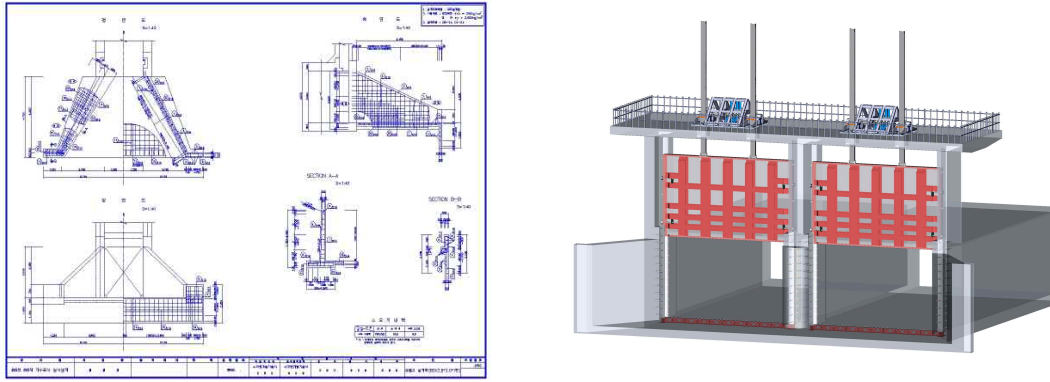


Fig. 26 펌프일체형수문 시스템의 수문구조물 상세설계

□ 1 (인버터기술(주))

(1) 원격 모니터링 및 제어를 위한 통신형 통합 제어보드 개발

- RS-485, RS-232C 기능 구현
- USB 1Ch 구현하여 CDMA, GSM, WI-FI 중 1가지의 송출방식을 선택하여 데이터를 서버로 보낼 수 있는 시스템 구현
- 원격으로 현장상황을 감시할 수 있는 수문일체형펌프 제어알고리즘에 기반한 HMI (Human Machine Interaction) 시스템 개발

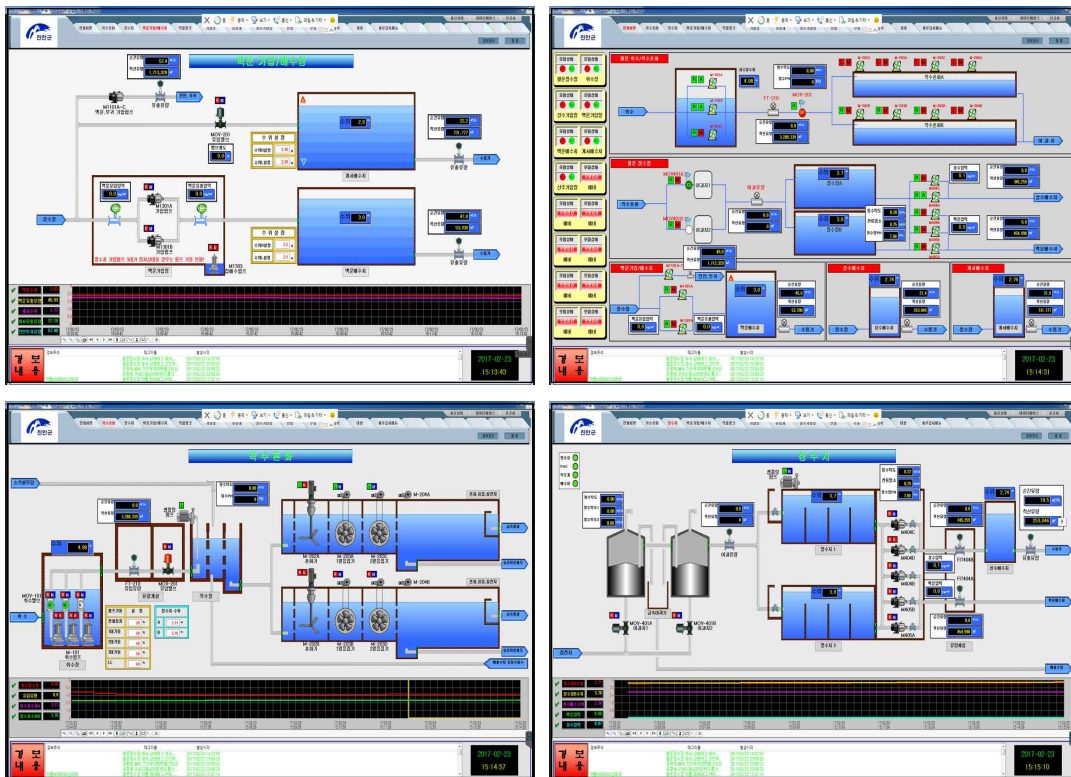


Fig. 27 HMI 시스템

(2) 인터넷을 이용한 유/무선 통신 프로토콜 개발

- 현장에 설치된 센서 등을 이용하여 측정된 결과를 인터넷망을 통하여 상황실로 데이터를 송신해주는 웹 모니터링 시스템 구축
- 인터넷망이 설치되지 않은 지역은 CDMA기를 이용해 웹 모니터링 시스템 구축
- 프로토타입과 연동시험을 통한 원격모니터링·제어 시스템 성능평가 및 설계/시공 지침 수립

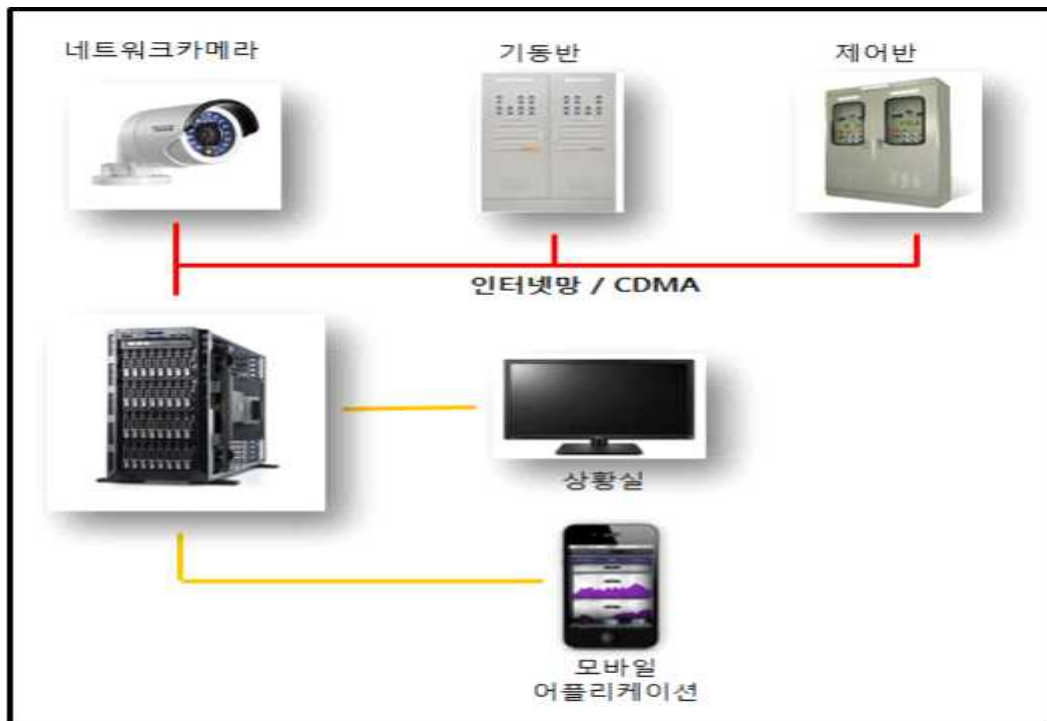


Fig. 28 펌프일체형수문 시스템 IoT 시스템 구성도

(3) 이력관리 및 빅데이터 분석을 위한 서버시스템 개발

- 인터넷망을 이용한 원격고장이력 조회 시스템 개발
- 데이터 흐름 제어, 실시간 배치분석, 분석결과 조회 등 데이터 수집, 저장, 분석 등의 과정을 웹 UI기반으로 개발

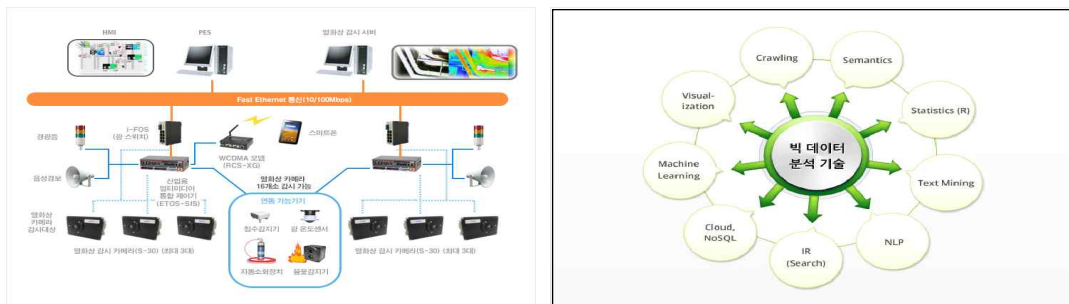


Fig. 29 이력관리 및 빅데이터 분석을 위한 서버시스템 개발

(4) 통합제어반 프로토타입 제작

- 시퀀스 설계, 통신이 가능하게끔 시스템 구성
- 통신용 모듈을 장착하고 수문 자동운전이 가능한 통합제어반 제작

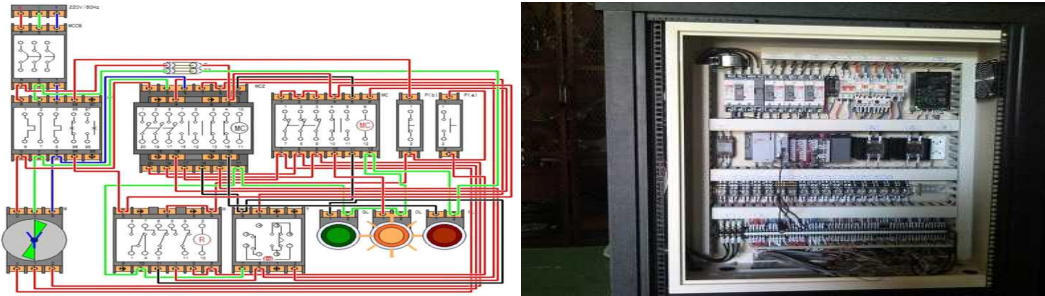


Fig. 30 시퀀스 설계 및 통합제어반 프로토타입 제작

(5) 유/무선 통신제어 시스템 성능 검증평가

- 프로토타입 연동시험을 통한 모니터링 관리 및 원격 제어 테스트
- SMS를 통한 원격고장이력 조회 및 알림 성능 평가

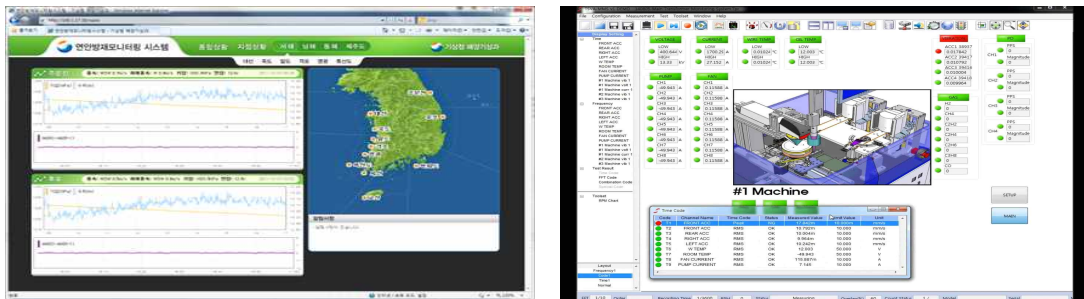


Fig. 31 유/무선 통신제어 시스템 성능 검증평가

□ 2 (목포대학교)

(1) 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 공진현상 방지를 위한 진동해석

- 수문의 작동 상태에 따른 고유진동수 파악을 위한 진동해석 수행
- 배수펌프의 운전 상태에 따른 회전진동의 고유진동수 확보를 위한 진동해석 수행
- 수문과 배수펌프의 결합상태에서 공진현상 방지를 위한 진동해석 수행

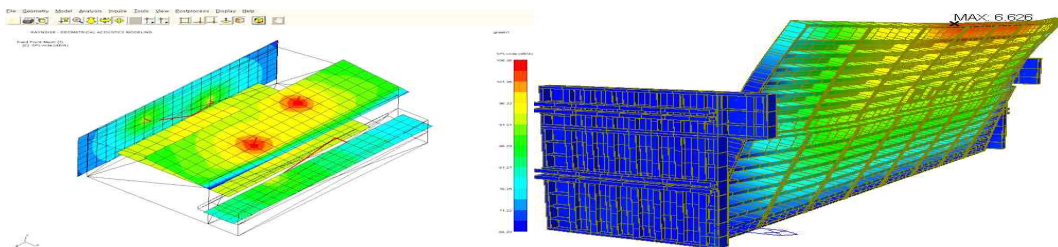


Fig. 32 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 진동해석

(2) CFD 해석을 통한 배수펌프 케이싱 최적화

- CFD 해석을 위한 흡입·토출 케이싱 형상별 3D 모델링 수행
- 배수펌프 가이드 베인 형상에 따른 CFD해석 수행
- 흡입·토출 케이싱 형상별 CFD해석 및 분석을 통한 축류 펌프 효율 상승 도모

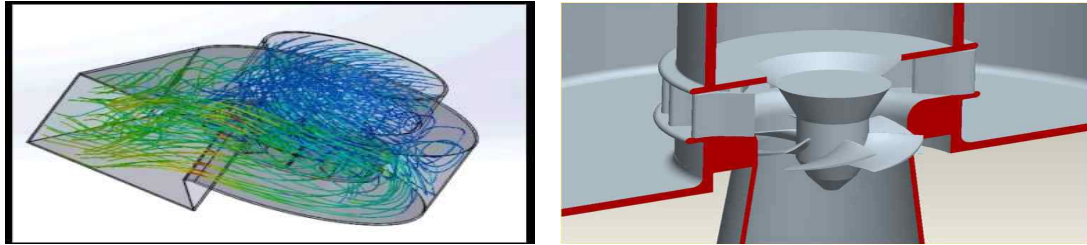


Fig. 33 배수펌프의 수력학적 특징과악을 위한 CFD해석 수행

(3) 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 성능향상을 위한 유동해석

- 배수펌프 임펠러 익형 형상에 따른 유동해석 수행
- 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 효율 향상을 위한 CFD해석 수행
- 성능저하 요인 분석 및 구조적 형상 변경을 통한 성능향상 도모

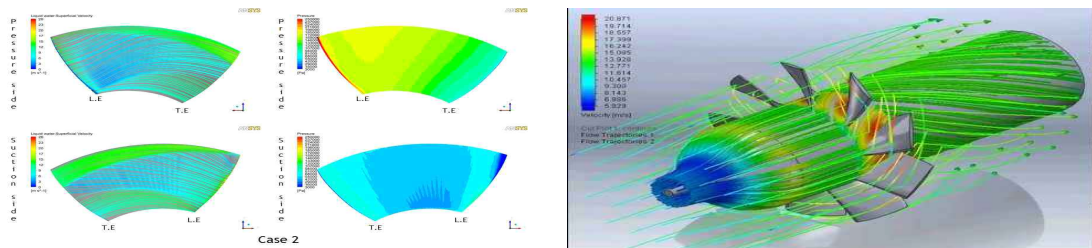


Fig. 34 배수펌프의 수력학적 특징과악을 위한 CFD해석 수행

(4) 펌프일체형수문 시스템의 구조안정성 검토를 위한 연성(FSI)해석

- 연성해석을 통한 수압에 따른 펌프일체형수문 시스템의 구조안정성 검토
- 수문 개폐에 위치에 따른 펌프일체형수문의 안정성 검토
- 수위차에 따른 수문의 압력을 연성해석을 통해 자동개폐 수문의 구조적 안정성 평가

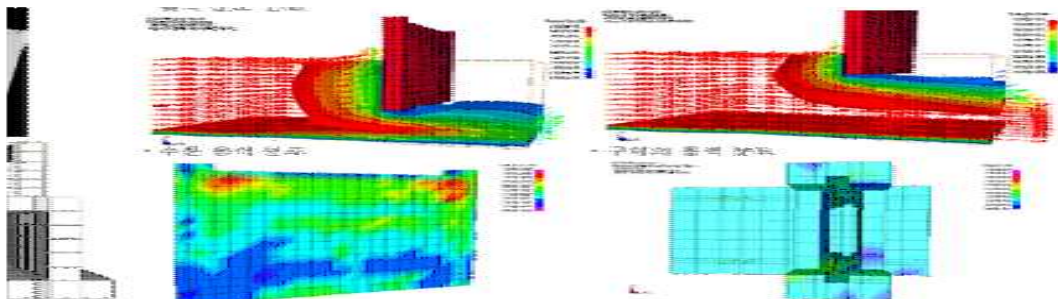


Fig. 35 FSI해석을 통한 펌프일체형수문의 구조안정성 평가

. 3차년도

① 개발 목표

- 주관연구기관(하서산업(주)) : 펌프일체형수문 시스템 통합 및 성능시험
- 참여기관 1 (인버터기술(주)) : 원격모니터링 및 제어 시스템을 갖춘 스마트폰 어플리케이션 개발 및 성능시험
- 참여기관 2 (목포대학교) : FEM모델의 신뢰성 및 적합성 검증 및 실험지원

② 개발 내용 및 범위

□ 주관연구기관(하서산업(주))

(1) 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 조립 및 제작

- 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 성능시험에 적합한 시스템 부품 사양 확인
- 배수펌프 부품별 목형제작 및 배수펌프 부품 제작
- 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 조립 및 시운전

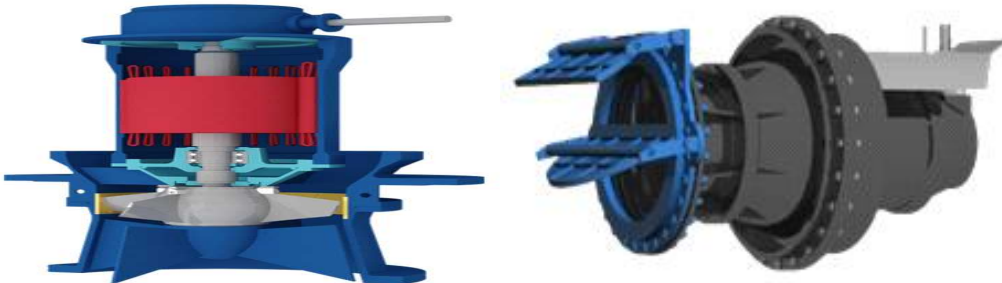


Fig. 36 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 제작

(2) 펌프일체형수문 시스템의 수문구조물 제작 및 조립

- 수문 구조물에 적합한 강도 및 강성이 높은 재질 선정
- 수문 부재 규격에 따른 주요 기구부 제작 및 조립 수행
- 척박한 환경에서 수문의 품질 유지가 가능하도록 도장



Fig. 37 펌프일체형수문 시스템의 수문구조물 제작 및 조립

(3) 펌프일체형수문 시스템 통합 및 조립

- 펌프일체형수문 시스템 제어장치 통합
- 주요 기구부(플랩밸브, 개폐기, 수문구조물, 배수펌프) 조립 수행
- 펌프일체형수문 시스템의 시운전 및 개선사항 수정



Fig. 38 펌프일체형수문 시스템의 통합

(4) 펌프일체형수문 시스템 성능시험을 통한 보완 및 수정

- 펌프일체형수문 시스템의 현장 설치 공사 실시
- 최종 시제품을 성능 시험 및 원격 모니터링 및 제어 성능의 연계 시험
- 최종 펌프일체형수문 시스템 시제품의 개선 자료 확보 및 보완점 수정



Fig. 39 시운전을 통한 제어시스템 신뢰성 및 적합성 검증

□ 1 (인버터기술(주))

(1) PC 및 스마트폰으로 원격모니터링·제어 가능한 어플리케이션 개발

- 원격 모니터링 및 제어가 가능한 스마트 어플리케이션 프로그래밍
- 이상상황 발생시 SMS를 통한 실시간 시스템 점검 및 관리를 위한 알람 기능 확보
- 통합관리 시스템 개발



Fig. 40 PC 및 스마트폰 원격 모니터링 · 제어 시스템

(2) 빅데이터 분석 자료조사 및 수집

- 전사적 규모의 빅데이터 활용 청사진 수립
- 현장상황 우선순위에 따라서 분석 역량 구축
- 측정 가능한 성과를 근거로 각각의 케이스 수립

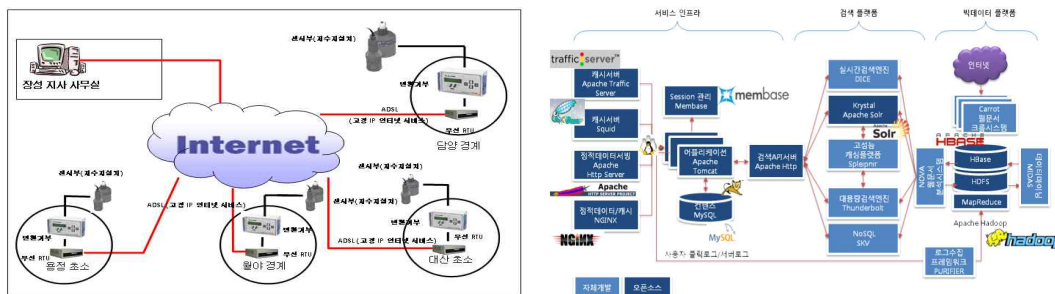


Fig. 41 빅데이터 분석 자료조사 및 수집

(3) 통합 원격모니터링 및 제어시스템의 성능시험을 통한 신뢰성 및 적합성 검증

- 원격지의 고장원인 파악용 모니터링 시스템의 성능시험
- PC 및 스마트폰 어플리케이션을 이용한 원격제어시스템 성능시험
- 환경변화에 따른 헌팅제어 및 유량조절 알고리즘의 성능시험



Fig. 42 원격모니터링 및 제어시스템 성능시험

□ 2 (목포대학교)

(1) 펌프일체형수문 시스템의 전체 통합 시스템 시운전 지원

- 펌프일체형수문 시스템 수문제어장치 통합 지원
- 최종 시제품에 대한 시운전 및 해석결과 연계를 통한 기술자료 확보
- 운전환경에 따른 성능시험 결과 분석을 통한 보완점 및 수정 지원

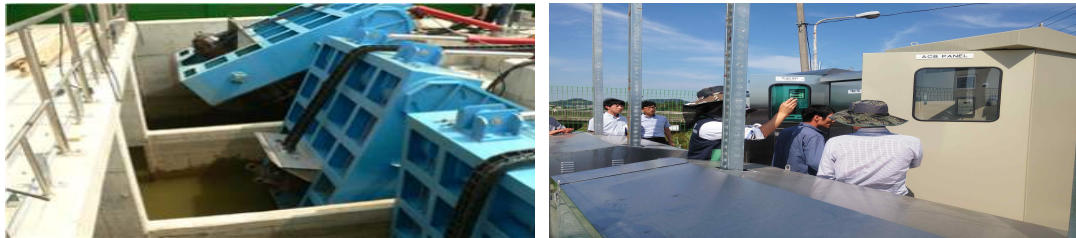


Fig. 43 성능시험 베드 설계 및 제작 지원

(2) 시운전을 통한 기술자료 확보용 FEM해석 모델 검증

- 연성해석의 결과를 이용한 수압에 대한 펌프일체형수문 시스템 구조안정성 평가
- 진동해석 결과를 이용한 수문구조물 안정성 평가
- CFD해석 결과를 바탕으로 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 성능 검증

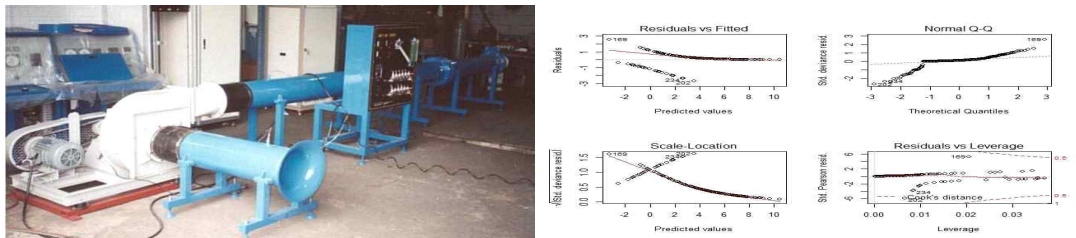


Fig. 44 시운전을 통한 FEM해석 모델 검증

(3) 펌프일체형수문 시스템의 공인기관 성능시험 지원

- 펌프일체형수문 시스템의 시제품의 실내 성능시험 지원
- 펌프일체형수문 시스템의 수문유닛 및 펌프유닛의 개별 성능시험 지원
- 성능시험 결과 분석을 통한 보완점 및 수정 지원

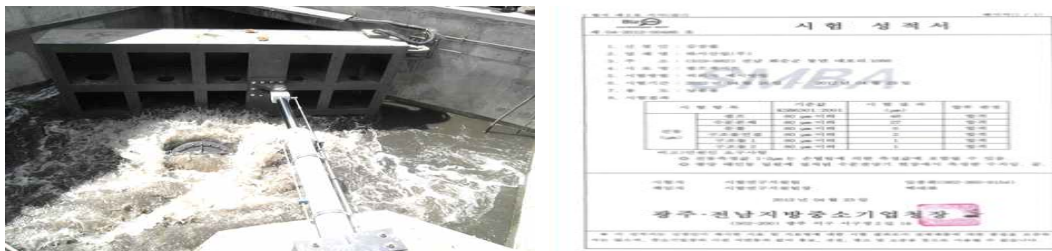


Fig. 45 공인기관 성능시험 지원

2-1. 최종목표 및 추진 일정

본 과제를 통해 개발하고자 하는 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발”은 내수위의 급상승에 사전 대응하는 제어 문제와 부지 제약으로 적은 유수지에서 펌프의 구동으로 유수지의 급격한 수위 변동으로 발생하는 헨팅 문제와 유수지의 저수위 상태에서 펌프구동으로 인한 캐비테이션 문제 및 유입량 과다로 인한 최고 수위에 도달 시 과부하 문제를 해결하기 위하여 펌프일체형수문을 개발하였으며, 연차별 기술개발 추진 일정대비 100% 달성을 확인하였다.

2-1-1. 1차년도 기술개발 추진 일정

일련 번호	개발 내용	추진 일정(개월)												달성도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	시장조사 및 특허조사	..... ———												100%
2	펌프일체형수문 시스템 예비조사	..... ———	..... ———											100%
3	3D 모델링 및 간섭검토			..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———						100%
4	구조 해석 및 구조안전성 검토						..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	100%
5	진동해석 및 방진장치 설계				..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———				100%
6	수문구동 제어알고리즘 개발	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	..... ———				100%
7	기동 제어반 프로토타입 제작								..... ———	..... ———	..... ———			100%
8	시험성능장비 설계 및 제작									..... ———	..... ———	..... ———	..... ———	100%

..... 당초계획

——— 개발내용

2-1-2. 2차년도 기술개발 추진 일정

일련 번호	개발 내용	추진 일정(개월)												달성도 (%)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	설치부지/시공지침 개발			- . - . - .										100%	
2	플랩밸브 및 개폐기 제작 및 조립				.....			- . - . - .						100%	
3	배수펌프/수문구조 물 상세설계											- . - . - .			100%
4	통합제어반 프로토타입 제작			.....			- . - . - .							100%	
5	빅데이터 분석용 서버개발					.....			- . - . - .					100%	
6	진동해석 및 연성해석	.....			- . - . - .									100%	
7	CFD해석을 통한 펌프 유동특성 분석						.....			- . - . - .				100%	
8	유/무선 통신제어 시스템 성능 검증평가											- . - . - .			100%

..... 당초계획

- . - . - . 개발내용

2-1-3. 3차년도 기술개발 추진 일정

일련 번호	개발 내용	추진 일정(개월)												달성도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	배수펌프 및 수문구조물 제작													100%
2	펌프일체형수문 시제품 제작/조립													100%
3	이력관리 및 데이터 분석용 서버 개발													100%
4	PC/스마트폰 어플리케이션 개발													100%
5	통합제어반 프로토타입 제작													100%
6	기술력확보를 위한 FEM해석 모델 검증													100%
7	시스템 통합 및 성능시험													100%
8	사업화 전략 수립													100%

..... 당초계획

— . — . — 개발내용

2-2. 펌프일체형수문시스템 설계 관련 자료조사 및 검토

2-2-1. 1차년도 자료조사

최근 인도네시아 및 말레이시아에 설치된 다수 배수설비들의 경우 TM/TC가 전혀 구성되어 있지 않을뿐더러 단순히 오물끼임 및 단순 구조적 결함에 의한 A/S요청에도 정확한 원인 파악이 불가능하기 때문에 공급사에서 직접 해외파견을 통해 장기간 노력과 경비를 발생시키고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위한 배수설비의 운전 및 고장 모니터링 시스템 및 원격조정을 통한 제어시스템이 시급하다.

펌프장 및 배수설비의 노후화, 물관리자동화 사업의 한계성, 배수설비 관리 인력의 부족 문제를 해결하고 농업생산성 향상과 해외에 설치된 배수설비들의 운영과 관리를 보다 효과적으로 원활하게 수행하기 위해서는 많은 비용과 인력을 소모하는 배수설비의 운영 및 유지관리에 대해 획기적인 방안수립이 필요하다.

특히 부지계약으로 좁아진 유수지의 내수위가 급격하게 하강하는 것을 방지할 수 있도록 펌프의 구동을 변경함으로써 펌프의 날개깃 사이에서 기포 발생으로 인한 심한 진동으로 펌프의 정상적인 구동을 불가능하게 하는 캐비테이션 현상을 방지할 수 있는 펌프일체형 수문의 개발이 필요하다.



Fig. 46 일반적인 수위센서의 종류

따라서 펌프일체형수문 시스템의 제어용 센서·제어시스템 예비조사 및 사양 선정으로 펌프일체형수문 시스템의 기능적으로 적합한 센서의 자료조사 및 검토하여 내수위 및 외수위 검출을 통한 수문제어에 필요한 수위센서 선정하였으며, 수위센서는 사용장소에 따른 용도, 형태, 센서의 재질에 따라 다양한 종류가 있다.(Fig. 46 참조) 일반적인 수위센서는 플로트형, 전극형, 오투기형으로 센서의 종류에 따른 분류는 다음과 같다.(Table 6 참조)

Table 6 센서의 종류 및 제원

	센서 종류	센서 재질	온도	압력	사용용도
1	(Float식) 기본타입	- Head - 나이롱화이바 - Float - P/P 발포 - Pipe - SUS 304	80°C	5K	(2" Socket) 각종물탱크(일반)
2	(Float식) 고온용	- Head - 나이롱화이바 - Float - SUS 304 - Pipe - SUS 304	100°C	5K	(2" Socket) 물탱크, 유류탱크, 압력용(일반)
3	(Float식) PVC타입	Head - P/P - Float - P/P 발포 - Pipe - PVC	60°C	1K	(Flange Type) 해수, 정화조, 약품, 탱크, 각종 물탱크
4	(Float식) 테프론타입	- Head - Tefron - Float - P/P 발포/Tefron - Pipe - Tefron	100°C	3K	(Flange Type) 특수약품용. 염산. 황산등의 화학약품
5	(Float식) 방폭형/고온용	Head - SUS 304 - Float - SUS 304 - Pipe - SUS 304	100°C	10K	(Flange Type) 휘발유. 벤젠 등의 폭발성탱크. 압력탱크
6	(Float식) 방폭형/고온용 Exd 11B T4 IP65	- Head - 알루미늄 - Float - SUS 304 - Pipe - SUS 304	100°C	10K	(Flange Type) 물탱크, 유류탱크, 압력용(일반)
7	(Float식) 소형 고온용	- HEAD - 화이바 - Float - SUS 304 - Pipe - SUS 304	100°C	5K	(2" Socket) 물탱크, 유류탱크, 압력용
8	(전극식) 3극 센서	- Head - 나이롱 - 전 극 - SUS 304	60°C	3K	각종물탱크(일반)
9	(전극식) 4극 센서	- Head - 나이롱 - 전 극 - SUS 304	60°C	3K	각종물탱크(일반)
10	(전극식) 5극 센서	- Head - 나이롱화이바 - 전 극 - SUS 304	60°C	3K	각종물탱크(일반)
11	(2볼) 오뚜기 센서	- Head - P/P - Float - P/P발포	60°C	무	정화조.오수.폐수.해수 자동전용 (급/배수)
12	(3볼) 오뚜기 센서	- Head - P/P - Float - P/P발포	60°C	무	급/배수 자동 및 고수위
13	(4볼) 오뚜기 센서	- Head - P/P - Float - P/P발포	60°C	무	정화조.오수.폐수.해수 배수 2단계.교번제어.고수위
14	(5볼) 오뚜기 센서	- Head - P/P - Float - P/P발포	60°C	무	정화조.오수.폐수.해수 배수 3단계.교번제어.고수위
15	위터 센서	- Head - P/P - Float - P/P	60°C	무	지하수.물탱크습기 많은곳
16	누수감지센서	- SUS + P/P	60°C	무	물의 누수 감지용
17	기어식센서	본체 - ABS.PP.화이바 - Float - P/P.P/E.SUS	60°C	무	지하수.기름탱크 천정높이가 없는곳

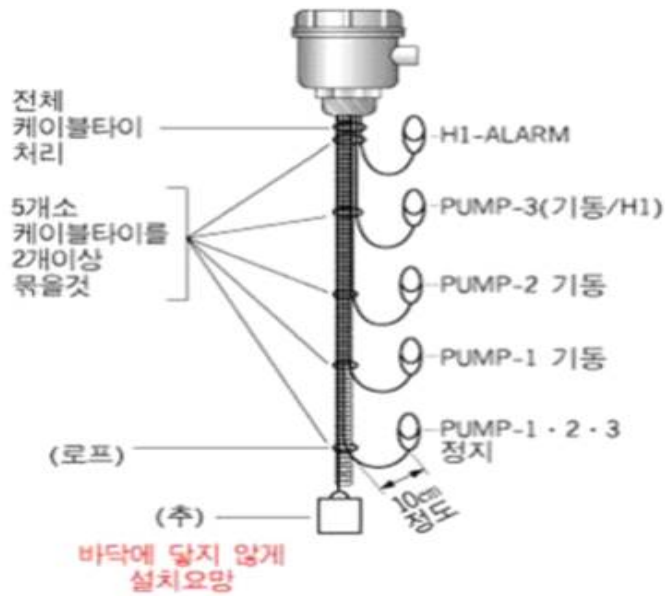


Fig. 47 오뚜기 센서

Fig. 47에 나타난 바와 같이, 오뚜기 센서는 센서와 유닛간을 2라인으로 연결하여 3단 펌프자동 및 교번제어 및 고수위 경보를 할 수 있는 수위조절기로서 인건비 절약, 파이프 절약, 선구분에 따른 여러 가지 복합적 요소들을 해결할 수 있고 센서의 용도는 오/폐수, 정화조 등의 부식성이 강한 곳, 기타 물탱크나 찌꺼기가 많은 곳에 사용된다.

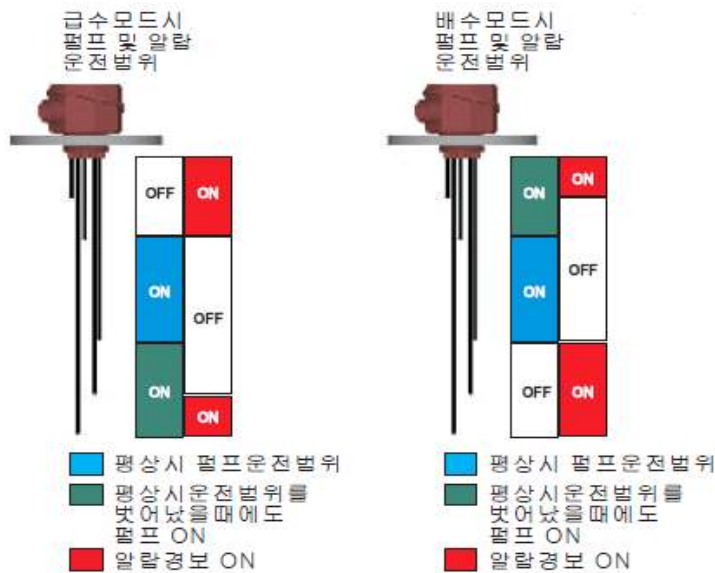


Fig. 48 전극봉 센서

전극봉 센서는 Fig. 48에 나타난 바와 같이, 고수위/저수위에 따른 경고 및 펌프의 ON/OFF를 제어할 수 있으며 수위 높이에 따른 LED 점멸등을 이용하여 현재의 수위 상태를 모니터링 할 수 있다. 기름 혹은 화공약품 및 60도 이상의 액체에는 사용 불가하며 용도로는 각종 물탱크, 정화조, 팽창탱크, 폐수탱크에 적용이 가능하다.

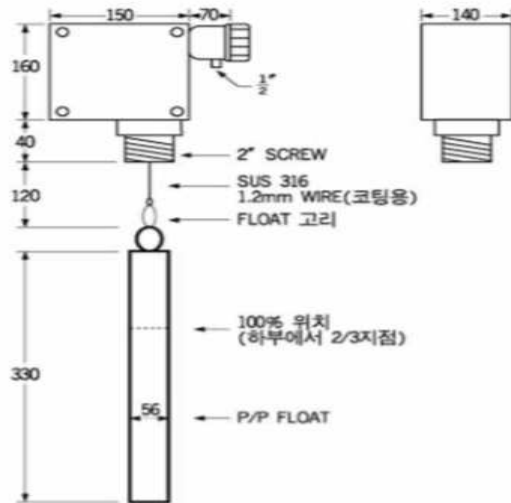


Fig. 49 기계식 수위 센서

Fig. 49에 나타난 바와 같이 기계식 수위센서는 본체 내부에 SUS판 스프링과 로프의 상하 움직임을 통해 Float의 부력과 무게에 의해 물의 수위에 따라 Float가 상하로 움직여 수위를 측정하며 천정 높이가 없어서 센서를 삽입 못하는 곳에 가능하며 Float를 6~8m까지 적용할 수 있다는 특징이 있다.



(a) 초음파 수위계 LT-200

(b) 검출기

Fig. 50 수위측정을 위한 초음파 센서

펌프일체형 수문제어를 위한 내/외수위 측정을 위한 센서로는 초음파 수위계 LT-200을 적용하는데 수문이 있는 주위 환경의 특성은 주로 안개나 이슬이 많고 습한지역, 우천시 또는 온도차에 의한 결로 발생 시 일반적인 초음파로 측정할 수 없는 현상이 발생된다. 따라서 센서의 표면을 라운드 형태로 처리되어 결로가 센서 표면 중앙으로 빨리 모이게 하여 자동낙하 하도록 제작되어 초당 5회의 표면 진동으로 물 분자를 기화시키므로 결로 시 발생하는 에러를 최소화시킬 수 있다.(Fig. 50 참조)

초음파 센서의 주요특징으로는 정도 0.2% F.S 분해능 1mm로 고감도이며 표시단위(m, cm, %) 선택이 가능하고 액정상의 테스트가 없이도 전류치 확인할 수 있다. 또한 온도센서를 검출기, 변환기에 내장, 온도 자동보정이 가능하며, Trend 기능 내장으로 과거 5분~48시간 Level 변화 추이를 액정으로 확인이 가능하며 오실로스코프기능 내장으로 송·수신 상태를 액정에 확인이 되고 측정불능 및 변환기 이상 발생 시 알람발생하며 전류출력 확인 기능으로 제품 이상유무 확인이 가능하다.(Fig. 51 참조)



Fig. 51 초음파 수위센서 설치 예

센서의 동작원리는 초음파 Level Meter는 센서, 변환기 및 전용 Cable로 구성되어있으며 센서에서 발신된 초음파 Pulse는 측정액에서 반사되어 되돌아오게 되어 수신된 Pulse Echo는 전기신호로 변환기에 입력되는데 이때 발신 Pulse와 수신 Pulse의 시간차를 측정해서 거리에 비례한 신호를 출력할 수 있다.(Fig. 52 참조)

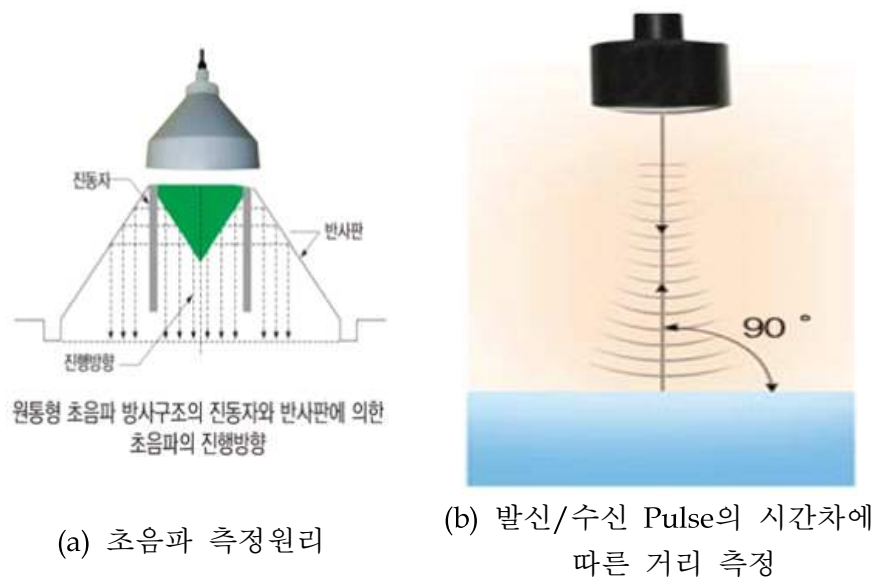


Fig. 52 초음파 수위센서 동작원리

따라서 본 연구를 위하여 선정된 초음파 센서의 사양은 Table 7에 나타낸다.

Table 7 초음파 수위센서의 사양

Model	SS-01	SS-02
주파수	10~50KHz(가변)	
Range	0.3~20M(불감대 30cm)	0.6~30M(불감대 60cm)
Beam각	3°	
동작온도	-30°C ~ +85°C	
압력	-0.3~1.5(kgf/cm ²)	
취부	플랜지타입	
Size	86mm	
취부 Flange	100A 이상	
Cable	7. 1.2M(표준) 4C Shield	
구조	IP68	
재질	본체 PP, PVC, 우레탄, 테프론(PVDF), SUS304, POM, CPVC	
방사면	라운드형 (결로현상 방지)	
상용습도	RH 0~100%	
변환기 검출기간 거리	300m	
중량	400g	290g

2-2-2. 펌프일체형수문 시스템 설계

2-2-2.1 펌프일체형수문 시스템의 플랩밸브 설계이론

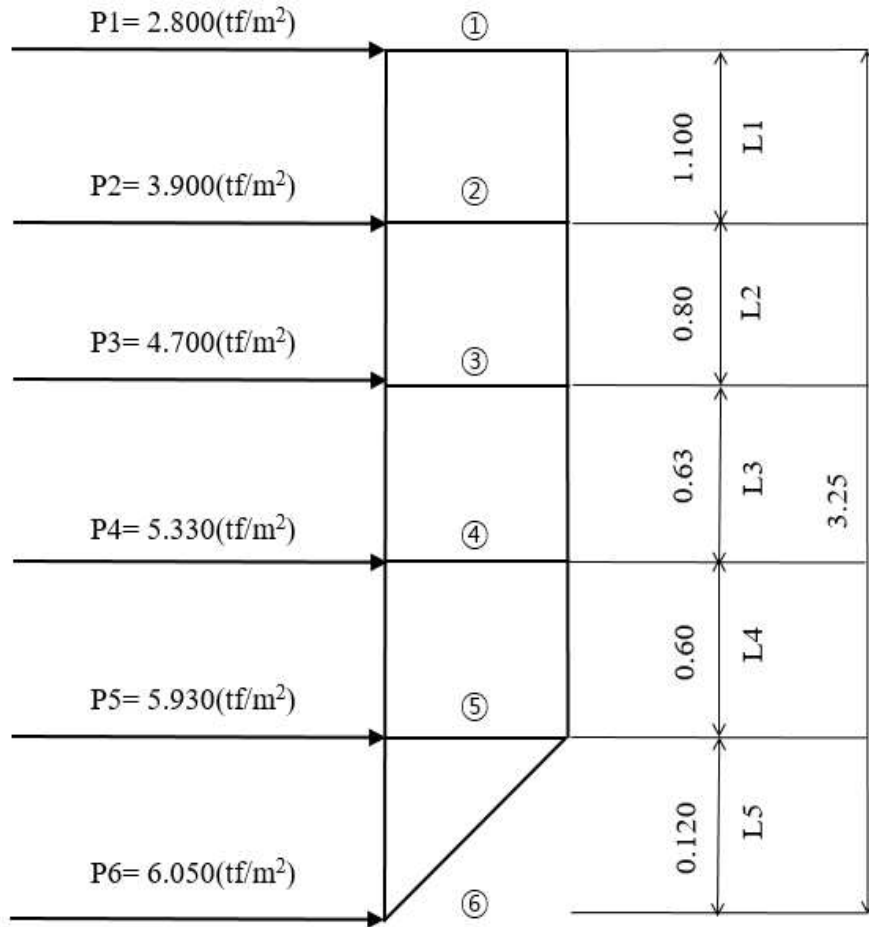


Fig. 53 수평 주빔의 배치 및 수압

여기서 P 는 수평 주빔에 작용하는 단위하중(tf/m)을 나타내고 수평 주빔에 작용하는 수압 (P) (tf/m^2), L 은 수평 주빔의 간격(m)을 나타낸다.(Fig. 53 참조) ①번 빔은 식 (1)과 같고 ②~⑤번 빔은 식 (2), ⑥번 빔은 식 (3)과 같다.

$$W = [(2p_1 + p_2) \times L_1 \div 6] \quad (1)$$

$$W_n = [(p_{n-1} + 2p_n) \times L_{n-1} \div 6] + [(2p_n + p_{n+1}) \times L_n \div 6] \quad (2)$$

$$W_7 = [(2p_3 + p_4) \times L_4 \div 6] + [(p_4 + p_5) \times L_5 \div 2] \quad (3)$$

위의 식을 이용하여 계산한 수평 주빔의 수압은 Table 8에 나타낸다.

Table 8 수평 주빔의 배치 및 수압

Beam NO	계 산 식	W(tf/m)	W(tf/m)
1	$1 \times (2 \times 2.800 + 3.900) \times 1.10$	1.742	1.742
	$\frac{1}{6} \times (2 \times 3.900 + 2.800) \times 1.10$	1.943	
2	$\frac{1}{6} \times (2 \times 3.900 + 4.700) \times 0.80$	1.667	3.610
	$\frac{1}{6} \times (2 \times 4.700 + 3.900) \times 0.80$	1.773	
3	$\frac{1}{6} \times (2 \times 4.700 + 5.330) \times 0.63$	1.547	3.272
	$\frac{1}{6} \times (2 \times 5.330 + 4.700) \times 0.63$	1.613	
4	$\frac{1}{6} \times (2 \times 5.330 + 4.700) \times 0.63$	1.659	3.320
	$\frac{1}{6} \times (2 \times 5.930 + 5.330) \times 0.60$	1.719	
5	$\frac{1}{6} \times (5.930 + 6.0500) \times 0.120$	0.719	2.438
		Total	14.382

B는 수문의 수밀 폭으로 정의하며 그에 대한 각 빔의 분담하중(P)은 다음과 같이 계산한다.

$$= W \times B \text{ (tf)} \quad (4)$$

위의 식을 이용하여 계산한 수평 주빔의 단위하중 및 분담하중은 Table 9에 나타낸다.

Table 9 수평 주빔의 단위하중 및 분담하중

단위하중 (tf/m)	분담하중 P(tf)
$W = 1.742$	$P_1 = 9.247$
$W_2 = 3.610$	$P_2 = 19.162$
$W_3 = 3.320$	$P_3 = 17.623$
$W_4 = 3.272$	$P_4 = 17.368$
$W_5 = 2.438$	$P_5 = 12.941$
$W = 14.382$	$\sum P = 76.336$
W min = 1.742	
W max = 3.610	

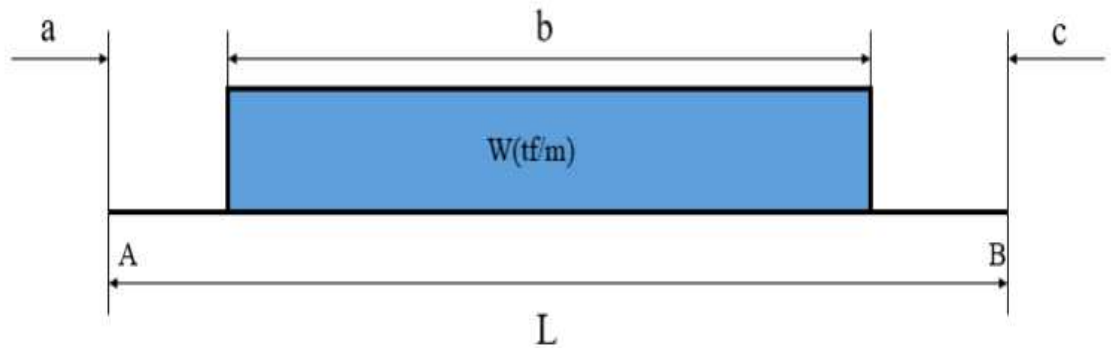


Fig. 54 굽힘 모멘트

Fig. 54에 나타낸 바와 같이, 굽힘 모멘트는 다음과 같이 구한다.

$$W \times B \times \frac{(2L - B)}{8} = P \times \frac{(2L - B)}{8} \quad (5)$$

여기서 W 는 수평 주빔에 작용하는 단위하중(tf/m)을 나타내며 L 은 롤러 중심 간의 거리로 5.5m고 수밀 폭(B)는 5.308m, P 는 각 수평 주빔에 작용하는 하중을 나타낸다. M 의 계산식을 아래 나타내었다.

$$M = \frac{1}{8} \times 9.247 \times (2 \times 5.5 - 5.31) = 6.579(\text{tf} \cdot \text{m})$$

$$M_2 = \frac{1}{8} \times 19.162 \times (2 \times 5.5 - 5.31) = 13.634(\text{tf} \cdot \text{m})$$

$$M_3 = \frac{1}{8} \times 17.623 \times (2 \times 5.5 - 5.31) = 12.539(\text{tf} \cdot \text{m})$$

$$M_4 = \frac{1}{8} \times 17.368 \times (2 \times 5.5 - 5.31) = 12.357(\text{tf} \cdot \text{m})$$

$$M_5 = \frac{1}{8} \times 12.941 \times (2 \times 5.5 - 5.31) = 9.208(\text{tf} \cdot \text{m}) \quad (6)$$

상부 수평 빔의 최대 모멘트는(M_1)는 6.579(tf·m)이고 하부 수평 빔의 최대 모멘트는(M_6)는 13.634(tf·m)이고 Q 는 전단력(Shearing Force)를 나타내는 식으로 아래와 같다.

$$Q = \frac{P}{2} = \frac{W \times B}{2} (\text{tf})$$

$$Q_1 = \frac{9.247}{2} = 4.624(\text{tf})$$

$$\frac{19.162}{2} = 9.581(\text{tf})$$

$$Q_3 = \frac{17.623}{2} = 8.812(\text{tf})$$

$$Q_4 = \frac{17.368}{2} = 8.684(\text{tf})$$

$$Q_5 = \frac{12.941}{2} = 6.471(\text{tf}) \quad (7)$$

상부 수평 빔의 최대 전단력(Q_1)는 4.624(tf)이고 하부 수평 빔의 최대 전단력(Q_6)는 9.581(tf)이다. Table 10은 상부 빔의 주요치수 및 특성을 나타낸다.

Table 10 상부 빔의 주요치수 및 특성

부 재	Beam 치수				부식여유 (2mm) 고려한 치수		비 고
	폭, b(cm)		높이, h(cm)		폭, b(cm)	높이, h(cm)	
상부 Flange	b1	15.00	h1	1.20	14.80	1.00	Skin Plate 쪽
WEB	b2	1.20	h2	137.60	1.00	137.60	
하부 Flange	b3	15.00	h3	1.20	14.80	1.00	
상부 Flange	A1	14.80	y1	69.30	1025.64	71076.85	1.23
WEB	A2	137.60	y2	0.00	0	0	217107.11
하부 Flange	A3	14.80	y3	-69.30	-1025.64	71076.85	1.23
Σ	167.20		0.00		0	142153.7	217109.57

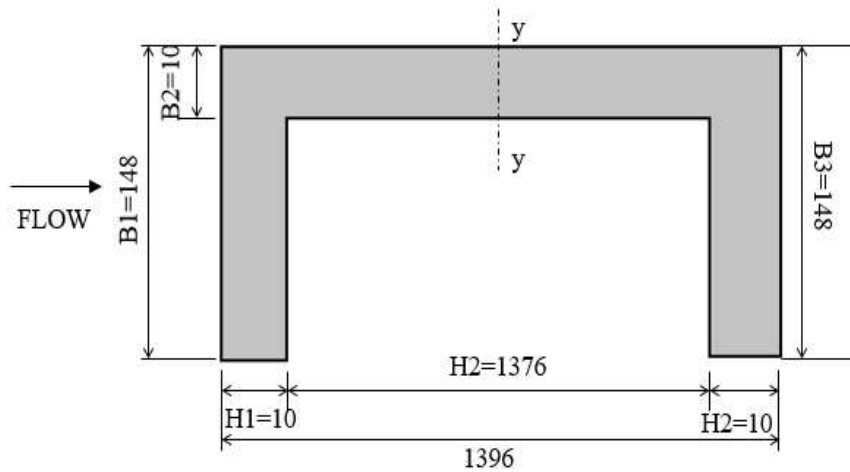


Fig. 55 수평 빔의 단면

여기서 L_y 는 임의 축에 대한 단면 2차 Moment(cm^4)이며 L_o 는 도심 축에 대한 단면 2차 Moment(cm^4), A 는 구하려는 단면의 단면적(cm^2), e 는 도심에서 구하려는 축까지의 편심거리 (cm)를 나타낸다.(Fig. 55 참조) 단면 2차 Moment(y 축)은 다음과 같다.

$$L_y = L_o + \sum Ay^2 - \sum ey^2 = 217,109.6 + 142,153.7 = 359,263 (cm^4) \quad (8)$$

편심량은

$$e = \frac{\sum A \times y}{\sum A} = \frac{0.0}{167.2} = 0.00 (cm) \quad (9)$$

중립축 위치는

$$\begin{aligned} e_1 &= 69.80 - 0.00 = 69.80 (cm) \\ e_2 &= 69.80 + 0.00 = 69.80 (cm) \end{aligned} \quad (10)$$

단면계수는

$$\begin{aligned} Z_c &= \frac{L_y}{e_1} = \frac{359,263}{69.8} = 5,147 (cm^3) \\ Z_t &= \frac{L_y}{e_2} = \frac{359,263}{69.8} = 5,147 (cm^3) \end{aligned} \quad (11)$$

하부 빔의 주요치수 및 특성은 Tables 11~12에 나타낸다.

Table 11 하부 빔의 주요치수 및 특성

부 재	Beam 치수				부식여유 (2mm) 고려한 치수		비 고
	폭, b(cm)		높이, h(cm)		폭, b(cm)	높이, h(cm)	
상부 Flange	b1	15.00	h1	1.20	14.80	1.00	Skin Plate 쪽
WEB	b2	1.20	h2	109.60	1.00	109.60	
하부 Flange	b3	12.80	h3	1.20	12.60	1.00	
상부 Flange	A1	14.8	y1	55.3	818.44	45259.73	1.23
WEB	A2	109.6	y2	0	0	0	109711.06
하부 Flange	A3	12.6	y3	-55.3	-696.78	38531.93	1.05
Σ	137		0		121.66	83791.66	109713.34

Table 12 x축에 대한 주요치수 및 특성

부 재	Beam 규격				부식여유 (2mm) 고려한 치수		비 고
	폭, b(cm)		높이, h(cm)		폭, b(cm)	높이, h(cm)	
상부 Flange	b1	1.20	h1	15.00	1.00	14.80	Skin Plate 쪽
WEB	b2	109.60	h2	1.20	109.60	1.00	
하부 Flange	b3	1.20	h3	12.80	1.00	12.60	
상부 Flange	A1	14.8	x1	0	0	0	1080.6
WEB	A2	109.6	x2	0	0	0	36.53
하부 Flange	A3	12.6	x3	-0.2	-2.52	0.5	4.2
Σ	137		-0.2		-2.52	0.5	1121.33

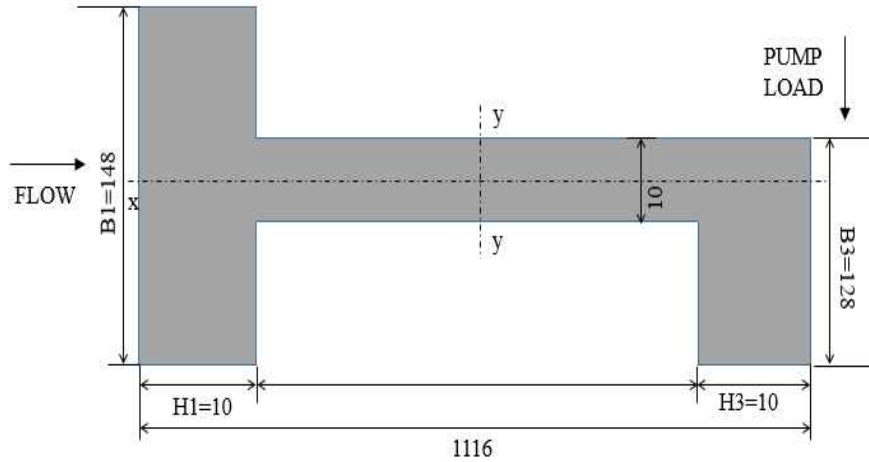


Fig. 56 하부 뱀의 단면

Fig. 56은 단면2차 Moment y축을 나타내어 는 임의 축에 대한 단면 2차 Moment(cm^4)이며 L_o 는 도심 축에 대한 단면 2차 Moment(cm^4), A 는 구하려는 단면의 단면적(cm^2), e 는 도심에서 구하려는 축까지의 편심거리(cm)를 나타낸다. 하부 뱀의 단면 2차 Moment(y축)은 다음과 같다.

$$L_y = L_o + \sum Ay^2 - \sum ey^2 = 109,713.3 + 83,791.7 - 109 = 193,396 (cm^4) \quad (12)$$

단면2차 Moment x축을 나타내어 L_x 는 임의 축에 대한 단면 2차 Moment(cm^4)이며 L_o 는 도심 축에 대한 단면 2차 Moment(cm^4), A 는 구하려는 단면의 단면적(cm^2), e 는 도심에서 구하려는 축까지의 편심거리(cm)를 나타낸다. 단면 2차 Moment(y축)은 다음과 같다.

$$L_x = \sum L_o + \sum Ax^2 - \sum ex^2 = 1,121.3 + 0.5 - 0.1 = 1,121.8 (cm^4) \quad (13)$$

편심량 y축과 x축은

$$e = \frac{\sum A \times y}{\sum A} = \frac{121.7}{137.0} = 0.89 (cm)$$

$$e = \frac{\sum A \times x}{\sum A} = \frac{-2.5}{137.0} = -0.02 (cm) \quad (14)$$

중립축 위치 y축과 x축은

$$e_1 = 55.80 - 0.89 = 54.91 (cm)$$

$$\begin{aligned}
&= 55.80 + 0.89 = 56.69(cm) \\
e_{1_x} &= 0.00 - -0.02 = 0.02(cm) \\
e_{2_x} &= -0.02 + 0.00 = -0.02(cm)
\end{aligned} \tag{15}$$

단면계수 y축과 x축은

$$\begin{aligned}
c_y &= \frac{L_y}{e_1} = \frac{193,396}{54.91} = 3,522(cm^3) \\
Z_{t_y} &= \frac{L_y}{e_2} = \frac{193,396}{56.69} = 3,411(cm^3) \\
Z_{c_x} &= \frac{L_x}{e_1} = \frac{1,122}{0.02} = 56,089(cm^3) \\
Z_{t_x} &= \frac{L_x}{e_2} = \frac{1,122}{-0.02} = -56,089(cm^3)
\end{aligned} \tag{16}$$

2-2-2.2 펌프일체형수문 시스템의 펌프 모터 설계이론

펌프 모터의 집중하중에 대한 주요부재의 강도계산을 하고자 한다. 펌프 구조, 하중 및 반력도는 Fig. 57에 나타낸다.

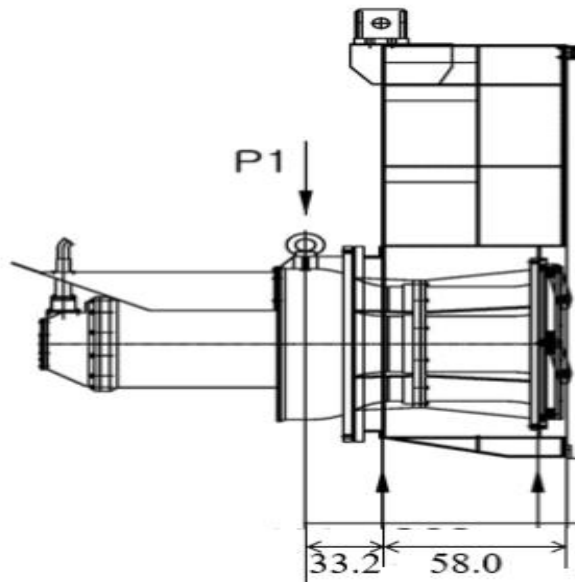


Fig. 57 펌프 구조의 하중 및 반력도

여기서 P1은 펌프자중과 플랩밸브의 자중을 더한 값이고 R_a 는 수문 뒷면에 작용하는 집중하중에 대한 반력을 나타내고 R_b 는 수문앞면에 작용하는 집중하중에 대한 반력, L_1 은 펌

프 하중점에서 수문 뒷면까지의 거리로 50.0(cm)이고 는 수문 뒷면에서 플랩밸브 지지점까지의 거리로 92.4(cm)이다.

$$\begin{aligned}
 P_1 \quad R_a + R_b &= 13,200(Kgf) \\
 R_b \times L_2 + P_1 \times L_1 &= 0 \\
 R_b &= -P_1 \times \left(\frac{L_1}{L_2} \right) \\
 R_b &= -13,200 \times \left(\frac{50}{92} \right) = -7,143(Kgf) \\
 R_a &= 20,343(Kgf)
 \end{aligned} \tag{17}$$

다음은 전면 플랜지축의 굽힘 모멘트(M)와 굽힘 응력(σ), 전단력(Q), 전단 응력(τ)을 계산한다.

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_1 \times L_1 = 13,200 \times 50.0 = 660,000(Kgf \quad cm) \\
 \sigma_b &= \frac{M_b}{Z} (Kgf/cm^2) \\
 Z &= \frac{\pi(d_o^3 - d_i^3)}{32} = \frac{\pi(85^3 - 64.5^3)}{32} = 33,948(cm^3) \\
 \sigma_b = \frac{M_b}{Z} &= \frac{660,000}{33,948} = 19.4(Kgf/cm^2) \quad \sigma_a = 1,200.0(Kgf/cm^2) \\
 Q &= 13200(tf) \\
 A &= \frac{\pi(d_o^2 - d_i^2)}{4} = \frac{\pi(85^2 - 64.5^2)}{4} = 2,407.0(cm^3) \\
 \tau_a &= 700(Kgf/cm^2) \\
 \tau &= \frac{Q}{A} = \frac{13200}{2407.0} = 5.5 \quad \sigma_a
 \end{aligned} \tag{18}$$

2-2-2.3 펌프일체형수문 시스템의 개폐기 용량 설계이론

비체의 자중(The Dead Weight of Gate Leaf)는 Gate는 9.2tf, 펌프는 12.0tf, 스프링들은 7.97tf, F/V는 1.2tf의 총합은 =31.87tf로 나타낸다.

$$F_2 = \frac{(\mu_1 + \mu_2 \times r) \times P}{R} = \frac{(0.1 + 0.2 \times 3.3) \times P}{17.0} \tag{19}$$

여기서 로울러의 회전 마찰력은 F2로 $(\mu_1 + \mu_2 \times r) \times P \div R$ (tf)로 식 (19)로 나타내며 여기서 F2는 로울러의 회전 마찰력(tf)이고, μ_1 은 로울러의 마찰계수이며, μ_2 는 베어링의 마찰계수, r은

베어링의 내경의 반지름($d/2$), R 은 로울러의 반경으로 P 는 조작시 전수압이다. 조작시 전수압은 개시 및 폐시로 구분되는데 식(20)은 아래와 같다.

$$\frac{1}{2} \times B (h - a)^2 - (h_d - a)^2] \quad (20)$$

여기서 h_u 는 조작시 상류수심으로 4.4 m, h_d 는 조작시 하류수심으로 동일하며 a 는 수문의 개도로 3.13m로 할 시 로울러의 회전 마찰력은 개시할 시 P 가 76.3tf로 3.37tf의 마찰력을 나타낸다. 폐시의 조작시 전수압은 h_u 는 조작시 상류수심으로 0.9m, h_d 는 조작시 하류수심으로 0.8m, a 는 수문의 개도로 0.10m로 할 시 로울러의 회전 마찰력은 개시할 시 P 가 0tf로 0tf의 로울러의 회전 마찰력을 나타낸다.

수밀의 금속과 수밀 고무와의 마찰력은 F_3 으로 아래의 식(21)과 같이 나타낸다.

$$F_3 = \mu_3 \times (q + p_1 \times b) \times l \quad (21)$$

여기서 F_3 은 수밀부 금속과 수밀고무와의 마찰력이며 μ_3 은 금속과 고무와의 마찰계수로 0.7, q 는 수밀고무의 초기 압착력으로 0.05tf/m, p_1 은 수밀고무에 작용하는 평균수압으로 1.72tf/m², b 는 수밀고무의 유효 수압 폭으로 0.06m, $\sum l$ 은 수밀고무의 습동 총장($B+2H$)로 11.9m를 나타낸다. F_3 은 개시할 시 1.274tf/m², 폐시할 시 0.42tf/m²이다.

부력(F_4)로 물의 단위 체적중량(W)과 비체 부재가 배제하는 물의 체적(V)의 곱이다. 여기서 W 는 1tf/m³이며 V 는 $\frac{F_1}{\gamma} \times \frac{(h-a)}{H}$ 로 h 는 조작시 상류 수심, a 는 문비 개시 높이, γ 는 철재의 비중량, H 는 문비의 높이로 다음과 같이 계산할 시 1.59m³으로 부력은 1.59tf로 계산된다.

하단방류시의 상하향력(F_5)는 $k \times W \times h_d \times A$ 의 식으로 나타내며 k 는 과거의 실적으로 0.3, W 는 물의 단위체적 중량으로 1tf/m³이며, h_d 는 설계대상 수심으로 1.56m, A 는 상문 상류측의 저면판의 투영면적으로 3.24m²으로 개시 및 폐시할 시 하단방류시의 상하향력은 1.52tf로 나타낸다.

개폐하중(F)는 $F_1 + F_2 + F_3 - F_4 + F_5$ 로 나타낼 수 있으며 F_2 와 F_3 가 개시일 때의 값으로 위에 나타낸 F 값들의 합으로 36.39ton으로 고려 개폐기 선정은 50ton으로 선정하였으며, 폐시하중(F_D)는 $F_1 - F_2 - F_3 + F_4$ 로 나타내며 29.81ton으로 체질력 검토시 비체의 자중에 0.25를 곱하여 7.96ton으로 개폐하중이 약 4.5배 차이남을 확인하여 적절함을 확인하였다.

2-2-3. 펌프일체형수문시스템 배수펌프 설계 관련 자료조사 및 검토

일반적인 펌프구성으로 펌프의 흡입구는 유체를 회전하는 임펠러의 중심으로 유체를 흐르게 한 뒤 임펠러의 날개를 따라 임펠러 바깥, 원주방향으로 발산하게 한다. 이러한 펌프 구조는 펌프의 효율을 향상 뿐만 아니라, 청수를 이용하는 데 적합하다.

일반적으로 청수가 아닌 유체들, 예를 들자면 오, 폐수를 처리하는 펌프는 임펠러 구조가 오, 폐수에 있는 고형물이 펌프 내부에 흡입되어 펌프운전에 장애를 일으키는 경우가 없도록 설계 및 제작한다. 펌프가 정지하고 있더라도 시스템의 압력차이가 있다면, 유체는 임펠러의 개방구조로 인해 내부를 통과할 수 있다. 수력 기계 속에서 에너지 변환이 이루어지는 부분에서의 유동방향을 기준으로 분류하면 반경류형과 축류형, 사류형으로 분류한다.(Figs. 58~59 참조)

반경류형은 외향 반경류형(Radially Outward Flow)인 펌프와 송풍기와 내향 반경류형(Radially Inward Flow)인 프란시스 터빈으로 분류한다. 축류형은 축과 평행하게 흐르는 형식이며, 사류형은 반경류형과 축류형의 중간형식으로 흐르는 형식이다. 출구에서의 흐름형식으로 혼류형과 사류형으로 구분한다. 혼류형은 회전차 출구에서의 유동방향이 반경류 성분만을 갖는 형으로 프란시스형이라고도 한다.

사류형은 회전차 출구에서의 유동방향이 입구와 같이 반경류와 축류성분을 함께 갖는 형이다.

- 원심펌프 : 회전차가 밀폐된 케이싱 내에서 회전할 때 발생하는 원심력을 이용
- 사류펌프 : 회전차가 밀폐된 케이싱 내에서 회전할 때 발생하는 원심력 및 양력을 이용
- 축류 펌프 : 회전차가 밀폐된 케이싱 내에서 회전할 때 발생하는 양력을 이용하여 액체에 압력 및 속도 Energy를 주어 액체를 저압부에서 고압부로 이송하는 기계



Fig. 58 펌프 내부구조

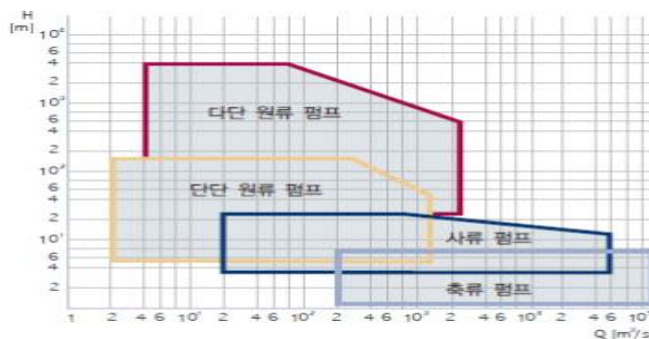


Fig. 59 원심펌프에 적용되는 유량과 양정

개발하고자하는 수중축류 펌프는 선풍기의 팬과 같은 형상의 회전차가 회전함으로써 발생하는 양력에 의해 유체에 압력, 속도에너지 공급, 속도에너지는 고정 안내깃에 의하여 압력 에너지로 변환된다. 용도로는 일반적으로 N_s (비속도)=1200~2200, 양정은 10m이하, 구경 \varnothing 300 이상 대용량에 쓰인다. 펌프 구조는 증기터빈 복수기 순환수펌프, 상하수도용, 농업용 양수 배수용 회전차, 축, 안내깃, 동체, 베어링으로 이루어져 있으며 회전차는 전면슈라우드 없고 깃수는 2~6매(단면 익형)이며 안내깃은 보스와 케이싱이 결합되어있으며 지지 깃수 3~8매로 설계된다. 케이싱의 종류로 입축형은 나팔관, 안내깃, 송출곡 등으로 되어있으며 횡축형은 나팔관 부분에 흡입곡 등이 구성된다.

축방향에 따라 입축형은 회전차 수중에 있어 시동 용이하며 흡입조건이 뛰어나므로 특성은 양호하다. 회전차 원주장 위치에서 압력차 없고 대구경에 적합, 설치, 진동기 배치에 이점 가진다. 횡축형은 분해, 수리 점점 용이하고 진동기가 표준형으로 충분하며 펌프실의 높이 낮아도 되고 축류 펌프의 특징은 아래와 같다.

- ① 대유량, 저양정에 적합하다.
- ② 비속도가 크며 저양정에 대해서도 고속운전 가능하여 원동기와 직결 가능하다.
- ③ 양정 변화에 대해 유량 변화가 적고 효율 저하도 적다.
- ④ 소형, 경량, 구조간단, 취급용이, 가격이 싸다.
- ⑤ 가동익으로 하면 양정에 관계없이 축동력을 일정하게 하여 넓은 유량에 걸쳐 높은 효율을 얻을 수 있다.
- ⑥ 체질점에서 양점 및 축동력이 급상하여 체질운전 불가능하다.

펌프의 캐비테이션(Cavitation)이란 펌프 내부에서 어떠한 원인에 의하여 액체 온도의 포화 증기압 이하로 압력 저하가 발생하면 기포가 발생하는데 이러한 현상을 캐비테이션이라 한다. 펌프의 경우 임펠러 입구 부분에서 유속이 증가하며 상대적으로 압력이 저하되면서 기포가 발생하는 경향이 크며, 발생된 기포는 고압부에 유입되어 급격히 붕괴되는 현상이 반복되며, 이 경우 펌프 성능 저하는 물론 기포붕괴에 따른 충격으로 소음, 진동을 유발시키고 임펠러 등에 손상을 입혀 양수 불능에 이르는데 펌프 흡입조건의 불량한데서 발생함으로 설계, 시공단계에서부터 각별한 주의가 필요하다.(Fig. 60 참조)

압력이 저하하면 100℃ 이하에서 끓다가 압력이 더욱 낮아지면 상온에서 끓는 현상이 발생한다. 즉, 그 온도에서의 포화증기압 이하가 되면 물 내부에서 증발하여 기포가 발생하는 현상으로 높은 산에서 물이 빨리 끓는 것과 같은 현상이다. 이러한 현상은 펌프에서는 해가 되지만, 해수를 담수화하는 증발법에서는 낮은 온도에서 해수를 끓게 할 수 있어 경제적으로 대용량 다단플래쉬법(MSF) 가능하게 하는 현상이기도 하다.



Fig. 60 캐비테이션에 의한 임펠러 파손

펌프의 캐비테이션은 흡입조건의 불량한 곳에서 발생함으로 설계, 시공단계에서부터 다음과 같은 각별한 주의가 필요하다.

- ① 펌프 설치위치를 될 수록 낮게 하여 흡입 양정을 작게한다.
- ② 유효흡입수두(NPSHav)를 필요흡입수두(NPSHre)보다 크게 한다.
- ③ 흡입관의 지름을 크게, 밸브, 이음류 등의 수를 최소화하여 손실수두를 줄인다.
- ④ 양흡입 펌프를 사용한다.
- ⑤ 캐비테이션 발생조건의 경우에는 임펠러의 재질을 점 침식에 강한 재질로 한다.
- ⑥ 스톱밸브를 지양하고 슬러시 밸브 등을 사용하여 손실을 줄인다.
- ⑦ 캐비테이션이 이미 발생하고 있는 펌프의 경우는 흡입 측에 소량의 공기를 넣음으로써 소음과 진동을 최소화 할 수 있다.

캐비테이션은 최대 허용 흡입 높이에 관속유동액체가 어느 부분의 압력이 포화되어 증기압의 이하로 인해 기포발생하며 유로 벽면의 고압부분에서 파괴된다. 캐비테이션의 영향으로는 진동 및 소음이 발생되며 침식 및 부식작용(기계적, 화학적 손상)이 일어난다. 축류 펌프의 손상은 주로 깃 후면, 안내깃 입구 이루어지며 캐비테이션 발생으로 인해 펌프 효율 저하되는 조건은 펌프와 흡수면의 수직거리(흡입높이)가 너무 길거나 과속운전으로 인하여 유량이 증가하며 유동액체의 어느 부분이 고온일 때이다. 이러한 캐비테이션의 방지책으로는 펌프 설치높이를 될 수 있는 대로 낮추거나 압축 펌프사용 등 회전과 수중에 잠기도록 하고 펌프의 회전수 낮추도록 한다. 또는 양흡입 펌프사용하거나 두 대 이상 펌프 사용하도록 하며 저항을 작게 하여 손실수두를 줄인다.(밸브 적게, 흡입관 구경 크게 등)

설계하고자 하는 수중축류 펌프란 물이 축 방향을 따라 흐르는 펌프로서, 송출유량이 많고 비속도가 크며 양정이 낮은 곳에 적용된다. 축류 펌프의 구조는 Fig. 61과 같이 용량이 같은 원심펌프와 비교할 때 용적이 절반으로 감소하며 상하수도 및 일반적인 양수와 배수 및 공업용수용과 증기터빈 배수의 순환수 펌프에서도 사용되고 있다. 회전수를 크게 할 수 있어 원동기와 직결 가능하며 송출유량에 비하여 크기가 작으므로 설치면적이 작다.

펌프의 날개는 고정식과 가동식으로 구분되며 양정의 변화에 따라 날개의 설치각을 바꿔 사용하고, 전반적으로 효율이 높은 편에 속하며 배출 밸브의 단힘 시동 또한 가능하다. 또 축류 펌프는 입축형과 횡축형으로 분류할 수도 있는데 입축형은 캐비테이션 발생이 거의 없고, 설치면적이 적으며 프레이밍의 조작성을 따로 하지 않아도 되는 이점이 있으므로 횡축형보다 많이 사용된다.

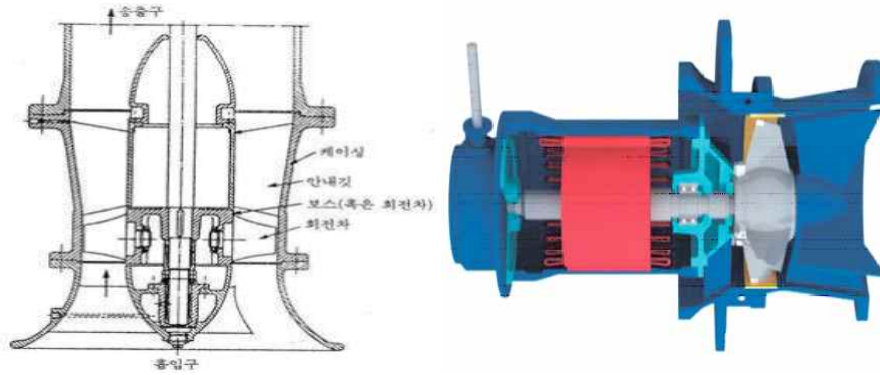


Fig. 61 축류 펌프의 구성

○ 펌프의 규격(Table 13 및 Fig. 62 참조)

본 과제 설계하고자하는 펌프의 규격은 아래와 같다.

- 토출구경 : 500mm
- 유량 : 33.0m³/min
- 양정 : 4m 극수 10pole
- 축동력 : 220kW
- 주파수 : 60Hz
- 효율 : 78% 이상의 수중축류 펌프

Table 13 설계하고자 하는 펌프규격

Head(H)	3.8
Flow Rate(Q)	33.0
Power(kW)	45
Diameter(D)	500
Rotational Speed(n)	691rpm

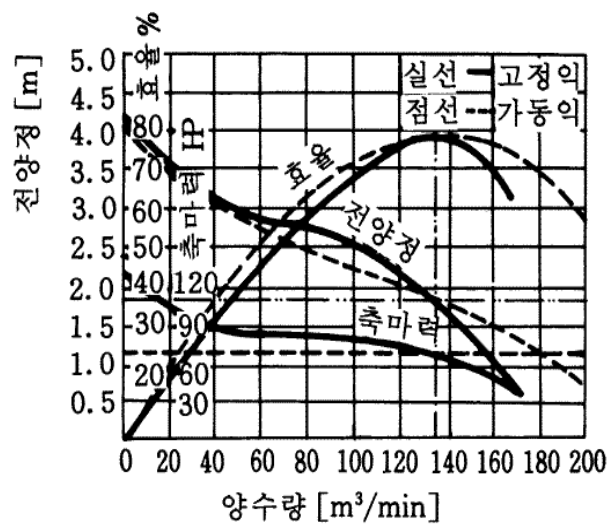


Fig. 62 축류형 유체기계의 토출량과 전양정 관계

$$\frac{N}{H^{3/4}} = \frac{Q}{H} \quad (22)$$

N_s 는 비속도이고 n 은 회전속도(rpm), Q 는 토출량(m^3/min), H 는 전양정(m)이다.

설계하고자 하는 펌프의 규격 값을 이용하여 계산한 결과 N_s 는 2,059로 축류 펌프의 일반적인 N_s 는 1200~1800임으로 보다 크고 비속도가 클수록 펌프는 고속회전 및 소형의 펌프로 주로 이용한다. 계산된 비속도가 제시된 축류 펌프 비속도 범주보다 크므로 비속도가 큰 만큼 양정이 커야하며 익의 배치에 변화를 주었다. 즉, N_s 에 따라 유량을 크게 선정하고 양정계수를 변경해야한다. 축류 펌프는 유량이 적은 범위에서 축동력이 최고 효율점의 경우보다 큼으로 적은 유량이 적용될 때는 그 점의 축동력을 고려하여 원동기 용량을 아래와 같은 식 (23)으로 결정한다.

$$\frac{0.163 \times \gamma \times Q \times H}{\eta} \times 100 \quad (23)$$

L 은 펌프축동력(kW) (192.7kW), γ 는 액체의 비중량(kg/l), Q 은 토출량(m^3/min), H 는 전양정(m), η 은 펌프 효율(%)이다. 원심펌프에서는 토출량(m^3/min)에 의하여 구경이 정하여지나, 축류 펌프에서는 임펠러의 외경을 펌프 구경과 동일하게 한다.

아래의 표와 같이 구경에 맞추어 펌프규격을 정한다. 따라서, 계산에 의한 임펠러 외경과 펌프 구경과의 수치를 조정해야하지만 설계하고자 하는 입축형 축류 펌프의 경우는 적용하지 않는다. 따라서 수중축류 펌프의 경우는 모터의 사이즈를 고려하여 케이싱 사이즈를 결정하여야 한다.(Table 14 참조)

Table 14 토출관 구경에 따른 펌프규격 수치

토출관 구경	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1350
토출량	7~15	14~ 22	20~ 35	25~ 50	38~ 70	54~ 90	70~ 115	90~ 150	117~ 200	160~ 255
효율	65~ 73	70~ 75	72~ 77	73~ 78	74~ 80	75~ 80	76~ 81	77~ 81	78~ 82	78~ 82

펌프에서 에너지를 발생시키는 부분은 임펠러이며 이에 대한 수중축류 펌프용으로 사용되는 Fig. 63과 같이 익형은 NACA계열을 사용하였다.



Fig. 63 축류형 유체기계에 사용되는 익형

NACA 익형 호칭은 다음과 같이 정의한다. 먼저 첫 번째 숫자, 휨(c)와 익현길이(l)의 백분율을 $c \times 100$ 으로 나타내며 두번째 숫자는 익의 전단에서 휨까지의 거리 x와 익현길이 l의 십분율을 $\frac{x}{l} \times 10$ 이고 세번째와 네번째 숫자는 익의 두께 δ 와 익현길이 l의 비의 백분율을 $\frac{\delta}{l} \times 100$ 로 계산한다. 이들 식들은 해당되는 그룹의 익형에 주어진 종좌표에 임의의 수를 곱함으로써 두껍게 하거나 얇게 나타낼 수 있고 수중축류 펌프의 설계에서는 식 (24)과 같은 NACA익형을 선택하여 임펠러를 설계하고자 하였다.

$$\zeta = 1.08^d 0.106\delta^0 \quad (24)$$

임펠러 외경(Da)을 나타낼 시 효율은 수력효율(η_h), 체적효율(η_v) 및 기계효율(η_m)의 관한 식(25)을 사용한다.

$$\eta_p = \eta_h \eta_v \eta_m \quad (25)$$

양정계수(ψ)에 의한 방법으로 N_s 로 부표에서 양정계수(ψ)를 구한다.

$$\psi = H \frac{u_2^2}{g} = \frac{gH}{u_2^2} \quad (26)$$

$$u_2 = \frac{gH}{\psi} \quad (27)$$

$$D_a = \frac{60}{\pi N} u_2 = \frac{60}{\pi N} \sqrt{\frac{gH}{\psi}} \quad (28)$$

입구속도계수(K_{m1})에 의한 방법으로는 축류속도는 $C_{m0} = K_{m1} \sqrt{2gH}$ 로 나타내어 $C_{m1} = C_{m2}$, $K_{m1} : K_{m2}$ 로 정의하며 K_{m1} 은 Stepanoff의 선도에서 참고하였다. 임펠러 외경은 식 (26)과 같이 나타낸다. 회전차 내경 D1은 속도비 NS와 허브비 D1/D2의 관계를 이용하여 식 (30)을 구한다.

$$D_a' = \sqrt{A_{m0} / \frac{\pi}{4} (1 - m^2)} \quad D_a \quad (29)$$

$$\text{회전차 내경 : } D_2 = \frac{60 K_u \sqrt{2gH}}{\pi N}, u = \frac{\pi D N}{60} = K_u \sqrt{2gH} \quad (30)$$

펌프의 성능에 영향을 주는 가장 중요한 경험치는 허브비(Hub Ratio)이다. 이러한 허브비 선정에 대한 유체기계는 N_s 가 커지면서 허브비가 작게 되는 경향을 보이게 된다. Stepanoff의 이론에서 Fig. 64와 같이 일반적으로 N_s 가 큰 축류 펌프는 대유량과 저양정의 성능결과를 도출할 수 있도록 유동에 의하여 좀 더 큰 자유면적과 평균 유선에 대하여 적은 직경을 갖는 형태로 적은 허브비를 선택하여야한다.

일반적으로 보스비는 N_s 가 커지면 유량을 많이 보내기 위하여 동일한 조건에서 보스비를 적게 하여야 한다. 날개가 보스에 붙을 때 취부지역에서 보스의 강도에 문제가 관련된 문제가 야기될 수 있고, 임펠러 외경에 영향을 줄 수가 있다. 또 Boss비를 과도하게 크게 설계할 시 원심력을 상승시키는 날개의 역할이 적어지므로 효율이 감소하게 될 것이며 강도상에는 별 문제는 없지만 제작상의 비용 상승의 효과도 있어 비효율적이다. 식 (31)은 보스비에 대한 관련 이론을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{Boss 경} &: \quad m D_a' \quad D_1 \\ D_1 &= m \times D_a \\ &= D_1 / D_a \end{aligned} \quad (31)$$

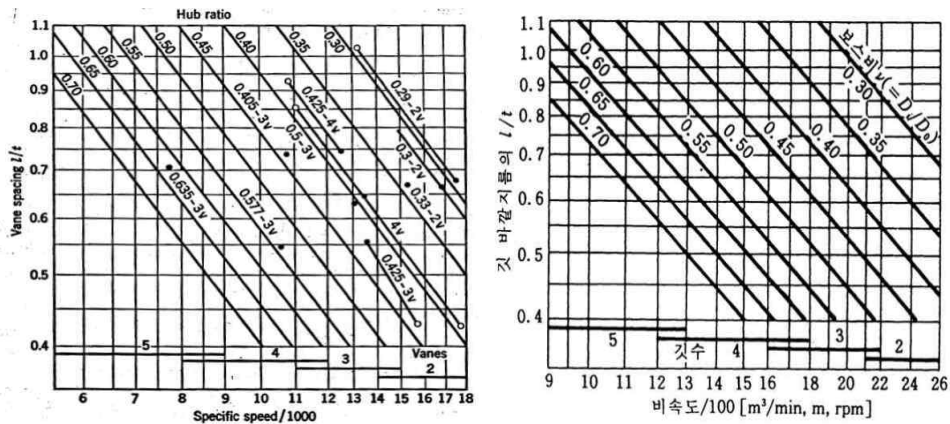


Fig. 64 허브비와 현절비에 대한 축류 펌프의 설계자료

2-3. 전체 시스템 Layout 작성 및 상세 설계

2-3-1. 펌프일체형수문 상세 설계

펌프일체형수문의 수중펌프는 Fig. 65와 같이 샤프트, 모터, 안내케이싱, 흡입케이싱, 임펠러 등을 포함하여 이루어져 있으며, 본체는 샤프트와 회전시키는 모터 등을 내장하며 본체 내부에 고정되어 결합되는 스테이터와 모터는 스테이터 내측에 배치되어 회전하고 샤프트는 본체의 하부로 관통하여 케이싱에 구비되는 흡입 및 토출 케이싱과 결합되어 이들을 회전시키는 역할을 수행함. 샤프트를 회전 가능하게 지탱하는 베어링이 구비되어 있으며 케이싱은 각각의 볼트를 통해 본체에 탈부착이 가능하며 결합되는 구조로 설계한다. 케이싱은 본체에 탈착 가능하게 결합됨으로써 케이싱과 그 내부에 배치되는 임펠러 등의 유지보수와 교체 작업이 편리하고 효율적이다.

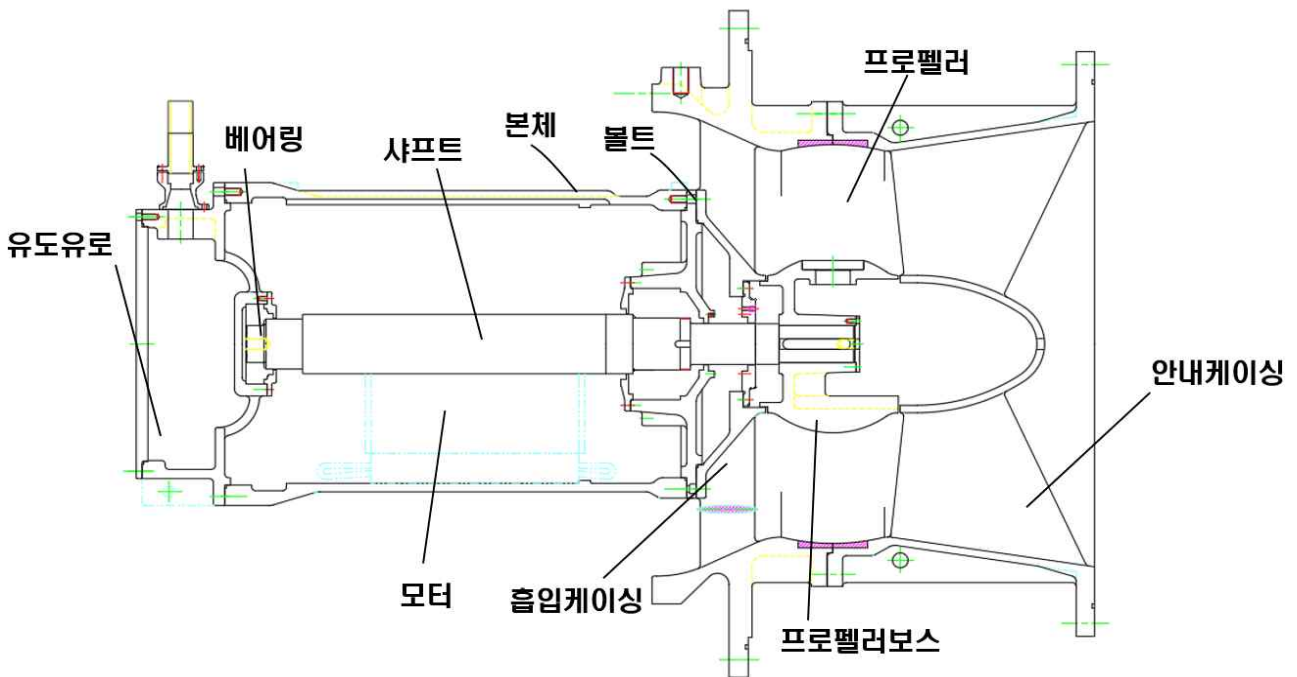


Fig. 65 펌프일체형수문시스템의 펌프 Layout

케이싱에 유체가 유입되는 유입수가 형성되며 유입된 유체가 배출되는 출입수로 형성되어 있으며 출수구와 연결되고 유입구와 챔버의 입구는 유도유로에 연결되도록 설계를 완료함.

안내케이싱과 흡입케이싱은 샤프트에 결합되어 회전하고 각각 케이싱의 내부에서 유입구 내에 배치되도록 설계를 수행하였으며, 안내케이싱은 유입구를 통해 케이싱 외부의 유체를 흡입하여 유도유로로 배출시키는 역할을 수행하도록 설계하였다. 또한 프로펠러는 유도유로의 유체를 내부로 흡입하여 출수구를 통해 배출시키도록 하고, 배출되는 유체는 출수구에 연결되어 있는 양정파이프로 출수되어 유체를 흡입 및 배출시킴으로써 유체의 흡수력을 증대시켜 고양정이 가능하도록 한다.

샤프트의 강도계산은 아래의 표에 나타난 모터 사양에 따라 임펠러부 축의 최소직경을 산출하였으며 재료의 탄성한도 및 하중조건에 따라 안전율을 고려한 축의 직경을 선정하고자 한다.(Table 15 참조)

Table 15 펌프 구동모터 사양

모델명	출력	회전수	재질	전단강도
HPG-500-45-10T-380	150.0kW	691rpm	구동 축계 STS410	41.3kg/mm ²

임펠러 축의 최소 직경 계산은 아래 식 (32)을 통해 산출하고자 하였으며, D_I 는 축의 최소 직경, S 는 안전율, W 는 모터 출력, N 은 모터의 회전수, τ 는 축의 전단강도를 의미한다.

$$D_I = \frac{5.1 \times 974000 \times kW \times S}{N \times \tau} = 47.9mm \quad (32)$$

기술개발 제품의 안전율은 아래 식 (33)을 통해 산출하였으며, a 는 인장강도/탄성한도인 2를 입력하고 b 는 재료계수 연강의 1.5, c 는 작용응력계수로 반복하중 1.5, d 는 충격계수로 강충격으로 판단하여 3으로 입력하여 S 는 14로 산출된다.

$$S = a \times b \times c \times d \quad (33)$$

모터부 축의 최소 직경 계산도 위에서 기술한 식 (32)을 동일하게 적용하여 식 (34)과 같이 산출하였으며, D_M 은 모터부 축의 최소 직경을 나타내고 이를 제외한 나머지 인자들은 동일하게 적용함. 모터부에 적용된 안전율 S 는 축의 무게, 전기적 진동 등을 고려하여 수치인 44를 적용한다.

$$D_M = \sqrt[3]{\frac{5.1 \times 974000 \times kW \times S}{N \times \tau}} = 70.1mm \quad (34)$$

임펠러 축은 상기와 같이 산출방식을 통해 최소 직경이 47.9mm로 산출되나 본 기술개발은 약간의 여유와 임펠러의 결합을 고려하여 60mm로 선정함으로써 축의 강도상에는 이상이 없음을 확인하고, 또한 모터 축도 계산방식에 의해 산출된 76.84mm로 최소 직경이 계산되지만, 고양정과 펌프 막힘 등을 반영하여 설계된 부품과의 결합을 고려하여 290mm로 선정하므로 축의 강도상에 문제가 발생되지 않도록 한다.

수중펌프의 구동 축계 재질은 수중펌프로 사용므로 일반 탄소강 대비 내식성이 뛰어난 재질로 선정하였으며, 구동모터와 직접 연결되는 상황을 고려하여 높은 토크 대응이 가능한 STS 410 재질로 선정한다.(Table 16 참조)

Table 16 구동 축계 물리적 성질

재질	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	연신율(%)	경도(HV)
STS 410	205	440	20	210

위와 같은 기술개발 내용과 해결방법을 기반으로 수중펌프를 구성하는 주요 부품을 설계하고자 아래의 표에 주요 부품 리스트를 나타낸다.(Table 17 참조)

Table 17 구동 축계 물리적 성질

부품명	규격	재질	수량
GATE LEAF	-	SS400	1
MAIN ROLLER	-	STS304	2
SIDE ROLLER	-	STS304	2
SEAL RUBBER	-	NEOPRENE	1
PUMP	-	GC200	2
FLAP VALVE	-	SS400	2
PUMP MOUNTING PLATE	-	SS400	1
SIDE BRACKET	-	SS400	2
MAIN ROLLER	-	SS400	2
SIDE ROLLER	-	SS400	2
SKIN PLATE	5400x3250x12T	SS400	1
UPPER BEAM	1410x150x12/12T	SS400	1
SIDE BEAM	270x120x18/18T	SS400	2
HORIZONTAL BEAM	1100x150x12/12T	SS400	1
HORIZONTAL BEAM	1076x556x12T	SS400	4
HORIZONTAL BEAM	931x150x12T	SS400	1
BOTTOM BEAM	1100x150x12/12T	SS400	1
VERTICAL CENTER BEAM	1400x150x12/12T	SS400	3
VERTICAL SIDE BEAM	1400x150x12/12T	SS400	2
RUBBER SUPPORT BAR	22x22x5050L	SS400	1
FLAP BRAME PLATE	1575x34T	SS400	1
UPPER HINGE	82x77x19T	SS400	8
CONNECTION BAR-1	463x78x19T	SS400	2
CONNECTION BAR-2	414x78x19T	SS400	2
HINGE SHAFT(상)	70x1297L	SM45C	1
HINGE SHAFT(하)	70x1691L	SM45C	1
FLAP PLATE	1436x716x19T	SS400	2

WASHER	70x41x6T	ST304	8
SHAFT COVER	70x6T	ST304	4
SHAFT	30x66L	ST304	4
MAIN ROLLER	340x90B	ST304	2
ROLLER SHAFT	130x704L	ST304	4
ROLLER BOSS(OUT)	200x200x20T	SS400	2
ROLLER BOSS(IN)	190x190x20T	SS400	2
KEY PLATE	190x70x12T	STS304	4
앤드 와셔	-	STS304	1
베어링커버	-	GC200	1
브라켓트	-	GC200	1
펌프 축	-	STS410	1
프레임	-	GC200	1
헤드커버	-	GC200	1
스터핑박스	-	GC200	1
프로펠러 보스	-	GC200	1
씰 커버	-	GC250	1
토출 케이싱	-	SSC13	1
베어링 하우징	-	GC200	1
흡입 케이싱	-	SSC13	1
프로펠러	-	GC200	4

2-3-2. 펌프일체형수문 상세 설계

본 과제에서는 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발” 제작을 위하여 앞서 연구한 최적화된 해석 데이터를 활용하여 Auto-CAD S/W를 이용한 2차원 상세 설계를 수행하였다. 1차년도에 펌프일체형수문의 제작에 필요한 주요 기구부의 상세설계를 완료하였으며, 펌프일체형수문의 주요부품을 제작하였다.

제작을 위하여 문비 및 플랩밸브로 분류하여 설계하였다. 펌프일체형 수문 시스템의 주요 기구부는 문비, 플랩밸브, Main Roller, Side Roller, Spindle Bracket으로 구성하였다. 펌프일체형수문 시스템은 다음과 같이 구성하였으며, Figs. 66~76은 주요 펌프일체형수문 시스템의 전체 Layout 및 부품리스트를 나타낸다.

- 문비(Gate Leaf) : 수로에 설치되어서 수로를 개방하여 내수를 외수측으로 자연유하시키고 폐쇄하여 외수의 역류를 차단하는 수문
- 플랩밸브(Flap Valve) : 펌프일체형수문 시스템의 Pump에 부착되어 있어 샤프트와 힌지로 고정되어 있는 연결되어 있는 Bar를 통해 자동으로 물을 흘러내는 기구부
- Main Roller, Side Roller, Spindle Bracket : 문비에 부착되어 권양기로 구동하여 수위에 따라 자동으로 물의 수위를 조절하는 기구부
- 통합 프로그램 제어부 : 호우 등 수위급상승시 펌프수문을 사전대응운전이 가능하게 하고, 헨팅과 캐비테이션으로 인한 불안정 운전과 고장을 방지하며, 최고수위에 도달하는 호우 시에도 구동을 구현할 수 있는 통합 제어장치

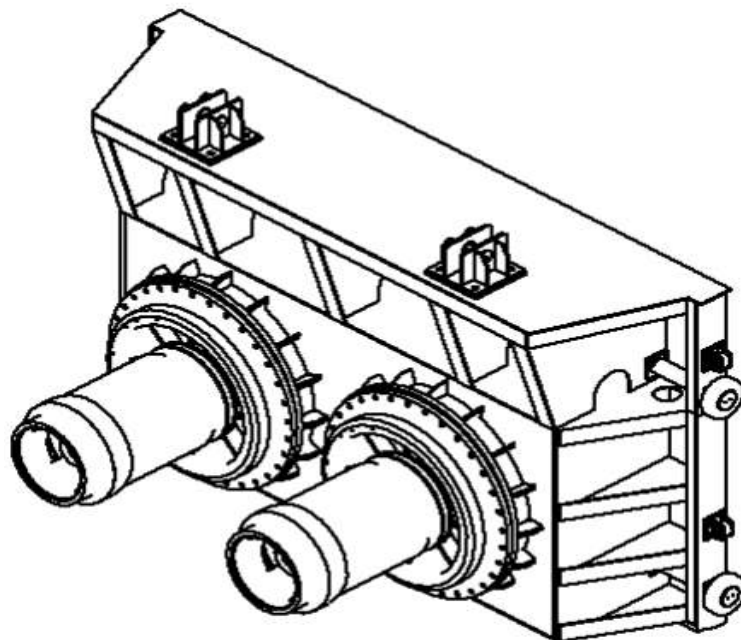


Fig. 66 펌프일체형수문시스템의 Layout

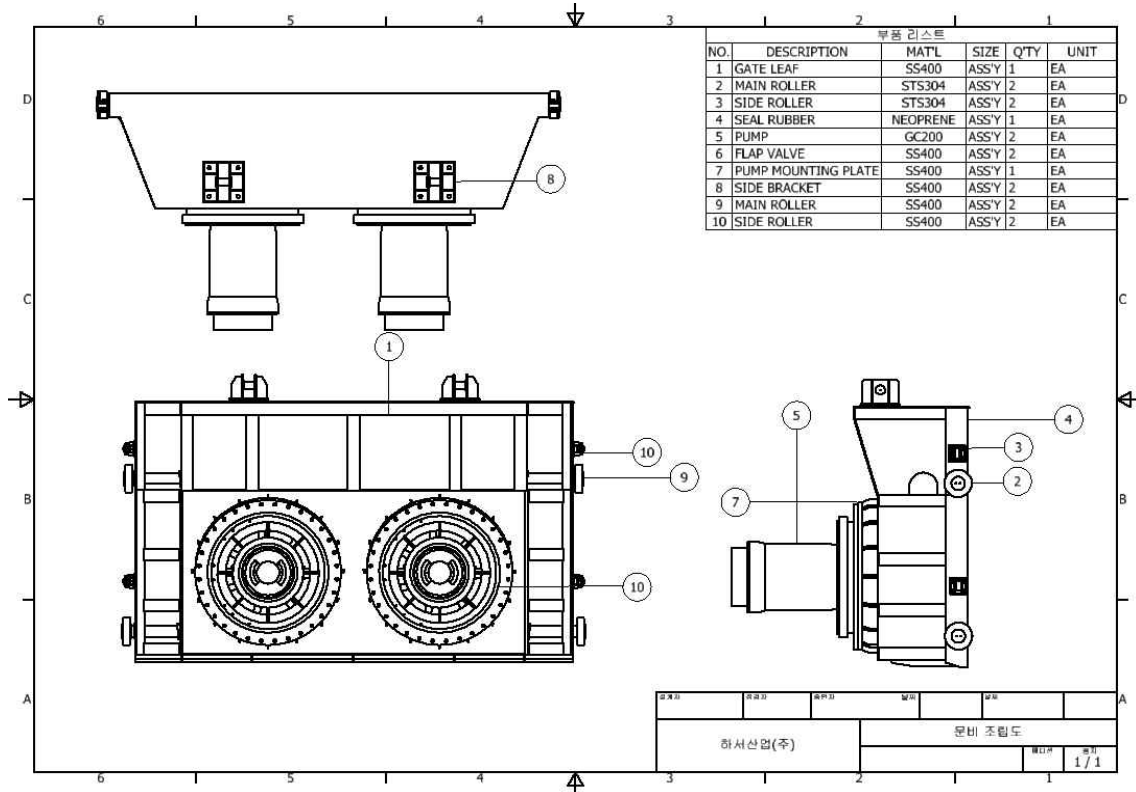


Fig. 67 문비 조립도

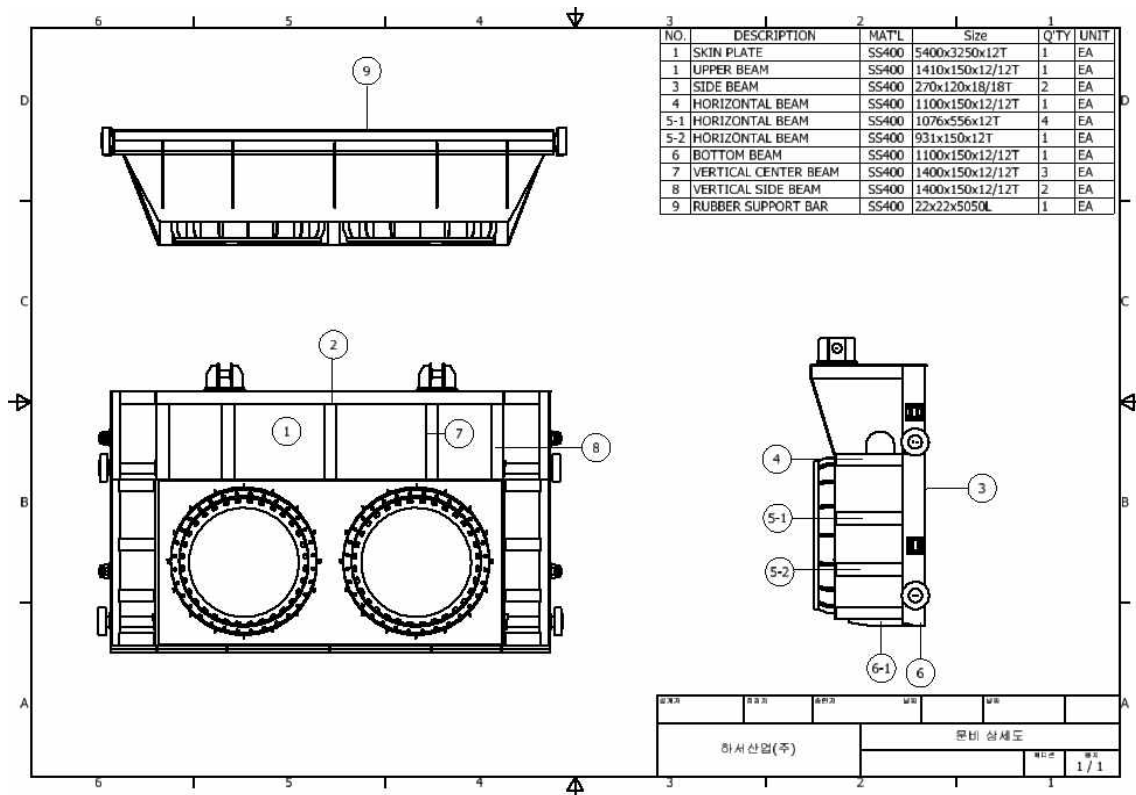


Fig. 68 문비 상세도

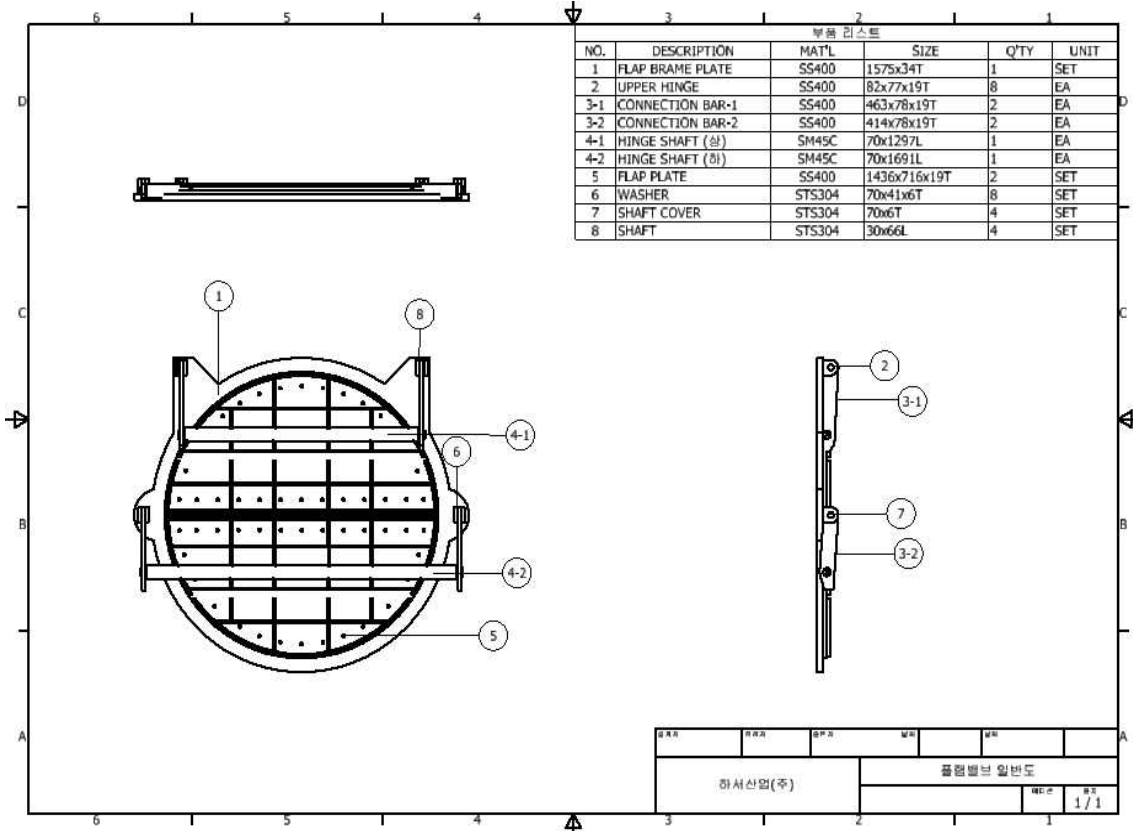


Fig. 69 플랩밸브 일반도

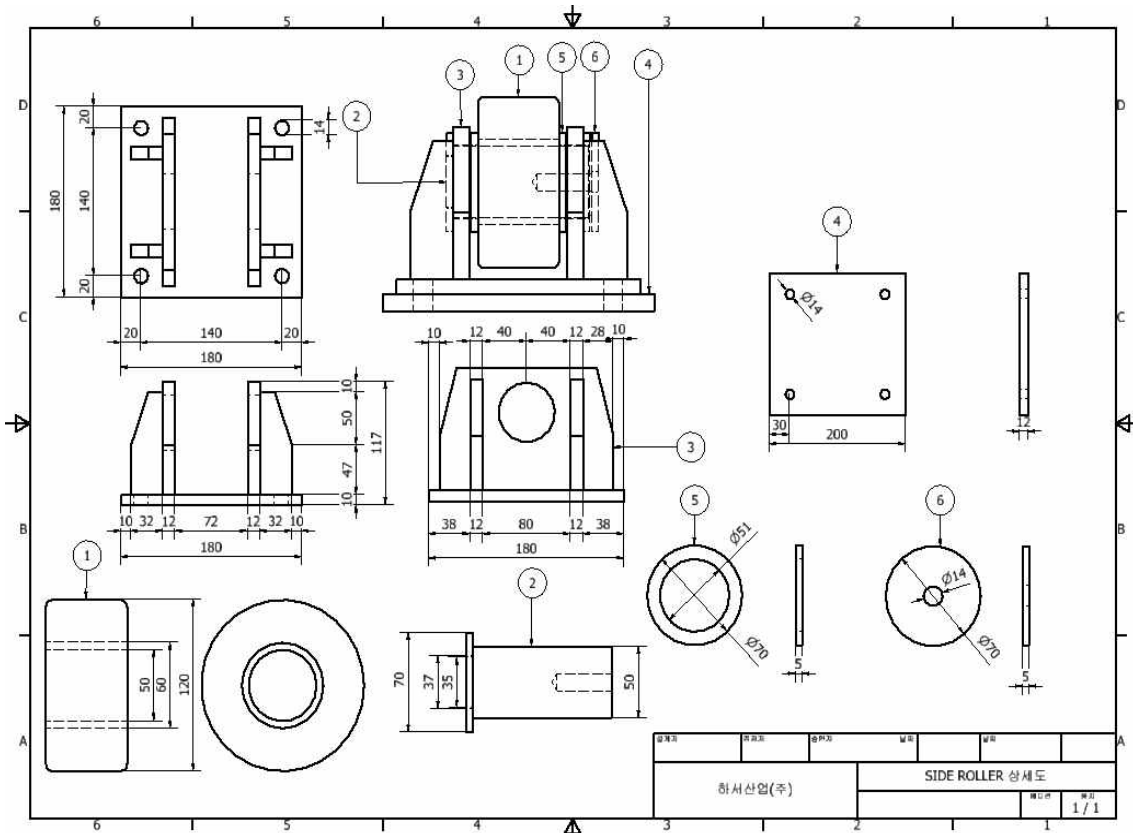


Fig. 70 Side Roller

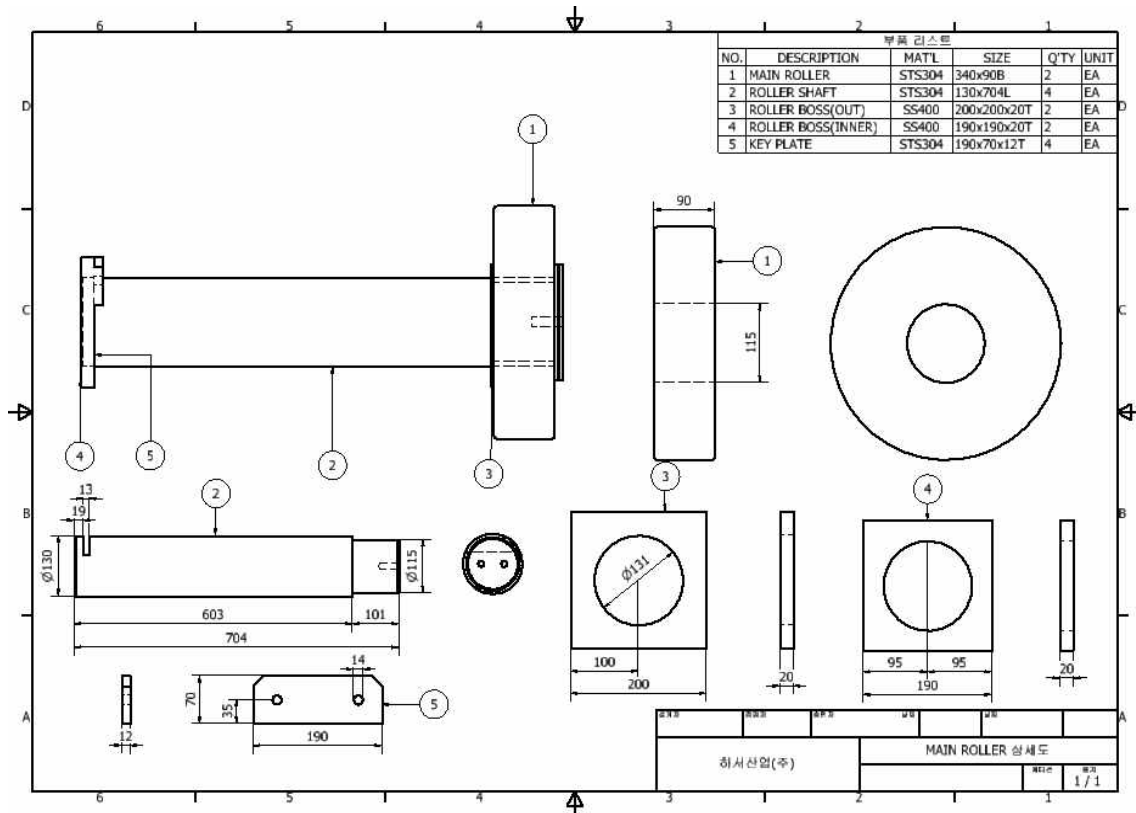


Fig. 71 Main Roller

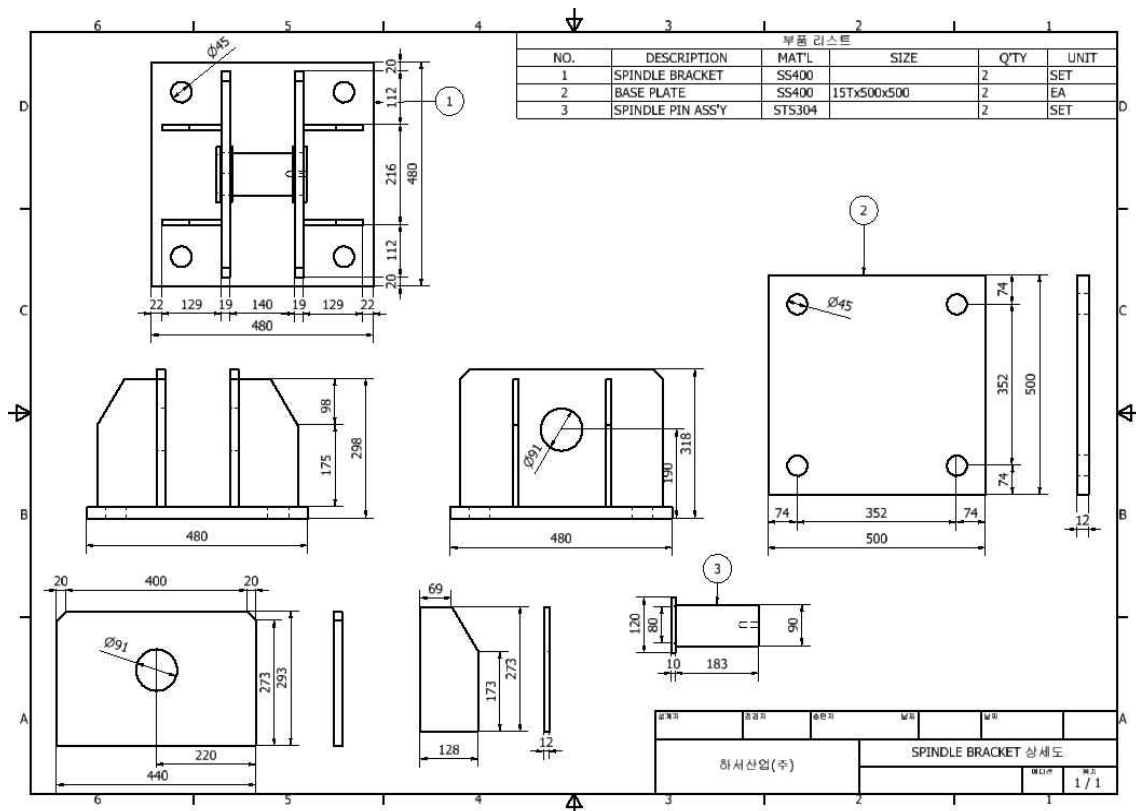
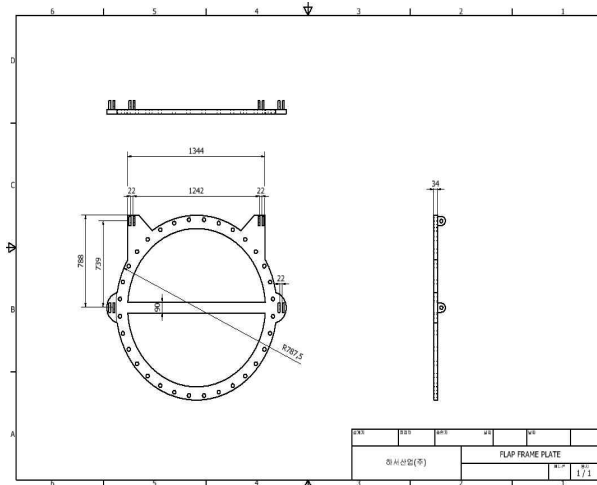
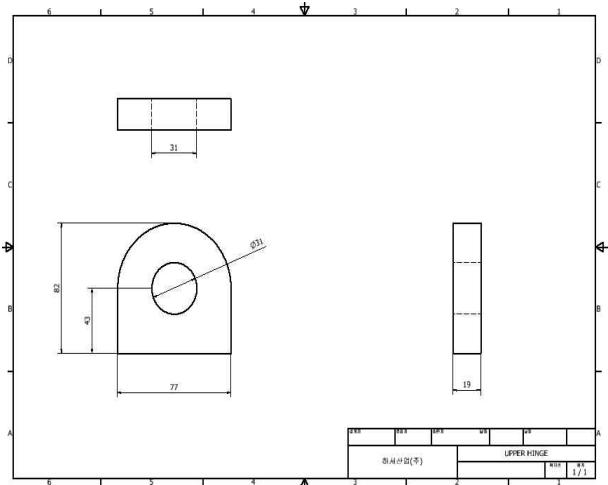


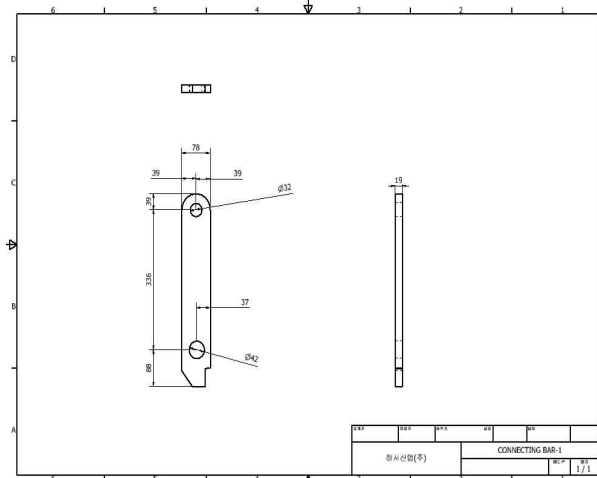
Fig. 72 Spindle Bracket



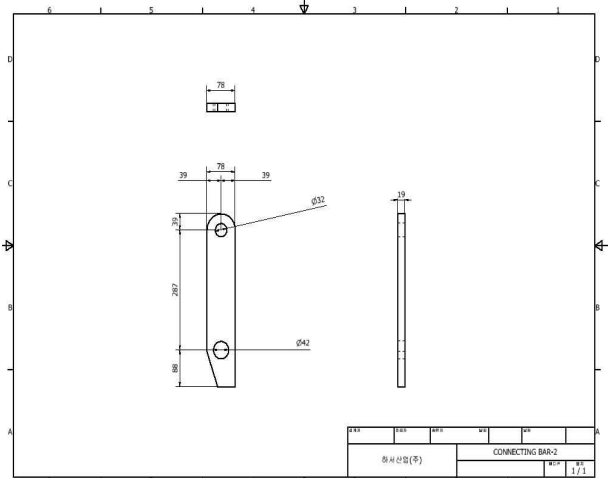
(a) Flap Frame Plate



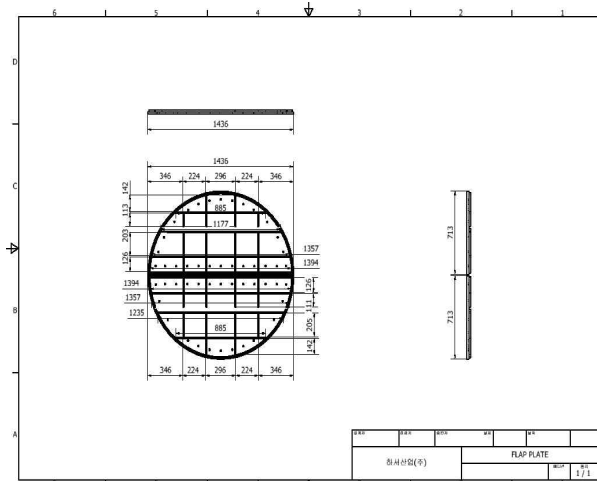
(b) Upper Hinge



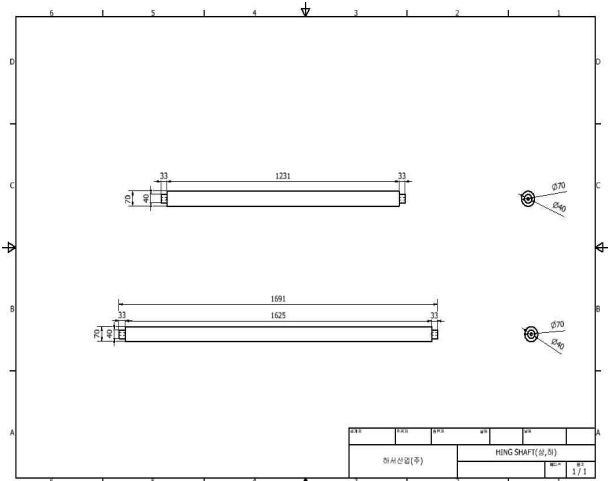
(c) Connecting Bar-1



(d) Connecting Bar-2

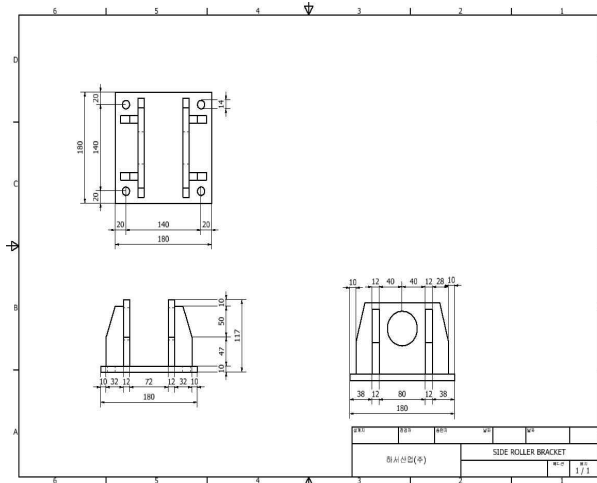


(e) Flap Plate

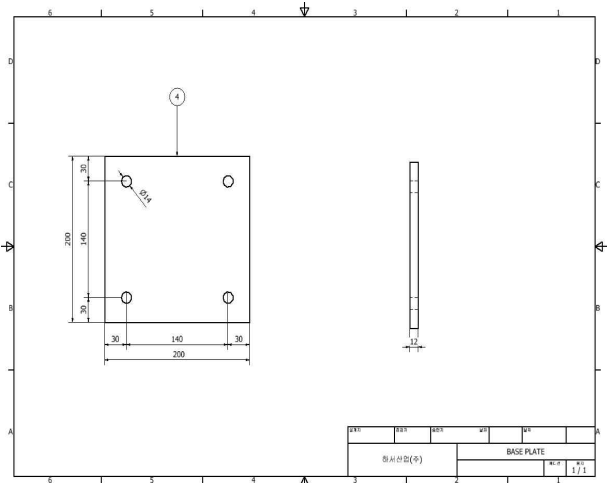


(f) Hinge Shaft(상, 하)

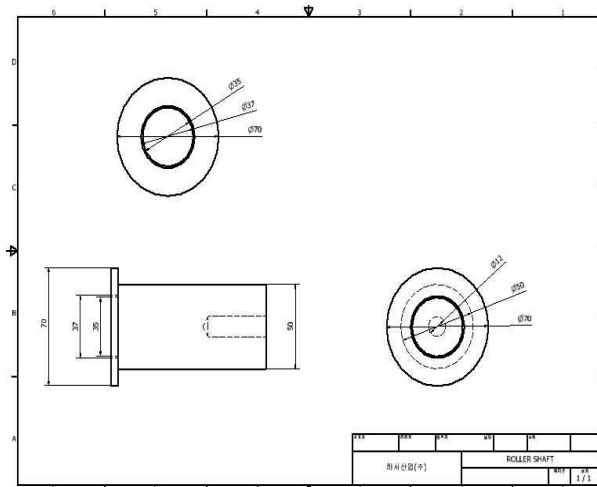
Fig. 73 펌프일체형수문의 플랩밸브 구성품 설계도



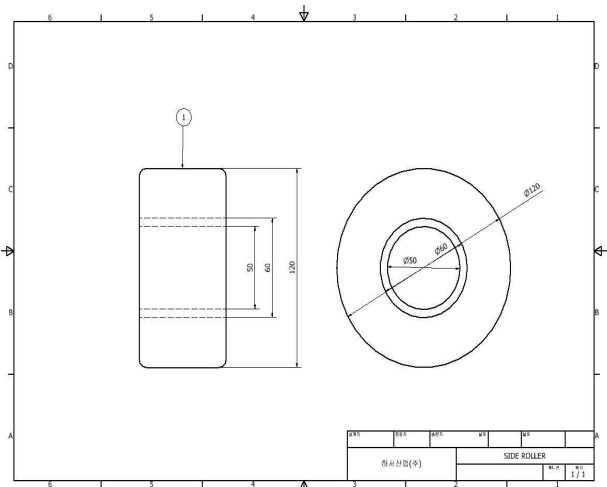
(a) Side Roller Bracket



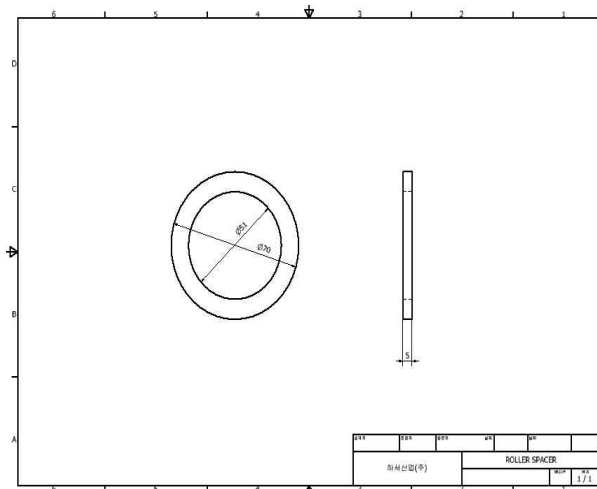
(b) Base Plate



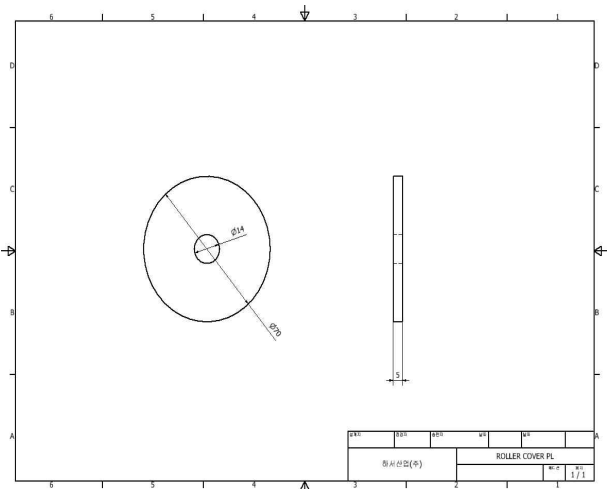
(c) Roller Shaft



(d) Side Roller

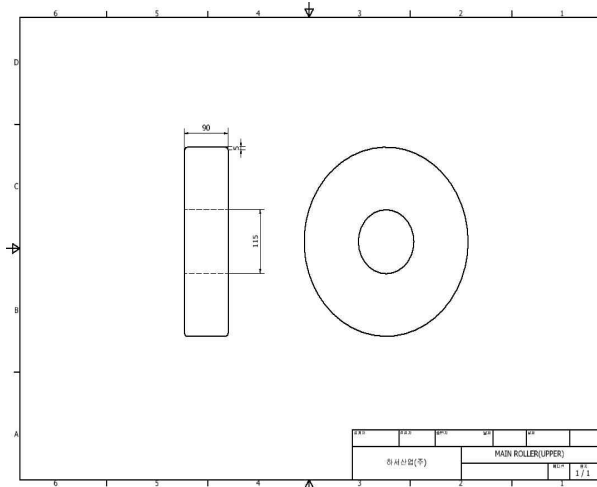


(e) Side Roller Spacer

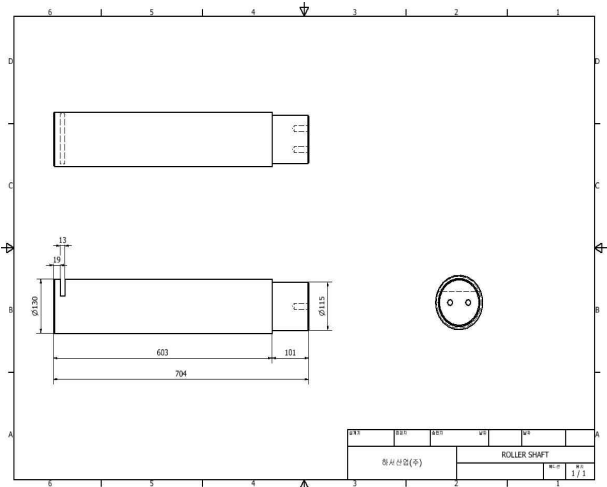


(f) Roller Cover PL

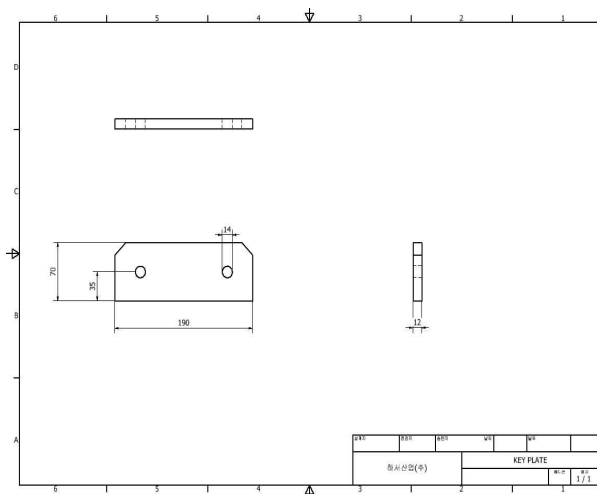
Fig. 74 펌프일체형수문의 Side Roller 구성품 설계도



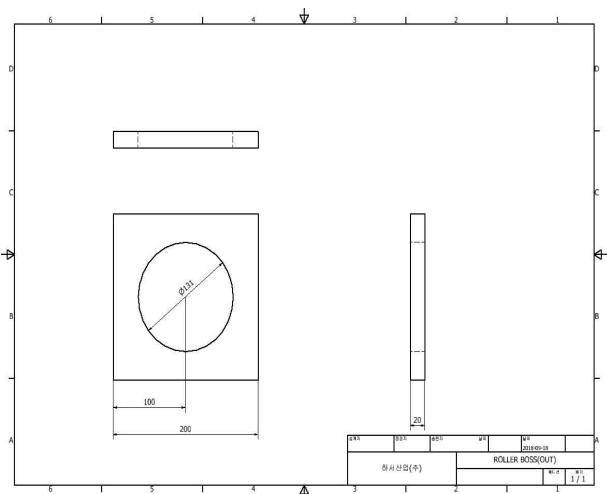
(a) Main Roller(Upper)



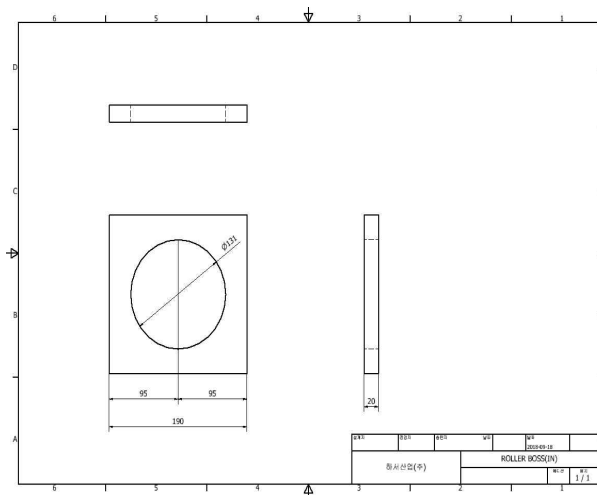
(b) Roller Shaft



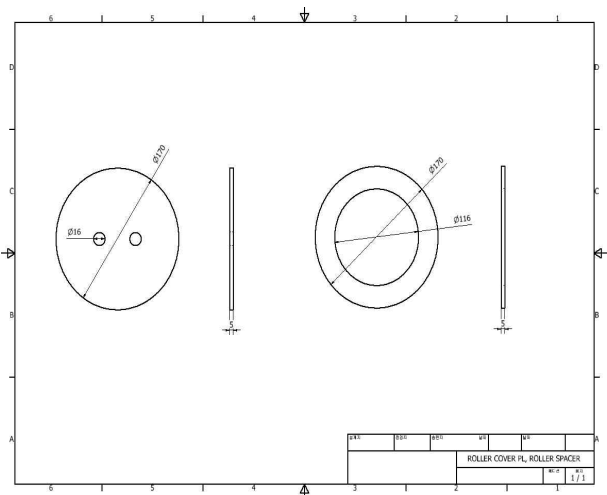
(c) Key Plate



(d) Roller Boss(Out)

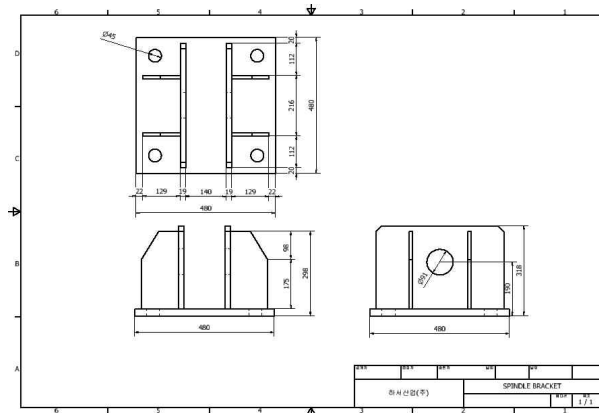


(e) Roller Boss(In)

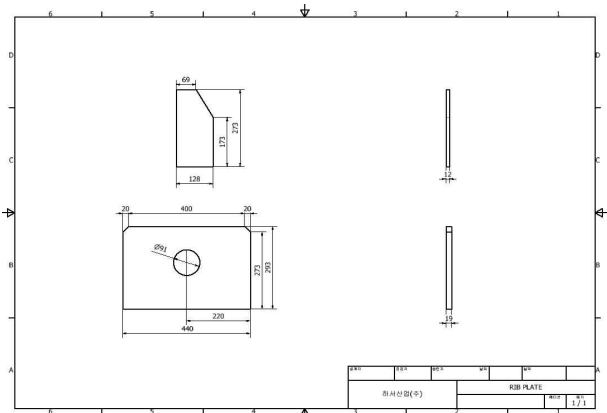


(f) Main Roller Cover PL, Roller Spacer

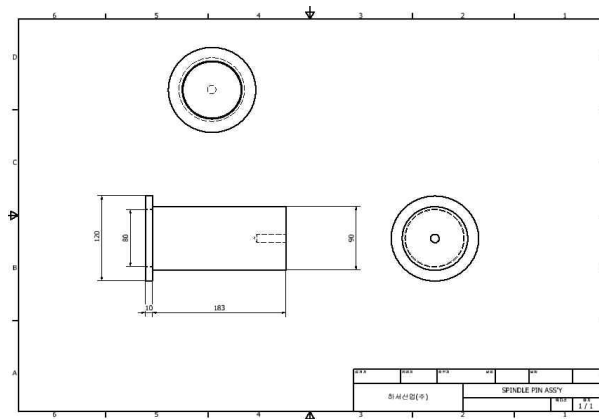
Fig. 75 펌프일체형수문의 Main Roller 구성품 설계도



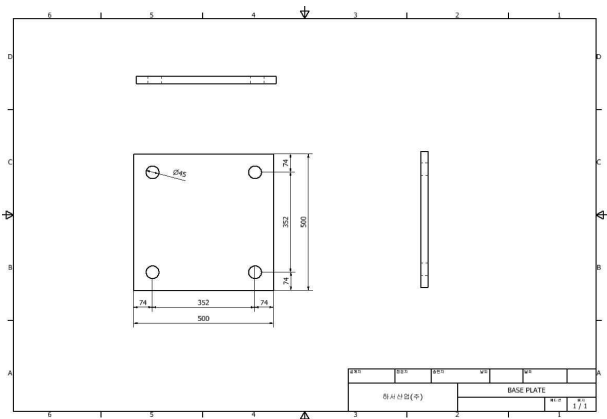
(a) Spindle Bracket



(b) Rib Plate



(c) Spindle Pin ASS'Y



(d) Base Plate

Fig. 76 펌프일체형수문의 Spindle Bracket 구성품 설계도

2-3-3. 2차년도 상세 설계

2차년도에는 펌프일체형수문의 제작에 필요한 주요 수문부의 상세설계를 완료하였으며, 펌프일체형수문의 주요부품을 제작하였다. 펌프일체형수문 시스템은 다음과 같이 구성하였으며, Figs. 77~82은 주요 펌프일체형수문 시스템의 전체 Layout 및 부품리스트를 나타낸다.

- 펌프(Pump) : 펌프수문에 일체로 결합되어서 내수를 외수측으로 강제 배수시키는 임펠러의 회전으로 물의 내·외 수위를 조절하여 홍수 범람의 피해를 줄이며 펌프일체형수문 시스템의 물을 이송시키는 기구부

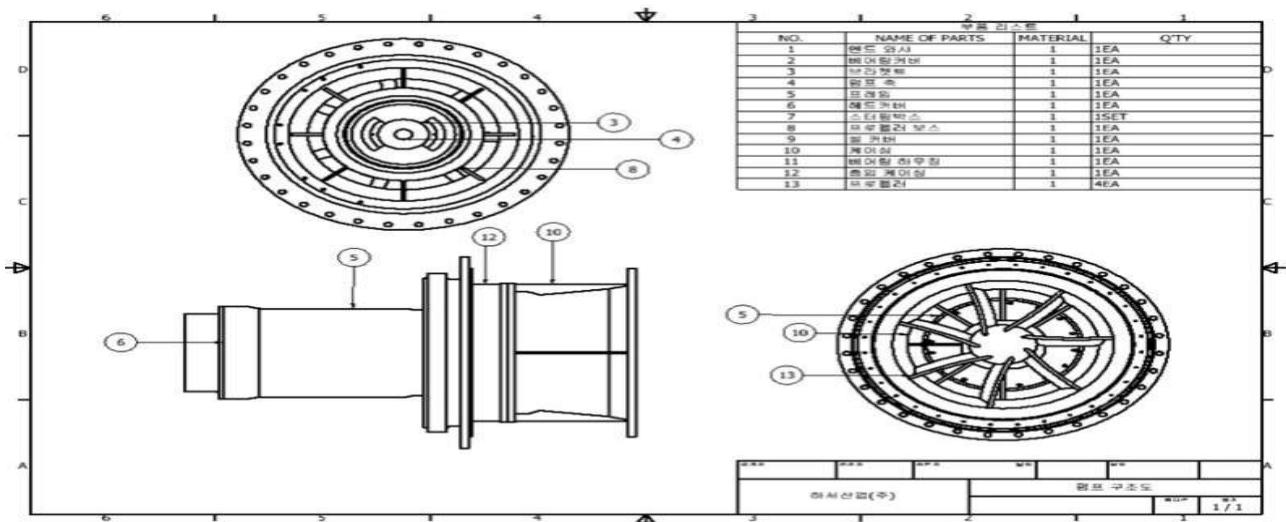


Fig. 77 펌프일체형수문시스템의 펌프 구조도

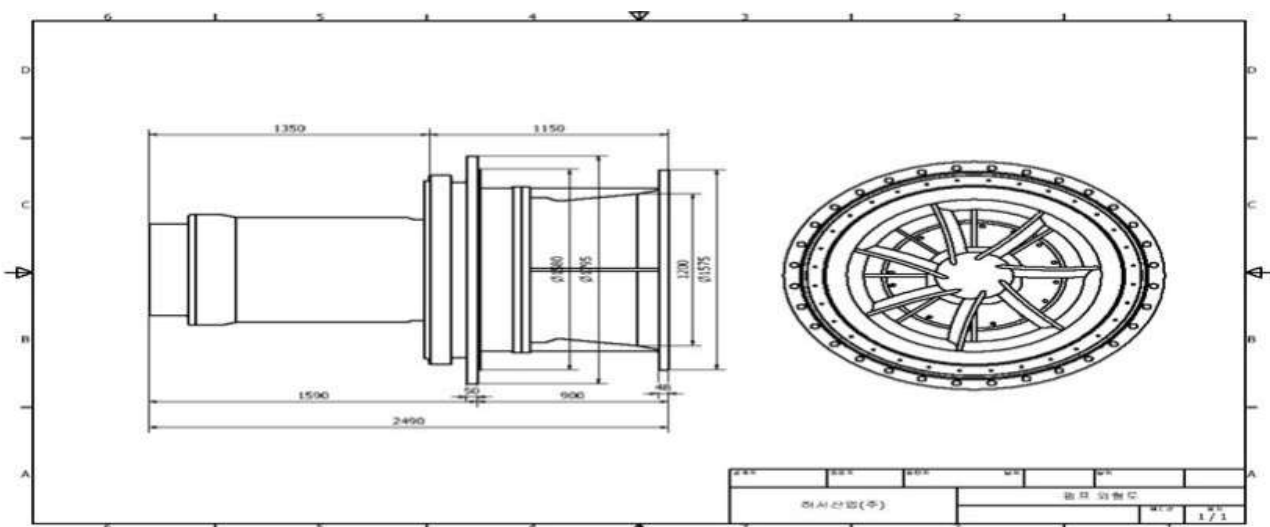
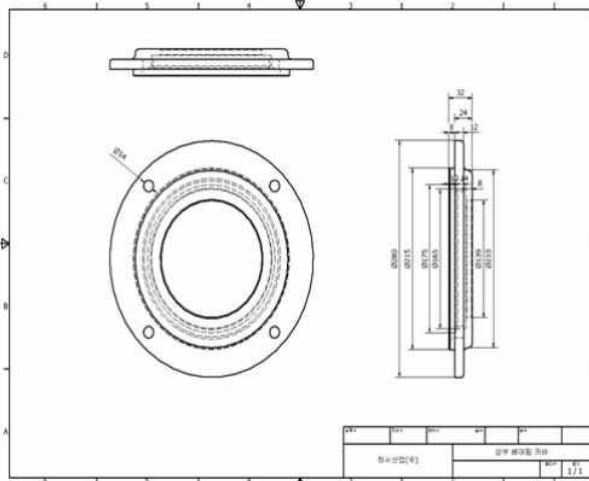
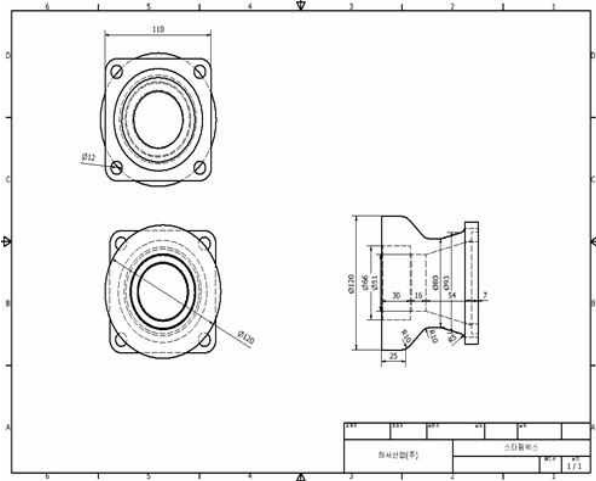


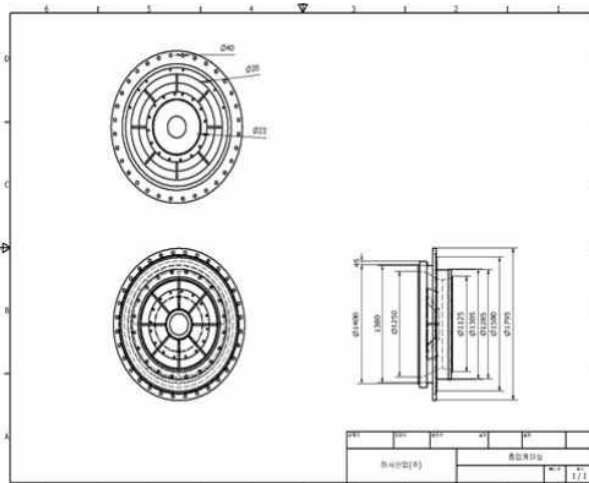
Fig. 78 펌프 외형도



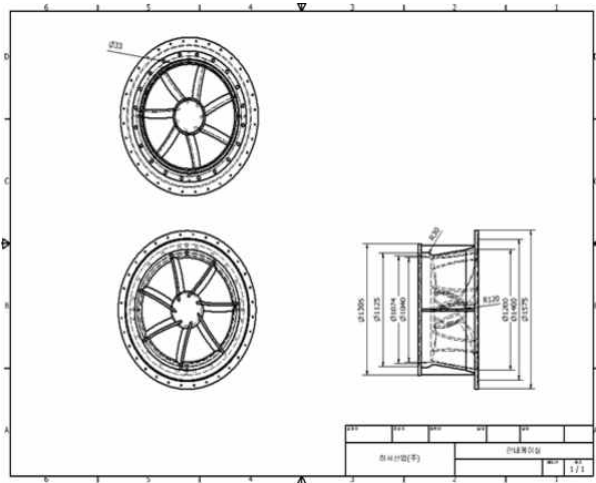
(a) 상부 베어링 카바



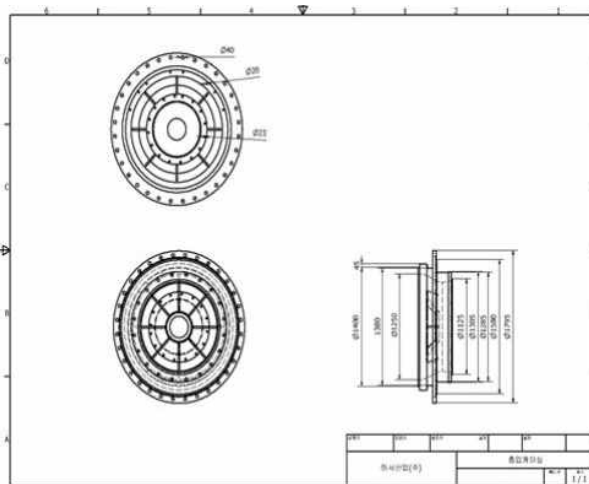
(b) 스테어링박스



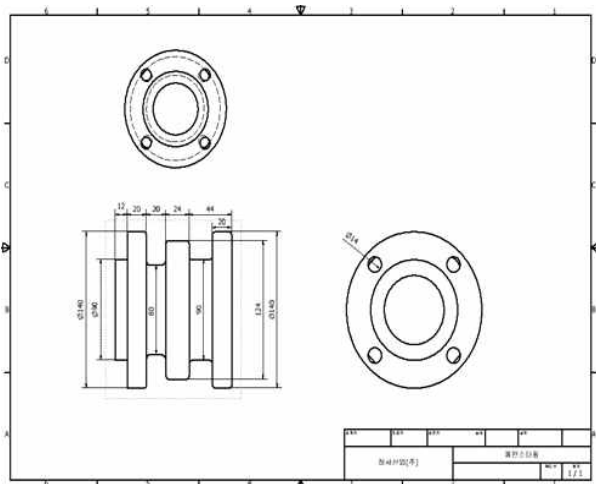
(c) 썰카바



(d) 안내케이싱



(e) 흡입케이싱



(f) 메인스터핑

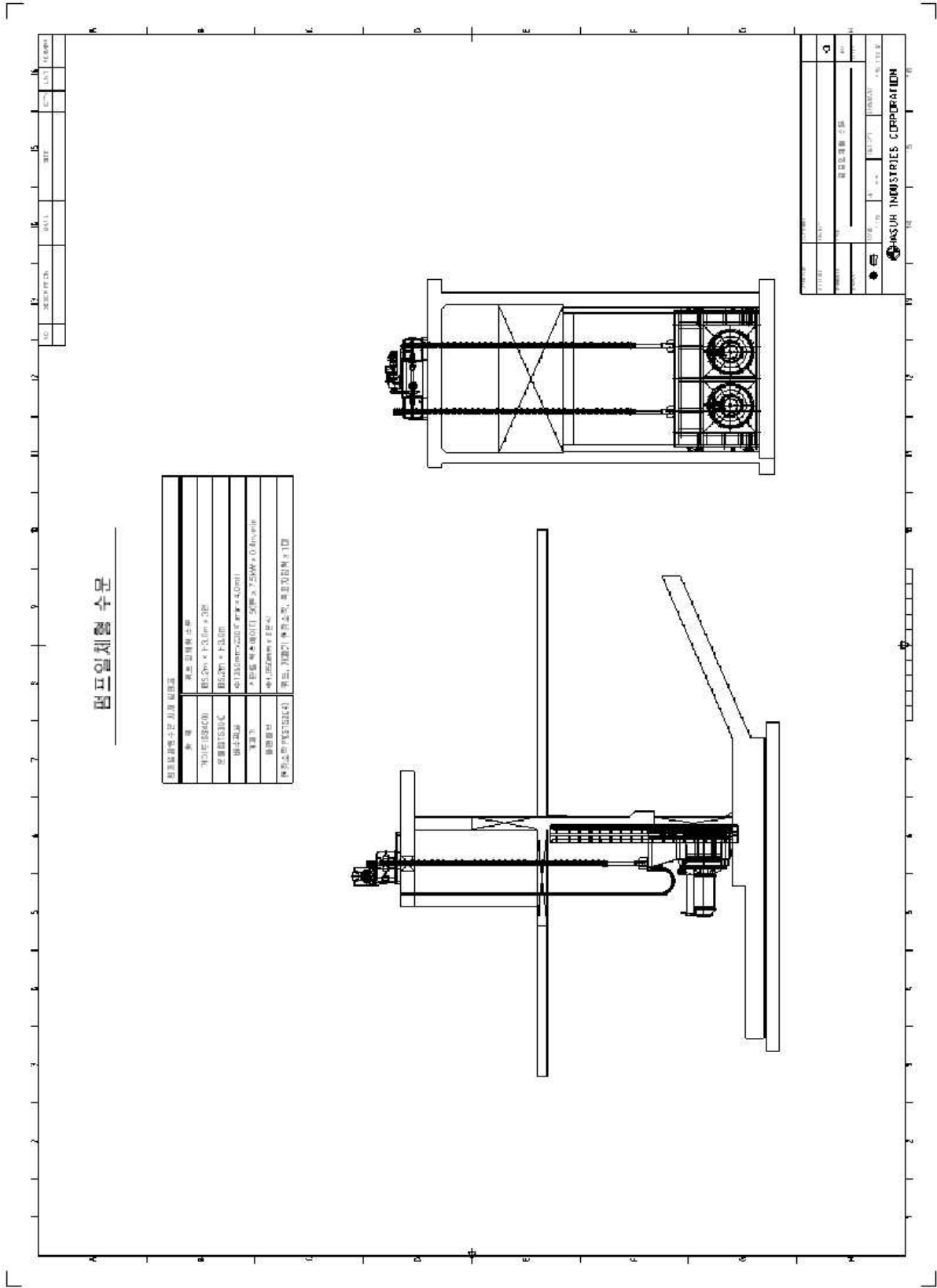
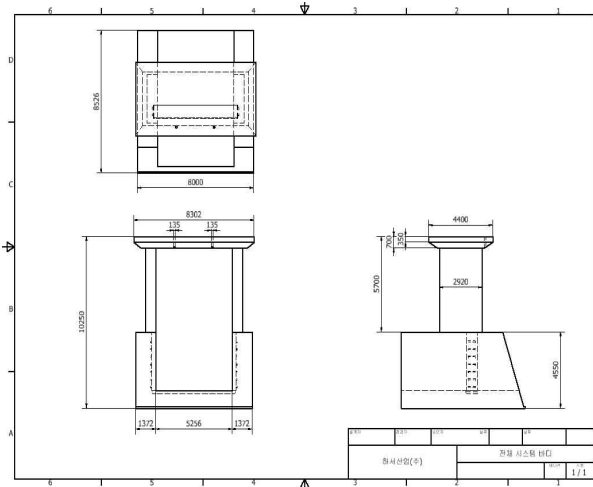
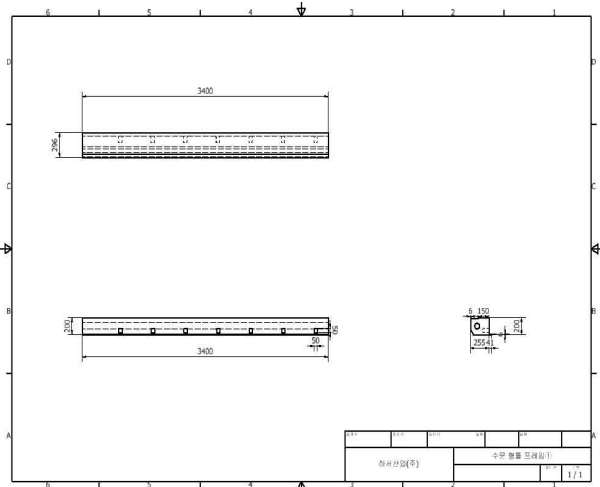


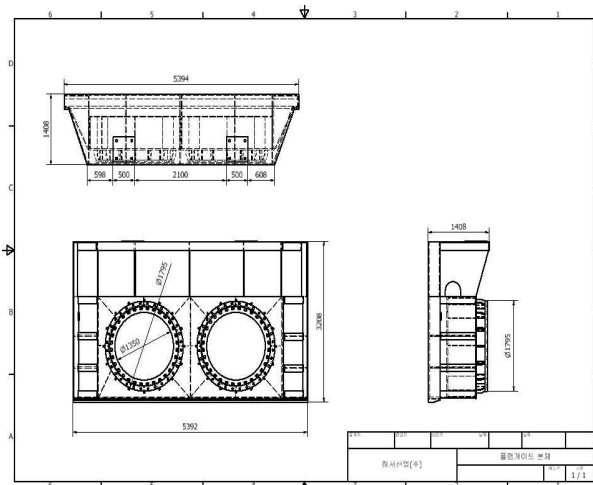
Fig. 80 펌프일체형수문 설계도



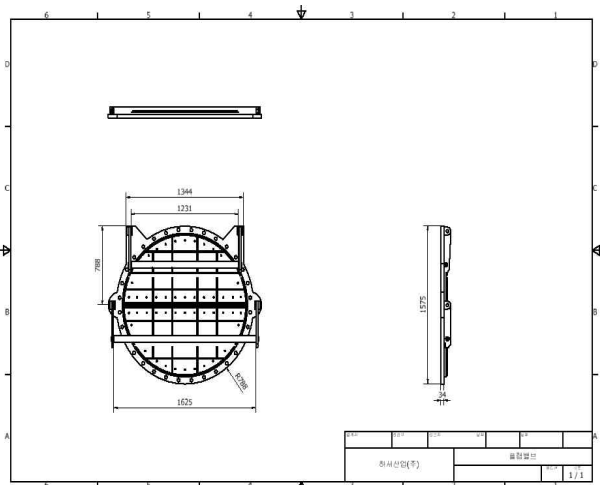
(a) 전체 시스템 바디



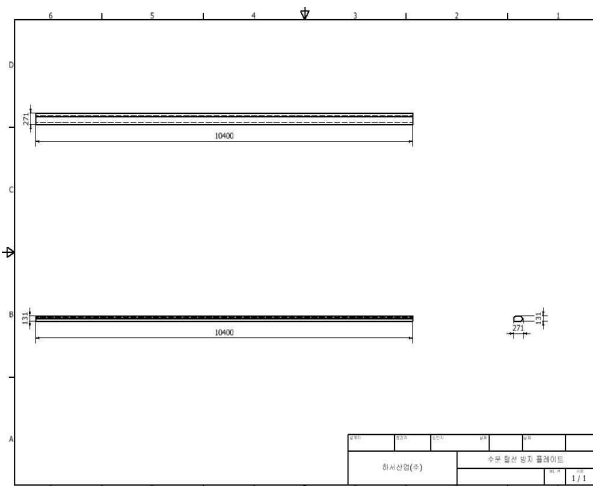
(b) 수문 형틀 프레임



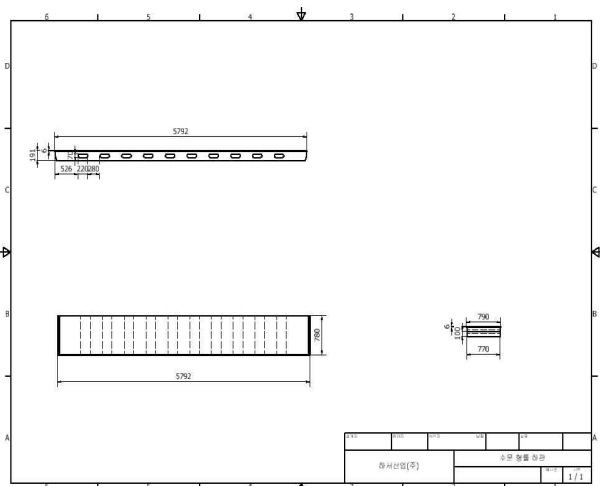
(c) 플랩게이트 본체



(d) 플랩밸브



(e) 수문 탈선 방지 플레이트



(f) 수문 형틀 하판

2-4. 펌프일체형수문의 3D 모델링

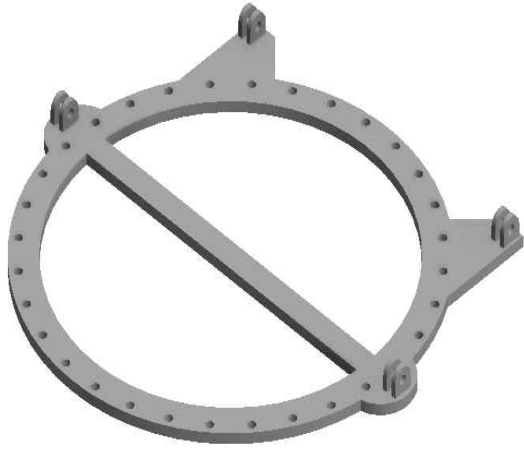
2-4-1. 펌프일체형수문 3D 모델링

Inventor는 기계 제조 산업 분야 종사자들이 가장 선호하는 소프트웨어이며, 개념설계, 기술 설계, 제조, 판매와 같은 연관 업무를 신속하고 정확하게 처리하기 위해 디지털 방식으로 시스템을 디자인하는 프로그램이다. 또한 Inventor 프로그램은 설계 및 기본해석을 수행하고, 디테일한 부분의 형상을 수정하는데 시간을 단축시킬 수 있으며, 설계변경 과정에서 수시로 수정 및 간섭체크를 수행할 수 있다. 특히 프로그램 내부에 포함된 해석 및 동적 시뮬레이션을 이용하여 사전에 오류를 체크할 수 있어, 제품 조립과정에서 발생할 수 있는 문제점을 감소시킬 수 있다. 이러한 설계 프로세스를 개선함으로써 제품을 제작하거나 시제품을 만드는 과정의 문제점들이 줄어드는 효과가 있다.

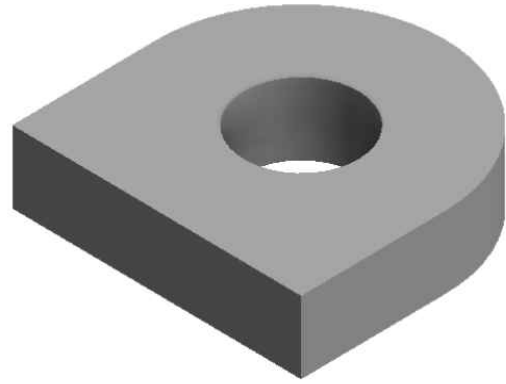
“농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발” 제작에 앞서 설계한 도면을 기반으로 펌프일체형수문의 3D 모델을 제작하였다. 제작 프로그램은 Fig. 83과 같이 Inventor S/W를 사용하였고, 제작된 3D 모델링은 Figs. 84~87에 나타낸다.



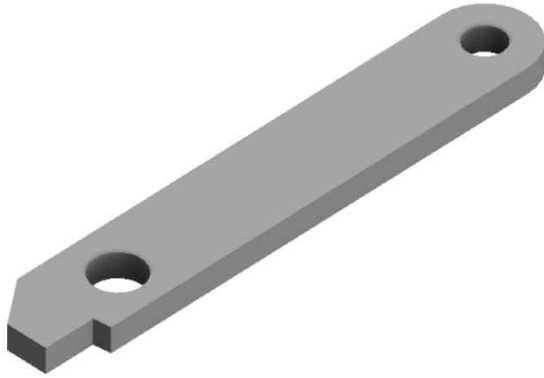
Fig. 83 Inventor 프로그램



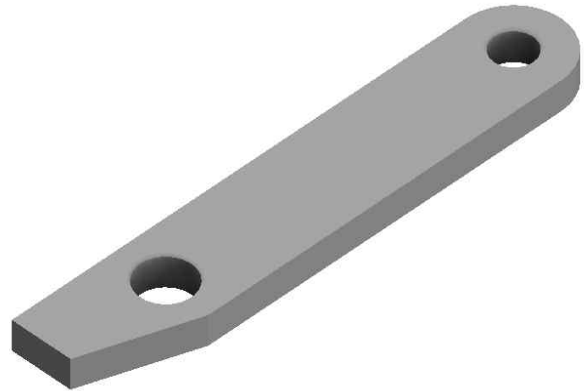
(a) Flap Flame Plate



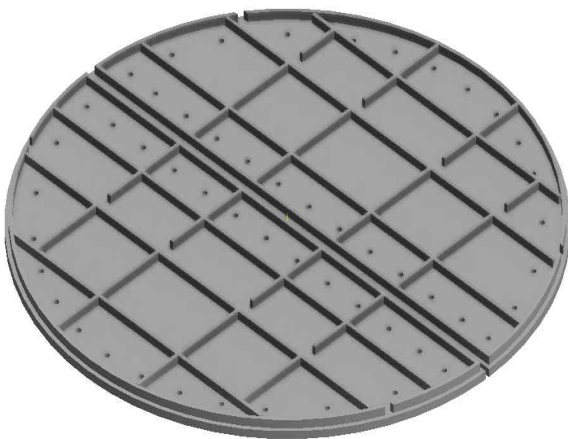
(b) Upper Hinge



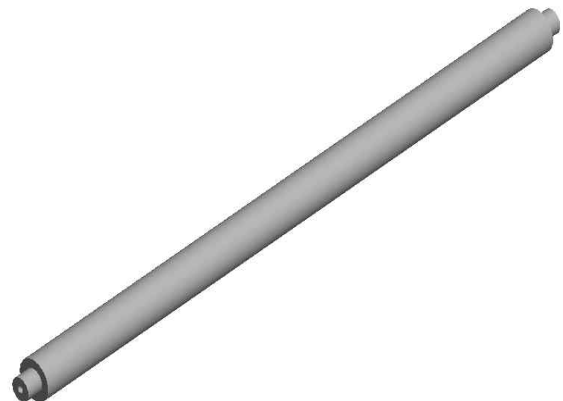
(c) Connection Bar-1



(d) Connection Bar-2

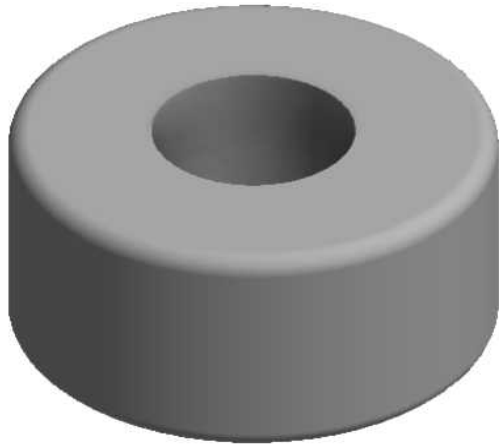


(e) Flap Plate

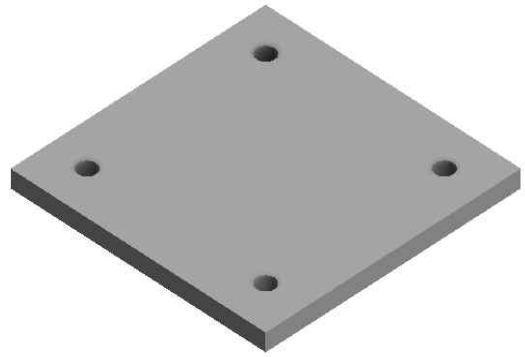


(f) Hinge Shaft

Fig. 84 펌프일체형수문의 플랩밸브 구성품 설계도



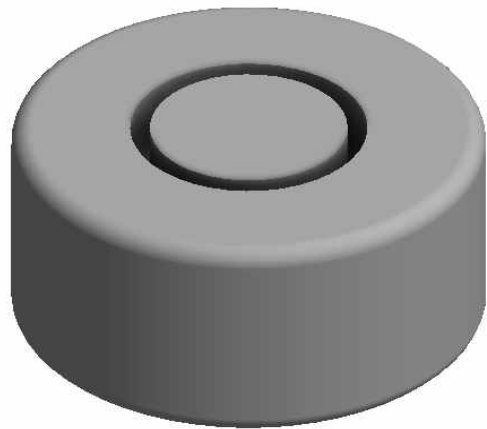
(a) Side Roller Bracket



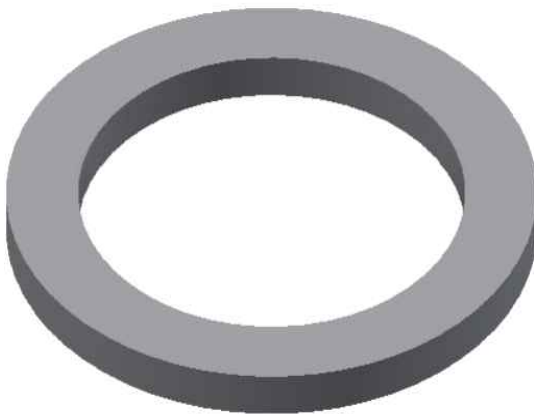
(b) Base Plate



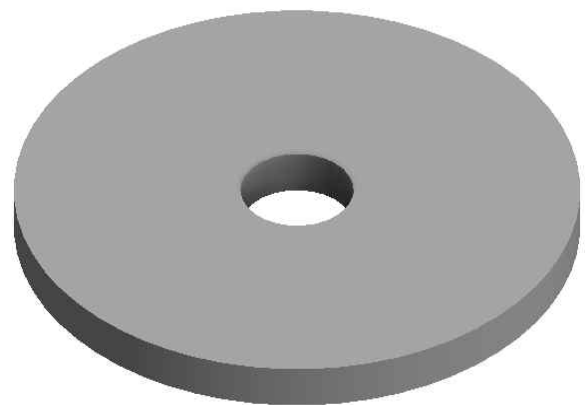
(c) Roller Shaft



(d) Side Roller

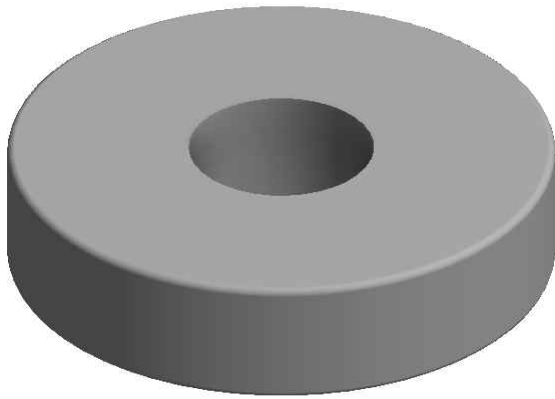


(e) Side Roller Spacer



(f) Roller Cover PL

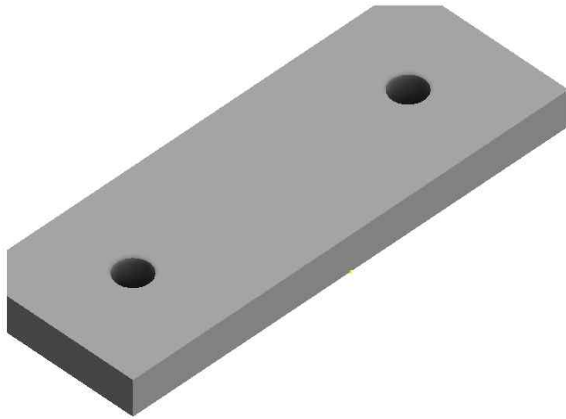
Fig. 85 펌프일체형수문 Side Roller 구성품 모델링



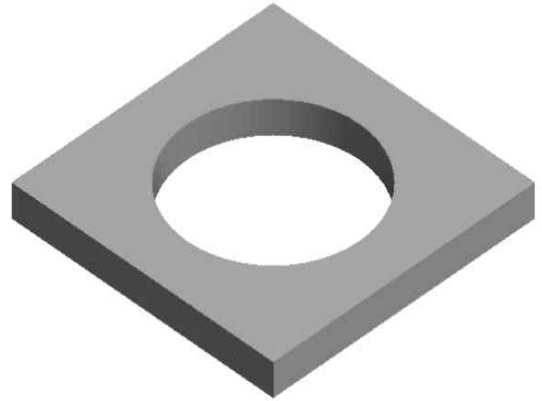
(a) Main Roller



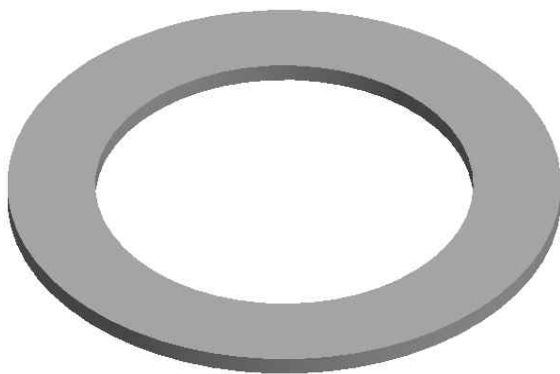
(b) Roller Shaft



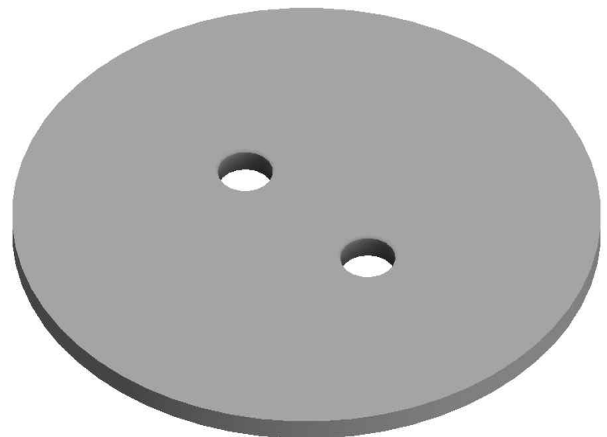
(c) Key Plate



(d) Roller Shaft(Out)

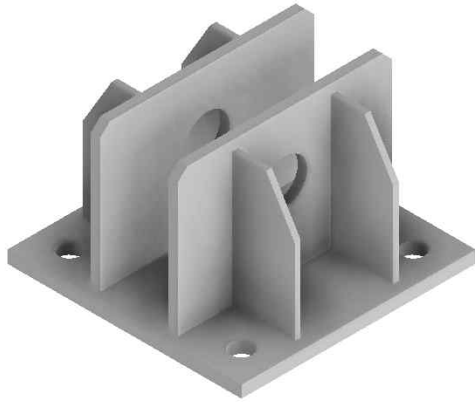


(e) Main Roller Spacer

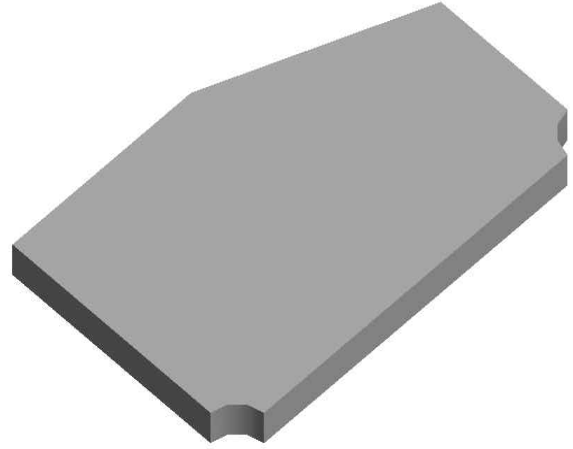


(f) Roller Cover PL

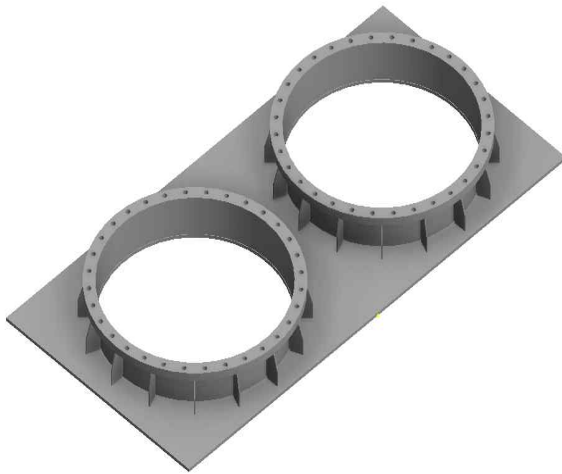
Fig. 86 펌프일체형수문 Main Roller 구성품 모델링



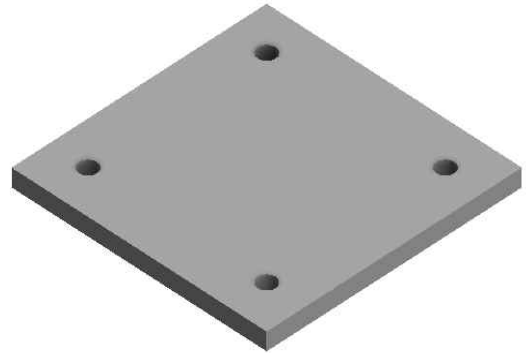
(a) Spindle Bracket



(b) Rib Plate



(c) Pump Mounting Plate



(d) Base Plate

Fig. 87 펌프일체형수문의 Spindle Bracket 구성품 설계도

2-4-2. 2차년도 3D 모델링

2차년도 제작부인 수문부의 완성된 2차원 설계도면을 바탕으로 3D 모델링 프로그램인 Autodesk Inventor S/W를 이용하여 주요 부품 3차원 상세설계를 Figs. 88~89에 나타내며, 전체 부품을 조립한 3D 모델링은 Fig. 90에 나타냈다.



(a) 상부 베어링 카바



(b) 스티어링박스



(c) 썰카바



(d) 안내케이싱



(e) 흡입케이싱



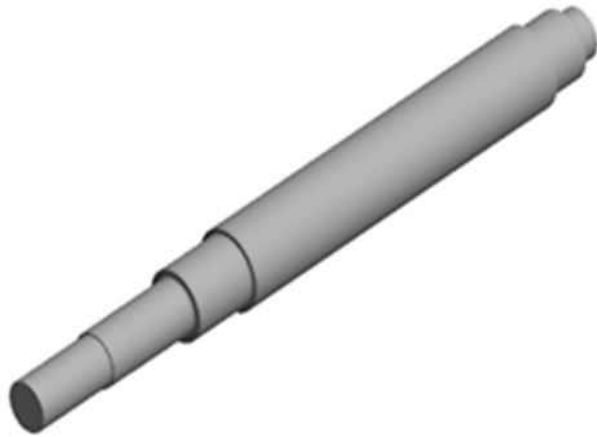
(f) 메인스티어링



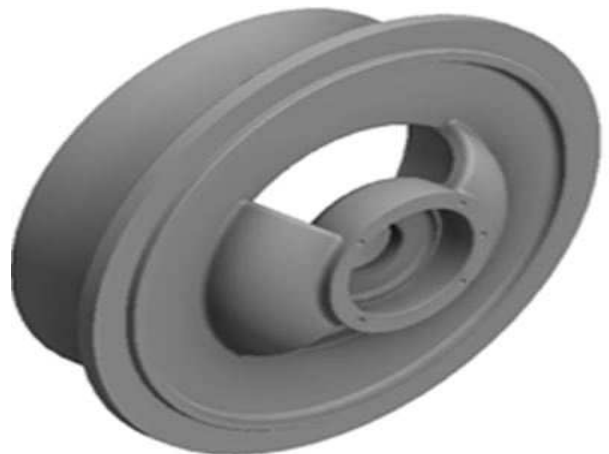
(g) 프레임



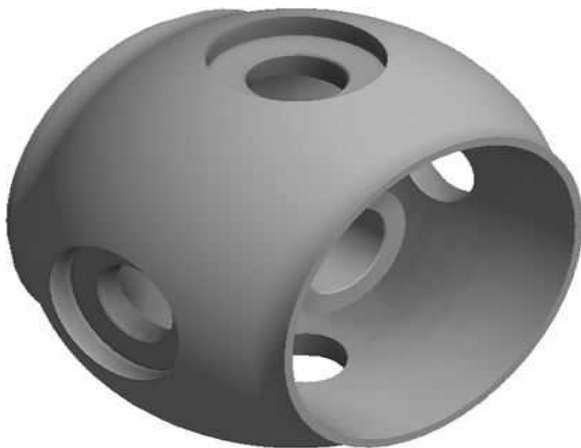
(h) 헤드커버



(i) 축



(j) 브라켓트

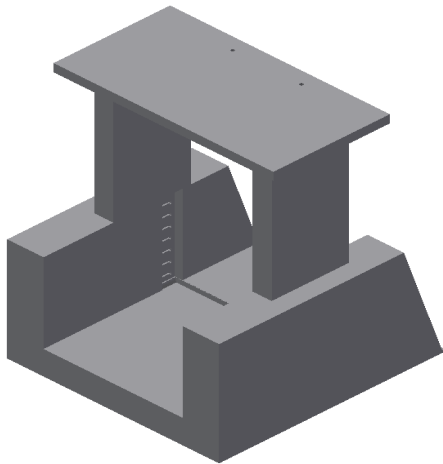


(k) 프로펠러 보스



(l) 베어링하우징카바

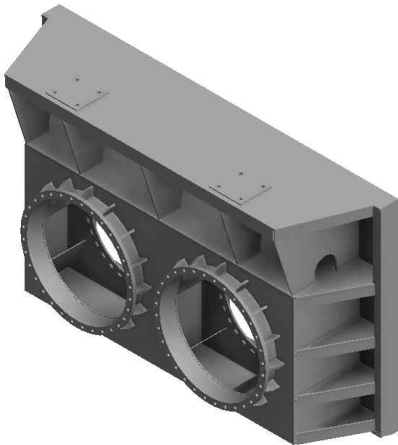
Fig. 88 펌프일체형수문 펌프 구성품 모델링



(a) 전체 시스템 바디



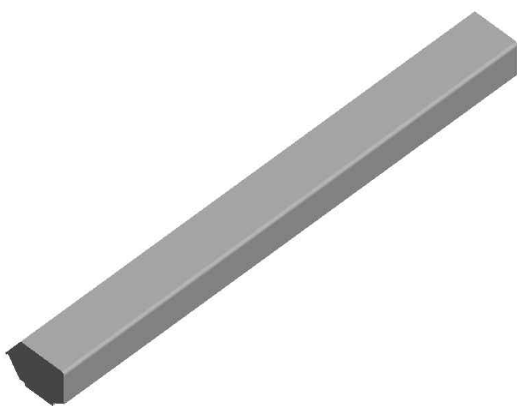
(b) 수문 형틀 프레임



(c) 플랩게이트 본체



(d) 플랩밸브



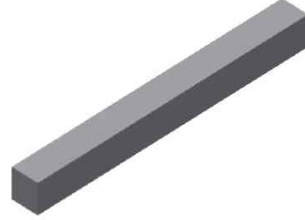
(e) 수문 탈선 방지 플레이트



(f) 수문 형틀 하판



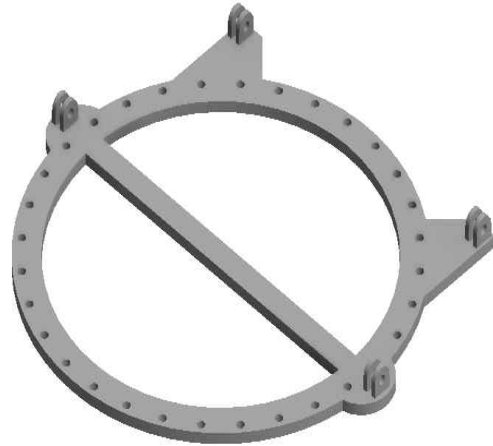
(g) 레일 플레이트



(h) 체결 플레이트(1)



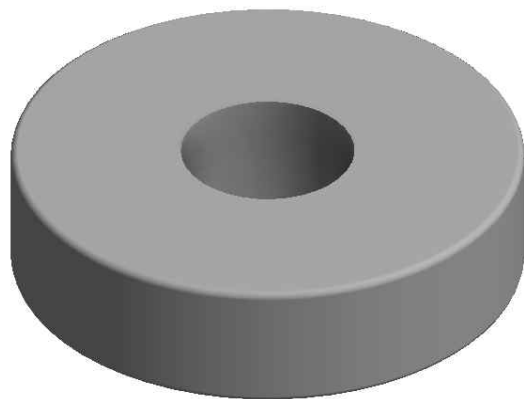
(i) 체결 플레이트(2)



(j) 수문 프레임



(k) 메인 휠 샤프트



(l) 메인 Roller

Fig. 89 수문부 주요부품 설계

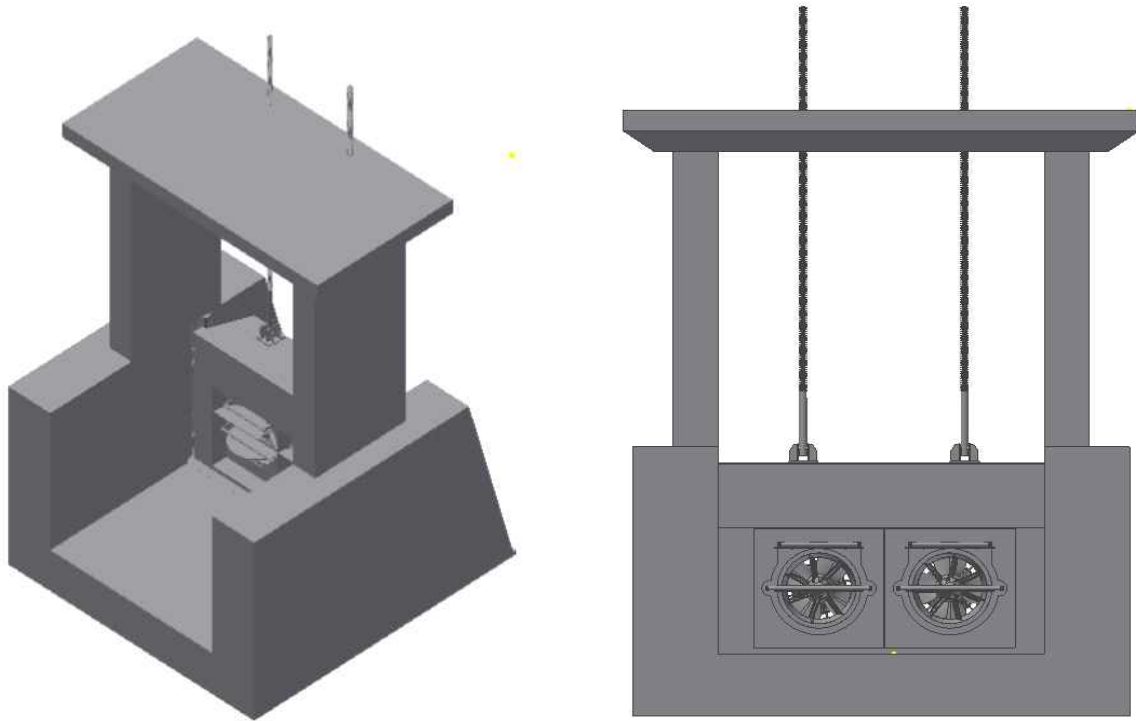


Fig. 90 Inventor를 이용한 펌프일체형 수문부 3D 설계

2-5. 펌프일체형수문의 간섭검토

제작에 앞서 설계된 문비의 각 Part별 간섭 검토를 통해 제작 중 발생할 수 있는 문제점을 분석하고 보완하는 작업을 실시하였다. 또한 3D 모델링 프로그램인 Inventor S/W를 통해 제품의 간섭유무, 기하학적 구성의 적합성을 검토하였다. Inventor 3차원 모델링 소프트웨어는 공간 분석 툴바에서 제공되는 간섭분석 기능을 이용하여 요소간의 간섭을 분석하거나, 그래픽 슬라이스기능으로 Assembly의 단면을 확인하였다.

1차년도에 개발하고자 하는 펌프일체형 수문의 부품들에 대한 간섭검토를 수행한 결과 문비의 결합부위에서 간섭이 모두 나타났으며, 문비에 발견된 간섭은 모두 끼워 맞춤에 의한 미세간섭을 확인할 수 있었다. 또한 간섭이 발생하는 대부분의 경우는 끼워 맞춤 공차에 의한 미세 간섭과 Shaft와 Hinge Shaft를 이용한 연결부임을 확인하였다. 간섭이 발생하는 주요부품의 수정작업을 통해 제품의 품질을 향상시켰으며, Fig. 91는 문비의 간섭 탐지 결과를 나타낸다. Fig. 92은 간섭부위 및 간섭 단면을 나타내었으며, 제작 공차에 따른 $\pm 0.05\text{mm}$ 의 크기 수정하여 간섭문제를 해결하였고 간섭검토 해결 결과는 Fig. 93에 나타낸다.

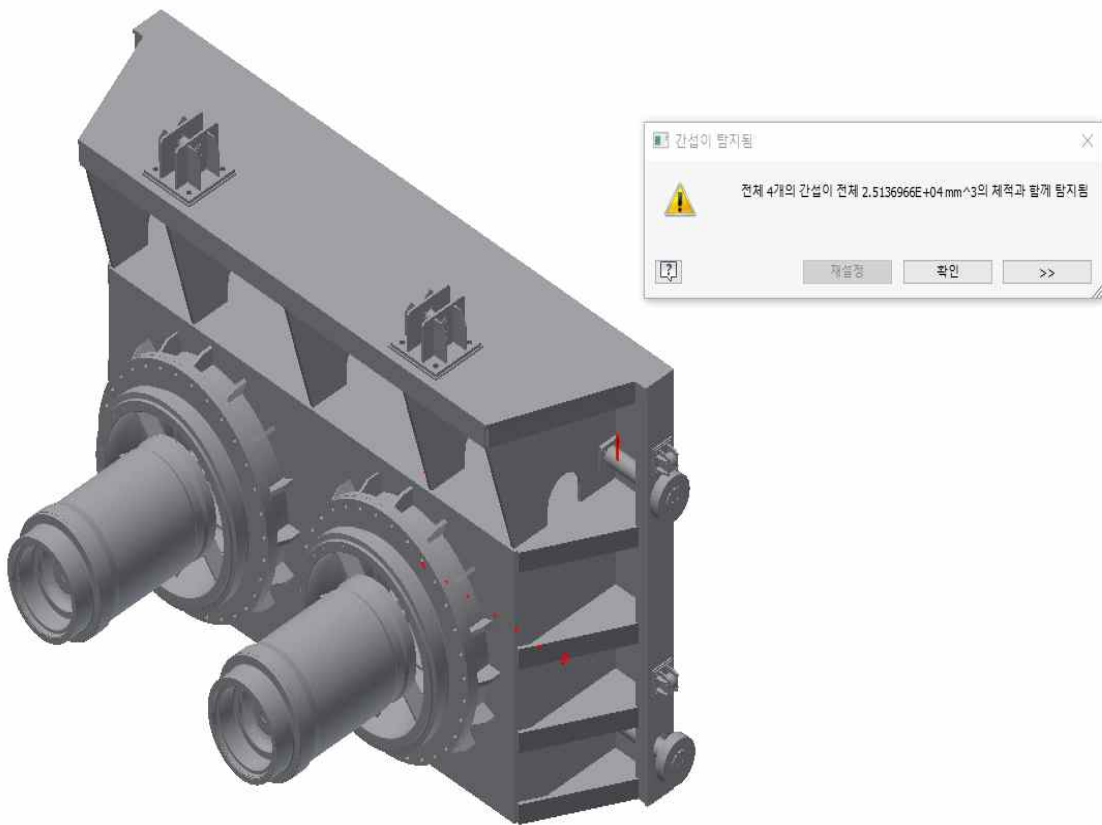
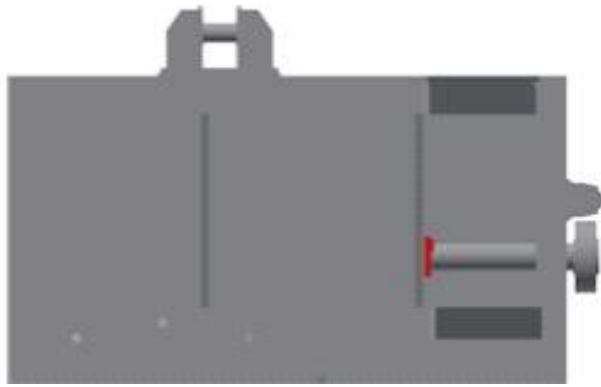
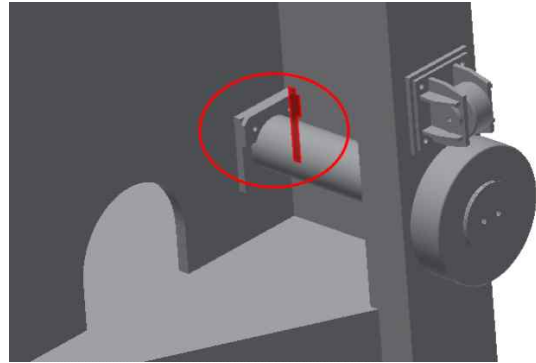


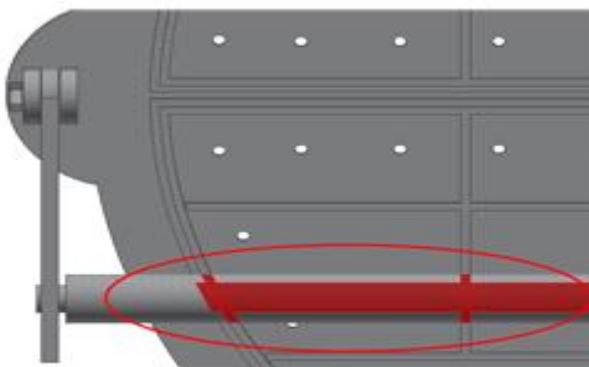
Fig. 91 펌프일체형수문의 문비 간섭검토 결과



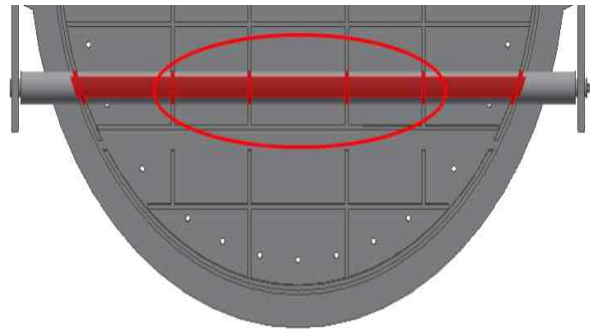
(a) 끼워 맞춤 간섭 부위



(b) 끼워 맞춤 간섭 단면



(c) 체결부위 간섭 부위



(d) 체결부위 간섭 단면

Fig. 92 펌프일체형수문 시스템 간섭검토 부위

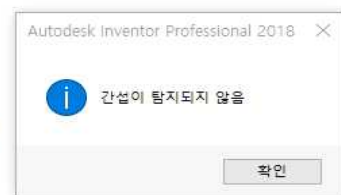
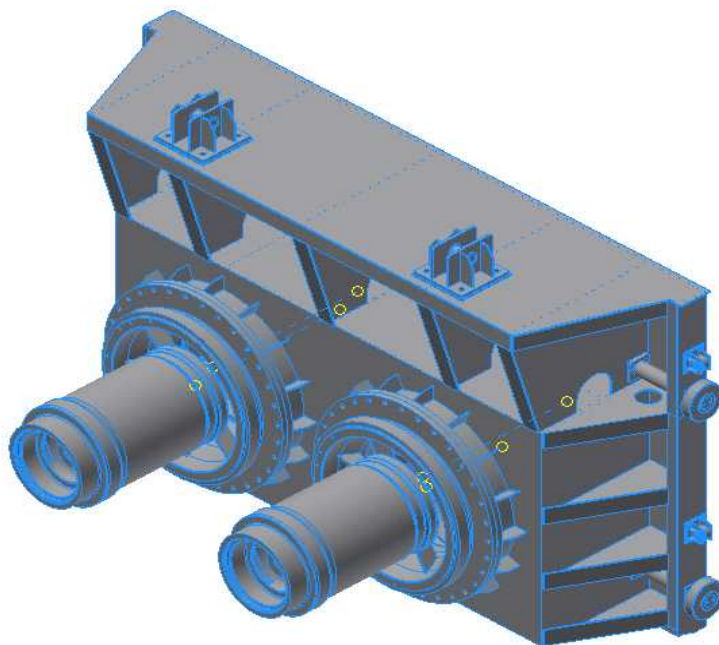


Fig. 93 펌프일체형수문시스템 간섭검토 결과

2-6. 펌프일체형수문시스템 해석

2-6-1. 펌프일체형수문시스템 구조해석

구조해석은 연구개발 능력을 평가하는 척도이며 제품의 개발에 있어서 제품의 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 단계로 정의한다. 본 연구과제는 펌프일체형수문시스템 주요부품의 구조해석을 통해 기구부의 안전성을 확보하였다. Fig. 94에 나타난 Patran Software은 설계된 엔지니어링 데이터를 시뮬레이션을 통해 검토하는 것이 편리하며 추가적인 업무를 없애고 설계 협업을 향상시키는 효과가 탁월하다. 이러한 장점으로 해석 Tool을 사용하여 구조해석을 실시하였다.



Fig. 94 Patran 해석 프로그램

Fig. 95는 펌프일체형수문시스템의 구조해석을 위한 격자생성을 나타내고 있으며, 본 해석은 수압에 의한 체결부의 구조적 안전성을 확보하고자 하였다. 비체의 자중이 가장 많이 분포되는 부품이기 때문에 문비 및 체결부의 굽힘에 대한 강성을 모두 고려한 설계가 요구된다. 구조해석을 위한 격자(Mesh)는 Tetrahedrons의 구조의 격자를 설정하였으며, 격자의 크기는 15mm로 선정하여 펌프일체형수문시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 모델(FEM)을 생성하였다.

모델링에 사용된 총 절점의 개수는 364,815개이고 요소의 수는 216,543개로 구성되었다. Tables 18~19은 본 시뮬레이션 수행을 위하여 선정한 물성치 및 입력값을 나타낸다. 경계조건으로는 문비의 하단부에는 Frictionless Support와 문비의 상단면에 Force를 인가하였다. 또한 각 Bolt마다 Bolt Pretension을 적용하였으며, Fig. 96은 경계 및 하중조건을 나타냈다.



Fig. 95 펌프일체형수문시스템의 격자 생성

- A** Force: 63640 N
- B** Fixed Support
- C** Frictionless Support
- D** Bolt Pretension 1: 10. N
- E** Bolt Pretension 2: 10. N
- F** Bolt Pretension 3: 10. N
- G** Bolt Pretension 4: 10. N
- H** Bolt Pretension 5: 10. N
- I** Bolt Pretension 6: 10. N
- J** Bolt Pretension 7: 10. N

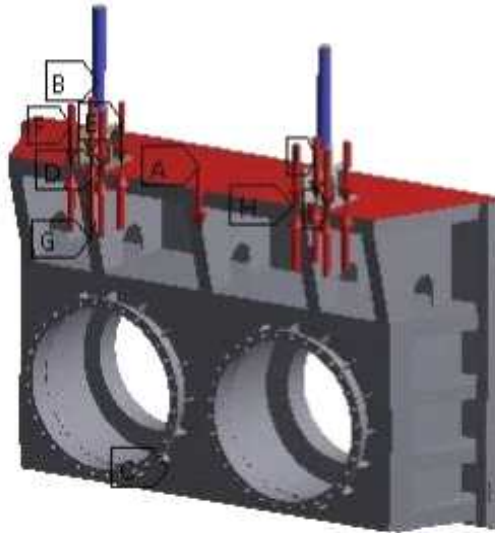


Fig. 96 구조해석을 위한 경계조건

Table 18 문비의 물성치

Material Condition	Value
Tensile Strength, Ultimate	400MPa
Tensile Strength, Yield	250MPa
Elongation at Break	20%
Modulus of Elasticity	200GPa
Bulk Modulus	160GPa
Poissons Ratio	0.26
Shear Modulus	79.3GPa

Table 19 펌프일체형수문시스템 구조해석 입력값

Parameter	Value	
Solver Type	Static Structural Analysis	
Mesh	15mm	
Boundary Condition	Acceleration Gravity	9.81m/s ²
	Fixed Support	Ground Surface
Force(Z방향)	76,330N	

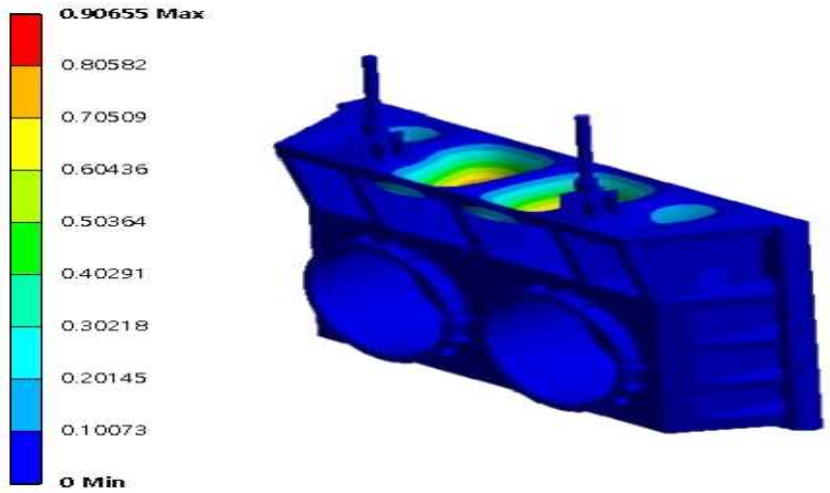
Table 20 펌프일체형수문시스템 구조해석을 위한 Case 별 Bolt 크기

Case No.	Bolt Size
1	39mm
2	36mm
3	33mm
4	30mm
5	27mm

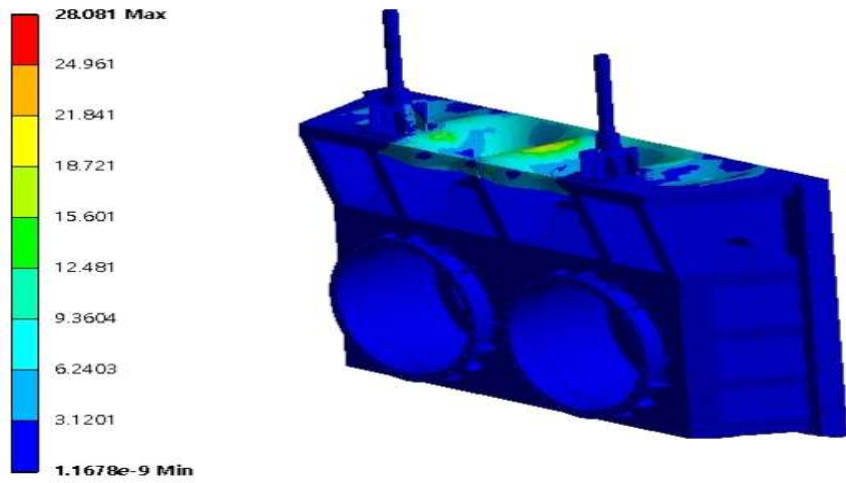
Table 20에 나타난 바와 같이 펌프일체형수문시스템의 체결부 Bolt의 크기를 Case별로 진행하여 펌프일체형수문시스템의 체결부의 구조적인 안전성을 확인하고자 구조해석을 수행하였다. 각 Case별 구조해석 결과를 Table 21과 Figs. 97~101에 나타내었다. 구조해석 결과 Case 5의 변형량 0.95001mm로 확인되었으며, 최대응력 또한 Case 5의 축에서 44.657MPa로 확인되었다. 또한, 펌프일체형수문시스템의 안전율은 최소 5.5982로 높은 안전율을 확인할 수 있었다. Case 5의 구조해석 결과는 Fig. 95과 같이 나타내며, 펌프일체형수문시스템은 27mm의 체결부의 지름으로도 충분히 구조적으로 안전함을 검증하였다.

Table 21 Case별 구조해석 결과값

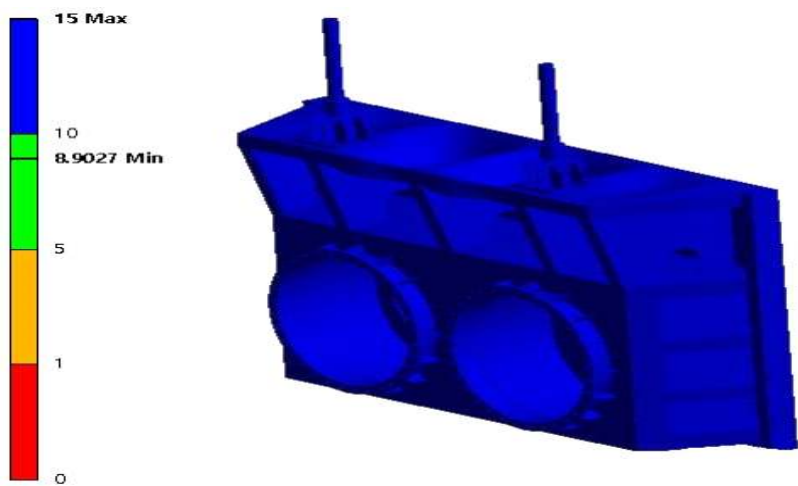
Case	Total Deformation	Equivalent Stress	Safety Factor
1	0.90655	28.081	8.9027
2	0.90099	30.344	8.2388
3	0.917	32.554	7.6796
4	0.9499	37.497	6.6673
5	0.95001	44.657	5.5982



(a) Total Deformation

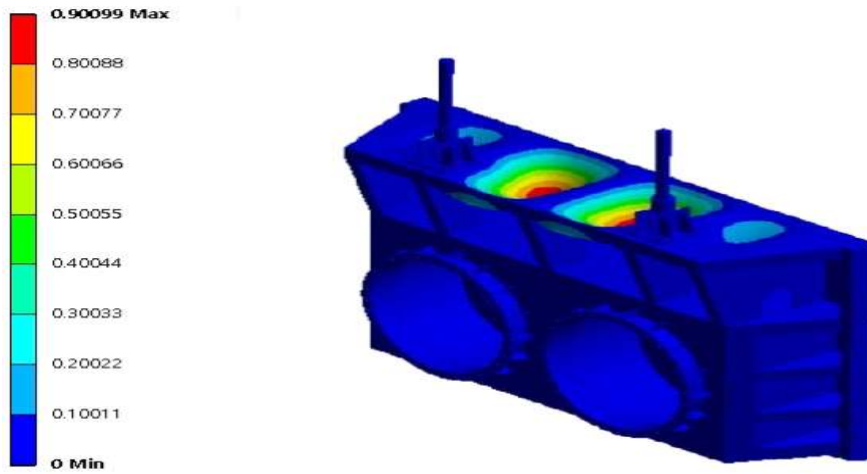


(b) Equivalent Stress

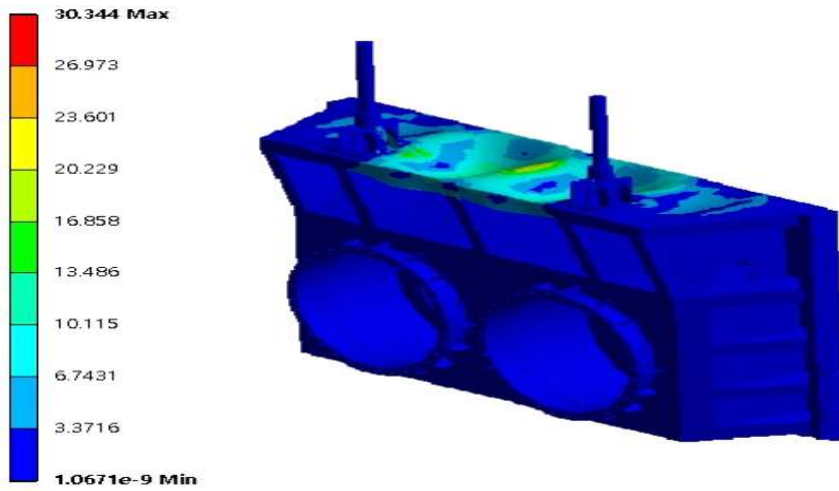


(c) Safety Factor

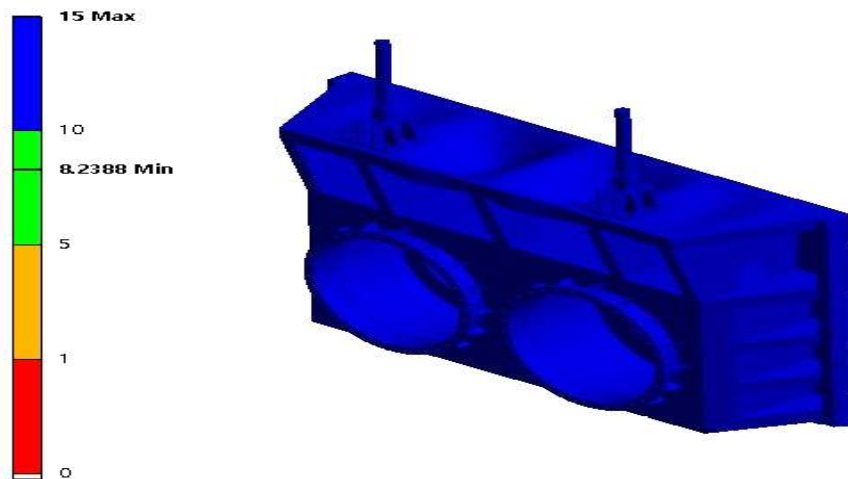
Fig. 97 Case 1에 따른 구조해석 결과



(a) Total Deformation

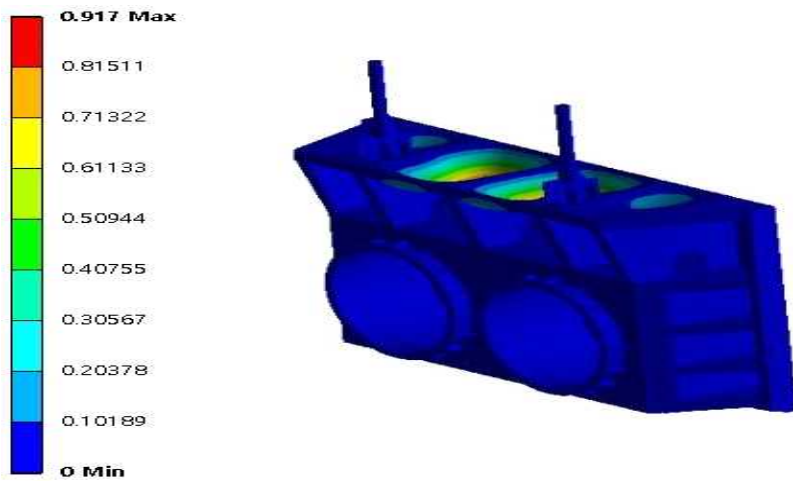


(b) Equivalent Stress

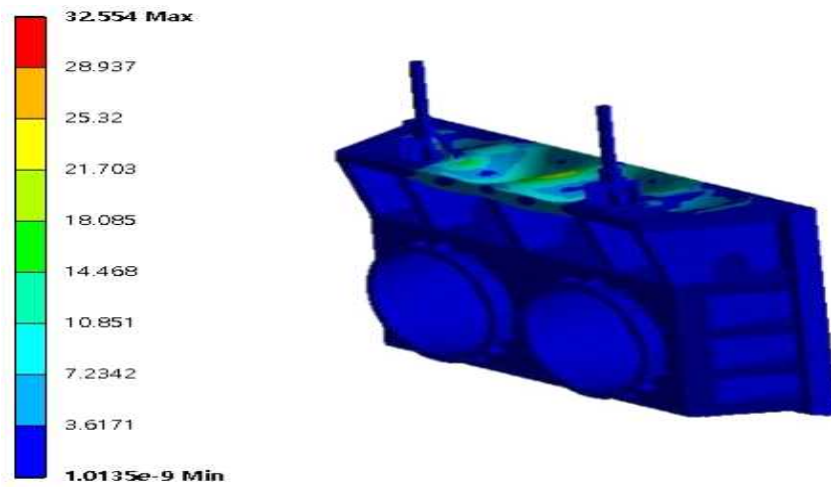


(c) Safety Factor

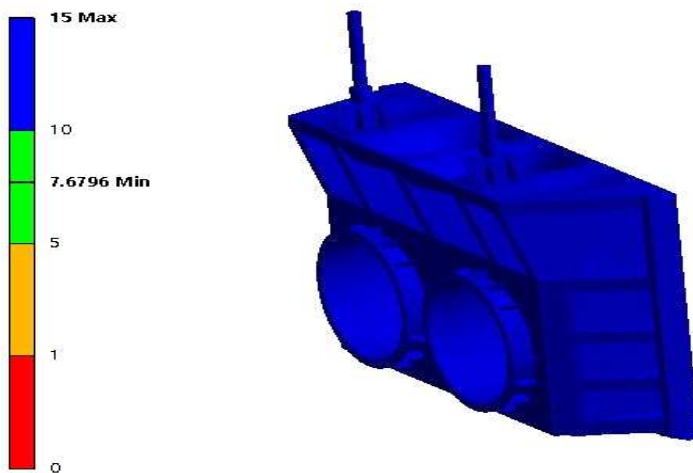
Fig. 98 Case 2에 따른 구조해석 결과



(a) Total Deformation

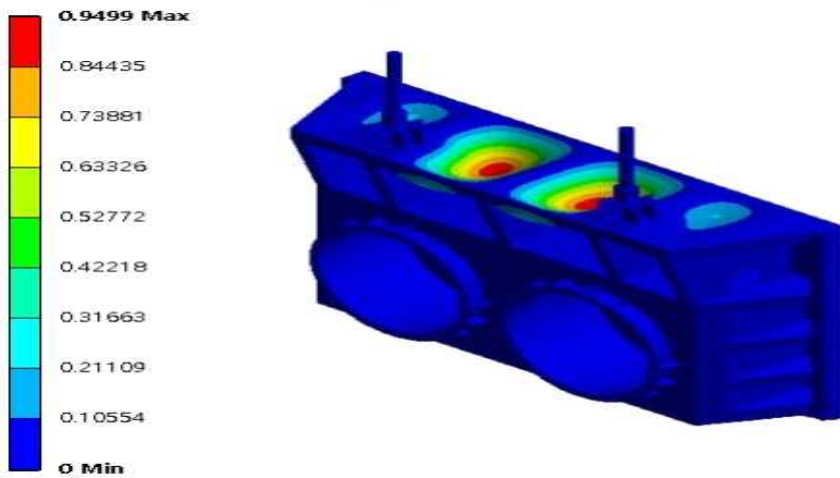


(b) Equivalent Stress

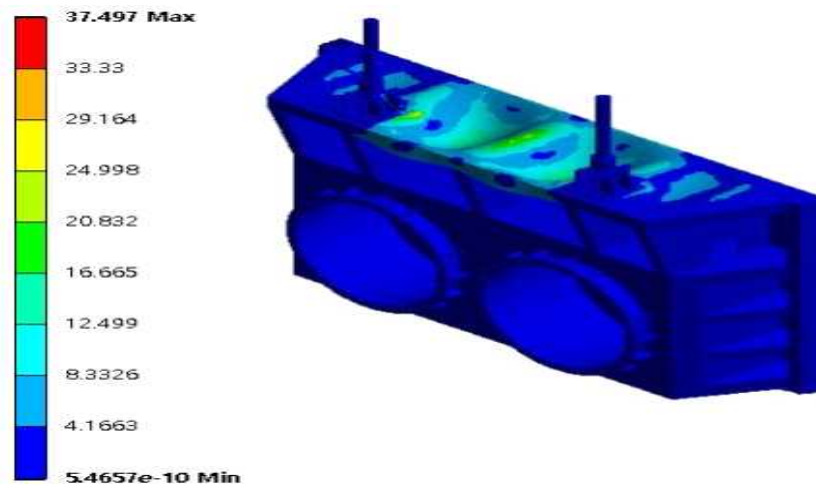


(c) Safety Factor

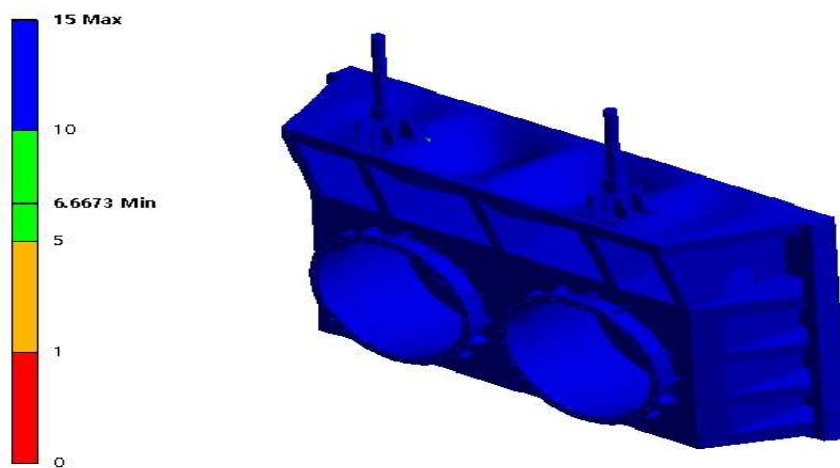
Fig. 99 Case 3에 따른 구조해석 결과



(a) Total Deformation

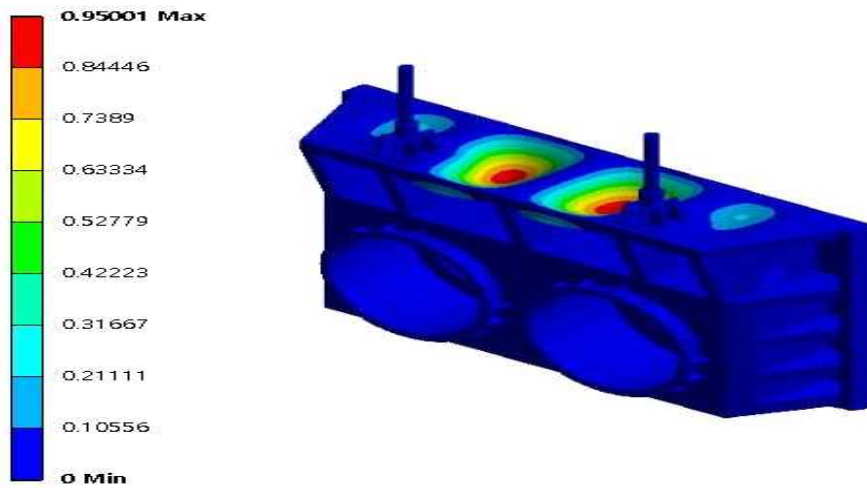


(b) Equivalent Stress

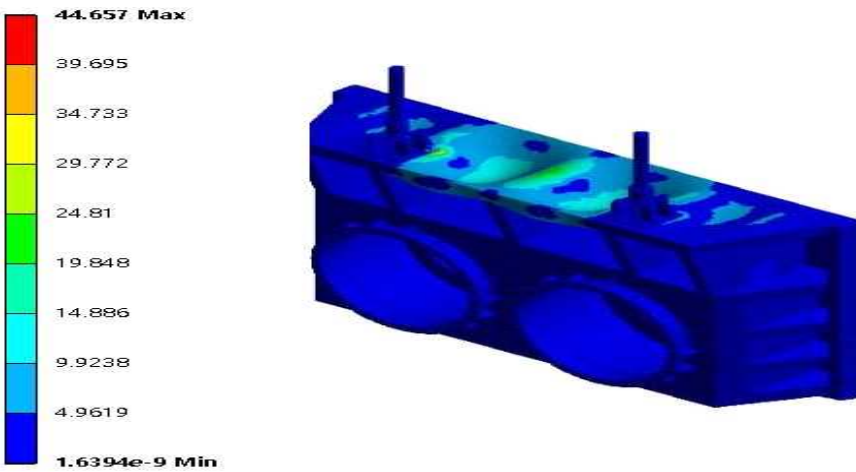


(c) Safety Factor

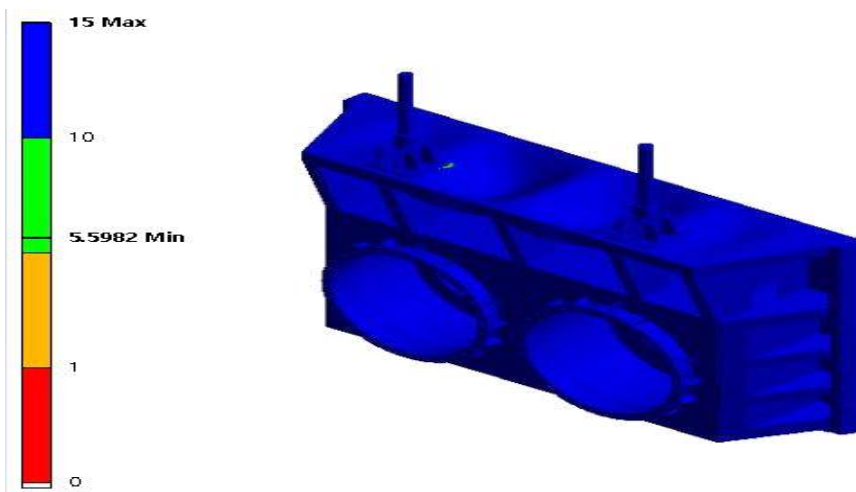
Fig. 100 Case 4에 따른 구조해석 결과



(a) Total Deformation



(b) Equivalent Stress



(c) Safety Factor

Fig. 101 Case 5에 따른 구조해석 결과

2-6-1-1. 배수펌프 임펠러의 구조해석

본 해석은 펌프일체형수문의 축류펌프의 임펠러에서 취약부분으로 인해 파손과 변형이 발생되는지 확인하여 구동계의 구조적 안전성을 평가하고자 한다. 임펠러에 전달되는 실제 환경에서 구동되는 모터에 토크를 축과 임펠러에 인가하여 축류펌프가 작동하는 원리이며 유입물이 충돌하여 임펠러의 취약부위 및 임펠러의 구조적 안전성을 확인하고자 구동계에 구조적으로 변형을 발생시키는지 여부를 확인하였다. 본 과제를 통해 개발된 배수펌프 임펠러의 구조적 안정성을 확인하기 위해서 Fig. 102에 나타난 상업용 유한요소해석 소프트웨어인 ANSYS 프로그램을 사용하였다.



Fig. 102 ANSYS workbench 해석 프로그램

이물질의 유입을 통해 임펠러의 충돌로 갑작스런 작동이 중지되는 현상을 구현하여 임펠러의 축 구동계에 미치는 구조적 안전성을 평가하고자 하였으며, Fig. 103과 같이 추가적으로 축 구동계를 구성하고 있는 임펠러, 케이싱, 축에 대하여 공진 주파수와 모드형상을 검토하여 모터와의 주파수와 비교하여 공진회피 여부를 판단하였다.

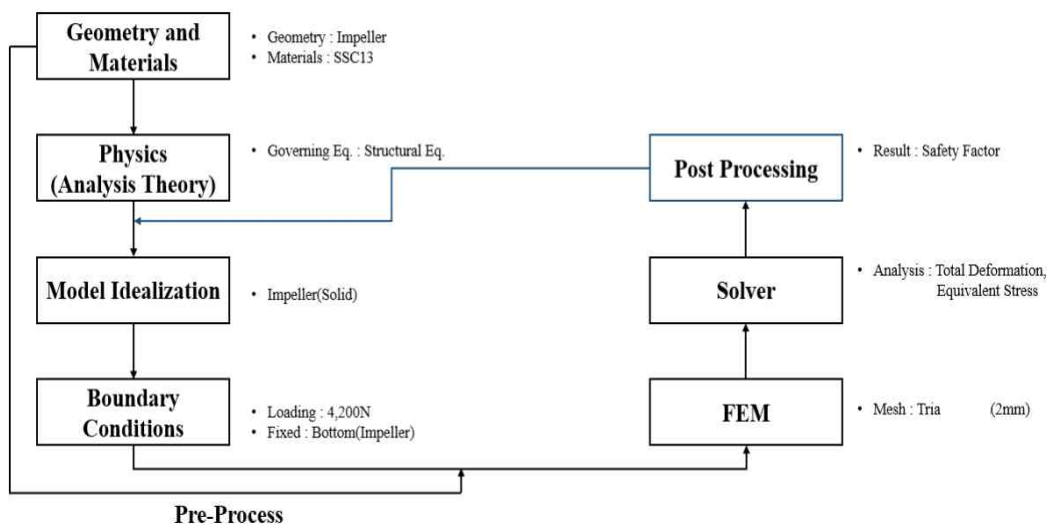


Fig. 103 배수펌프 임펠러의 구조해석 절차

Fig. 104에 나타난 바와 같이 축 구동계를 구성하고 있는 임펠러, 케이싱, 축의 모델링을 작성하였으며, 배수펌프 임펠러의 모터에 가해지는 구동력은 모터가 가해지는 토크 및 펌프 구경의 관계식에 의해 하중으로 변환하여 $F = R$ 의 식을 적용하였다. 적용한 값으로 2,100N의 하중이 산출되고 구조적인 안정성을 구하고자 2배인 4,200N을 임펠러 Edge 부분에 하중을 인가하였다.

임펠러의 소재는 재질로 SSC13을 적용하여 제작하였으며, Table 22는 축 구동계 재질의 물성치를 나타냈다. 본 해석은 배수펌프 임펠러의 구조적 안전성을 확인하고자 하였으며, 구조적 해석에 불필요한 부품은 모두 제외하고 해석모델로 선정하였다.



Fig. 104 배수펌프 임펠러 3D 모델링

Table 22 해석모델의 축 구동계 기계적 물성

Material Type	STS410	GC200	SSC13
Elastic Modulus (GPa)	200	105	193
Poisson's Ratio	0.31	0.28	0.29
Modulus of Elasticity(GPa)	200	162	193
Density(g/cc)	7.80	7.34	8.00
Yield Stress (MPa)	728	572	205
Component	Shift	Casing	Impeller

FEA(Finite Element Analysis)는 공학분석에 사용되는 컴퓨터 시뮬레이션 기술로, 유한요소법을 기법으로 현재 많은 S/W를 통해 사용되어지고 있으며, 유한요소법은 편미분 방정식이나 적분, 열 방정식등의 근사 해를 구하는 방법으로 제품의 형상과 해석의 방법에 따라 달라지는 것이 특징이다. 정적인 문제에서는 미분 방정식을 제거하거나 편미분 방정식을 상미분 방정식으로 변환하여 해석을 수행하며, 이에 대한 식은 아래와 같이 나타낸다. 여기서 u 는 기울기를 의미하며, v 는 2차원 공간에서의 벡터곱을 의미하며, Φ 는 적당한 공간 $L^1(\Omega)$ 에서 내적할 수 있고 Ω 의 1차 미분함수의 값은 0이다.

$$\int_{\Omega} f v ds = - \int_{\Omega} u \quad v ds = -\Phi(u, v) \quad (35)$$

응력해석은 모든 해석의 기본, 출발이 되는 해석으로 외부하중의 작용에 대해 구조물의 변형과 강도적 안전성을 검토하는 절차이다. 재료가 탄성영역 내에서 후크의 법칙(Hooke's Law)을 따라 거동하며, 발생변형에 의한 구조물의 강성변화를 무시할 수 있을 만큼 변형이 작아야 하고 하중이 작용하는 중에 구조물의 경계조건이 변하지 않아야 한다. 여러 개의 하중조건에 대해 개별적인 해석을 수행하고 결과를 조합하여 전체하중 또는 다양한 하중조합에 대한 결과를 계산할 수 있으며, 하중의 크기 변화에 대해 재해석 또는 반복 없이 비례관계로 결과 산출이 가능하다. 일반적으로 구조해석 및 응력해석에서 사용되는 지배방정식은 식 (36)으로 나타낼 수 있으며, 해상대상에서 발생하는 복원력과 감쇠력 그리고 관성력을 합하여 Von-Mises 응력을 산출한다. 여기서 $m\ddot{x}$ 는 관성력, $c\dot{x}$ 는 감쇠력, kx 는 복원력을 나타낸다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \quad (36)$$

배수펌프 임펠러의 구조해석을 위한 Pre-Processing인 격자생성, 하중조건 및 구속조건인 경계조건 선정 후 구조해석을 수행하였다. 유한요소해석에서의 격자는 CAD 모델을 절점(Node)과 요소(Element)로 구성된 해석모델이며, 각각의 Element는 해석하는 물리계의 방정식을 구성하는 매개체 역할을 하게 되므로, 해석 환경에 따라 요구되는 요소들을 설정해야 한다. 해석모델을 기반으로 Element Size를 2mm로 선정하고 Element Type은 Tetra Mesh로 선정하여 Curvature, Proximity를 사용하여 격자의 품질을 향상시키고자 하였으며, 아래에 나타난 Fig. 105와 Table 23은 배수펌프 임펠러의 격자 생성 결과를 나타낸다.

이와 같은 Element가 구성될 경우 구조해석에 있어 뒤틀려있는 격자를 최소화시켜 과소 및 과대평가 되는 현상을 방지하고 실제 결과와 비슷한 결과를 도출할 수 있다. 해석모델의 경계조건으로는 모터에 회전력 인가되는 축과 이물질에 의해 회전이 정지된 임펠러의 구조적인 안정성을 평가하고자 하였다. Tables 24~25와 같은 축류펌프의 모터 제원에 따른 해석조건을 구성한다. 구조적인 안정성을 각각 평가하기 위한 경계조건은 Fig. 106에 나타내었으며, 구속조건은 축과 모터의 결합과 축 상부에 구속조건을 인가하고, 임펠러와 케이싱의 결합 조건을 고려하여 축의 수평면에 Fixed Support을 인가하였다.

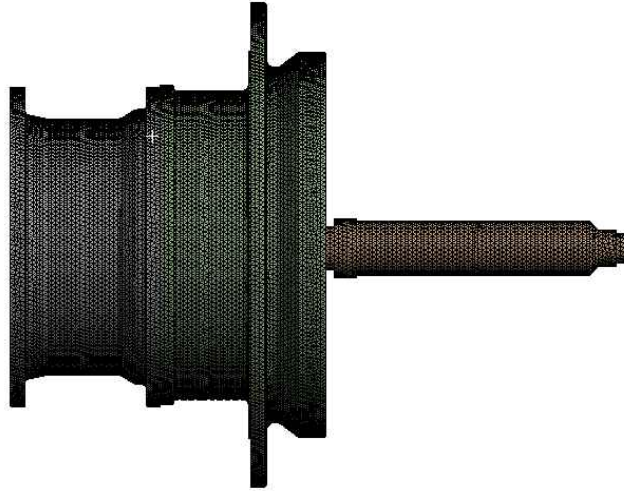


Fig. 105 배수펌프 임펠러의 격자생성

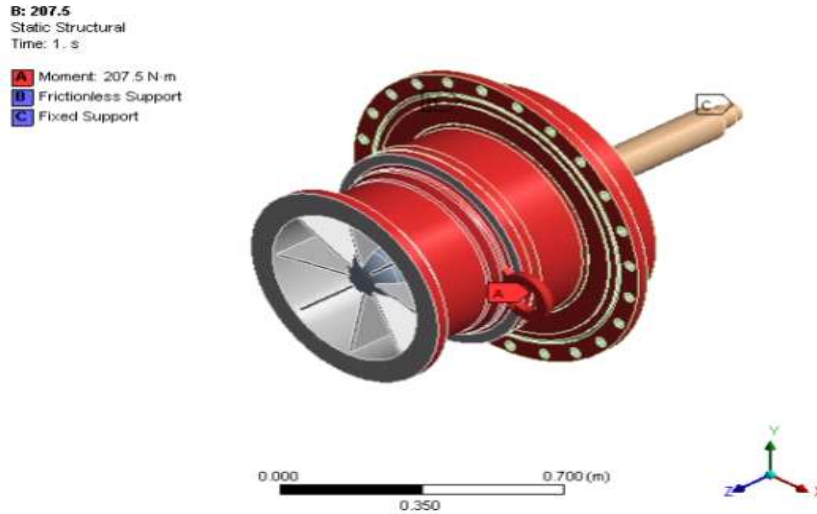


Fig. 106 배수펌프 임펠러의 경계조건

Table 23 해석모델의 격자생성

Element Type	Tetra(Curvature, Proximity)
Element Size	10mm
No. of Nodes	273,382 EA
No. of Element	172,552 EA

Table 24 배수펌프 임펠러의 구동모터 회전수 변환

구동모터	회전수		
	690	890	1190
토크변환토크 (m) $T = PS \times 716 / RPM$	207.5	160.9	120.3

Table 25 배수펌프 임펠러의 구동모터 경계조건

Case	하중조건		고정조건	
	인가위치	토크 (m)	인가위치	구속
1	Impeller Rotation Surface	207.5	Shaft Coupling Impeller Horizontal Surface	Fixed Support Frictionless Support
2		160.9		
3		120.3		

배수펌프 임펠러의 축 구동계 구조해석은 구동하는 모터토크에 따른 임펠러 및 축 구동계의 구조적인 안정성을 확인하고자 Table 26에 나타낸바와 같이 3가지 다른 하중조건에 시뮬레이션을 수행하였다. 구조해석 결과로 최대 응력은 80.056MPa, 최대 변형량은 0.177mm의 해석 결과를 확인하였다. 배수펌프 임펠러는 일반적인 강재의 재질들로 구성되어 있으며, 다양한 환경에서 사용하는 시스템으로 안전계수는 2~4 사이일 때 구조적으로 안정성을 갖으며 다양한 구동토크에 따른 구조해석 안전율을 확인한 결과로 최소 안전율은 Case 3인 120.3N m일 때, 1.595로 나타나 권장되는 안전율 기준을 만족함을 확인하였다.

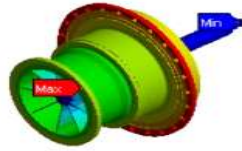
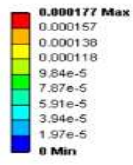
임펠러 축 구동계의 구조적 안전성을 검토한 결과 Figs. 107~109에 나타낸 바와 같이 Case 1인 토크가 207.5N m가해질 때, 임펠러 Edge 부분 하부에서 최대 80.056MPa의 최대 응력이 발생됨을 확인하였으며, 주요 응력 분포는 임펠러의 베인에서 응력이 발생되어 전반적으로 응력을 분산되고 있음을 확인하였다. 최대 변형량의 경우 임펠러의 베인의 상단부에서 발생되어 최대 0.177mm의 변형이 발생됨을 확인하였다. 이러한 결과는 임펠러의 해석을 수행하기 위하여 임펠러 축계 하부의 원통면에 고정조건을 인가함으로써, 유입물에 의한 구조적으로 취약한 임펠러의 베인에서 최대 응력이 발생될 수 있도록 구조해석 환경을 구성하였다.

Case 1~3에서 확인되는 구조적 취약부는 임펠러 Edge 부분 하부, 임펠러의 베인의 상단부이며, 축과 임펠러의 결합조건과 구동하는 모터의 회전력에 의한 전단응력 영향으로 구조 취약부로 판단되며, 구동하는 임펠러 축 구동계의 120.3, 160.9, 207.5N m의 토크일 때 이물질에 의한 회전 정지가 발생되어도 해당 부품의 파손은 발생되지 않아 배수펌프 임펠러의 축 구동계의 구조적인 안정성과 신뢰성은 확보하였다.

Table 26 배수펌프 임펠러의 구조 안전성 평가 결과

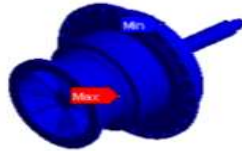
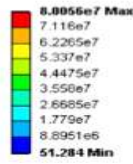
Case	Total Deformation(mm)	Max. Von-Mises Stress(MPa)	Safety Factor
1	0.177	80.056	2.32
2	0.137	62.076	2.99
3	0.102	46.412	4.46

B: 207.5
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: m
 Time: 1



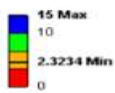
(a) Total Deformation

B: 207.5
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: Pa
 Time: 1



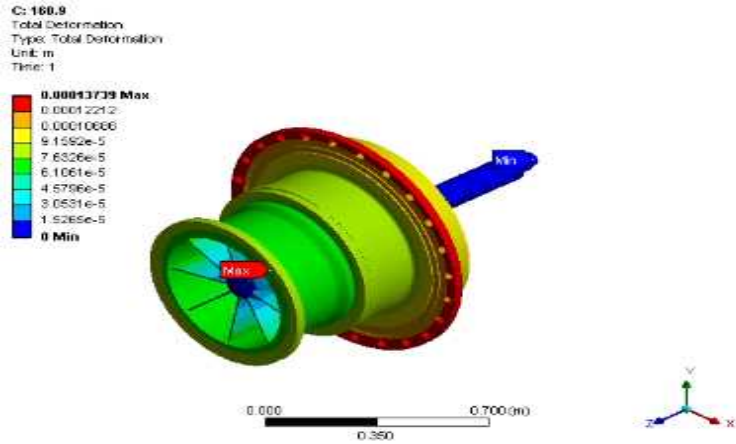
(b) Von-Mises Stress

B: 207.5
 Safety Factor
 Type: Safety Factor
 Time: 1

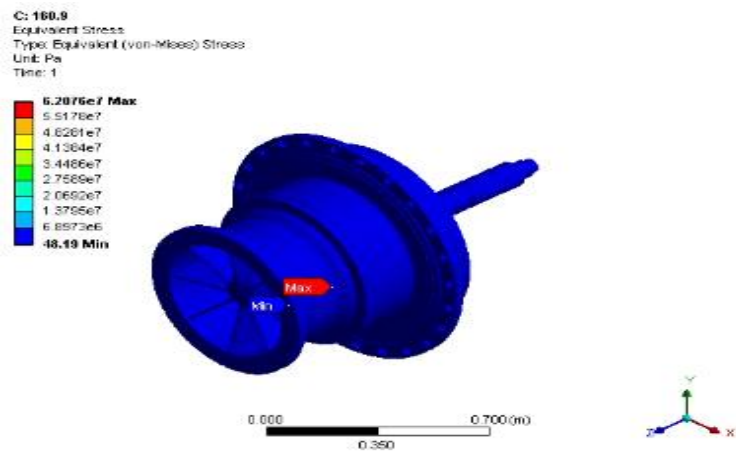


(c) Safety Factor

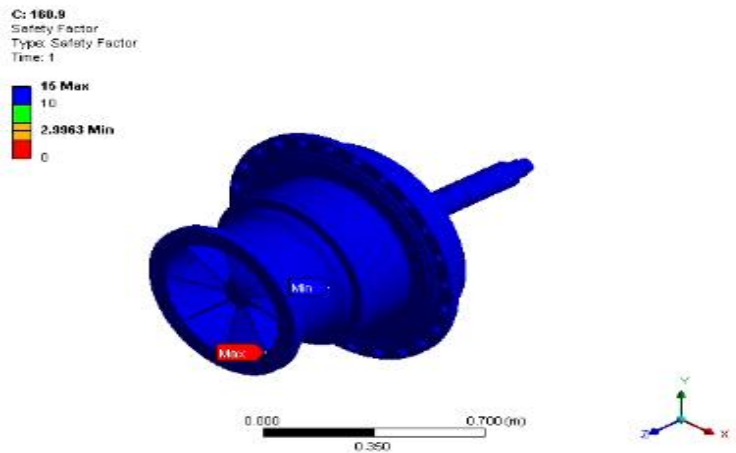
Fig. 107 임펠러 축 구동계의 구조해석 결과(Case 1)



(a) Total Deformation



(b) Von-Mises Stress



(c) Safety Factor

Fig. 108 임펠러 축 구동계의 구조해석 결과(Case 2)

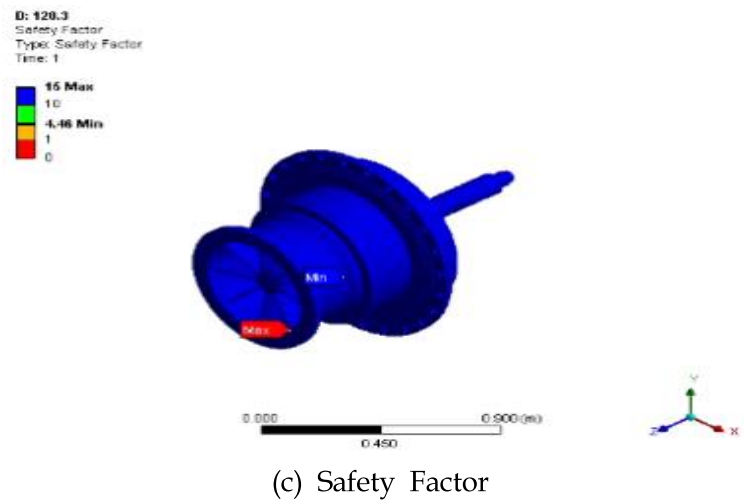
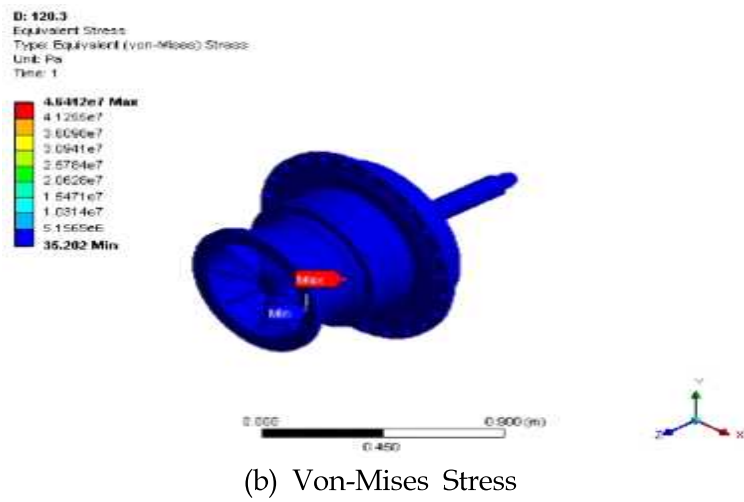
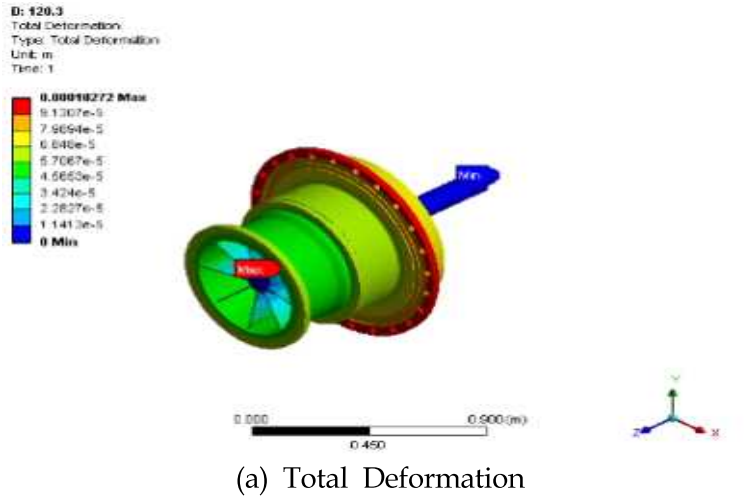


Fig. 109 임펠러 축 구동계의 구조해석 결과(Case 3)

2-6-2. 배수펌프 임펠러의 진동해석

펌프는 회전운동을 하는 모터로부터 동력을 공급받아 작동하기 때문에 주기적 진동과 외부 환경에 따른 진동을 받고 있다. 모터에서 발생하는 진동은 기계요소에 반복적인 하중으로 작용하여 기계부품의 마모 및 소음발생의 주요 원인으로 작용하며, 구조물과 구성품의 수명에 막대한 영향을 준다. 또한 공진과 같이 구조물의 고유진동수와 외부의 가진 진동수가 일치하는 동적 불안전성 현상이 발생하는 경우 전체 기계요소에 치명적인 손상이 발생한다.

본 해석은 기술개발 제품의 이물질로 인하여 임펠러의 회전 정지로 임펠러 및 축구동의 구조해석을 기반으로 구동축계의 구성하고 있는 Fig. 110와 같이 3가지의 임펠러 간격별 모드 형상을 선정하였다. 모터 가진에 의한 공진회피 여부를 판단하고자 하였다. 축 구동계 안전성 평가를 위해 수행된 구조해석에서 사용한 각종 부품의 재질을 동일하게 적용하여 임펠러 간격별 진동해석을 수행하였다.

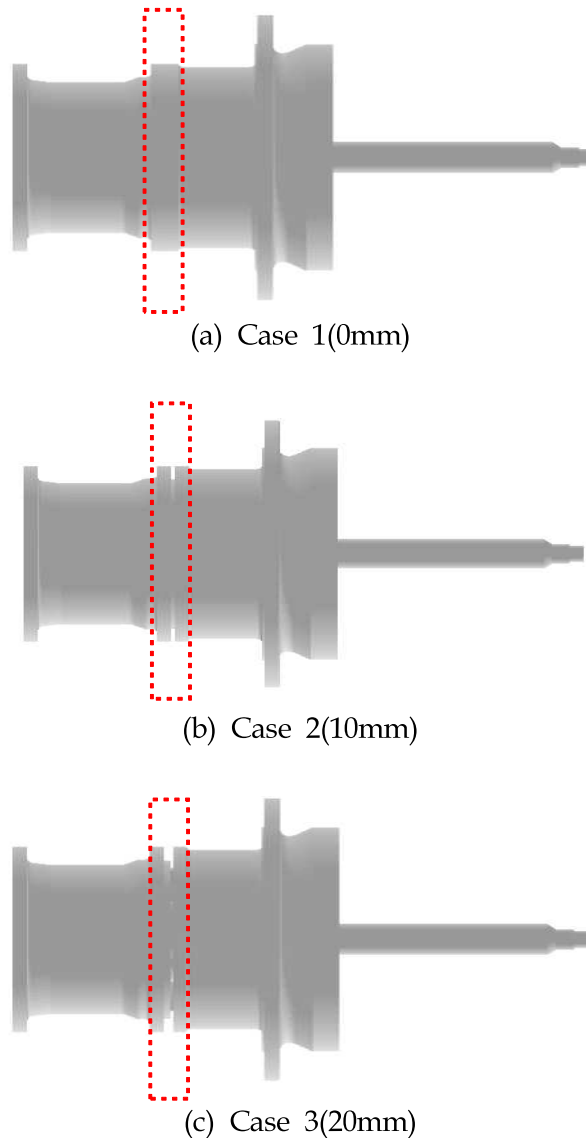


Fig. 110 배수펌프 임펠러 간격별 진동해석을 위한 3D 모델링

먼저 고유진동해석은 제품이 갖고있는 고유진동수와 각 주파수에서의 변형형상을 파악하여 구조물의 공진여부와 진동에 의한 변형형상을 예측하는데 사용되어지고 고유진동해석은 모달해석으로 불리며, 구조물에 감소와 외력이 없는 조건에 대한 자유 진동식은 다음과 같이 나타낸다.

$$x + C\dot{x} + Ks = f \quad (37)$$

또한, 위 식을 고유치를 위한 방정식으로 변경하면, 다음과 같다.

$$(\lambda M + \lambda C + K)ue^{\lambda t} = 0 \quad (38)$$

여기서, λ_i 는 고유치(Eigen Value) 그리고 각 λ_i 에 대해 만족하는 u_i 를 고유벡터(Eigen Vector)라고 표현한다. 수중펌프 구동계의 구조 및 진동해석을 위한 Pre-Processing인 격자생성, 하중조건 및 구속조건인 경계조건 선정 후 해석 Solver로 ANSYS을 사용하여 진동해석을 수행하였다. 유한요소해석에서의 격자는 CAD 모델을 절점(Node)과 요소(Element)로 구성한 해석모델이며, 각각의 Element는 해석하는 물리계의 방정식을 구성하는 매개체 역할을 하게 되므로, 해석 환경에 따라 요구되는 요소들을 설정해야 한다.

배수펌프 임펠러 축 구동계의 해석모델을 기반으로 Element Size를 10mm로 선정하고 Element Type은 Tetra Mesh로 선정하여 Curvature, Proximity를 사용하여 격자의 품질을 향상시키고자 하였으며, 아래에 나타낸 Fig. 111와 Table 27은 임펠러 모델의 격자 생성 결과를 나타내고 있으며, 이와 같은 Element가 구성될 경우 구조해석에 있어 뒤틀려있는 격자를 최소화시켜 과소 및 과대평가 되는 현상을 방지하고 실제 결과와 비슷한 결과를 도출하도록 구성하였다.

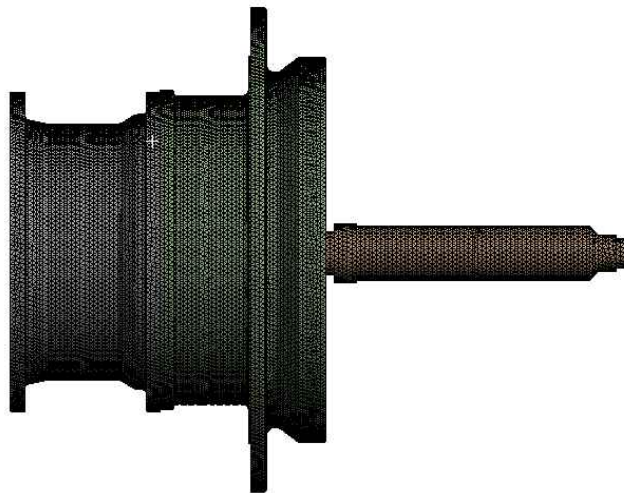
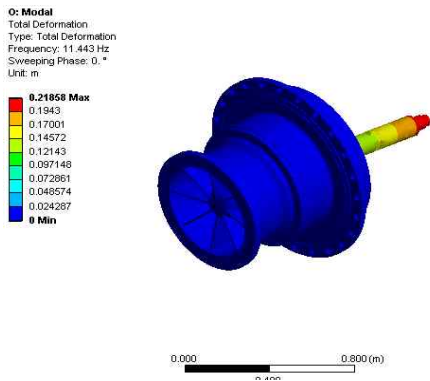


Fig. 111 임펠러 구동 축계 격자 생성

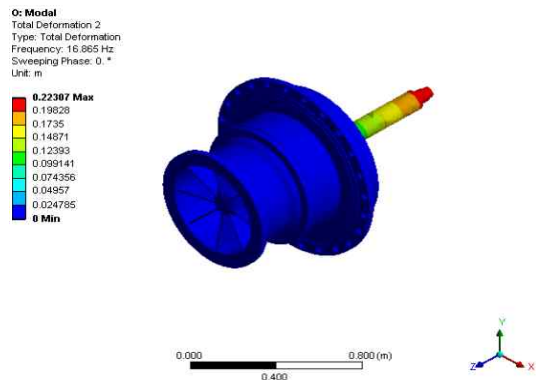
Table 27 진동해석을 위한 격자정보

Element Type	Tetra(Curvature, Proximity)
Element Size	10mm
No. of Nodes	273,382 EA
No. of Element	172,552 EA

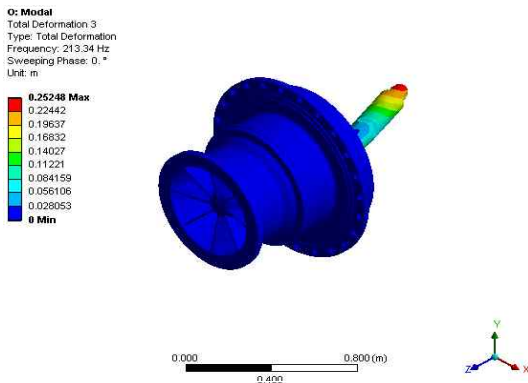
구동 축계의 임펠러 간격에 대하여 모드에 따른 공진 주파수 분석과 모드형상을 검토하고 공진회피 주파수를 제안하고자 고유진동해석을 수행하였으며, Figs. 112~114 및 Table 28에 나타난 바와같이 진동해석은 0mm, 10mm, 20mm로 인가된 임펠러 간격을 기준으로 각각의 고유주파수를 분석하였다. Fig. 115와 같이 산출된 고유주파수를 토대로 Campbell Diagram을 비교·분석한 결과 임펠러 간격별 모든 Case는 구동 모터에서 생성된 주파수와 겹치는 주파수 구간이 발생되지 않아 공진에 대한 위험성은 현저히 낮을 것으로 판단된다.



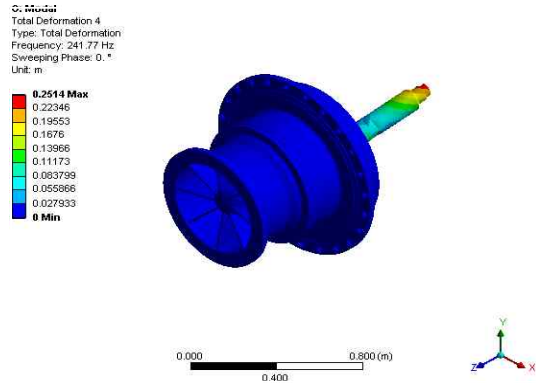
(a) Mode 1(11.443Hz)



(b) Mode 2(16.865Hz)

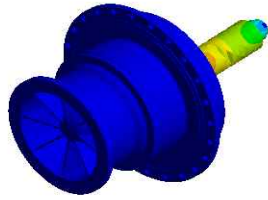
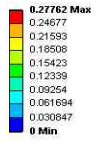


(c) Mode 3(213.34Hz)



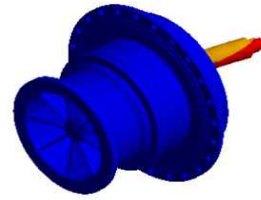
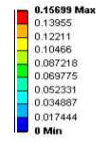
(d) Mode 4(241.77Hz)

O: Modal
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 247.02 Hz
Sweeping Phase: 0.°
Unit: m



(e) Mode 5(247.02Hz)

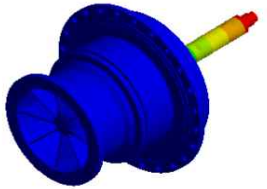
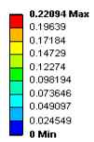
O: Modal
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 493.57 Hz
Sweeping Phase: 0.°
Unit: m



(f) Mode 6(493.57Hz)

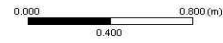
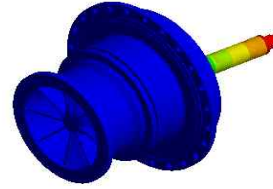
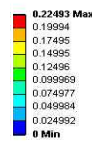
Fig. 112 Case 1(0mm)의 고유진동해석 결과

M: rotational
Total Deformation
Type: Total Deformation
Frequency: 14.684 Hz
Sweeping Phase: 0.°
Unit: m



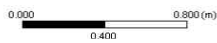
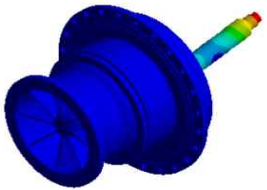
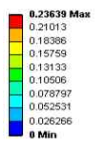
(a) Mode 1(14.684Hz)

M: rotational
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Frequency: 18.33 Hz
Sweeping Phase: 0.°
Unit: m



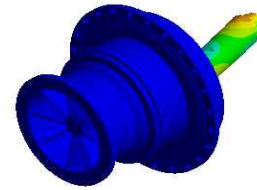
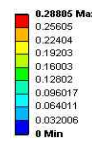
(b) Mode 2(18.33Hz)

M: rotational
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 230.14 Hz
Sweeping Phase: 0.°
Unit: m



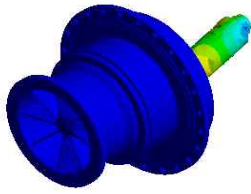
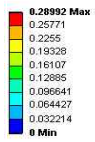
(c) Mode 3(230.14Hz)

M: rotational
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 253.03 Hz
Sweeping Phase: 0.°
Unit: m



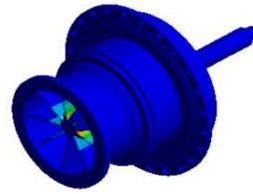
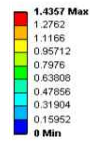
(d) Mode 4(253.03Hz)

M: rotational
 Total Deformation 5
 Type: Total Deformation
 Frequency: 253.44 Hz
 Sweeping Phase: 0.°
 Unit: m



(e) Mode 5(253.44Hz)

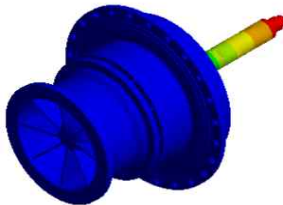
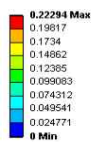
M: rotational
 Total Deformation 6
 Type: Total Deformation
 Frequency: 363.39 Hz
 Sweeping Phase: 0.°
 Unit: m



(f) Mode 6(363.39Hz)

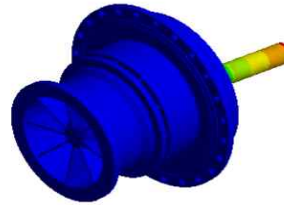
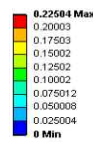
Fig. 113 Case 2(10mm)의 고유진동해석 결과

K: Modal
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Frequency: 16.33 Hz
 Sweeping Phase: 0.°
 Unit: m



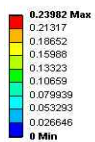
(a) Mode 1(16.33Hz)

K: Modal
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Frequency: 18.191 Hz
 Sweeping Phase: 0.°
 Unit: m



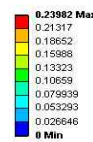
(b) Mode 2(18.191Hz)

K: Modal
 Total Deformation 3
 Type: Total Deformation
 Frequency: 240.14 Hz
 Sweeping Phase: 0.°
 Unit: m



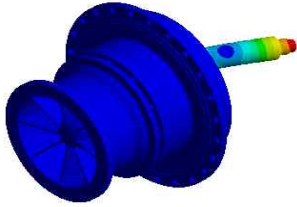
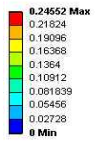
(c) Mode 3(240.14Hz)

K: Modal
 Total Deformation 3
 Type: Total Deformation
 Frequency: 240.14 Hz
 Sweeping Phase: 0.°
 Unit: m



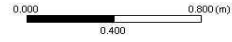
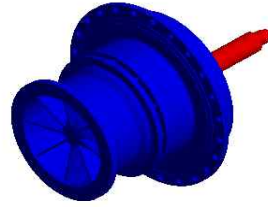
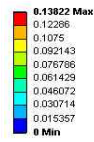
(d) Mode 4(251.36Hz)

K: Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 251.36 Hz
Sweeping Phase: 0. °
Unit: m



(e) Mode 5(255.27Hz)

K: Modal
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 517.75 Hz
Sweeping Phase: 0. °
Unit: m



(f) Mode 6(517.75Hz)

Fig. 114 Case 3(20mm)의 고유진동해석 결과

Table 28 임펠러 간격별 진동해석 결과

해석조건	모드별 공진주파수(Hz)					
	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6
Case 1	11.443	16.865	213.34	241.77	247.02	493.57
Case 2	14.684	18.33	230.14	253.03	253.44	363.39
Case 3	16.33	18.191	240.14	251.36	255.27	517.75

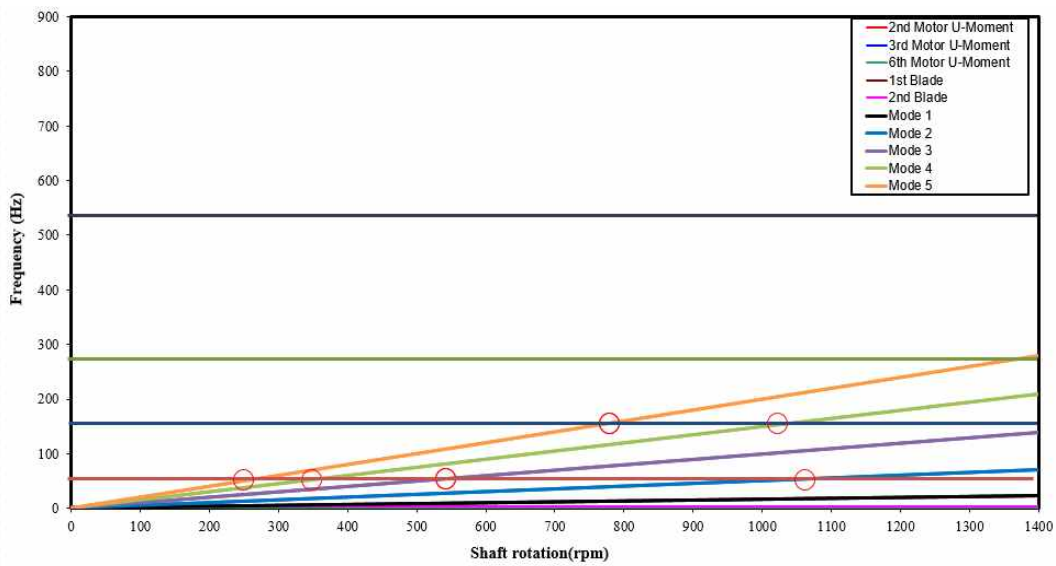


Fig. 115 구동축계 고유진동수에 따른 분석결과

2-6-2-1. 펌프일체형수문시스템 진동해석

수문에서의 진동의 주요 원인은 문비 단면에서의 불완전한 흐름의 분리와 재결합으로 인하여 유체흐름이 문비 하단에서 상류끝단으로 분리되어 문비 하단에서 소용돌이를 칠 때 진동현상이 발생되는데 문비하부의 형상이 사각형인 경우 수류의 불완전한 흐름으로 인한 전단의 불완전성과 와류영향으로 부압이 발생되어 진동이 발생한다. 자력진동의 방지와 구조적 강성 및 수력하중에 견딜 수 있는 충분한 견고함을 고려해야한다. 수문의 아랫부분에서 발생하는 자력진동을 수치적으로 해석하여 와류에 의한 것으로 가정하였으며, 개도가 증가할수록 진동수가 감소 여부를 확인하였다.

플랩게이트를 90°로 개방시켜 요구되는 수위를 확보하며 수위조절을 위해서 플랩게이트를 개방시키며 또한 수문을 보호하기 위하여 수문부를 완전히 개방하는 원리를 가지고 있다. 플랩게이트는 반달모양의 문비가 상승, 하강되는 구조로 수위가 높은 경우 방출량이 증가하여 게이트 후류에서 발생된 와류에 의한 진동이 발생한다. 와류로 발생된 일정주기의 진동은 수문을 가진시키며 가진 주파수(Excitation Frequency)로 정의한다. 해석모델은 플랩게이트로 주요 기구부로 플랩밸브의 문비, 수문부에 연결되는 축으로 된다. 동작은 축을 중심으로 원통형을 회전시켜 수문개폐가 이루어지며 수문 하류의 요구수위는 1m이다. 90° 개방되어 있는 상태로 상류수위인 1m를 유지하며, 수위조절을 위해 수문개도를 조정하여 완전개방 단계까지 유수를 통과시킨다.

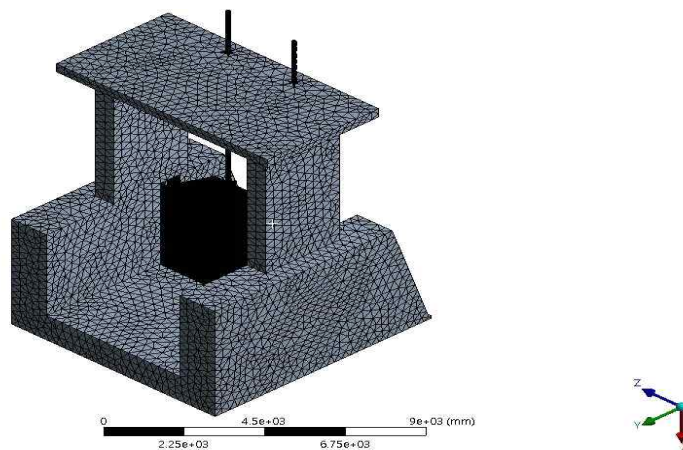


Fig. 116 펌프일체형수문시스템의 격자 생성

플랩게이트의 고유 진동주파수와 고유모드를 찾기 위해 진동해석을 수행하였다. 일반적으로 발생 가능한 모드 개수는 6개이므로 6차까지의 고유진동수와 모드형상을 추출하였다. Fig. 116에 나타낸 바와 같이 격자(Mesh)는 Tetrahedrons 및 Hexahedron를 사용하여 격자를 생성하였으며, 총 절점의 수는 4,873,233개이고 요소의 수는 3,055,695개로 구성되었다. Fig. 117의 1차 모드의 결과부터 6차 모드의 해석결과로 Table 29에 나타내었다.

각각의 고유모드에서 발생하는 진폭은 고유모드가 증가함에 따라 증가하고 있으며 고유진동수가 발생한 범위는 최소 7.644Hz에서 최대 63.32Hz이다. 일반적으로 고유진동수 범위의 판단은 1차모드에서 3차모드까지 값이 유동해석에서 구해진 가진 주파수(7.644Hz, 20%개도)

보다 크거나 작으면 된다. 한국수자원공사의 강제설비 진동해석 가이드라인에는 고유 진동수는 가진 주파수보다 적어도 30~40%이상 크거나 작아야 공진의 영향에 대해서 안정하다고 제시한다. 따라서 1차모드에서 3차모드까지 약 1.7배이상 차이가 나므로 검토한 조건에 대하여 진동에 안정적이라 판단한다.

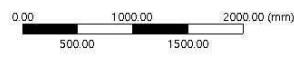
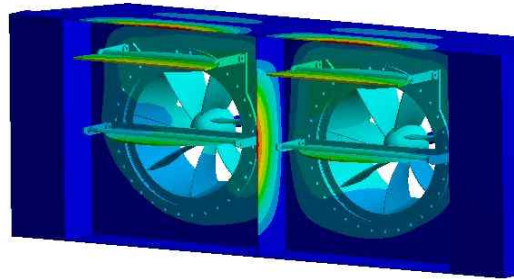
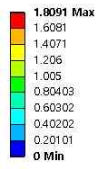
고유 주파수의 1차 모드에서 주파수는 15.84Hz로써 가진 주파수(Excitation Frequency)인 7.644Hz와 비교한 결과 2배 이상 차이가 있어 각각의 주파수가 공진범위를 벗어나는 것을 확인할 수 있다. 즉 수압에 의해 발생하는 가진 주파수와 부가질량이 고려된 플랩게이트의 고유 주파수가 상당한 차이가 난다는 것을 확인할 수 있어 공진영향에 대해 안정적임을 확인하였다.

공진 발생시 케이싱 및 임펠러의 연결부분에서 큰 변위가 예상되지만 고유주기와 가진주기에 차이가 있어 공진에 대하여 안정한 것으로 판단한다. 향후 펌프일체형수문이 설치될 때 회전시 임펠러의 진동해석에 기반하여 진동수보다 고유진동수가 작기 때문에 향후 설치되어도 공진에 안정할 것으로 사료된다.

Table 29 Natural Frequency Results

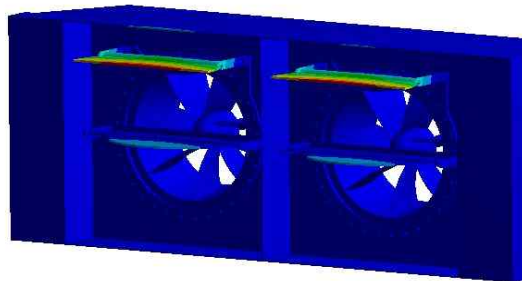
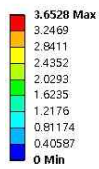
Mode	Frequency[Hz]	Mass Frequency[Hz]	
		20%	50%
1	7.644	15.84	32.92
2	8.581	16.83	34.26
3	9.669	17.27	34.32
4	12.63	19.82	35.10
5	60.68	23.91	37.17
6	63.32	25.01	37.89

E: Modal
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Frequency: 32.921 Hz
 Unit: mm



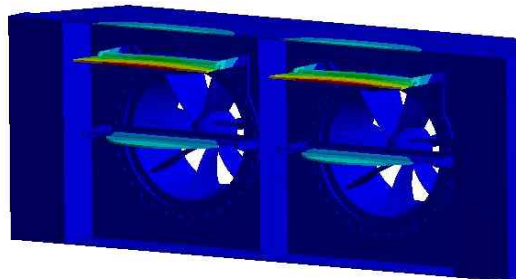
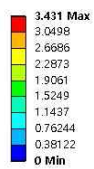
(a) 1st Mode

E: Modal
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Frequency: 34.26 Hz
 Unit: mm



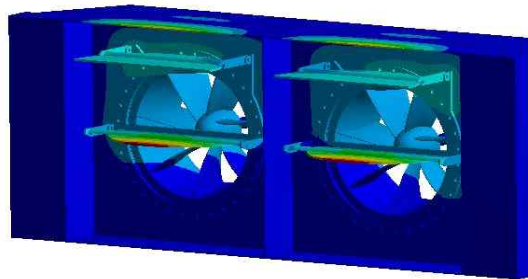
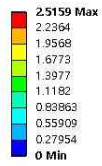
(b) 2nd Mode

E: Modal
 Total Deformation 3
 Type: Total Deformation
 Frequency: 34.321 Hz
 Unit: mm



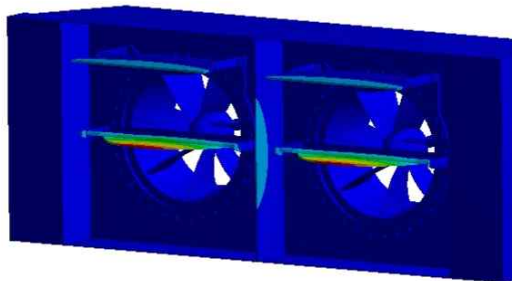
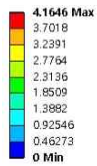
(c) 3rd Mode

E: Modal
 Total Deformation 4
 Type: Total Deformation
 Frequency: 35.103 Hz
 Unit: mm



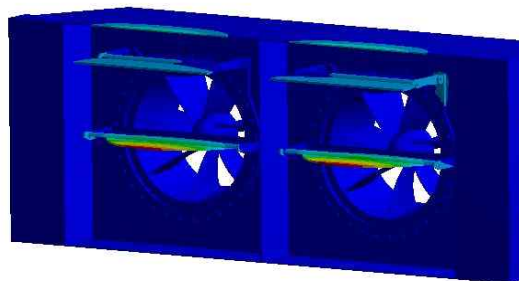
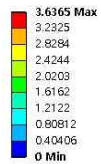
(d) 4th Mode

E: Modal
 Total Deformation 5
 Type: Total Deformation
 Frequency: 37.179 Hz
 Unit: mm



(e) 5th Mode

E: Modal
 Total Deformation 6
 Type: Total Deformation
 Frequency: 37.897 Hz
 Unit: mm



(f) 6th Mode

Fig. 117 진동해석 모드별 형상 특성

2-6-3. 펌프일체형수문시스템 FSI 해석

농지의 침수예방에서 사용되는 펌프일체형수문의 수중 축류 펌프는 비속도가 크고 대유량 저양정이 요구되는 경우에 많이 쓰인다. 원심펌프의 형식과 달리 비속도가 크면 펌프의 회전자 형상이 익형이 다른 형상이 나타난다. 수중 축류펌프는 물속에서 운전하며 모터와 펌프가 일체형으로 되어있으며, 안내케이싱, 흡입케이싱, 프로펠러, 프로펠러 보스, 축, 브라켓, 베어링, 헤드커버 등으로 Fig. 118와 같이 구성되어있다. 구동에 의해 주축 및 프로펠러 보스와 결합되어 있는 프로펠러가 회전하며 흡입케이싱을 통해 유체가 흡입되며, 프로펠러의 회전을 통과하여 안내케이싱, 출구로 이동한다.

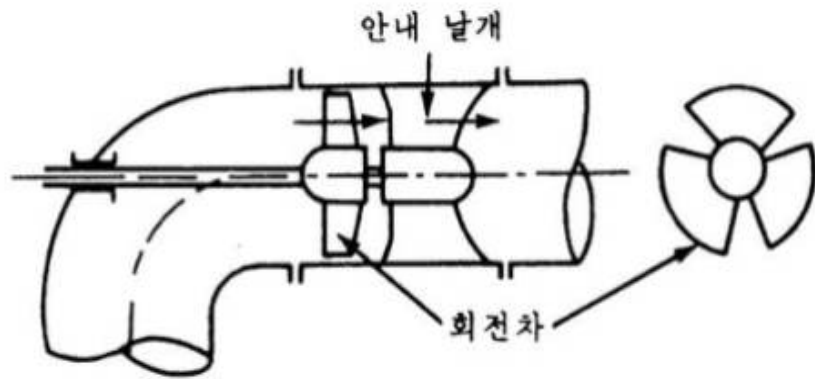


Fig. 118 축류펌프의 구조

FSI 해석은 우리 주변에는 액체의 흐름과 구조체의 운동(혹은 변형)이 상호 작용을 일으키는 경우가 무수히 많이 존재하고, 이러한 상호작용 문제를 유체-구조 연계문제 혹은 전문용어로 FSI문제라고 정의한다. 유체-구조 연계문제에서는 거의 대부분 유체의 흐름에 의해 유발되는 동수압(Hydrodynamic Pressure)이 접하고 있는 구조체에 하중으로 작용하고, 반면 구조체의 움직임은 유체가 차지하고 있는 기하학적 영역을 변화시킨다. 따라서 유체가 구조물에 미치는 동수압은 구조물에 하중 경계조건(Boundary Condition)으로 반영되는 반면, 구조물의 거동은 유체 유동의 경계영역 및 경계에서의 속도로 반영된다. 시스템 내에서 유체와 구조체, 두 가지 해석이 가능하며 구조체의 물질적 특성을 고려하여 해석함으로써, 유체에 의한 구조체의 거동을 보다 정확하게 파악할 수 있는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구를 통해 개발한 펌프일체형수문의 사용처에 기반하여 유체와 구조물의 상호작용이 발생하므로 수문의 구조적 안정성을 평가하기 위해서는 FSI 해석기법을 적용하였으며, Fig. 119은 FSI 해석기법의 개념도를 나타낸다.

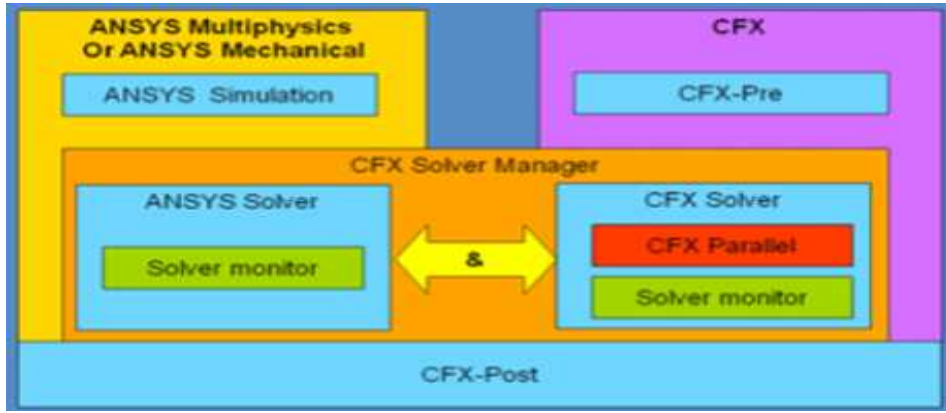


Fig. 119 FSI 해석기법의 개념도

본 과제를 통해 개발된 펌프일체형수문의 구조적 안정성을 확인하기 위해서 범용 유한요소해석용 소프트웨어인 ANSYS 프로그램을 사용하였다. ANSYS 프로그램은 여러 산업분야에서 설계하는 다양한 제품들에 요구되는 성능과 기준을 검증하기 위해 각 분야에 적합한 해석환경을 갖추고 있다. 서로 다른 물리계의 상호작용을 고려하는 다양한 연성해석도 같은 환경 내에서 실행가능하고 유체와 수문인 구조의 상호작용을 고려한 FSI해석을 도입하였다. FSI 해석에 사용된 모델은 3D설계 프로그램인 Inventor를 사용하여 주요 기구부들의 어셈블리를 수행하였으며, Fig. 120는 조립이 완료된 펌프일체형수문의 구성을 나타낸다.

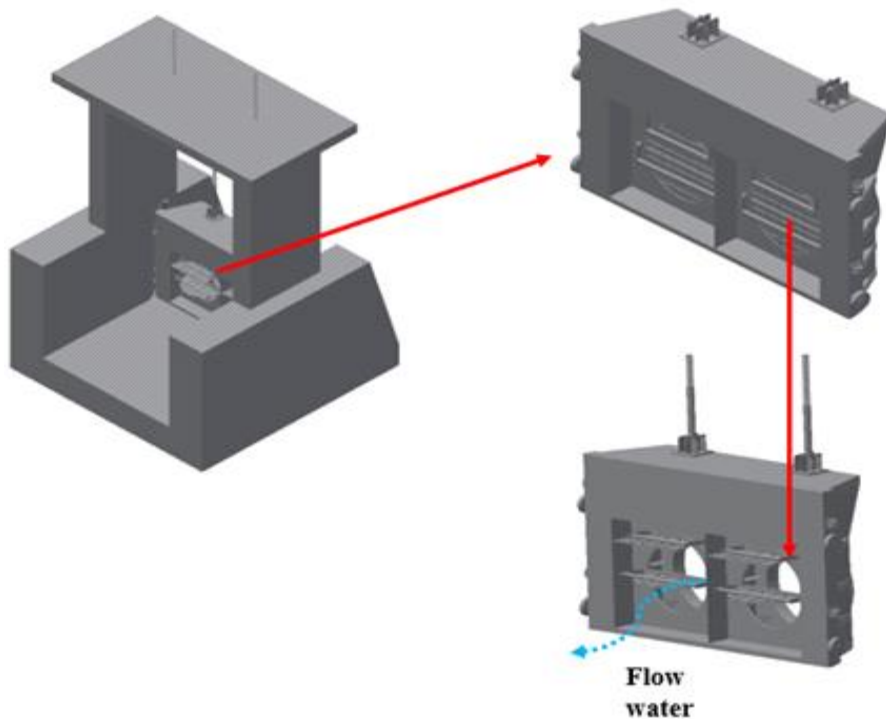


Fig. 120 펌프일체형수문의 구성

다양한 주기의 수력학적, 기계적 가진이 발생하기에 펌프의 고유진동수와 중첩될 때 야기될 수 있는 공진을 회피하기 위한 설계가 필수적으로 요구된다. 이를 위해 실제 환경을 기반한 펌프일체형수문의 고유진동수를 파악해야 하며, 이 때 유체해석과 연계하여 수중에서 운용되는 수차의 특성을 고려하여 유체와 접한 상태의 고유진동수를 구해야 한다. ANSYS를 사용하여 유동-구조, 진동 One-Way 연성해석 방식을 사용하였으며 프로펠러의 작업유체를 고려하여 배수펌프의 임펠러의 유동해석을 진행하였다. 유동 압력에 의한 수문의 구조진동 해석인 FSI해석법을 이용하여 수문의 동적 특성인 수압을 예측하였다. 해석모델로는 펌프일체형수문 시스템을 구성하는 펌프와 수문을 사용하였다. 유동-구조, 진동 One-Way 연성해석의 결과를 분석하였으며 이를 통해 공진현상에 대한 확인을 목표로 하고자한다.

플랩게이트의 성능 파악 및 유동 특성을 해석하기 위해 범용 유한체적해석(FVM) 소프트웨어인 CFX ver. 20.2를 사용하였으며, 전체적인 시스템의 유동장 구현과 유동 특성을 분석하기 위하여 적용한 지배 방정식은 다음 (39)~(40)와 같다.

- 연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_j) = 0 \quad (39)$$

- 시간평균 운동량방정식

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \rho u_i) \\ & = - \frac{\partial}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \right] + p f_i \end{aligned} \quad (40)$$

난류모델은 RANS에 기반을 둔 모델인 k- ω SST을 사용하였다. k- ω SST는 벽면 근처로 갈수록 Standard k- ω 모델을 사용하고, 경계층(Boundary Layer)의 바깥 영역(Outer Portion) 으로 갈수록 k- ϵ 모델의 High-Reynolds-Number Version을 사용하도록 서서히 변화되는 Blending Function을 사용하였다. SST 모델은 일반적으로 역압력구배(Adverse Pressure Gradient) 에서 박리의 시작과 크기를 정확하게 예측하므로 k- ω SST 난류모델을 사용하여 해석을 수행하였다. SST모델은 기존에 사용되어온 $k-\epsilon$ 모델과 Wilcox모델의 장점을 혼합한 모델인 Baseline $k-\omega$ 모델이 난류의 전단응력 전달과정을 정확히 모사하지 못하기 때문에 이를 개선한 모델이다. 그 원인은 과도하게 예측된 Eddy-Viscosity에 있었으며, 정확한 난류 전단응력 전달현상을 예측하기 위해 사용한 식은 다음과 같다.

$$\nu = \frac{\alpha_1 k}{\max(\alpha_1 \omega, F_2)} \quad (41)$$

여기서, $\nu_t = \mu_t / \rho$ 이다, 벽면 경계층을 제한하는 F1과 유사한 F2는 혼합함수이며 S는 변형률과 불변값을 나타낸다. FSI 기법을 활용한 유체-구조 연성해석은 두 개의 독립적인 Solver를 토대로 각각의 결과 값을 교환하는 방식으로 일반적인 자연현상에 가장 근접한 결과를 제공한

다. 해석에 대한 지배유한요소 행렬식(42)~(43)과 같다.

$$] U + [K_s] U = F_s + [R] P \quad (42)$$

$$[M_f] \ddot{P} + [K_f] P = E_f + \rho_0 [R] \ddot{U} \quad (43)$$

식(40)은 $[R]$ 은 유체-구조체의 인터페이스에서 각 절점과 관련된 유효표면적을 나타내는 결합행렬(Coupling Matrix)이며, 법선 벡터의 방향을 고려한다. 유체-구조체 인터페이스에 생성된 유체와 구조물의 하중은 절점자유도가 미지수인 함수이다. 여기서, R 은 결합행렬, ρ_0 는 유체의 밀도, K_s, M_s 는 구조요소의 강성, 질량 행렬, K_f, M_f 는 유체요소의 강성, 질량 행렬, U 는 변위벡터, P 는 압력, F_s 는 구조체의 표면력, F_f 는 유체의 표면력을 나타낸다.

$$\begin{aligned} [M_s] \{\ddot{U}\} + [F_s] \{U\} &= \{F_s\} + [R] \{P\} \\ [M_f] \{\ddot{P}\} + [K_f] \{P\} &= \{F_f\} + \rho_0 [R]^T \{U\} \end{aligned} \quad (44)$$

FSI 해석에 사용된 모델은 3D설계 프로그램인 Inventor를 사용하여 주요 기구부들의 어셈블리를 수행하였다. 유동해석에서 정상상태로 계산된 수중 축류펌프의 표면 압력 값들을 ANSYS CFX를 활용하여 확인하고, 구조해석을 하여 변형량과 등가응력을 계산하였다.

CFD방법에 의해 계산된 시간에 따른 압력변화 값을 Ansys Transient Structural 코드의 입력값으로 넣어서 유체유동으로 유발된 진동을 계산하고자 한다. 해석방식은 유동-구조, 진동 One-Way 연성해석방식을 사용한다. 하서산업(주) 현장에서 적용된 모델을 이용하여 FSI해석 및 구동부품의 사양선정에 활용하였다. FSI해석을 통하여 요구되는 성능과 기준을 검증하기 위해 적합한 해석모델을 다른 물리계의 상호작용을 고려하였다. 물인 유체와 수문인 구조의 상호작용을 고려하여 FSI 해석에 사용된 모델인 Fig. 121는 수중축류펌프의 유체영역의 해석모델을 나타낸다.

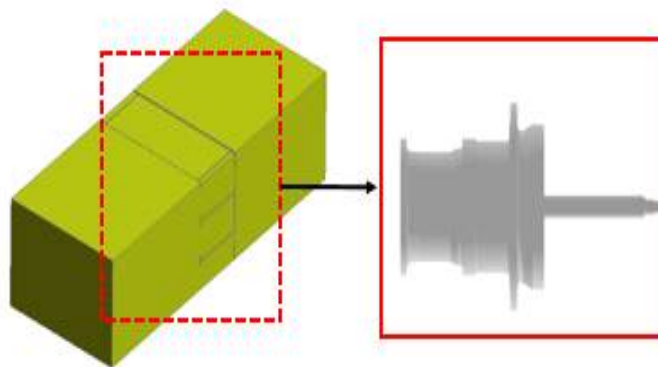


Fig. 121 펌프일체형수문의 구성

FSI해석은 ANSYS사의 CFX와 구조해석을 사용하였으며, CFX 해석에서의 수문 내부 유동장의 정상상태에 대한 계산을 수행한다. 구경 500mm의 수중축류펌프의 프로펠러가 4EA로 구성되며, 회전수 691RPM, 유량은 운전점인 33.0 /min를 갖는다. Table 30에 나타난 펌프일체형수문을 구성하는 각 부품의 재질은 Casing은 GC200, Impeller는 SSC13인 기계적 물성치를 나타냈다.

Table 30 GC200과 SSC13 기계적 물성치

Material	GC200	SSC13
Elastic Modulus (GPa)	105	193
Poisson's Ratio	0.28	0.29
Modulus of Elasticity(GPa)	162	193
Density(g/cc)	7.34	8.00
Yield Stress (MPa)	572	205
Component	Casing	Impeller

Table 31 유동해석을 위한 경계조건 선정

Boundary Condition	Value	Boundary Condition	Value
Domain Type	Fluid Domain	Material	Water
Reference Pressure	1 atm	Water Velocity	1m/s
Domain Length	5.5m		

FSI해석을 수행하기 위해 CFX해석의 해석모델 중 유체 영역은 일반적으로 사용되는 Domain Type으로 설계하였다. Fig. 122에 나타난 바와 같이 Polyhedral Mesh이며, 다면체 격자는 Tetra Mesh보다 50%의 격자 개수를 절감할 수 있으며, 동일한 정확도를 유지하며 탁월한 Quality를 가진다. 사용한 격자의 수는 약 120만개이며, 유동 해석을 위한 유동장은 길이가 5.5m인 사각형으로 구성되어 있다. 수중 축류 펌프 주위의 3차원 비압축성 유동을 계산을 위해 내부 유동을 3차원 정상상태의 난류 유동으로 가정하였으며, 난류모델은 SST로 선정하였다. 사용된 물의 밀도는 $998.2kg/m^3$ 으로 인가한다.

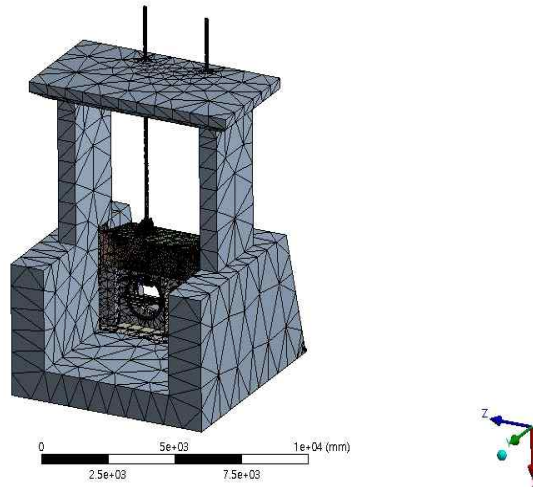


Fig. 122 펌프일체형수문의 격자생성

실제 펌프일체형수문의 사용처인 배수펌프장의 접근 유속 기준으로 1m/s로 선정하였으며, 구조적인 안정성에서 신뢰성을 입증하기 위해 실제 유량보다 20% 높게 적용하여 인가하였다. 경계조건은 흡입구 쪽에 유속을, 토출구 쪽에 유량제어를 위해 Mass Flow Outlet을 인가하였다. 선정한 유속의 유동흐름에 의한 수문에 가해지는 압력 값을 도출하였다. Table 32은 유동해석을 위한 세부적인 해석조건을 나타내며, Fig. 123은 펌프와 일체된 수문에 작용하는 압력을 확인하기 위하여 설정한 Domain Type을 나타낸다.

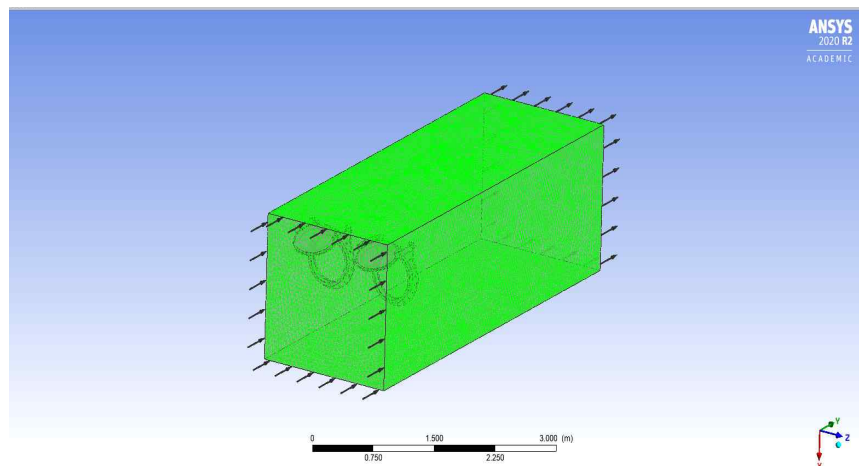


Fig. 123 유동해석을 위해 설계한 Domain Type(Fluid)

축류팬의 구조와 진동을 해석하기 위하여 정상상태를 계산하였다. 유동해석을 수행한 결과, 본체에 발생하는 속도분포는 Fig. 124과 같으며, 유체의 유동으로 인해 발생하는 최대속도 7.429m/s로 계산되었다. 유동해석 결과 플랩게이트 후면부에 최대압력이 작용하였다. 유동해석 결과로 도출된 압력데이터를 구조해석의 동일한 부분에 적용하여 하중데이터를 매핑(Mapping)하였다.

Fig. 125는 유동해석의 결과를 구조 해석의 입력조건으로 설정한 사항으로 유체 유동에 의한 펌프일체형수문의 내부 압력분포이다. 본체와 밸브가 연결되는 부분에 최대 압력 0.021MPa이

발생하였다. 산출된 유동해석 결과인 유동영역과 구조영역의 경계면에서 발생하는 압력 데이터를 구조해석 모델과 매핑하여 하중이 전달되도록 하였다. 실제 환경과 비슷한 조건에서 해석을 수행하기 위해 해석모델의 경계조건으로써 Standard Earth Gravity를 -Z방향으로 적용하였으며, 밑바닥 면을 Fixed Support로 구속하였다.

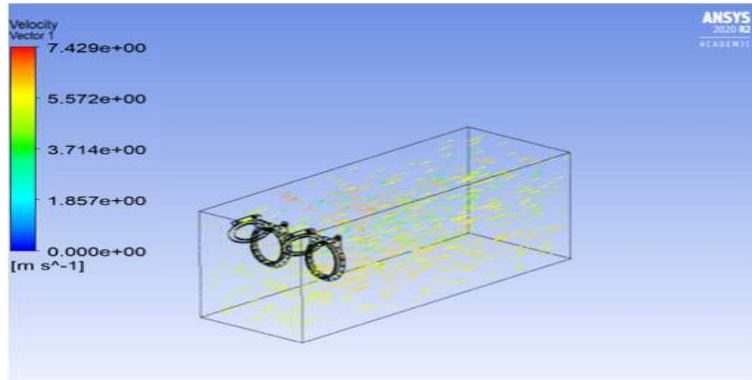


Fig. 124 유동해석 결과 (Velocity Distributions)

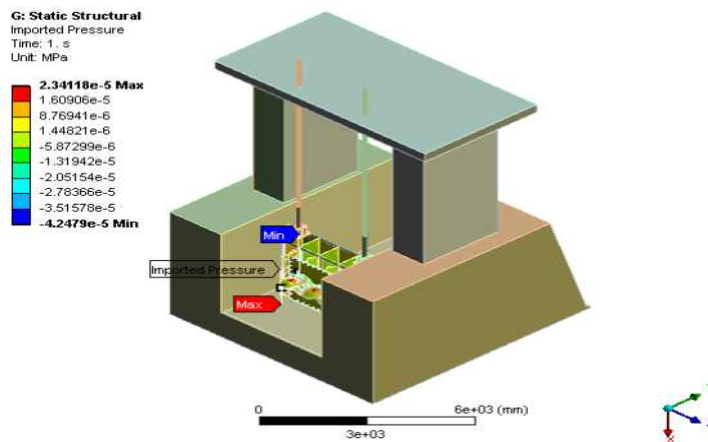


Fig. 125 유동해석으로부터 추출된 압력값

유동해석에서 정상상태로 계산된 수중 축류펌프의 표면 압력값들을 Ansys Transient Structural 코드의 입력하여 구조해석을 하여 변형량과 등가응력을 계산하였다. 펌프일체형수문의 FSI해석 결과인 Fig. 126과 같이 총 변형량은 플랩게이트 상단부의 플랩밸브에 2.0989mm의 미세한 변형을 확인하였다.

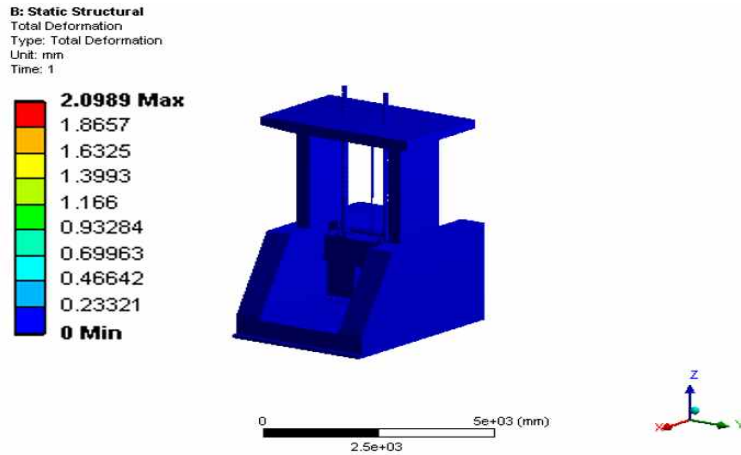


Fig. 126 펌프일체형수문의 Total Deformation

Fig. 127에 나타난 바와 같이 최대응력 확인결과 플랩밸브 및 플랩게이트 체결부위에서 최대 응력 67.178MPa이 작용함을 확인하였다. 펌프일체형수문에 발생하는 최대 응력이 Table 30로부터 구조물의 재료인 SSC13의 항복강도는 약 205MPa이므로 펌프일체형수문시스템은 안정성이 확보되었다고 판단하였다.

주요 수문부의 안전을 확인 결과 Fig. 128와 같이 최대응력이 발생한 지점과 동일한 지점은 유동에 의해 직접적으로 수문의 배수구동이 이루어지는 수문과 펌프의 결합된 후면부가 3.8113로 최소 안전율을 확인할 수 있었다. 일반 기계구조용 강재의 허용안전율 기준 2.0을 만족하는 수준으로 펌프일체형수문시스템의 구조적 안전성을 입증하는 결과를 확인하였다.

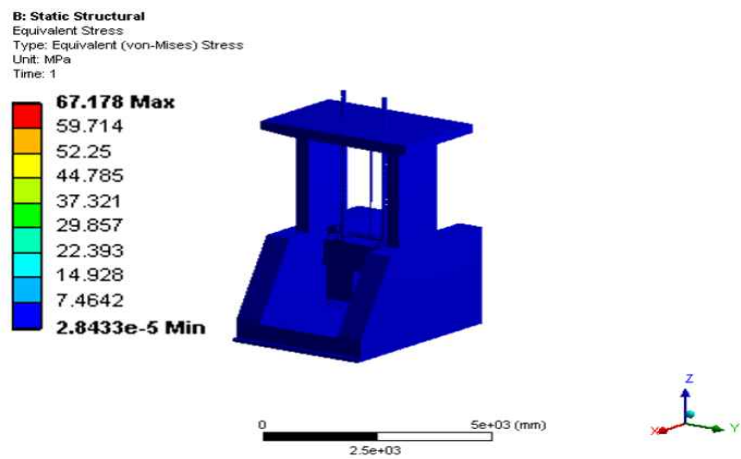


Fig. 127 펌프일체형수문의 Equivalent Stress

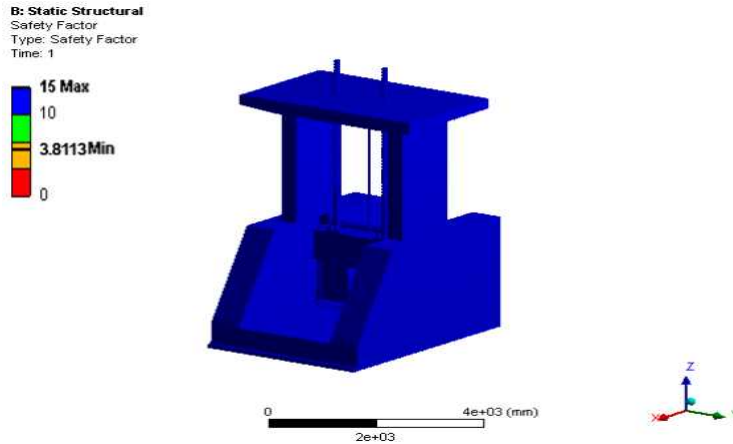


Fig. 128 펌프일체형수문의 Safety Factor

유동-구조, 진동 One-Way 연성해석방식을 사용하여 유체유동으로 유발된 진동을 계산하였다. 프로펠러의 표면에 작용하는 응력은 블레이드 회전에 의한 원심력과 유체의 압력의 영향을 받는다. 수문과 결합된 프로펠러의 최대응력의 분포는 허브에서 최대 응력이 발생하며 프로펠러 보스의 근처로 갈수록 응력이 줄어든다. 프로펠러가 회전하면서 익형에 정체되어 가장 큰 압력을 받는다. 반면에 응력은 프로펠러가 고정되어있는 부분에서 가장 적게 영향을 받는다. 구조적인 계산으로 시간에 따른 프로펠러 표면의 응력변동 곡선은 수중 축류펌프의 표면응력이 주기적으로 변화되며 진동을 유발하는 것을 확인하였다.

이러한 프로펠러 표면응력 변동의 계산결과는 앞서의 유속의 변동의 계산결과와 같은 주기 (0.02sec)를 가지고 동기화되어 있는 것으로 보이며, 이는 수중 축류펌프의 표면에 진동이 유속의 변동에 의해 발생된다. 이때 진동의 최대 진폭은 250kPa 에 이른다. Fig. 129은 수중축류펌프의 계산한 시간에 따른 압력변화를 나타내었으며, 주기적인 압력분포가 나타난다. 선정된 일반 강재의 특성에 따라 프로펠러가 회전하면서 익형에 정체되어 가장 큰 압력을 받게 되고, 고유 과도 상태를 지나 주기 특성을 나타낸다. Table 32와 Figs. 130~131에 유동-구조, 진동 One-Way 연성해석 방식을 사용하여 펌프일체형수문의 고유진동수 및 모드에 따른 결과를 나타낸다.

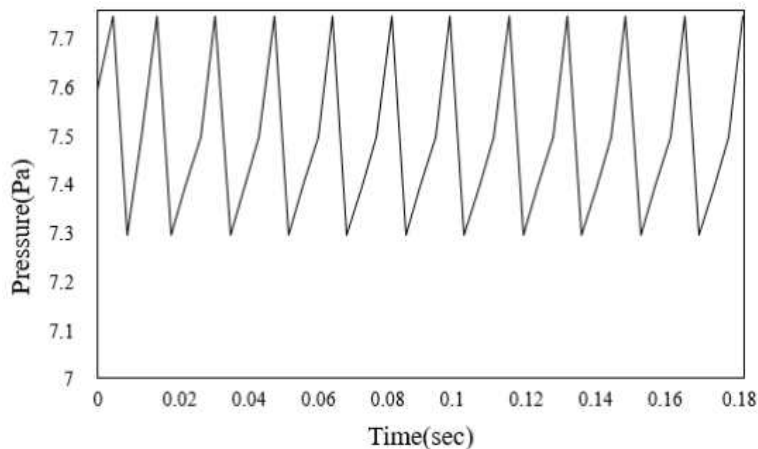


Fig. 129 Pressure Distributions of Time Variations

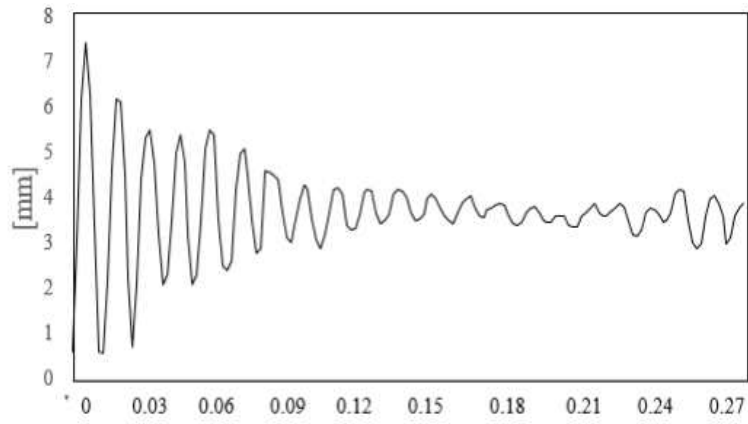
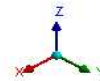
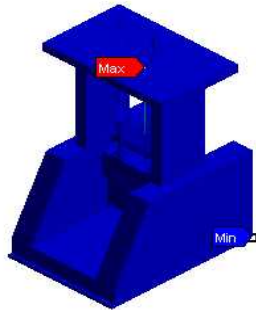
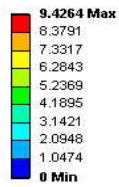


Fig. 130 Displacement Distributions of Time Variations

Table 32 유동-구조 및 진동 One-Way 연성해석의 모드별 고유진동수

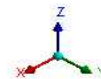
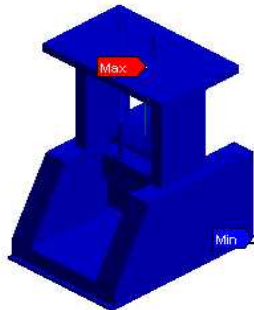
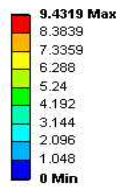
Mode	Frequency[Hz]
1	4.1697
2	4.1720
3	9.1862
4	9.8860
5	18.399
6	26.136

C: Modal
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Frequency: 4.1697 Hz
 Unit: mm



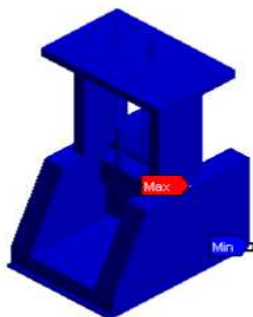
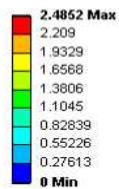
(a) 1st Mode

C: Modal
 Total Deformation 2
 Type: Total Deformation
 Frequency: 4.172 Hz
 Unit: mm



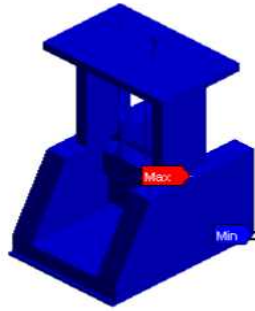
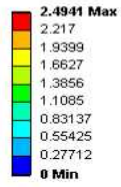
(b) 2nd Mode

C: Modal
 Total Deformation 3
 Type: Total Deformation
 Frequency: 9.1862 Hz
 Unit: mm



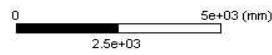
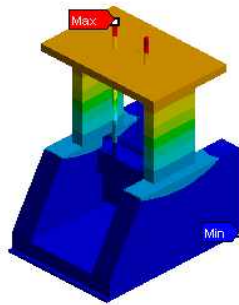
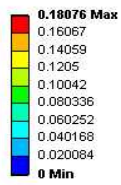
(c) 3rd Mode

C: Modal
 Total Deformation 4
 Type: Total Deformation
 Frequency: 9.886 Hz
 Unit: mm



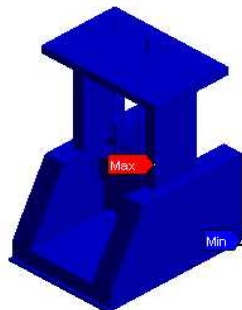
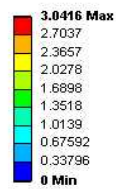
(d) 4th Mode

C: Modal
 Total Deformation 5
 Type: Total Deformation
 Frequency: 18.399 Hz
 Unit: mm



(e) 5th Mode

C: Modal
 Total Deformation 6
 Type: Total Deformation
 Frequency: 26.136 Hz
 Unit: mm



(f) 6th Mode

Fig. 131 유동-구조 및 진동 One-Way 연성해석 모드별 형상 특성

2-6-4. 성능확인 및 성능향상 도모를 위한 유동해석

수문에 장착이 가능한 펌프를 개발하기 위해서 먼저 수문의 개폐에 간섭이 적어야 하며 좁은 공간에서도 발전이 가능이 요구된다. 하지만 농업용 보에 설치하는 수문의 구조상 협소한 공간으로 유체의 안정성을 확보하기 위한 드래프트 튜브 설치가 거의 불가능한 실정이나 장소에 구애받지 않고 개발 목표인 펌프일체형수문을 개발하였다.

특히 축류펌프를 수문에 장착하여 수문의 역할과 수문의 역할을 동시에 수행할 수 있는 펌프일체형수문 개발에 성능확인 및 임펠러의 구조적 형상 변경을 통한 성능향상 도모를 위해 CFD해석을 수행하였으며, 해석 시 사용되는 모델은 주관기관인 하서산업에서 초기 설정한 설계를 바탕으로 모델링하여 해석을 진행하였다.

1) 유동 지배방정식

임펠러 블레이드의 성능 파악 및 특성을 해석하기 위해 범용 유한체적해석(FVM) 소프트웨어인 ANSYS CFX ver. 19.2를 사용하였으며, 전체적인 시스템의 유동장 구현과 유동 특성을 분석하기 위하여 적용한 지배 방정식은 다음과 같다.

- 연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_j) = 0 \quad (45)$$

- 운동량 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \rho u_i) = - \frac{\partial}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + S_u \quad (46)$$

- 에너지 방정식

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho H - P) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j H) = \frac{\partial}{\partial x_j} (k \frac{\partial T}{\partial x_j}) - \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j \tau_{ij}) + S \quad (47)$$

상태방정식 $\rho = \rho(P, T)$, 점성계수와 변형률의 함수로서 응력텐서의 응력-변형률 관계, 그리고 $h = h(P, T)$ 가 방정식에 추가된다. 난류유동은 와점성(Eddy Viscosity)이 추가되고 방정식은 레이놀즈 평균 물리량에 대하여 계산하며, 방정식의 일반적인 형태는 동일하다.

2) 난류모델

난류모델은 RANS에 기반을 둔 모델인 $k-\omega$ SST을 사용하였다. $k-\omega$ SST는 벽면 근처로 갈수록 Standard $k-\omega$ 모델을 사용하고, 경계층(Boundary Layer)의 바깥 영역(Outer Portion)으로 갈수록 $k-\epsilon$ 모델의 High-Reynolds-Number Version을 사용하도록 서서히 변화되는 Blending Function을 사용하였다. SST 모델은 일반적으로 역압력구배(Adverse Pressure Gradient)에서 박리의 시작과 크기를 정확하게 예측하므로 $k-\omega$ SST 난류모델을 사용하여 해석을 수행하였다.

SST 모델은 기존에 사용되어온 $k-\epsilon$ 모델과 Wilcox 모델의 장점을 혼합한 모델인 Baseline $k-\omega$ 모델이 난류의 전단응력 전달과정을 정확히 묘사하지 못하기 때문에 이를 개선한 모델이다. 그 원인은 과도하게 예측된 Eddy-Viscosity에 있었으며, 정확한 난류 전단응력 전달현상을 예측하기 위해 다음과 같다.

$$= \frac{\alpha_1 k}{\max(\alpha_1, \omega, F_2)} \quad (48)$$

여기서, $\nu = \mu_t / \rho$ 이다, 벽면 경계층을 제한하는 F_1 과 유사한 F_2 는 혼합함수이며 S 는 변형률과 불변값을 나타낸다.

축류 펌프의 경구 캐비테이션과 마모가 실제 사용 측면에서 매우 중요한 요소이므로 실용적으로 캐비테이션의 예측 및 유동해석을 수행하였다. Case는 NACA Airfoil 4412와 하서산업에서 제공한 도면을 기초로 임펠러의 날개 극수를 반영한 해석 모델을 Fig. 132에 나타내었으며 해석모델의 3D유동해석은 ANSYS CFX ver. 19.2 프로그램을 사용하여 펌프의 임펠러 날개수는 4개, 회전하는 임펠러와 입구 및 출구의 Interface는 Rotor-Stator Interaction로 설정하였다.

난류모델은 SST (Shear Stress Transport) $k-\omega$ 모델을 사용하였으며 경계조건으로서 임펠러는 회전영역으로 설정하여 회전속도는 440RPM로 적용하였으며 입구부에 질량유량조건을 주었고 출구부에는 전압력을 설정하여 해석을 진행하였다. 해석모델을 구성할 때 Case에 따른 성능 경향을 확인하기 위한 해석을 수행하므로, 나머지 입출구의 메쉬 및 모델링은 생략하여 작성하였다.(Fig. 133 참조) Fig. 134과 같이 격자생성 전문 툴인 ANSYS ICEM CFD를 사용하여 hexa 격자로 모델링을 구성하였으며, 격자수에 따른 펌프성능을 나타낸 Fig. 135을 비교한 결과 임펠러의 격자수는 2.5×10^6 개로 적용하였다.

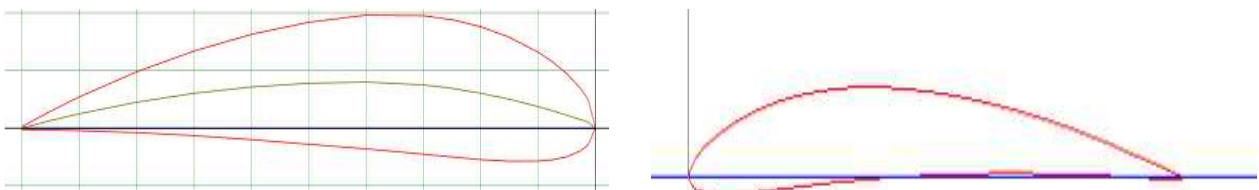


Fig. 132 NACA Airfoil 4412와 해석 모델 설계

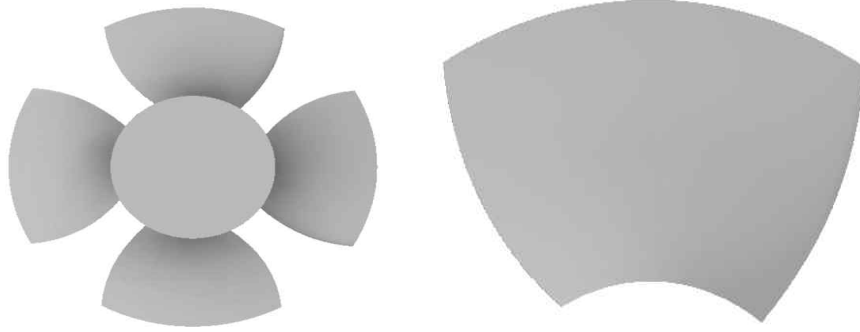


Fig. 133 Hydrofoil의 형상

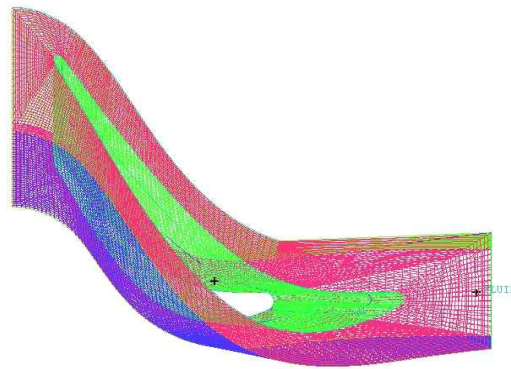


Fig. 134 Case에 따른 부분별 격자 생성

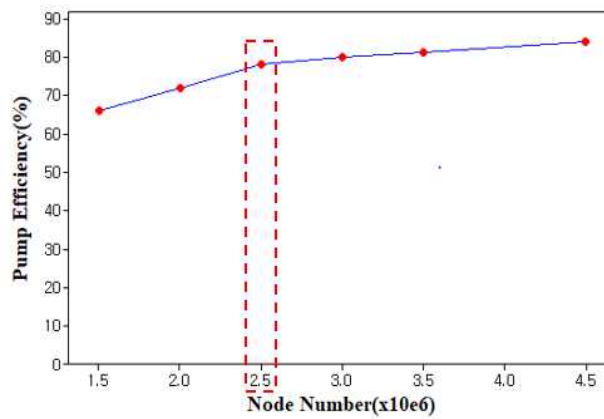


Fig. 135 격자생성에 대한 해석모델의 성능 계산 비교

NACA 계열의 Airfoil 기반과 하서산업에서 제공한 도면을 기초로 임펠러의 날개 극수를 변경하여 CFD해석을 수행하였으며, 펌프의 성능으로 효율과 양정으로 나타낸다. Case별 펌프의 효율에 미치는 영향을 분석하였으며 효율이 상승하는 경향을 보이고 있다. 하서산업에서 개발한 수문을 기초로 임펠러의 날개인 Case 2의 성능이 우수함을 확인하였으며, 또한 하서산업에서 개발한 임펠러의 날개와 연계한 Case 1을 기준으로 백분율을 계산하였다. Fig. 136은 시뮬레이션 결과를 그래프로 나타낸 것이다.

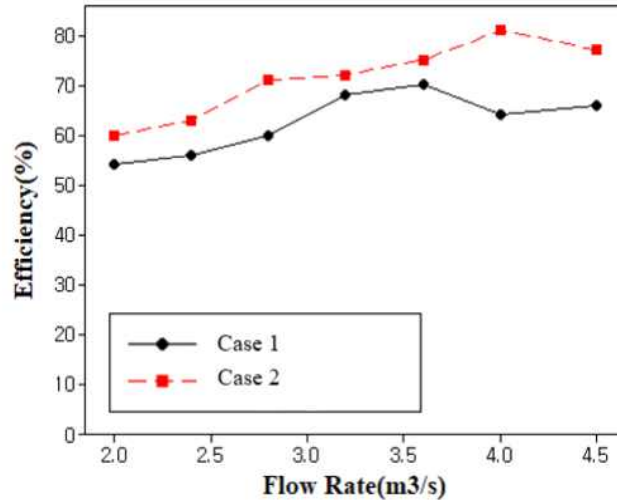


Fig. 136 Case에 따른 성능 곡선 비교

CFD분석의 캐비테이션 모델은 캐비테이션의 흐름을 물과 공기 혼합물의 유체를 기반으로 가정한다. Fig. 137은 Case 2의 캐비테이션을 보여주는 모델로서 캐비테이션 분석을 임펠러 블레이드에서 발생할 수 있는 영역을 조사하기 위해 수행하였다. 물의 “0”의 값, 수증기(공기)의 값은 “1”의 값으로 설정하여 하나의 유체영역으로 설정하였다. 이 값은 캐비테이션 발생의 가능성을 분석하고 임펠러 표면에서 캐비테이션이 나타날 수 있는 영역을 확인할 수 있었다.

또한, 최고 효율점에서의 수중축류 펌프의 임펠러의 날개에서의 Water Volume Fraction의 분포도를 나타낸다. 부피의 비율의 1값은 기포가 완전히 형성되는 값이며 캐비테이션이 발생하는 지점이고 0을 나타내는 지점은 물만이 존재함을 확인하였다. Fig. 138와 같이 캐비테이션 분석 결과로 Edge상의 작은 영역에서는 0.15의 값을 나타낸다. 결론적으로 모두 캐비테이션 발생 가능성이 매우 낮은 것으로 판단된다.

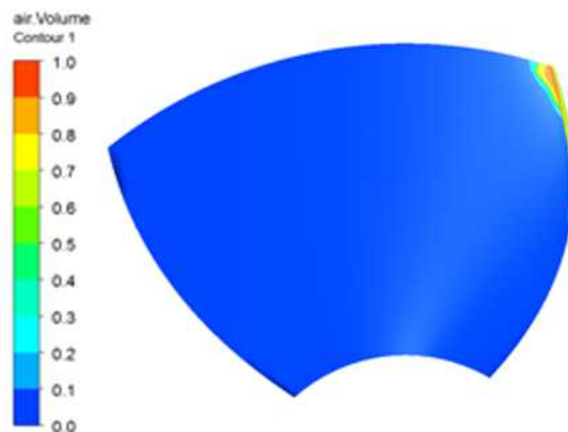


Fig. 137 해석모델의 Water Volume Fraction Contour

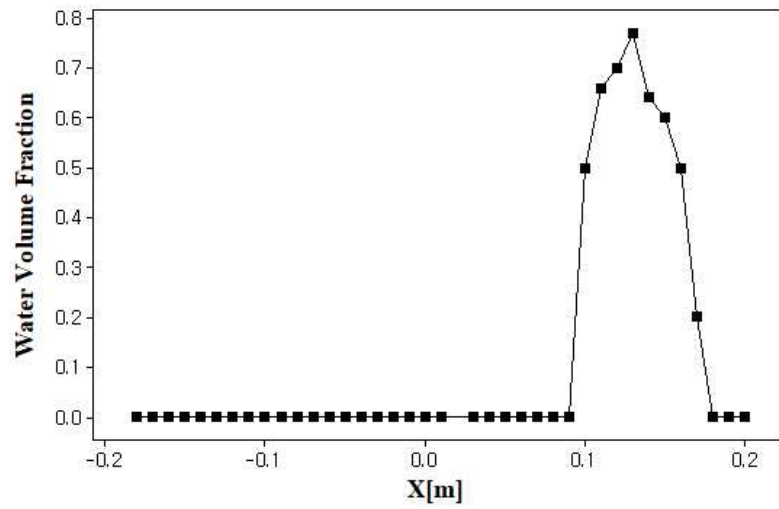


Fig. 138 X의 위치에서 Water Volume Fraction Contour 분석

본 연구는 흡입하는 유동을 안내하는 회전 날개 앞단에 설치하는 흡입 케이싱에 펌프운전 중 발생하는 캐비테이션 방지를 위해 설치하는 입구 안내깃(Inlet Guide Vane)에 관한 것이다. 흡입 시 충격 손실에 의한 효율 저하를 개선하기 위한 펌프 흡입구 안내깃에 대한 해석을 진행하고자 축류 펌프에 대한 흡입케이싱을 연결하였다.

캐비테이션 방지 측면에서 사용하여 왔던 안내깃을 운전 중 펌프의 효율을 최대화하는 측면에서 최적화 설계된 형상과 운전조건을 찾아보는 것을 연구를 수행하였다. 이를 위해 흡입 케이싱에 고정 안내깃이 장착되어 있는 기존의 유량 $230\text{m}^3/\text{min}$ 급 축류 펌프를 대상으로 전산 유동해석을 통해 흡입 케이싱 입구 안내깃에 대한 해석을 수행하였다.

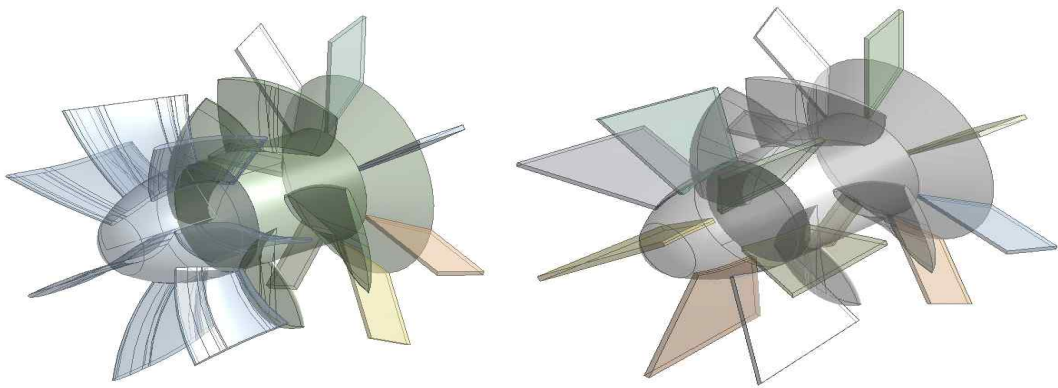


Fig. 139 축류 펌프의 안내깃과 자오면 3차원형상

Fig. 139은 축류 펌프의 안내깃과 자오면을 3차원형상으로 나타낸 것이다. IGV는 최적화 형상으로 나타내었으며 자오면 변수 중에서 변화 가능한 변수는 안내깃의 각도만을 정의하였다. Fig. 140는 날개의 각도 및 길이를 쉽게 표현한 날개 전개도이다. 안내깃을 구성하는 설계 변수로 수중축류 펌프의 안내깃의 길이, 보스 직경은 일정한 값으로 고정한 채 임펠러의 스윙 각()만을 변화시키면서 이 값이 펌프의 성능에 미치는 영향을 확인하였다. 안내깃의 허브 및 슈라우드의 입사각 및 안내깃의 출구에서 허브 및 슈라우드의 출구각을 나타내었다. 먼저 IGV의 각도는 0° 일 때 Case 1 그리고 40° 로 변경한 모델은 Case 2로 정의하여 시뮬레이션을 수행하였다.

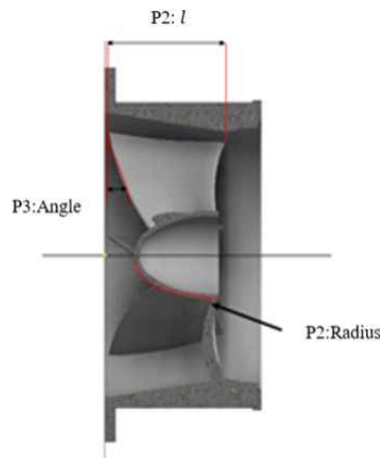


Fig. 140 날개의 각도 및 길이의 전개도

Fig. 141에 나타낸바와 같이 해석 모델은 입구, 출구, Inlet Guide Vane, 임펠러, Outlet Guide Vane을 포함한다. 자생성 전문 툴인 ANSYS ICEM CFD를 사용하여 hexa 격자로 모델링을 수행하였으며, O-grid를 활용하여 임펠러의 블레이드와 베인의 곡면에 적용하였다. 해석모델의 격자는 Fig. 142과 같이 나타난다. 경계조건으로 Inlet Guide Vane의 입구부에 대기압을 주었고 안내깃 출구부에는 Static Pressure를 설정하여 해석을 진행하였다. 임펠러의 영역과 Inlet Guide Vane, Outlet Guide Vane의 상호작용을 설정하는데 Rotor-Stator Interaction을 설정하였다.(Table 33 참조)

실제와 같은 해석결과 값을 얻기 위해 펌프 벽면의 표면 거칠기(Equivalent Sand-Grain Roughness) 0.2mm를 설정하여 해석을 수행하였다. 회전속도는 460Rpm으로 설정하여 해석을 진행하였다. 해석모델을 IGVS에 따른 성능을 확인하기 위한 해석을 수행하므로, 나머지 케이싱 및 임펠러, 입출구의 격자 및 모델링은 생략하였다. Table 34은 해석모델의 매개변수를 나타낸다.

Table 33 유동해석을 위한 경계조건

Parameter	Analysis Setting			
Solver Type	CFX Analysis			
Flow Rate	307	384	460.8	552
Turbulence Model	Shear Stress Transport(SST) Model			

Table 34 해석모델의 매개변수

Parameters	Values
Impeller Tip Diameters (m)	0.5
Rotational Speed (Rpm)	466
Number of Inlet Guide Vain	6
Number of Blade	4
Number of Outlet Guide Vanes	7
Design Flow Rate(m ³ /min)	230
Design Head H(m)	4
Design Efficiency	78

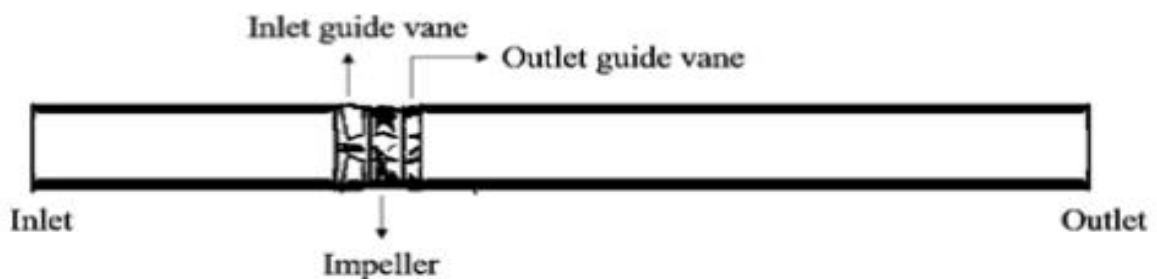


Fig. 141 해석 모델의 구성

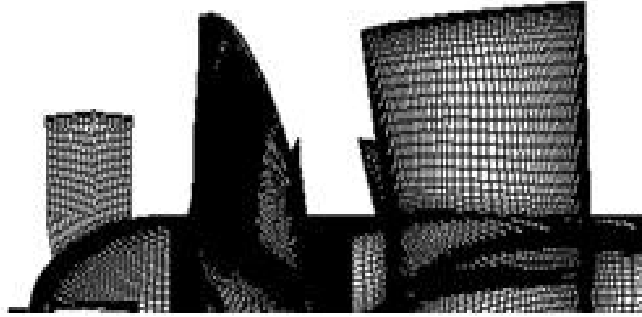
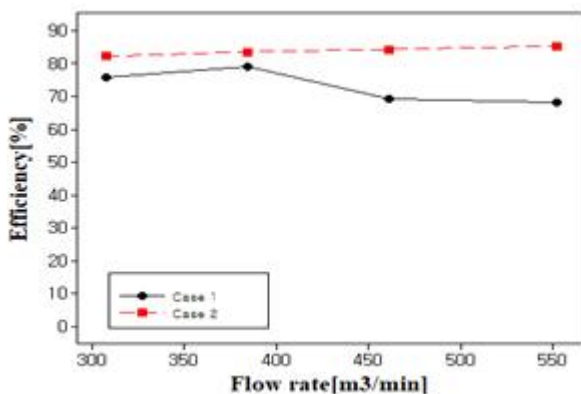


Fig. 142 해석 모델의 격자생성

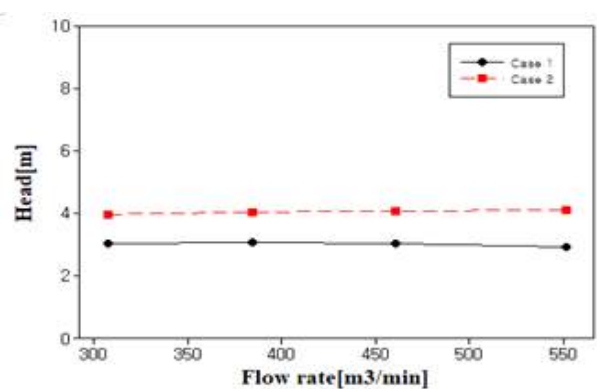
Table 35 해석 모델의 격자생성

Flow Rate	Simulation Head		Simulation Efficiency	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
307	3.04	3.97	75.88	82.16
384	3.06	4.05	78.92	83.51
460.8	3.02	4.07	69.02	84.27
552	2.91	4.12	68.01	85.33

최대 효율을 목적으로 하서산업에서 개발한 흡입·토출 케이싱의 날개를 가진 데이터를 기준한 안내깃이 설치된 펌프의 경우 출구 측 유체의 흐름이 고른 분포 여부를 확인하였다. 회전날개 전단에서 충돌을 최소화할 수 있도록 안내깃을 통해 회전날개로 유도되는 흡입유체의 방향으로 안내하는 것을 확인하였다. Fig. 143에 나타낸 효율 곡선을 살펴보면 최적화된 안내깃이 장착된 펌프(Case 2)의 경우 Case 1에 비해 유량 307m³/min 지점에서는 효율 개선 8.2%, 유량 384m³/min 지점에서는 효율 개선 5.8%, 유량 460.8m³/min 지점에서는 효율 개선 25.4%를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.(Table 35 참조)



(a) Case 별 펌프 성능 곡선 비교



(b) Case 별 양정 곡선 비교

Fig. 143 Case의 유량에 따른 결과 비교

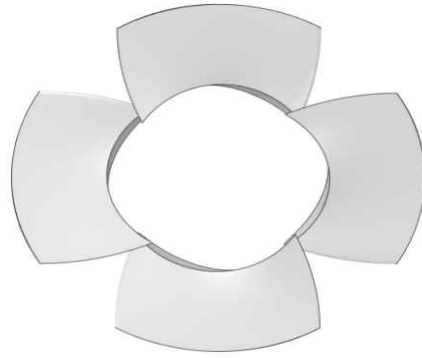
2-6-8. CFD해석 결과를 바탕으로 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 성능 검증

펌프일체형수문을 개발하기 위해서 먼저 수문의 개폐에 간섭이 적어야 하며 좁은 공간에서도 발전이 가능해야한다. 그러나 농업용 보에 설치하는 수문의 구조상 협소한 공간으로 유체의 안정성을 확보하기 위한 입수와 출수의 임펠러가 흡입 및 토출 임펠러를 적용하여 저장정 및 고효율이 가능한 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프를 통해 수문에 장착하여 수문의 역할과 펌프의 역할을 동시에 수행할 수 있는 “농지 침수재해를 예방하고 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT 기반 원격모니터링 및 제어가 가능한 펌프일체형 수문 개발”에 성능확인 및 펌프 구경의 500mm인 배수펌프의 구조적 형상 변경을 통한 성능향상 도모를 위해 CFD해석을 수행하였다. 효율 개선한 Inlet Guide Vane의 각도는 40°로 반영하고 사용되는 모델은 주관기관인 하서산업에서 앞에서 설정한 설계를 바탕으로 모델링하여 해석을 진행하였다.

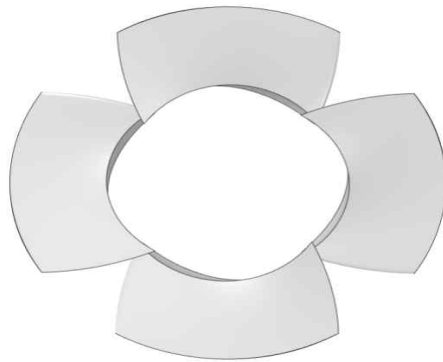
유동해석을 위한 임펠러의 형상은 아래의 그림과 같으며 펌프의 구경은 500mm이고 정량적 목표는 유량 33 /min일 때, 양정 3.8m 이상, 효율 75이상의 수중 축류펌프를 개발하여 Inlet Guide Vane의 각도는 40°로 반영하고, 임펠러의 형상을 3가지로 나누어 Type A, B, C로 설계하였다. 임펠러 베인의 설계 및 3D모델링은 임펠러 설계법에 따라서 제작하였으며, 임펠러의 각도는 하서산업에서 제공한 수문 시스템의 입구 직경을 고려하여 모델링하였다. Fig. 144과 같이 임펠러의 각도에 따른 성능의 경향을 파악하기 위해 각각 10°, 11.5°, 12°로 각도변화에 따른 임펠러의 베인을 모델링하였으며 임펠러의 형상을 나타낸다

여기서 w 는 수동력(kW)으로 $L_w = \frac{1}{60 \times 10^3} \rho g Q H$ 이며, L 은 펌프 축동력(kW), $L = \frac{2\pi TN}{60}$ 을

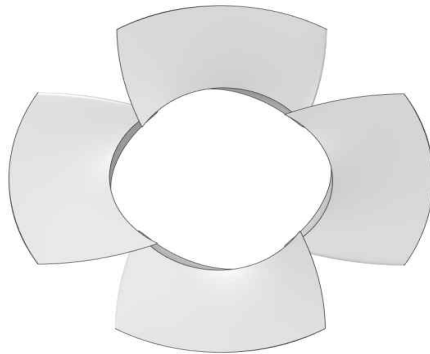
나타낸다. 여기서 ρ 는 물의 밀도이며 g 는 중력 가속도로 $9.81m/s^2$, Q 는 토출량, H 는 양정, T 는 토크, N 은 펌프 회전수를 나타낸다. 유동해석을 위해 Inlet Guide Vane의 각도는 40°로 반영하고 펌프의 구경 500mm으로 구성하였다. 정량적 목표는 유량 $33m^3/min$ 일 때, 양정 3.8m 이상, 효율 75이상으로 이러한 연구목표를 달성하기 위하여 Table 36과 같이 임펠러의 각도를 3가지로 분류하여 Type A, Type B, Type C로 분류하였다. 임펠러 베인의 설계 및 3D 모델링은 임펠러 설계법에 따라서 제작하였으며, 임펠러의 각도는 하서산업에서 제공한 수문 시스템의 펌프의 구경을 고려하여 모델링하였다.



(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C

Fig. 144 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 임펠러 형상

Table 36 각도 변화에 따른 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 임펠러 형상

Type	임펠러 각도(°)
Type A	10.0
Type B	11.5
Type C	12.0

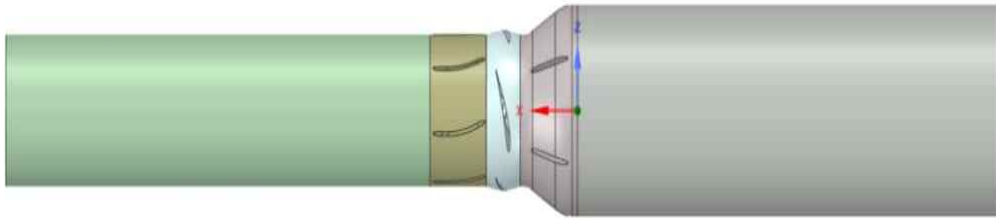


Fig. 145 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 유동장

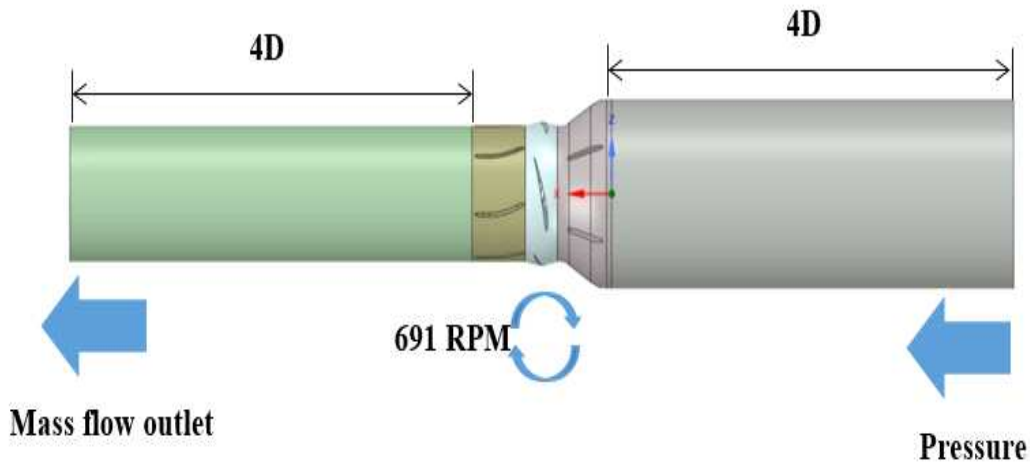


Fig. 146 유동해석 경계 및 계산조건

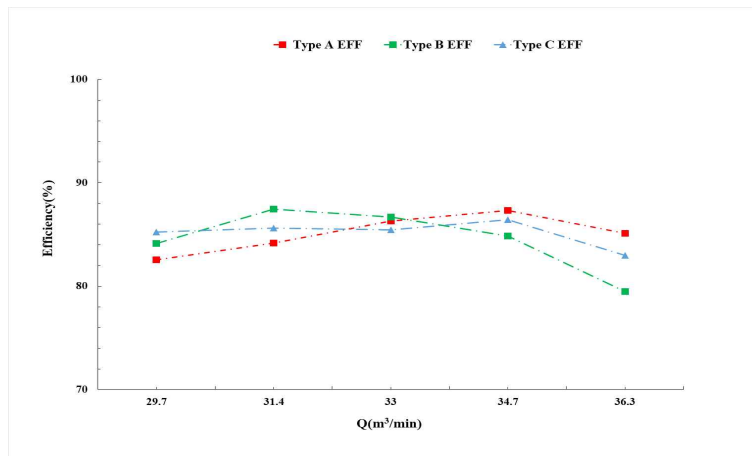
해석을 위한 격자 생성은 ANSYS Mesh Ver R2020 R2를 활용하여 약 200만개의 다면체 격자 (Polyhedral Mesh)를 생성하였으며 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프의 계산을 위해 내부 유동을 3차원 정상상태의 난류 유동으로 가정하였으며, 난류 모델은 SST-k 를 사용하였다. 해석을 위해 사용한 물의 밀도는 998.2kg/m^3 이며, 점성은 $0.001003\text{kg/m}\cdot\text{s}$ 으로 인가하였다. 유동해석은 ANSYS CFX Ver R2020 R2을 활용하였으며, Fig. 145는 배수펌프 유동장을 나타내며, 경계조건은 흡입구 쪽에 Pressure Outlet, 토출구 쪽에 유량제어를 위해 Mass Flow Outlet을 인가하였으며 펌프의 회전은 691Rpm, 토출 제어유량은 29.7, 31.4, 33.0, 34.7, 36.3 m^3 로 설정하였다.(Fig. 146 참조)

유동해석 결과로 Table 37 및 Figs. 147~157과 같이 Type A는 정량적 목표인 유량 33 m^3/min 에서의 유동해석 결과를 보면 양정이 4.24m로 목표 양정에 보다 높게 도달하였으며, 펌프 효율 면에서는 86.32%로 가장 우수하다. 유량 29.7~36.3 m^3 까지 비교하면 유량이 증가할수록 양정이 줄어드는 양을 확인할 수 있다. 압력분포 및 속도분포의 단면에서의 임펠러 형상의 각도 차이로 내부와 케이싱의 경계면에서 차이가 나며 이로 인해 입구와 출구쪽에 영향을 미치게 되

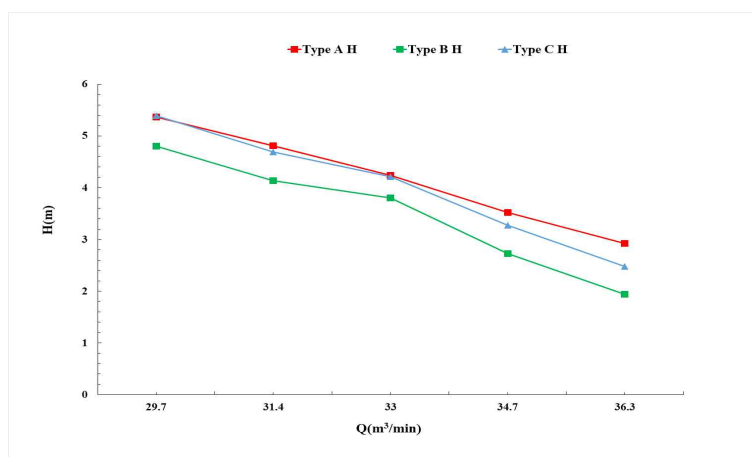
어 압력과 속도가 미비하게 차이나는 것을 확인할 수 있다. 효율면에서는 Type A가 유량이 증가할수록 우수한 것으로 산출되며 결과적으로 보면 Type A, Type B, Type C로 구분지은 임펠러 형상의 차이로 양정 및 효율이 조금씩 차이를 보이지만 모두 정량적 목표인 유량 33m³/min일 때 양정 3.8m 이상, 효율 75%이상을 달성할 것을 확인하였다.

Table 37 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 유동해석 계산 결과

유량 (m ³ /min)	양정(H, m)			축 동력(L, kW)			수 동력(L, kW)			효율(η, %)		
	Type A	Type B	Type C	Type A	Type B	Type C	Type A	Type B	Type C	Type A	Type B	Type C
29.7	5.37	4.80	5.39	36.69	31.55	34.79	30.29	26.55	29.66	82.54	84.14	85.24
31.4	4.81	4.14	4.69	33.37	27.32	31.82	28.10	23.89	27.25	84.19	87.44	85.62
33.0	4.24	3.80	4.21	30.01	24.09	30.17	26.16	20.89	25.26	86.32	86.70	85.44
34.7	3.52	2.73	3.27	25.42	26.16	24.76	22.20	22.20	21.40	87.32	84.85	86.42
36.3	2.92	1.94	2.48	22.89	17.53	21.29	19.49	13.94	17.67	85.13	79.50	82.99

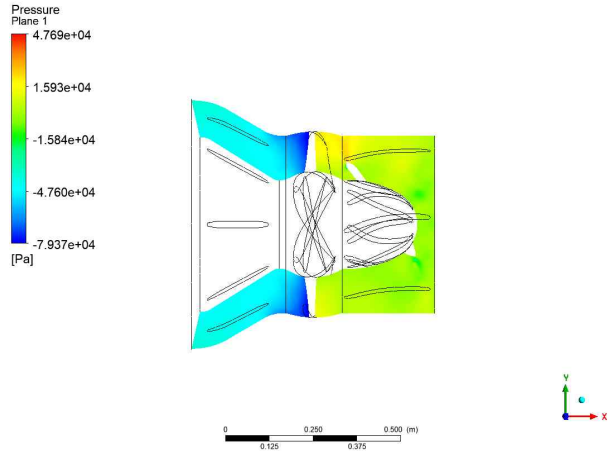


(a) 효율-유량 선도

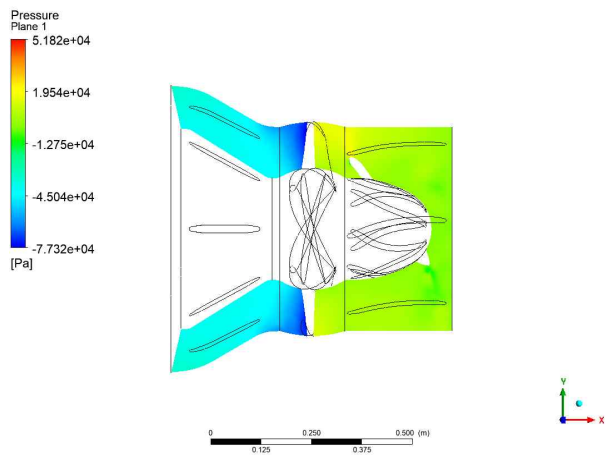


(b) 양정-유량 선도

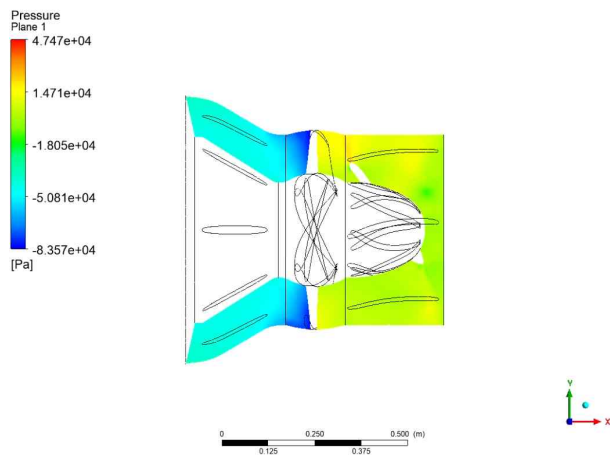
Fig. 147 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프의 효율과 양정 비교



(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C

Fig. 148 The Simulated Pressure Distributions for $29.7\text{cm}^3/\text{min}$

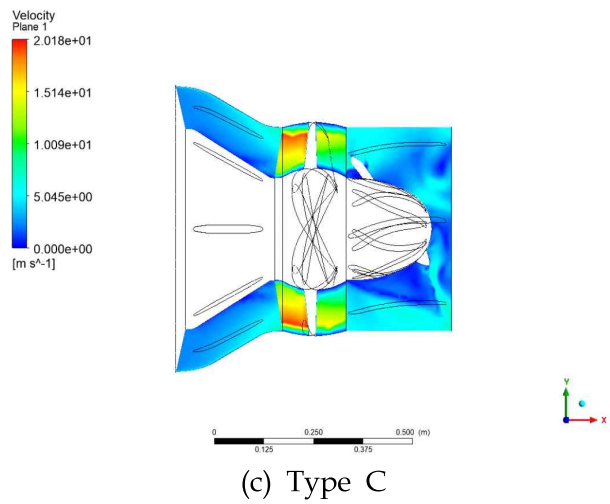
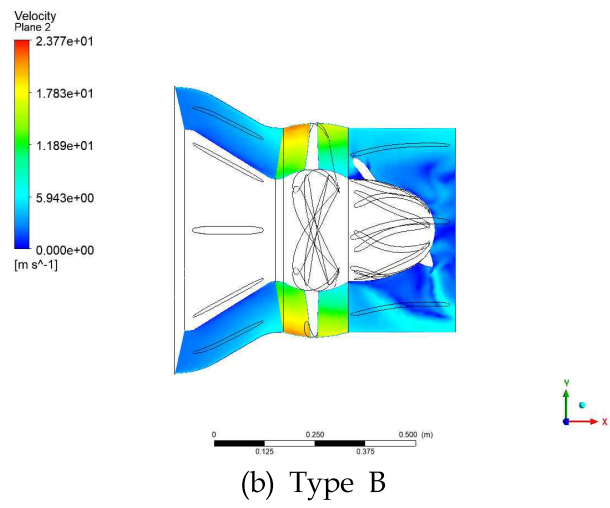
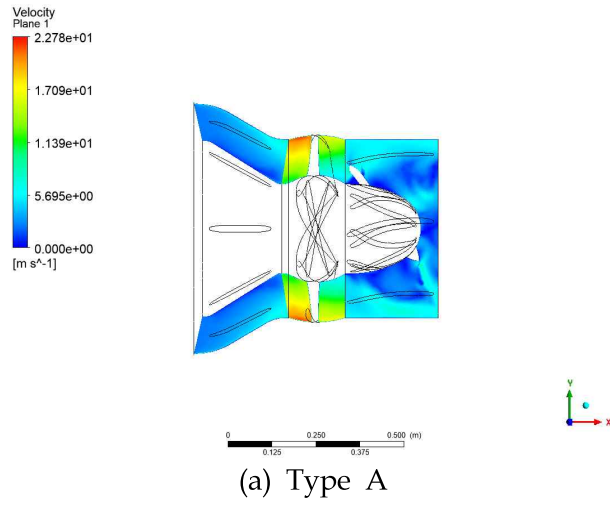
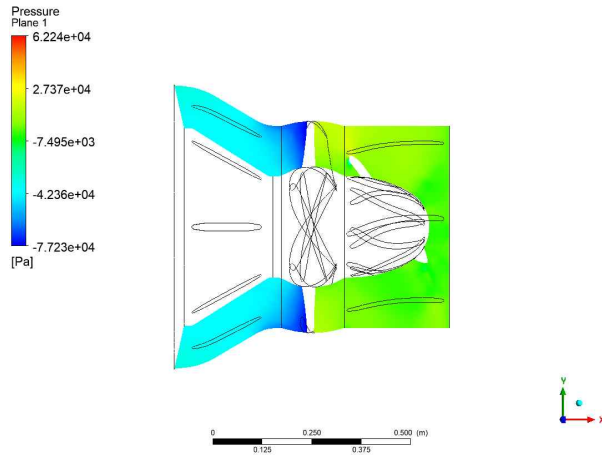
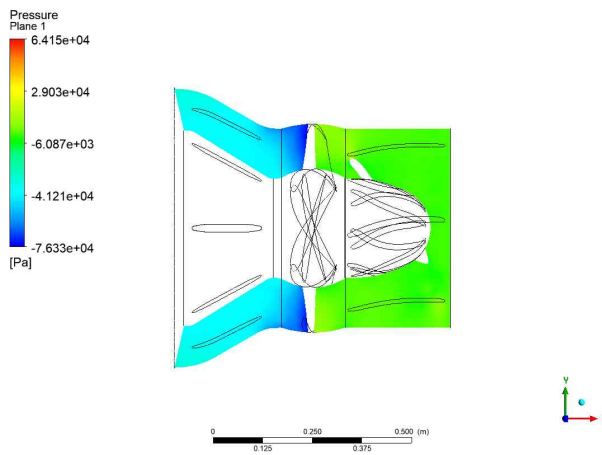


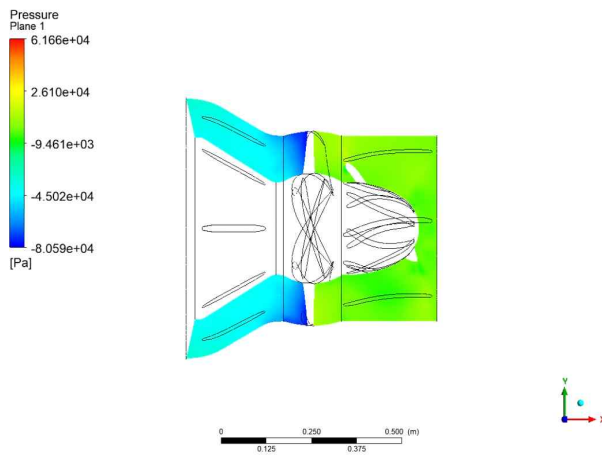
Fig. 149 The Simulated Velocity Distributions or 29.7cm³/min



(a) Type A

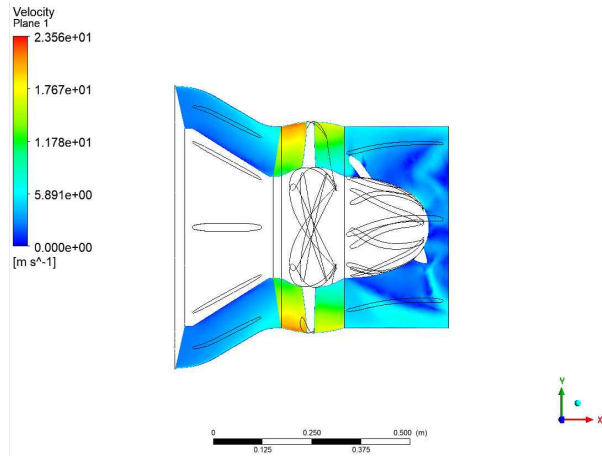


(b) Type B

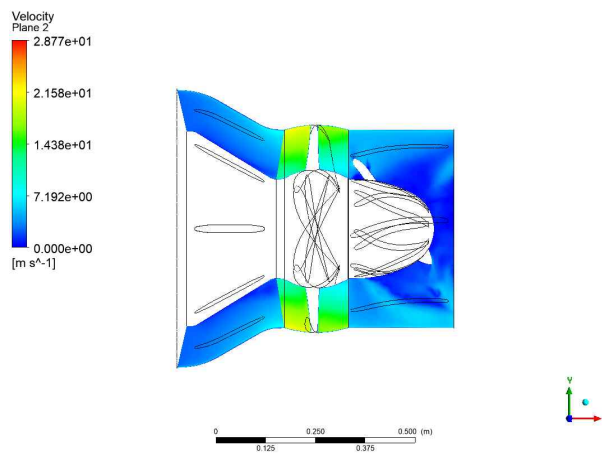


(c) Type C

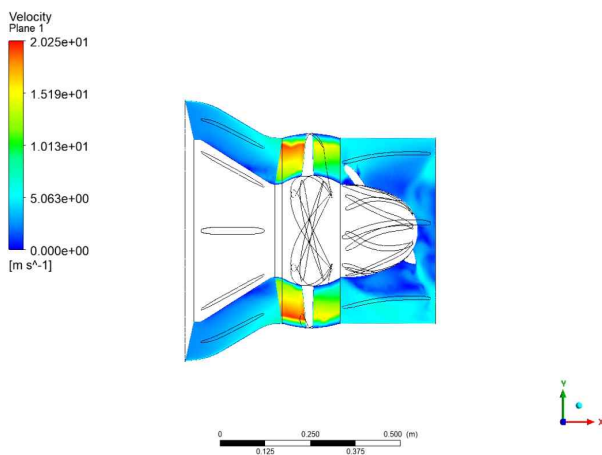
Fig. 150 The Simulated Pressure Distributions for $31.4\text{cm}^3/\text{min}$



(a) Type A

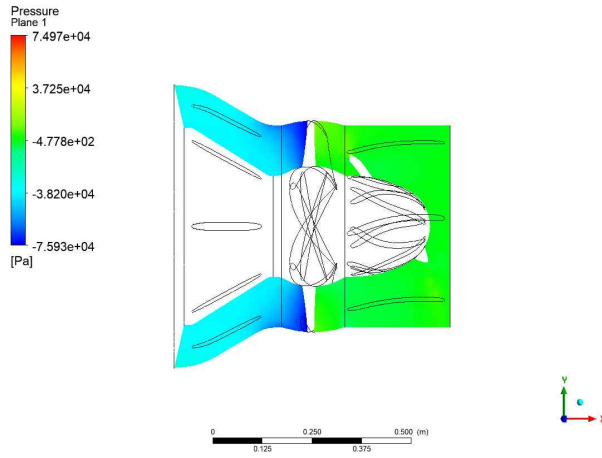


(b) Type B

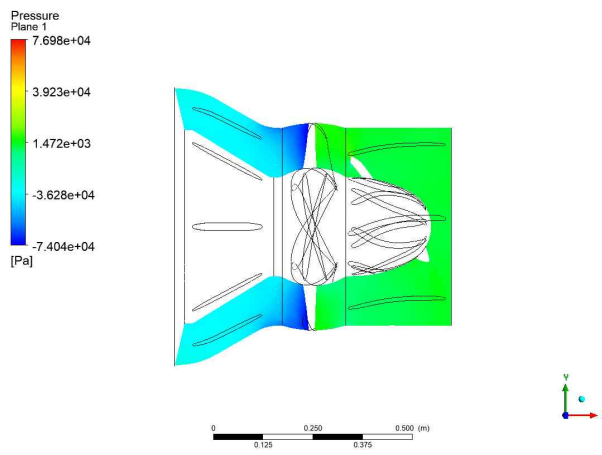


(c) Type C

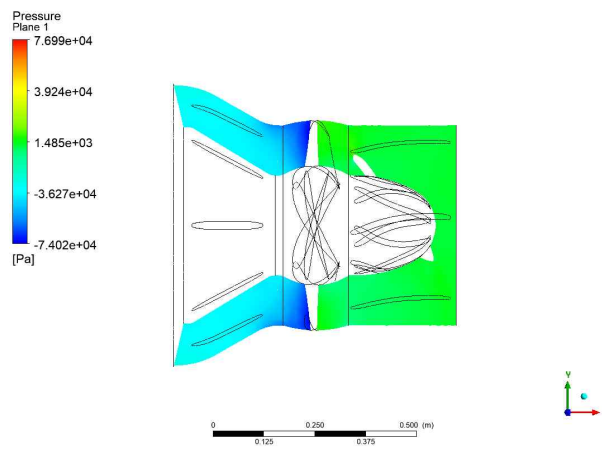
Fig. 151 The Simulated Velocity Distributions for 31.4cm³/min



(a) Type A

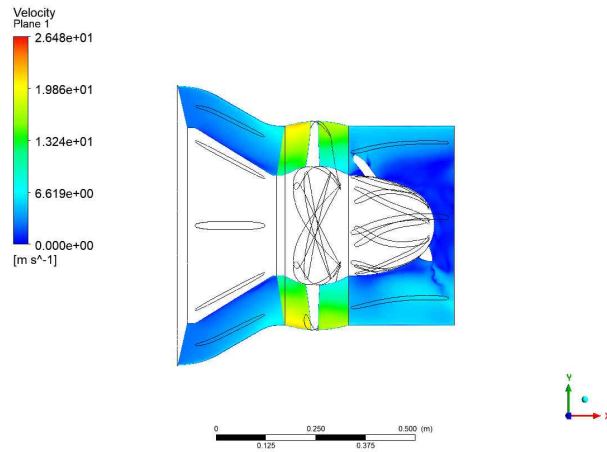


(b) Type B

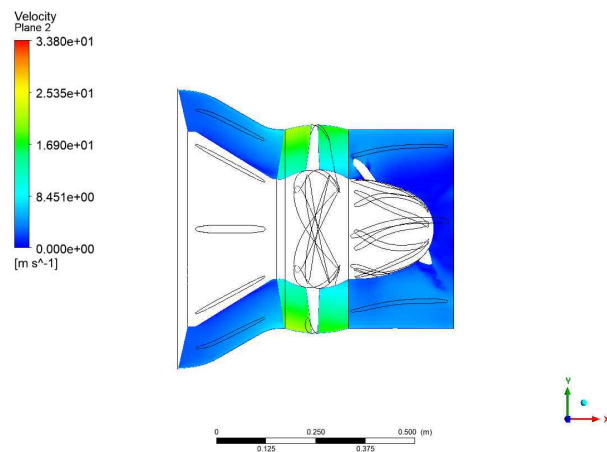


(c) Type C

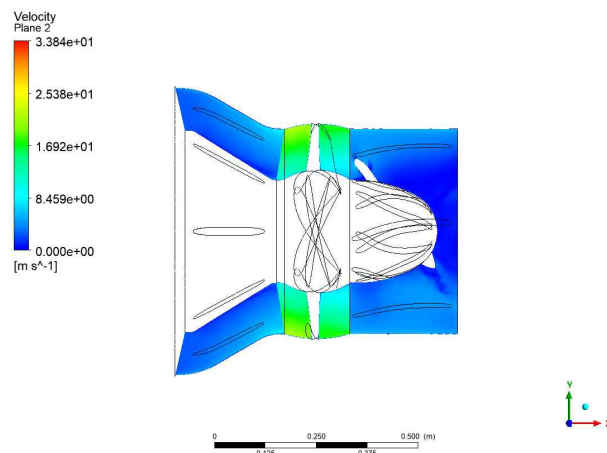
Fig. 152 The Simulated Pressure Distributions for 33.0cm³/min



(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C

Fig. 153 The Simulated Velocity Distributions for 33.0cm³/min

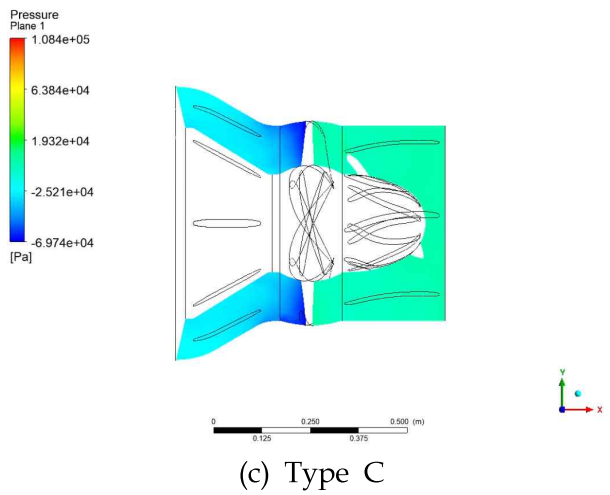
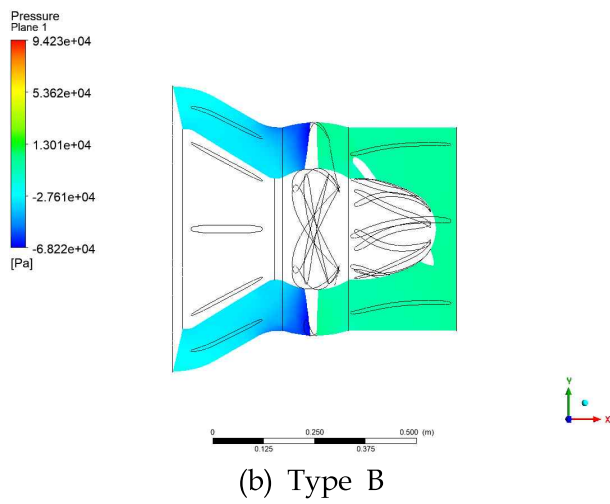
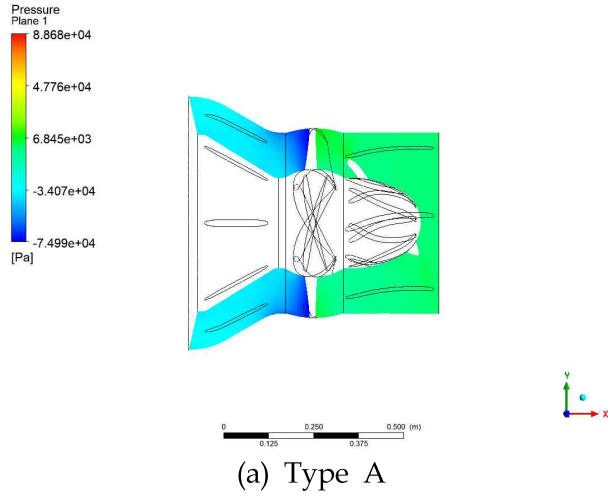


Fig. 154 The Simulated Pressure Distributions for $34.7\text{cm}^3/\text{min}$

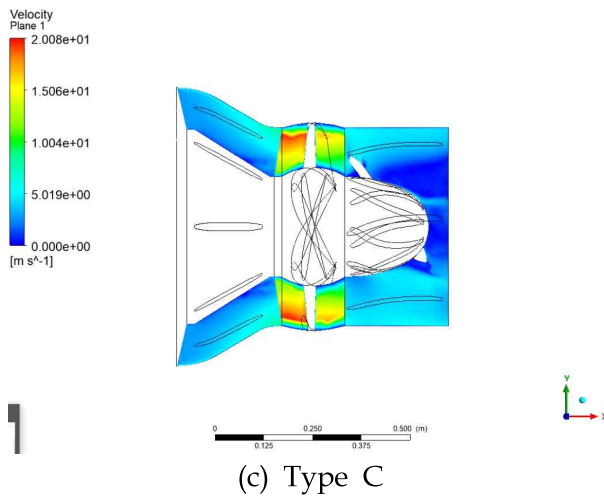
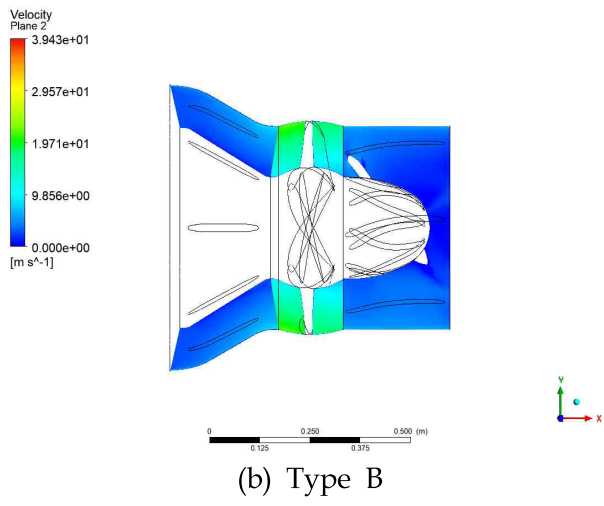
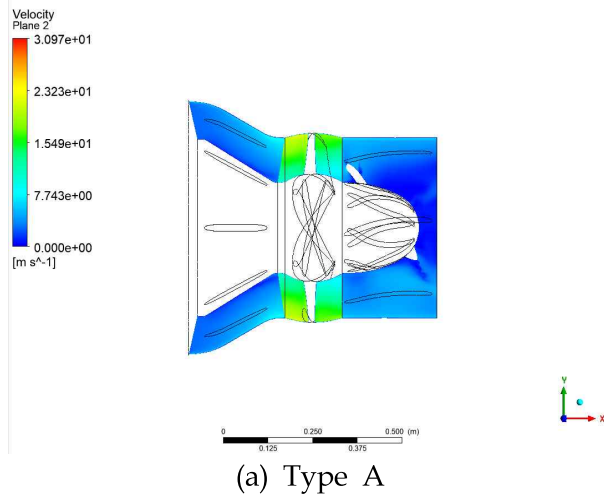
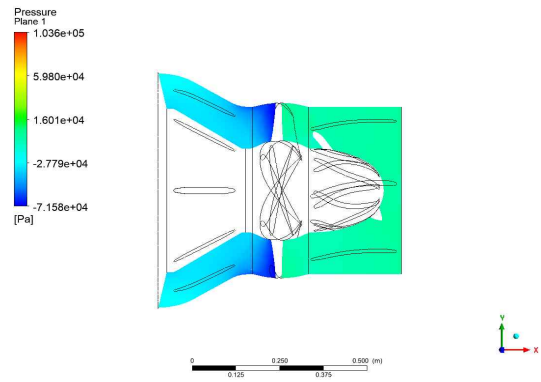
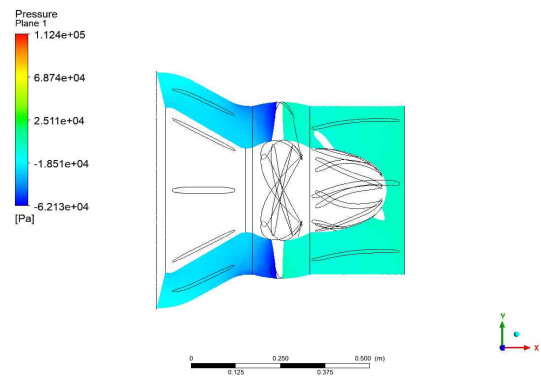


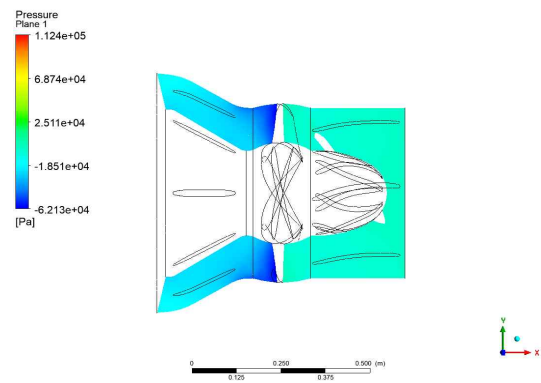
Fig. 155 The Simulated Velocity Distributions for 34.7cm³/min



(a) Type A

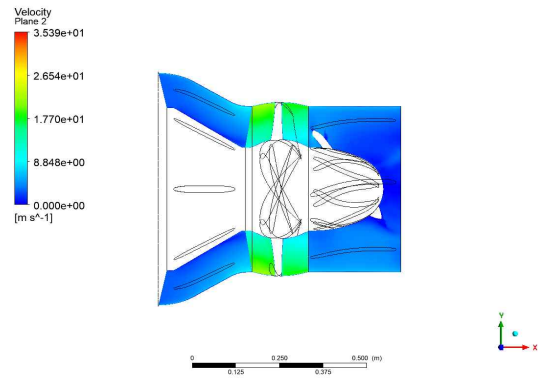


(b) Type B

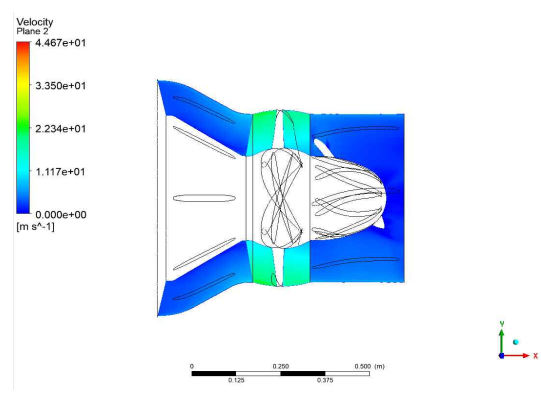


(c) Type C

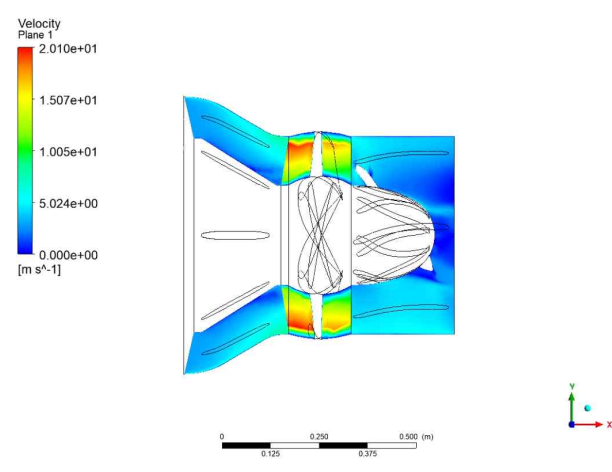
Fig. 156 The Simulated Pressure Distributions for $36.3\text{cm}^3/\text{min}$



(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C

Fig. 157 The Simulated Velocity Distributions for $36.3\text{cm}^3/\text{min}$

2-7. 펌프일체형 수문 제작

2-7-1. 성능시험용 펌프 수조 제작

펌프일체형수문 시스템의 성능시험을 자체적으로 확인할 수 있는 성능시험용 펌프 수조 개발을 위해 주요 기구부 및 부품을 제작하였다. Figs. 158~160는 문비 및 수조를 구성하는 배관용 플랜지, 측정 설비자재, 유동 교정기 자재를 절단하여 제작하였다. 급격한 수위변동으로 내수위의 급상승에 대응하는 문비를 권양하는 15톤 권양기를 제작하여 설치하였다.



Fig. 158 배관용 플랜지 제작



Fig. 159 유동 교정기 자재 제작



Fig. 160 15톤 권양기 다이

유량 조절이 가능한 배관라인 제작을 완료하였으며 Fig. 161는 성능시험용 펌프 수조의 유량 조절 및 측정을 위한 펌프 유량계를 제작하여 유입수문을 나타낸다. 성능시험용 펌프 수조의 물의 순환구조를 위해 흡입 파이프를 제작하였다. 흡입파이프는 흡수정의 물을 반대쪽 실험용 수조로 이동시켜주는 역할을 수행하여 준다. Figs. 162~163은 흡입파이프의 모습이며 배관 라인을 제작하여 배관작업을 나타낸다. Figs. 164~166은 성능시험용 펌프 수조 제작 및 설치한 사진이다.



Fig. 161 유량계 및 유입수문



Fig. 162 흡입 파이프

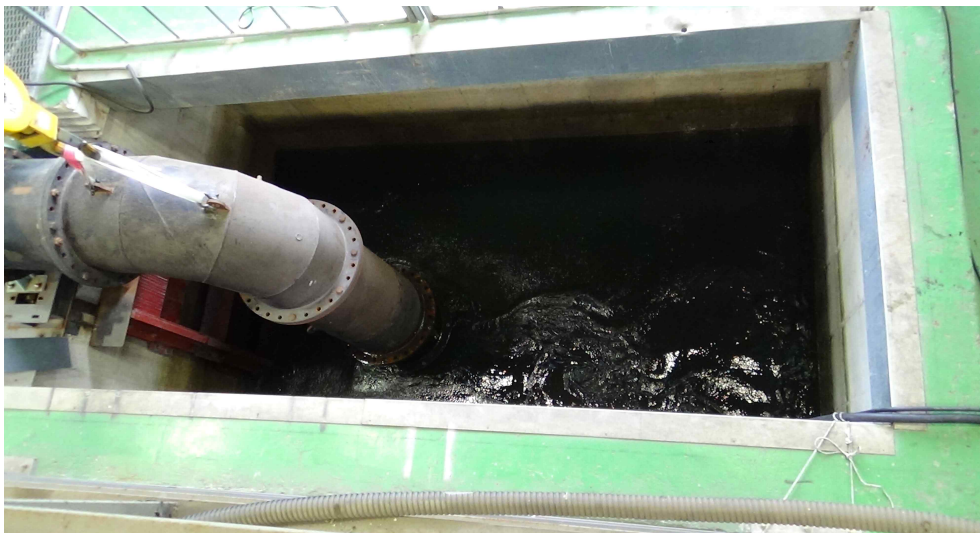


Fig. 163 시험장비 배관작업



Fig. 164 수조 제작

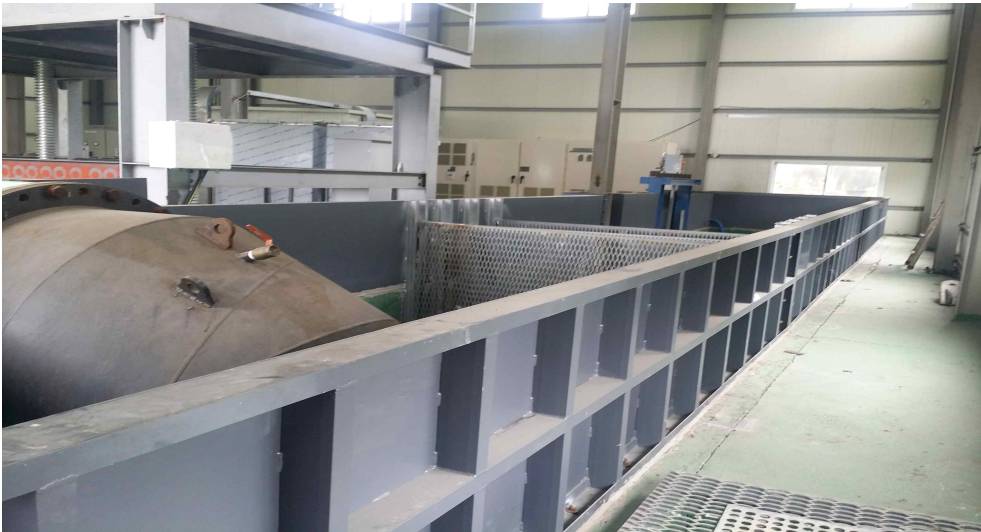


Fig. 165 펌프 수조 설치



Fig. 166 개폐기 프레임 설치

Figs. 167~168는 인버터 자동제어반 및 펌프기동반의 내부를 보여주고 있다. 개폐기의 설치 자동제어반 및 펌프기동반의 설치를 완료하였다. 성능시험용 펌프 수조의 유량 및 유속의 제어를 위한 인버터 펌프 테스트 제어반을 제작하였다. 제어반에서는 펌프일체형수문의 성능 테스트를 위한 수문의 작동제어와 실험용 수조의 수위 확인 및 조절이 가능하도록 제작하였다.

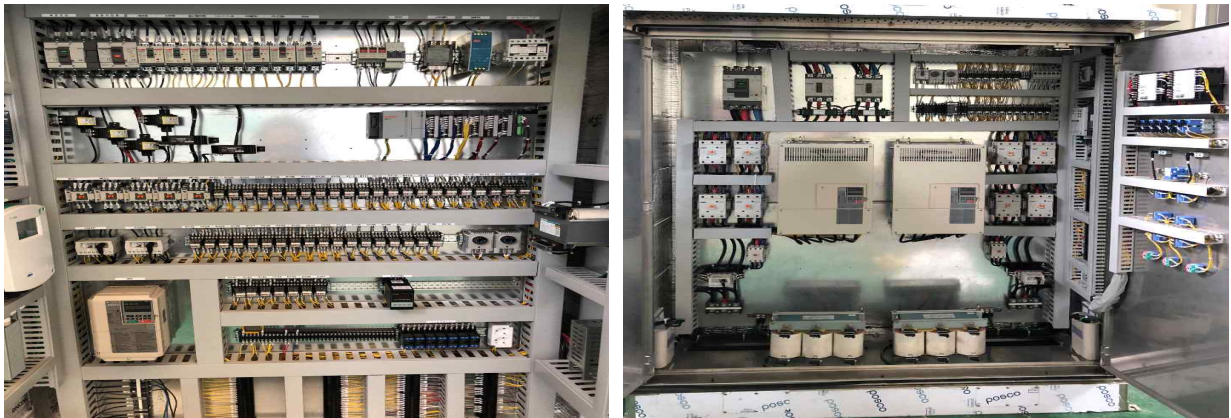


Fig. 167 자동제어반 및 펌프기동반 제작



Fig. 168 자동제어반 및 펌프기동반 제작완료

2-7-2. 개폐기 제작 및 조립

수로 구조물의 가이드프레임의 안내에 따라 상하로 주행하여 개폐되는 개폐기는 전동기 원동축과 자중강하부 사이를 단속시키는 수동력 연결부를 구성하여, 수동구동부에 선택적으로 결합 또는 해제를 시킬 수 있도록 자중강하부를 구성하고, 전동부의 전원이 차단되고 수동구동부로부터 해제시킨 후 정전시 또는 긴급 수문 폐쇄시 자중강하레버를 하강위치에 놓으면 수문을 자중으로 하강시키고, 자중강하레버를 정지위치에 놓으면 하강시 임의위치에 정지할 수 있도록 구성하여야 한다.

Figs. 169~172은 펌프일체형수문 시스템의 구성 요소중 급격한 수위변동으로 내수위의 급상승에 대응하는 문비를 권양하는 15톤 권양기를 제작하여 설치하였다.



Fig. 169 개폐기 축, 기어가공



Fig. 170 개폐기 케이싱 가공



Fig. 171 개폐기조립



Fig. 172 개폐기 설치

2-7-3. 플랩밸브 제작 및 조립

2차년도 개발내용인 플랩밸브는 자중이 가벼워서 적은 수위차에도 작동되어야하고, 외수위에서도 충분히 견디는 강도를 갖추어야 한다. FRP는 스테인레스의 인장강도가 $1,050\text{kg}/\text{cm}^2$ 인데 반하여 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 동일 수위조건을 만족시키기 위해서는 매우 두꺼워져야 하고 이로 인하여 자중이 증가하는 문제점이 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 에어챔버형 스테인레스 자동비는 에어챔버에서 부력을 발생시키고 회전축의 위치를 상부와 중앙에 배치하는 회동링크를 구성하여 부식에 견디면서 낮은 수위차에도 내수를 원활하게 배출시키면서 외수의 지수를 확실하게 하도록 하였다.

Figs. 173~174은 펌프의 토출구 측에 설치하여 평소에는 내수를 자연유하 시키고 외수위가 상승하면 외수위의 역류를 차단하여 내외수의 수위차에 의하여 자동으로 개폐되는 플랩밸브 제작하였다.

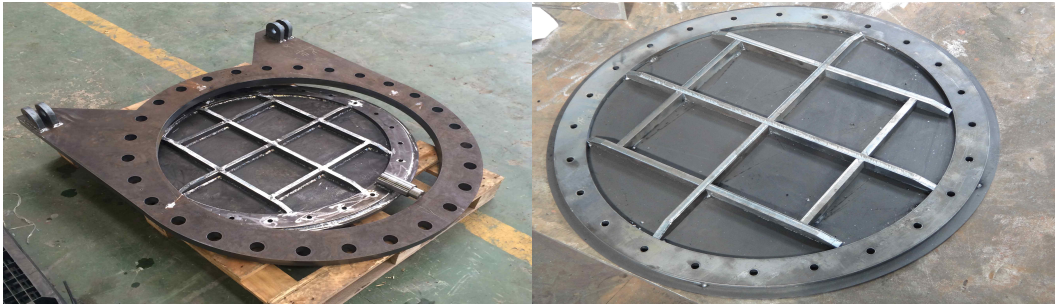


Fig. 173 배관용 플랜지 제작

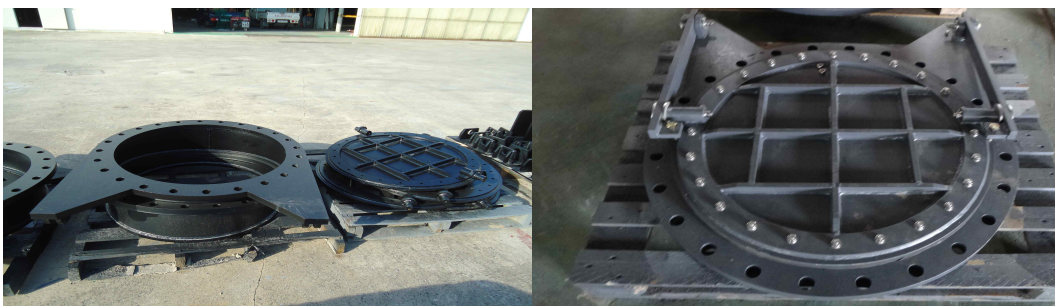


Fig. 174 자동으로 개폐되는 플랩밸브 제작

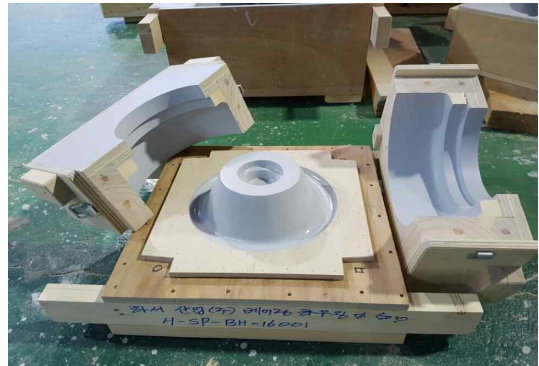
2-7-4. 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 조립 및 제작

해석 결과를 바탕으로 1차년도에 수문의 체결부의 구조적 안전성을 확보하였으며, 2차년도에 케이싱의 각도별 성능을 파악하고 펌프 구동모터의 토크에 따른 해석을 수행하여 검증된 수문의 체결부 및 펌프 모터에 대한 설계 오차를 줄였다. 3차년도 진행에는 1,2차년도 해석을 수행하면서 검증된 설계 오차를 줄이는 과정을 진행하였으며 즉, 배수펌프의 흡입·토출 각도 및 크기 변경, 유량변경, RPM 변경, 구동 축계 직경, 볼트 직경, 플레이트 두께 변경을 통해 효율 향상 및 캐비테이션을 억제하고 설계인자를 반영한 최적화된 펌프일체형수문을 개발하고자 제작하였다.

3차년도에는 주요 부품중 대부분의 부품들은 도면 기반으로 절단 가공등을 통해 제작이 가능한 반면, 안내케이싱, 흡입케이싱, 프로펠러, 웨어링, 베어링 하우징, 브라켓트, 썰커버, 안내케이싱 날개 등의 주요 부품들은 3차원 목형을 가공한 후에 주물로 제작하고자 함 주물 제작을 위한 목형은 Fig. 175에 나타내었다.



(a) 베어링 하우징 목형



(b) 베어링 하우징 목형



(c) Impeller 목형



(d) Cable Band 목형



(e) Stuffing Box 목형



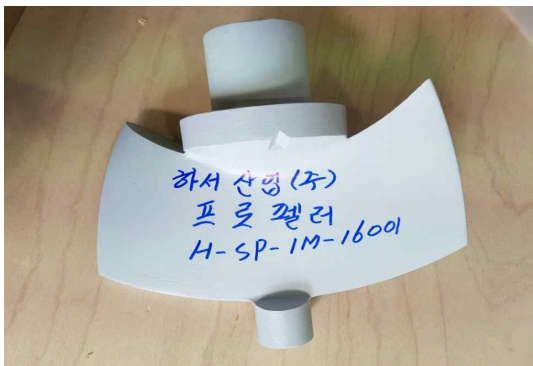
(f) 177 Casing 목형



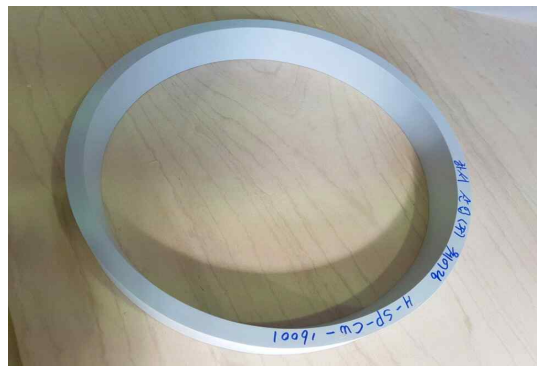
(g) 안내케이싱 목형



(h) 흡입케이싱 목형



(i) 프로펠러 목형



(j) 웨어링 목형

Fig. 175 배수펌프 목형 제작

저양정 고효율 수중축류 펌프와 관련된 배수펌프 성능시험에 적합한 시스템의 펌프 제작은 위에 나타낸 바와 같이 기초설계, 상세설계, 시뮬레이션, 목형제작 까지 완료된 공정에서 각각의 부품 주조 및 가공 작업을 통해 주요 구성품을 준비하였으며, Figs. 176~177과 같이 작성된 조립도와 조립 공정을 통해 배수펌프 성능시험에 적합한 시스템의 펌프 개발을 완료하였다. 성능시험에 적합한 시스템 구축을 위하여 설비의 최적화 실현을 위하여 Figs. 178~179과 Table 38과 같이 배수펌프에 적합한 성능시험항목에 나타낸다.



Fig. 176 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 제작



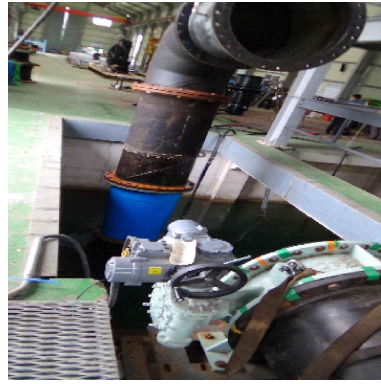
Fig. 177 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 조립



Fig. 178 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 시운전



(a) 파이프, 펌프조립 확인



(b) 밸브류 확인



(c) 관 및 파이프 확인



(d) 성능시험 장비 점검



(e) 성능시험 조건 확인

Fig. 179 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 성능시험을 위한 조립

성능시험을 자체적으로 확인할 수 있는 성능시험용 펌프 수조의 주요 기구부 및 부품을 설계 및 제작을 완료하였다. 유량 조절 및 측정을 위한 펌프 유량계를 설치하였으며, 인버터 펌프 테스트 제어반과 연결하여 유량조절이 가능하도록 제작하였다. QI 5 61 066(수중펌프)을 참조하여 성능평가 및 자체 테스트를 진행하였으며, 수행한 결과 유량 조절 및 제어반 컨트롤부의 이상 없음이 작동함을 확인하였다.(Table 38 참조)

Table 38 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 성능시험항목 체크

시험항목		기준치	시험방법
성 능	토출량 (m ³ /min)	명판에 표시된 범위 ±10% 내에 있을 것(60 m ³ /min 이상)	의뢰자 제시방법 [QI 5 61 066 (수중펌프)]
	전양정 (m)	명판에 표시된 범위 ±10% 내에 있을 것(3.6 m 이상)	
	펌프효율 (%)	명판표시 또는 규격효율 범위 ±10% 내에 있을 것 (100% 이하)	
	축동력 (kW)	규정동력 또는 표시동력을 넘지 않아야 할 것	
	운전 상태	연속 운전이 가능하여야 하고, 심한 진동 및 소음이 없어야 할 것	
배출 성능		용이하게 배출될 수 있을 것	

2-7-5. 펌프일체형수문 시스템의 수문구조물 제작 및 조립

Fig. 180와 같이 수문 구조물에 적합한 강도 및 강성이 높은 재질로 SS400으로 선정하였으며 두께는 19T이며 펌프와 수문구조물의 조립시 특강Bolt M30*120L로 조립하였다. 수문 부재 규격에 따른 주요 기구부중 대부분의 부품들은 도면 기반으로 절단 및 용접 등을 통해 제작하였으며 메인롤러, 사이드롤러, 지수고무 Bolt, 플랩밸브, 수문 등으로 나타낸다. 수문구조물 조립을 위한 부품들과 척박한 환경에서 수문의 품질 유지가 가능하도록 도장한 수문을 아래의 Fig. 181에 나타내었다. 펌프일체형수문 시스템 제어장치 통합하여 주요 기구부인 플랩밸브, 개폐기, 수문구조물, 배수펌프의 조립하였다. 펌프일체형수문 시스템의 시운전을 통한 개선사항 수정하였다.(Fig. 182 참조)



Fig. 180 펌프일체형수문 시스템의 수문구조물 제작 및 조립



Fig. 181 펌프일체형수문 시스템의 도장



Fig. 182 펌프일체형수문 시스템 통합 및 조립

2-8. 펌프일체형수문 시스템 제어장치 설계 및 제작

2-8-1. 수문 및 펌프제어를 위한 알고리즘 구현

펌프일체형 수문을 제어의 알고리즘 구현을 위한 내수위 및 외수위를 초음파 수위센서를 통해 검출 후 조건에 맞는 수문 및 펌프제어 및 수문에 펌프가 배설된 펌프일체형 수문을 이용하여 홍수 피해에 대한 신속한 대처를 위해 펌프와 수로를 개폐를 통한 내수를 외수로 배출이 가능하며 수의 역류를 차단하는 펌프일체형 수문제어를 위한 수문&펌프제어시스템과 수위변화에 따른 실시간 대응 및 예측 알고리즘을 통해 내수에 대한 홍수피해를 최소화한다.

기존의 펌프일체형 수문의 제어는 내수위와 외수위의 수위 차에 의해 수문을 닫고 내수를 외부로 방출시키기 위해 펌프를 단순히 가동 ON/OFF 시켜주면서 내수의 물을 외수로 방출시키는 기능만 수행하고 펌핑 유량을 자동으로 제어하지 못할 경우 헌팅 및 캐비테이션 현상이 빈번히 발생되기 때문에 불규칙한 수위가 형성되어 펌프에 과부하가 발생한다.

이를 개선하기 위해 각각의 펌프는 개별제어가 가능하게 되어야 하며, 수위 차에 따라 펌프의 구동을 PID제어를 해줌으로써, 헌팅 및 캐비테이션 현상에 의한 펌프의 수명단축을 보안할 수 있다.(Fig. 183 참조)

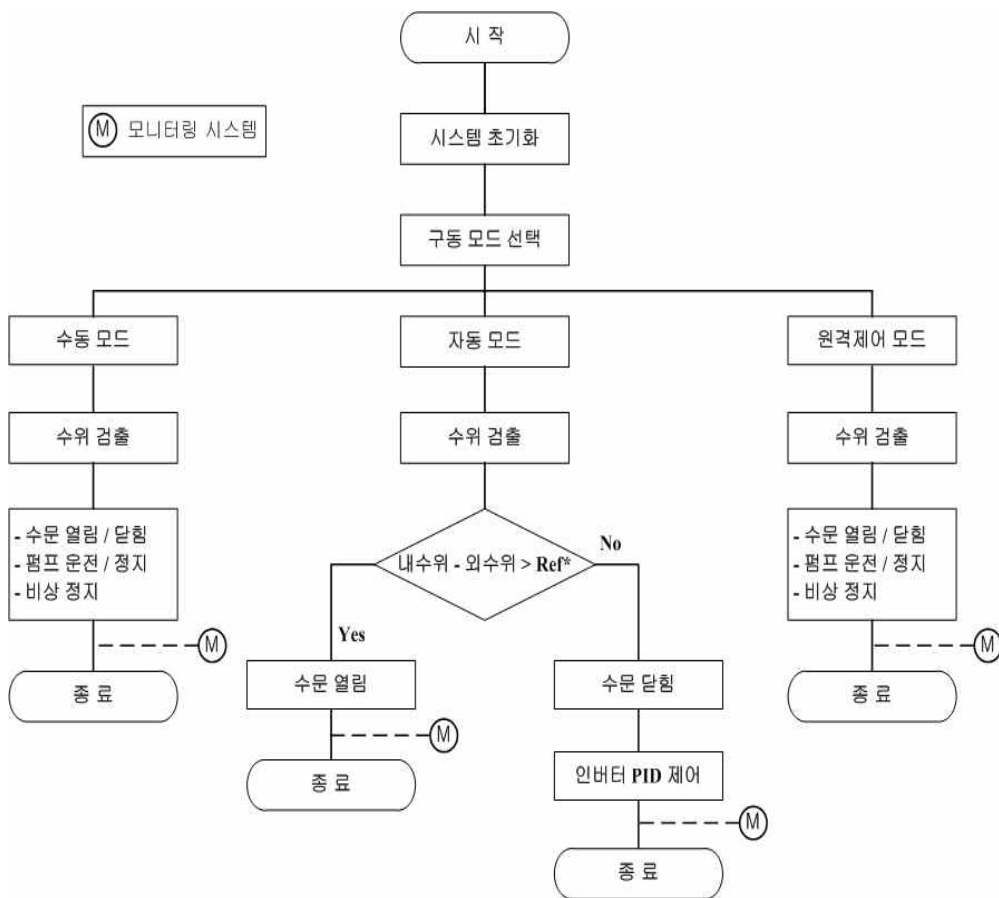


Fig. 183 초음파 수위센서 동작원리

외수위의 높이가 펌프가 잠길 정도의 위치가 되었을 때 수문을 닫으며 수문제어의 경우 수동모드와 자동모드로 구분을 할 수 있으며, 수동모드 및 원격제어 모드에서는 수위를 검출하여 모니터링한 상태에서 사용자의 조작에 따라 수문 및 펌프의 ON/OFF에 해당하는 기본적인 동작을 수행한다.(시운전 및 비상상태에서 적용)

펌프일체형 수문의 가장 중요시되는 헌팅현상 및 캐비테이션을 최소화하기 위한 인버터를 이용한 수문을 닫을 경우의 자동제어 알고리즘 시퀀스는 다음과 같다.

- 1) 내수위가 외수위보다 설정한 조건 값 보다 높을 경우에는 내수의 물을 외부로 빠르게 배출 시켜주기 위해 수문을 개방하는 동작을 수행한다.
- 2) 위에서 설정된 조건 값보다 작을 경우에는 수문을 닫고 내측의 물의 양에 따라 펌프는 인버터를 통한 자동제어 수행한다.
- 3) 수문이 닫힌 상태에서 펌프구동은 내수위의 높이에 따라 제어를 시작하며, 이때 내수위의 설정 값은 수단계로 구분을 지어 각각의 단계에 따른 PID제어를 수행을 시작한다.
- 4) 수위가 낮은 단계에서는 펌프의 구동을 인버터를 통해 저속으로 구동을 시킴으로써 급속한 펌프의 동작에 따른 헌팅 및 캐비테이션 현상을 최소화 할 수 있다.
- 5) 수위가 점점 높은 단계로 올라가면 인버터는 펌프의 운전속도를 PID제어를 통해 서서히 높일 것이며, 최종 설정 값 이상에서는 펌프의 최고속도 운전에 의한 내수의 배출의 한계가 있기 때문에 닫힌 상태에서의 펌프동작이 아닌 수문을 개방하여 내수와 외수의 압력차에 의해 자연방출 할 수 있도록 구현했다.

2-8-2. 펌프일체형수문 시스템의 통합제어반 설계

Fig. 184은 수문 및 펌프제어를 수행하기 위한 시스템제어반의 구성을 나타내며 시스템 제어반은 각각 메인제어반과 펌프기동반으로 구성이 되어 있으며, 외부에 내/외수위 검출을 위한 초음파 수위센서 수문동작을 위한 권양기, 2대의 펌프모터로 구성이 되어있으며 SUS304 재질의 Steel 2.0mm를 이용한 옥외형 이중도어 방진 방수형 외함을 가지도록 구성 하였다. 또한 Figs. 185~190은 펌프일체형수문 시스템의 통합제어반 설계도를 나타낸다.

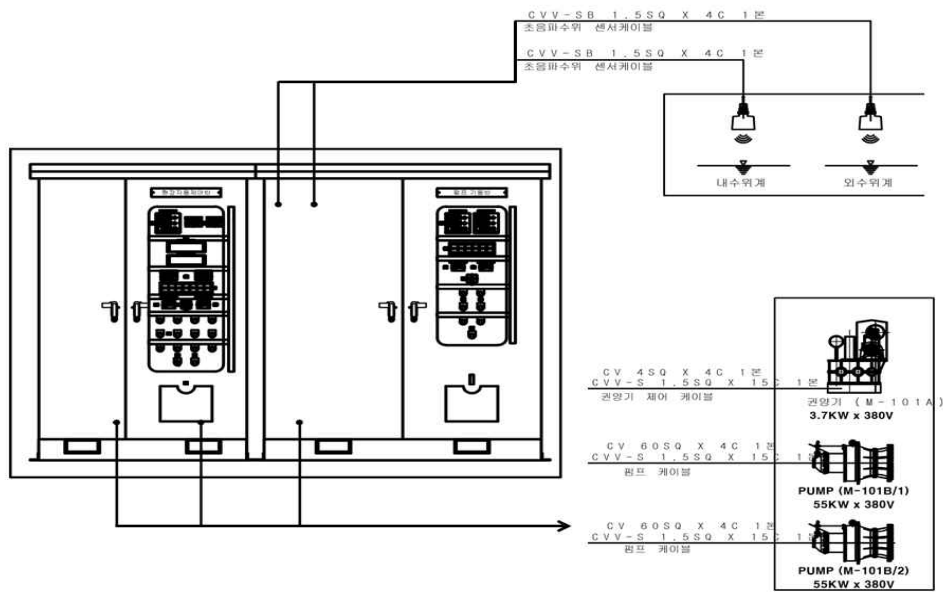


Fig. 184 전체 시스템 제어반 구성도

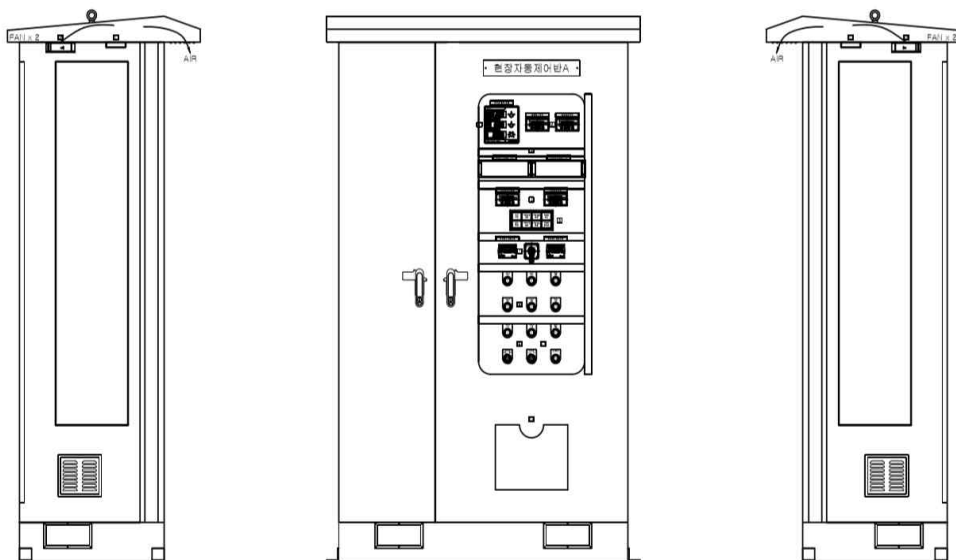


Fig. 185 자동제어반 외형도

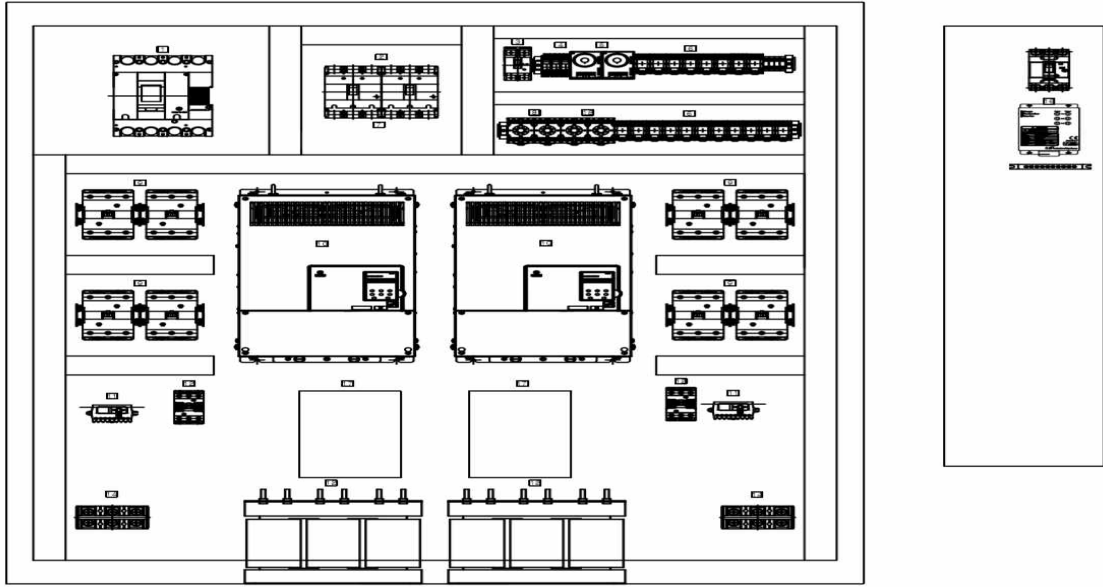


Fig. 190 펌프기동반 내부 배치도

2-8-3. 펌프일체형수문 시스템의 통합제어 알고리즘 개발

펌프일체형수문 시스템의 펌프일체형 수문의 통합제어를 위한 통합제어반의 제어알고리즘은 PLC를 이용한 I/O 입/출력제어 및 센서를 이용하여 제어알고리즘 구현을 위해 LS산전의 PLC를 이용, 레더 프로그램을 통해 통합시스템 제어 알고리즘을 개발하였으며 Fig. 191 ~ Fig. 195는 통합제어 알고리즘 PLC 레더프로그램을 나타내고 있다.

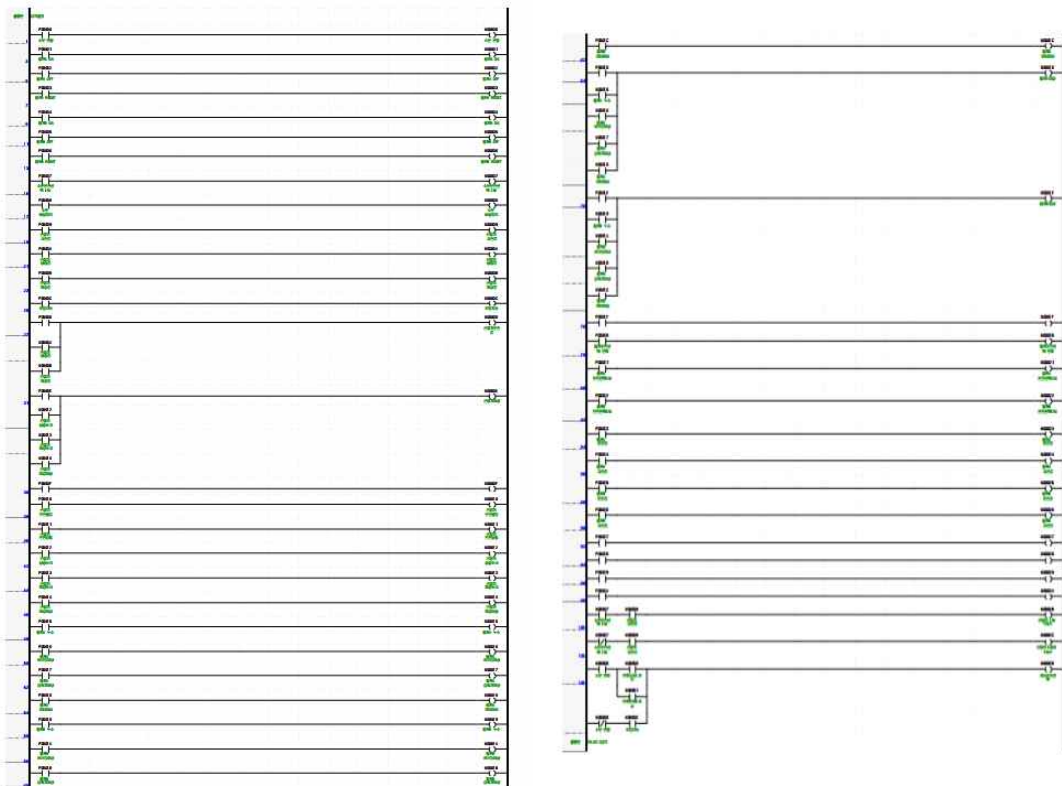


Fig. 191 펌프일체형 수문 통합제어 알고리즘 개발_1

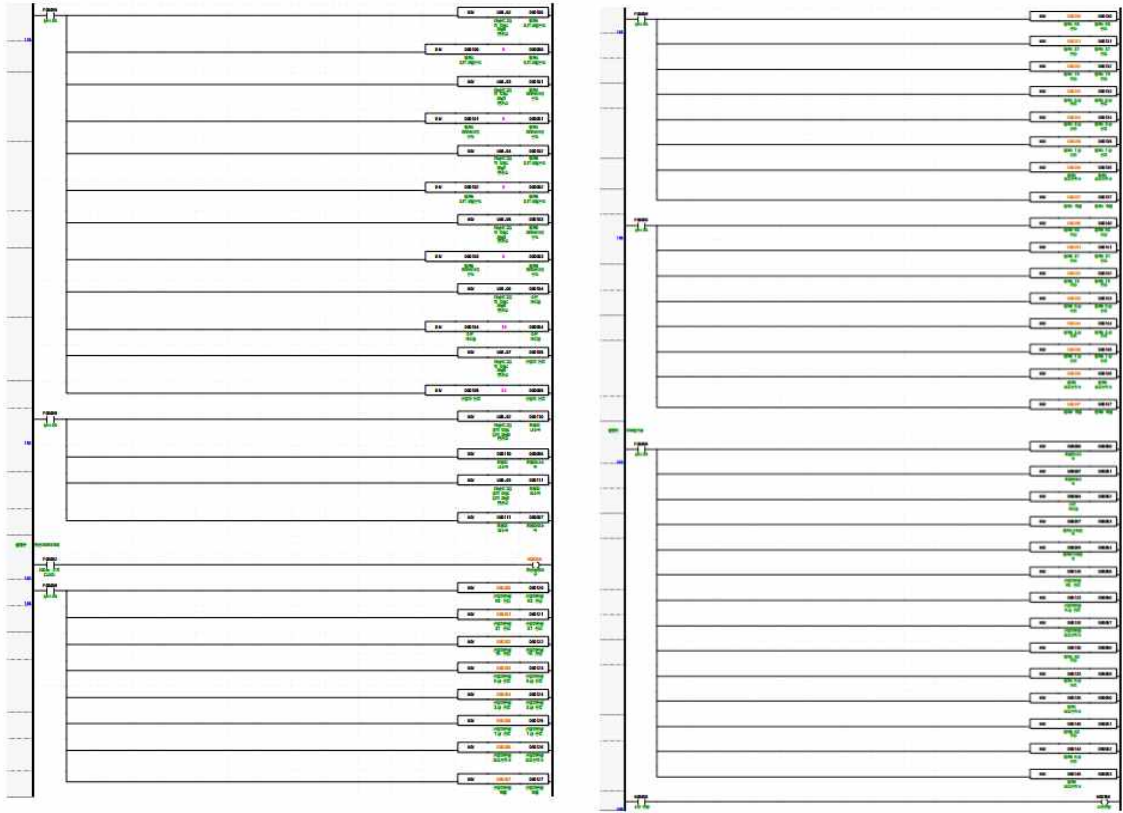


Fig. 192 펌프일체형 수문 통합제어 알고리즘 개발_2

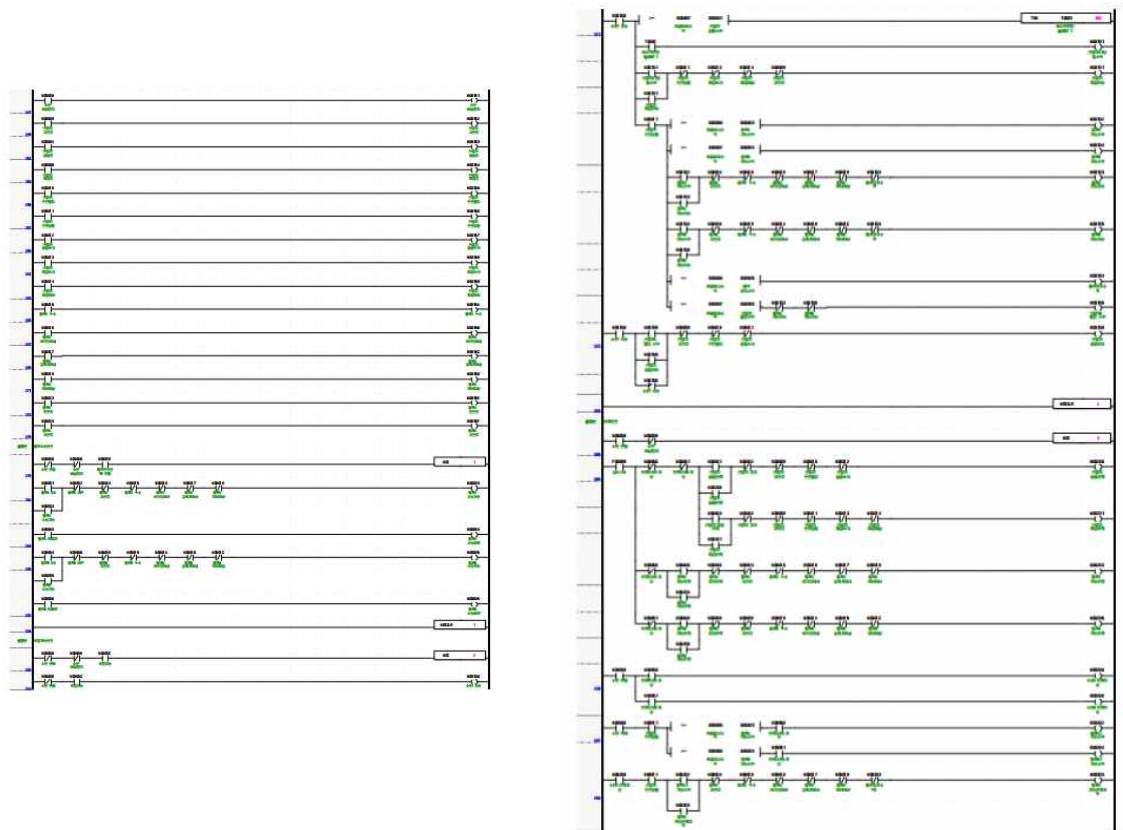


Fig. 193 펌프일체형 수문 통합제어 알고리즘 개발_3

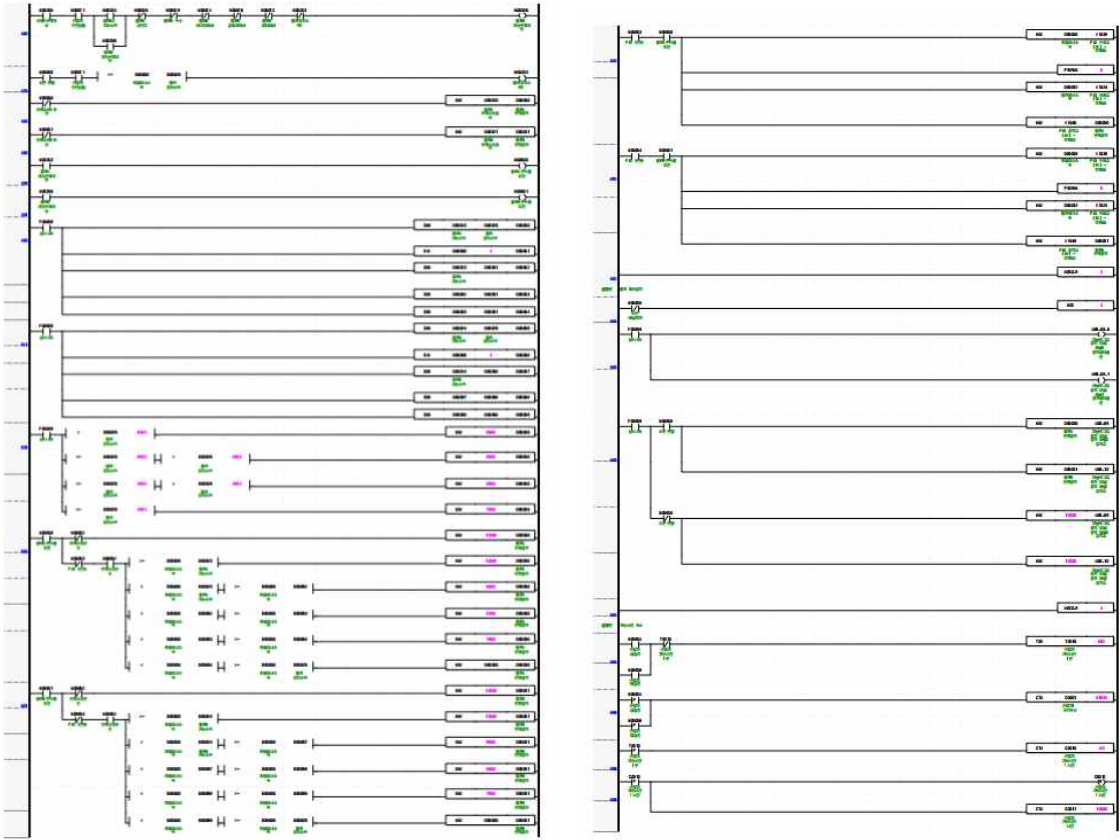


Fig. 194 펌프일체형 수문 통합제어 알고리즘 개발_4

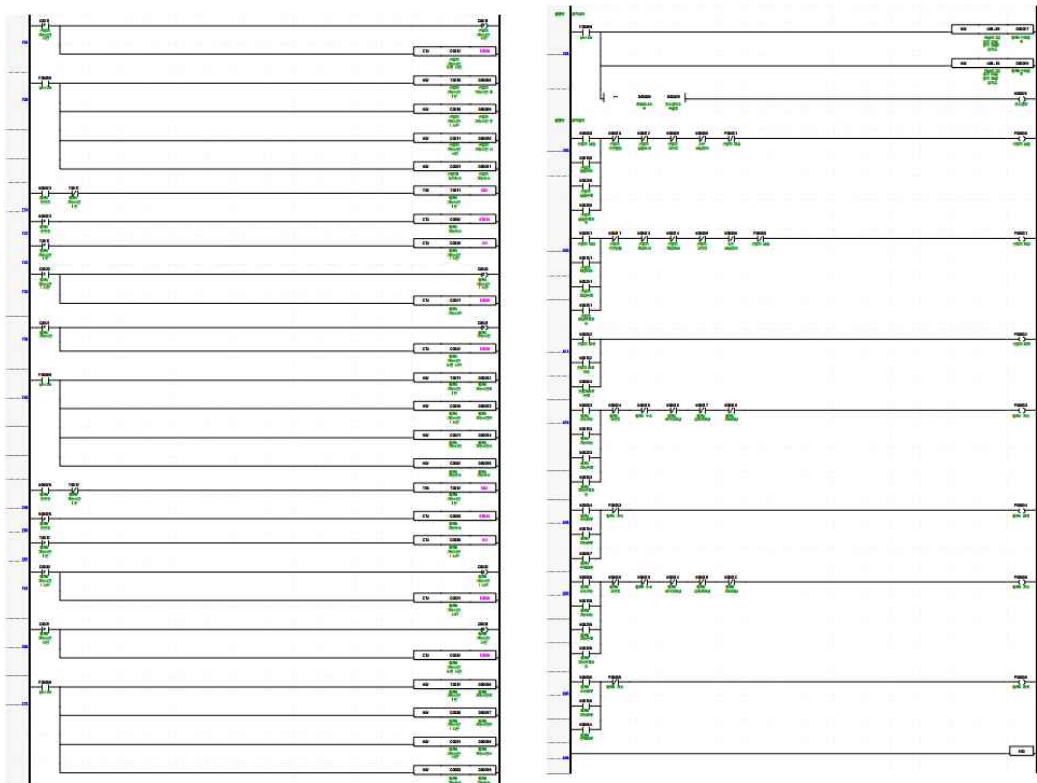


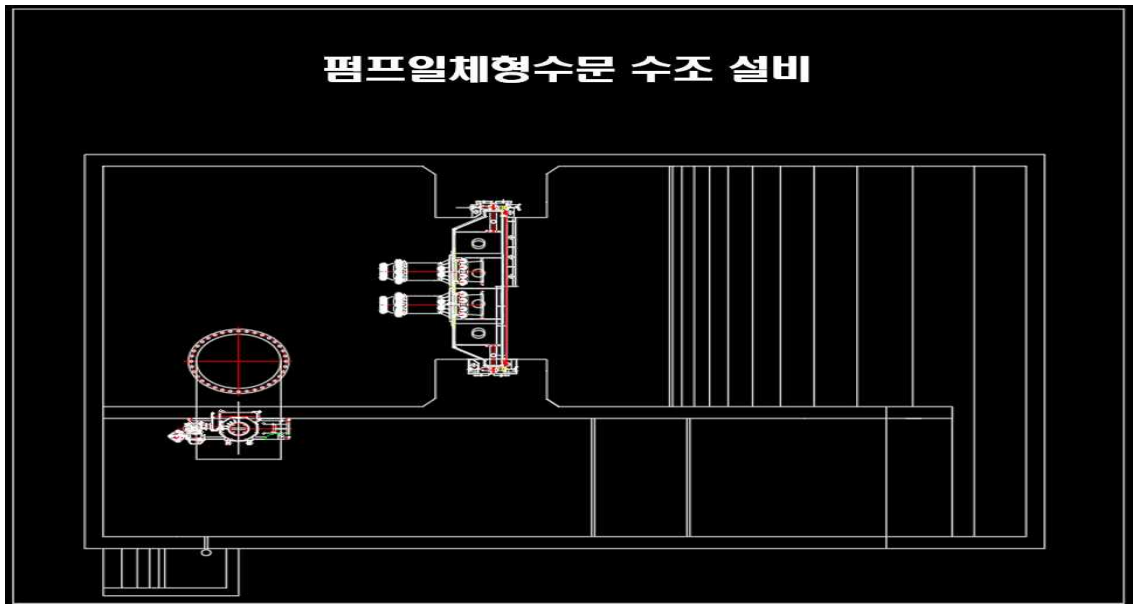
Fig. 195 펌프일체형 수문 통합제어 알고리즘 개발_5

Fig. 191는 펌프와 수문의 상태입력에 대한 레더도를 나타낸 것으로 수문의 운전선택, 비상정지, 자동/수동운전, 권양기 상승/하강, 과전류 상태이상 등에 대한 상태입력들로 구성되어 있다. Fig. 192은 펌프일체형 수문의 아날로그 상태입력에 관한 것으로 코일온도, 베어링온도, 수문 개도율, 권양기 및 펌프 전류, 초음파 수위에 관한 아날로그 상태 입력과 통신값 내부 메모리 저장영역으로 구성되어 있다. Fig. 193은 펌프일체형 수문 시스템의 원격 수동운전 처리 및 로컬 자동운전 처리에 관한 레더 프로그램 구성으로 권양기의 기동 및 펌프위정지 수위, 권양기의 열림수위에 대한 권양기 및 펌프의 운전기동에 관한 내용으로 구성되어 있다. Fig. 194은 자동제어에 관한 내용으로 수문권양기 및 펌프의 운전제어를 조건에 수위의 조건에 따라 자동제어를 하기 위한 제어알고리즘 내용으로 구성되어 있다. Fig. 195는 수문권양기 및 펌프의 운전에 따른 설비의 가동시간 계수 영역과, 권양기 수문 제어를 위한 최종 제어출력신호의 출력처리 구간으로 구성되어 있다.

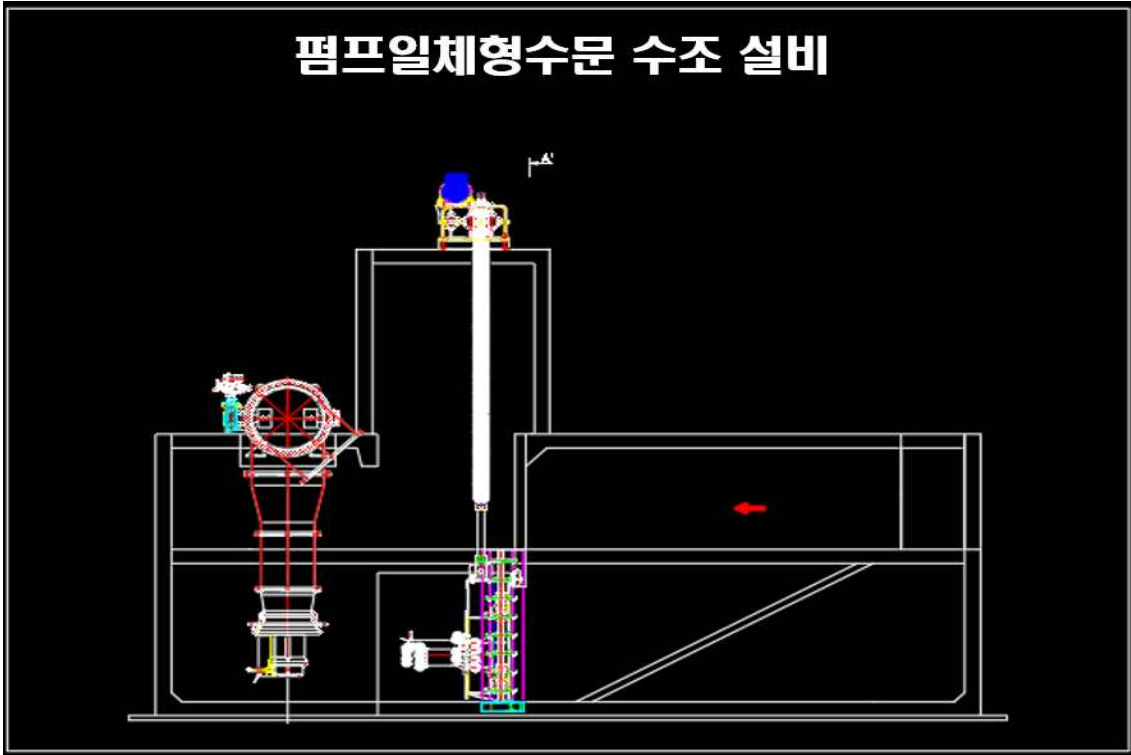
2-9. 성능시험용 펌프 수조 설계 및 제작

2-9-1. 성능시험용 펌프 수조 설계

펌프일체형 수문 시스템의 성능시험을 자체적으로 확인할 수 있는 성능시험용 펌프 수조 개발을 위해 주요 기구부 및 부품을 설계하였다. 유량 조절이 가능한 배관라인 설계를 완료하였다. Fig. 196는 성능시험용 펌프 수조 설계 및 제작도를 나타낸다.



(a) 성능시험용 펌프수조 설계도면 평면도



(b) 성능시험용 펌프수조 설계도면 정면도



(c) 성능시험용 펌프수조 설계도면 측면도

Fig. 196 성능시험용 펌프 수조 설계도면

2-10. 개폐기 및 플랩밸브 제작 및 조립

2-10-1. 원격 모니터링 및 제어를 위한 통신형 통합 제어보드 개발

펌프일체형수문의 운전제어 및 동장상태 모니터링을 위한 통합 제어보드는 MCU를 이용하여 통신 및 A/D변환 I/O 입출력이 가능한 일체형 제어보드를 적용하였으며, PLC와의 병행으로 현장 데이터의 센싱 및 외부와의 통신을 통한 모니터링이 가능하도록 통합 제어보드를 제작하였다. 다음은 개발된 통합 제어보드에 관한 내용을 나타내고 있다.(Figs. 197~198 참조)

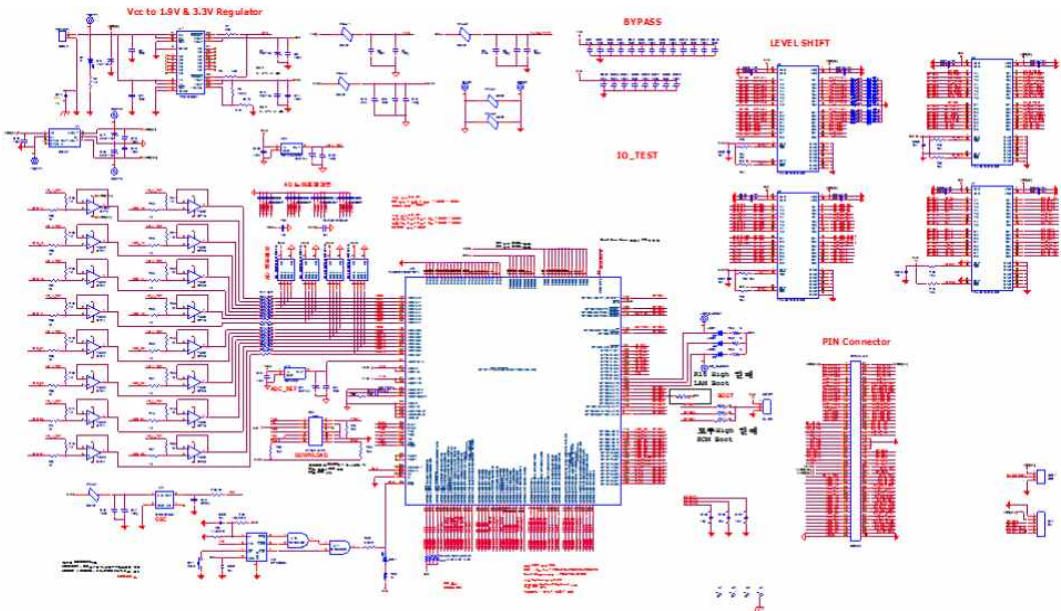


Fig. 197 통합제어 보드 CPU부(Schematic)

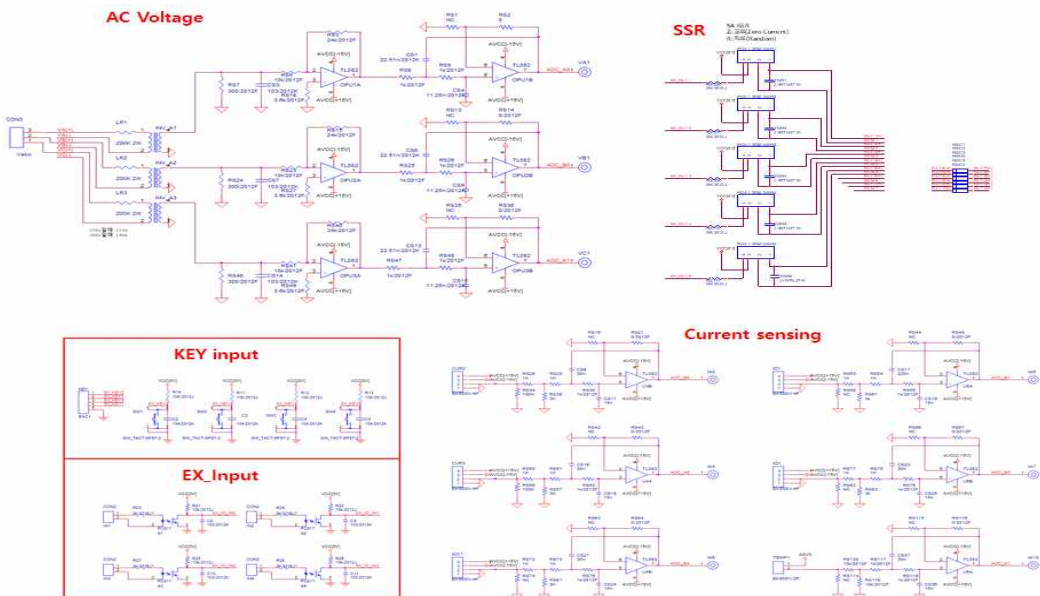


Fig. 198 통합제어 보드 센싱부(Schematic)

Figs. 199~200와 같이 펌프구동을 위한 인버터 출력단의 전력 센싱 및 외부 I/O 기능, 외부와의 통신기능 구현을 위해 Ti사의 TMS302F28335를 이용한 통합 제어보드를 구성하였다. 통합 제어보드는 크게 TMS320F28335로 이루어진 메인 CPU보드와 전원공급과 각종 포트 입출력 및 센서부로 구성되어 있는 제어보드(Base Board)로 구성되고 Base Board는 펌프구동을 위한 인버터의 전압/전류 센싱 및 각종 아날로그 신호 입력처리를 위한 Analog/Digital 필터회로 및 RS-232, CAN, RS-485통신회로, 스위칭 모듈의 PWM출력을 위한 드라이버 출력 포트, 그 외의 각종 입출력 포트 구성된다.

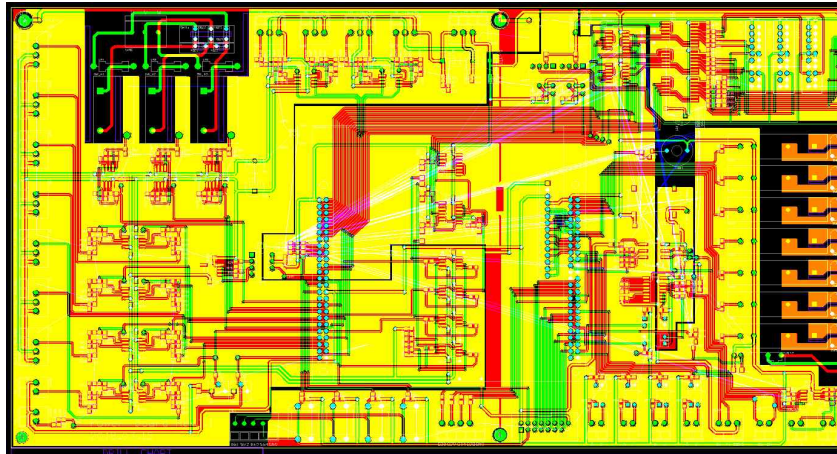


Fig. 199 통합제어 보드 (Layout)

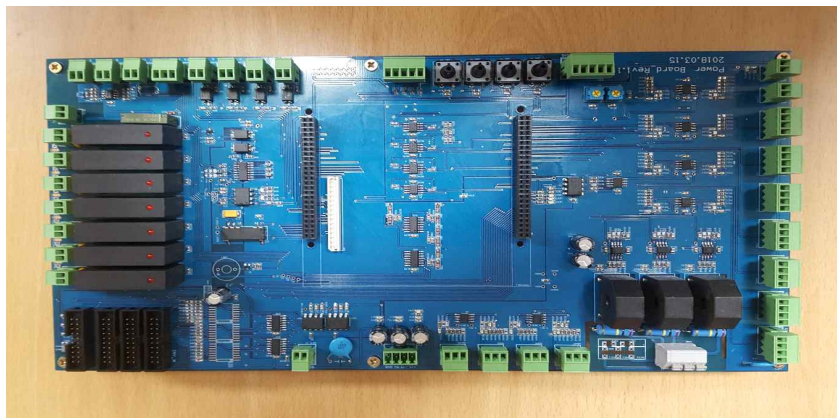
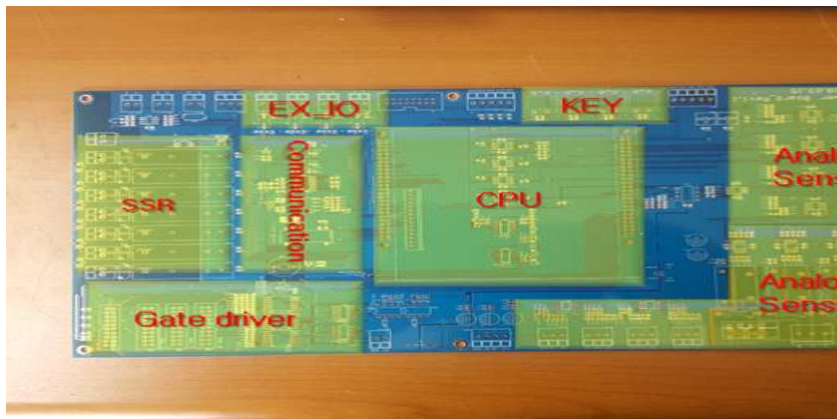


Fig. 200 제작된 통합제어 보드

2-11. 통합 모니터링 시스템 및 서버시스템 구성

펌프일체형 수문의 제어 및 실시간 모니터링이 가능하도록 하기위한 통합관리시스템은 내수위/외수위 등의 현장 환경에 대한 데이터를 수집하기위한 센서 장치, 권양기를 통한 수문 제어 및 펌프구동 제어를 위한 통합제어반, 유/무선 통합 모니터링이 가능하도록 하기위한 웹서버 및 사용자의 PC 및 스마트폰으로 실시간 점검이 가능한 원격모니터링 시스템으로 구성된다.

기존의 수문제어 및 관측시스템은 위험 조건 시 운용자에 대한 알람을 통한 감시기능만 수행되고 있으며, 2차년도 개발 내용은 유/무선 통합 모니터링 시스템은 현 상태에 대한 알람 기능 뿐만 아니라, 펌프 및 수문의 구동이력 및 상태 데이터 분석을 토대로 하여 부속품 및 주변설비에 대한 사전 감시가 가능하여 현장 상황에 대한 사전 대응이 가능할 수 있도록 하기 위함이다.

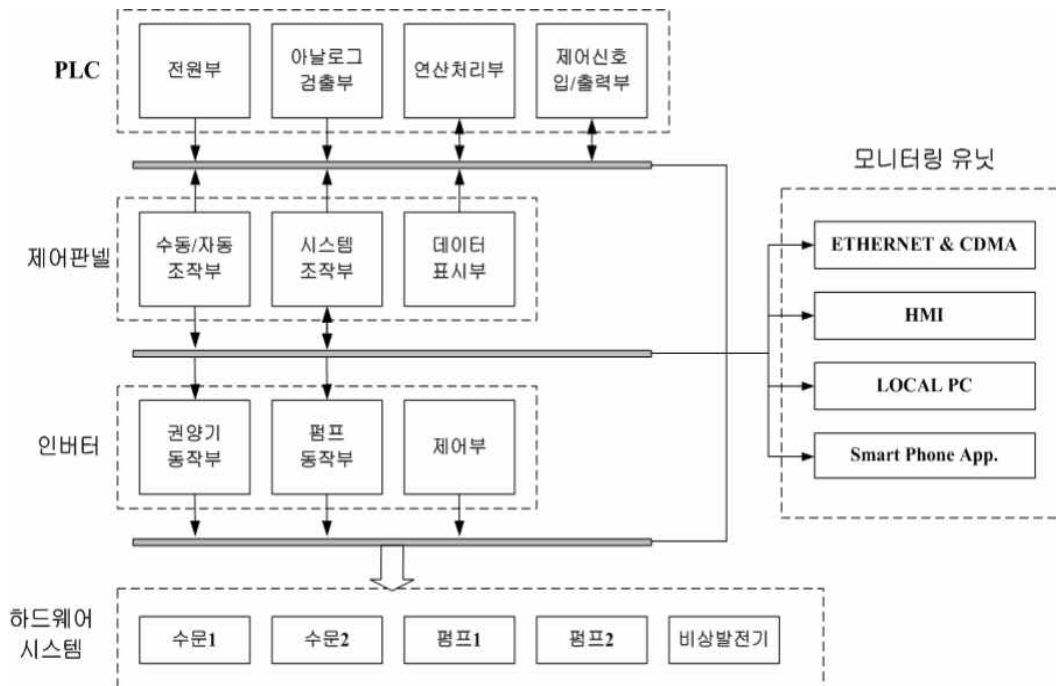


Fig. 201 통합 제어 시스템 블록도

Fig. 201의 통합 제어 시스템 블록도는 수문 및 권양기 제어를 위한 기동반, 수동/자동 조작 및 시스템 조작을 위한 현장제어반, 수문구동을 위한 권양기 동작부, 펌프 동작부를 갖는 펌프기동반, 시퀀스 제어를 위한 PLC, 실제 권양기와 펌프를 구동시키는 인버터 부 및 모니터링 유닛으로 구성되어 있으며, 통합제어반 내부의 통신부(PLC 통신 유닛)에서 HMI(Local) -> 통신 유닛(Local) -> 서버 -> 원격 모니터링으로 구성되어 있다.

- > 통합제어를 위한 입출력 I/O 포트 및 통신기능을 갖는 통합 PCB제작
- > 각종 에러(알람)상황에 따른 I/O 포트 및 점진 제어를 통한 시스템 동작 보호
- > 수문&펌프 제어반 및 모니터링 시스템과의 통신을 RS-485 통신 프로토콜 개발
- > 제어반과 현장 로컬 모니터링 HMI는 유선통신
- > 제어반과 외부 모니터링은 VPN을 이용한 무선 원격 모니터링 관리

펌프일체형 수문시스템의 제어 및 모니터링을 위해서는 현장에 설치된 센서 등을 이용해야 하며 이러한 센서를 통한 측정된 계측값들은 데이터 로거를 통해 수집을 하며, Local 미의 HMI 유닛 및 무선 인터넷망을 통해 자동으로 자료 수집서버 데이터베이스에 전송된다. 저장된 데이터들의 분석을 통한 빅데이터를 활용하여 주변 환경 변화를 추적함으로써 강수량 및 날씨에 대한 예측 데이터를 기반으로 강우에 따른 홍수피해를 최소화 하기 위한 수문 및 펌프제어를 수행하며, 측정된 결과를 인터넷망을 통하여 상황실로 데이터를 송신해주는 웹 모니터링 시스템을 구축하여야 하며 이를 위한 각부는 Fig. 202과 같이 구성된다.

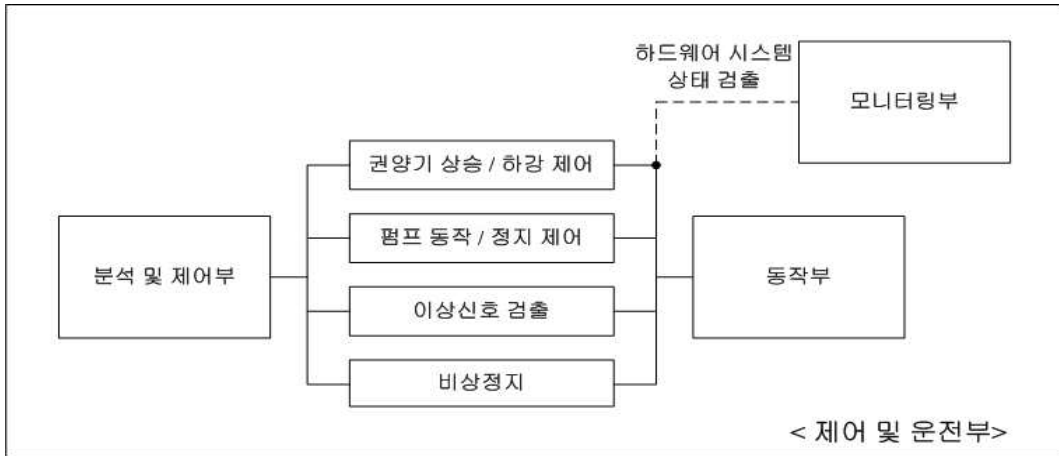


Fig. 202 통합 시스템의 제어부

이는 예측된 강우량에 대해 개방시켜야할 수문의 수 결정 및 펌프의 토출량을 통합제어반을 통해 제어해 줌으로써 내수위 및 외수위의 실시간 대응이 가능하도록 구성된다.

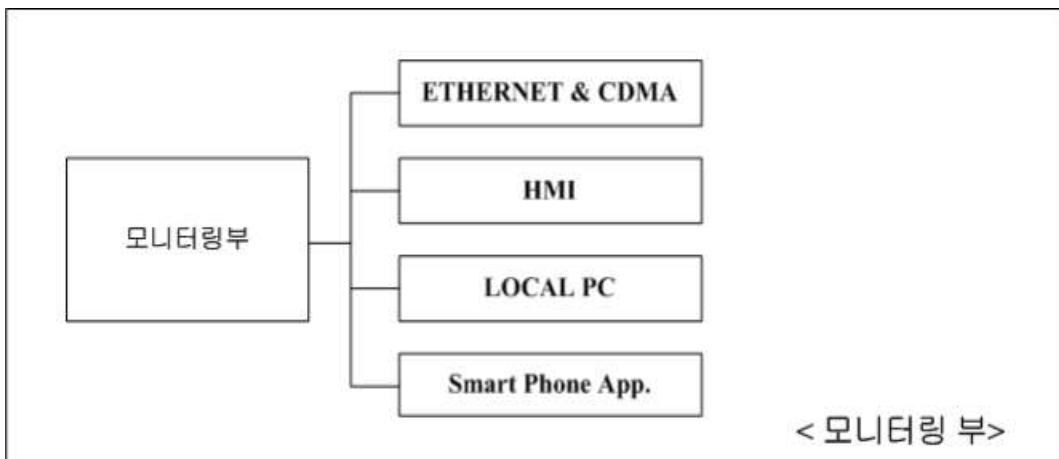


Fig. 203 통합 시스템의 모니터링부

Fig. 203은 펌프일체형 수문의 Local의 HMI를 갖는 유선 통신 및 웹서버를 이용한 원격 무선 모니터링 시스템에 관한 것으로서, 상세하게는 통신모듈을 통해 원격지의 사용자 단말기에서 직접 현장의 각종 장치를 제어할 수 있고, 현장의 상태를 모니터링 할 수 있도록 하는 웹서버를 이용한 통합 모니터링 시스템을 나타낸다.



Fig. 204 HMI 유닛 - CIMON IPC

Local 현장에서의 펌프 및 수문의 기동 및 모니터링을 위한 모듈은 CIMON사의 산업용 IPC 계열의 유닛을 적용하였다. Windows 기반의 산업용 PC로 열악한 환경의 산업현장에서 사용되는 제어장치로 전면의 디스플레이 장치가 터치방식으로 되어있어 사용자의 조작이 쉬운 장점이 있으며, 외부와의 모니터링 통신을 위한 RS-232, RS-485, Ethernet기능을 가지고 있다.(Fig. 204 참조)



Fig. 205 PLC 모듈 유닛 - LS산전

펌프 및 수문기동반 제어&센싱&통신기능을 갖는 PLC 모듈은 LS산전의 PLC모듈을 사용하였으며, DC용 릴레이의 동작 및 MC, 퓨즈, Fault등의 전기적 신호를 입력/출력하기 위한 DC 입/출력 모듈과, MC의 동작을 위한 AC출력 모듈, 각종 센서에서 출력되는 아날로그 신호 검출을 위한 Analog 신호 입력 모듈, RS-232, 485 통신을 위한 통신모듈, Ethernet 통신을 갖는 통신모듈로 구성이 되어있다.(Fig. 205 참조)



Fig. 206 유/무선 통신 유닛 - (주)멕서스

Fig. 206같이 유/무선 통신 유닛은 Local의 제어반의 PLC 통신모듈과 외부 원격모니터링을 위한 서버와의 연계를 시켜주기 위한 통신 라우터 유닛으로, RS-232 프로토콜을 지원하여 시리얼 인터페이스가 장착된 장비를 이더넷을 통해 TCP/IP로 변환하여 통신이 가능하도록 해 주는 통신 유닛으로 산업용 모니터링 서버관리에 최적화된 주요 기능은 다음과 같다.

- 1) LTE
 - ✓ Band 3 (1800MHz) - TX : 1710 to 1785 MHz / RX : 1805 to 1880 MHz
 - ✓ Band 8 (900MHz) - TX : 880 to 915 MHz / RX : 925 to 960 MHz
 - ✓ MIMO 지원 (OFDM, SC-FDMA)
- 2) WCDMA(3G)
 - ✓ Band 1 (2100MHz) - TX : 1920 to 1980 MHz / RX : 2110 to 2170 MHz
- 3) 이더넷 통신(10/100Base-T)
 - ✓ TCP/IP, UDP/IP, DHCP 지원
- 4) Wi-Fi
 - ✓ IEEE 802.11b/g/n 2.4GHz
- 5) Web CM 파라미터 변경 및 설정
- 6) RS-232 프로토콜 (Option)
 - ✓ Baudrate: 1,200bps ~ 115,200bps
 - ✓ TCP Mode: TCP PASSIVE / TCP ACTIVE
- 7) 단말 내장형 SSL VPN Client (Option)

LTE 단말기 내에 Ssl VPN Client 내장으로 되어 보안 암호화가 가능하기 때문에 산업용 모니터링 시스템 관리시 외부의 간섭에 대한 보안성능이 매우 높은 장점이 있다.

2-12. 통합 모니터링 시스템 및 서버시스템 제작

펌프일체형수문 시스템의 운전상태 및 알람 등의 각종 데이터 확인을 위한 통합 모니터링 시스템을 Local 모니터링을 위한 HMI, 이력관리 및 빅데이터 분석을 위한 원격 모니터링용 서버시스템을 구축하였으며, 이를 RS-232, RS-485, Ethernet, VPN 기술을 이용하여 유/무선 통합 모니터링 시스템을 개발하였다.

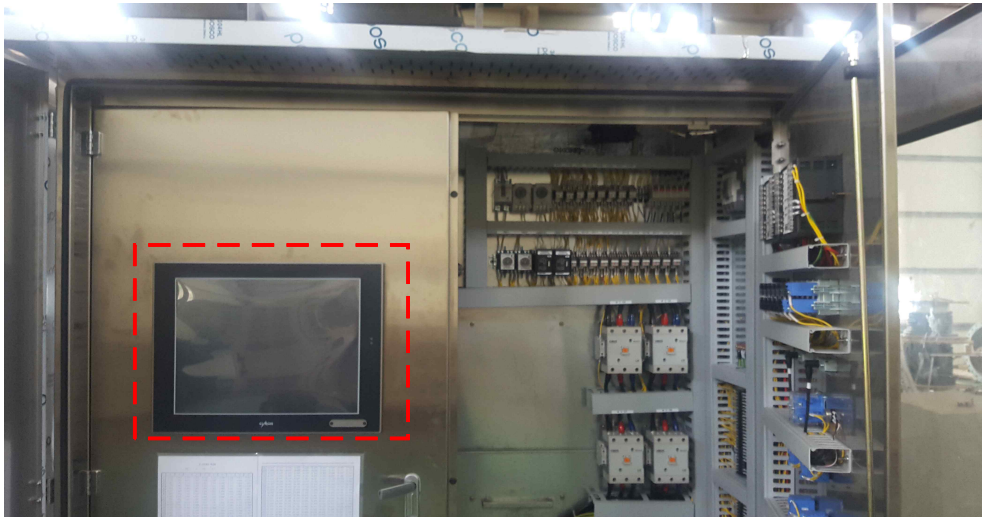


Fig. 207 펌프&수문 기동반 전면부 HMI

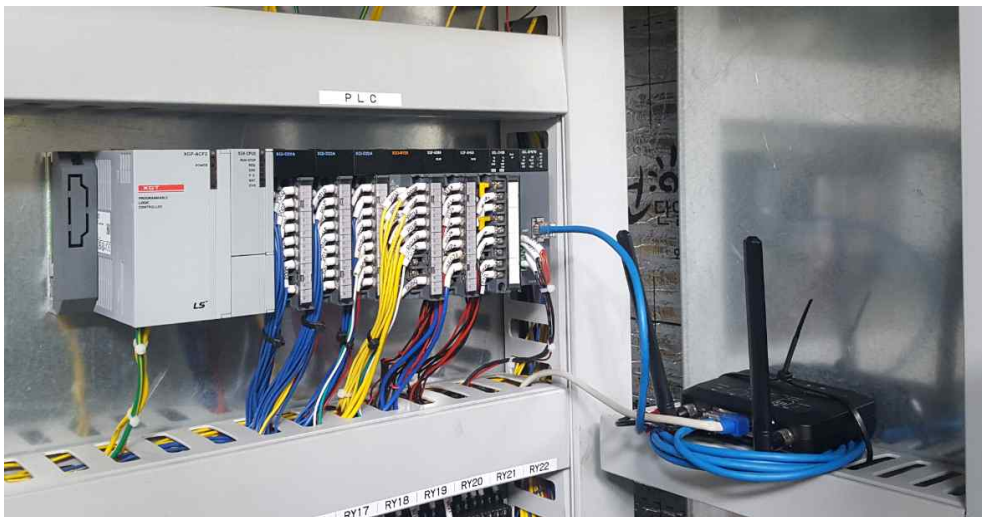


Fig. 208 Local HMI(유선) & LTE VPN(무선) 모듈 연계

Figs. 207~208는 테스트베드에 설치된 펌프&수문 기동제어반의 전면부의 HMI 모듈과 통합 모니터링을 위한 Local의 HMI 및 PLC와 외부의 원격서버와의 통신을 위한 VPN통신 유닛의 연결을 보여주고 있다. Local에서의 동작상태 및 알람에 관한 전반적인 모니터링 데이터는 최초에 PLC 통신유닛을 통해 Analog, Digital 입력신호를 통해 센싱을 하고 있으며, 이를 제어반 전면부의 HMI와 VPN 통신유닛에 RS-232와 Ethernet을 통해 데이터를 공유한다. VPN은 이 데이터를 TCP/IP를 통한 무선 인터넷망을 이용, 원격 서버시스템과 연계된다.

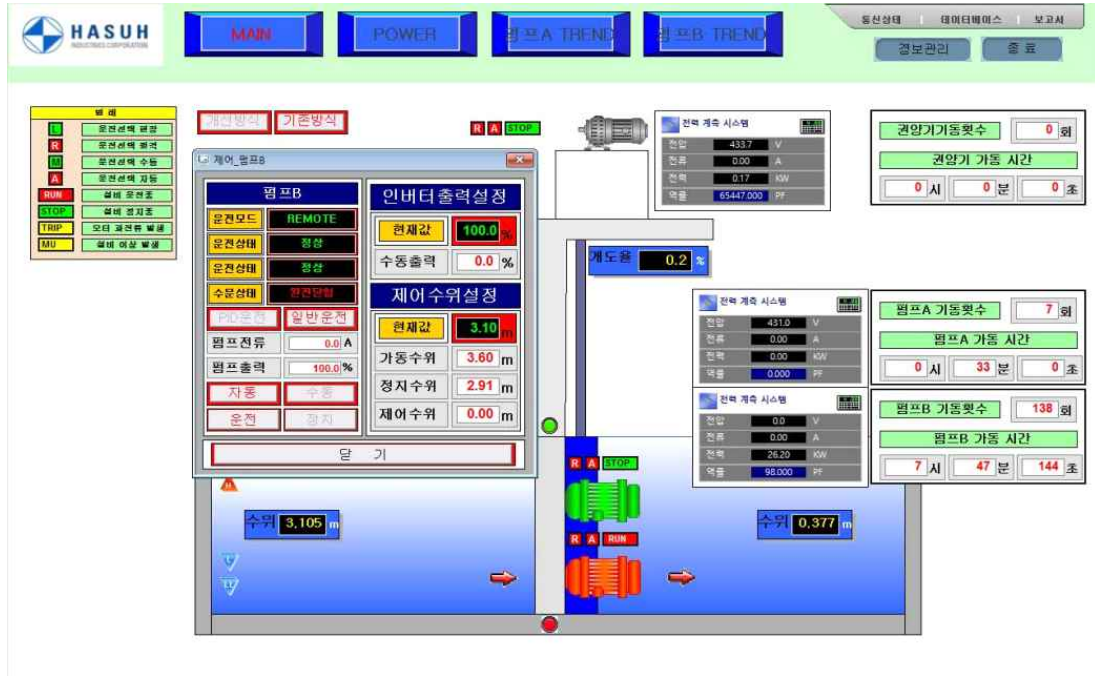


Fig. 209 HMI 시스템의 모니터링 화면 LayOut

HMI의 디스플레이의 기본 화면의 구성은 내수위/외수위, 펌프 및 권양기의 수명예측 및 운전시간 체크를 위한 기동횟수 및 가동시간, 수문의 개도율 및 펌프모터의 출력전력에 대한 기본 데이터 표시를 위한 기본 LayOut 구성화면을 보여주고 있으며, 전력량 모니터링, 그래프를 통한 트렌드 모니터링을 할 수 있는 상태바로 구성이 된다.(Fig. 209 참조)



Fig. 210 펌프 및 수문 상태 및 제어창

Fig. 210와 같이 여기에서 펌프 및 권양기에 대한 상세데이터는 각각의 이미지를 클릭하면 권양기와 펌프의 현재 동작상태에 대한 상세 데이터를 확인할 수 있으며, 각각의 동작조건을 HMI 터치를 통해 수동으로 제어할 것인지, 자동으로 제어할 것인지 사용자가 설정할 수 있도록 하였으며, 수동시 각각의 제어값 입력이 가능하도록 개발되었다.

Fig. 211은 초기화면에서 내/외수위에 대한 실시간 모니터링을 위한 디스플레이 화면으로

초기화면에서 내수위/외수위 표시창을 클릭하면 아래의 화면과 같이 시간별 변동되는 내/외수위의 트렌드를 실시간으로 모니터링이 가능하며, 수문과 펌프의 운전에 따른 내/외수위 변화 관찰을 통한 데이터 분석을 통해 향후 홍수발생시 펌프 및 수문의 동작조건을 최적화하기 위한 중요한 데이터 정보라고 할 수 있다. 또한 각각의 전력량 실시간 트렌드 모니터링을 추가하여 펌프의 출력에 따른 수위의 변화를 한눈에 분석할 수 있도록 구성하였다.



Fig. 211 내/외수위 실시간 트렌드



Fig. 212 펌프 및 수문 운전상태창

Fig. 212은 메인화면 이외에 전력데이터 및 펌프의 운전상태를 모니터링 하기 위한 디스플레이 창을 나타낸다. Power 탭에서는 수문 운전을 위한 권양기와 펌프의 전력데이터를 나타내고 있으며, 이 또한 해당데이터 클릭을 통해 Fig. 211의 디스플레이 화면으로 자동으로 전

환되어 실시간 트렌드 화면을 통해 전력변화량 추이를 확인할 수 있다. Trend창은 펌프와 운전상태를 체크하기 위한 것으로 펌프의 출력 전력과 코일온도, 베어링 온도를 체크하여 펌프모터의 이상발생여부를 사전에 체크할 수 있으며, 펌프의 고장발생을 대비할 수 있다.(Fig. 213 참조)

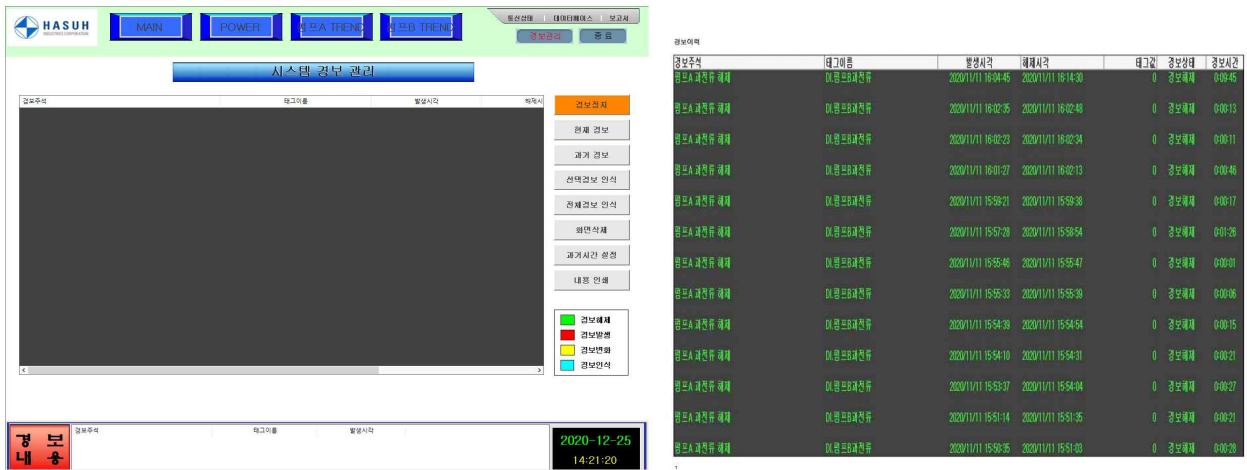


Fig. 213 시스템 경보관리를 위한 모니터링 화면

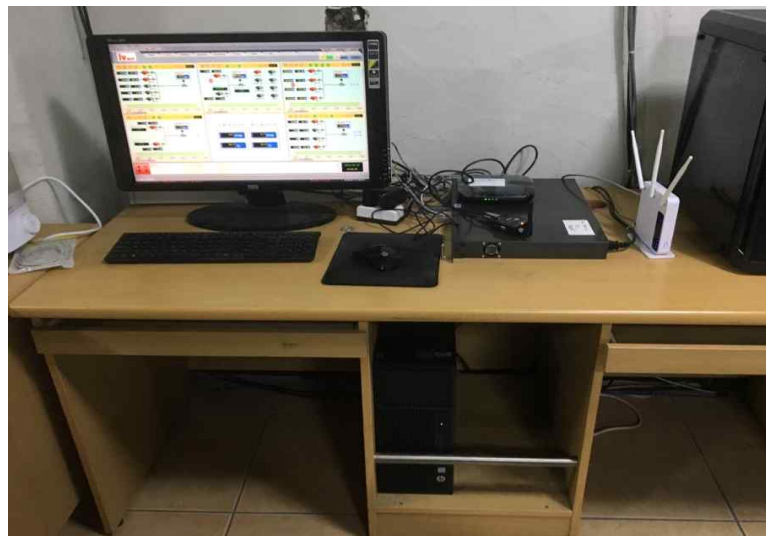


Fig. 214 원격 모니터링용 서버구축

Fig. 214은 인버터기술(주)의 광주사무실에 구축된 원격 모니터링을 위한 서버 시스템을 보여주고 있다. 하서산업 화순공장에 설치된 Local의 펌프/수문 상태, 전력, 알람발생에 대한 전반적인 데이터들을 VPN 통신 유닛의 TCP/IP를 통해 무선으로 원격 모니터링할 수 있으며, 각종 상태데이터 및 알람발생에 관한 데이터로그를 관리하는 서버역할을 수행한다.

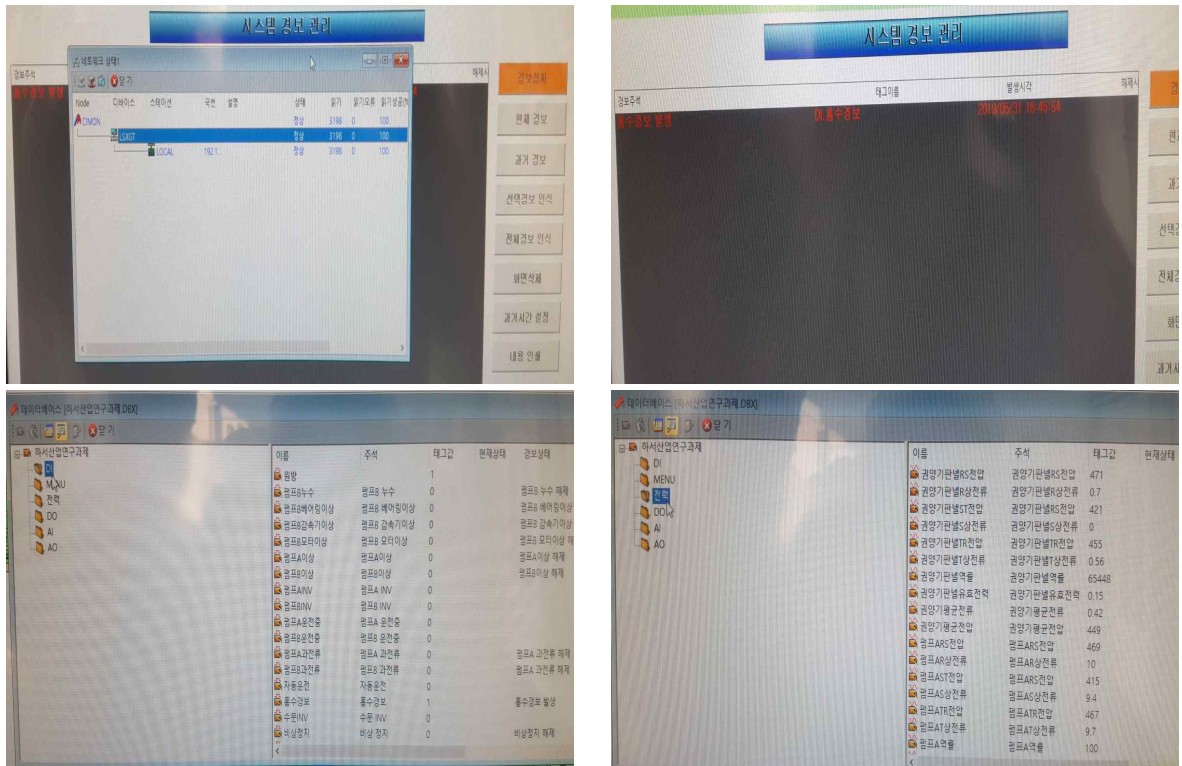


Fig. 215 서버 모니터링 데이터베이스

Fig. 215와 같이 서버를 통해 관리되는 데이터로그는 Local의 모든 데이터를 로그하고 있으며, 이는 권양기와 펌프의 전력데이터 뿐만 아니라, 각각의 현재 운전상태, 누수, 베어링 이상, 감속기 이상, 인버터 Fault, 과부하운전, 홍수 경보등 모든 알람상태의 데이터를 로그하게 된다. 차후 이렇게 누적된 로그데이터의 분석을 통해 날씨, 강수량에 따른 홍수발생여부를 분석할 수 있으며, 이에 따른 권양기와 펌프의 운전상태를 분석함으로써 향후 발생할 홍수에 대해 최적의 운전조건을 분석하여, 실제 자동제어에 적용시킴으로써 다양한 상황에 따라 수문 내/외수위 조절을 적절히 해줌으로써 홍수에 대한 피해를 최소화 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

2-13. 스마트폰 어플을 통한 IoT 모니터링

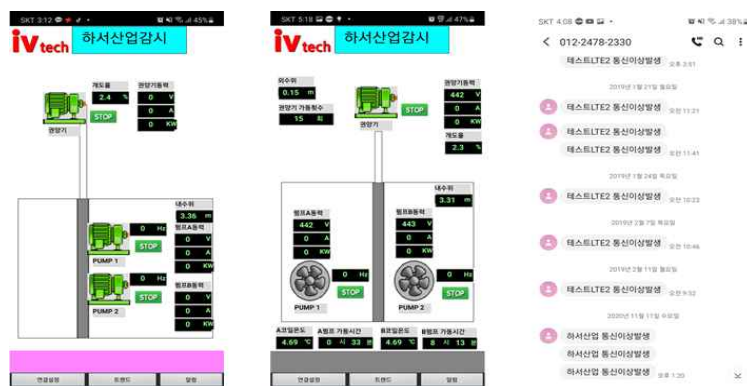


Fig. 216 스마트폰 모니터링

Fig. 216은 로컬의 통합시스템 및 서버와 연동시켜 개발된 스마트폰을 이용한 모니터링 시스템으로 서버를 통해 저장된 데이터들의 기본적인 동작 상태를 사용자가 현장이 아닌 스마트폰을 사용할 수 있는 어느곳에서는 현장 감시가 가능하도록 구성한 스마트폰 모니터링 시스템을 보여주고 있다.

이는 현재 보여지는 화면의 그래픽 구성이외에도 서버를 통해 저장되고 있는 모든 모니터링 데이터를 활용 할 수 있으며, 사용자의 요건 환경에 맞게 그래픽 유닛은 간단하게 변경이 가능하며, 이로인해 펌프의 운전시간, 베어링 및 코일온드등의 지속적인 유지관리를 위한 데이터정보들을 실시간으로 확인을 할 수 있으며, 화면 구성에 따라 고수위 알람, 가동시간 축적에 따른 펌프 및 각 유닛들의 점검 알람등을 발생시켜 줄 수 있다.

향후 한국수자원공사, 기상청 등의 기상 및 환경 데이터들을 서버와 연동시킬 수 있게 되면 실시간적으로 강수량의 급증에 따른 홍수 알람등을 실시간으로 사용자의 문자 푸시를 통해 전달 받음으로써 홍수재해관리에 따른 사전 대응이 가능할 것으로 보인다.

2-14. 펌프일체형수문 시스템의 사용용량에 따른 설계지침 작성

펌프일체형수문시스템 배수펌프 설계 관련 자료조사 및 검토에 따라 펌프일체형수문 시스템을 구성하고 설계지침 작성하였다.(Fig. 217 참조)

2-14-1. 펌프일체형수문 시스템의 통합제어반 구성

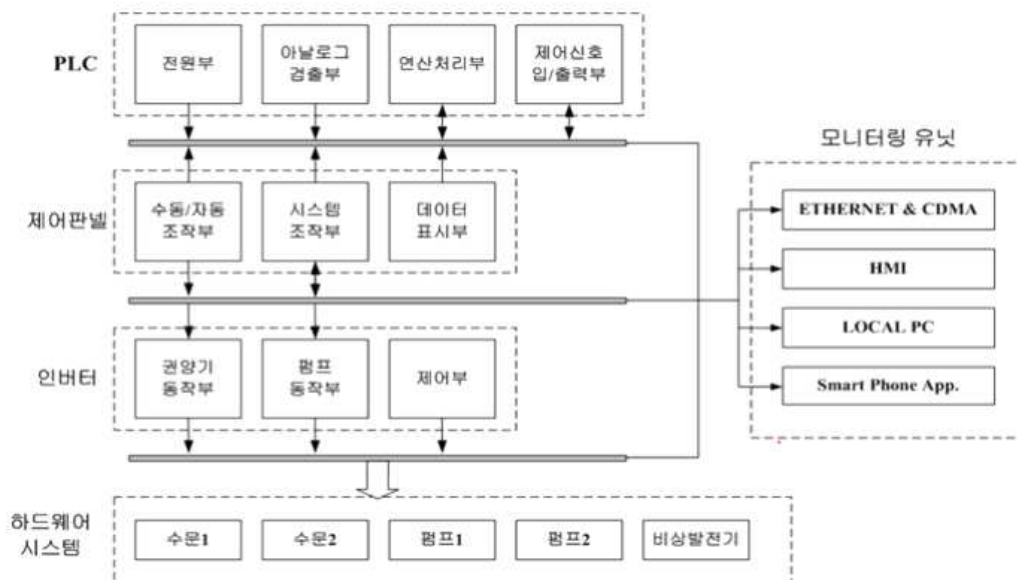


Fig. 217 펌프일체형수문 시스템의 통합제어반 구성도

2-14-2. 사용용량에 따른 설계지침

배수펌프장은 배수지역의 침수방지에 대한 중요성을 고려하여 배출 계획 고수위(외수위) 이하인 경우 어떠한 조건하에서도 배수펌프에 의한 강제배수가 가능하도록 계획하여야 하므로

최적설비로 계획한다.

펌프의 형식은 펌프실의 규모 및 유지관리 등에 큰 영향을 미치므로 각 펌프의 특성을 충분히 검토한 다음, 그 사용목적에 적합한 펌프·모터를 선정하여야 하며, 배수펌프장에서는 배수량 및 양정고가 수시로 변동되므로 흡입 실양정, 토출량, 이물질에 의한 고장, 부식 및 마모의 내구성 등이 고려되어야 한다. 따라서 설계유량, 설계 전양정, 배치계획, 유지관리 등을 고려하여 펌프를 선정하여야 한다.(Table 39 참조)

Table 39 펌프 설치대수

계 획 배 수 량 (m ³ /s)	설 치 대 수 (대)	비 고
30 이하	2 ~ 4	펌프장의 지형조건과 펌프형식을 고려하여 2대로 계획한다.
31 ~ 100	3 ~ 5	
101 ~ 200	4 ~ 6	
201 ~ 300	5 ~ 7	
301 이상	6 ~ 10	

주) 하천설계기준(2005, 한국수자원학회)

펌프장 시설에 있어 펌프자체의 토출유속은 총배수량에 대하여 설치대수와 구경을 결정하는 중요한 변수로서 펌프시설의 최적성능 발휘에 큰 영향을 미친다. 펌프설계의 기준이 되는 Ns 치는 제작사별로 적용치가 상이하며 동일유량에 대하여 최고효율을 발휘할 수 있는 펌프구경과 유속에도 차이가 있다. 유속 V를 하수도 시설기준에서는 1.5 ~ 3.0 m/s를 기준으로 하고 있으며 최근의 펌프설계 경향이 펌프의 임펠러에 의해서 발생시킨 유체의 속도에너지를 압력에너지로 변환시키는 과정에서 유속을 빠르게 하는 것이 에너지 손실이 적어 고효율의 성능을 발휘할 수 있는 것으로 나타나 2.0 ~ 3.5 m/s로 증가시키는 추세에 있다.(Table 40 참조)

본 설계에서 펌프의 흡입구경은 토출량과 흡입구의 유속을 고려하여 다음 식 (49)으로 계획하였다.

$$D = 146\sqrt{Q/V} \quad (V = 2.0 \sim 3.5 \text{ m/s }) \quad (49)$$

Table 40 펌프의 표준구경과 배출량

표준구경(mm)	양수량(m ³ /분)	표준구경(mm)	양수량(m ³ /분)
Φ300	8~12	Φ900	90~115
Φ350	12~18	Φ1000	115~150
Φ400	18~23	Φ1200	150~200
Φ450	23~28	Φ1350	200~255
Φ500	28~36	Φ1500	255~325
Φ600	36~50	Φ1650	325~400
Φ700	50~70	Φ1800	400~480
Φ800	70~90	Φ2000	480~600

주) 농업생산기반정비사업 설계기준(농림부)

배수펌프는 우수지로 유입된 우수를 배출계획에 따라 하천으로 배출하는 설비이며, 작동에

이상이 없고 경제적이며 내식성을 구비하여야 한다.

가) 선정조건

- 운전조작 및 유지관리 용이
- 기계비 및 건설비, 운영비가 저가
- 설치소요면적이 적을 것
- 기술 및 기능상의 신뢰감이 있을 것

플랩밸브는 펌프의 토출구 측에 설치하여 평소에는 내수를 자연유하 시키고 외수위가 상승하면 외수위의 역류를 차단하여 내외수의 수위차에 의하여 자동으로 개폐되는 밸브이다. 플랩밸브와 플랩게이트는 자중이 가벼워서 적은 수위차에도 작동되어야하고, 외수위에서도 충분히 견디는 강도를 갖추어야 한다. FRP는 스테인레스의 인장강도가 1,050kg/cm²인데 반하여 420kg/cm²로 동일 수위조건을 만족시키기 위해서는 매우 두꺼워져야 하고 이로 인하여 자중이 증가하는 문제점이 있다.

따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 에어챔버형 스테인리스 자동비는 에어챔버에서 부력을 발생시키고 회전축의 위치를 상부와 중앙에 배치하는 회동링크를 구성하여 부식에 견디면서 낮은 수위차에도 내수를 원활하게 배출시키면서 외수의 지수를 확실하게 하도록 한다.

개폐기는 내수위가 높고 외수위가 낮은 상태에서 필요에 따라 자연유하 할 경우 게이트를 개방시키거나, 외수위가 높아 역류할 우려가 있을 경우 게이트를 자중강하식 스프링 액추에이터로 작동하여 폐쇄하며 역류를 방지하는 역할을 한다. 수문 개폐기는 횡축프로펠러펌프를 장착한 게이트펌프를 평소에는 개방하여 우수를 자연 유하시키고, 외수위가 상승하면 수문으로 수로를 폐쇄시켜서 외수의 역류를 차단시키는 역할을 한다. 자중강하식 스프링 액추에이터에서 발생한 개폐력은 확실한 동력전달과 안내고정판을 작동시키기 위하여 개폐기를 통하여 동력이 전달되도록 하였으며, 수문의 개폐시 무인 구동이 가능하도록 수문, 개폐기, 수중 펌프 및 제진기를 연계하여 운전할 수 있도록 구성하여야한다.

2-15. 적용처에 따른 펌프일체형수문 시스템의 시공지침 작성

2-15-1. 시공시 유의사항

- (1) 먼저 제품을 설치할 장소(Pit 또는 Sump)의 치수를 확인하고, 제품의 치수와 비교하여 설치 가능 여부를 판단한다.
- (2) 제품을 설치할 장소를 깨끗이 청소한다.(토목공사 후 방치된 쓰레기, 나무토막 등이 흡입구를 막거나 흡입되어 임펠러를 구속하게 되어 전동기가 소손되므로 주의하여야 한다.)
- (3) 자재의 준비 상태(제품 및 배관용 부속자재) 및 설치에 필요한 장비와 공구의 준비상태를 확인한다.
- (4) 자재와 장비 등을 설치할 장소로 운반한다. (운반 시 유의사항을 지켜서 운반하여야 한다.)
- (5) 설치를 하기 전에 반드시 제품의 점검 및 보수 유지를 위하여 인양을 편리하게 할 수 있는 대책을 세우고 설치하여야 한다.(우선 편리한 방법으로 설치를 하면 추후 인양을

- 할 수 없거나, 인양이 어려워 상당한 기간 설비의 기능을 상실하며 경제적 손실이 크다.)
- (6) 제품이 부착된 케이블의 길이가 짧아서 케이블을 연결하고자 할 때에는 전압강하가 되지 않도록 충분한 용량의 케이블을 사용하고 Sleeve를 연결한 후 확실하게 연결되었는지 손으로 당겨서 확인하고 완전방수가 되도록 절연처리를 하여야 한다.(Fig. 218 및 [전선 연결 방법] 참조)

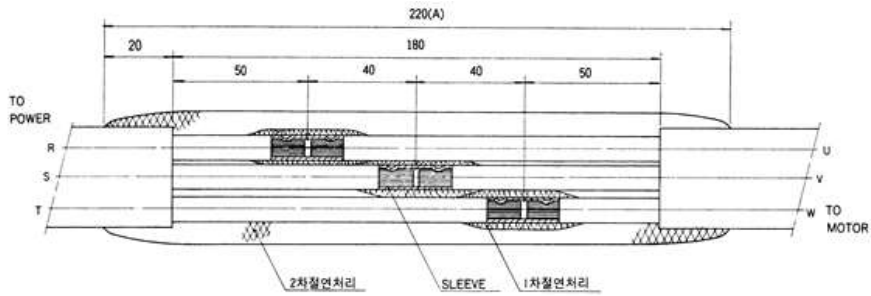


Fig. 218 전선연결방법

1. 두 전선의 접속방법은 **Sleeve Joint**에 의한다.(R-U, S-V, T-W)
2. 1차 절연처리 : **Sleeve Join**된 전선 각 상을 따로 분리하여 각 상마다 콤파운드(접착제)를 고르게 칠한 다음 천연 고무 테이프를 2-3회 감고 그 위에 비닐 테이프를 2-3회 감는다.
3. 2차 절연처리 : 분리 절연처리 되어 있는 각상을 한데모아 **A**부분에 콤파운드를 고르게 칠한 다음 천연 고무 테이프를 2-3회 감고 그 위에 비닐 테이프를 2-3회 감는다.
4. **Join**부의 두께는 전선 피복 두께의 2배 이내 이어야 한다.

2-15-2. 시운전시 유의사항

제품 및 컨트롤 패널(Control Panel)의 설치가 완료되면 전원을 공급하여 제품의 회전 방향을 확인하고 성능이 사양에 합당한지를 확인하여야 하는데 그 절차는 다음과 같다.

우선 전압 측정기(Hook Meter)로 입력전원을 확인하여 제품의 전압과 일치하는지 확인한다. 절연저항계(Megger Tester)로 제품의 대지 간 절연저항을 측정하여 10MΩ이상인지를 확인한다.(「결선 상태 확인 방법」 참조)

제품에 부착된 케이블을 컨트롤 패널의 단자대(Terminal Block)에 연결시킨다. (「단자대 연결방법」 참조)

Pit 및 Sump의 청소 상태를 확인한다.(공사 후 방치된 쓰레기, 나무토막 등을 깨끗이 청소한다.)

청소 및 케이블 연결 작업이 완료된 후 공급 전압을 확인하고 스위치를 넣어 시운전을 실시하는데 절차는 아래와 같다.

- 1) 토출 밸브(Gate Valve)를 연다.(「형식별 토출밸브 개폐 표준」 참조)
- 2) 타이머(Timer) 및 열동형 과전류 릴레이(THR)를 세팅한다.
 - ① 스타델타 기동일 때 타이머는 7~9초로 세팅한다.

- ② 열동형 과전류 릴레이는 제품의 정격전류에 세팅한다.
- 3) 컨트롤 패널의 배선용 차단기(No fuse Breaker)의 스위치를 ON위치로 하고 절환 스위치(Selector Switch)를 수동(Manu)의 위치로 한 후 작동(ON)스위치를 누른다.
- 4) 운전을 시킨 후 회전 방향을 확인한다.(「회전방향 확인방법」 참조)
 - ① 전동기 쪽에서 보았을 때 시계방향이 정회전이다.
 - ② 펌프 쪽에서 보았을 때 반시계방향이 정회전이다.
- 5) 운전 전류가 정격전류 이내이면 1시간 정도 연속운전을 하여 전류의 변화 관계를 관찰하고 이상이 없으면 레벨스위치의 설치위치가 적절한지를 확인하고 운전을 중지한다. (시운전 완료) 계속해서 운전을 요할 때에는 절환 스위치(Selector Switch)를 자동(Auto)의 위치로 하면 레벨스위치에 의해서 자동으로 운전된다.

[결선상태 확인방법]

이 방법은 단선 유무를 확인할 수 있고, 전선에 기호가 미부착 되었거나 색상(적색, 백색, 흑색)의 구별이 없을 때 현장에서 컨트롤 판넬의 단자대에 결선 시 필수적이므로 숙지해야한다.

1) 전원 공급선(Power Line)의 결선상태 확인

① 직입 기동

전원선 3개중 어느 하나를 메가 테스터의 접지선(Earth Ling)에 연결시키고 나머지 두 선의 절연저항을 측정하여 $0M\Omega$ 이면 결선상태가 양호하며 $1M\Omega$ 이상이면 단락되었거나 내부 결선이 잘못되었으므로 운전을 해서는 안 된다. 운전하던 제품일 경우는 전동기가 소손된 것으로 판정한다.(즉 상간 절연저항이 $M\Omega$ 이어야 한다.)(Fig. 219 참조)

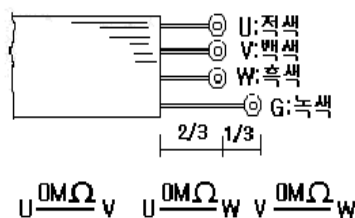


Fig. 219 직입 기동

② 스타델타 기동

Fig. 220와 같이 전원선 6개중 어느 하나를 메가 테스터의 접지선에 연결시키고 나머지 5선의 절연저항을 측정하여 아래와 같이 하여서 확인하면 된다. 이때 측정한 절연 저항은 상간 절연 저항이며 $0M\Omega$ 인 것은 하나 밖에 나올 수 없고 두 개 이상 속출 시에는 단선 또는 내부 결선이 잘못 되었으므로 운전을 해서는 안 되며, 운전을 하던 제품일 경우에는 전동기가 소손된 것으로 판정한다. 스타델타로 내부 결선된 것을 직입 또는 리액터 기동을 시키고자 할 때에는 다음과 같이 실시하면 된다.

- U, Z(①, ⑥) …… R
- V, X(②, ④) …… S
- W, Y(③, ⑤) …… T

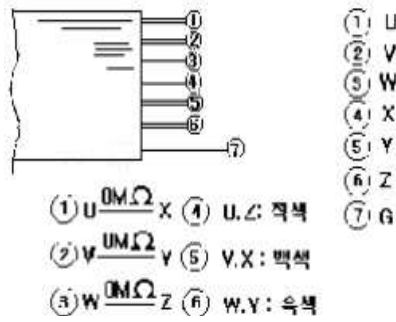


Fig. 220 스타델타 기동

2) 각종 보호 장치 결선 상태 확인

① 전동기 보호 장치(Motor Protector)

전동기 보호 장치 케이블은 2선이며 표시기호는 PT, 색상은 2선 모두 백색으로 되어있다. 그 중 어느 한선을 메가 테스터의 접지에 연결시키고 절연 저항을 측정하여 $0M\Omega$ 이어야 한다.

② 누수감지장치(Leakage Detector)

일명 Seal Sensor라고 하며 케이블은 2선이고 표시기호는 SS, 색상은 2선 모두 흑색으로 되어 있다. 멀티테스터로 측정하여 100Ω 이상이어야 한다.(저압이므로 메가 테스터는 사용금지)

③ 베어링 온도 감지 장치

일명 Bearing Sensor라고 하며 케이블은 2선이고 표시기호는 BS, 색상은 2선 모두 적색으로 되어있다. 멀티 테스터로 측정하여 $110\Omega \pm 10\%$ 이내이어야 한다.(저압이므로 메가 테스터는 사용금지)

2-15-3. 시운전시 주의사항

- 1) 운전 중 1일 1회 이상 주기적으로 전압과 전류를 확인하여 설비 이력표에 기록 유지토록 한다.
- 2) 절연 저항은 최소한 월1회 이상 확인하여 설비 이력표에 기록 유지토록 한다. $10M\Omega$ 미만일 때는 운전을 중지해야한다. (절연 저항 측정은 단자대에서 완전히 분리한 상태에서 측정한다.)
- 3) 운전 중 전압이 $\pm 10\%$, 전류가 정격 전류의 $+5\%$ 를 초과 시에는 즉시 운전을 중지하고 당사로 문의하여야 한다.
- 4) 운전 중 과도한 이물질이 유입되고 있는지를 항상 확인하여야 하며 이의 유입을 막을 수 있는 적절한 조치를 취해야 한다.
- 5) 샌드 펌프를 제외한 모든 제품은 흙 및 모래를 펌핑할 수 없게 되어 있으므로 흙 및 모래가 과도하게 펌핑될 경우 운전을 중지하여야 한다.

2-15-4. 펌프일체형수문 시스템의 제품규격서 작성

펌프일체형수문시스템 제품 관련 설계, 제작에 따른 제품 검토에 의한 펌프일체형수문 시스템 규격을 구성하고 제품규격서를 작성하였다.(Fig. 221 참조) 또한 제품규격서에 따른 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발”의 시제품을 Fig. 222와 같이 외형검사, 치수검사, 자재검사를 진행하여 제조검사 성적서를 제작하였다.

제 품 규 격 서

스마트 감시제어형 펌프수문



하서산업주식회사

1 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문 개요

1.1 적용범위

이 규격은 강, 하천제방, 수로, 배수펌프장, 빗물펌프장 등에 설치되는 스마트 감시제어유니트가 적용된 펌프 및 펌프수문으로 펌프는 토출구경 50mm ~ 2000mm, 소요동력이 1.5~1000kW인 축류 및 사류형식 수중펌프에 적용되고, 펌프수문에 탑재하는 수중펌프 구경은 300~2000mm, 수문의 크기는 1련당(0.8m x 0.8m ~ 7.0m x 7.0m)의 수문에 정착되는 수문에 적용된다.

1.2 특징

본 스마트 감시제어유니트가 적용된 펌프 및 펌프수문은 스마트 감시제어 유니트가 장착된 제품으로 전동기와 펌프를 감시제어하기 위하여 외부에서 전동기 기동반 또는 현장제어유니트를 거쳐 전동기로 공급되는 전압, 전류 및 전동기의 온도, 습도의 각 파라미터를 측정하는 측정부와 상기 각 파라미터의 제어범위를 설정하는 설정부와, 전동기와 펌프의 운전전, 운전중, 운전후의 각 파라미터를 실시간으로 측정, 디지털변환 및 저장하는 감시와 그 데이터를 설정파라미터와 비교, 연산, 판정, 알람, 표시, 구동을 계속, 제어 또는 정지시키며, 설정 파라미터를 현장에서 수정할 수 있고, 그 결과를 실시간으로 표시부에 표시하며, 유무선통신 신호로 중앙 또는 현장제어반 또는 원격지로 송출할 수 있는 감시제어유니트를 포함하는 것을 특징으로 하는 스마트 감시제어유니트 및 이를 구비한 펌프와 펌프수문에 관한 것이다.

1) 스마트 감시제어 유니트가 정착된 펌프 및 펌프수문

(특허: 제10-2112558호, 특허 제10-2059898호)

2) 펌프의 전동기로 공급되는 전력(전압 및 전류)의 위상(位相) 및 파형(波形)과, 전동기의 회전방향과 회전속도, 전동기 내부의 온도, 습도, 누수, 절연 및 진동의 파라미터(Parameter)를 실시간으로 측정, 변환, 저장, 비교, 연산, 판정, 알람, 표시하고 통신수단을 구비하여 제어 알고리즘에 따라 안전하게 구동되는 펌프와, 상기 펌프를 수문에 탑재하여 개폐시키는 개폐기를 현장 및/또는 원격지에서 실시간으로 감시제어하는 스마트 감시제어형 펌프 및 펌프수문

(특허: 제10-2112558호, 특허 제10-2059898호)

2 규격

2.1 제원

2.1.1 수증펌프

표1 [계 원]

번호	모델명	동력 (kW)	비고	번호	모델명	동력 (kW)	비고
1	HSP-S15	1.5	오배수용	33	HMP-S300A	25	사류
2	HSP-S22	2.2		34	HMP-S300B	30	
3	HSP-S37	3.7		35	HMP-S300C	39	
4	HSP-S55	5.5		36	HMP-S300D	50	
5	HSP-S75	7.5		37	HMP-S400A	39	
6	HSP-S110	11		38	HMP-S400B	50	
7	HSP-S150	15		39	HMP-S400C	60	
8	HSP-S190	19		40	HMP-S400D	80	
9	HSP-S220	22		41	HMP-S500A	60	
10	HSP-S300	30		42	HMP-S500B	75	
11	HSP-S370	37		43	HMP-S500C	95	
12	HSP-S450	45		44	HMP-S500D	120	
13	HSP-S550	55		45	HMP-S600A	85	
14	HSP-S750	75		46	HMP-S600B	110	
15	HSP-S1100	110		47	HMP-S600C	132	
16	HAP-S300	5-20	축류	48	HMP-S600D	170	
17	HAP-S400	10-45		49	HMP-S700A	120	
18	HAP-S500	11-55		50	HMP-S700B	150	
19	HAP-S600	22-90		51	HMP-S700C	190	
20	HAP-S700	30-132		52	HMP-S700D	240	
21	HAP-S800	65-210		53	HMP-S800A	150	
22	HAP-S900	75-250		54	HMP-S800B	190	
23	HAP-S1200	132-300		55	HMP-S800C	235	
24	HAP-S1350	150-350		56	HMP-S800D	300	
25	HAP-S1500	200-440		57	HMP-S900A	190	
26	HAP-S1650	250-500		58	HMP-S900B	235	
27	HAP-S1800	300-600		59	HMP-S900C	290	
28	HAP-S2000	350-700		60	HMP-S900D	380	
29	HMP-S250A	17	사류	61	HMP-S1000A	230	
30	HMP-S250B	20		62	HMP-S1000B	290	
31	HMP-S250C	25		63	HMP-S1000C	360	
32	HMP-S250D	32		64	HMP-S1000D	460	

번호	모델명	중력 (kW)	비고
65	HMP-S1100A	275	사류
66	HMP-S1100B	345	
67	HMP-S1100C	430	
68	HMP-S1200A	325	
69	HMP-S1200B	410	
70	HMP-S1200C	510	

번호	모델명	중력 (kW)	비고
71	HMP-S1350A	380	사류
72	HMP-S1350B	475	
73	HMP-S1500A	500	
74	HMP-S1800A	600	
75	HMP-S2000A	700	

- * 주1. 상기 표1은 표준규격이며, 본 규격서 외에 수요자가 요구한 소요중력 또는 기술 검토 후 적합한 중력을 적용할 수 있다.
 주2. 상기규격의 소요중력을 기준으로 토출구경, 효율, 양정 등은 수요자의 요청에 따라 적용 및 변경될 수 있다.

2.1.2 펌프수문

표2 [계 원]

번호	모델명	수문규격 (폭m x 높이m)	동력 (kW)	번호	모델명	수문규격 (폭m x 높이m)	동력 (kW)
1	HPGA-S300A	0.85 × 1.00	3.7-15	31	HPGA-SL000B	4.40 × 2.25	(90-200)*2
2	HHPG-S300A	0.85 × 1.00	3.7-15	32	HHPG-SL000B	4.40 × 2.25	(90-200)*2
3	HPGA-S300B	1.40 × 1.00	(3.7-15)*2	33	HPGA-SL100A	2.65 × 2.25	115-230
4	HHPG-S300B	1.40 × 1.00	(3.7-15)*2	34	HHPG-SL100A	2.65 × 2.25	115-230
5	HPGA-S400A	1.09 × 1.25	10-30	35	HPGA-SL100B	4.40 × 2.25	(115-230)*2
6	HHPG-S400A	1.09 × 1.25	10-30	36	HHPG-SL100B	4.40 × 2.25	(115-230)*2
7	HPGA-S400B	1.80 × 1.25	(10-30)*2	37	HPGA-SL200A	2.90 × 2.25	120-280
8	HHPG-S400B	1.80 × 1.25	(10-30)*2	38	HHPG-SL200A	2.90 × 2.25	120-280
9	HPGA-S600A	1.16 × 1.25	22-65	39	HPGA-SL200B	4.80 × 2.25	(120-280)*2
10	HHPG-S600A	1.16 × 1.25	22-65	40	HHPG-SL200B	4.80 × 2.25	(120-280)*2
11	HPGA-S600B	2.00 × 1.25	(22-65)*2	41	HPGA-SL350A	3.30 × 2.50	190-350
12	HHPG-S600B	2.00 × 1.25	(22-65)*2	42	HHPG-SL350A	3.30 × 2.50	190-350
13	HPGA-S600A	1.39 × 1.50	30-75	43	HPGA-SL350B	5.40 × 2.50	(190-350)*2
14	HHPG-S600A	1.39 × 1.50	30-75	44	HHPG-SL350B	5.40 × 2.50	(190-350)*2
15	HPGA-S600B	2.40 × 1.50	(30-75)*2	45	HPGA-SL500A	3.65 × 2.75	190-440
16	HHPG-S600B	2.40 × 1.50	(30-75)*2	46	HHPG-SL500A	3.65 × 2.75	190-440
17	HPGA-S700A	1.66 × 1.50	45-110	47	HPGA-SL500B	5.93 × 2.75	(190-440)*2
18	HHPG-S700A	1.66 × 1.50	45-110	48	HHPG-SL500B	5.93 × 2.75	(190-440)*2
19	HPGA-S700B	2.80 × 1.50	(45-110)*2	49	HPGA-SL650A	4.05 × 2.75	200-500
20	HHPG-S700B	2.80 × 1.50	(45-110)*2	50	HHPG-SL650A	4.05 × 2.75	200-500
21	HPGA-S800A	1.93 × 1.75	55-130	51	HPGA-SL650B	6.50 × 2.75	(200-500)*2
22	HHPG-S800A	1.93 × 1.75	55-130	52	HHPG-SL650B	6.50 × 2.75	(200-500)*2
23	HPGA-S800B	3.20 × 1.75	(55-130)*2	53	HPGA-SL800A	4.40 × 3.00	210-600
24	HHPG-S800B	3.20 × 1.75	(55-130)*2	54	HHPG-SL800A	4.40 × 3.00	210-600
25	HPGA-S900A	2.13 × 2.00	75-170	55	HPGA-SL800B	7.03 × 3.00	(210-600)*2
26	HHPG-S900A	2.13 × 2.00	75-170	56	HHPG-SL800B	7.03 × 3.00	(210-600)*2
27	HPGA-S900B	3.60 × 2.00	(75-170)*2	57	HPGA-S2000A	4.90 × 3.50	220-700
28	HHPG-S900B	3.60 × 2.00	(75-170)*2	58	HHPG-S2000A	4.90 × 3.50	220-700
29	HPGA-SL000A	2.40 × 2.00	90-200	59	HPGA-S2000B	5.40 × 3.00	(200-700)*2
30	HHPG-SL000A	2.40 × 2.00	90-200	60	HHPG-S2000B	5.40 × 3.00	(200-700)*2

* 주1: 상기 표2는 펌프를 수문에 탑재하는데 필요한 표준규격이며, 현장조건에 따라 수문규격, 펌프용량, 동력은 변경될 수 있음.
 주2: 상기 표2는 설치수심은 3M 기준으로 작성하였음.

2.2 기술 및 품질인증

표3 [적용기술 및 품질인증]

적용기술	인증등록번호	기술명(발명, 고안 명칭)/품질(품질)	발행기관
KS제품인증서	제11-0727호	배수용 수중모터 펌프	한국표준협회
CE인증	KR.CE.0012-05/15	수중펌프	EURO CBRT
Q마크지정서	N7-2016-010	배수용 수중모터 펌프	한국기계 전기전자시험연구원
Q마크지정서	S17(01)-2016-002	펌프수문	한국기계 전기전자시험연구원
Q마크지정서	S19(01)-2016-005	수문권양기	한국기계 전기전자시험연구원
특허	10-2112558	스마트 감시 제어 유닛 및 이를 구비한 펌프	특허청
특허	10-2059898	스마트 감시 제어형 펌프수문	특허청

3. 구성 및 재료

3.1 구성

3.1.1 수중펌프

3.1.1.1 펌프의 몸체

펌프 몸체의 구조는 수중형 3상 유도전동기를 상부에 설치하고, 직결된 펌프부로 구성되어야 한다. 펌프의 토출방식은 전동기의 주위를 송출양액이 통과하는 구조로써 양액(揚液)에 의해 전동기가 냉각될 수 있는 구조이다.

3.1.1.2 축밀봉 장치

펌프 축을 통해 내부에 흡입 액체가 침입하지 않도록 축봉 장치는 기계적 시일(Mechanical Seal)을 사용하여야 하며, 접촉면의 재질은 내산, 내식성이 강한 실리콘 카바이드로 만든다.

3.1.1.3 임펠러 (IMPELLER)

- 1) 임펠러는 양액중의 이물질에 의해 막힘이 없는 구조이어야 하고 균형 잡힌 날개로 구성한다.
- 2) 임펠러의 평행도는 KS B 0612 (회전기기의 평행도)의 “평행도 G6.3”으로 한다.

8.1.14 케이싱 (CASING)

케이싱은 내·외면이 평활하고 균열 및 편육이 없도록 한다.

8.1.15 베어링 (BEARING)

베어링은 각 하중조건에서 최소한 30,000시간 이상 원활히 가동될 수 있는 정격하중을 갖도록 설계한다.

8.1.16 전동기 보호 센서

- 1) 전동기 고정자 온도감지 센서
 - 2) 상하베어링 온도감지 센서
 - 3) 모터내부 누수감지 센서
 - 4) 모터내부 습도감지센서
 - 5) 전동기 회전방향감지센서
 - 6) 전동기 회전수감지센서
 - 7) 전동기 절연감지센서
 - 8) 진동감지센서
 - 9) 전동기 인입 전력의 위상감지센서
- (단, 발주처에서 5) 내지 9)의 설치를 원하지 않을 경우 구성에서 제외할 수 있다)

8.1.17 케이블 (동력케이블, 센서케이블)

- 1) 케이블은 수중 또는 대기 중에서 공히 사용가능하여야 한다.
- 2) 구조 및 재질은 완전방수형으로 절연도가 좋은 EP고무절연 클로로프렌시이즈캡타이어 케이블로 한다.
- 3) 절연두께 및 정격전류는 KS C 3317 기준에 의하여 제작한다.

8.1.18 전동기 누수방지

- 1) 금속끼리의 결합부의 실링은 절소 처리된 경교한 고무오링의 압력을 이용한 실링 방법을 채택하여야 하며, 판형 개스킷 및 2차적인 실링제 사용은 허용되지 않는다.
- 2) 케이블 인입구는 이중 방수구조에 의한 삼차원 압축방식을 채택하여야 하며,

적은 비틀림 및 인장력에는 견딜 수 있도록 설계 제작한다.

- 3) 터미널 박스는 전동기의 내부와 케이블 인입구를 격리시킨 이중구조로 되어 있도록 한다.

3.1.1.9 칼럼파이프 (COLUMN PIPE)

1) 기능

칼럼파이프는 그 내부에 펌프, 모터가 설치되어 운전하는 가이드 파이프의 기능 및 양액이 배관과 연결하여 토출될 수 있는 배관의 기능 및 펌프, 모터의 하중을 지지할 수 있는 기능을 갖춘다.

2) 구조

- ① 칼럼파이프의 재질은 SS400로 하며 각부의 치수 및 형상은 현장조건에 맞게 설계, 제작한다.
- ② 칼럼파이프는 양액의 누수가 발생하지 않도록 전용접이 되어야 하며 펌프의 운전시 영향을 받지 않도록 설계, 제작한다.
- ③ 펌프 본체에 있는 토출 측의 플랜지 규격은 상대편 연결 배관 플랜지에 일치하게 제작한다.

3.1.1.10 감시제어 유니트

전동기와 펌프를 감시제어하기 위하여 외부에서 전동기동반 또는 현장제어유니트를 거쳐 전동기로 공급되는 (i)전동기 고정자 온도, (ii)상하베어링 온도, (iii)상·하부브라켓 내부의 습도, (iv)오일챔버 내부의 누수, (v)전동기 회전방향, (vi)전동기 회전수, (vii) 전동기 절연, (viii)펌프 진동, (ix)전동기 인입 전력의 위상 등의 각 파라미터를 측정하는 측정부와 상기 각 파라미터의 제어범위를 설정하는 설정부와, 전동기와 펌프의 운전전, 운전중, 운전후의 각 파라미터를 실시간으로 측정, 디지털변환 및 저장하는 감시와 그 데이터를 설정파라미터와 비교, 연산, 판정, 알람, 표시, 구동을 계속, 제어 또는 정지시키며, 설정파라미터를 현장에서 수정할 수 있고, 그 결과를 실시간으로 표시부에 표시하며, 유무선통신 신호로 중앙 또는 현장제어반 또는 원격지로 송출할 수 있는 감시제어유니트를 포함하여 스마트 감시제어유니트를 구성되어 있다.

(특허: 제10-2112558호)

1) 기 능

감시제어유니트는 각종 안전장치 중에서 5가지 기능을 검출할 수 있는 안전장치센서로 다음과 같이 구성되어 있다.

- ① 모터고정자온도감지센서 (Winding Thermal Protector, Winding Temperature Sensor)
 - ② 베어링온도감지센서 (Bearing Temperature Sensor)
 - ③ 모터내부누수감지센서 (Motor Leakage Seal Sensor)
 - ④ 모터내부습도감지센서 (Motor Humidity Seal Sensor)
 - ⑤ 전동기 회전방향감지센서 (Motor Rotational Direction Sensor)
 - ⑥ 전동기 회전수감지센서 (Motor Rotational Speed Sensor)
 - ⑦ 전동기 절연감지센서 (Motor Insulation Sensor)
 - ⑧ 진동감지센서 (Vibration Sensor)
 - ⑨ 전동기 인입 전력의 위상감지센서 (Input Power Phase Sensor)
- (단, 발주처의 요구에 의하여 ⑤~⑨는 구성에서 제외할 수 있다)

3.1.1.11 수중 전동모터

- 1) 전동모터는 수직형으로 제작한다.
- 2) 전동모터는 고정자, 회전자, 축과 기타 부속장치를 구성한다.
- 3) 펌프에 사용하는 전동모터는 수중형의 유도 전동모터로 수중에서 연속 사용할 수 있고 유지보수가 용이한 방수 밀폐형으로 한다.
- 4) 전동모터는 동력 및 신호 입출력을 위한 단자를 구비 하여야 한다.
- 5) 절연등급은 F종 이상으로 한다.
- 6) IP68 보호등급의 수중형 전동모터이어야 한다.
- 7) 시간당 6회 이내로 기동 및 정지가 가능하여야 한다.
- 8) 진동이나 소음이 적고 수중에서 원활히 운전되어야 한다.
- 9) 전동모터는 단속 및 연속 사용형으로, 감압시동에 적절한 구조이어야 한다.

3.1.2 펌프수문

펌프는 수문에 작용하는 펌프의 집중하중을 분산시키며, 수문의 수직하중을 수문의 전면과 후면에 분산시키고, 수문본체에 작용하는 압하력으로 인하여 수문의 상측으로 발생하는 누수를 차단할 수 있으며, 문틀과 주행플러 사이의 이

격거리를 간단히 조절할 수 있을 뿐 아니라, 펌프구동시 발생하는 진동을 수문 구조물과 차단시키는 구성으로 이루어진다.

- 1) 회동개폐수문은 수문구조물 상부에 회동축과 구동축을 배설하고, 수문본체에 회동링크와 구동링크를 배설하여 수문이 유기적으로 회동개폐하도록 구성하며, 수문이 장기간 개방된 상태에서도 회동링크의 처짐을 방지시키는 탈착 결석장치와, 배수펌프와 플랩밸브를 내설하여 상부 돌출이 허용되지 않는 장소에서도 상회회동 개폐되도록 구성하여야 한다.
- 2) 수문본체는 횡축·입축 수중펌프의 축의 길이방향으로 전면 및 후면 개구부에 결합되어서 펌프의 하중을 수문본체의 전면과 후면축으로 분산시키도록 형성하고, 수문본체의 후면 횡방향 양측에는 수문의 수직하중을 수문본체의 전후면에 분산시키도록 구성하며, 펌프구동시 발생하는 상하진동을 흡수하도록 수직진동방지장치가 구성되어야 한다.

3.1.21 수중펌프

수중펌프는 펌프수문의 개구부(격자 Baffle)의 전면에 형성한 플렌지와 흡입부, 몸통부, 토출부로 구분되는 플렌지 결합구조의 수중펌프로서, 펌프의 중앙부가 수문본체에 삽입되어 횡축 또는 입축으로 수문의 전면과 후면에 플렌지로 결합하는 구조이며, 펌프의 토출구에 플랩이 밸브본체에 대해 개폐하도록 안내하는 이중회동링크를 구성한 플랩밸브를 포함한다. 전동기는 수중펌프용으로 수중형이고 수중모터, 펌프, 감시제어유니트, 수중케이블 등 부속품으로 구성된다.

(특허: 제10-2112558호)

3.1.22 플랩밸브

플랩밸브는 상·하부플랩이 상·하부연결링크로 연결되어 폐쇄시 수직으로 플랩이 밸브본체에 대하여 개폐되면서 수밀을 유지하도록 안내하는 이중회동링크로 구성되는 구조로서 구경 $\phi 1,000\text{mm}$ 이상은 2문식, 그 이하는 1문식으로 한다.

3.1.23 개폐장치

- (1) 펌프수문의 상하로 개폐하는 방식과 회동개폐장치로 회동축을 중심으로 구동축의 구동링크가 회동개폐시킴으로 지하 또는 상부에 지장물이 있는 경우

에도 개폐시킬 수 있고 나선형 워지부 또는 수직하중을 저감시키는 스퍼스트리지부와 탈착결쇠장치로 장기간 개방시에도 처짐이 발생하지 않는 구성한 유압식 개폐장치를 구성한다.

- (2) 펌프수문의 상하개폐장치로 수직으로 배치한 기어스핀들을 2중 치합으로 고회전, 고효율(52%) 구동과 스팀들에 압하력을 발생시켜 수문의 상하진동을 억제시키고, 비상시 자중강하로 긴급차단이 가능한 펌프수문의 원활한 작동이 가능한 개폐장치를 구성한다.
- (3) 탈착결쇠장치는 수문의 회동링크에 장치되어 유압구동장치의 장기간 수문개방시에 처짐을 방지하는 구조이어야 한다.

3.1.2.4 문틀(Guide Frame)

상하개폐 수문용 문틀은 수로 구조물에 설치되어 펌프수문의 개폐시 수문의 주행롤러의 상하주행을 안내하는 가이드로써 강판 및 형강으로 구성되며 수문의 폐쇄시 수문본체의 양측부에 형성된 주행롤러가 안착되는 위치에는 워지를 설치하여 수밀을 조절할 수 있도록 구성을 한다.

3.1.2.5 자동제어반(Control Panel)

펌프수문의 개폐와 수중펌프의 작동을 제어하는 자동제어반은 펌프의 경우 스마트 감시제어형 유니트에서 정보를 통신하며, 수문 상류측 수로의 수위를 감지하는 수위감지부와, 자동 및 수동구동으로 개폐기와 수중펌프를 구동하도록 유기적으로 제어하는 수문제어부를 구성하여 수로의 수위가 일정이상으로 상승하면 수문을 폐쇄하여 수로를 차단하고 내수를 수중펌프로 강제로 외수측으로 배수시키며 수로의 수위가 일정수위이하로 하강하면 수문본체를 개방하여 자연 배수시키도록 자동제어 기능을 구비한 감시제어부를 구성하여야 한다.

(특허: 제10-2059898호)

3.2 재료

수중펌프와 펌프수문에 사용되는 주요 재료 및 부품은 **표3**과 **표4**의 동등하거나 이상이어야 한다.

재질에 대한 기준은 별도 기준이 없는 한 KS 또는 JIS를 원칙으로 한다.

3.2.1 수중펌프

표4 [주요재료]

품명	부품명	재료	관련규격
수중 펌프	케이싱, 흡입 케이싱	GC 200	KS D 4301
	흡입 커버	STS304	KS D 3698
	임펠러	SSC13	KS D 4103
	케이싱 링, 케이싱 라이너	합성수지, 합성 고무	
	펌프 축	STS410(담금질, 템퍼링)	KS D 3706
	축 이음	STS403, STS410	KS D 3706
	임펠러 너트, 볼트, 웨어링	SSC13	KS D 3503
	전동기 프레임, 브라켓	GC 200	KS D 4301
	키	SM45C	
	볼트·너트류	STS403, STS304	KS D 3698
	케이블 글랜드	GC 200	KS D 4301
	베어링	SUJ	KS D 3525
	메카니컬 샐	SiC	
	감시제어 유니트	특허: 제10-2112558호	

3.2.2 펌프수문

표4 [주요재료]

품명	부품명	재료(모델)	관련규격
펌프 수문	SKIN PLATE	SS400	KS D 3503
	플렌지	SS400	KS D 3503
	플랩밸브	SS400외	KS D 3503
	문틀	STS304외	KS D 3698
	수중모터펌프	HAP, HMP	
	케이블보호체인	CPS	


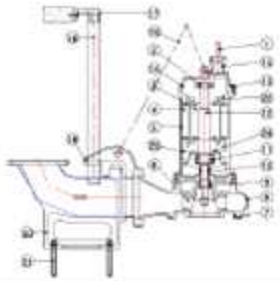

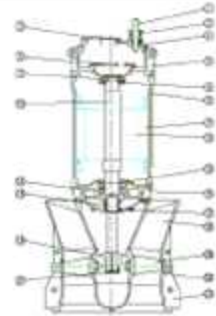

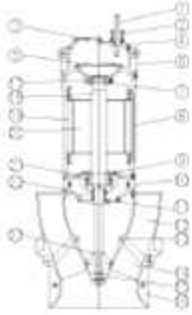
	자동제어반	STS304외	KS D 3698
	개폐기A	HAD	
	개폐기H	HHU	
	발전·노트류	STS403, STS304	KS D 3698
	감시제어유닛	특허: 제 10-2059698 호	

4. 형태

4.1 전체사진

4.1.1 수중펌프

표5 [제품사진]

모델명	형태	
	HSP Type	HSP구조도
HSP-15~ HSP-110		
HAP-300~ HAP-2000		
HMP-300A~ HMP-2000A		

4.1.2 펌프수문

표5 [제품사진]

모델명	형태	
HPGA/ HHPG- S300A ~ S2000A	HPGA-A Type	HHPG-A Type
		
HPGA/ HHPG- S300B ~ S2000B	HPGA-B Type	HHPG-B Type
		

4.2 제품구조

4.2.1 수중펌프

순번	모델명	자재소요량					원산지
		품명	재질(모델)	규격	수량	단위	
1	HSP-15~ HSP-110	케이블	RNCT	5M~10M	1	개	한국
		베어링	STE2	63ZZ Type	1	개	한국
		회전자	HSP	HSP-15~HSP-110	1	개	한국
		고정자	HSP	15~110 Type	1	식	한국
		모터프레임	GC250	15~110 Type	1	대	한국
		임펠라	SSC13	15~110 Type	1	개	한국
		흡입카바	GC250	HSP	1	면	한국
		펌프케이싱	GC250	HSP	1	식	한국
		오일시일	N.B.R	HSP	1	식	한국
		메카니컬셀	SI-C	HSP	1	개	한국
		베어링	STE2	63ZZ Type	2	개	한국
		주축	STS410	HSP	1	개	한국
		볼트,너트	STS304	HSP	1	식	한국
		모터브라켓트	GC250	HSP	1	대	한국
		스터핑박스	GC250	HSP	1	개	한국
		리프팅와이어	STS304	HSP	1	면	한국
		가이드서포트	GC250	HSP	1	식	한국
		가이드파이프	STS304	HSP	1	식	한국
		베드	GC250	HSP	1	개	한국
		양카플트	STS304	HSP	4	개	한국
감시제어유니트		TMM-1000	1	개	한국		

순번	모델명	자재소요량					원산지
		품명	재질(모델)	규격	수량	단위	
2	HAP-300~ HAP-2000	케이블	RNCT	5M~10M	1	개	한국
		스터핑박스	GC200	63ZZ Type	1	개	한국
		경점카바	GC200	HSP	1	개	한국
		헤드카바	GC200	HSP	1	식	한국
		터미널보드	GC200	HSP	1	더	한국
		모터브라켓트	GC200	HSP	1	개	한국
		상부베어링	STE2	HSP	1	면	한국
		모터프레임	GC200	HSP	1	식	한국
		주축	STS410	HSP	1	식	한국
		고정자	HAP	HSP	1	개	한국
		회전자	HAP	63ZZ Type	1	개	한국
		하부베어링카바	GC200	HSP	1	개	한국
		하부베어링	STE2	HSP	1	식	한국
		베어링하우징	GC200	HSP	1	더	한국
		메카니컬셀	SIC	HSP	1	개	한국
		셀카바	GC200	HSP	1	면	한국
		안내케이싱	GCD450	HSP	1	식	한국
		인펠라보스	GC200	HSP	1	식	한국
		임펠러	SSC13	HSP	1	개	한국
		엔드와샤	STS304	HSP	1	개	한국
		웨어링	SSC13	HSP	1	개	한국
흡입판	GCD450	HSP	1	개	한국		
	감치제어유니트		TMM-1000	1	개	한국	

순번	모델명	자재소요량					원산지
		품명	재질(모델)	규격	수량	단위	
3	HMP-300~ HMP-2000	케이블	RNCT	5M~10M	1	개	한국
		스터핑박스	GC200	HMP	1	개	한국
		경점카바	GC200	HMP	1	개	한국
		헤드카바	GC200	HMP	1	식	한국

		터미널보드	GC200	HMP	1	대	한국
		모터브라켓트	GC200	HMP	1	개	한국
		상부베어링	STE2	HMP	1	면	한국
		모터프레임	GC200	HMP	1	식	한국
		하부베어링카바	GC200	HMP	1	식	한국
		베어링하우징	GC200	HMP	1	개	한국
		셀카바	GC200	63ZZ Type	1	개	한국
		웨어링	SSC13	HMP	1	개	한국
		임펠러	CAC406	HMP	1	식	한국
		임펠러너트	GC250	HMP	1	대	한국
		흡입관	GC250	HMP	1	개	한국
		상부베어링	STE2	HMP	1	면	한국
		주축	STS304	HMP	1	식	한국
		고정자	HMP	HMP	1	식	한국
		회전자	HMP	HMP	1	개	한국
		하부베어링	STE2	HMP	1	식	한국
		메카니컬셀	SI-C	TMM-1000	1	개	한국
		조정링	STS304		1	개	한국
		감시제어유니트		TMM-1000	1	개	한국

4.2.1 펌프수문

순번	모델명	자재소요량					원산지
		품명	재질(모델)	규격	수량	단위	
1	HPGA/ HHPG- S300A- S2000A	SKIN PLATE	SS400	0.85m×1.00m×6T- 4.50m×3.90m×16T	1	개	한국
		플렌지	SS400	A Type	1	개	한국
		플랩밸브	HFV	∅300-∅2000	1	개	한국
		문틀	SS400	A Type	1	식	한국
		수중모터펌프	HSP	S300A×3.7kW- S2000A×700kW	1	대	한국
		감시제어유니트		TMM-1000	1	개	한국
		케이블보호체인	CPS	SB050E-SB090E	1	개	한국

		자동제어반	STS304	육외용	1	면	한국
		개폐기A	HAD	5 Ton~100Ton	1	식	한국
		개폐기H	HHU	20 Ton~80Ton	1	식	한국
2	HPGA/ HHPG- S300B~ S2000B	SKIN PLATE	SS400	0.85m×1.00m×6T- 4.50m×3.90m×16T	1	개	한국
		플렌저	SS400	B Type	2	개	한국
		플랩 밸브	HFV	∅300~∅2000	2	개	한국
		문틀	SS400	B Type	1	식	한국
		수중모터펌프	HSP	S300A×3.7kW- S2000A×700kW	2	대	한국
		감시 제어유니트		TMM-1000	2	개	한국
		케이블보호체인	CPS	SB050E~SB090E	1	개	한국
		자동제어반	STS304	육외용	2	면	한국
		개폐기A	HAD	5 Ton~100Ton	1	식	한국
		개폐기H	HHU	20 Ton~80Ton	1	식	한국

- 주: 1) 수문(Skin Plate)의 크기는 펌프를 수문에 탑재하는 데 필요한 표준규격으로 현장 여건에 따라 변경될 수 있음.
 2) 펌프의 토출량 및 소요동력은 현장여건에 따라 변경될 수 있음.
 3) 수문의 개폐방식 및 개폐기용량은 현장여건에 따라 변경이 되수 있으며 상하 또는 외동개폐 적용 가능함.
 4) 개폐기A는 HPGA용 수문권양기이고, 개폐기H는 HHPG용 수문권양기임.

4.3 마감 및 외관

부식방지를 위하여 도장이나 피복처리를 해야 할 표면은 매끄럽고, 예리한 모서리와 돌출부가 없어야 하며, 모든 용접부는 매끄럽게 연마되어야 하고, 구조물 부재의 가장자리와 모서리는 둥글게 가공하여야 한다.

마감처리를 한 제품의 외관은 곧바르고, 비틀림, 휨 및 불완전한 결합부가 없어야 한다.

5. 제조 및 가공

5.1 수문본체

수문본체는 스킨플레이트를 지지하기 위한 양측면 빔, 상부빔, 수직 및 수평빔에 의해 보강될 수 있는 구조로 하고, 수문본체는 강판제품으로 충분한 강도 및 강성을 갖는 리브(RIB)을 수평, 수직으로 보강하여 기온의 변화에 따른 자체 변형과 높은 수압에 의한 휨($1/800$ 이하)등에 변형이 없도록 충분한 크기로 구성하여 부품의 치수나 형상이 설계와 일치하고 그 기능이 충분히 발휘되도록 정확히 조립하고 유해한 진동 및 캐비테이션이 발생하지 않는 구조로 제작되어야 한다.

- 1) 수문본체에 사용하는 주요부재중 강판의 최소두께는 6mm, 형강은 5mm이상으로 하여야 한다.
- 2) 수문본체에 사용되는 스킨플레이트의 최소두께는 부식과 진동을 고려하여 펌프구경에 따라 8mm ~ 14mm이상으로 한다.
- 3) 펌프구동시 수문본체의 고유진동과 수중펌프의 진동이 결합하여 공진이 발생하지 않도록 수문본체의 부재를 구성 배치하여야 한다.

5.1.1 진동차단장치

수문본체는 횡축·입축 수중펌프의 축의 길이방향으로 전면 및 후면 개구부에 결합되어서 펌프의 하중을 수문본체의 전면과 후면축으로 분산시키도록 형성하고, 수문본체의 후면 횡방향 양측에는 수문의 수직하중을 수문본체의 전후면에 분산시키도록 구성하며, 펌프구동시 발생하는 상하진동을 흡수하도록 수직진동방지장치를 구성되어야 한다.

5.1.2 주행롤러

- 1) 주행롤러의 재질은 단조강 또는 동등 이상의 승인된 재료이어야 하며, 롤러에 사용할 베어링은 무급유 Oilless 베어링으로 한다.
- 2) 베어링 하중은 정격 베어링 허용하중의 0.8배를 초과해서는 안 된다.
- 3) 주행롤러의 직경과 폭은 롤러와 접촉 방법을 선접촉과 점접촉중 선접촉 방법으로 충분한 강도를 갖도록 하여야 하고, 접촉응력은 허용응력보다 적어 허용치 이내로 한다.
- 4) 접촉면에 대한 경도를 고려하여 자재의 재질은 단조강으로 하고 롤러레일은 롤러보다 강한 경도의 재질을, 축은 베어링보다 강한 경도의 재질을 선정하

여야 한다.

5.1.3 지수부(止水部)

수문의 양쪽 4개소의 주행플러에 의해 전수압(全水壓)을 받아 가이드프레임에 전달하는 구조로 하여 전수압을 충분히 견딜 수 있는 강도를 갖는 수문본체를 하고 상하 또는 회동 개폐조작이 원활히 작동될 수 있도록 플러 접촉면과 수밀 고무 접촉면은 배근하게 가공되어야 한다. 추부 수밀고무는 더블 P형 또는 Y형으로 내외수 차단이 가능토록 하고, 하부 수밀고무는 I형으로 하여 수문본체의 자중으로 지수가 되도록 구성하여야 한다.

5.1.4 펌프체결플랜지부

수문본체의 전면 및 후면 개구부에 격벽을 설치하여 플랜지를 설치하고 수중펌프의 중앙축 플랜지와 토출축 플랜지를 체결하도록 구성하며 내부압력, 진동 등에 대한 기계적 강도 및 부식 등을 고려한 구조로 KS B 1511-10K를 사용하며 펌프의 집중하중과 진동에 충분한 강도를 갖도록 보강 플레이트를 배치 제작되어야 한다.

5.1.5 케이블 보호대

수중펌프의 전동기에 연결되어 추동력을 전달하는 케이블과 제어 케이블은 수문의 개폐동작으로 인하여 간섭되지 않고 보호할 수 있도록 충분한 내구성을 갖는 Flexible한 케이블 보호대를 설치하여야 한다.

5.2 수중펌프(Submersible Pump)

5.2.1 임펠러(Impeller)

임펠러는 수질에 강한 내식, 내산성의 재료를 사용하여야 하며, 최고효율점(BEP)에서 운전할 수 있도록 유체(수)역학적 검토에 의한 기계적 강도를 고려한 구조로 되어 펌프구경의 1/10 ~ 1/20 고품몰을 이송할 수 있어야 한다.

5.2.2 케이싱(Casing)

케이싱은 내부압력, 진동 등에 대한 기계적 강도 및 부식, 마모 등을 고려하여 차단수두의 15배, 정격양정의 2배에 견딜 수 있어야 한다. 또한 배수량에 지장

을 초래하지 않는 범위에서 적당한 크기로 제작되어 분해 및 조립이 용이한 구조로 제작되어야 한다.

5.2.3 축(Shaft)

펌프 축은 전동기 축과 일체형으로 제작되어야 한다. 축은 정격동력의 회전속도 및 가동, 정지를 포함하여 운전중 발생할 수 있는 최대 Torque에 견딜 수 있도록 제작되어야 한다. 축봉부는 내마모성이 있는 축 슬리브를 설치하여 마모 및 부식하는 부분의 교체가 용이한 구조로 한다.

5.2.4 베어링(Bearing)

베어링은 래디얼 하중외에 전동기 회전부의 중량 및 펌프로부터 발생하는 트러스트 하중을 충분히 지지할 수 있어야 한다. 상부는 Cylindrical Roller Bearing 또는 Deep Groove Ball Bearing을, 하부는 Angular Contact Ball Bearing으로 하며, 수명은 30,000시간 이상으로 한다.

5.2.5 메카니칼-셀(Mechanical Seal)

펌프는 2중 메카니칼-셀이 장착되며 운전을 위해서 베어링 하우징내에 장착되어 있다. 중간부의 회전 및 고정 Seal은 Seal의 표면이 실리콘 카바이드 재질로 된 이중 Mechanical Seal을 설치하여 전동기 내부로의 침수를 방지하여야 한다.

5.2.6 웨어링(Wear Ring)

웨어링은 케이싱에 내설되며, 수질에 강한 내식, 내산성의 재료인 SS13을 사용하며, 분해 및 조립이 용이한 구조로 제작되어야 한다.

5.2.7 시일(Sealing)

금속 접합재에서의 Sealing은 정교한 표면가공에 의한 금속 대 금속 접촉에 의해 이루어져야 하며, 특별한 Torque 없이 질소 처리된 고무 O-Ring에 의해 수행되어야 한다. 이때 각형 가스켓, 판형 O-Ring, 그리스 등과 같은 2차적인 Sealing재가 사용되어서는 안 된다. Cable Entry부의 방수는 특수한 비돌림에도 견딜 수 있도록 삼중압착방식에 의해 이루어져야 하며 Cable Entry는 하나의 원통형태로서 스테인리스 와셔의 측면이 접하도록 설계되어 있어 케이블 표면

과의 Sealing은 물론이며 원동형의 몸체 내에서 원활한 수축 및 이완기능을 포함한 완벽한 밀착을 이루어지도록 원동 내경과 케이블 외경과의 정밀한 공차가 적용되어야 한다.

5.2.8 축봉장치

펌프 축을 통해 내부에 흡양 액체가 침입하지 않도록 축봉장치는 기계적 씰 (Mechanical Seal)을 사용하여야 하며 접촉면의 재질은 내산, 내식성이 강한 실리콘 카바이드로 만들어져야 한다.

5.2.9 수중동력 및 제어 케이블

- 1) 펌프의 동력전달을 위한 수중케이블은 관련 KS 규격 또는 국제규격에 부합 되도록 제작한다. 구조 및 재질은 완전 방수형으로 절연감가가 높은 것으로 한다.
- 2) 펌프에 설치되어 있는 각종 감지센서의 신호를 전달하는 케이블로 최소 단면적은 1.0mm²이상으로 하며 구조 및 재질은 수중동력 케이블과 동일하도록 한다.
- 3) 수중 또는 대기중에서 공히 사용 가능하여야 한다.
- 4) 케이블 끝부분은 3상 3선식으로 하여 터미널 단자를 압착하여 부착한다.

5.2.10 전동기 보호장치(Monitoring Unit)

1) 구성

펌프와 전동기의 운전에 유해한 파라미터를 측정하는 측정부, 펌프의 전동기에 대하여 제어알고리즘에 따라 연산부에서 실행되는 설정파라미터를 현장에서 설정 및 수정하는 입력부, 상기 입력부의 설정 및 측정파라미터를 실시간으로 측정, 변환, 저장, 비교, 연산, 판정, 알람, 표시 및 전동기의 구동을 계속, 제어 또는 정지하는 정보처리부와, 상기 정보처리부에 연결되는 판정데이터 출력부와, 상기 정보처리부에 연결되어서 판정데이터를 상호 유기적으로 통신하는 통신부를 포함하여 구성된 감시제어유니트를 구성한다.

스마트 감시제어유니트는 자동제어반(MOP)에 내장하여 완전한 보호회로가 구성되도록 제작한다.

2) 전동기 보호센서

감시제어유니트는 각종 안전장치 중에서 다음 기능을 검출할 수 있는 안전장치 센서로 다음과 같이 구성되어 있다.

- ① 모터고정자온도감지센서 (Winding Thermal Protector, Winding Temperature Sensor)
 - ② 베어링온도감지센서 (Bearing Temperature Sensor)
 - ③ 모터내부누수감지센서 (Motor Leakage Seal Sensor)
 - ④ 모터내부습도감지센서 (Motor Humidity Seal Sensor)
 - ⑤ 전동기 회전방향감지센서 (Motor Rotational Direction Sensor)
 - ⑥ 전동기 회전수감지센서 (Motor Rotational Speed Sensor)
 - ⑦ 전동기 절연감지센서 (Motor Insulation Sensor)
 - ⑧ 진동감지센서 (Vibration Sensor)
 - ⑨ 전동기 인입 전력의 위상감지센서 (Input Power Phase Sensor)
- (단, 발주처의 요구 또는 현장여건에 따라 ⑤-⑨는 구성에서 제외할 수 있다)
(특허: 제10-2040176호, 특허: 제10-2059898호)

5.3 플럼벨브

5.3.1 벨브 본체(Valve Body)

벨브본체는 배출되는 최대수압에 충분히 견딜 수 있는 구조로 한다.
펌프와 수문과 연결부에 설치되는 플렌지의 체결볼트는 KS B 1511의 규격에 따른다.

5.3.2 벨브 플럼(디스크)

디스크는 개폐시 충분한 강도를 유지하기 위해 외면에 보강 리브를 배치하는 구조로 구경 $\phi 1,000\text{mm}$ 이상은 2륜식, 그 이하는 1륜식으로 한다.

5.3.3 수밀실(Seat Seal)

수밀실은 Neoprene 고무 또는 이상의 재질로 구성하고 수압을 받더라도 수밀이 이루어져야 한다.

5.3.4 회전링크 (Rotating Link)

플럼벨브는 상·하부플럼이 상·하부연결링크로 연결되어 폐쇄시 수직으로 플

램이 벨브본체에 대하여 개폐되면서 수밀을 유지하도록 안내하는 이중회동링크로 구성되어야 한다.

5.4 개폐장치

5.4.1 회동개폐 역추에이터

회동개폐 수문의 개폐를 위한 개폐장치로 유압장치, 유압실린더, 부속기기로 구성되며, 수동조작과 전동구동장치인 유압유니트는 수문의 자중과 수압하중등을 고려한 개폐하중에 충분한 개폐능력이 확보되어야 한다. 유압장치는 구동링크에 목동 유압실린더를 구성하고, 개폐 구동시 변형이 생기거나 강도가 약해지지 않는 재질을 사용하여야 하며, 유압을 공급, 저장, 회수하는 저유조를 형성하고, 저유조 상부에 전동부와 유압펌프 및 수동펌프를 배치한 유압배관으로 유압회로를 구성하여 제어반의 유기적인 제어에 따라 자동구동, 비상시 수동구동할 수 있도록 개폐장치를 구성하여야 한다.

5.4.2 상하개폐 역추에이터

상하개폐 수문의 개폐를 위한 개폐장치로 자중강하식 역추에이터는 전동기와, 전동기와 자중강하부 사이를 단속시키는 수동력연결부와, 수동구동부에 선택적으로 결합 또는 해제시킬 수 있도록 자중강하부와, 전동부의 전원이 차단되고 수동구동부로부터 해체시킨 후 정전시 또는 긴급 수문 폐쇄시 자중강하레버를 하강위치에 놓으면 수문을 자중으로 하강시키고, 자중강하레버를 정지위치에 놓으면 하강시 임의위치에 정지할 수 있도록 구성하여야 한다.

5.4.8 탈착결쇠장치

수로 구조물 상부에 설치되는 탈착결쇠장치는 회동링크에 연결되어서 탈착부를 형성하는 구조로 유도판지지대와 유도판, 탈착홈, 탈착결쇠가 구비되어 수문의 개폐시 자동으로 탈착되도록 구성하여야 한다.

5.5 분틀(Guide Frame)

5.5.1 가이드프레임의 가공 및 제작

- 1) 가이드프레임은 스테인리스 강판 및 형강으로 제작되며 주행롤러를 통해 전달되는 수압하중에 견딜 수 있도록 충분한 강도와 경도를 갖추어야 하며 지

- 수고무가 접촉되는 가이드플레이트의 재질은 스테인리스 강판을 사용한다.
- 2) 가이드프레임은 주행롤러의 하중 부하에 견딜 수 있도록 가이드프레임은 수
 른구조물과 일체의 복합구조이어야 하고, 쉘플레이트의 재질은 스테인리스
 강판으로 견고하게 제작 조립한다. 쉘거더는 수륜본체에 적합한 구조 및 규
 모로 구성되고, 콘크리트(토목시공) 타설시 변형이나 처짐이 없도록 충분한
 강성을 지니도록 양카바를 설치하여야 한다.

5.6 자동제어반(Control Panel)

5.6.1 자동제어반의 구성 및 제작

- 1) 펌프수륜 운전설비 항목에 따른 제어반 구성내용은 아래와 같다.
 - 펌프수륜(수륜, 펌프)운전 - 현장 운전
 - 현장 (텔레이에 의한 시퀀스) 수동개별운전 및 일괄운전
 - 수동운전 : 현장 자동제어반
 - 자동운전 : 원격운전모드시 수위감지에 의한 자동운전
- 2) 자동 및 수동으로 운전할 수 있는 구조이어야 하며 볼트메터, 암퍼어 메타,
 PLC, 마그네틱 스위치, 과부하 방지장치, 기타 아래 (7)항 구조의 제어램프
 가 설비되어야 한다.
- 3) 자동운전시 기 입력된 자료에 의해 운전되어야 한다.
- 4) 수동운전시에는 각각의 기기동작이 현장 제어반상의 ON/OFF 스위치에 의해
 서만 운전이 가능하다.
- 5) 형 식
 시설될 현장자동제어반의 형식은 도면에 제시된 상세도에 따르고 설치장소
 및 운전 기능에 따라 옥외자립형으로 한다.
- 6) 구 조
 각 제어반은 앞면이나 뒷면 중 하나를 갖추어야 한다. 현장자동제어반의 외
 함은 최소 두께가 2.0mm 이상의 STS304 강판으로 제작하고 지지대는 STS
 강판으로 외압에 충분히 견딜 수 있는 튼튼한 구조라야 한다. 자동제어반에
 는 자물쇠가 있는 손잡이와 내부 경첩을 설치하고 속판도 Door식으로 제작
 하여야 한다.

다음과 같은 계기들을 현장자동제어반에 설치하여야 하며 계기 및 램프와
 같은 모든 표시기는 자물쇠가 있는 문이나 창문을 열지 않고도 밖에서 관측

이 가능하여야 한다.

- 전원전압계
- 전원표시등
- 부하전류계
- 펌프 ON/OFF 지시등
- 펌프 비상정지 지시등
- 펌프 감시제어유니트 (내장)
- 내외수위 표시등
- 게이트 전개 지시등
- 게이트 전폐 지시등
- 게이트 상승표시등
- 게이트 하강표시등
- 게이트 개도를 표시
- "현장", "원격" 조작지시등
- 전동기 및 기타 회로보호용 몰드케이스 회로차단기
- 습기 응축 방지용 스페이스 히터
- 이상 발생 지시등

7) 부속품

자동제어반 내에 취부될 제어 스위치, 신호 램프, 단자대, 보조 계전기 및 선택 스위치 등 필요한 모든 부속품을 갖추어야 한다.

5.7 제조공정표

표7 [제조공정표]

공정도	공정명	설비명	관리/검사				기록
			품목	기준	방법	주기	
▽	자재 입고	재계차					
◇	인수 검사	V/C, M/M	물류, 검모양, 재료, 필라믹, 기계적성	자재 및 인수검사 규격에 따른	KS ISO2859-1, KS Q 1001	AQL 2.5% 6-2, 1회, 모양 n = 1 c = 0	검사소비
○	거제 가공	경방 압입머신 터필머신 러디얼 드릴머신	가공상태	가공관 모양을 도면과 일치하고 유리관 풀, 균열, 파손이 없도록	복안 V/C, M/M 분쇄게이지 삽입머신게이지	작업시 마다	-
◇	물건 검사	V/C, M/C, 삽입머신게이지, 분쇄게이지	검모양 준수	거제기준 물건검사 규격에 따른	경수검사	경수	물건검사 성적서
○	가공법	조립장 방재 인출목, 치공구	조립상태	거여부, 주목 등을 제조할 하위를 더 정확하게 일치, 작동되어 있어야 하며 불순구멍의 조립상태가 어긋나지 않게 조립되어야 함	복안 V/C, 분쇄게이지, 삽입머신게이지	작업시 마다	-
◇	물건 검사	시각소비, 표시기	작동상태	조립 물건검사 규격에 따른	경수검사	경수	물건검사 성적서
○	도장	분도계, 온도계, 지름	분도 온도 배전비	5 ~ 40℃ 0 ~ 85% 제조사양서	복안	2회/1일	-
◇	물건 검사	조도게이지, 도막게이지	합질, 조도, 구멍(회수), 두께	도장 물건검사 규격에 따른	경수검사	경수	도장검사 성적서
○	조립	경방, 방 인출목, 연결 리레인 스텝자, 분쇄게이지, V/C, M/M, 다이얼 게이지, 적각자	· 주목과 거여의 · 조립상태 · 거여의 · 분쇄 · 조립상태	조립작업 완료에 따른	복안, V/C, M/M, 분쇄게이지	작업시 마다	합조립 창의시트
◇	물건 검사	V/C, 라체로자	정수	조립물건검사 규격에 따른	경수검사	경수	물건검사 성적서

6. 기능 및 성능

6.1 기능

- 1) 수중펌프는 KS B 6301에 따른 펌프성능(토출량, 전압정, 효율, 축동력, 수압 시험)과 KS B ISO 1940-1에 따른 진동시험과 KS C 4201에 따른 모터성능 요구조건을 만족시킬 뿐만 아니라, 펌프수문이 설치되는 부지 계약으로 적은 용량의 유수지에서 펌프의 구동시 유수지의 급격한 수위 변동으로 발생하는 볼텍스 및 현탕과, 저수위 상태에서 펌프구동으로 인한 캐비테이션으로 발생하는 펌프의 고장을 방지하고 원활한 구동을 구현할 수 있도록 자동 제어반과 수중펌프를 구성한다.
- 2) 좌우회동개폐 펌프수문은 폐쇄된 수로 내부에서 좌우로 회동하여 개폐되도록 배치한 수문본체에 배수펌프를 결합하고 배수펌프의 토출구에 플랩밸브를 일체화한다. 구동부는 구동암과 구동링크로 이루어져 수문을 좌우개폐시키며, 회동부는 상부힌지와 하부 스톱스토티지부에서 수문의 회동을 지지한다. 이렇게 구성된 수문본체의 힌지축을 중심으로 구동부로 좌우회동 개폐키고, 수직하중을 저감시키는 스톱스토티지부와, 수문폐쇄의 수밀을 나선형 워지에서 구현하도록 좌우회동개폐 펌프수문을 구성한다.
- 3) 힌지식 펌프수문은 수로 구조를 내부에서 수문본체에 배수펌프와 플랩밸브를 결합시킨 후 회동개폐를 안내하는 회동부와, 유압유니트의 구동력으로 구동링크를 작동하는 구동부와, 수문의 장기간 개방시 회동링크의 처짐을 방지하면서 자동으로 회동링크와 연동되는 탈착부와 수문제어부에서 수문과 펌프를 유기적으로 제어하는 힌지식 펌프수문을 구성한다.
- 4) 펌프수문은 펌프의 세 부분 중 두 부분이 수문본체의 전면 및 후면 개구부에 결합되어서 펌프의 하중을 수문본체의 전면과 후면측으로 분산시키도록 구성하고 2중 회동링크를 구성한 플랩밸브를 결합하며, 수문본체에 작용하는 압하력(押下力)으로 인하여 수문의 상측으로 발생하는 누수를 차단할 수 있으며, 펌프구동시 발생하는 진동을 수문구조물과 차단시키는 구성으로 이루어진다.

6.2 성능

공인기관의 성능검사에 사용된 펌프, 펌프수문 성능인증 당시 인용한 자사제 시규격에 따른 시험방법과 기준을 만족한다.

6.2.1 품질기준

적용자재	시험항목(단위)		품질기준	시험방법
펌프	성능검사	토출유량	제품의 사양서에 표시된 범위 내에 있거나 그 이상	6.2.2.1
		전양정	규정 토출량에서 사양에 표시된 범위 내에 있거나 그 이상	6.2.2.2
		속동력	사양에 표시된 동력을 넘지 않아야 한다.	6.2.2.4
		펌프효율	규정 토출량에서 명관표시 또는 사양효율 이상	6.2.2.3
		윤전상태	연속윤전이 가능하고 심한진동 및 소음이 없어야 한다.	6.2.2.6
		회전속도	펌프를 구동하는 전동기의 정상 전원상태에서 rpm만족	6.2.2.5
전동기	성능검사	내수압	최고 토출압력의 1.5배의 압력에서 누수, 누설 등의 이상이 없을 것	6.2.2.7
		진동	80μm 이하	6.2.2.12
		온도상승	전선부분에서 100℃이하, 페어링 부는 외부로부터 측정할 때 55℃ 이하	6.2.2.8
		사용전압의변화	실용상 지장 없이 사용할 수 있는 것	6.2.2.9
		내전압	이상없을 것	6.2.2.10
		결연저항	20mΩ 이상	6.2.2.11
		전동기 회전방향	시계방향일 것	6.2.2.5
완제품	외관검사	작동상태	이상없을 것	6.2.2.13
		용접부위	이상없을 것	6.2.2.14
		도장부위	이상없을 것	6.2.2.15
		주위표식	이상없을 것	6.2.2.16
		위험부위	이상없을 것	6.2.2.17
		주조품	이상없을 것	6.2.2.18
		펌프로립	이상없을 것	6.2.2.19

적용자재	시험항목(단위)		품질기준	시험방법
원계품	구조검사	수문본체	이상없을 것	6.2.2.20
		수중펌프	이상없을 것	6.2.2.21
		물켓벨브	이상없을 것	6.2.2.22
		발작장치	이상없을 것 (HHPO모델만 해당)	6.2.2.23
		문틀	이상없을 것	6.2.2.24
		유압구동장치	이상없을 것(HHPO모델만 해당)	6.2.2.25
		회동장치	이상없을 것(HHPO모델만 해당)	6.2.2.26
	성능검사	수문개폐성능	수문개폐속도는 설계기준 $\pm 10\%$ m/min 이내일 것	6.2.2.27
		수문작동상태	이상없을 것	6.2.2.28
		발작결석작동상태	이상없을 것(HHPO모델만 해당)	6.2.2.29
		발작결석안전성능	이상없을 것(HHPO모델만 해당)	6.2.2.30
		개폐장치안전성능	이상없을 것	6.2.2.31
		운전상태안전성능	이상없을 것	6.2.2.32

※ 제품은 상기 품질기준을 포함, 규격서에 기재한 모든 사항을 만족하며 이외의 사항에 대해서는 보유한 모든 품질인증의 시험기준을 만족해야 한다.

6.2.2 시험방법

6.2.2.1 토출량

토출량 시험은 KS B 6301의 6.3 및 KS B 6302(펌프 토출량 측정방법)에 따른다.

6.2.2.2 전양정(全揚程)

전양정 시험은 KS B 6301의 6.2에 따른다.

6.2.2.3 펌프효율

펌프의 효율 측정은 KS B 6301의 10.3에 따른다. 효율 이상이어야 한다.

6.2.24 축동력

축동력 시험은 KS B 6301의 6.5에 따른다.

6.2.25 회전방향 및 회전속도

회전속도의 시험은 KS B 6301의 6.4에 따라 시험하였을 때 펌프의 전동기에 표시되어있는 회전속도는 펌프를 구동하는 전동기의 정상 전원상태에서 rpm으로 한다. 이때 정상 전원상태란 주파수 $\pm 1\%$ 이내, 공급전원 $\pm 10\%$ 이내를 말한다. 회전방향은 펌프 Data Sheet에 기재된 방향과 같아야 한다.

6.2.26 운전상태

펌프의 운전상태 시험은 KS B 6301의 6.7에 따라 시험하였을 때 다음에 만족하여야 한다.

- 1) 펌프는 수중에서 연속 운전이 가능하여야 하고, 시방에 명기된 연속운전최저 수위(LWL)에서 캐비테이션(Cavitation)이 발생하지 않아야 한다.
- 2) 무부하 운전시 외부에서 관찰하여 심한 진동, 소음 및 전동기의 온도상승이 없어야 한다. 다만, 운전시간은 약 15분간으로 한다.

6.2.27 내수압

내수압 시험은 KS B 6301의 10.9에 따른다.

6.2.28 온도상승

전동기의 온도상승시험은 KS C 4201에 준하며 제작사 시험성격서로 가능할 수 있다.

6.2.29 사용전압의 변화

전동기의 사용전압변화 시험은 KS C 4201에 준하며 제작사 시험성격서로 가능할 수 있다.

6.2.210 내전압

전동기의 내전압시험은 KS C 4201에 준하며 제작사 시험성격서로 가능할 수 있다.

6.2.2.11 절연저항

전동기의 절연저항은 1000 V 절연저항계로 인출선과 바깥 프레임 사이를 측정한다.

6.2.2.12 진동시험

펌프수문의 진동허용범위는 KS B 6301의 진동 및 소음 시험기준을 따른다.

6.2.2.13 작동상태

날카로운 부분 등의 결함 없는지 확인한다.

6.2.2.14 용접부위

스플터는 제거되어야 하고, 균일하게 용접되어 있는지 확인한다.

6.2.2.15 도장부위

전조 후 물에 침식되지 않고, 주위의 온도변화가 있어도 이상이 없는지 확인한다.

6.2.2.16 주위표식

안전표식 되고, 취급설명서 등에 게재되어있는지 확인한다.

6.2.2.17 위험부위

위험부위에 안전덮개가 설치되어 있어야한다.

6.2.2.18 구조품

매끈하고, 균일하며 기공 또는 균열이 없어야 한다.

6.2.2.19 펌프조립

견고하여야 하며 구조적으로 안정되어야 한다.

6.2.2.20 수문본체

아래의 사항을 확인한다.

- 1) 상부에 힌지와 구동축 사이에 구동링크를 구성하고, 주축과 회동축 사이에 회동링크를 형성되어야 한다.
- 2) 상하 개폐수문은 수로 상부 구조물에 상하로 개폐가 가능한 구조로 마찰 저항을 상쇄할 수 있는 로라가 부착되어야 한다.
- 3) 내부에는 펌프를 결합시키는 전면과 후면측으로 하중을 분산시키도록 펌프 결합용 플렌지를 형성하여야 한다.
- 4) 수로개구부에 설치된 문틀 지수면에 맞도록 지수부를 구비하여야 한다.

2.2

6.2.2.21 수중펌프

아래의 사항을 확인한다.

- 1) 수문의 개구부(격자 Baffle)의 전면에 형성한 플렌지와 흡입부, 몸통부, 토출부로 구분되는 플렌지 접합구조의 펌프이어야 한다.
- 2) 펌프의 중앙부가 수문본체에 삽입되어 수문의 전면과 후면에 결합 가능한 플렌지가 형성되고 펌프토출 구에는 플랩밸브 본체가 체결 가능한 구조이어야 한다.
- 3) 전동기는 수중펌프용으로 수중형이고 모터, 주축, 임펠러, 축봉장치, 수중케이블 등의 부속품으로 구성되어야 한다.

6.2.2.22 플랩밸브

밸브본체와 플랩 및 플랩사이에 연결되어서 플랩이 개폐되도록 안내하는 이중 회동링크로 구성되어야 한다.

6.2.2.23 탈착결쇠

수문의 회동링크 축에 장치되어 유압구동장치의 장기간 수문개방 시에 처짐을 방지할 수 있는 구조이어야 한다.

6.2.2.24 문틀

수로구조물의 수밀면의 지수를 위한 셀 플레이트를 구성한 구조로 수문의 폐쇄 시에 지수가 잘 이루어질 수 있는 구조이어야 한다.

8.2.2.25 유압 구동장치

수문의 힌지축과 수로 구조물 상부의 구동축에 정착되어 수문을 상하로 회동구동시켜 수로를 개방과 폐쇄가 가능하도록 작동할 수 있는 구조이어야 한다.

8.2.2.26 회동장치

아래의 사항을 확인한다.

- 1) 수문본체의 후면 수평방향으로 본체내부의 주축에 연결되어 회동링크를 형성하고 회동링크의 상하부 돌레와 중앙에는 각부의 지지대를 보강하는 구조이어야 한다.
- 2) 수로 상부에 장치되는 회동축은 구조물과 결합하는 견고한 구조로 하고 회동축면에는 간격 조절봉을 설치하여 수문의 회동간격을 정밀하게 조절할 수 있는 구조이어야 한다.

8.2.2.27 수문의 개폐성능 (m/min)

수문의 개폐속도는 설계기준속도의 $\pm 10\%$ m/min 이내일 것

8.2.2.28 수문의 작동상태

수문의 작동성능은 수문의 열림, 닫힘시 원활하게 작동 하여야하고 작동시 이상소음 또는 이상 진동이 발생되지 않아야 한다.

8.2.2.29 탈착결쇠 작동상태

아래의 사항을 확인한다.

- 1) 수문의 개폐 운전시 탈착결쇠에 의한 개폐속도 변화가 $\pm 5\%$ m/min 이내이어야 한다.
- 2) 수문의 개폐 운전시 작동상 간섭 없이 정상적으로 작동하여야 하고, 이때 이상소음 및 이상 진동 없이 원활하게 작동하여야 한다.
- 3) 유도판에 의해서 전진하여야 하며 완전 개방시 탈착결쇠는 유도판에 고정되어야 하고 고정된 후 탈착결쇠는 밀림현상이 없어야 한다.
- 4) 유도판에서 이탈하여 후퇴하여야 하며 완전닫힘시 탈착결쇠는 유도판과 분리되어 수평상태로 복귀하여야 한다.

8.2.2.20 탈착결쇠 안전성능

아래의 사항을 확인한다.

- 1) 탈착결서는 수문의 기립시 밀림현상이 없어야 한다.
- 2) 탈착결서는 수문의 하중에 의한 기구를 변형이 발생하지 않도록 수문의 처짐 현상을 방지할 수 있어야 한다.
- 3) 탈착결서는 고정위치가 확보하고 강성 재질을 사용하여 충분히 하중을 견딜 수 있어야 한다.

8.2.2.31 개폐장치 고장 시 안전성능

유압실린더 또는 유압호스의 파열 등에 따른 기구를 파손을 방지할 수 있도록 급하강이 발생되지 않도록 구조물을 지탱하여 보조적인 안전장치의 기능을 할 수 있도록 작동이 원활하여야 한다.

스핀들식 개폐장치는 비상시 자중강하장치가 구비된 제품이어야 한다.

8.2.2.32 운전상태 안전성능

수문의 개폐시 수문 작동시 작동에 의한 간섭을 주지 않아야 하며, 연속 운전이 가능하여야 하고 심한 진동 및 소음이 없어야 한다.

7. 하자보증

7.1 하자보증기간 : 납품·설치일로부터 1년

- 1) 스마트 감시제어유니트가 적용된 수중펌프 및 펌프수문의 하자보증은 계약시 별도의 요구사항이 없어도 납품 후 1년간 납품한 규격과 품질이 계약내용과 동일함을 보증한다.
- 2) 보증기간 내 제작자의 설계 및 제작과오로 하자 발생 시 제작자 부담으로 즉시 보수 및 교환하며, 사용자 잘못으로 인한 하자가 발생할 시 사용자가 부담한다.

8. 포장 및 표시

8.1 포장

제품의 특성상 “상차→운반→설치”가 연속공정임으로, 운반도중에 발생할 수 있는 제품의 충격에 의한 손상을 방지하는 안전운송을 목적으로 한다.

8.1.1 충격방지 받침

운송하는 차량의 바닥에 운송도중 제품에 발생할 수 있는 충격을 방지하기 위하여 나무 또는 고무판 등으로 격렬한 완충장치를 한다.

8.1.2 결속포장

로프 또는 체인 등으로 움직이지 않도록 단단히 결속한 후 제품에 커버를 씌우고, 먼지 및 습기를 방지하는 마감 포장을 하고 결속한다.

8.2 표시

보기 쉬운 곳에 다음 사항을 표기하며, 제품 출고 시에는 취급설명서 또는 유지관리 지침서를 동봉한다.

- 1) 제품명 및 모델명
- 2) 수문크기(B x H)
- 3) 펌프형식
- 4) 호칭지름(m/m)
- 5) 토출량(m^3/min)
- 6) 전압경(m)
- 7) 출력(kW)
- 8) 정격전압(V)
- 9) 정격전류(A)
- 10) 정격주파수(Hz)
- 11) 회전수(rpm)
- 12) 개폐속도(m/min)
- 13) 개폐기용량(Ton)
- 14) 제조 년 월 일
- 15) 제조번호
- 16) 제작사명

9. 적용자료

9.1 한국산업규격 KS B 6301, KS B 6302에 의한 검사기준

9.2 중소기업벤처부 고시 2017-11호 중소기업제품 구매촉진 및 판로지원에 관한 법률 제15조 3항, 동법 시행규칙 제11조 3항등에 의한 성능인증

9.3 대한민국 등록특허 제10-2112558호

9.4 대한민국 등록특허 제10-2059898호

Fig. 221 펌프일체형수문시스템 제품규격서

제조검사 성적서 (INSPECTION REPORT)

검사일자	2020. 07. 01. (수)
검사장소	하서산업㈜ 화순2 공장
계약명	농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발
검사명	IoT기반 스마트 펌프일체형수문 제작 검사



하서산업주식회사
Hasuh Industries Corporation



* 목 차 *




1. INSPECTION REPORT




2. 겉모양 검사

3. 치수검사

4. 도장검사

1. INSPECTION REPORT




PROJECT	IoT기반 스마트 펌프일체형 수문		
1. INSPECTION REPORT			
발 주 자 :	검사종류 : 제작검사		
공 사 명 : IoT기반 스마트 펌프일체형 수문	검사번호 : HST-HPG-01		
Date : 2020. 07	검사장소 : 하서산업㈜ 화순2 공장		
검사품명 및 수량 : 펌프일체형수문 x 1련, 15톤 게메기 x 1대, 플랜밸브 x 1련			
재 료 : SS400, STS304 외			
Witness by : HM Song		2020-07-01	Witness by :
Approved by : SG Kang		2020-07-01	Approved by :
Prepared by : DH You		2020-07-01	Prepared by :
Signature/Hasuh	Date	Signature/Buyer's Rep.	Date
공 장 검 사			
순 서			
1. 외형검사			
1) 종합적인 외형 : 이상없음.			
2) 용접상태 : 이상없음.			
3) 제작조립 상태 : 이상없음.			
2. 치수검사			
치수는 승인된 시방서 및 도면에 의해 측정되었음.			
3. 자재			
모든 재료의 화학적 구성과 물리적 특성은 요구되는 사양에 부응한다.			
사용된 자재들의 증명은 MILL SHEET로 대치한다.			

PROJECT		IoT기반 스마트 펌프일체형 수문							
INSPECTION SHEET									
제품명		수문		검사장소		하서산업㈜ 화순 공장			
세부품목		펌프일체형수문		PART NO		H-GL-01a			
NO	검사항목	검 사 기 준	측 정 치			검 사 결 과		비 고	
			a			a			
1	결 모 양 상 태	일반사항	결함, 변형, 흠 등 기타 결점이 없을 것			Good		O.K	
		용접상태	누락 없이 균일하게 용접			Good		O.K	
		조립상태	조립위치 CENTER등이 도면과 일치			Good		O.K	
		도장상태	도장은 균일하게 할 것			Good		O.K	
2	치 수 검 사	도면, 제품시양서 기준 수문 검사 기준표 참조			INSPECTION SHEET 참조				
3	도 장 검 사	제품시양서			INSPECTION SHEET 참조				
4	재 질 검 사	도면, 제품시양서			MILL SHEET 참조				
5	종합판정	-			O.K				
기 타 검 사									
특 기 사 항									
Witness by		HM Song		2020-07-01					
Approved by		SG Kang		2020-07-01					
Prepared by		DH You		2020-07-01					
		Signature/HASUH		Date					

PROJECT		IoT기반 스마트 펌프일체형 수문							
INSPECTION SHEET									
제품명		플랩밸브		검사장소		하서산업㈜ 화순 공장			
세부품목		FLAP VALVE		PART NO		H-FV-01a			
NO	검사항목	검 사 기 준	측 정 치			검 사 결 과		비 고	
			a			a			
1	겉모양상태	일반사항	결함, 변형, 흠 등 기타 결점이 없을 것			Good		O.K	
		용접상태	누락 없이 균일하게 용접			Good		O.K	
		조립상태	조립위치 CENTER등이 도면과 일치			Good		O.K	
		도장상태	도장은 균일하게 할 것			Good		O.K	
2	치 수 검 사	도면, 제품사양서 기준 수문 검사 기준표 참조			INSPECTION SHEET 참조				
3	도 장 검 사	제품사양서			INSPECTION SHEET 참조				
4	재 질 검 사	도면, 제품사양서			MILL SHEET 참조				
5	종합판정	-			O.K				
기 타 검 사									
특 기 사 항									
Witness by		HM Song		2020-07-01		_____			
Approved by		SG Kang		2020-07-01		_____			
Prepared by		DH You		2020-07-01		_____			
		Signature/HASUH		Date					

PROJECT		IoT기반 스마트 펌프일체형 수문						
INSPECTION SHEET								
재 품 명	자동감하식 액추에이터	PART NO	H-AC-01a					
검사일자	2020년 07월 01일 수요일							
NO	검사항목	검 사 기 준	측 정 치			검 사 결 과		비 고
			a			a		
1	걸	일반시험	결함, 변형, 축류 기타 결함이 없을 것	Good			O.K	
	오	용접상태	누락 없이 균일하게 용접	Good			O.K	
	양	조립상태	조립위치 CENTER등이 도면과 일치	Good			O.K	
2	치 수	도면/제품시양서	INSPECTION SHEET 참조					
3	구 동 성 태	계파능력	계파 하중	30Ton			O.K	
		수 동	작동상태 양호 할 것	Good			O.K	
		자중감하	자유낙하일 BRAKE 작동	Good			O.K	
		전 동	LIFTING 상태	Good			O.K	
		전동기 부하	상 승 220V / 380V	O.K			O.K	
		전동기 부하	하 강 220V / 380V	O.K			O.K	
		계파속도	0.4m/min ±10 %	0.4m			O.K	
4	유행상태	유행유는 충분하며, 누유가 없을것	Good			O.K		
5	MOTOR (전자브레이크부착)	3.7KW X 4P	제조사 시험성적서 참조					
6	종합판정		O.K.					
기 타 검 사		1. 개도계 결착 2. SPINDLE 여면도금						
특 기 시 양								
Witness by		HM Song		2020-07-01				
Approved by		SG Kang		2020-07-01				
Prepared by		DH You		2020-07-01				
		Signature/HASUH						Date

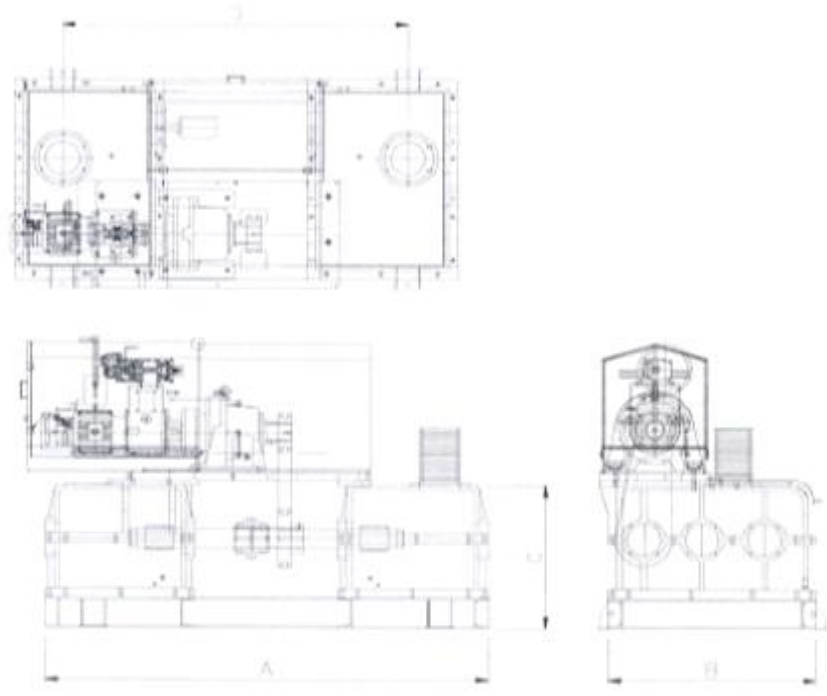
2. 겉모양 검사

PROJECT	IoT기반 스마트 펌프일체형 수문						
2. 외 형 검 사							
* 검사항목 1) 몸체 표면의 기공, 터짐 등 결함여부 2) 기계가공면의 다듬질 정도 3) FRAME & GATE면의 상태 4) 모서리와 구석 부분의 모따기 상태 5) 유체가 통과하는 부분의 다듬질 정도 6) 몸체표면의 제조사명, 제조년도 등의 표시 상태							
NO	측정결과						검사결과
	1항	2항	3항	4항	5항	6항	
H-GL-01a	Good	Good	Good	Good	N/A	N/A	O.K.
H-AC-01a	Good	Good	Good	Good	Good	Good	O.K.
H-FV-01a	Good	Good	Good	Good	N/A	N/A	O.K.
* 특기사항							
Witness by	HM Song		2020-07-01				
Approved by	SG Kang		2020-07-01				
Prepared by	DH You		2020-07-01				
	Signature/HASUH		Date				

3. 치수검사

PROJECT	IoT기반 스마트 펌프일체형 수문		
3. 치 수 검 사			
수문 치수검사 기준			
* 치수허용차는 도면,시방서 기준에 따르고 언급되지 않은 기준은 다음 수문,철관 기술기준 수문비 검사 요령에 따른다.			
구 분	내 용	검사기준	비 고
수 문	각부치수	조 건	허용공차 $\epsilon' = 1/2 \times \epsilon_0 (1 + L / 10)$ $L : \text{부재길이(m)}$
		폭,높이 등의 일반치수	다만, ϵ 는 $\pm 20\text{mm}$ 를 초과할수 없음. $\epsilon_0 = \pm 8\text{mm}$ $\epsilon_0 = \pm 6\text{mm}$: 중심간 거리 $\epsilon_0 = \pm 4\text{mm}$: 수일부의 중요개소 $\epsilon_1 =$ 길이를 개선한 허용차를 표시함
		허 용 차	
		ϵ'	ϵ_1
		허 용 차	
		ϵ_0	ϵ_1
(1) 개폐기 (적용예)			
개폐기의 폭	2.4m	$\pm 3.72\text{mm}$	
개폐기의 센터	1.5m	$\pm 3.45\text{mm}$	
* 명시되지 않은 허용차는 치수검사에서 각품목별 적용하였으며 수평도,수직도는 현장설치후 측정한다.			




PROJECT	IoT기반 스마트 펌프일체형 수문		
INSPECTION SHEET			
TITLE :	ACTUATOR	PART NO	H-AC-01a



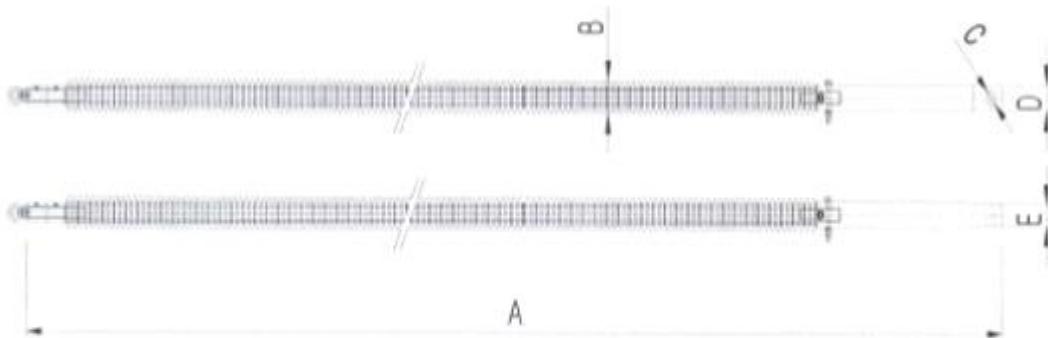
단위 : mm

측정치 POINT		NO. 1									
		A	B	C	D						
설계기준		2,408	1,324	947	1,800						
(허용차)		(±3.7)	(±3.4)	(±3.3)	(±3.5)						
측정치	a	2,409	1,325	947	1,801						

• 특기사항

Witness by	HM Song		2020-07-01
Approved by	SG Kang		2020-07-01
Prepared by	DH You		2020-07-01
	Signature/HASUH	Date	Signature/Buyer's Rep.




PROJECT	IoT기반 스마트 펌프일체형 수문		
INSPECTION SHEET			
TITLE :	SPINDLE	PART NO	H-AC-02a



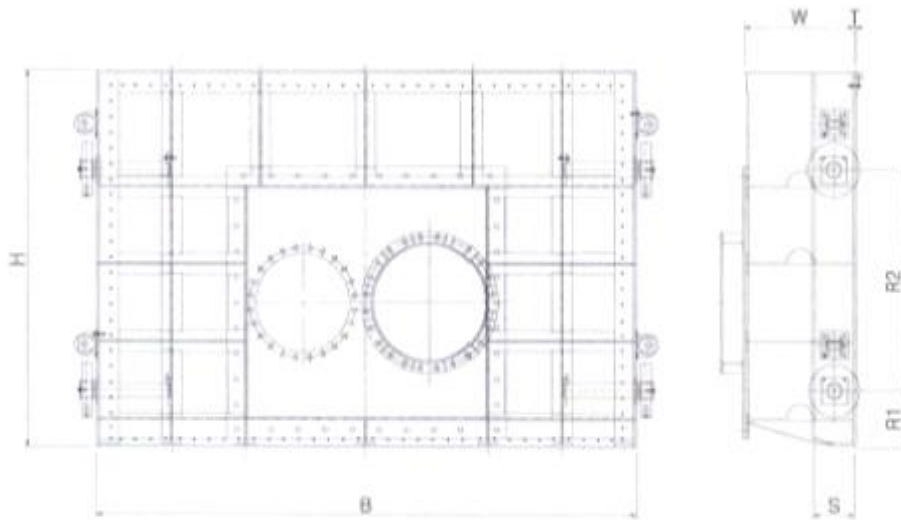
단위 : mm

측정치 POINT	NO. 1									
	A	B	C	D	E					
설 계 기 준	8,288	Ø186	Ø92	200	130					
(허용치)	(±5.5)	(±3.0)	(±3.0)	(±3.0)	(±3.0)					
측정치	a	8,287	186	92	200	130				
	b	8,286	186	92	200	131				

• 특기사항

Witness by	HM Song		2020-07-01	_____
Approved by	SG Kang		2020-07-01	_____
Prepared by	DH You		2020-07-01	_____
	Signature/HASUH		Date	Signature/Buyer's Rep.




PROJECT	IoT기반 스마트 펌프일체형 수문		
INSPECTION SHEET			
TITLE :	펌프일체형수문 문비	PART NO	H-GL-01a



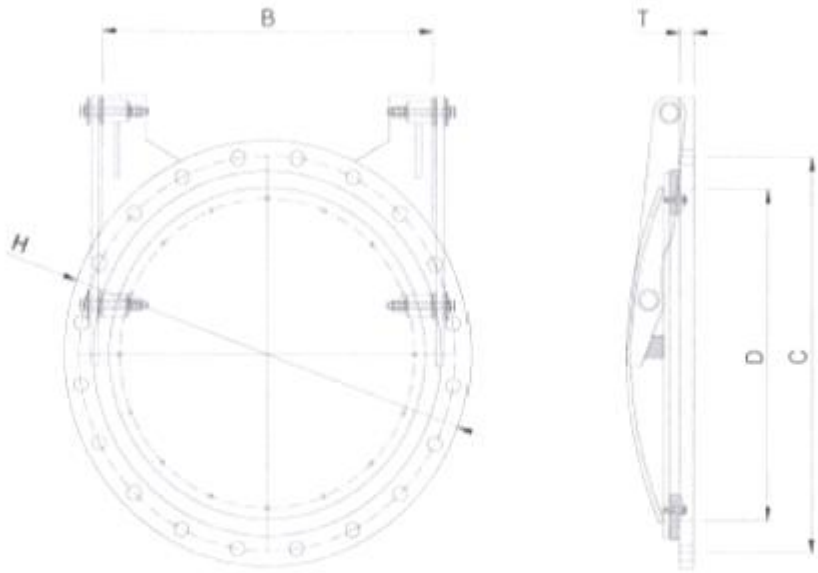
단위 : mm

측정치 POINT	NO. 1										
	B	H	S	T	R1	R2	W				
설 계 기 준	3.960	2.640	300	12	400	1,550	810				
(허용치)	(±4.2)	(±3.8)	(±3.1)	(±0.5)	(±3.1)	(±3.5)	(±3.2)				
측정치	a	3.961	2.640	300	12	401	1,550	809			

• 특기사항

Witness by	HM Song		2020-07-01	
Approved by	SG Kang		2020-07-01	
Prepared by	DH You		2020-07-01	
	Signature/HASUH		Date	Signature/Buyer's Rep.




PROJECT	IoT기반 스마트 펌프일체형 수문		
INSPECTION SHEET			
TITLE :	FLAP VALVE	PART NO	H-FV-01a



단위 : mm

측정치 POINT	NO. 1					
	B	H	T	C	D	
설 계 기 준	525	Ø655	24	Ø605	Ø500	
(허용치)	(±3.3)	(±3.3)	(±1.5)	(±3.3)	(±3.2)	
측정 치	a	524	655	24	605	500

• 특기사항

Witness by	HM Song		2020-07-01	
Approved by	SG Kang		2020-07-01	
Prepared by	DH You		2020-07-01	
	Signature/HASUH		Date	Signature/Buyer's Rep.

4. 도장검사

PROJECT	IoT기반 스마트 펌프일체형 수문				
INSPECTION SHEET					
TITLE :	도 장 검 사			PART NO	MFG.NO 참고
SERVICE CONDITION	SURFACE PREPARATION	PAINTING PLAN		DRY - FILM THECKNESS (μm)	REMARK
조건 in the water	Sa 2 1/2 or SSPC - SP5	COATING	PAINTING PLAN		
		프라이머	Zinc Rich Primer	70	
		PC 1 COAT	에폭시 수지도료	70	
		IC 1 COAT	에폭시 수지도료	70	
		FC 1 COAT	에폭시 수지도료	70	
		TOTAL THICKNESS		280	
STANDARD FINAL COLOR : Gray - Muncell No. :			REMARK : STS 부는 산세척 ACTUATOR : MAKE STANDARD		
PC : PRIMER COAT IC : INTERMEDIATE COAT FC : FINISH COAT					
제품명	MFG.NO	최소값(μm)	최대값(μm)	측정 평균값(μm)	결과
펌프일체형 수문	H-GL-01a	354	591	538	O.K
	H-AC-01a	333	512	458	O.K
	H-FV-01a	311	498	428	O.K
Witness by	HM Song		2020-07-01		
Approved by	SG Kang		2020-07-01		
Prepared by	DH You		2020-07-01		
	Signature/HASUH		Date		

Fig. 222 펌프일체형수문시스템 제조검사 성적서

2-16. 시운전용 펌프일체형수문 시스템 설치에 적합한 Test Bed 설치 및 성능검사

펌프일체형수문 개발, 펌프일체형수문 펌프 설계 및 펌프일체형수문 기술개발이다. 이들 최종 목표를 성공적으로 수행하기 위하여 1단계에서는 테스트 베드를 설치하였고 해당년도에는 성능검사를 통하여 설비의 신뢰성을 검증하고 연구개발을 수행하였다.

2-16-1. Test Bed 구성

테스트 베드는 3M 전폭 위어로 구조시험 배치는 펌프시험을 위한 수직관, 압력계이지와 밸브가 있는 배출관과 전폭 3m 위어 사이에 4장의 다공판으로 제작된 정류판을 설치되어있고 펌프로 유입되는 수로를 위어 하단은 콘크리트로 만들어 졌고 바닥은 수평을 유지하고 있으며 벽면은 수직을 이루어 원활한 물의 흐름을 유지하는 구조로 구성되어 있다.

내 수위 측정은 초음파 수위계를 설치되었고 유량변환차트는 Kindsvater-Carter공식 (ISO 1980)에 따라 계산되었다. 정류판은 수조 벽과 수직이었으며 왜곡 및 손상이 없고 최대 유량에 견딜 수 있는 구조로 설치하였으며, 배출 관으로 부터 7m 떨어진 곳에 설치되었다. 또한 테스트베드 설계 기술개발을 위하여 기초 문헌조사, Intake System, 용존공기부상설비, 여재층시스템 및 파일럿시스템에 대한 연구개발을 수행하였다.(Table 41 참조)

Table 41 Test Bed 규격

시험항목		단 위	치수
위어 치수 검사	위어 폭	m	3
	위어 전체길이	m	15
	위어 직선측정거리	m	7
	위어 높이	m	3
	위어 측정높이	m	1.7
	위어판 높이	m	0.75

2-16-2. 시험방법

검사원은 공인기관의 검사원으로써 충분한 교육을 수료한 숙련자로서, 검증된 검사 및 시험 절차는 하서산업(주) 표준 시험 절차서 (HSP-0502-11), ISO 1438/기술사항 1에 따라 검사를 수행하였고 검사에 사용된 측정기기에 대한 소급성을 확인하였다.

2-16-3. 시험결과

하서산업(주)에 설치된 3m 전폭위어 펌프시험장은 ISO 9906:2012에 따라 각 부위 구조, 치수 및 성능시험을 통하여 본 시험 설비의 신뢰성을 검증한 결과 모두 양호한 것으로 확인되었다. 따라서 본 시험설비의 3m 전폭위어 펌프시험장은 수위범위 (0.030~0.750)m와 유량 측정범위 (1.8~237)m³/min에 사용할 수 있는 펌프 토출량 측정 장치로 95% 수준의 신뢰도와 최고 허용 가능한 1등급을 수행하기 위한 유량, 양정, 출력 및 효율이 충족된 것으로 판단된다.

Figs. 223~225 펌프일체형수문 시스템의 성능시험을 위하여 Test Bed를 제작하고 공인기관에 성능검사를 실시하였고 성능성적서 발급하였다.



Fig. 223 Test Bed 성능검사



Fig. 224 Test Bed 성능검사

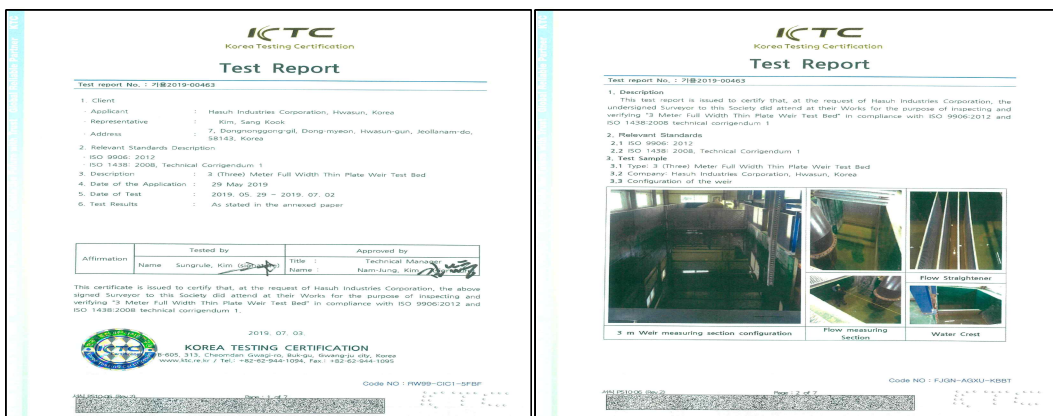


Fig. 225 Test Bed 공인인증 성적서

2-16-4. 통합 모니터링 시스템 및 성능실험



Fig. 226 수문 하강후 펌프구동

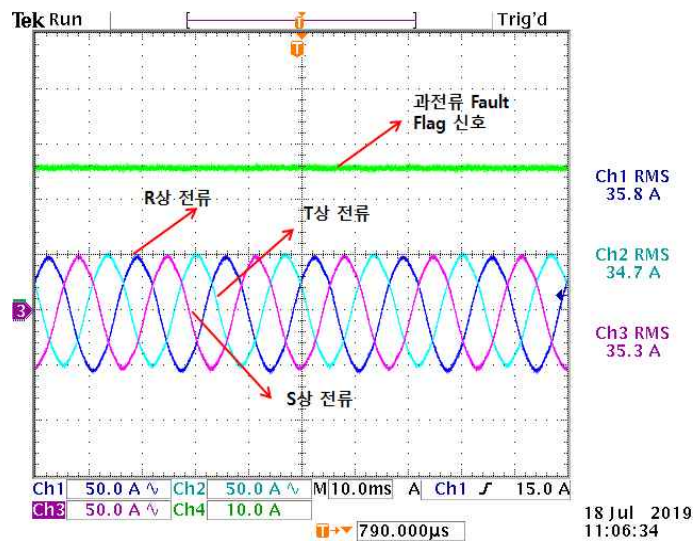


Fig. 227 펌프 구동시 3상전류 및 Fault Flag 파형

Fig 226은 내수위를 외수위로 펌프를 이용해서 방류하기 위해 수문을 권양기를 이용하여 완전히 하강시킨후 펌프모터를 제어반을 통해 구동시켰을 때, 운전 사진을 나타내고 있다. 현재 하서산업 테스트베드에는 펌프기동반 동작테스트를 위해 임시로 30kW 용량의 수중펌프가 설치되어 있으며, 2차년도에는 테스트베드에 설치된 30kW 용량의 펌프를 이용하여 펌프기동반 운전시험을 실시하였다.

Fig. 227은 약 27kW로 정격운전 했을 때 R,S,T 3상 전류를 나타내고 있으며, Fault 발생 유무를 판단하기 위해 펌프기동반 내부의 과전류(과부하) Fault 신호를 받아 Flag 형식으로 파형을 보여준다.(Normal High, Active Low)

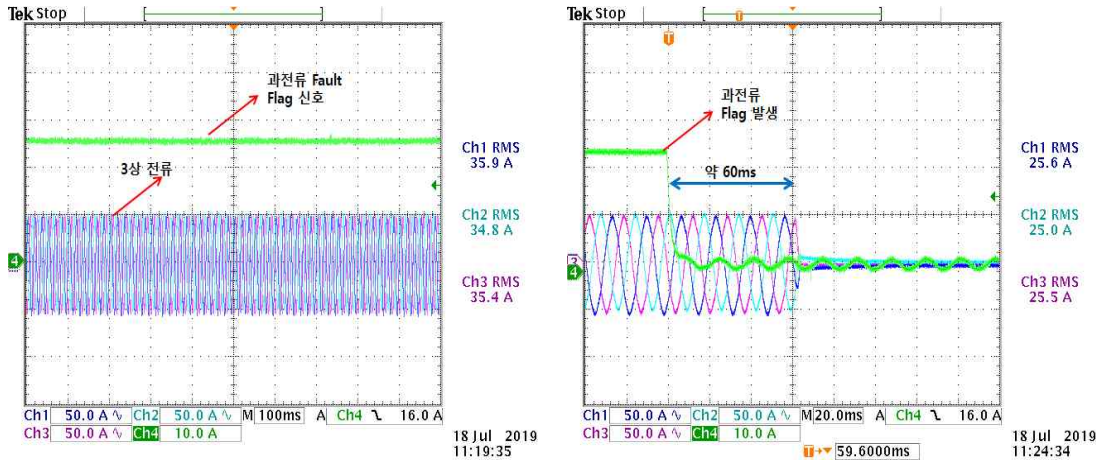


Fig. 228 과전류 Fault에 의한 시스템 정지

Fig. 228은 27kW의 정격운전중 과전류 설정값을 97%인 35A로 설정했을 때, 1초이상 과전류가 검출되면 Fault 신호가 검출되어 시스템을 정지시키는 실험을 진행하였다. 과전류 설정값 35A이상으로 1초이상 지속되었으며, 이때 Fault 신호가 발생을 하며, 약 60ms의 시간이 지난후 펌프출력이 완전히 정지된 것을 볼 수 있다.

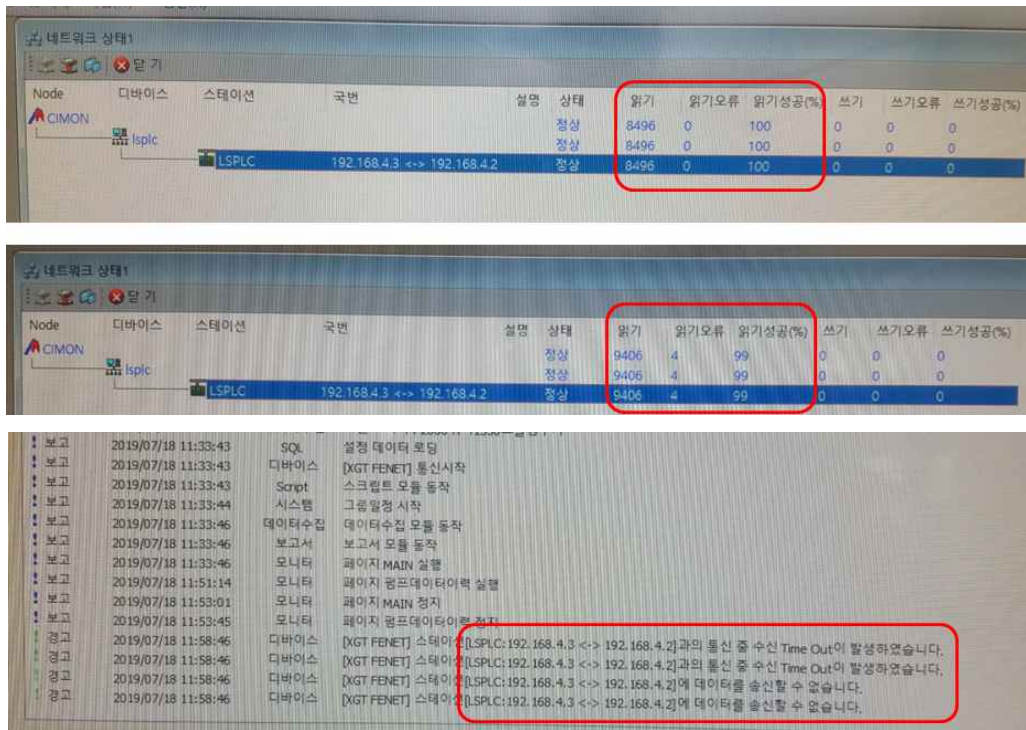


Fig. 229 모니터링 오차

Fig. 229는 펌프현장제어반 내부에 운전상태 및 센싱정보를 취득하는 PLC에서 펌프기동반의 HMI 유닛으로 데이터를 송신하는 통신상태를 나타내고 있으며, 약 1000개의 데이터 송신중 통신 오류로 인해 4개의 데이터 손실이 발생된 것을 볼 수 있다.

2-17 펌프일체형수문 시스템 성능시험을 통한 보완 및 수정

2-17-1. 저양정 고효율 수중펌프 성능시험

성능평가 시험규격 선정으로 제작이 완료된 저양정 고효율 수중펌프에 대하여 정량적 평가 항목은 총 7가지(권양하중, 소음, 권상속도, 전양정, 펌프출력, 펌프효율, 토출량)로 구성되어 있으나 권양하중, 소음, 권상속도를 제외한 4가지 항목은 KS B 6301 규격으로 시험규격을 수립하였다. 권양하중, 소음, 권상속도와 관련된 수중펌프 규격이 별도로 규정되지 않은 점을 고려하여 기술개발 제품과 정량적 항목을 적합하게 구현 할 수 있는 의뢰자 시험 규격을 적용하고자 하였다.

KS B 6301 규격은 원심펌프사류 펌프 및 축류 펌프의 시험 및 검사 방법에 대한 표준을 제시하고 있으며, 본 규격은 공장에서의 시험 및 검사 방법에 대하여 규정하였따다. 펌프의 범위는 원칙적으로 펌프 흡입 플랜지 및 토출 플랜지 단면으로 구분되어 있다. 해당 규격에 대한 펌프의 시험 항목은 전양정, 토출량, 회전속도, 축동력, 운전 상태, 흡입 상태에 대한 시험이 가능하며 검사항목은 전양정 및 토출량, 축동력, 펌프 효율, 운전상태, 내수압 등을 산정할 수 있다.

펌프의 시험은 원칙적으로 온도 0~40℃의 깨끗한 물을 사용해야하며 지정 액체의 밀도가 시험 액체와 다를 때는 시험 결과를 KS B 6301의 8.2에 따라 지정 액체의 성능값으로 환산해야한다. 시험 회전 속도는 원칙적으로 정격 회전 속도를 활용해야 하며, 시험 설비 상태상 규정 회전 속도를 얻을 수 없는 경우에는 규정 회전 속도에 대하여 $\pm 20\%$ 범위 안의 다른 회전 속도에서도 시험이 가능하다. 축류 펌프의 시험은 닫힘 상태에서 가능한 한 최대 유량까지의 5개 측정 지점 이상의 다른 토출량에 대하여 측정하고 적어도 지점은 규정 양정보다 낮은 양정에서 측정해야 한다. 펌프 측정 지점의 결정은 펌프의 성능을 충분히 확인할 수 있는 개수로 하는 것을 원칙으로 한다.

시험 장치는 펌프의 성능을 시험하는 데 충분한 것으로 하며 토출량 측정장치는 KS B 6301의 규정에 따라 Fig. 230과 같은 시험 장치를 구비해야 한다.

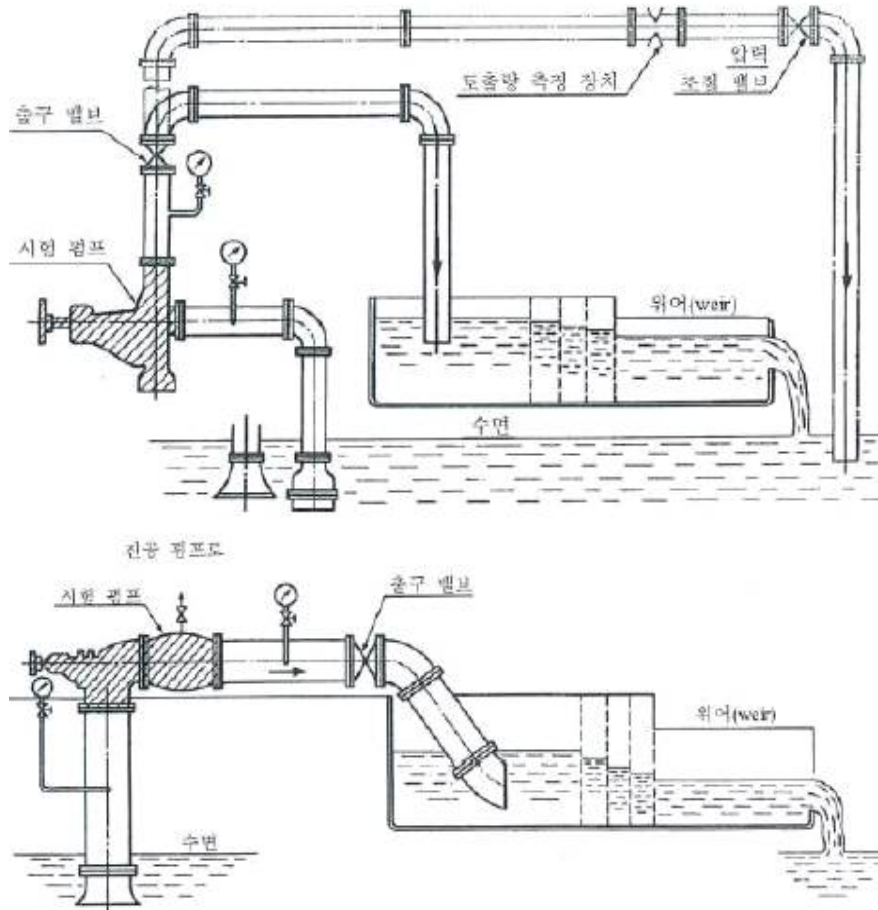


Fig. 230 저양정 고효율 수중펌프 시험장치 예시

펌프를 시험 회전 속도로 운전하고 펌프의 토출 쪽 밸브를 조정함으로써 전양정 및 토출량을 변화시켜 시험해야하며, 펌프 시험의 정확성 및 안정성을 보장하기 위하여 펌프 시험에 사용된 계측기는 부속서 A에 명시한 계측기의 불확도 및 측정편차를 만족해야 한다. 소음은 규정 운전 상태에서 이상음의 유무를 조사한다. 입력전력은 펌프 모터의 인가되는 소비 전력을 의미한다. 펌프의 모터에 인가되는 전력으로 측정은 소비전력계를 정하여 구하며 펌프 종합 효율을 구하는데 사용할 수 있다. 모터 펌프에 인가되는 입력 전력을 사용하는 경우, 운전 범위에서 축동력이 규정 동력을 넘지 않는다는 것을 규정한다.

- 전양정은 펌프의 토출 쪽 흡입 쪽에 각각 입구 지름의 4배 이상인 길이의 직관을 접속하고 펌프 플랜지면에서 입구 지름의 2배가 떨어진 위치의 원둘레 위에 1개의 압력 측정 구멍을 만들고 위치는 밴드 또는 펌프의 스파이럴 굽음을 포함한 평면에 대해 직각 방향으로 셋팅해야 한다. 정격회전수에서 전양정을 최소에서 최대까지 상승시켜야 하며 5개의 측정점 이상 전양정 토출량의 데이터를 취득한다.
- 토출량의 측정은 KS B 6301의 규정에 의해 진행되며 펌프 토출 쪽 플랜지부에서 단위 시간에 토출되는 유효 액량을 펌프의 토출량으로 하지만 다른 목적을 위하여 펌프의 토출구에 이르기 전에 유출되는 액량을 토출량에 포함시키는지에 대해서 공인시험기관과

협의가 필요하다.

- 펌프효율 측정은 회전 속도에서 규정 전양정인 경우 펌프 효율은 아래의 식을 통해 산출하며 필요할 경우 펌프 종합 효율은 수동력을 펌프 모터에 인가되는 입력전력으로 나누는 값으로 산출한다. 여기서 η 는 펌프 효율(%), L_w 은 수동력(kW), L 은 펌프 축동력(kW)을 나타낸다.

$$\eta = \frac{L_w}{L} \times 100 \quad (50)$$

2-17-2. 수문일체형 펌프 제어 및 모니터링 성능시험 보안

IoT기반 스마트 펌프일체형 수문의 수중 축류펌프 성능평가는 제작이 완료된 프로토타입 펌프를 테스트 베드와 하서산업(주)가 보유한 제어시스템에 설치하여 각종 성능평가 항목을 측정하였으며 성능평가는 한국기계전기전자시험연구원 입회하에 시험을 수행하였다.(Figs. 231~233 참조)



Fig. 231 시운전을 통한 제어시스템 신뢰성 및 적합성 검증



Fig. 232 펌프일체형수문 시스템 성능시험을 통한 보완 및 수정

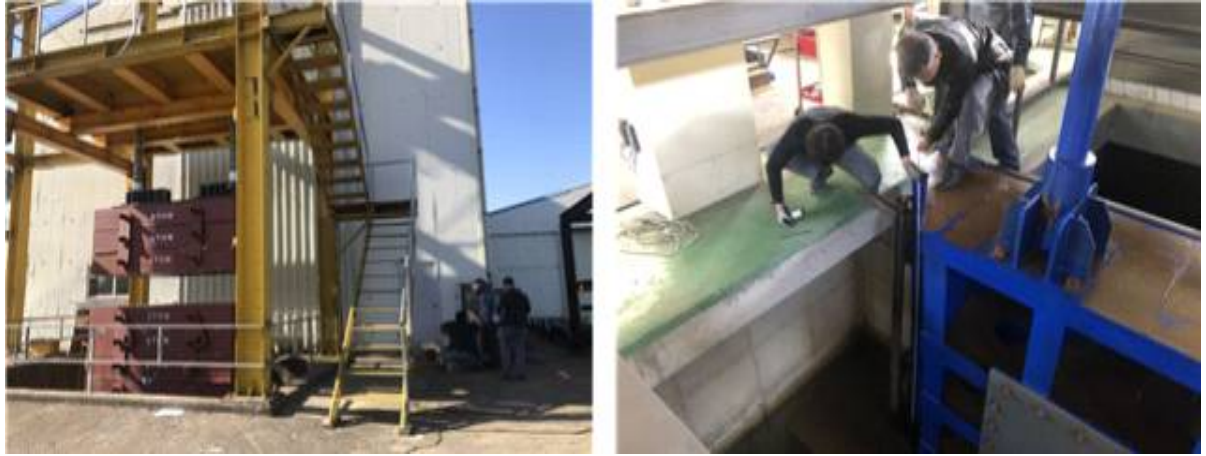


Fig. 233 펌프일체형수문 시스템 성능시험을 통한 보완 및 수정

정량적 목표 평가 항목 중 헌팅제어에 대한 성능시험 데이터 확보를 위해 통합제어반에 설치된 초음파 수위센서에 대한 검증을 위해 LT-200의 Test Certificate(시험성적서 검증)을 진행하였다. (Fig. 234 참조)

Test Certificate

PRODUCT	Ultrasonic Level Meter	TEST DAY	2020.10.20			EVALUATION	Good
MODEL	LT-200-A-B/ 5S-01	TESTER	김기현 사원				
FREQUENCY	40 kHz	SER No.	L20-1021-033			TAG No.	
RANGE	0.30~15M (0~100%)	PROJECT					
STD. VALUE	(mA DC)	0%	25%	50%	75%	100%	
		4.00	8.00	12.00	16.00	20.00	
MEAS. VALUE	(mA DC)	4.00	8.01	11.99	15.99	20.00	
ERROR	%	0.00%	0.12%	-0.08%	+0.06%	0.00%	
ITEM		Test Method	Test Standard			Evaluation	NOTE
CONVERTOR	제품 외형 상태	육안 검사	이상이 없을 것			O.K.	
	부품 조립 상태	CHECK	결합이 없을 것			O.K.	
	LCD DISPLAY	CHECK	이상이 없을 것			O.K.	
	BACK LIGHT	CHECK	이상이 없을 것			O.K.	
	LEVEL 확인	실측 비교	실측치와 동일할 것			O.K.	
	TREND 확인	CHECK	이상이 없을 것			O.K.	
	BAR GRAPH	육안 검사	이상이 없을 것			O.K.	
	키 동작 상태	CHECK	이상이 없을 것			O.K.	
	ANALOG 출력	CHECK	DC 4~20mA			O.K.	
	접점 출력	CHECK	DRY 접점 (4점점)/CH			O.K.	
	부하 저항	CHECK	600Ω 이하			O.K.	
	구조	CHECK	IP 65			O.K.	
SENSOR	콘넥터 확인	CHECK	PG 13.5			O.K.	
	POWER	CHECK	AC 220V (60Hz)			O.K.	
	재질 (본체)	CHECK	PP			O.K.	
	(방사면)	CHECK	PP			O.K.	
	SIZE	CHECK	Φ86			O.K.	
	CABLE 상태	CHECK	이상이 없을 것			O.K.	
	구조	CHECK	IP 68			O.K.	
* 품질검사에 사용한 표준장비 명세							
기기명	제조회사	기기번호	차기교정예정일자	교정기관			
주파수카운터	KEYSIGHT	010849	2020. 09. 12	한국캘러브 ㈜			
디지털 멀티미터	DONG HWA	507575	2020. 11. 25	㈜ 한국계측기기연구소			



주식회사 리테크



Homepage : www.letech21.co.kr

Test Certificate

PRODUCT	Ultrasonic Level Meter	TEST DAY	2020.10.20		EVALUATION	Good	
MODEL	LT-200-A-B/ 55-01	TESTER	김기현 사원				
FREQUENCY	40 KHz	SER No.	L20-1021-036				
RANGE	0.30~15M (0~100%)	PROJECT			TAG No.		
STD. VALUE	(mA DC)		0%	25%	50%	75%	100%
			4.00	8.00	12.00	16.00	20.00
MEAS. VALUE	(mA DC)		4.00	7.99	11.99	16.00	20.00
ERROR	%		0.00%	-0.12%	-0.08%	0.00%	0.00%
ITEM	Test Method	Test Standard	Evaluation	NOTE			
CONVERTOR	제품 외형 상태	육안 검사	이상 없음	O.K.			
	부품 조립 상태	CHECK	결함이 없음	O.K.			
	LCD DISPLAY	CHECK	이상 없음	O.K.			
	BACK LIGHT	CHECK	이상 없음	O.K.			
	LEVEL 확인	실측 비교	실측치와 동일함	O.K.			
	TREND 확인	CHECK	이상 없음	O.K.			
	BAR GRAPH	육안 검사	이상 없음	O.K.			
	키 동작 상태	CHECK	이상 없음	O.K.			
	ANALOG 출력	CHECK	DC 4~20mA	O.K.			
	집점 출력	CHECK	DRY 점점 (4점점)/CH	O.K.			
	부하 저항	CHECK	600Ω 이하	O.K.			
	구조	CHECK	IP 65	O.K.			
	콘넥터 확인	CHECK	PG 13.5	O.K.			
	POWER	CHECK	AC 220V (60Hz)	O.K.			
SENSOR	재질 (본체)	CHECK	PP	O.K.			
	(방사면)	CHECK	PP	O.K.			
	SIZE	CHECK	φ86	O.K.			
	CABLE 상태	CHECK	이상 없음	O.K.			
구조	CHECK	IP 68	O.K.				
* 품질검사에 사용한 표준장비 명세							
기기명	제작회사	기기번호	차기교정예정일자	교정기관			
주파수카운터	KEYSIGHT	010849	2020. 09. 12	한국캘럼			
디지털 멀티미터	DONG HWA	507575	2020. 11. 25	한국계측기기연구소			



Fig. 234 펌프일체형수문 시스템 성능시험을 통한 보완 및 수정

2-17-3. 헌팅제어를 위한 제어시스템 보안



Fig. 235 제어시스템 명령부 변경

IoT기반 스마트 펌프일체형 수문의 성능시험 항목 중 헌팅제어 이전과 인버터의 자동운전을 통한 헌팅제어 후의 비교분석을 위해 통합제어 알고리즘의 변경을 하였으며, 이를 통해 인버터사용 이전의 헌팅현상과 인버터를 통한 자동제어 적용 이후의 헌팅제어

현상을 비교하여 성능시험을 위한 시험환경을 구성하였다.

기존의 수문 및 펌프제어를 위한 HMI 화면의 명령창은 펌프의 수동/자동에 대한 운전명령만을 수행하는 기본 동작에 대한 인터페이스로 구성이 되어 있었으며, 이를 헌팅제어를 적용하지 않은 기존의 수위의 상한/하한 제어조건을 추가하여 리미트에 따른 펌프출력의 ON/OFF 조건을 적용한 기존동작 방식과, 헌팅제어의 성능 검증을 위해 가동수위/정지수위/제어수위의 제어항목을 추가하여 기존방식에서 발생하는 수위의 헌팅현상에 대해 제어알고리즘을 통한 인버터의 자동제어에 의해 헌팅현상이 감소되는 것을 확인하기 위한 개선된 방식의 제어알고리즘을 적용하여 비교 분석 하였다.

Figs. 236~237은 기존방식과 개선된 제어방식의 반복 실험을 통해 수위의 실시간 트렌드를 통해 헌팅제어가 수행되는 모니터링 화면을 보여주고 있다.

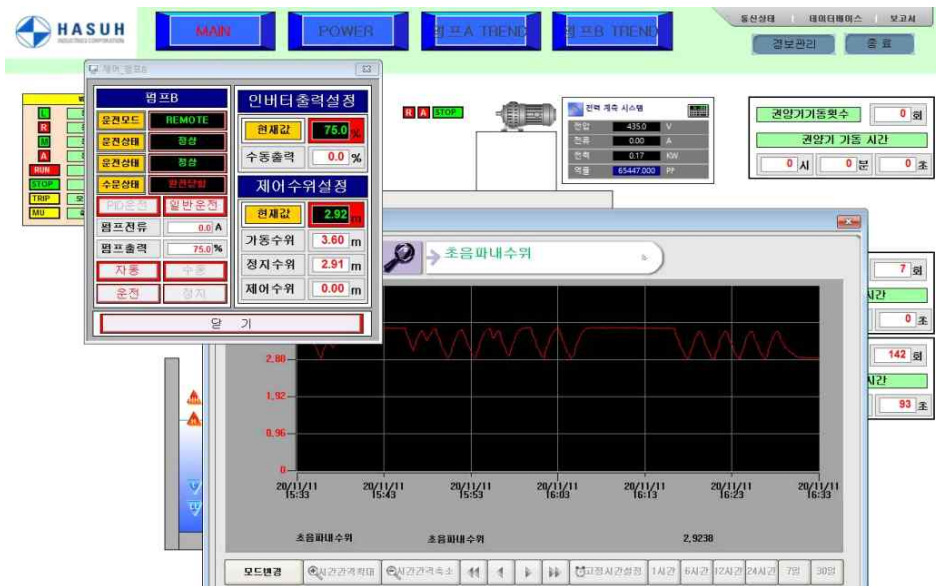


Fig. 236 헌팅제어 성능시험_1

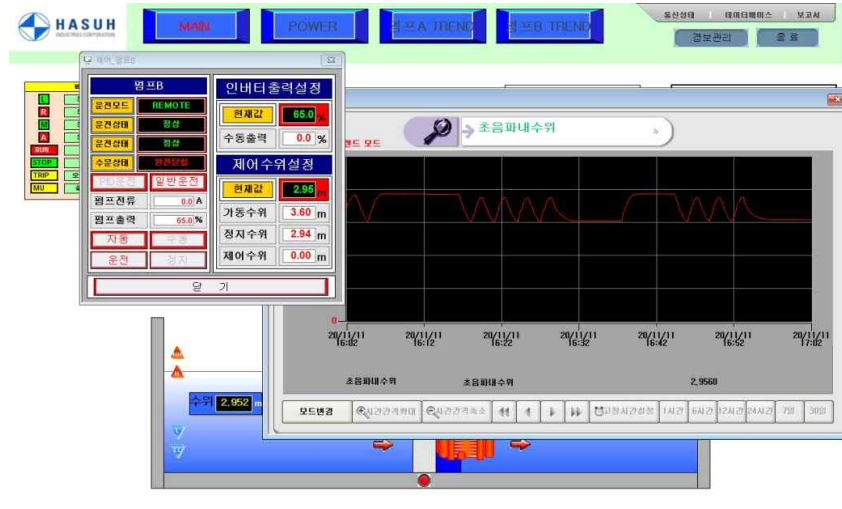


Fig. 237 헌팅제어 성능시험_2

헌팅제어에 대한 성능시험 방법과 이데 대한 결과 분석은 다음을 따른다.

- ① 헌팅제어 확인을 위해 제어반의 동작은 다음과 같은 두 가지 동작 상태를 갖는다.
- ② 첫 번째는, 기존의 방식대로 인버터 출력제어를 하지 않고 수문의 수위변화에 따라 수위가 높아져서 펌프 가동수위에 도달하면 100%출력을 발생시키고, 수위가 낮아져 펌프 정지수위에 도달하면 0% 출력을 발생시켜 나타나는 헌팅 현상을 확인한다.
- ③ 두 번째는, 헌팅을 제어하기 위한 동작으로 각 수위 높이에 따라 인버터의 출력을 자동으로 제어하면 제어하기 전의 헌팅현상을 감소시켜 일정한 수위를 유지하는 것을 확인한다.
- ④ 이때, 수위의 검출은 수위센서를 통해 표시되는 데이터 값을 제어반에 설치된 HMI를 통해 수치 및 트렌드(그래프)를 통해 확인하고, 이를 데이터 로그파일로 저장 후 엑셀을 통해 실측 데이터 값을 확인한다.
- ⑤ 헌팅제어의 검증을 위해 제어 수위를 변화하여 반복 시험 진행하여 확인한다.
 - 헌팅제어(%) = [(최대수위 - 최저수위) / 평균수위] * 100%

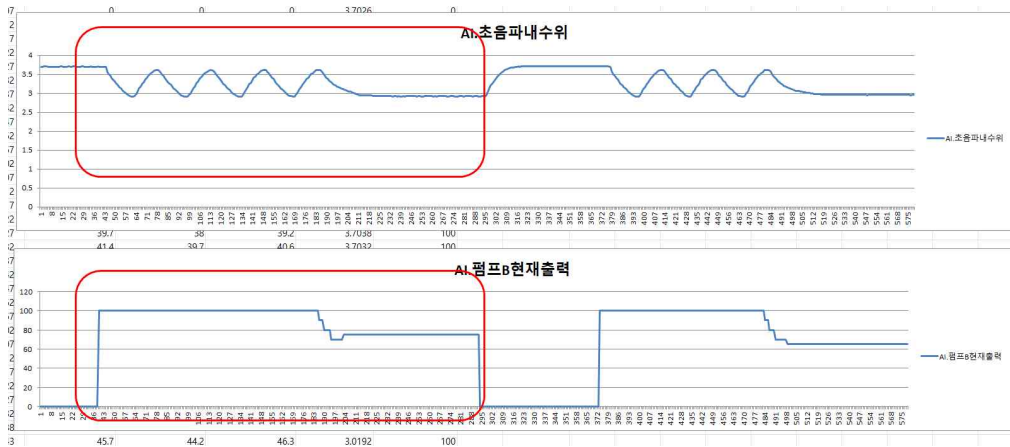


Fig. 238 헌팅제어에 의한 수위 변화 및 펌프의 출력변화_1

216	2020 11 11 16:30:53	26.6	24.8	25.9	2.9442	75
217	2020 11 11 16:30:58	26.4	24.9	26.6	2.9436	75
218	2020 11 11 16:31:03	26.5	25	26.1	2.9448	75
219	2020 11 11 16:31:08	26.6	25.1	26.5	2.946	75
220	2020 11 11 16:31:13	26.7	24.7	26.2	2.9406	75
221	2020 11 11 16:31:18	26.4	25	26.5	2.9382	75
222	2020 11 11 16:31:23	26.4	24.7	26.2	2.9316	75
223	2020 11 11 16:31:28	26.4	25	26.4	2.9316	75
224	2020 11 11 16:31:33	26.3	25.1	26.2	2.9322	75
225	2020 11 11 16:31:38	26.4	24.8	26.4	2.9322	75
226	2020 11 11 16:31:43	26.3	24.8	26.6	2.9268	75
227	2020 11 11 16:31:48	26.5	24.6	26.6	2.9256	75
228	2020 11 11 16:31:53	26.7	24.8	26.4	2.9238	75
229	2020 11 11 16:31:58	26.4	24.8	26.7	2.9238	75
230	2020 11 11 16:32:03	26.8	24.9	26.7	2.9226	75
231	2020 11 11 16:32:08	26.4	25.3	26.7	2.9244	75
232	2020 11 11 16:32:13	26.6	24.9	26.6	2.9244	75
233	2020 11 11 16:32:18	27	25	26.7	2.9232	75
234	2020 11 11 16:32:23	26.5	25.1	26.8	2.9226	75
235	2020 11 11 16:32:28	26.8	25	26.3	2.9196	75
236	2020 11 11 16:32:33	26.6	24.9	26.3	2.9214	75
237	2020 11 11 16:32:38	26.5	24.8	26.2	2.9232	75
238	2020 11 11 16:32:43	26.5	25.1	26.2	2.9184	75
239	2020 11 11 16:32:48	26.7	24.9	26.3	2.9208	75
240	2020 11 11 16:32:53	26.7	25.3	26.3	2.9202	75
241	2020 11 11 16:32:58	26.7	25	26.1	2.9202	75
242	2020 11 11 16:33:03	26.6	24.8	26.6	2.922	75
243	2020 11 11 16:33:08	26.6	24.8	26.5	2.9202	75
244	2020 11 11 16:33:13	26.7	24.9	26.4	2.9238	75
245	2020 11 11 16:33:18	26.5	24.7	26.4	2.9214	75
246	2020 11 11 16:33:23	26.7	24.7	26.5	2.9214	75
247	2020 11 11 16:33:28	26.8	24.6	26.5	2.922	75
248	2020 11 11 16:33:33	26.7	24.8	26.6	2.9208	75

제어 평균값	230.9784
최대값	2.9448
최소값	2.9178
최대-최소 차이	0.027
오차 백분율	0.91177
헌팅 제어율	99.0882

Fig. 239 헌팅제어에 의한 수위변화 로그 데이터_1

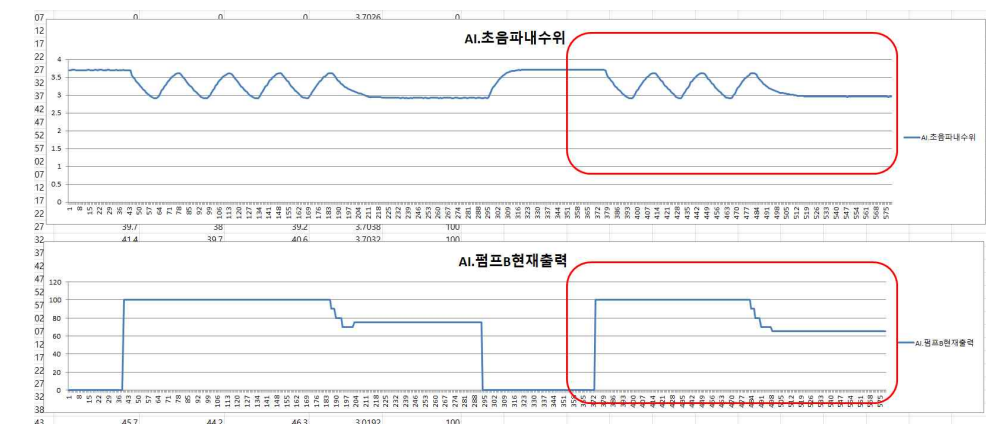


Fig. 240 헌팅제어에 의한 수위 변화 및 펌프의 출력변화_2

512	2020 11 11 16:55:34	20.4	19	20.8	2.9982	65
513	2020 11 11 16:55:39	20.8	18.8	21	2.9886	65
514	2020 11 11 16:55:44	20.5	18.9	20.7	2.9874	65
515	2020 11 11 16:55:49	20.3	19.3	20.9	2.9832	65
516	2020 11 11 16:55:54	20.7	19.2	21	2.9856	65
517	2020 11 11 16:55:59	20.3	19.4	20.9	2.9802	65
518	2020 11 11 16:56:04	20.4	18.9	21.1	2.9772	65
519	2020 11 11 16:56:09	20.5	19.1	20.9	2.9706	65
520	2020 11 11 16:56:14	20.6	19.2	21	2.9706	65
521	2020 11 11 16:56:19	20.3	19.2	20.8	2.9682	65
522	2020 11 11 16:56:24	20.7	19.2	21	2.9664	65
523	2020 11 11 16:56:29	20.4	19.1	20.8	2.9652	65
524	2020 11 11 16:56:34	20.5	19.3	21	2.9622	65
525	2020 11 11 16:56:39	20.9	19.3	21.1	2.9634	65
526	2020 11 11 16:56:44	20.3	19	21.1	2.9622	65
527	2020 11 11 16:56:49	20.5	19.3	20.8	2.9622	65
528	2020 11 11 16:56:54	20.7	19.1	20.9	2.9634	65
529	2020 11 11 16:56:59	20.4	19.1	20.8	2.9616	65
530	2020 11 11 16:57:04	20.6	18.8	21.2	2.9628	65
531	2020 11 11 16:57:09	20.8	19.1	21.1	2.9634	65
532	2020 11 11 16:57:14	20.6	19.1	21	2.958	65
533	2020 11 11 16:57:19	20.6	19.1	21.1	2.961	65
534	2020 11 11 16:57:24	20.5	19.4	21.2	2.9604	65
535	2020 11 11 16:57:29	20.5	19.1	21.2	2.9598	65
536	2020 11 11 16:57:34	20.5	19.1	21.2	2.9574	65
537	2020 11 11 16:57:39	20.9	19.3	21	2.9562	65
538	2020 11 11 16:57:44	20.9	19.4	20.8	2.955	65
539	2020 11 11 16:57:49	20.7	18.9	20.7	2.9556	65
540	2020 11 11 16:57:54	20.5	19.2	20.9	2.9568	65
541	2020 11 11 16:57:59	20.4	19.3	21	2.9556	65
542	2020 11 11 16:58:04	20.4	19.2	21	2.955	65
543	2020 11 11 16:58:09	20.5	19	20.9	2.9562	65
544	2020 11 11 16:58:14	20.5	19.8	21.1	2.955	65
545	2020 11 11 16:58:19	20.3	19.6	21.1	2.9562	65
546	2020 11 11 16:58:24	20.5	19.4	20.9	2.9574	65
547	2020 11 11 16:58:29	20.5	19.5	21.1	2.9556	65

제어 평균값	201.3294
	3.00492
최대값	2.9886
최소값	2.9538
최대-최소 차	0.0348
오차백분율	1.1581
헌팅제어	98.8419

Fig. 241 헌팅제어에 의한 수위변화 로그 데이터_2

Fig. 238~241은 헌팅제어가 수행 구간에 대한 성능시험결과를 모니터링의 데이터로그 기능을 통해 실측데이터를 Excel데이터로 저장한 것으로 헌팅제어에 대한 98.8~99%까지 헌팅제어가 잘 수행되고 있음을 확인할 수 있다.

2-17-3. 과부하 보호를 위한 차단시스템 보안

2차년도까지 기존의 과부하 보호는 전류센서를 활용하여 PLC 내부의 레더명령을 통해 일정부하(과전류)이상에서 펌프의 출력을 순시적으로 차단하는 기능을 적용하였으며, 과부하 및 과전류에 의한 차단의 정량적 시험항목의 정확한 성능 검증을 위해 LS산전의 EOCR인 DMP시리즈의 과부하 차단기를 적용하였다. 이는 모터의 과부하 검출 후 운전 시간 설정 및 과부하의 크기에 따른 보다 안정적인 동작을 위해 일정 범위의 과부하 영역에서 운전시간을 설정(과부하 운전조건) 해줌으로써 보다 효율적인 모터의 운용이 가능하다.



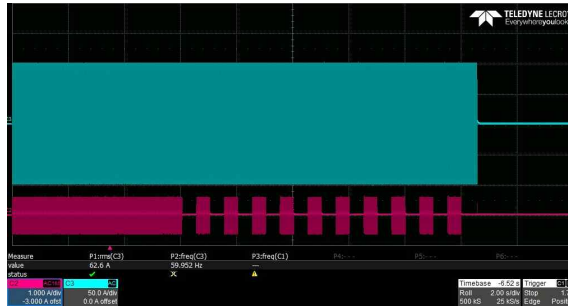


Fig. 242 과부하 보호 조건에 따른 성능시험

Fig. 242는 과부하 조건에 따라 과부하 검출시 과부하 운전시간 설정에 따라 1초에서 11초까지 차단시간을 설정한 이후의 과부하 차단 성능시험에 대한 결과를 보여주고 있다.

IoT기반 스마트 펌프일체형 수문의 성능평가 결과 Table 42와 같이 수문시스템의 12개의 평가항목 모두 달성 완료하였으며 개발목표치와 관련된 전반적인 성능을 도출가능함을 확인하였다.(Fig. 243~250 참조)

Table 42 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문 정량적 목표 및 달성

항목	목표치	시험결과	달성률(%)	평가방법
권양하중	15ton이하	15ton	100	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
소 음	85dB이하	69.4dB	100	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
권상속도	0.4m/min이하	0.4m/min	100	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
전 양 정	3.8m이상	3.85m	100	공인기관 시험성적서 (KS B 6321, KS B 6301, KS B 6302 기준)
펌프출력	45kW이하	32.81kW	100	
펌프효율	75%이상	77.9%	100	
토 출 량	33m ³ /min이상	36.77m ³ /min	100	
과부하 검출	11sec이하	1sec	100	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
모니터링 오차율	5%이하	1%	100	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
모터부하	15kW이하	5kW	100	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
과전류 검토	97%이상	100%	100	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
헌팅제어	98%이상	98.8%	100	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)

시험결과

성적서 번호 : T2020-06605

시험항목	단위	시험 결과					시험방법
		시험 점 1	시험 점 2	시험 점 3	시험 점 4	시험 점 5	
투출량	m ³ /min	37.98	37.74	36.77	34.38	31.69	KS B 6301- 2015
관당정	m	2.48	3.07	3.85	4.38	5.03	
입력전력	kW	26.80	29.31	32.81	34.69	37.12	
펌프효율	%	63.84	71.66	77.98	78.33	77.19	
총합효율	%	57.46	64.64	70.57	71.01	70.13	

비고 : 1. 지경양액 : 청수, 측정온도 : 15.2 ℃
2. 밀도 : 999.069 kg/m³
3. 펌프구경 : 500 mm

■ 성능곡선

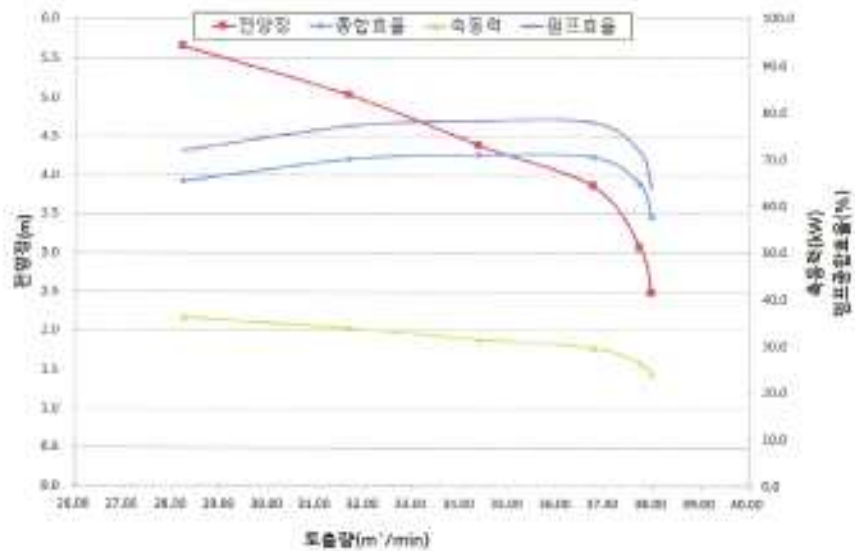


Fig. 244 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발 성능평가 시험 성적서(2/3)

시험 결과

성적서 번호 : T2020-06605

■ 펌프 사양(참고 사항)

모델명	HPG5004510T380	회전수	691 r/min
투출량	33 m ³ /min	소비동력	45 kW
전압정	380 V	펌프효율	75 %
흡입구경	500 mm	제조년월	2020.04
토출구경	500 mm		

■ 모터 사양(참고 사항)

형식	삼성 유도전동기	주파수	60 Hz
전압	380 V	극수	10 P
전류	107.6 A	회전수	691 r/min
동력	45 kW	효율	90.63

끝



Fig. 245 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발 성능평가 시험 성적서(3/3)



시험 성적서

성적서 번호 : 가용2020-01162	
회사명 : 인버터기술(주)	연락처 : 062-522-3260
대표자 : 임종연	
주소 : 전라남도 나주시 노안면 노안로 455-37	

1. 시료명 : 수문일체형 펌프 제어반
· 규격 및 형식 : /
2. 성적서의 용도 : 제출용(농림축산식품연구개발사업)
3. 접수일자 : 2020.11.11
4. 시험일자 : 2020.11.11 ~ 2020.11.14
5. 시험방법 : 외회자제시규격[인버터기술(주)]
6. 시험결과 : 시험결과 참조

시험자 : 이형기 **이형기**

승인자 : 김성윤

1. 이 성적서는 해당제가 객관한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 인해 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 우리 시험연구원에 사별 정보가 없어 품질, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 사본은 무효입니다.



2020년 11월 30일

한국기계전기전자시험연구원



www.ktc.re.kr/ 57517 전라남도 곡성군 오산면 오산로 940
TEL : 062-944-1094



Fig. 246 수문일체형 펌프 제어반 성능평가 시험 성적서(1/5)

시험 결과

성적서 번호 : 기용2020-01162

1. 개요

본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료, 시험기준 및 방법에 따라 측정된 결과임.

2. 적용 또는 인용규격

■ 적용규격: 의뢰자 제시 규격 [인버터 기술(주)]

3. 시험 시료

- (1) 시료명: 수문일체형 펌프 제어반
- (2) 제조회사: 인버터기술(주)
- (3) 사진



Fig. 247 수문일체형 펌프 제어반 성능평가 시험 성적서(2/5)

시험 결과

성적서 번호 : 기용2020-01162

4. 시험방법

시험 방법	
과전류 및 과부하 검증	① 수문일체형 펌프 (이하 '펌프'라 한다.) 운전 중 과부하에 의한 차단율 및 과부하 검증 후 차단되기까지의 시간을 확인하기 위해 펌프 구동전류를 확인할 수 있는 계측기를 준비한다. ② 펌프 운전 중 과부하 조건(설정값: 60A) 을 발생시키기 위한 값을 설정한다. ③ 계측기의 펌프 운전 전류 및 차단 시간을 오실로스코프로 확인한다. ④ 반복시험을 통해 과부하 차단율을 %단위로 기록한다. ■ 차단율 (%) = (시스템의 출력 차단 횟수/ 과부하 검증 횟수)× 100 ⑤ 과부하 검증은 계측기를 통해 과부하 발생 시 인버터 출력전류가 차단되기까지의 시간을 소단위로 기록한다.
모니터링 오차율	① 모니터링은 로컬(현장)의 펌프 제어반 내부의 PLC와 모니터링 목적의 HMI와의 통신수신율, 로컬(현장)의 통신과 서버(무선 원격)와의 통신 수신율을 확인한다. ② 펌프 동작상태에서 각각의 로컬(현장)과 서버(무선원격)의 네트워크 상태 창을 통한 통신 수신율을 확인한다. ③ 실시간 통신을 검증용 위해 임의로 로컬(현장)에서 통신을 수동으로 중지시키고 그 상태에서 서버(무선원격)에서의 네트워크 상태를 확인한다. ④ 이후, 각 로컬(현장)과 서버(무선원격)의 통신 수신율을 확인하여 %단위로 기록한다. ■ 모니터링 오차율 (%) = (통신 수신오류 횟수/ 통신 수신횟수) × 100
현팅제어	① 현팅제어 확인을 위해 제어반의 동작은 다음과 같은 두 가지 동작 상태를 갖는다. ② 첫 번째는, 기존의 방식대로 인버터 출력제어를 하지 않고 수문의 수위변화에 따라 수위가 높아져서 펌프 가동수위에 도달하면 100%출력을 발생시키고, 수위가 낮아져 펌프 정지수위에 도달하면 0% 출력을 발생시켜 나타나는 현팅 현상을 확인한다. ③ 두 번째는, 현팅을 제어하기 위한 동작으로 각 수위 높이에 따라 인버터의 출력을 자동으로 제어하면 제어하기 전의 현팅현상을 감쇠시켜 일정한 수위를 유지하는 것을 확인한다. ④ 이때, 수위의 검출은 수위센서를 통해 표시되는 데이터 값을 제어반에 설치된 HMI를 통해 수치 및 트렌드(그래프)를 통해 확인하고, 이를 데이터 로그파일로 저장 후 역셀을 통해 실측 데이터 값을 확인한다. ⑤ 이후, 두 번째 인버터 제어동작에서 인버터의 자동제어에 따라 정상상태 영역에 도달했을 때 평균 수위값과, 최대수위, 최저수위를 확인하여 % 단위로 기록한다. ⑥ 현팅제어의 검증을 위해 제어 수위를 변화하여 반복 시험 진행하여 확인한다. ■ 현팅제어(%) = [(최대수위 - 최저수위) / 평균수위] × 100 %



Fig. 248 수문일체형 펌프 제어반 성능평가 시험 성적서(3/5)

시험 결과

성적서 번호 : 기용2020-01162

5. 시험결과

시험 항목	단 위	성능 기준	시험결과	시험방법
과전류 차단율	%	97 이상	100	의뢰자 제시규격 [인버터기술(주)]
과부하 검출시간	s	11 이내	1	
모니터링 오차율	%	5 이하	1	
헌팅제어	98	98 이상	98.8	

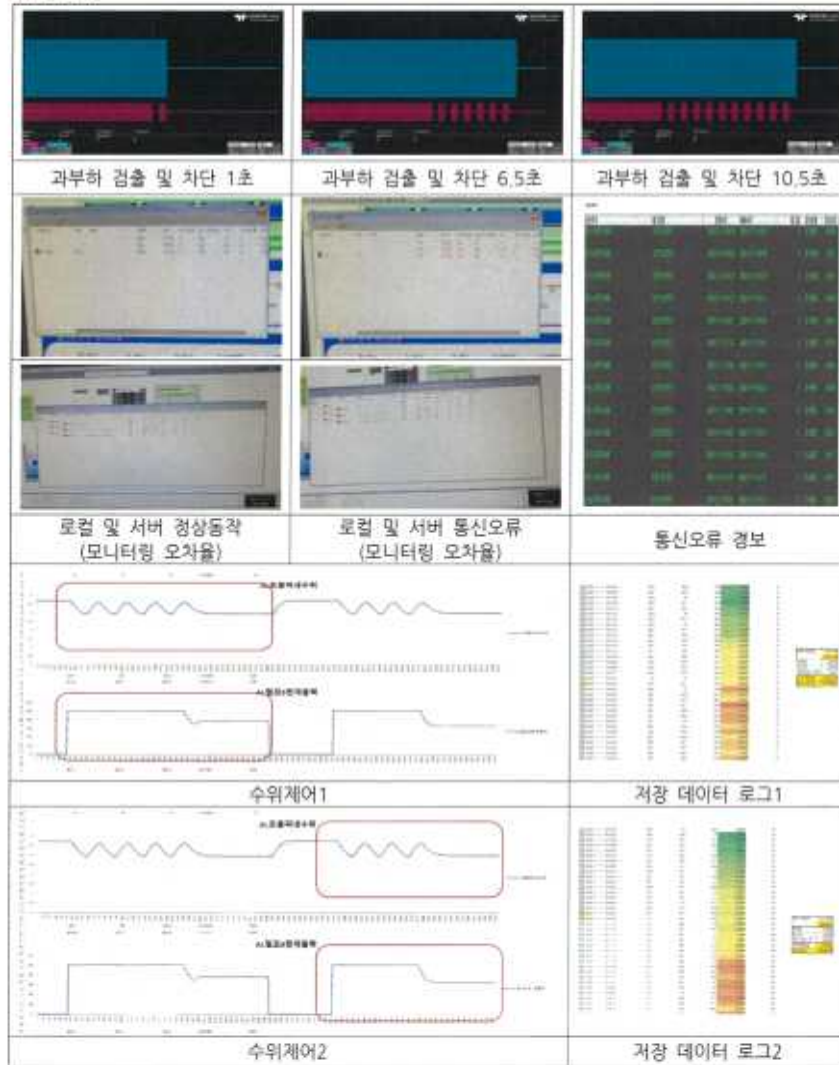


Fig. 249 수문일체형 펌프 제어반 성능평가 시험 성적서(4/5)

시험 결과

성적서 번호 : 기용2020-01162

<측정사진>



끝.



Fig. 250 수문일체형 펌프 제어반 성능평가 시험 성적서(5/5)

2-18. 연구개발 성과 및 평가방법

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기 타 (타 연구 활용 등)	
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		논 문 평 균 IF			학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
												SC I	비 SC I							
단위	건	건	건	건	만 원	건	억 원	억 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	5	20		5	5	10	10	5	10				10		10		10			
최종목표	5	3		1	6	2	26	1.5	4		1	2		3		3				

2-18-1. 국내 특허출원 및 등록 1건 (스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법 : 2018-0015541)
출원인 : 하서산업(주)

하서산업(주)은 내수위 급상승에 사전 대응하는 제어문제와, 부지 제약으로 적은 용량의 유수지에서 펌프의 구동으로 유수지의 급격한 수위 변동으로 발생하는 헨팅 문제와, 유수지의 저수위상태에서 펌프구동으로 인한 캐비테이션 문제와, 유입량 과다로 인한 최고수위 도달 시 과부하 문제를 해결하는 펌프수문제어부를 구성하여, 펌프의 고장을 방지하고 원활한 구동을 구현할 수 있는 스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법에 관한 것 국내특허 1건을 출원하였으며, Fig. 251은 특허출원증을 나타낸다.

특허등록원부				
특 허 번 호		제 1900678 호		
[권 리 란]				
표시번호	등 록 사 항			
1번	출원연월일	2018년 02월 08일	출원번호	2018-0015541
	특허결정(실결)연월일	2018년 07월 05일	권구발위의 항수	9
	분류기호	E02B 5/08, E02B 7/20		
	발명의 명칭	스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법		
	종속기간(예정)만료일	2038년 02월 08일		
2018년 09월 14일 등록				
[특 허 료 란]				
제 01 - 03 부분 (2018.09.14 ~ 2021.09.14) 금 액 91,080 원 (만 65세 이상인 자, 2018년 09월 14일 납입 출원료)				
[특 허 권 자 란]				
(최종권리자)				
하서산업(주) (201311-*****)				
전라남도				
밀양시 (*****)				
경기도				
순위번호	등 록 사 항			
1번	(등록권리자)			
	하서산업(주) (201311-*****)			
	전라남도			
	밀양시 (*****)			
	경기도			
2018년 09월 14일 등록				
이하야백				

Fig. 251 스마트 펌프일체형 수문 및 그 구동방법 특허등록원부

2-18-2. 국내 특허출원 1건 (인버터 제어 방식을 이용한 펌프 일체형 수문 제어 시스템: 2018-0118810)

출원인 : 인버터기술(주)

본 기술은 수문에 펌프가 배설된 펌프일체형 수문을 이용하여 홍수 피해에 대한 신속한 대처를 위해 펌프와 수로를 개폐를 통한 내수를 외수로 배출시키기며 외수의 역류를 차단하는 펌프일체형 수문제어를 위한 수문 및 펌프제어시스템과 수위변화에 따른 실시간 대응 및 예측 알고리즘을 통해 내수에 대한 홍수피해를 최소화하기 위한 원격모니터링 시스템에 대한 기술개발을 목적으로 하며, 그 구동방법에 관한 국내특허 1건을 출원하였고 Fig. 252는 특허출원증을 나타낸다.

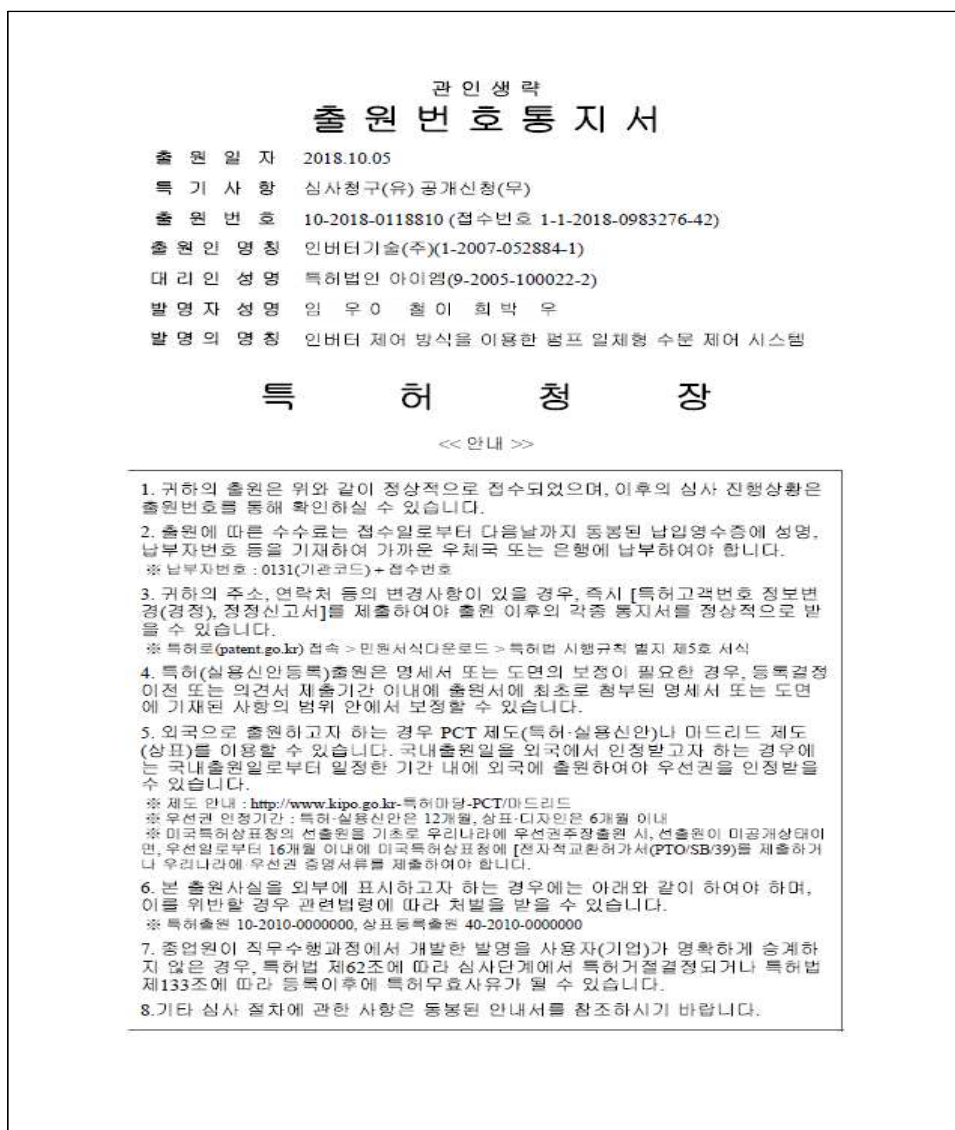


Fig. 252 인버터 제어 방식을 이용한 펌프 일체형 수문 제어 시스템

2-18-3. 국내 특허등록 1건 (스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법)

특허권자 : 하서산업(주)

하서산업(주)은 내수위 급상승에 사전 대응하는 제어문제와, 부지 제약으로 적은 용량의 유수지에서 펌프의 구동으로 유수지의 급격한 수위 변동으로 발생하는 헨팅 문제와 유수지의 저수위상태에서 펌프구동으로 인한 캐비테이션 문제와, 유입량 과다로 인한 최고수위 도달시 과부하 문제를 해결하는 펌프수문제어부를 구성하여, 펌프의 고장을 방지하고 원활한 구동을 구현할 수 있는 스마트 펌프일체형수문 및 구동방법에 관한 것 국내특허 1건을 등록하였으며, Fig. 253은 특허등록원부를 나타낸다.

특허등록원부			
특 허 번 호		제 1900678 호	
[권 리 란]			
표시번호	등 록 사 항		
1번	출원연월일	2018년 02월 08일	출원번호
	특허결정(실결)연월일	2018년 07월 05일	청구범위의 항수
	분류기호	E02B 5/08, E02B 7/20	
	발명의 명칭	스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법	
	존속기간(예정)만료일	2036년 02월 08일	
2018년 09월 14일 등록			
[특 허 료 란]			
제 01 - 03 년분 (2018.09.14 ~ 2021.09.14) 금 액 91,080 원 (만 65세 이상인 자. 2018년 09월 14일 납입 특가업)			
[특 허 권 자 란]			
(최종권리자)			
하서산업(주) (201811-*****) 경라남도 밀양시 (*****) 경기도			
순위번호	등 록 사 항		
1번 (등록권리자)			
	하서산업(주) (201811-*****) 경라남도 밀양시 (*****) 경기도		
2018년 09월 14일 등록			
이하야백			

Fig. 253 스마트 펌프일체형 수문 및 그 구동방법 특허등록원부

2-18-4. 국내 특허출원 1건 (스마트 감시제어형 펌프수문)

출원인 : 하서산업(주)

하서산업(주)은 펌프, 수문, 개폐기, 플랩밸브로 구성된 펌프수문에 있어서, 펌프의 전동기로 공급되는 전력(전압 및 전류)의 위상(位相) 및 파형(波形)과, 전동기의 회전방향과 회전속도, 전동기 내부의 온도, 습도 및 누수의 파라미터(Parameter)를 실시간으로 측정, 변환, 저장, 비교, 연산, 판정, 알람, 표시하고 통신수단을 구비하여 제어 알고리즘에 따라 안전하게 구동되는 펌프와 상기 펌프를 수문에 탑재하여 개폐시키는 개폐기를 현장 및/또는 원격지에서 실시간으로 감시제어하는 스마트 감시제어형 펌프수문에 관한 것 국내특허 1건을 출원하였으며 아래 Fig. 254는 해당 특허에 대한 특허출원명세서를 첨부하였다.

관 인 생 략 출 원 번 호 통 지 서	
출 원 일 자	2019.07.19
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2019-0087290 (접수번호 1-1-2019-0740040-32)
출 원 인 명 칭	하서산업 주식회사(1-2004-008981-4)
대 리 인 성 명	박윤호(9-2003-000259-2)
발 명 자 성 명	김 국
발 명 의 명 칭	스마트 감시제어형 펌프수문
특 허 청 장	
<< 안내 >>	
<p>1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.</p> <p>2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다. ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호</p> <p>3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다. ※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식</p> <p>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.</p> <p>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·디자인은 6개월 이내 ※ 미국특허상표형의 출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표형에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.</p> <p>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</p> <p>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.</p> <p>8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.</p>	

Fig. 254 스마트 감시제어형 펌프수문 출원통지서

2-18-5. 국내 특허출원 1건 (인버터 제어반의 과열 방지 및 2중 전원 공급장치)
출원인 : 인버터기술(주)

인버터기술(주)에서는 산업현장에서 모터제어를 위한 인버터 제어반의 운전 시 인버터의 안전성을 향상시키기 위한 방법으로 인버터 제어반의 과열 방지 및 2중 전원 공급 장치에 관한 기술을 특허 출원하였다. 특히 인버터 제어반이 과열되면 인버터의 동작이 정지되거나, 인버터가 오동작을 발생하게 되며, 정전으로 인해 교류전원이 차단되는 경우에 인버터 제어반의 통신부 전원차단을 보호하는 기술 및 과열방지를 위한 방열구조에 관한 내용을 기술하였으며, Fig. 255는 해당 특허에 대한 특허출원명세서를 첨부하였다.

관인생략

출원번호통지서

출원 일자	2019.01.30
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(LP19004)
출원 번호	10-2019-0011942 (접수번호 1-1-2019-0110019-28)
출원인 명칭	인버터기술(주)(1-2007-052884-1) 외 1명
대리인 성명	김원준(9-2000-000412-1)
발명자 성명	박 우임 우
발명의 명칭	인버터 제어반의 과열 방지 및 2중 전원 공급 장치

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 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정 신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별자 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 인정받으려 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·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]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. 중업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

Fig. 255 인버터를 이용한 펌프일체형 수문제어를 위한 통합제어시스템 출원통지서

2-18-6. 국내 특허등록 1건 (스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법)

특허권자 : 하서산업(주)

하서산업(주)은 스마트 감시제어형 펌프수문에 관한 것으로 구성된 감시제어유닛에 통신 수단을 구성하여 제어알고리즘에 따라 안전하게 구동되는 펌프와 수문에 상기 펌프를 탑재하여 개폐하는 개폐기를 포함하는 펌프수문을 현장 및 또는 원격지에서 실시간 유효적으로 감시제어하는 스마트 감시제어형 펌프수문에 관한 것이며 국내특허 1건을 등록하였으며, Fig. 256은 스마트 감시제어형 펌프수문 특허증을 나타낸다.



Fig. 256 스마트 감시제어형 펌프수문 특허증

2-18-7. 국내 특허등록 1건 (스마트 감시제어형 펌프수문)

특허권자 : 하서산업(주)

하서산업(주)은 펌프, 수문, 개폐기, 플랩밸브로 구성된 펌프수문에 있어서, 펌프의 전동기로 공급되는 전력(전압 및 전류)의 위상(位相) 및 파형(波形)과, 전동기의 회전방향과 회전속도, 전동기 내부의 온도, 습도 및 누수의 파라미터(Parameter)를 실시간으로 측정, 변환, 저장, 비교, 연산, 판정, 알람, 표시하고 통신수단을 구비하여 제어 알고리즘에 따라 안전하게 구동되는 펌프와, 상기 펌프를 수문에 탑재하여 개폐시키는 개폐기를 현장 및/또는 원격지에서 실시간으로 감시제어하는 스마트 감시제어형 펌프수문에 관한 것 국내특허 1건을 등록하였으며 아래 Fig. 257은 해당 특허에 대한 특허증을 첨부하였다.



Fig. 257 스마트 감시제어형 펌프수문 출원통지서

2-18-8. 국내 특허등록 1건 (인버터 제어반의 과열 방지 및 2중 전원 공급장치)
 특허권자 : 인버터기술(주)

인버터기술(주)에서는 산업현장에서 모터제어를 위한 인버터 제어반의 운전 시 인버터의 안전성을 향상시키기 위한 방법으로 인버터 제어반의 과열 방지 및 2중 전원 공급 장치에 관한 기술을 특허 등록하였다. 특히 인버터 제어반이 과열되면 인버터의 동작이 정지되거나, 인버터가 오동작을 발생하게 되며, 정전으로 인해 교류전원이 차단되는 경우에 인버터 제어반의 통신부 전원차단을 보호하는 기술 및 과열방지를 위한 방열구조에 관한 내용을 기술하였으며, Fig. 258은 해당 특허에 대한 특허증을 첨부하였다.



Fig. 258 인버터 제어반의 과열 방지 및 2중 전원 공급 장치 특허증

2-19. 국내 전시회 참여

2-19-1. 2017 금속산업대전 KOREA 2017 Metal Week 참여

- 기 간 : 2017. 10. 24.(화) ~ 10. 27.(금)
- 장 소 : KINTEX
- 주 최 : 한국전람
- 주요행사

- 소재부터 가공기계, 완성품까지 전 공정을 살펴볼 수 있으며, 철과 비철금속 나아가 복합 및 다중소재에 이르기까지 다양한 소재를 기반으로 한 분야별 트렌드를 볼 수 있는 박람회이다. 파스너 & 와이어, 주조 & 다이캐스팅, 자동차 & 기계부품, 프레스 & 단조, 튜브 & 파이프, 금속 도금 & 도장, 3D 기술, 알루미늄, 레이저 및 용접, 뿌리산업, 펌프 기술, 공구산업, 컴포짓 등 13개 카테고리의 신기술 및 업계 동향을 살펴보며 동시에 레이저 및 용접 기술 산업전, 펌프 기술 산업전 개최하여 관련된 모든 업체가 참가한 펌프기술의 종합박람회이다.(Fig. 259 참조)



Fig. 259 금속산업대전 참여현장

2-19-2. 2018 물 산업전시회 Viet Water 참여예정

- 일정 : 2018. 11. 7(수) ~ 11. 9(금), 3일간
- 장소 : 베트남 호치민 Saigon Exhibition&Convention Center
- 주최 : UBM Asia(Malaysia)
- 규모 : 6,500sqm, 38개국 400개사 참가, 12,405명 방문
- 주요행사
 - 2018년 11월 베트남 호치민에서 열리는 VIET WATER 2018은 아시아 대표 물 산업 전시회이다.
 - 최근 베트남의 산업화, 도시화가 본격화되면서 베트남 수처리 시설에 대한 수요가 나날이 높아지고 있습니다. 현재 베트남의 도시용 하수처리 시설은 30여 개에 불과할 뿐만 아니라 하수처리율도 12%대로 매우 낮아, 수처리 인프라에 대한 개선이 시급한 과제로 떠오르고 있다.
 - 베트남 정부는 2025년까지 상하수도 인프라 확충계획을 세우고 이를 위해 2020년까지 약 70억 달러를 투자하겠다고 발표했다.
 - 이에 대해 하반기 물 관리 심포지움 및 전시회(500평 규모)로써 참가업체와 국내·외 바이어 간 비즈매칭 상담회(수출상담회, 공동구매상담회)를 진행했다.(Fig. 260 참조)



Fig. 260 2017 물 산업전시회 Viet Water 전경

2-19-3. ABB 코리아 산업용인버터 설명회 세미나 초청

- 일정 : 2018. 09. 13.(목)~ 09. 14.(금), 2일간
- 장소 : 인버터기술(주)
- 주제 : 산업용 인버터 및 펌프/유량제어용 드라이버 및 인버터 제어반 설명회
- 주요행사
 - 유도모터, 영구자석 모터, 서보모터, 동기모터 및 동기 릴럭턴스 모터 등을 포함한 다양한 종류의 AC 모터제어가 가능한 산업용 드라이버 설명회이다.
 - DTC(Direct Torque Control)을 이용한 신뢰성 높은 최적의 모터 제어기술 및 사용자 인터페이스의 편리성 증대를 위한 다양한 모니터링 및 원격제어 기술에 대해 개최하였다.
 - 설명회를 통한 과제활용방안으로 사용자 인터페이스 최적화를 위한 모니터링 기술 및 원격제어 기술을 통한 현장 적용가능성 확인 및 무선방식의 모터상태확인 가능한 수문 및 펌프제어의 원격모니터링 기술 습득, 인버터 제어반 구조 및 입출력 EMC 필터 활용의 적합성을 확인했다.(Figs. 261~262 참조)

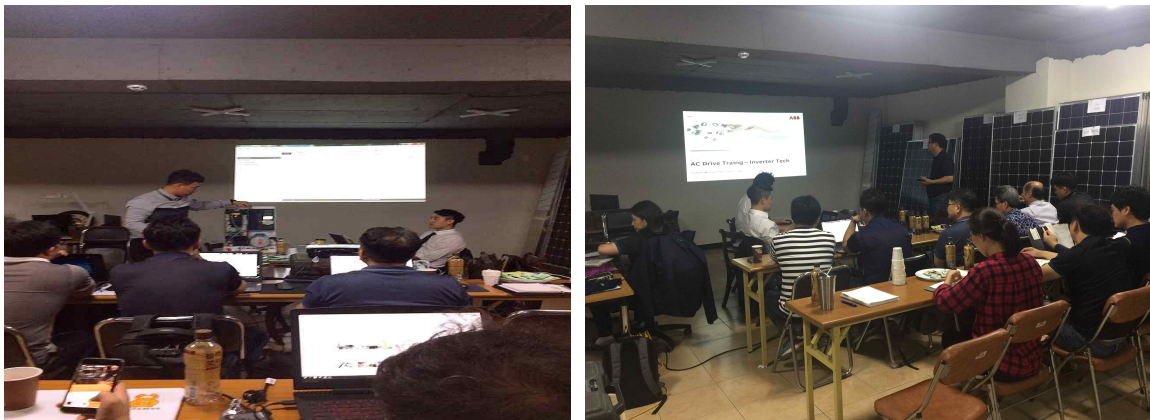


Fig. 261 ABB 코리아 산업용인버터 설명회 세미나

위 결의 사항의 명확성을 기하기 위해 연서 · 날인함.

참석자	소속	직 위	비 고
	인버터기술(주)	대표이사	
	인버터기술(주)	차장	
	"	차장	
	인버터기술(주)	사무	
	인버터기술(주)	대리	
	"	의사	
	ABB코리아	과장	
	ABB코리아	대리	
	인버터기술(주)	상무이사	
	인버터기술	의견서장	
	"	부장	
(인)			

Fig. 262 참석자 등록

2-20. 해외 현지 업무진행 및 공사 진행 건

2-20-1. 2019 말레이시아 Tai Hoe 방문

- 2019년 01월 02일 말레이시아 Tai Hoe사 방문 프레젠테이션 및 배수펌프장 대상 5개 현장 방문
- DID 농업부서 방문 프레젠테이션 및 제품 홍보
- KPG Senin 정수장 공급용수 취수장 시설개선 검토
- 현지시장현황 및 개척방향 협의
- 양사간 협력방안 협의(Figs. 266~264 참조)



Fig. 263 말레이시아 Tai Hoe 방문 프레젠테이션[1]



Fig. 264 말레이시아 Tai Hoe 방문 프레젠테이션[2]

2-20-2. 2019 인도네시아 Surabaya

- 2018년 11월 25일 NHE (Nigata Hidro Energi)사 방문 프레젠테이션 및 배수펌프장 대상 2개 현장 방문
- 수라바야 시청 방문 프레젠테이션 진행
- 2019년 04월 05일 PT. Barata Indonesia 회사 방문
- 양사간 인도네시아 독점공급 협의 및 현장 방문
- 신기술이 적용된 제품 프레젠테이션 진행.(Figs. 265~266 참조)



Fig. 265 하서산업 공장 현장[1]



Fig. 266 하서산업 공장 현장[2]

2-20-3. 한국농어촌공사 환경 신기술 기술설명회 참여(하서산업(주))

□ 일정 : 2019. 05. 23

□ 장소 : 한국농어촌공사 본사 무궁화2실

□ 주제 : 환경 분야 신기술 신공법 기술 설명회

□ 주요행사

- 최신 기술동향 파악을 통한 환경 분야 전문기술 습득 및 정보교류
- 신기술신공법 이해를 통한 현장적용 촉진 및 기술 진입 장벽 해소
- 수질환경분야 Test Bed 지원제도 소개(KRC, K-water 2개 기관)
- 신기술 · 신공법 발표 : 수질자동계측, 수질개선, 수질관리 장치 등에 대한 기술 소개(15개 업체 16개 공법)
- 홍보물 비치 : 2개 업체 2개 공법(Figs. 267~268 참조)



Fig. 267 환경신기술기술설명회[1]



Fig. 268 환경신기술기술설명회[2]

2-20-4. 한국농어촌공사 환경 신기술 기술설명회 참여(인버터기술(주))

- 일정 : 2019.06.04.~05
- 장소 : ABB KOREA 부산 사무소 20층 회의실
- 주제 : 산업용 인버터 기술교육
- 주요행사
 - 최신 기술동향 파악을 통한 환경 분야 전문기술 습득 및 정보교류
 - 산업용 인버터 드라이브 교육
 - ACS880 Primary Control Program
 - 시운전 및 유지보수를 위한 드라이브 컴포저 사용 방법
 - 소규모 PLC구성을 위한 AP프로그램 사용 방법
 - 트러블 슈팅을 위한 데이터 로거 방법
 - Motor PC TOOL 사용 내용
 - Motor Smart Sensor 활용 PSE G2 소개 및 TOOL 사용(Fig. 269 참조)

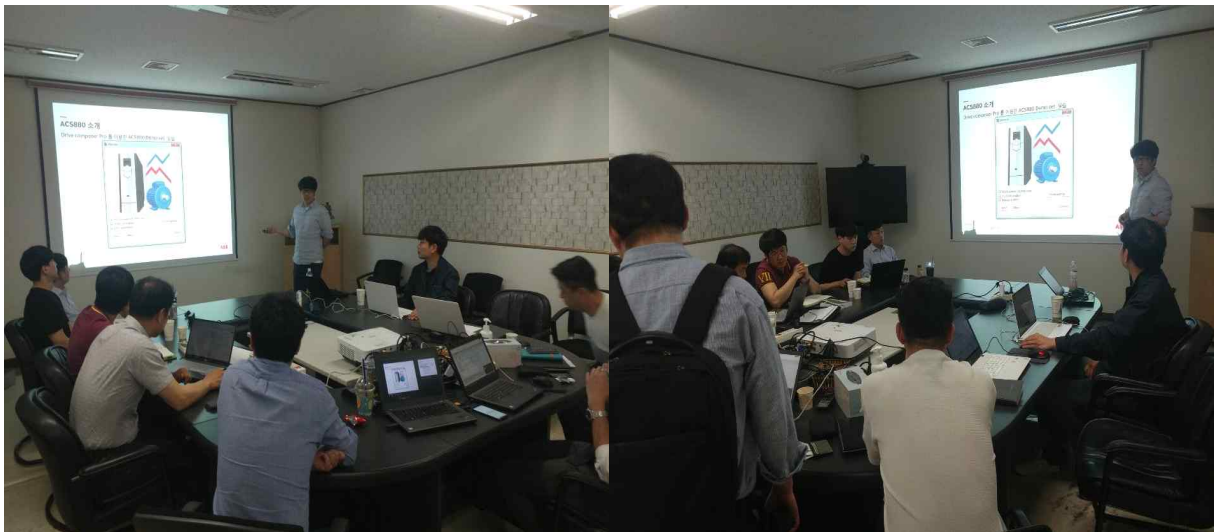


Fig. 269 ABB 산업용 인버터 기술교육 참관

2-21. 국내외 논문 발표

2018년 5월 25일 전북대학교에서 개최되는 2018 대한기계학회 춘계학술대회에 참가하여 “권양하중에 따른 펌프일체형 수문 체결부의 구조적 안전성에 관한 연구”에 대한 내용으로 논문을 발표하였고 Fig. 270은 대한기계학회에 투고한 논문초록을 나타낸다.

권양하중에 따른 펌프일체형 수문 체결부의 구조적 안전성에 관한 연구

이보람* · 박민호* · 오원빈* · 윤태종* · 김일수*

A Study on the Structural Safety for Joint of Pump-Integrated Gate according to Lifting Load

Bo Ram Lee, Min Ho Park, Won Bin Oh, Tae Jong Yun and Ill soo Kim

Key Words: Pump Intergrated Gate(펌프일체형 수문), Structure Analysis(구조해석), Hydraulic Pressure(수압), FEM(유한 요소 해석)

Abstract

현재 지구 온난화의 영향으로 홍수 및 침수로 인한 발생되는 경제적, 인명피해를 감소시키기 위하여 증가된 설계기준에 적합한 재료는 개념의 배수장치 개발이 요구되고 있다. 국내의 설치되어 있는 기존 배수펌프장을 신규 설치할 경우 넓은 부지가 필요하고 설치 제약이 많으며, 주변 생활환경에 악취 소음 등의 영향이 크기 때문에 기피현상이 뚜렷하며, 복잡한 설비구성으로 장기간 동시가 예상되기 때문에 예산의 과다소요로 유지관리가 매우 어려운 실정이다. 펌프를 수문에 직접 결합함으로써 별도부지가 필요하지 않아 예산과 공간을 크게 줄일 수 있어서 신속하게 재해를 예방할 수 있다. 펌프일체형수문 시스템의 경우 펌프, 수문, 개폐기를 일체화시켜 설비구성을 간소화시킴으로써, 새로운 개념의 배수설비를 제공할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 펌프일체형 수문에 대한 자중에 따른 체결되는 Bolt의 인장성을 검증하고자 하였으며, 이를 통한 새로운 개념의 배수설비의 실효성을 입증하고자 하였다.

1. 서론


현재 국내의 기존 배수펌프장은 침수피해를 방지하기 위하여 저지대 상습침수지역에 설치하는데, 유수지, 펌프장, 수문 설치에 넓은 부지가 필요하여 많은 예산과 장기간이 소요되는 문제가 있다. 하지만 펌프를 수문에 직접 결합함으로써, 별도부지가 필요하지 않아 예산과 공간을 크게 줄일 수 있어서 신속하게 재해를 예방할 수 있다.

펌프장 및 배수설비의 노후화와 품질관리 사업의 한계성, 배수설비 관리 인력의 부족 문제를 해결할 수 있고 농업생산성 향상과 배수설비들의 운영과 관리를 보다 효과적으로 원활하게 수행하기 위해서는 많은 비용과 인력을 소모하는 배수설비의 운영 및 유지관리를 할 수 있는 체계적인 시스템 도입이 필요한 실정이다.⁽¹⁾

본 연구에서는 농지 침수재해를 예방하고 인명적 농업용수 확보를 위한 펌프일체형 수문에 대한 구조해석을 수행하여 제안된 시스템의 체결부 안전성을 검증하고자 하였다.

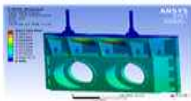


2. 수문 체결부의 구조안전성 해석

2.1 펌프일체형 수문의 유한요소모델
본 연구에 사용된 펌프일체형 수문은 하서산업(주)에서 제공한 문비이다. 자중에 따라 Spindle bracket의 체결되는 Bolt의 구조적 안전성을 검증하고자 하였다. 구조해석에 사용된 문비의 재질은 일반구조용 강재인 SS400으로 선정하였다. 3D 모델 설계프로그램인 Inventor를 사용하여 모델링을 완료하였다. 펌프일체형 수문의 구조해석을 위하여 모델에 Tetrahedron으로 격자를 생성하였다. 모델링에 사용된 총 결점의 개수는 364,815개 이고 요소의 수는 216,543개로 구성되었다. Fig. 1은 펌프일체형 수문에 대한 FEM을 나타낸다.



3. 해석결과

Figs. 3-5는 체결부에 따른 구조해석 결과를 나타내고 있다. 구조해석 결과 상부프레임에서 우선적으로 타성 영역을 넘어서 소성변형이 계속 발생함을 확인할 수 있었다. 또한, 수문의 체결부에는 자중에 대한 응력의 영향이 미비한 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

펌프일체형수문의 구조해석 결과, 자중에 의한 문비와 Spindle bracket이 체결된 부분이 상부프레임의 변형에 의해 추가적인 영향이 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 시스템의 구조적 신뢰성을 확보함으로써 펌프일체형수문에 반영하여 불필요한 예산낭비를 방지하고 이러한 결과는 시제품 제작을 할 수 있을 것으로 사료된다.

후기

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(317068031HD030)

참고문헌

(1) Lin X, Zhang Y, Bai J, Xu H and Yu W, 2008, "Impeller Hit Causing Effort on Performance Improvement in Centrifugal Pump", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 22, pp. 1

Fig. 270 대한기계학회에 투고한 논문초록

2018년 5월 2~4일 DCC에서 개최되는 2018 한국생산제조학회 춘계학술대회에 참가하여 “펌프일체형 수문의 수압에 따른 구조적 안전성 평가를 위한 해석적 연구”에 대한 내용으로 논문을 발표하였고 Fig. 271은 한국생산제조학회에 투고한 논문초록을 나타낸다.

KSMT E Annual Spring Conference 2018

2018 한국생산제조학회 춘계학술대회 & 뉴 메이커스 챌린지

주요 일정

<p>2018년 5월 2일(수)</p> <ul style="list-style-type: none"> 리더스미팅 리셉션 	<p>2018년 5월 3일(목)</p> <ul style="list-style-type: none"> 논문발표, 행사초청공연 뉴 메이커스 챌린지 만찬 및 시상식 뉴 메이커스 튜토리얼 	<p>2018년 5월 4일(금)</p> <ul style="list-style-type: none"> 논문발표 학술분과별 토론회 뉴 메이커스 챌린지
--	---	---

뉴 메이커스 챌린지 행사

- 뉴 메이커스 특허발명대전
- 뉴 메이커스 4차 산업혁명 제조 기업 방문리뷰
- 뉴 메이커스 Lab. Remote Tour 전시회
- 뉴 메이커스 튜토리얼

발표 부문

- 첨단공작기계
- IT/RT 융합시스템
- 초정밀나노가공
- 진동 및 제어
- 핀소울팅
- 실제 및 CAE
- 프린터용일렉트로닉스
- 그린에너지응용
- 통합생산시스템
- 플라즈마칭형가공
- 로봇 및 자동화
- 광에너지응용
- 공형 및 공구
- 공작기계시험평가
- 나노-마이크로시스템
- 하중분류트
- 에디깅
- 스마트공작기계
- 무접 NDE 모니터링
- 기타

www.ksmte.kr

KSMT E
한국생산제조학회

한국생산제조학회 2018년도 춘계학술대회

펌프일체형 수문의 수압에 따른 구조적 안전성 평가를 위한 해석적 연구

이보람*, 박민호, 오원빈, 윤대중, 김임수

An analytical study on safety evaluation according to the hydraulic pressure for pump integrated gate

B. R. Lee*, M. H. Park, W. B. Oh, T. J. Yoo, I. S. Kim

*국립과천대학교 기계공학부

Key Words : Pump integrated gate, Structure analysis, Hydraulic pressure, FEM(Finite Element Method)

1. 서론

국내 하천은 길이와 넓고 유역에 산지가 많아 하천경사가 급해 홍수 시 물이 일시에 유출되어 심각한 지반침하, 인도변, 제방붕괴 등 수몰의 편지와 지형적인 특성 때문에 홍수관리에 일이 많은 어려움이 존재한다. 물고갈 정지에 앞서 홍수 및 수몰에 대한 효과적인 대책을 통하여 강 제비수몰의 위험으로 침수를 예방하는 것이 시급한 실정이다. 하지만, 농어촌 지역에서는 배수설비의 노후화 및 배수설비 관리 인력의 부족 문제를 해결하기 위한 방안이 수립되지 않아 배수설비의 운영 및 유지관리에 대한 체계적인 시스템 도입이 필요하다. 본 연구에서는 농 지 침수해탈 예방하고 안정적 농어촌수 확보를 위한 펌프일체형 수 문에 대한 구조해석을 수행하여 제안된 시스템의 안전성을 검증하고 지 의했다.

2. 유한요소모델 개발

본 연구에 사용된 펌프일체형 수문은 하천상설(주)에서 제공된 3D 모델 이며, 최고 유속에 따라 Spindle bracket의 구조적 안전성을 검증하 고자 하였다. 구조해석에 사용된 분리의 체결은 열안구공용 강재인 SS400으로 선정하였으며, 3D 모델 설계프로그램인 Inventor를 사용 하여 모델링을 완료하였다. 펌프일체형 수문의 구조해석을 위하여 모 델에 Tetrahedron으로 격자를 생성하였으며, 모델링에 사용된 총 정 격자의 개수는 1,432,794개이고 요소의 수는 951,639개로 구성되었다. Fig. 1은 펌프일체형 수문에 대한 FEM을 나타낸다.

3. 경계조건 및 구조해석

구조해석에 대한 경계조건은 펌프일체형 수문에 인가되는 최고 유 속의 수압으로 선정하였으며, Spindle bracket에 구성된 후개의 체결부에 대한 안전성을 확인하고자 Bracket의 뒷면에 Fixed support 를 분리의 밑면에 Frictionless support를 적용하였다. 구조해석을 위 한 경계조건은 Fig. 2에 나타내었고, Table 1과 Fig. 3은 Hole 직경에 따른 구조해석 결과를 나타내고 있으며, Case 4의 Hole 직경(36mm) 이 5.9477의 안전율을 나타내며 수평되지 않은 좌측의 형상적인 결 결을 확인하였다. 하지만 직경이 감소하여 따라 나사산에 의한 분리가 동 이 안정하지 못하는 문제점이 발생되기 때문에 후속 분리가후에 따른 체결부 상하운동 안전성 검토가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

펌프일체형수문의 구조해석 결과, 분리의 Spindle bracket이 체결된 부분의 유효응력 최대응력이 발생되었으며, 다양한 체결부 Hole 직경 을 적용하여 전체 시스템의 구조적 신뢰성을 검증하고자 하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 안전성을 평가하고, 펌프일체형 수문의 제 결부의 안전성을 확보하였다.

후기

본 결과를 농림축산식품부의 재원으로 농수산식품기술개발사업의 농림중단연구개발사업의 지원을 받아 연구하였다(31700803110030)

참고 문헌

(1) Lee, X., Zhang, Y., Peng, J., Xu, H. and Yu, W., 2008, Impeller Inlet Geometry Effect on Performance Improvement for Centrifugal Pump, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 22

Fig. 271 한국생산제조학회에 투고한 논문초록

2018년 12월 12일 강원랜드 컨벤션센터에서 개최되는 2018 대한기계학회 추계학술대회에 참가하여 “펌프일체형 수문 임펠러 및 샤프트 진동해석에 관한 연구”에 대한 내용으로 논문을 발표하였고 Fig. 272는 대한기계학회에 투고한 논문초록을 나타낸다.

대한기계학회 2018년도 학술대회 KSME18-F18C043

펌프일체형수문 임펠러 및 샤프트 진동해석에 관한 연구

이보람¹·윤태중¹·오원빈¹·김일수^{*}

A Study on the Vibration Analysis of Pump Integrated Impeller and Shaft

Bo-Ram Lee¹, Tae-Jong Yoo¹, Won-Bin Oh¹, Il-Soo Kim^{*}

Key Words: Pump Integrated Gate(펌프일체형 수문), Modal Analysis(진동해석), Harmonic Analysis(하모닉 해석), FEM(유한 요소 해석)

Abstract

Among the flood-related disasters caused by global warming, particularly in Southeast Asia, the annual increase in rainfall intensity, rainfall intensity, rainfall duration and urbanization, and increased design standards to reduce economic and casualty damage caused by industrialization Development of a suitable new concept drainage system is required. Prior to the installation of the pumping station, it is urgent to prevent inundation by introducing efficient and effective natural and forced drainage facilities through innovative plans for watersheds and waterways. Among the flood-related disasters caused by global warming, particularly in Southeast Asia, the annual increase in rainfall intensity, rainfall intensity, rainfall duration and urbanization, and increased design standards to reduce economic and casualty damage caused by industrialization Development of a suitable new concept drainage system is required. Prior to the installation of the pumping station, it is urgent to prevent inundation by introducing efficient and effective natural and forced drainage facilities through innovative plans for watersheds and waterways.

1. 서론

내수위의 급상승에 사전 대응하는 제어 문제와 부기 제약으로 적은 유수지에서 펌프의 구동으로 유수지의 급격한 수위 변동으로 발생하는 인형 문제와 유수지의 저수위 상태에서 펌프구동으로 인한 캐비테이션 문제 및 유입량 파다로 인한 쇄고수위에 도달 시 과부하 문제를 해결 가능한 펌프일체형수문을 개발하고자 한다.

펌프는 회전운동을 하는 모토로부터 동력을 공급받아 작동하기 때문에 구동축 동력과 외부 환경에 따른 진동을 받고 있다.

모터에서 발생하는 진동은 기계요소에 반복적

인 하중으로 작용하여 기계부품의 마모 및 소음 발생의 주요 원인으로 작용하며, 구조물과 구성품의 수명에 영향을 줄 수 있다. 또한 공진과 같이 구조물의 고유진동수와 외부의 가진 진동수가 일치하는 동적 불안정성 현상이 발생하는 경우 전체 기계요소에 치명적인 손상을 줄 수 있다.

본 연구 대상인 캐비테이션 문제를 해결하기 위한 공진을 분석하기 위해 상용소프트웨어인 ANSYS를 이용하여 진동해석을 수행하였다. 진동 해석 시 구조물의 결점을 이용한 단순화된 발생한 공진을 회피하기 위하여 설계에 따른 영향을 분석하며 펌프일체형수문의 펌프의 동적특성으로 한 진동문제를 확인하기 위해 펌프 내부의 임펠러 및 샤프트의 자유진동해석(Modal analysis)을 통해 가진 주파수를 파악하고 펌프의 공진현상을 미연에 방지하고자 한다.

2. 진동해석

21 점프일체형수문 시스템 해석 모델 및 동성체

펌프일체형수문시스템의 진동해석을 수행하기 위한 모델은 Impeller, Shaft, Casing 등으로 이루어져 있다. 펌프 구조물의 자질은 SUS304이며 Table 1은 해석에 사용된 소자의 물성치를 나타내고 있다.

Item list	SUS304
Density(kg/m ³)	7,750
Young's Modulus(MPa)	193,000
Poisson's Ratio	0.31
Yield Strength(MPa)	207
Tensile Strength(MPa)	586

Table 2 The Input value of Vibration Analysis

Parameter	Value
Solver Type	Modal, Harmonic
Boundary	Fixed Support : Main Shaft
Condition	Force : 660 Mode : 6

Table 3 Frequency Result of Mode

Mode	Frequency[Hz]
1st	5.1478
2nd	5.1308
3rd	5.6513
4th	12.702
5th	13.586
6th	39.17

4. 결론

Harmonic Analysis의 분석 결과로 Frequency Response를 확인하면 Frequency가 39.9Hz일 때 최대이고, 12.7Hz에서 두 번째 피크값이 나온다. 앞의 Modal해석에서 1차 모드와 6차모드에서 공진이 발생했다. 앞의 결과에서 최대 응답 주파수 39.17Hz에서 실제 변위와 응력을 확인하고자 했다.

후기

본 결과물은 농림축산식품부의 지원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명안전기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(317068031HD030)

참고문헌

(1) Kweon, B. S., Lee, C. W., Shim, Y. I. and Yi, C. S., 2017, "A Study on the Vibration Analysis of Impeller and Shaft in Cogenetic Submerged Pump," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 16, No. 2, pp. 56-62.

3122

2. 진동해석

22 해석결과

임펠러 및 샤프트의 모드별 형상 특성을 살펴보면 1차 편향모드(Bending Mode), 2차 토션모드(Torsion Mode), 3차 토션모드(Torsion Mode), 4차 토션모드(Torsion Mode), 5차 토션모드(Torsion Mode), 6차 편향모드(Bending Mode)가 발생함을 확인할 수 있다.

Table 1 Properties of Material

Item list	SUS304
Density(kg/m ³)	7,750
Young's Modulus(MPa)	193,000
Poisson's Ratio	0.31
Yield Strength(MPa)	207
Tensile Strength(MPa)	586

Table 2 The Input value of Vibration Analysis

Parameter	Value
Solver Type	Modal, Harmonic
Boundary	Fixed Support : Main Shaft
Condition	Force : 660 Mode : 6

Table 3 Frequency Result of Mode

Mode	Frequency[Hz]
1st	5.1478
2nd	5.1308
3rd	5.6513
4th	12.702
5th	13.586
6th	39.17

4. 결론

Harmonic Analysis의 분석 결과로 Frequency Response를 확인하면 Frequency가 39.9Hz일 때 최대이고, 12.7Hz에서 두 번째 피크값이 나온다. 앞의 Modal해석에서 1차 모드와 6차모드에서 공진이 발생했다. 앞의 결과에서 최대 응답 주파수 39.17Hz에서 실제 변위와 응력을 확인하고자 했다.

후기

본 결과물은 농림축산식품부의 지원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명안전기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(317068031HD030)

참고문헌

(1) Kweon, B. S., Lee, C. W., Shim, Y. I. and Yi, C. S., 2017, "A Study on the Vibration Analysis of Impeller and Shaft in Cogenetic Submerged Pump," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 16, No. 2, pp. 56-62.

3123

Fig. 272 대한기계학회에 투고한 논문초록

2019년 5월 17일 제주 라마다 호텔에서 개최되는 2019 한국정밀공학회 춘계학술대회에 참가하여 “프로펠러의 RPM 변화에 따른 유동특성에 관한 연구”에 대한 내용으로 논문을 발표하였고 Fig. 273은 한국정밀공학회에 투고한 논문초록을 나타낸다.

<p style="font-size: small;">한국정밀공학회 2019년도 춘계학술대회논문집</p> <p style="text-align: center;">프로펠러의 RPM 변화에 따른 유동특성에 관한 연구 A study on the fluid characteristics the propeller with the variation of RPM</p> <p style="font-size: x-small;">*이보림(목포대학교), 유태준(목포대학교), 오성민(목포대학교), 임철(목포대학교), *김희수(목포대학교) *B. R. Lee, T. J. Yoo, W. B. Oh, B. Im, H. S. Kim</p> <p style="font-size: x-small;">Key words: Impeller, CFD Analysis, Quick turn/Starting</p> <p>뿔모양계량수문(뿔모양개이트)은 수문형태를 수문에 일체화시켜 설계된 배수설비로서, 기존 수로의 수문에 뿔모양 설치해 수문과 뿔모양기능을 동시에 수행하는 신개념 배수설비이다. 기존의 배수뿔모양과 비교해 유수위와 배수장 시설 토지 구입비, 토목, 건축공사비, 전기설비비, 유지비 절감 효과를 제공한다. 또한 수문과 뿔모양의 일체화로 공사기간이 단축되며, 기존 수로의 수문에 뿔모양 설치해 수문과 뿔모양 기능을 동시에 수행한다. 뿔모양의 출상 양상이 높거나 유속의 급격한 변화 또는 외부의 발생 및 뿔모양의 길수정의 수위가 어느 기준의 이하로 낮아질 때 나타나는 불택스의 발생과 외수위의 변화로 인한 실양정의 변화가 대부분 감소하여 토출유량 감지기 증가하는 경우가 있다. 뿔모양의 내부는 국부적으로 압력이 포화증기압 이하로 내려가면 기포가 발생한다. 뿔모양 고속으로 구동시 뿔모양의 임펠러에는 캐비테이션이 발생한다. 유체가계에서 가장 문제가 되는 임펠러 입구 부근, 내부유로의 유로벽면에 의한 성능의 저하 및 임펠러 벽면에 손상을 주어 운전이 불가능하다. 본 연구에서는 캐비테이션의 억제 및 뿔모양 성능의 향상을 위하여 연속인 RPM 변화에 따른 유동 특성을 확인하고자 작동하는 배수뿔모양 임펠러를 대상으로 유동해석을 수행하였다.</p> <p>1. 서론</p> <p>최근 전 세계적으로 탄소 배출량의 규제강화로 환경에 관심이 높아지는 추세로 효율이 낮은 뿔모양은 탄소 배출량 감소에 한계는 있을 수 있다. 이로 인해 인간 생활을 영위하기 위한 필수요소인 물을 다루는 뿔모양은 많은 역할을 하고 있다. 뿔모양은 낮은 유량과 이속도, 높은 압력에 사용하며 축류형은 이속도가 크고 낮은 압력, 높은 유량이 쓰인다. 수중 축류형은 주로 상하수 처리장, 배수용, 빗물정화장, 주사용으로 사용되는 뿔모양이다. 축류 뿔모양은 높은 유량으로 전방적인 상성에 걸쳐 에너지 효율을 증진시키도록 설계된 출구 유체가 에너지는 최가한 성능에 밀접한 영향을 미침으로 효율이 낮은 뿔모양의 효율 향상을 전력비용 및 탄소 배출량 저감의 문제를 해결할 수 있다. 축류형은 이속도(specific speed)가 크며 저압, 대유량에 쓰이는 축류형 터보기계에서 입구 안내기(inlet guide vane, IGV), 임펠러(impeller), 출구 안내기(outlet guide vane, OGV)으로 구성되어 있다. 뿔모양 내부에서 각류유체의 방향은 입구로부터 출구까지 축 방향으로 진행된다. 임펠러, 케이싱 형상은 유동조건에 작용에 영향을 미치므로 수력특성과 성능 관계에 대한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 물리 수치해석에 적합하고 안정적 농밀유속 확보를 위한 수중축류형의 유동특성을 전산유체역학(CFD)을 이용하여 분석하고 효율 개선을 위한 방법을 찾고자 한다.</p> <p>2. 유동해석 모델</p> <p>†발표처: *교신저자 †bmkpoc@kr</p>	<p>뿔모양의 격자는 Tetrahedrons의 격자를 적용하였으며, 회전체 영역의 총 격자수는 1,880,517 개, 요소수는 345,991 개로 구성되며, 유체 영역의 격정의 개수는 1,434,633 개, 요소의 수는 1,984,627 개로 이루어져있다. 유동해석을 위한 격자 생성은 본 논문의 Fig. 1-2 큰 뿔모양체형 수문의 유체영역의 3D-Modeling을 나타낸다. 격자생성 완료 후 유동해석 상용 툴인 CFX를 이용하여 해석을 진행하였으며, 설계 환경과 유사한 경계조건을 선정하여 입력하였다. 해석은 CFX로 진행하였으며 난류모델은 Shear Stress Transport 이고 해석 모드는 정상해석(Steady-state Analysis), 경계조건으로는 각종 유체는 등온 설정하였고 회전속도는 200-4663RPM으로 case 들 4 가지로 분류하였다. 또한, 뿔모양 입구에는 질량유량조건, 출구에는 전압차를 설정하였다.</p> <p style="text-align: center;">Table 2 Boundary conditions for CFX analysis</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Analysis setting</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Solver Type</td> <td>CFX Analysis</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Analysis Case</td> <td>Diameter</td> <td>130mm</td> </tr> <tr> <td>Inlet</td> <td>40m/s</td> </tr> <tr> <td>Outlet</td> <td>17m/s</td> </tr> <tr> <td>RPM</td> <td>200 223.8 384 466.3</td> </tr> <tr> <td>Turbulence Model</td> <td>Shear Stress Transport(SST) Model</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Table 3 Comparison of Pressure and Streamline of Cases</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Case No.</th> <th>Inlet Avg. Pressure[Pa]</th> <th>Outlet Avg. Pressure[Pa]</th> <th>Max. Streamline[m/s]</th> <th>Injetant force[N]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1326.43</td> <td>34437.6</td> <td>9.721</td> <td>0.0206628</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1322.82</td> <td>34466.6</td> <td>9.723</td> <td>0.0206667</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1318.28</td> <td>34515.7</td> <td>9.278</td> <td>0.02068923</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>1319.44</td> <td>34541.4</td> <td>9.730</td> <td>0.0207051</td> </tr> </tbody> </table> <p>4. 결론</p> <p>본 연구에서는 뿔모양의 내부의 나타나는 불택스의 발생과 외수위의 변화로 인한 실양정의 변화는 확인하고자 하였으며 캐비테이션의 억제 및 뿔모양의 향상을 위하여 연속인 RPM 변화에 따른 유동 특성을 유동특성을 확인하고자 작동하는 배수뿔모양 임펠러를 대상으로 유동해석을 수행하였다. 수치해석을 통해 다양한 유량에서 130MM급 축류형 임펠러의 입력과 케이싱의 형상으로 압력 및 속도분포도를 통해 뿔모양에 미치는 영향을 확인하였다. RPM의 변화로 뿔모양 회전수는 400RPM일 때 높은 수력특성을 가지는 것을 확인하였다.</p> <p style="text-align: center;">후기</p> <p>본 결과물은 농밀유속상승률의 기여로 농밀유속상승률기공률가변의 선행선형기공률가변의 지원금 받아 연구되었음 (S17068031HD030)</p> <p style="text-align: center;">참고문헌</p> <ol style="list-style-type: none"> Kim, J.M., Hong, M. S. and Lee, C. S., "Performance Characteristics of 1,200 mm Axial-Flow Pump for Various Impeller Angles", <i>K.S.M.E.</i>, 617-622, 2016. 	Parameter	Analysis setting	Solver Type	CFX Analysis	Analysis Case	Diameter	130mm	Inlet	40m/s	Outlet	17m/s	RPM	200 223.8 384 466.3	Turbulence Model	Shear Stress Transport(SST) Model	Case No.	Inlet Avg. Pressure[Pa]	Outlet Avg. Pressure[Pa]	Max. Streamline[m/s]	Injetant force[N]	1	1326.43	34437.6	9.721	0.0206628	2	1322.82	34466.6	9.723	0.0206667	3	1318.28	34515.7	9.278	0.02068923	4	1319.44	34541.4	9.730	0.0207051
Parameter	Analysis setting																																								
Solver Type	CFX Analysis																																								
Analysis Case	Diameter	130mm																																							
	Inlet	40m/s																																							
Outlet	17m/s																																								
RPM	200 223.8 384 466.3																																								
Turbulence Model	Shear Stress Transport(SST) Model																																								
Case No.	Inlet Avg. Pressure[Pa]	Outlet Avg. Pressure[Pa]	Max. Streamline[m/s]	Injetant force[N]																																					
1	1326.43	34437.6	9.721	0.0206628																																					
2	1322.82	34466.6	9.723	0.0206667																																					
3	1318.28	34515.7	9.278	0.02068923																																					
4	1319.44	34541.4	9.730	0.0207051																																					

Fig. 273 한국정밀공학회에 투고한 논문초록

2019년 3월 29일 인도(India) Vellore, VIT University에서 개최되는 2th International Conference on Materials, Manufacturing and Modelling(ICMMM 2019)에 참가하여 “An analytic study on evaluation for the structured safety according to the hydraulic pressures in the hybrid system”에 대한 내용으로 논문을 발표하였고 Fig. 274는 ICMMM 2019에 투고한 논문초록 및 발표사진을 나타낸다.



<p>Available online at ScienceDirect ScienceDirect Materials Today: Proceedings 00 (2019) 0000-0000</p> <p style="text-align: right;">materialstoday PROCEEDINGS</p> <p style="text-align: right;">www.materialstoday.com/proceedings</p> <p style="text-align: center;">ICMMM 2019</p> <p style="text-align: center;">An analytic study on evaluation for the structured safety according to the hydraulic pressures in the hybrid system</p> <p style="text-align: center;">Bo-Ram Lee^a, Tae-Jong Yun^a, Won-Bin Oh^a, Jong-Liang Liang^a, Il-Soo Kim^{a,*}</p> <p style="text-align: center;">^aDepartment of Mechanical Engineering, Mokpo National University, 1000 Jeongsan-ro, Chungjeong-gu, Mokpo, Jeollanam-do, 58534, South Korea</p> <p>Abstract:</p> <p>Currently, many advanced countries are required to develop a new concept drainage system that meets the increased design standards in order to reduce the economic and casualties caused by deluge floods due to the grown understanding of abrupt climate changes. For example, the existing water drain pump station installed in Korea needs a large amount of land as well as there are many restrictions on the installation. In the case of hybrid system that can be integrated both gate and pump, a new and simplified drainage installations can be provided by integrating pumps, floodgates, and siltcatcher. Finite Element Analysis (FEA) is a numerical technique method which commonly employed for solving complex problems. It is mainly preferred during development which involves complicated geometry, the corresponding material property changes that cannot be obtained analytically. Until now, the FEA model has mainly been employed using both linear and nonlinear analyses of the structural response due to external loads giving the resulting stresses and deflections. Structural analysis has been made of a hybrid system. The main objective of this paper is to develop a FEA model to apply for the application of the actual situation in the hybrid system which integrated both gate and pump. The software used for the FEA is the general-purpose commercial program, ANSYS. The four cases to study the stresses and deflections in a hybrid system according to both diameter with a relatively simple model were selected. The calculated results can be reduced the short engineering time, workforce and cost, and ensured that the same quality is obtained as compared with the accurate model.</p> <p>© 2019 Elsevier Ltd. All rights reserved.</p> <p>Peer-review under responsibility of the scientific committee of the 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Modelling, ICMMM - 2019.</p> <p>Keywords: Hybrid System; Structure Analysis; Hydraulic Pressure; FEM; Stress; Deformation.</p>	<p style="text-align: right;">3 Author name / Materials Today: Proceedings 00 (2019) 0000-0000</p> <p>1. Introduction</p> <p>Water has become a more important resource with the development of industries today, and many countries study for the development and conservation of water resources. In order to reduce the damage caused by flood and flooding due to global warming, it is required to develop a new concept drainage system that meets the increased design standards. When installing a new drainage pumping station installed in Korea, a large site is required and there are many installation restrictions. Since the construction of complex facilities is expected to be carried out for a long period of time, maintenance can be avoided quickly because no separate site is required. In a drainage system that does not require a separate budget and space. In past few decades, many technologies have driven these structure to be more competitive to meet the current world requirements such as lightweight materials, at the same time to reduce the cost of the structure [1]. FEA is found to be the most powerful numerical method for solving the problems of bolted joints. The development of FEA has made it possible to evaluate joint stresses, contact pressure distribution, bolt forces and the stress concentration at the thread root with high accuracy in bolted joints under external loads [2]. Bolted joints are widely used in mechanical structures due to the joints' ease of disassembly for maintenance and their relatively low cost. In the case of the integrated pumped hydrologic system, it is possible to provide a new concept of drainage by simplifying the structure of the system by integrating the pump, gate and siltcatcher. Considering the mechanical joining method in general structures, the most important joint is one of the most important factors [3]. Choudhary [4] investigated the loosening mechanism of bolted joints acted by axial load, and suggested that a micro slippage occurred initially between the contact threads because of the change of axial load. Jiang et al. [5] described a loosening process of bolted joints: preload reduced first slowly due to some of the relaxation mechanism, and then quickly and insisted that the nut seat bent back because the preload loss and frictional force dropped below the critical level. Fukuhara et al. [6] have carried out the performance of the mechanical equations of thread cross section profile, and considered effective model to study the load distribution along the thread and the stress distribution at the thread roots. Yang et al. [7] performed analytical and numerical analysis of the self-loosening behaviours of bolted joints acted by the external axial load. The results showed that the distance between the contact surfaces was a major cause of self-loosening in bolted joints. Deane et al. [8] investigated the tightening and loosening mechanisms of threaded fasteners using a 3D (three-dimensional) FEA model with threaded elements, but their model is too simple to accurately obtain the load distribution in threads. In previous works [9-10], the authors performed FEA analysis of bolt loosening due to external loading perpendicular to the bolt axis (transverse loading) and obtained close qualitative agreement with the experimental results reported by Venkatesh and Kasi [10]. The self-loosening mechanisms of a bolted joint subjected to a rotational load were studied by Velupillai et al. [11] using 3D FEM in relation to the contact state on the thread and the bearing surfaces. They verified the previous theory regarding the conditions of initiation and progress of loosening and showed that the loosening occurs if the relative rotation angle applied to the bolt reaches a critical value and the thread surface undergoes a complete slip. In the design of bolted joints, contact stress acting on the cross-section of fastener is not generally permitted to be beyond its yield strength. Consequently, the anti-loosening method is focused on preventing slippage between contact surfaces. In study, spring washers are used to prevent loosening.</p> <p>This paper presents a numerical analysis of the structural stability of a bolt with a lifting device installed up and down. A validated FEM has been used to perform a comprehensive set of parametric studies to investigate the effects of different design parameters on the connected plate behavior. To investigate the stresses and deflections in a hybrid system according to both diameter, four different cases have been employed to calculate the maximum plate deformation at the ultimate plate stresses, and the chosen the best case which based on the safety factor.</p> <p>2. A FEA model for a bolted joint</p> <p>The unloading of the bolted joint is initiated by an axial force. The rough surfaces become flat and the contact surface voids. Preload loss is the results of settling (relaxation) of the joint members. Fig. 1 indicated a schematic diagram for fastening line of bolt and nut member. When the axial external force F_e is applied, the magnitude of the additional force actually applied is F_a. As the magnitude of the axial external force F_e is smaller than the waste force</p>
---	--

Fig. 274 ICMMM 2019에 투고한 논문초록 및 발표사진

2020년 07월 13일 휘닉스 평창에서 개최되는 한국생산제조학회 2020년도 춘계학술대회에 참가하여 “임펠러를 적용한 축류 펌프의 구조적 안전성에 관한 연구”에 대한 내용으로 논문을 발표하였고 Fig. 275는 한국생산제조학회에 투고한 논문초록을 나타낸다.

한국생산제조학회 2020년도 춘계학술대회

임펠러를 적용한 축류펌프의 구조적 안전성에 관한 연구

이보람^{1*}, 윤태종¹, 오원빈¹, 이충우², 박민호², 심지연³, 김일수³

A Study on the Structural Safety of Axial Flow Pump with Impeller

B. R. Lee¹, T. J. Yun, W. B. Oh, C. W. Lee, M. H. Park, J. Y. Shim, I. S. Kim

¹목포대학교 기계공학과¹
²중소조선연구원²
³한국생산기술연구원³

Key Words : Pump Integrated Gate(펌프일체형 수문), Structural Analysis(구조해석), Axial Pump(축류펌프)

1. 서론

기존의 홍수피해의 직접적인 원인은 외수에 의한 것과 내수에 의한 것으로 구분할 수 있는데 외수범람 피해는 주로 하천 및 지천의 범람, 제방의 붕괴, 해수의 역류 등으로 발생한 것이며, 내수침수 피해는 배수로, 하수도 및 펌프장의 내수배제 능력 부족이 주된 원인으로 지적되고 있다. 내수침수 피해를 방지하기 위해서는 적절한 배수펌프장을 설치하는 것이 가장 빠른 대응책이지만 기존의 하천정비로 내수 침수피해를 효과적으로 방지하는데 한계가 있어, 하천변 저지대를 활용하는 우수유출 저감시설 및 침수에 관계없이 배수기능을 유지할 수 있도록 배수장의 펌프와 전기시설 등의 효율적인 설치와 운영이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 펌프를 작동시킬 때 유입물로 인한 발생하는 파손 및 변형을 검토하여 펌프일체형수문의 수명을 연장하고, 안전성을 검증하고자 하였다.

2. 유한요소모델 개발

본 연구에 사용된 펌프일체형 수문은 하서산업(주)에서 제공한 임펠러이며 강재인 SSC13로 선정하였으며, 플러 및 플럼벨브의 핀은 SUS304을 선정하였다. 3D 모델 설계프로그램인 Inventor를 사용하여 모델링을 완료하였다. 축류펌프의 임펠러 구조해석을 위하여 모델에 Tetrahedron으로 격자를 생성하였으며, 모델링에 사용된 총 절감의 수는 132,611개이고 요소의 수는 76,461개로 구성되었다. Fig. 1은 임펠러의 3D 모델링을 나타낸다.




Fig. 1 3D-modeling of Impeller

3. 경계조건 및 진동해석

고정조건은 유입물인 강재가 인입되어 임펠러에 충돌되는 상황을 고려하여 아래의 그림과 같이 임펠러 하부 축계 원동면에 인가하는 환경에 입각하여 임펠러 부분의 보스의 하부에 해당하는 면에 고정조건을 경계조건으로 선정하였다. 또한, 축류펌프의 모터 구동 토크는 5.47kg·m로 프

펠러에 인가되는 회전력을 인가하였다. 임펠러의 구조적 안정성을 검토하기 위해 임펠러 가장자리 부분의 최대응력 발생부분을 찾기 위해 구조해석(Structural analysis)을 수행하였다. 일반적으로 확인하는 최대 응력 위치, 최대 변형량 위치, 안전율을 확인하여 실제 배수펌프장에서의 구동은 강체보다 나뭇가지 등 이물질이 걸리는 사례가 높고 본 연구는 역조건의 고려한 상황인 강체를 고려한 상황으로 각 프로펠러의 변형은 미미한 변형이거나 거의 없으므로 판단된다. 유입물의 영향에 대해서 안정하다고 제시함에 있어 해석 값의 물리적 차이가 있을 수 있으므로 유입물로 인한 변형을 검토하여 구조적으로 안정적이라 판단할 수 있다.

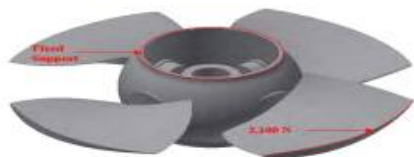


Fig. 2 Boundary condition of Impeller

4. 결론

프로펠러에서 발생하는 진동 하중은 재질 대비 안전율 3이상의 안전성을 확인하였으며, 이물질에 의해 펌프 구동이 정지될 때에도 제품의 작동 정상 및 내구성이 확보된 것으로 판단되어 향후 설치되어도 유입물에 안정된 구동을 할 것으로 예상된다.

후 기

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(317068031HD030)

참 고 문 헌

(1) Seon, S.W, Yi, W, Horg, S.B, 2020, A Study on the Optimization of Anti-Jamming Trash Screen with Rake using by Response Surface Method, Journal of the Kocca Academia-Industrial, 21(3), pp. 230-236.

70

Fig. 275 한국생산제조학회에 투고한 논문초록

2020년 9월 14일부터 9월 16일에 온라인(비대면)으로 개최되는 한국정밀공학회 2020년도 통합학술대회에 참가하여 “축류 펌프 구동계의 공진회피 설계에 관한 연구”에 대한 내용으로 논문을 발표하였고 Fig. 276은 한국정밀공학회에 투고한 논문초록을 나타낸다.



Fig. 276 한국정밀공학회에 투고한 논문초록

2020년 11월 05일 여수 히든베이홀레에서 개최되는 2020 한국기계가공학회 추계학술대회에 참가하여 “펌프일체형수문의 상태 진단 알고리즘 적용에 관한 연구”에 대한 내용으로 논문을 발표하였고 Fig. 277은 한국기계가공학회에 투고한 논문초록을 나타낸다.

펌프일체형수문의 공진회피 설계에 관한 연구

A Study on the Resonance Avoidance Design of Pump Integrated Gate

***이보람¹, *윤태종¹, *오원빈¹, *이충우¹, *정우진¹, *김일수¹, 김용현², 김상국²**
 *B. R. Lee¹, *T. J. Yun¹, *W. B. Oh¹, *C. W. Lee¹, *W. J. Jeong¹, *I. S. Kim(¹@mokpo.ac.kr)¹, Y. H. Kim², S. K. Kim²
¹ 목포대학교 기계공학과, ² 하서산업(주)

Key words : Pump Integrated Gate(펌프일체형 수문), RPM Signal(RPM 신호), Resonance(공진)

1. 서론

기존의 배수 펌프상의 경우는 침중호우나 장마 또는 태풍 등으로 강우량이 증가하여 외수위가 일정이상으로 상승하면 일차적으로 수문을 하강하고 수로를 폐쇄 시켜서 외수가 내수측으로 유입되는 것을 차단한다. 이때 수문을 폐쇄하면 외수의 내수측 유입은 차단할 수 있지만 내수가 자연배수가 불가능하게 되며 강우가 지속되면 내수위가 상승하게 되고 댐도의 강제 배수시설이 없는 저지대의 주택이나 농경지는 침수하게 되어 커다란 수해를 입는 문제점이 있다. 펌프일체형수문은 위와 같은 문제점을 해결 가능하다. 하지만 수문에 내장되어 있는 펌프에서 발생하는 진동은 기계부품의 마모 및 소음발생의 주요 원인으로 작용하며, 구조물과 구성품의 수명에 영향을 줄 수 있다. 따라서 제품의 품질을 향상시키고 펌프시스템의 성능향상을 위해서는 펌프의 진동을 감소시키는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 본 논문에서는 산업현장에 설치되어 있는 모터와 펌프에서 발생하는 진동, 회전 수, 전류 데이터 취득하고 이 데이터로부터 k-nearest neighbors 펌프에서 발생하는 진동을 예측하여 알고리즘을 적용하여 이들 데이터를 학습하고, 학습한 데이터를 이용하여 펌프와 모터의 이상상태와 진전 상태를 판단하는 상태진단법을 제안한다. 펌프일체형수문의 수명을 연장하고, 안전성을 검증하고자 하였다.

2. 펌프에서의 데이터 취득

측류 펌프의 데이터 취득 시스템을 위해 사용한 펌프는 정격 회전속도 338 RPM, 인버터로부터 정격용량 220kW가 공급된다. 모터로부터 진동, 전류, 회전 수만을 취득하는데 사용하였다.

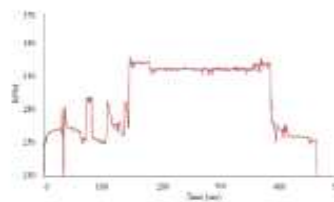


Fig. 2 RPM signal

3. 결론

본 연구에서는 펌프와 모터로 구성되어 있는 시스템에서 진동, 전류, 회전수의 데이터를 취득하고 데이터를 학습시켜 펌프와 모터의 정상상태와 이상상태를 판정하는 알고리즘으로 K-최근접 이웃을 적용하여 모터의 상태를 진단하였다. 향후 결과를 기반으로 학습데이터의 축적 및 모터 및 펌프에서 정확한 이상감지 부위가 예측하는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

후기

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음.(317068031HD030)

참고문헌

1. Hyun, J.J, Lee, K.S, Ku, M.C., 2014, Study on Computer based Vibration Analysis Method of Hydraulic Steel Gates, Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers Autumn Conference,

Fig. 277 한국기계가공학회에 투고한 논문초록

2-22. 국제 학술지 1건

2020년 5월 6일에 게재되었으며, 인도(India) Vellore, VIT University에서 개최된 2nd International Conference on Materials, Manufacturing and Modelling (ICMMM 2019)에 참가하여 “An analytic study on evaluation for the structured safety according to the hydraulic pressures in the hybrid system”에 관한 내용으로 논문 게재를 완료하였다. Figs. 278~286은 Materials Today에 투고한 논문을 나타내며, 심사위원회의 심사를 통하여 국제 학술지(Materials Today)에 논문게재로 관련연구의 성과가 우수함을 확인하였다.

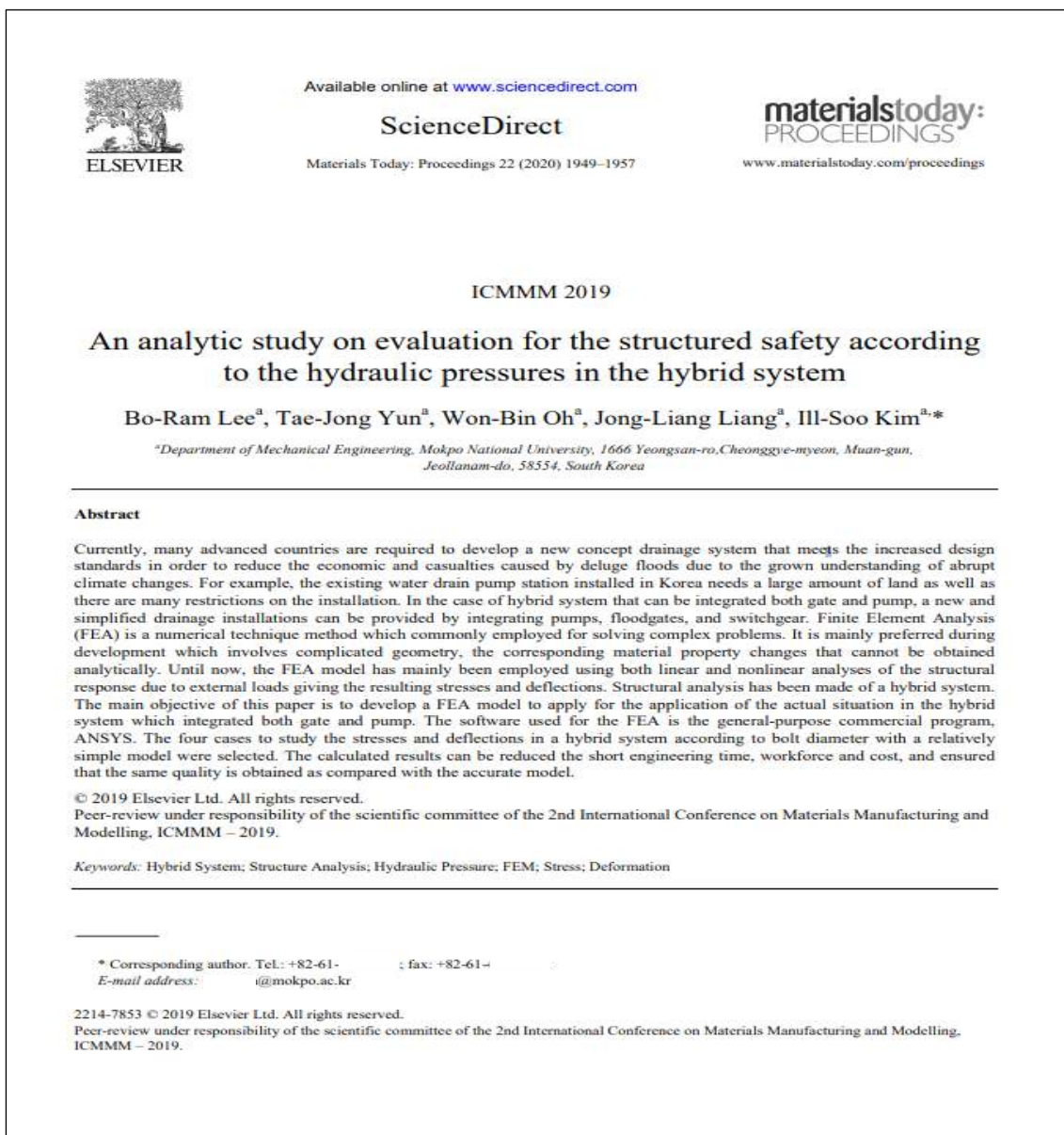


Fig. 278 Materials Today에 게재된 논문(1/9)

1. Introduction

Water has become a more important resource with the development of industries today, and many countries study for the development and conservation of water resources. In order to reduce the damage caused by flood and flooding due to global warming, it is required to develop a new concept drainage system that meets the increased design standards. When installing a new drainage pumping station installed in Korea, a large site is required and there are many installation restrictions. Since the construction of complex facilities is expected to be carried out for a long period of time, maintenance is very difficult due to excessive budget. By coupling the pump directly to the gate, disaster prevention can be avoided quickly because no separate site is required. It is a drainage system that does not require excessive budget and space. In past few decades, many technologies have driven frame structure to be more competitive to meet the current world requirement such as lightweight and economical, at the same time to maintain the stability of the structure [1]. FEA is found to be the most powerful numerical method for solving the problems of bolted joints. The development of FEA has made it possible to evaluate joint stiffness, contact pressure distribution, bolt force and the stress concentration at the thread root with high accuracy in bolted joints under external loads [2]. Bolted joints are widely used in mechanical structures due to the joints' ease of disassembly for maintenance and their relatively low cost. In the case of the integrated pumped hydrologic system, it is possible to provide a new concept of drainage by simplifying the structure of the system by integrating the pump, gate and switch. Considering the mechanical joining method in general structures, the moment resisting joint is one of the most important factors [3]. Goodier [4] investigated the loosening mechanism of bolted joints excited by axial load, and suggested that a micro slippage occurred radially between the contact threads because of the change of axial load. Jiang et al. [5] described a loosening process of bolted joints: preload reduced first slowly due to some of the relaxation mechanisms, and then quickly and insisted that the nut was bent back because the preload loss and frictional force dropped below the critical level. Fukuoka et al. [6] have carried out the performances of mathematical equations of thread cross section profile, and created an effective model to study the load distributions along the threads and the stress distributions at the thread roots. Yang et al. [7] experimentally and numerically investigated the self-loosening behaviours of bolted joints excited by dynamic axial load. The results showed that the plastic deformation of the fastener was a major cause of self-loosening in bolted joints. Izumi et al. [8] investigated the tightening and loosening mechanism of threaded fastener using a 3D (Three-dimensional) FEA model with tetrahedral elements, but their model is too rough to accurately obtain the load distribution in threads. In previous works [8-9], the authors performed FEA analysis on bolt loosening due to external loading perpendicular to the bolt axis (transverse loading) and obtained close qualitative agreement with the experimental results reported by Yamamoto and Kasei [10]. The self-loosening mechanisms of a bolted joint subjected to a rotational load were studied by Yokoyama et al. [11] using 3D FEM in relation to the contact state on the thread and the bearing surfaces. They verified the previous theory regarding the conditions of initiation and progress of loosening and showed that the loosening occurs if the relative rotation angle applied to the bolt reaches a critical value and the thread surface undergoes a complete slip. In the design of bolted joints, tensile stress acting on the cross section of fastener is not generally permitted to be beyond its yield strength. Consequently, the anti-loosening method is focused on preventing slippage between contact surfaces. In study, spring-washers are used to prevent loosening.

This paper presents a numerical study of the structural stability of a bolt with a lifting device installed up and down. A validated FEM has been used to perform a comprehensive set of parametric studies to investigate the effects of different design parameters on the connected plate behavior. To investigate the stresses and deflections in a hybrid system according to bolt diameter, four different cases have been employed to calculate the maximum plate deformation at the ultimate plate stresses, and the chosen the best case which based on the safety factor.

2. A FEA model for a bolted joint

The unwinding of the bolted joint is initiated by an axial force. The rough surface becomes flat, and the contact surface yields. Preload loss is the results of setting (relaxation) of the joint members. Figure 1 indicated a schematic diagram for fastening line of bolt and member. When the axial external force F_e is applied, the magnitude of the additional force actually applied is F_m . As the magnitude of the axial external force F_e is smaller than the tensile force F_m by the bolt fastening, it indicates that the external force due to the axial external force F_e does not affect the bolt. Therefore, F_m is expressed by the following equation;

Fig. 279 Materials Today에 게재된 논문(2/9)

$$F_m = \frac{T}{k \times d} \tag{1}$$

As mentioned above, fastening force on bolt F_m is composed of tightening torque T , torque coefficient k , and effective diameter of bolt d . F_{sm} is elongation of screw by F_o and F_{pm} deflection of clamped parts by F_o .

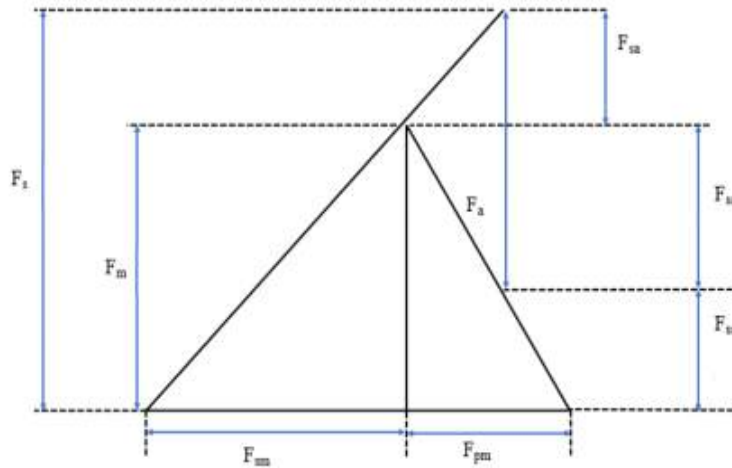


Fig. 1. A schematic diagram for fastening line of bolt and member

The rough surface becomes flat so that the contacted surface is yielded. Fig. 2 shows a schematic diagram for loosening of the bolted joints. Dynamic shear forces F_M acted upon the bolted joint, causing the joint members to slip back and forth. This will prompt screws and nuts to rotate, thus reducing the preload until it is zero. Under constant dynamic forces, the screws and nuts slack off until they come apart.

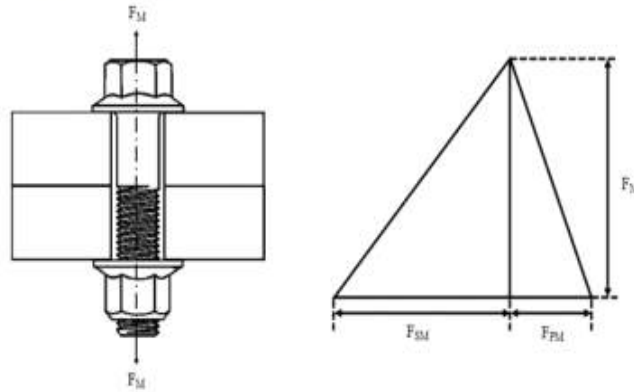


Fig. 2. A schematic diagrams for loosening of the bolted joints

Fig. 280 Materials Today에 게재된 논문(3/9)

The bolted joint process is a coupled thermo-mechanical phenomenon. Structural field are dependent on the thermal field, whereas structural fields have very weak influence on the thermal fields. Thus this coupled joining phenomenon can be split into thermal analysis followed by structural analysis.

Fig. 3 represented a schematic diagram of a hybrid system for a structural analysis. A lifting force of 6MPa was used at spindle bracket, while a non-slip condition was employed on the door surfaces, and the spindle bracket bottom face was set. Simple algorithm and tensile method were used to solve force and shear stress equation. The pump-integrated gate model was employed for calculating the force [12]. The wall was set according to the actual condition based on the standard wall function treatment. The material of the pump-integrated system for a structural analysis was chosen SS400. The material properties for structural analysis are shown in Table 1. To confirm the safety factor of the eight joints constructed on the spindle bracket, the boundary condition set up a fixed support on the axis to lift. The lifting load was applied with a self-weight of 63,480N. Since the gate was lifted, frictionless was set on the underside. When the gates are lifted, frictionless is set on the bottom and gravity is set. Boundary conditions were selected as the force applied to a bolted joint in the integrated pumping system. The size of the pitch was selected to fit the bolt. In this work, four kinds of FE models in order to generate a finite element model for the structure with a bolted joint are employed and indicated in Table 2.

Table 1 Property of material (SS400)

Property	Unit	Value
Density	kg m ⁻³	7,850
Young's Modulus	Pa	2E+11
Poisson's Ratio	-	0.3
Bulk Modulus	Pa	1.6667E+11
Shear Modulus	Pa	76.923E+10
Tensile Yield Strength	Pa	2.5E+08

Table 2 Cases of the bolted joint for structural analysis.

Case	D(mm)
1	42
2	39
3	33
4	27

The body and pump system were established using the Inventor software [13], and the joined bolt was established using the function through ANSYS Workbench software. The ANSYS static structural analysis software was employed to mesh the 3D model geometry, as illustrated in Fig. 4. As shown in Fig. 4, the mesh consisted of three regions in which water gate, spindle bracket and joined bolt were discretized using the structured grid. The mesh of the computational region was used and divided by three different grids from sparse to dense grids respectively. The hexahedral mesh to pursue better quality of the mesh precision has been employed. The total number of nodes is 9,225,985 and the number of elements is 4,189,157. The developed FE model can be chosen for the best case which based on the safety factor.

3. Results and discussion

To verify the utilization of the FE models of the bolted joint proposed in this study for the structural analysis, a series of model analyses using the developed FEM were performed. First, the static structure was executed by dividing the cases according to the diameter which shown in Table 2. Secondly, the 3D numerical model to effectively solve the problems of optimization design of the bolted joint has been proposed and the simulations were

carried out. Fig. 5 shows the variation of the total deformation of the end of the top fixture under the axial excitation at self-weight in the four analysis step. It was confirmed that plastic deformation continuously occurred beyond the elastic region in the joint of spindle bracket and door frame due to self-weight. In the connecting part of the water gate, the influence of the stress on the self-weight was insufficient, and thus the structural reliability of the system was secured. Fig. 6 shows the variation of the maximum stresses of the end of the top fixture under the axial excitation at self-weight in the four analysis step. Among the total 4 cases, it was concluded that the effect of the maximum stress of 1.1394 MPa was 42 mm in diameter. Therefore, it was concluded that the influence of the stress on the self-weight was insignificant in the connecting part of the water gate.

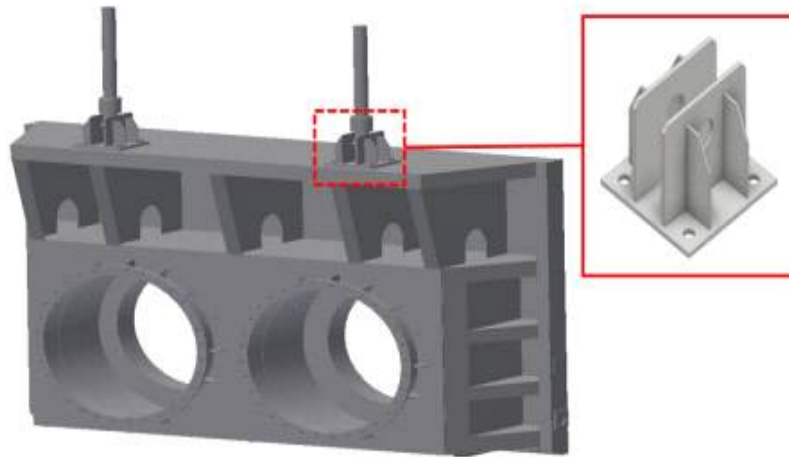


Fig. 3. A schematic diagram of a hybrid system for a structural analysis

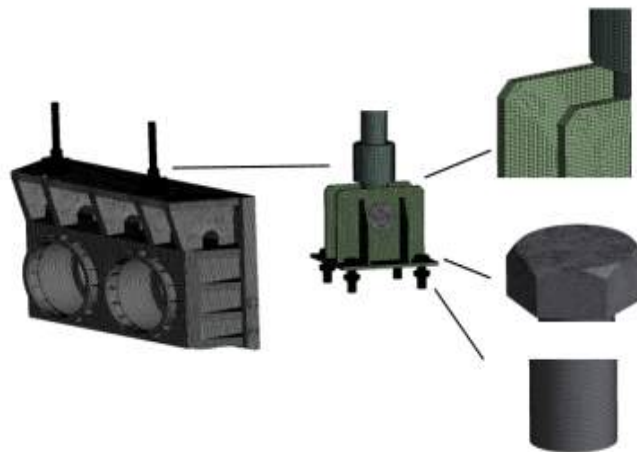


Fig. 4. Finite element model of a hybrid system

Fig. 282 Materials Today에 게재된 논문(5/9)

Fig. 7 shows comparison of maximum stresses obtained from FE simulation using different diameters in a hybrid system. From the results, it is found that the maximum stress occurs at the case 4 which indicated 27 mm diameter. Fig. 8 illustrates comparison of total deformation obtained from FE simulation for each FE model. As can be seen in the figure, there are no big difference between case 3 and case 4. Comparison of safety factor obtained from FE simulation using different diameters is represented in Fig. 9. As shown in figure 8, it is well shown that the numerical model for each case can be predicted the safety factor within the limit bounds. Case 4 showed lower safety than Case 1, Case 2, and Case 3 so that the optimum design for safety of the vertical movement of the fastening part is appropriate for the bolt diameter of 27mm. Consequently, the simulation technique using the bolted joint models proposed in this paper can give reasonable results to predict the structural behavior of a bolted joint in a hybrid system.

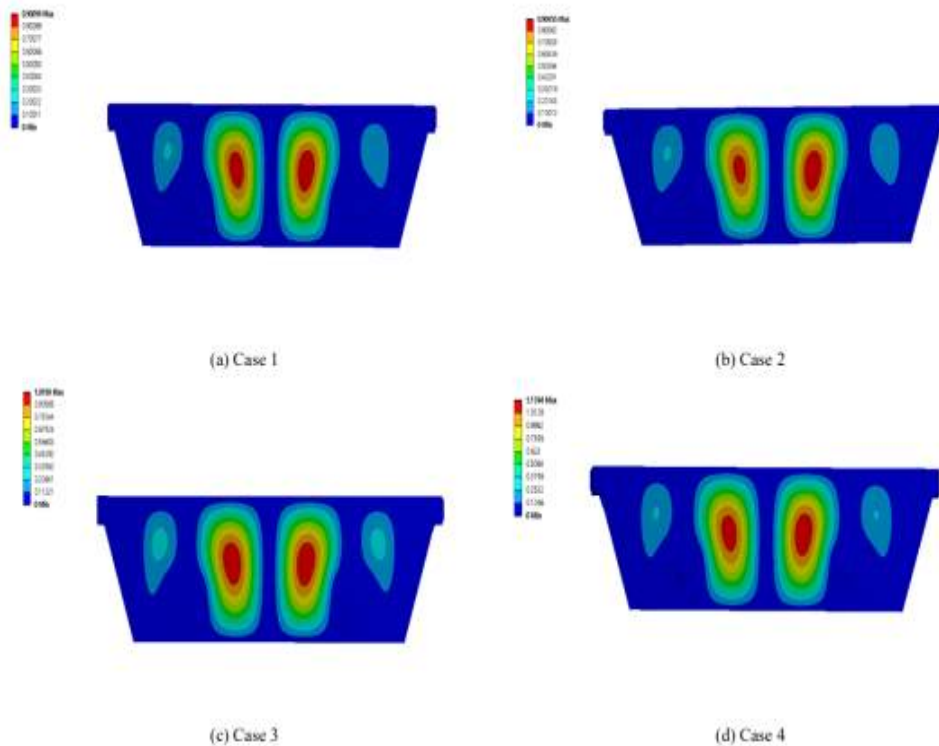


Fig. 5. Variation of total deformation on each case

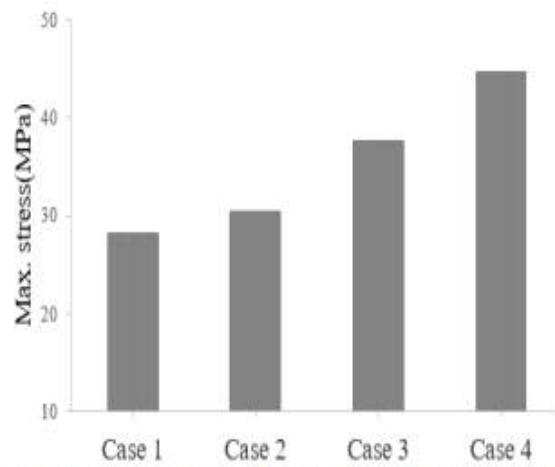


Fig. 7. Comparison of maximum stresses obtained from FE simulation using different diameters.

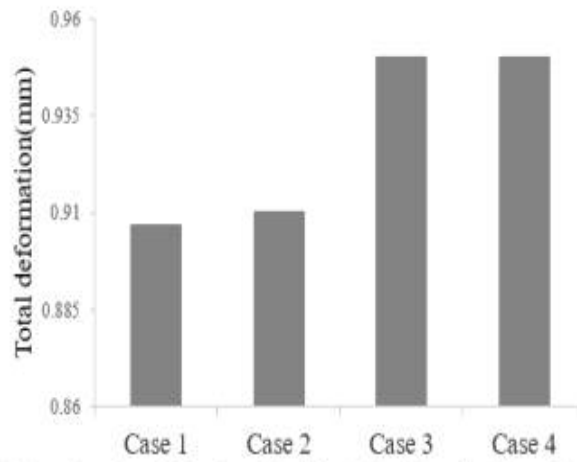


Fig. 8. Comparison of total deformation obtained from FE simulation using different diameters

Fig. 284 Materials Today에 게재된 논문(7/9)

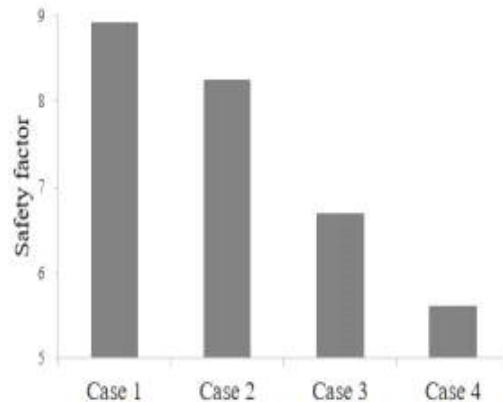


Fig. 9. Comparison of safety factor obtained from FE simulation using different diameters

4. Conclusions

The FEM used in this work for the analysis of the stress distributions and deformations at flange bolt holes in the case of hybrid system which integrated both gate and pump has been carried out and the following conclusion are summarized as the following;

- (1) The 3D numerical model to effectively solve the problems of optimization design of the bolted joint has been developed. In the connecting part of the water gate, the influence of the stress on the self-weight was insufficient, and thus the structural reliability of the system was secured.
- (2) The stress distributions in the flanges and the stress concentration at flange bolt holes are analyzed. A case 4 of bolt diameter (27mm) was confirmed to be the optimal shape design without excessive design with a safety factor of 5.5982.
- (3) From the result of the structural analysis of the hybrid system, the part where the door frame and the spindle bracket are fastened is not affected by the deformation of the upper frame. The structural reliability of the whole system was verified by applying various diameters so that the optimal diameter of bolt is 27mm.

The influence of other process parameter on the performance through the experiment and the improved efficiency in the future design of the bolted joint should be considered.

Acknowledgements

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(IPET) through Advanced Production Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA)(317068031HD030).

References

- [1] M. Ghoniim, 11. Space Frames Construction, 2015, pp. 1–11.
- [2] S.G. Yasmin, P.P. Rao, K. Bommisetty, 3-D Finite Element Analysis of Bolted Joint Using Helical Thread Model, IJERT, 2(12), 2013, pp. 2756–276.
- [3] G.Y. Kim, J.D. Jo, Stress Analysis of Bolted Joint by the Finite Element Method, KSAE, pp.1025–1030.
- [4] J.N. Goodier, R. J. Sweeney, Loosening by Vibration of Threaded Fastenings, Mechanical Engineering, vol. 12, 1945, pp. 794–800.
- [5] Y. Jiang, M. Zhang, T.W. Park, C.H. Lee, An Experimental Study of Self-loosening of Bolted Joint, Journal of Mechanical Design, 126(5), 2004, pp. 925–31.
- [6] T. Fukuoka, M. Nomura, Proposition of Helical Thread Modeling with Accurate Geometry and Finite Element Analysis, A Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, 2008, pp. 1639–1645.
- [7] X. Yang, S.A. Nassar, Z. Wu, A. Meng, Clamp Load Loss in a Bolted Joint Model with Plastic Bolt Elongation and Eccentric Service Load, ASME 2010 Pressure Vessels and Piping Division/K-PVP Conference, 2010.

Fig. 285 Materials Today에 게재된 논문(8/9)

- [8] S. Izumi, T. Yokoyama, M. Kimura, S. Sakai, Loosening-resistance Evaluation of Double-nut Tightening Method and Spring Washer by Three-dimensional Finite Element Analysis, *Engineering Failure Analysis*, 16, 2009, pp. 1510–1519.
- [9] S. Izumi, T. Yokoyama, A. Iwasaki, S. Sakai, Three-dimensional Finite Element Analysis of Tightening and Loosening Mechanism of Threaded Fastener, *Engineering Failure Analysis*, 12(4), 2005, pp. 604–615.
- [10] A. Yamamoto, S. Kasei, Investigation on the Self-loosening of Threaded Fasteners under Transverse Vibration – A Solution for Self-loosening Mechanism, *Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering*, 43(508), 1977, pp. 470–475.
- [11] T. Yokoyama, M. Olsson, S. Izumi, S. Sakai, Investigation into the Self-loosening Behavior of Bolted Joint subjected to Rotational Loading, *Engineering Failure Analysis*, 2012.
- [12] H.W. Roh, J.M. Park, J.S. Hwang, Structure & Vibration Analysis of 2nd Stage Water Gate, *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 2009, pp. 513–516.
- [13] Z. Wu, C. Caliot, F. Bai, G. Flamant, Z. Wang, J. Zhang, C. Tian, Experimental and Numerical Studies of the Pressure Drop in Ceramic Foams for Volumetric Solar Receiver Applications, *Applied Energy*, 87(2), 2010, pp. 504–513.

Fig. 286 Materials Today에 게재된 논문(9/9)

2-23. 국내 학술지 2건

2020년 8월 27일 온라인(비대면)으로 개최된 2020년도 대한기계학회 호남지회 춘계학술대회에 참가하여 “연성해석을 통한 수문 공진회피의 관한 연구”에 관한 내용으로 논문 투고를 완료하였다. 대한기계학회논문집A에 투고한 논문을 나타내며, 관련연구의 성과가 우수함을 확인하였다.(Figs. 287~295 참조)

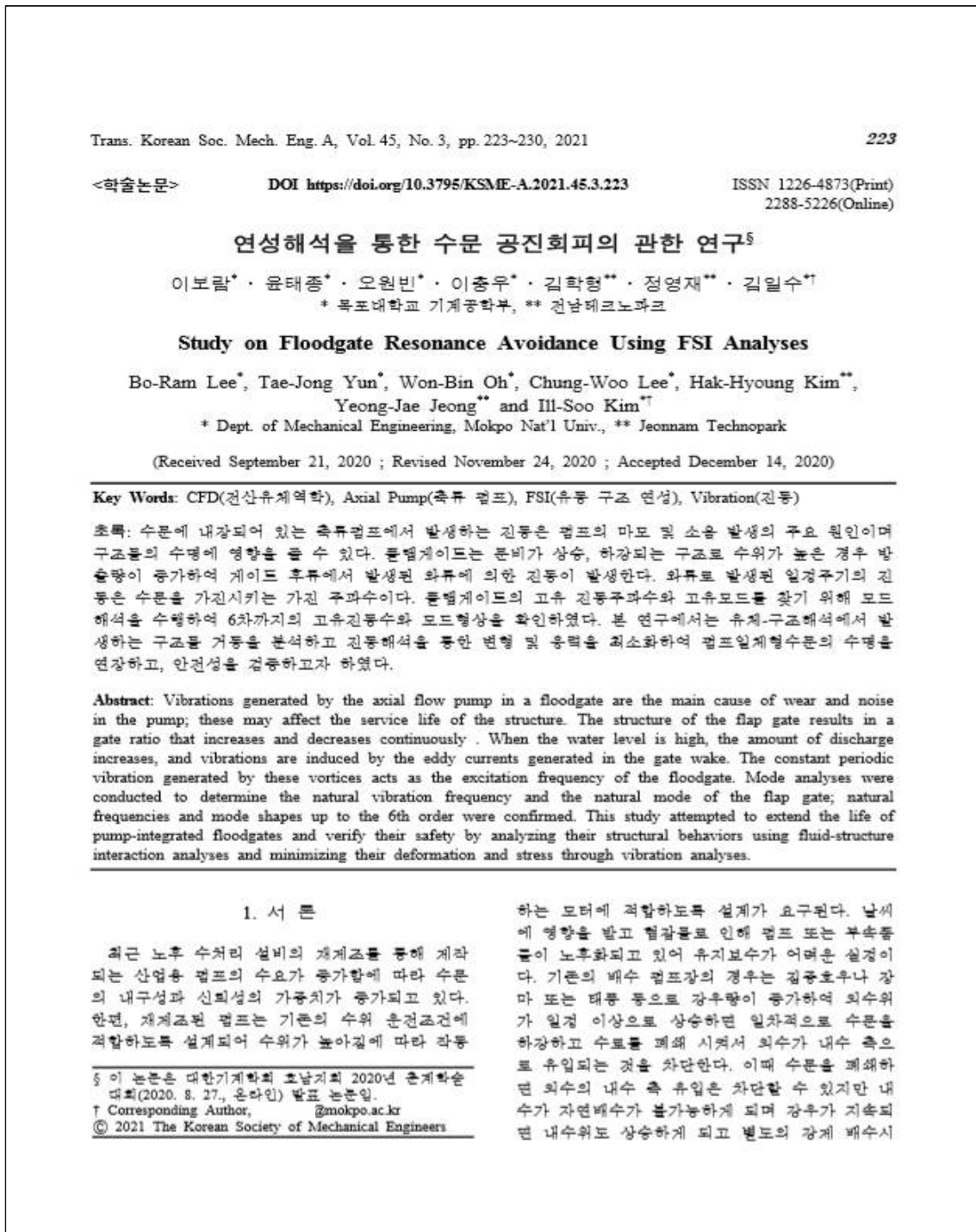


Fig. 287 대한기계학회논문집A에 투고한 논문(1/8)

설이 없는 저지대의 주풍이나 농경지는 침수화해 되어 커다란 수해를 입는 관계권이 있다.

제조되는 랩프인제형수문시스템 개선 및 구조물의 진동에 대한 설계를 통해 랩프인제형수문의 구조적 안정화가 요구되어진다. 수문의 출구 랩프는 본래이드 표면의 가해지는 압력이 상승하여 인플레이의 진동이 발생하게 된다. 이러한 현상으로 개발요소 중 하나인 인플레이의 성능과 내구성에 영향을 끼치므로 기존의 유통과 성능해석의 내구성 분석을 위한 유통-구조 연성해석을 통해 수문의 구조진동해석에 대한 연구가 요구되는 실정이다.

랩프인제형수문의 성능과 내구성 향상을 위해서 CFD 해석을 사용하여 본래이드에 입구와 출구 조건으로 예상되는 수압의 분포를 설정하고 예측되는 본래이드의 응고인을 경제조건으로 부역함으로써 본래이드를 포함하는 유통장에 대한 수력을 계산한다. CFD 해석 결과로 계산되어진 본래이드 하중은 유안요소해석 프로그램에 유안조건으로 부역시켜서 구조해석을 하여 본래이드의 비정상 응력과 피로수명을 예측한다. 이러한 두 단계는 본래이드의 설계 수치해석 결과를 포함하여 반복적으로 수행되어지고 하지만 각 단계는 서로 다른 연구 그룹에 의해 독립적으로 수행되기 때문에 그 과정에서 정확도와 효율성이 떨어지게 된다. 새로운 랩프인제형 수문을 개발하는 과정에서 공진 등의 불안정성이 더해져서 개발 중인 랩프의 부패가 파괴되는 일이 종종 일어난다. 그러므로 다분야 통합 최적설계를 통한 최적화를 진행함으로써 효율을 증가시키고, 구조적 안정성을 극대화하여 공진 현상을 억제할 수 있으며, 이를 검증하기 위해 모델에 대하여 CFD 해석과 FEM 해석이 동시에 이루어져야 한다. 이를 위하여 CFD와 FEM을 완전하게 묶어서 연동적으로 해석(coupling analysis)을 수행하여 두 해석 결과를 공유할 수 있는 격자의 기반한 커플링 인터페이스를 사용하여 유체-구조 연성해석(FSI: fluid-structure interface)을 사용한다.

이와 관련된 연구로 Lee는 유통-구조 연성해석 기법을 이용하여 출구부의 성능을 평가하였다.⁽¹⁾ Kim은 본래이드를 유체-구조 연성해석을 통해 성능을 분석하였다.⁽²⁾ Li는 편을 이용한 전기모터 냉각에서 날개 각도의 따른 편 성능과 유통장 특성의 도출 연구를 수행하였다.⁽³⁾ Kim은 편에 대

해 날개의 각도를 변수로 하여 최적화 설계를 진행하였다.⁽⁴⁾ Ahn은 반경방향으로 stacking line을 경사지도록 하는 요소법을 이용하여 유통의 3차원 설계를 진행하였다.⁽⁵⁾

FSI에 대한 연구는 현재와 같이 전산자원이 충분히 확보되기 전부터 꾸준히 이루어져왔다. Lane은 압축기 본래이드 옆의 롤러 시스템 모델 형상에 대한 해석을 수행하였다.⁽⁶⁾ Gerolymos는 축류 압축기에서의 3차원 비정상 Euler 방정식을 이용한 수치해석을 연구하였다.⁽⁷⁾ 많은 연구를 통해 다양한 해석이 시도되고 다양한 해석 방법이 시도되어 왔다.⁽⁸⁻¹⁰⁾ 이러한 초기의 연구는 유통해석과 구조해석을 각자 수행하고, 두 결과 사이에서 최소한의 자료교환으로 단순화시켜 해석을 수행하였지만 엄밀한 의미에서의 연동해석이 아니므로 비선형적인 유통과 구조와의 상호작용을 예측하는데 한계가 있었다. 그러나 최근에는 크게 발전한 전산자원을 바탕으로 유통해석과 구조해석의 완전한 유통해석도 빠르게 발전하고 있다.⁽¹¹⁻¹³⁾ 그중에서 영국 임페리얼 대학에서 수행한 17-bladerow WRF 압축기 해석이 전 세계적으로 처음 시도된 대용량 FSI 수치해석이었다.⁽¹²⁾ FSI 해석을 수행하기 위해 제일 중요한 것은 CFD 프로그램과 FEM 프로그램은 어떻게 하나의 묶어 정보 교환을 하여 연동해석을 하는 것이다. 두 개 이상의 시뮬레이션 코드를 사용하여 coupled simulation을 수행할 때 발생할 수 있는 문제점은 시간에 따라 각 해석에서 사용되는 격자의 형상이 일치하지 않는다는 것이다. 각 코드에서 사용하는 다른 격자 구조 시스템은 다른 격자 구조 시스템은 코드간의 물리량을 교환하는 데 있어 장애요인으로 작용하게 되므로 적절한 조치가 필요하다.

본 연구에서는 설계점에서 해석 모델로 설계한 축류 랩프인제형수문의 CFD 해석 결과를 토대로 유통압력을 확인하고 FSI를 통한 진동해석을 수행하여 공진현상의 발생 여부를 예측하는 것을 목표로 한다.

2. 이론 해석

본래이드의 성능 파악 및 유통 부상을 해석하기 위해 범용 유한요소해석(FVM) 소프트웨어인 ANSYS CFX ver. 19.2를 사용하였으며, 전체적인 시스템의 유통장 구현과 유통 부상을 분석

Fig. 288 대한기계학회논문집A에 투고한 논문(2/8)

하기 위하여 적용한 지배 방정식은 다음 식 (1), (2)와 같다.

연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

시간평균운동량방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \delta_{ij} \right] + \rho f_i \quad (2)$$

난류 모델은 RANS에 기반을 둔 모델인 k- ω SST를 사용하였다. k- ω SST는 벽면 근처로 갈수록 standard k- ω 모델을 사용하고, 경계층(boundary layer)의 바깥 영역(outer portion)으로 갈수록 k- ϵ 모델의 high-Reynolds-number version을 사용하도록 서서히 변화되는 blending function을 사용하였다. SST 모델은 일반적으로 역압력구배(adverse pressure gradient)에서 박리의 시작과 크기를 정확하게 예측하므로 k- ω SST 난류 모델을 사용하여 해석을 수행하였다.

SST 모델은 기본에 사용되어온 k- ϵ 모델과 Wilcox 모델의 장점을 혼합한 모델인 baseline k- ω 모델이 난류의 전단응력 전달과정을 정확히 묘사하지 못하기 때문에 이를 개선한 모델이다. 그 원인은 과도하게 예측된 eddy-viscosity에 있었으며, 정확한 난류 전단응력 전달현상을 예측하기 위해 다음 식 (3)과 같은 식을 사용한다.

$$\nu_t = \frac{\alpha_1 k}{\max(\alpha_1, \omega, SF_2)} \quad (3)$$

여기서, $\nu_t = \mu_t / \rho$ 이다. 벽면 경계층을 제한하는 F_1 과 유사한 F_2 는 혼합함수이며 S 는 변형률과 불변값을 나타낸다.

FSI 기법을 활용한 유체-구조 연성해석은 두 개의 독립적인 solver를 토대로 각각의 결과 값을 교환하는 방식으로 일반적인 자연현상에 가장 근접한 결과를 제공한다. 해석에 대한 지배방정식 (4), (5)와 같다.

$$[M_s] \ddot{U} + [K_s] U = F_s + [R] P \quad (4)$$

$$[M_f] \ddot{P} + [K_f] P = E_f + \rho_0 [R]^T \ddot{U} \quad (5)$$

여기서, M 는 질량행렬, K 는 강성행렬, F 는 볼테이드 주위의 공기의 외력 벡터로서 승조과와 유동박리 등을 고려해야 한다. R 는 유체 및 구조 경계면 위의 각 노드에 연계된 유효표면적을 나타내는 연계행렬이다. R 는 경계면에서 서로 부합하는 유체와 구조의 요소의 수직 벡터 또한 고려한다. 경계면의 유체와 구조 하중의 양은 미지수의 자유도 함수이며 식을 정리하면 다음과 같다.

$$[M_f] \ddot{P} + [K_f] P = E_f + \rho_0 [R]^T \ddot{U} \quad (6)$$

멀티일체형수문에서의 성능 향상 및 안전성 확보를 위한 FSI 해석은 유체-구조 연계문제에서는 거의 대부분 유체의 흐름에 의해 유발되는 동수압(hydrodynamic pressure)이 걸하고 있는 구조체에 하중으로 작용하고, 반면 구조체의 움직임은 유체가 차지하고 있는 기하학적 영역을 변화시킨다. 따라서 유체가 구조물에 미치는 동수압은 구조물에 하중 경계조건으로 반영되는 반면, 구조물의 거동은 유체 유동의 경계영역 및 경계에서의 속도로 반영된다. 시스템 내에서 유체와 구조체, 두 가지 해석이 가능하며 구조체의 물리적 특성을 고려하여 해석함으로써 유체에 의한 구조체의 거동을 보다 정확하게 파악할 수 있는 장점을 가지고 있다. 실제결에서 가지는 고유진동수와 축류펌프의 구동에 의해 생기는 가진 주파수가 일치하게 되어서 공진현상이 일어나게 되면 부속품이 구조적으로 큰 응력이 발생되어 물체의 변형이나 파괴가 일어날 수 있다. 모드에 따른 고유진동수를 확인하여 공진현상이 발생하지 않도록 멀티일체형수문시스템의 펌프 설계해야 한다. 따라서 본 과제를 통해 개발한 멀티일체형수문의 사용처는 유체와 구조물의 상호작용이 발생



Fig. 1 The flowchart of FSI analysis procedure

Fig. 289 대한기계학회논문집A에 투고한 논문(3/8)

하드트 수문의 구조적 안정성을 평가하기 위해서는 FSI 해석기법을 적용하였으며, Fig. 1은 FSI 해석의 절차를 나타낸다.

3. 설계 및 해석

FSI 해석을 통하여 요구되는 성능과 기준을 검증하기 위해 적합한 해석모델을 다른 물리계의 상호작용을 고려하는 연성해석도 같은 환경 내에서 실행 가능하다. 이 중 돌인 유체와 수문인 구조의 상호작용을 고려한 연성해석을 도입하였다. FSI 해석에 사용된 모델인 Fig. 2는 주요 기구부들의 어셈블리를 수행한 캄프일체형수문의 구성을 나타낸다. 캄프일체형수문을 구성하는 각 부품의 재질은 메인 볼터, 보조 볼터와 체결요소인 핀과 플랩게이드 구동 핀의 재질은 SUS304를 선정하였으며, 일반 기계구조용 강재인 SS400으로 선정하였다. Table 1은 SUS304와 SS400의 기계적 물성치를 나타낸다. FSI 해석을 수행하기 위해 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 격자(mesh)는 polyhedral mesh이며, 다면체 격자는 tetra mesh보다 50%의 격자 개수를 절감할 수 있으며, 동일한 정확도를

유지하며 탁월한 quality를 가진다. 총 절점의 수는 236,945개이고 요소의 수는 116,253개로 구성되었다.

유동해석에 사용되는 fluid model은 일반적으로 사용되는 domain type으로 설계하였으며, 유속은 실제 캄프일체형수문의 사용처인 배수펌프장의 유속을 기준으로 20 m/s를 적용하였으며, 구조적 안정성의 높은 신뢰성을 입증하기 위해 실제 유량보다 약 2배 높은 5 tone을 적용하여 유동흐름에 의한 압력 값을 도출하였다. Table 2는 유동해석을 위한 세부적인 해석조건을 나타내며, Fig. 4

Table 2 Boundary condition for CFX analysis

Boundary condition	Value	Boundary condition	Value
Domain type	Fluid domain	Material	Water
Reference pressure	1 atm	Water velocity	1 m/s
Turbulence	Shear stress transport	Domain size	150×100×850 m

Table 1 Mechanical properties of base metal

Material	SUS304	SS400
Material condition	Value	Value
Tensile strength, ultimate	505 MPa	400 MPa
Tensile strength, yield	215 MPa	250 MPa
Elongation at break	70%	20%
Modulus of elasticity	193 GPa	200 GPa
Bulk modulus	140 GPa	160 GPa
Poisson's ratio	0.29	0.26
Shear modulus	86.0 GPa	79.3 GPa

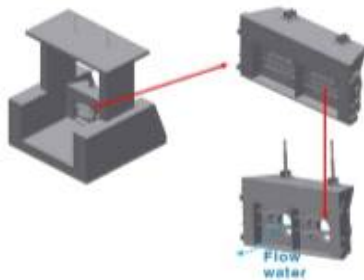


Fig. 2 3D-modeling of floodgate



Fig. 3 Mesh generation of floodgate

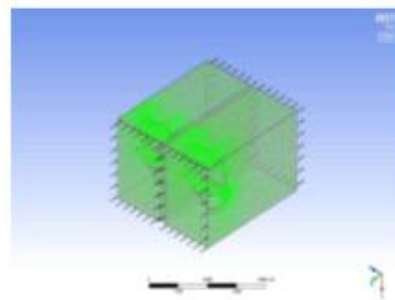


Fig. 4 Domain type designed for CFX analysis

Fig. 290 대한기계학회논문집A에 투고한 논문(4/8)

가 판프일체형수문의 작용하는 압력을 확인하기 위하여 선정한 domain type을 나타낸다.

유동해석 결과 판프일체형수문의 압력데이터를 구조해석의 유한요소부분에 적용하여 하중데이터를 대입하였다. 유동해석 결과 판프일체형수문부분의 최대압력 46,800 Pa이 작용하였으며, 판프일체형수문의 배압구에서 최대속도 8.090 m/s로 산출되었다. 산출된 유동해석 결과인 유동영역과 구조영역의 경계면에서 발생하는 압력 데이터를 구조해석 모델과 대입하여 하중이 전달되도록 하였다. Fig. 5는 유동해석으로부터 추출된 하중을 보여주고 있다. 실제 환경과 비슷한 조건에서 해석을 수행하기 위해 해석 모델의 경계조건으로써 standard earth gravity를 -X 방향으로 적용하였으며, 밑바닥 면을 fixed support로 구속하였다. ANSYS CFX 프로그램 이용하여 유동해석을 수행한 결과, 본체에 발생하는 압력분포는 Fig. 4와 같으며, 유체의 유동으로 인해 발생하는 최대압력 46,800 Pa로 계산되었다. 유동해석의 결과를 ANSYS Structure 구조 해석의 입력조건으로 설정한 사항으로 유체 유동에 의한 판프일체형수문장치 내부 압력분포는 Fig. 6과 같으며, 본체와 플러그 연결부분부분의 최대 압력 0.55 MPa이 발생하였다.

4. 해석 결과

판프일체형수문의 FSI 해석 결과인 상 연영역은 판프일체형수문 상단부의 변형변폭이 5.154 mm의 미세한 변형을 확인하였다. 또한, 최대응력 확인 결과 판프일체형수문 판프일체형수문체 내부에서 최대응력 110.51 MPa이 작용함을 확인하였으며, Fig. 8과 같이 판프일체형수문의 발생하는 최대 응력이 Table 1로부터 구조물의 재료인 SUS304의 항복강도는 약 215 MPa이므로 판프일체형수문시스템의 장치는 안정성을 가진다고 판단할 수 있다. 주요 수문부의 안전을 확인결과 최대응력이 발생

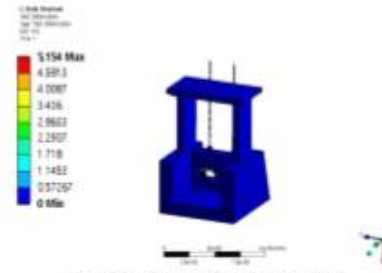


Fig. 7 Deformation of floodgate

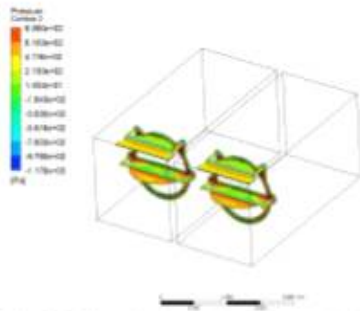


Fig. 5 CFX analysis results (pressure distributions)

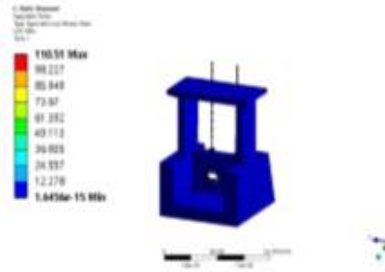


Fig. 8 Stress of floodgate

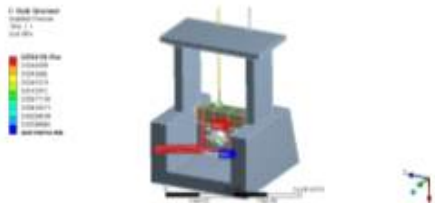


Fig. 6 Load extracted by CFX analysis

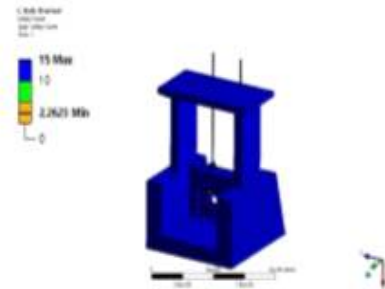


Fig. 9 Safety of floodgate

Fig. 291 대한기계학회논문집A에 투고한 논문(5/8)

한 지점과 동일한 지점은 유동에 의해 극단적으로 구동기 내부의 플랩밸브 및 플랩게이트 체결부위에서 2.262트 최소 안전율을 확인할 수 있었다. 일반 기계구조용 강재의 허용안전율 기준 2.0를 만족하는 수준으로 플랩입체형수문시스템의 구조적 안전성을 입증하는 결과를 확인할

수 있었다. 플랩입체형수문의 FSI 해석 결과를 Fig. 7-9에 나타내었다.

Fig. 10과 같이 각각의 고유모드에서 발생하는 진폭은 고유모드가 증가함에 따라 증가하고 있으며 고유진동수가 발생한 범위는 최소 32.921 Hz에서 최대 37.921 Hz이다. 일반적으로 고유진동수

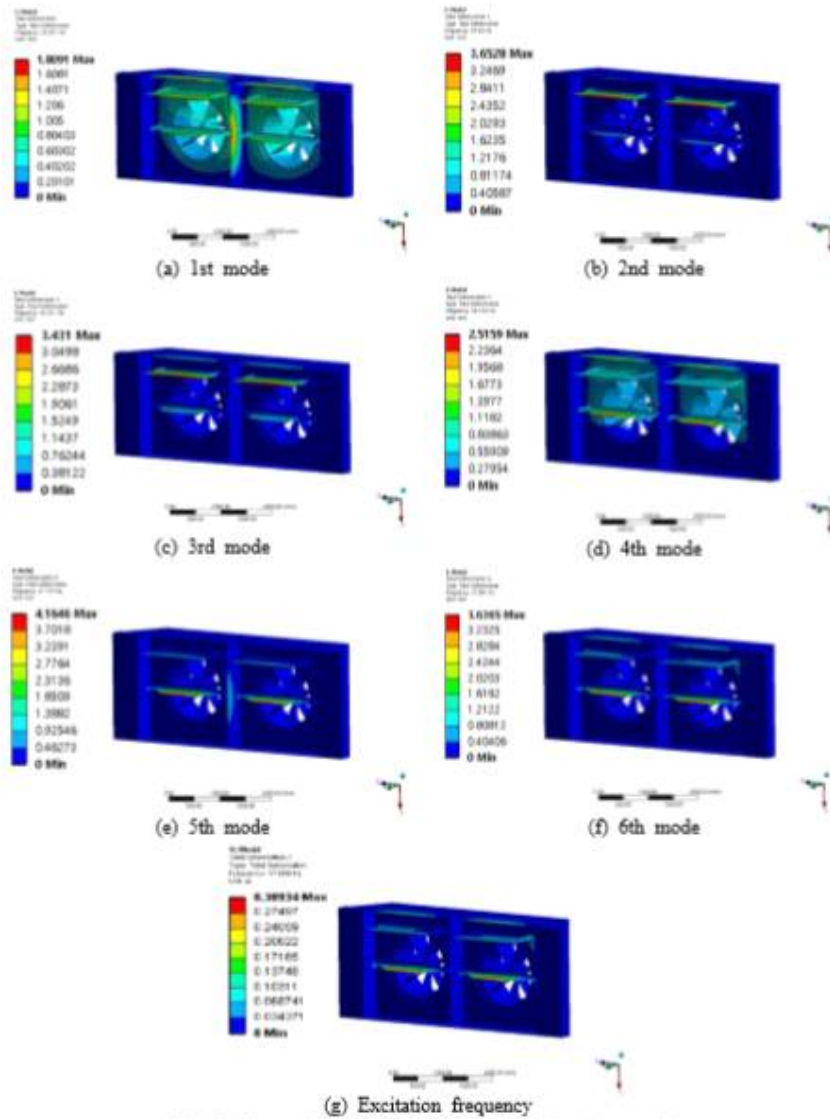


Fig. 10 Shape characteristics by mode of vibration analysis

Fig. 292 대한기계학회논문집A에 투고한 논문(6/8)

범위의 판단은 1차 모드에서 3차 모드까지 값이 유동해석에서 구해진 가진 주파수(57.689 Hz, 20% 개도)보다 크거나 작으면 된다.

한국수자원공사의 장개설비 진동해석 가이드라인⁽²⁰⁾에는 고유 진동수는 가진 주파수보다 적어도 30~40% 이상 크거나 작아야 공진의 영향에 대해서 안정하다고 제시한다. 따라서 두 값은 물리적 차이가 많아 검토한 조건에 대하여 진동에 안정적이라 판단할 수 있다.

고유주파수의 1차 모드에서 주파수는 32.921 Hz로써 가진 주파수(excitation frequency)인 57.689 Hz와 비교한 결과 1.7배 이상 차이가 있어 각각의 주파수가 공진범위를 벗어나는 것을 확인할 수 있다. 즉 수압에 의해 발생하는 가진 주파수와 부가질량이 고려된 플랩게이드의 고유주파수가 상당한 차이가 난다는 것을 확인할 수 있어 공진 영향에 대해 안정적이다.

공진 발생 시 케이스 및 임펠러의 연결부분에서 큰 변위가 예상된다. 고유주기와 가진 주기에 차이가 있어 공진에 대하여 안정한 것으로 판단된다. 향후 펌프일체형수문이 설치될 때 회전 시 펌프의 진동수에 비하여 고유진동수가 높기 때문에 향후 설치되어도 공진에 안정할 것으로 예상된다.

5. 결 론

본 연구에서는 펌프일체형수문의 개발을 위해 FSI 기법을 적용하여 유동해석과 구조해석을 수행하였으며, 진동해석을 통하여 수압에 따른 구조적 안전성을 얻어진 결과를 통하여 해석하고 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 펌프일체형수문시스템을 대상으로 유동해석을 수행한 결과, 본체에 추가되는 최대압력은 0.55 MPa로 계산되었다.

(2) 유동해석 결과를 활용하여 구조해석을 수행한 결과, 최대응력은 110.51 MPa로 구조물의 항복강도인 215 MPa보다 작다.

(3) 고유주파수의 1차 모드에서 주파수는 32.921 Hz로써 가진 주파수인 57.689 Hz와 비교한 결과 1.7배 이상 차이가 있어 각각의 주파수가 공진범위를 벗어나는 것을 확인할 수 있다. 즉 수압에 의해 발생하는 가진 주파수와 부가질량이 고려된 플랩게이드의 고유주파수가 상당한 차이가 나므로 공진에 대하여 안정한 것으로 판단된다.

후 기

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 농생명산업기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(317068031HD030).

참고문헌
(References)

- (1) Lee, C., Kim, H. S. and Kil, H. G., 2019, "Evaluation on the Blade Vibration Characteristics of a Plastic Axial Flow Fan Using Flow-Structure Coupled Analysis Technique," *Korean Society for Fluid Machinery*, Vol. 22 No. 5, pp. 21~27.
- (2) Kim, W. T., Choi, H., Ryu, M., Lee, J., Cho, I. and Cho, J., 2015, "FSI (Fluid/Structure Interaction) Analysis of the Ducted Fan Blade for UAV," *Proc. of Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Conference*, pp. 41~44.
- (3) Li, H., 2014, "Flow Driven by a Stamped Metal Cooling Fan - Parametric Study on Blade Angles," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, Vol. 4, No. 2, pp. 222~236.
- (4) Kim, W., Jeon, W. H., Hur, N., Hyun, J. J., Lim, C. K. and Lee, S. H., 2011, "Development of a Low-Noise Cooling Fan for an Alternator Using Numerical and DOE Methods," *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 12, No. 2, pp. 307~314.
- (5) Ahn, C. S. and Kim, K. W., 2013, "Design Optimization of an Axial-Flow Compressor Rotor Using Response Surface Method," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B*, Vol. 27, No. 2, pp. 155~162.
- (6) Lane, F., 1956, "System Mode Shapes in the Flutter of Compressor Blade Rows," *Journal of Aeronautical Sciences*, Vol. 23, No. 1, pp. 54~66.
- (7) Gerolymos, G. A., 1988, "Numerical Integration of the 3D Unsteady Euler Equations for Flutter Analysis of Axial Flow Compressors," *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*, Vol. 79184, p. V001T01A091.
- (8) Wolff, J. M. and Fleeter, S., 1994, "Euler Analysis of Oscillating Cascade Unsteady Aerodynamics Using Embedded Composite Grids," *Proc. of the 32nd Aerospace Sciences Meeting and*

Fig. 293 대한기계학회논문집A에 투고한 논문(7/8)

- Exhibit*, p. 77.
- (9) Ji, S. and Liu, F., 1997, "Computation of Unsteady Flows Around Oscillating Blades and Aeroelasticity Behavior," *Proc. of the 35th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, p. 161.
- (10) Weber, S., Benetschik, H., Peitsch, D. and Gallus, H. E., 1997, "A Numerical Approach to Unstalled and Stalled Flutter Phenomena in Turbomachinery," *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*, Vol. 78712, p. V004T14A018.
- (11) Bendiksen, O. O. and Kousen, K. A., 1987, "Transonic Flutter Analysis Using the Euler Equation," *Proc. of the 28th Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, p. 911.
- (12) Huff, D. L. and Reddy, T. S. R., 1989, "Numerical Analysis of Supersonic Flow through Oscillating Cascade Sections by Using a Deforming Grid," *Proc. of the 25th Joint Propulsion Conference*, p. 2805.
- (13) Eick, C. D., and Liu, J. S., 1997, "Comparisons of Aeroelastic Computer Code Predictions against Measured Rotor Vibratory Response Data," *Proc. of the 33rd Joint Propulsion Conference and Exhibit*, p. 2750.
- (14) Gao, C., Luo, S. and Liu, F., 2003, "Calculation of Airfoil Flutter by an Euler Method with Approximate Boundary Conditions," *Proc. of the 16th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference*, p. 3830.
- (15) Bendiksen, O. O., 1991, "A New Approach to Computational Aeroelasticity," *Proc. of the 32nd Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, p. 939.
- (16) Masud, A., 1996, "A Space-Time Finite Element Formulation for Fluid-Structure Interaction," *Proc. of the 6th Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization*, p. 4049.
- (17) Servera, G., Beaumier, P. and Costes, M., 2001, "A Weak Coupling Method between the Dynamic Code HOST and the 3D Unsteady Euler Code WAVES," *Aerospace Science and Technology*, Vol. 5, No. 6, pp. 397-408.
- (18) Carstens, V., Kemme, R. and Schmitt, S., 2003, "Coupled Simulation of Flow-Structure Interaction in Turbomachinery," *Aerospace Science and Technology*, Vol. 7, No. 4, pp. 298-306.
- (19) Wu, X., Vahdati, M., Sayma, A. and Imregun, M., 2005, "Whole-Annulus Aeroelasticity Analysis of a 17-Bladerow WRF Compressor Using an Unstructured Navier-Stokes Solver," *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, Vol. 19, No. 3, pp. 211-223.
- (20) K-Water, 2013, *A Study on the Structural Stability Improvement of Dam and Beam Hydrologic System*, Korea Water Resources Corporation, Republic of Korea.

Fig. 294 대한기계학회논문집A에 투고한 논문(8/8)

2021년 03월호에 게재예정인 한국기계공학회지에 “유체-구조 연성해석을 통한 축류 펌프의 진동 연구”에 관한 내용으로 논문 투고를 완료하였다. 한국기계공학회지에 투고한 논문을 나타내며, 관련연구의 성과가 우수함을 확인하였다.(Figs. 295~300 참조)



Fig. 295 한국기계공학회지에 투고한 논문(1/6)

물, 토양 등의 물리적 요소와 유체 등의 수압이 인위적 요소가 작용하기 때문에 모니터링만을 통해서 는 관측자료¹²⁾에 내재되어 있는 여러 수문요소를 구분하기 어렵다.

농지의 침수예방에서 사용되는 수문의 수중 축류 펌프는 비속도가 크고 대유량 저장성이 요구되는 경우에 많이 쓰인다. 원심펌프의 형식과 달리 비속도가 크면 펌프의 회전자 형상이 익형이 다른 형상이 나타난다. 수중 축류펌프는 물속에서 운전하며 모터와 펌프가 일체형으로 되어있으며, 안내케이싱, 흡입케이싱, 프로펠러, 프로펠러 보스, 축, 브라켓, 배어링, 헤드커버 등으로 구성되어있다. 구동에 의해 주축 및 프로펠러 보스와 결합되어있는 프로펠러가 회전하며 흡입케이싱을 통해 유체가 흡입되며, 프로펠러의 회전을 지나 안내케이싱, 출구로 이동한다. 축류 프로펠러의 경우 저장장, 고성능 설계가 요구되며 프로펠러에 가해지는 수압이 상승하면 프로펠러 변형 또는 진동에 영향을 끼치게 된다. 이러한 현상은 수중 축류펌프의 성능과 내구성에 영향을 주게 된다. 단순한 하천유량에 대한 유동해석을 통해서 는 그 속에 포함되어 있는 수문에 가해지는 인자를 추정하기 어렵고, 요구하는 양상 및 성능을 관측할 수는 있으나 안정적인 구조적인 수문에서 개별적으로 산정하는데 한계가 있다. 그러므로 수문에서의 펌프의 구조적 안정성을 위해서는 수학-물리적인 모델링을 통한 해석이 병행되어야 한다.¹³⁾

또한, 수치 해석적 방법은 실험적 방법에 비하여 결과를 산출하는 시간을 단축할 수 있으며, 단시간 내에 다양한 대안에 대하여 검토할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 수압에 의한 모델의 구조적인 특성에 대하여 수치 해석적 접근을 통해 수압 및 진동 예측을 통하여 계획 설계 단계에서 구조적 안정성을 가진 형상을 결정할 수 있게 된다.¹⁴⁾

펌프는 회전에 의해 다양한 주기의 수력학적, 기계적 가진이 발생하기에 펌프의 고유진동수와 중첩될 때 야기될 수 있는 공진을 회피하기 위한 설계가 필수적으로 요구된다. 이를 위해 펌프의 고유진동수를 파악해야 하며, 이 때 수중에서 운용되는 수차의 특성을 고려하여 유체와 칩한 상태의 고유진동수를 구해야 한다. 해석 방식은 유동-구조, 진

동 one-way 연성해석 방식을 사용하고 전달행렬법을 이용하여 크랙을 가진 티모셴코 보의 모델링 및 보의 고유진동수를 구하고 실험을 통하여 그 결과를 검증하였다.¹⁵⁾ 본 연구는 프로펠러의 작업유체를 고려하여 프로펠러의 유동해석을 하고 유동 압력에 의한 수문의 구조진동 해석을 하였고, 본 방법을 실제 펌프일체형수문을 제작하였다. FSI해석법을 이용하여 수문의 동적 특성인 수압을 예측하였다. 해석모델로는 펌프와 수문을 사용하였다. 이 수치 해석 기법으로 실제 수문에 적용하였다. 그리고 해석 결과를 진동해석의 결과와 비교하고자 하였으며 이를 통해 공진현상에 대한 적용성을 목표로 하고자 한다.

2. 이론 해석

FSI해석법이란, 유체와 구조체의 상호작용을 해석하는 수치 해석적 방법이다. FSI해석에서 유체는 일반적으로 압력, 온도, 하중을 구조체 에 전달하여 구조체 변형이 발생하며 이에 대한 정보가 다시 유체의장에 전달되어 이에 따라 유체의 해석결과에 영향을 주게 되면서 양방 향 연성해석이 가능한 수치 해석적 방법이다. 지배방정식은 다음 식 (1)과 같다. $[R]$ 은 유체-구조체의 인터페이스에서 각 절점과 관련된 유효표면적을 나타내는 결합행렬(Coupling Matrix)이며, 법선 벡터의 방향을 고려한다. 유체-구조체 인터페이스에 생성된 유체와 구조체의 하중은 절점자유도가 미지수인 함수이다. 여기서, R 은 결합행렬, ρ_0 는 유체의 밀도, K_s, M_s 는 구조요소의 강성, 질량 행렬, K_f, M_f 는 유체요소의 강성, 질량 행렬, U 는 변위벡터, P 는 압력, F_s 는 구조체의 표면력, F_f 는 유체의 표면력을 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} M_s \\ M_f \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U} \\ \dot{P} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} F_s \\ F_f \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ P \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_s \\ F_f \end{Bmatrix} + [R] \begin{Bmatrix} P \\ U \end{Bmatrix} \quad (1)$$

수치해석기법이나, 기계, 항공, 선박의 경우에서와 같이 유체와 밀접한 관계를 갖는 구조체의 해석에서 많이 적용된다. FSI해석은 시스템 내에서 유체와 구조체 두 영역의 해석이 가능하므로 구조체의 물

Fig. 296 한국기계공학회지에 투고한 논문(2/6)

원적 특성을 고려하여 해석함으로써 유체에 의한 구조체의 거동을 보다 정확하게 파악할 수 있다. 따라서 수압에 의한 수문의 구조적 안전성을 파악하기에는 매우 유용한 수치 해석 기법이라 사료된다.

펌프일체형수문에서의 상능 향상 및 안전성 확보를 위한 FSI 해석은 유체-구조 연계문제에서는 거의 대부분 유체의 흐름에 의해 유발되는 동수압(Hydrodynamic pressure)이 첩하고 있는 구조체에 하중으로 작용하고, 반면 구조체의 움직임은 유체가 차지하고 있는 기하학적 영역을 변화시킨다. 따라서 유체가 구조물에 미치는 동수압은 구조물에 하중 경계조건으로 반영되는 반면, 구조물의 거동은 유체 유동의 경계영역 및 경계에서의 속도로 반영된다.

개발한 펌프일체형수문의 사용처는 유체와 구조물의 상호작용이 발생하므로 수문의 구조적 안정성을 평가하기 위해서는 FSI 해석기법을 적용하였으며, Fig. 1은 FSI 해석의 절차를 나타낸다.

3. FSI해석용 모델 구축

유동해석에서 정상상태로 계산된 수중 축류펌프의 표면 압력 값을 ANSYS CFX를 활용하여 확인하고, 구조해석을 하여 변형량과 동가동력을 계산하였다. CFD방법에 의해 계산된 시간에 따른 압력변화 값을 Ansys Transient Structural 코드의 입력값으로 넣어서 유체유동으로 유발된 진동을 계산하고자 한다. 해석방식은 유동-구조, 진동 one-way 연성해석방식을 사용한다.

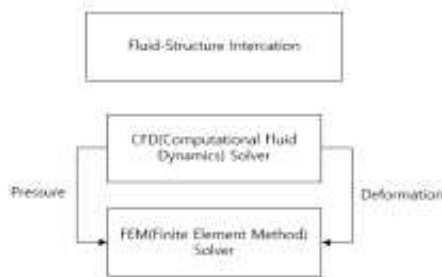


Fig. 1 Step of FSI analysis

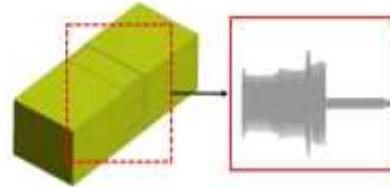


Fig. 2 3D-modeling of axial pump

하서산업(주) 현장에서 적용된 모델을 이용하여 FSI해석 및 구동부품의 사상선정에 활용하였다. FSI 해석을 통하여 요구되는 성능과 기준을 검증하기 위해 적합한 해석모델을 다른 물리계의 상호작용을 고려하는 연성해석도 같은 환경 내에서 실행가능하다. 물인 유체와 수문인 구조의 상호작용을 고려한 연성 해석을 도입하였다. FSI 해석에 사용된 모델인 Fig. 2는 수중축류펌프의 유체영역의 해석모델을 나타낸다. 연성해석은 ANSYS사의 CFX와 구조해석을 사용하였으며, CFX 해석에서의 수문 내부 유동장의 정상상태에 대한 계산을 수행한다.

계산 결과값으로 구경 500mm의 수중축류펌프의 프로펠러가 4EA로 구성되며, 회전수 691RPM, 유량은 운전점인 33.0m³/min를 갖는다. 펌프일체형수문을 구성하는 각 부품의 재질은 Guide casing, Suction tube은 GC200, Propeller는 SSC13으로 Table 1은 GC200과 SSC13의 기계적 물성치를 나타낸다.

FSI 해석을 수행하기 위해 CFX해석의 해석모델 중 유체 영역은 일반적으로 사용되는 Domain Type으로 설계하였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 Polyhedral mesh이며, 다면체 격자는 Tetra mesh보다 50%의 격자 개수를 절감할 수 있으며, 동일한 정확도를 유지하며 탁월한 quality를 가진다. 사용한 격자의 수는 약 120만개이며, 유동 해석을 위한 유동장은 길이가 5.5m인 사각형으로 구성되어 있다. 수중 축류 펌프 주위의 3차원 비압축성 유동을 계산은 위해 내부 유동을 3차원 정상상태의 난류 유동으로 가정하였으며, 난류모델은 SST로 선정하였다. 사용된 물의 밀도는 998.2kg/m³으로 인가한다.

실제 펌프일체형수문의 사용처인 배수펌프장의

첨근 유속 기준으로 1m/s로 선정하였으며, 실제 유량보다 20% 높게 적용하여 구조적인 안정성에서 신뢰성을 입증하기 민가하였다. 경계조건은 흡입구 쪽에 유속을, 토출구 쪽에 유량제어를 위해 Mass flow outlet을 인가하였다. 선정된 유속의 유동흐름에 의한 수문에 가해지는 압력 값을 도출하였다. Table 2 은 유동해석을 위한 세부적인 해석조건을 나타내며, Fig. 4는 펌프와 일체된 수문에 작용하는 압력을 확인하기 위하여 설정한 Domain Type을 나타낸다.

Table 1 Mechanical properties of base metal

Material	GC200	SSC13
Elastic Modulus (GPa)	105	193
Poisson's Ratio	0.28	0.29
Modulus of Elasticity(GPa)	162	193
Density(g/cc)	7.34	8.00
Yield Stress (MPa)	572	205
Component	Casing	Impeller



Fig. 3 Mesh generation of pump assembly

Table 2 Boundary condition for CFX analysis

Boundary Condition	Value	Boundary Condition	Value
Domain Type	Fluid Domain	Material	Water
Pressure	1 atm	Water Velocity	1m/s
Turbulence	SST	Domain Length	5.5m

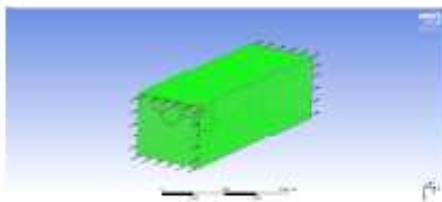


Fig. 4 Domain type designed for CFX analysis

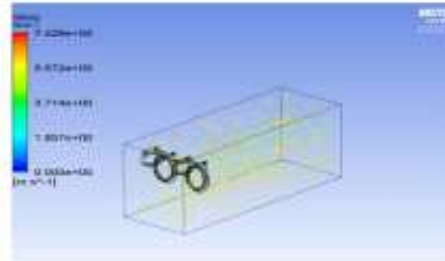


Fig. 5 CFX analysis results (Velocity distributions)

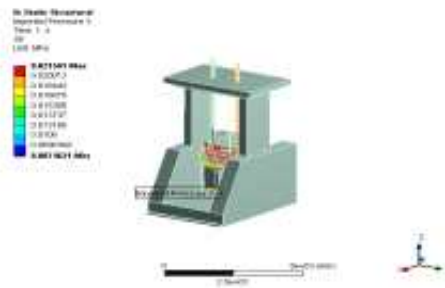


Fig. 6 Load extracted by CFX analysis

속류팬의 구조와 전동을 해석하기 위하여 정상상태와 비정상상태를 모두 계산하였다. ANSYS CFX 프로그램은 이용하여 유동해석을 수행한 결과, 본체에 발생하는 속도분포는 Fig. 5와 같으며, 유체의 유동으로 인해 발생하는 최대속도 7.429m/s로 계산되었다. 유동해석 결과 플럼게이트 후면부에 최대압력이 작용하였다. 유동해석 결과로 도출된 압력데이터를 구조해석의 동일한 부분에 적용하여 하중데이터를 매핑(mapping)하였다. Fig. 6은 유동해석의 결과를 ANSYS Structure 구조 해석의 입력조건으로 설정한 사항으로 유체 유동에 의한 펌프알체형수문의 내부 압력분포이다. 본체와 맨브가 연결되는 부분에 최대 압력 0.021MPa이 발생하였다. 산출된 유동해석 결과인 유동영역과 구조영역의 경계면에서 발생하는 압력 데이터를 구조해석 모델과 매핑하여 하중이 전달되도록 하였다. 실제 환경과 비슷한 조건에서 해석을 수행하기 위해 해석모델의 경계조건으로서 Standard Earth Gravity를 -Z방향으로 적용하였으며, 밑바닥 면을 Fixed support로 구속하였다.

4. 해석 결과

유동해석에서 정상상태로 계산된 수중 축류펌프의 표면 압력값들은 Ansys Transient Structural 코드의 입력하여 구조해석을 하여 변형량과 등가응력을 계산하였다. 유체유동으로 유발된 진동을 계산하였다. 이때 해석방식은 유동-구조 진동 one-way 연성해석 방식을 사용하였다. 펌프인체형수문의 FSI해석 결과인 Fig. 7과 같이 총 변형량은 플럼게이트 상단부의 플럼벨브에 2.0989 mm의 미세한 변형을 확인하였다. Fig. 8과 같이 최대응력 확인결과 플럼벨브 및 플럼게이트 체결부위에서 최대응력 67.178MPa이 작용함을 확인하였다. Fig. 9와 같이 펌프인체형수문에 발생하는 최대 응력이 Table 1으로부터 구조물의 재료인 SUS304의 항복강도는 약 215MPa이므로 펌프인체형수문시스템은 안정성을 가진다고 판단할 수 있다. 주요 수문부의 안전을 확인결과 최대응력이 발생한 지점과 동일한 지점은 유동에 의해 직접적으로 수문의 배수구동이 이루어지는 수문과 펌프의 결합된 후면부가 3.8113로 최소 안전율을 확인할 수 있었다. 일반 기계구조용 강재의 허용안전율 기준 2.0을 만족하는 수준으로 펌프인체형수문시스템의 구조적 안전성을 입증하는 결과를 확인할 수 있었다.



Fig. 7 Deformation of Floodgate

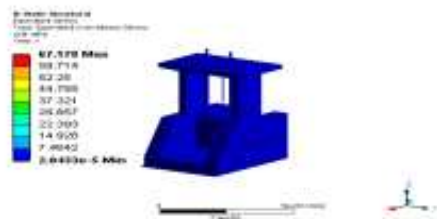


Fig. 8 Stress of Floodgate

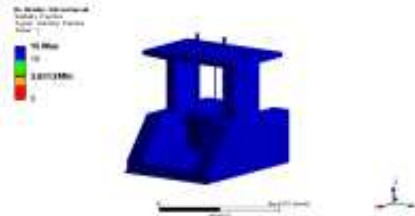


Fig. 9 Safety of Floodgate

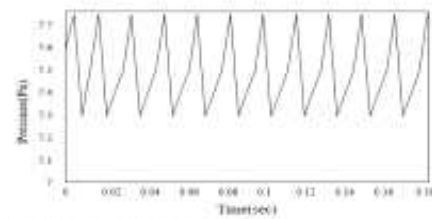


Fig. 10 Pressure of time variations

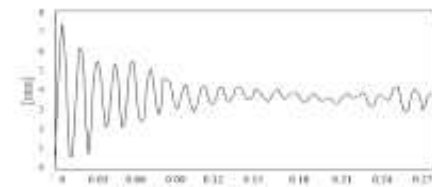


Fig. 11 Displacement of time variations

프로펠러의 표면에 작용하는 응력은 블레이드 회전 에 의한 원심력과 유체의 압력의 영향을 받는다. 수문과 결합된 프로펠러의 최대응력의 분포는 허브에서 최대 응력이 발생하며 프로펠러 보스의 근처로 갈수록 응력이 줄어든다. 프로펠러가 회전하면서 익형에 정해되어 가장 큰 압력을 받는다. 반면에 응력은 프로펠러가 고정되어있는 부분에서 가장 적게 영향을 받는다. 구조적인 계산으로 시간에 따른 프로펠러 표면의 응력변동 곡선은 수중 축류펌프의 표면 응력이 주기적으로 변화되며 진동을 유발하는 것을 확인하였다. 이러한 프로펠러 표면응력 변동의 계산 결과는 앞서의 유체의 변동의 계산결과와 같은 주기 (0.02 sec)를 가지고 동기화되어 있는 것으로 보이며, 이는 수중 축류펌프의 표면에 진동이 유체의 변동에

의해 발생된다. 이때 진동의 최대 진폭은 250 kPa에 이른다. Fig. 10은 수중속류펌프의 계산한 시간에 따른 압력변화를 나타내었으며, 주기적인 압력분포가 나타난다. Fig. 11은 변형의 수중 속류펌프에서의 진동 특성을 보여주고 있다. 선경린 일반 강재의 특성에 따라 프로펠러가 회전하면서 익형에 정제되어 가장 큰 압력을 받게 되고, 고유 과도 상태를 지나 주기 특성을 나타낸다.

5. 결론

본 연구에서는 펌프일체형수문의 개발을 위해 FSI 기법을 적용하여 유동해석과 구조해석을 수행하였으며, 진동해석을 통하여 수압에 따른 구조적 안전성을 얻어진 결과를 통하여 해석하고 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 펌프일체형수문 시스템을 대상으로 유동해석을 수행한 결과, 수문에 부가되는 총 변형량은 플랜 게이트 상단부의 플랜벨브에 2.0989mm의 미세한 변형을 확인하였다.
2. 유동해석 결과를 활용하여 구조해석을 수행한 결과, 최대응력은 67.178MPa로 구조물의 항복강도인 215MPa 보다 작다.
3. 펌프일체형수문의 수중 속류펌프의 표면에 가해지는 유체 압력의 영향을 계산한 결과 프로펠러의 끝단 부분에서 변형량이 가장 크게 나타났다. 이는 프로펠러가 회전하면서 익형에 정제되어 가장 큰 압력을 받게 되고, 고유 과도 상태를 지나 주기 특성을 나타낸다.

REFERENCES

1. Jeong, S. W., "Current Status and Prospect of Flow Survey", Journal of Korea Water Resources Association - Water for Future, Vol. 41, No. 8, pp. 10-14, 2008.
2. Im, S. J., "Modeling Irrigation Return Flow from Paddy Fields on Agricultural Watersheds", A Thesis for a Doctor's Degree, Seoul National

- University, Republic of Korea, 2000.
3. Song, J. H., "Hydrologic Analysis System with Multi-Objective Optimization for Agricultural Watersheds", A Thesis for a Doctor's Degree, Seoul National University, Republic of Korea, 2017.
4. Jo, J. H., "A Study on The Numerical Analysis for The Dynamic Response Characteristics of Tall Building to Wind Loads Using FSI Analysis", A Thesis for a Master's Degree, Inha University, Republic of Korea, 2013.
5. Son, I. S., Kim, C. H. and Cho, J. R., "Coupled Bending and Torsional Vibrations Analysis of Cracked L-shaped Beam", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 4, pp. 8-15, 2011.
6. Lee, C., Kim, H. S. and Kil, H. G., "Evaluation on the Blade Vibration Characteristics of a Plastic Axial Flow Fan Using Flow-Structure Coupled Analysis Technique", Korean Society for Fluid Machinery, Vol. 22 No. 5, pp. 21-27, 2019.
7. Kim, K. S., Kang, Y. J. and Ko, H. K., "Fluid-Structure Coupling Analysis of the Solenoid Valve with Spool", Proceedings of the KSMPE Conference, pp. 107-17, 2011.
8. Kim, S. P., Lee, J. H., Lee, K. H., Jeon, R. W. and Do, T. W., "Thermal-structural Coupled Field Analysis for Fire Safety Type Bull Valve", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 3, pp. 28-32, 2011.
9. Kim, K. S., Kang, Y. J. and Ko, H. K., "Fluid-Structure Coupling Analysis of the Solenoid Valve with Spool", Proceedings of the KSMPE Conference, pp. 10, 2011.

Fig. 300 한국기계가공학회지에 투고한 논문(6/6)

2-24. 고용창출 실적 및 신규고용 활용내용

주관기관인 하서산업(주)은 1차년도 고용실적 1명의 김○수 사원을 2017년 8월 1일 채용하였으며, 본 과제 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발” 개발 업무를 진행하였다. 특히 성능시험용 펌프 수조개발에 있어 장비 설계 및 제작을 진행하였다. 2차년도 진행에 있어 주요부품(배수펌프, 수문구조물) 설계와 수문 구성품을 제작하여 안전성 확보를 진행하였고 Fig. 301 김○수 사원의 4대 사회보험 가입증명서를 나타낸다.

**4대 사회보험
사업장 가입자 명부**

발급번호 : 20180907307822 발급일시 : 2018.09.07 10:25

국민연금 건강보험 산재보험 고용보험

사업장명: 하서산업(주) 사업장 관리번호: 41881322010

■ 가입 내역(발급일자 현재기준) 1 / 2

연번	종원(외국인) 등록번호	성명	자 격 특 록 일			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1		홍만	미가입	2017.03.01	자진신고사업장	2017.03.01
2		홍국	미가입	2001.09.25	자진신고사업장	미가입
3		공오	미가입	2010.06.10	자진신고사업장	2010.06.10
4		박홍	미가입	2011.03.25	자진신고사업장	2011.03.25
5		유홍	미가입	2012.01.01	자진신고사업장	2012.01.01
6		박수	미가입	2013.06.20	자진신고사업장	미가입
7		홍근	미가입	2018.03.20	자진신고사업장	2018.03.20
8		홍재	2010.10.01	2010.10.01	자진신고사업장	2010.10.01
9		권재	2015.03.01	2015.03.01	자진신고사업장	2007.09.14
10		김환	2009.07.13	2009.07.13	자진신고사업장	2008.07.13
11		조원	2018.01.01	2018.01.01	자진신고사업장	2018.01.01
12		조석	2013.09.23	2013.09.23	자진신고사업장	2013.09.23
13		김수	2011.08.01	2017.09.01	자진신고사업장	2012.06.01
14		김수	2017.08.01	2017.08.01	자진신고사업장	2012.06.01
15		황기	2013.04.01	2013.04.01	자진신고사업장	2008.10.13
16		김찬	2015.03.01	2015.03.01	자진신고사업장	2008.01.02
17		김분	2017.04.18	2017.04.18	자진신고사업장	2017.04.18
18		이석	2015.04.27	2015.04.27	자진신고사업장	2015.04.27
19		조홍	2007.07.01	2007.07.01	자진신고사업장	2007.07.01

1. 위 사업장 가입자 명부는 4대 사회보험 정보관리시스템에 국민연금공단, 국민건강보험공단, 근로복지공단에 가입자 정보를 실시간 연계하여 제공하는 것이며, 발급사실 여부를 발급사실 여부를 발급일로부터 90일까지 4대 사회보험 포털사이트(www.4insure.or.kr)의 [발급사실확인] 메뉴에서 확인 가능합니다.

Fig. 301 김○수 사원 4대 사회보험 가입증명서

참여기관인 인버터기술(주)은 1차년도 고용실적 1명의 김○민 사원을 2018년 3월 19일 채용하였으며, 본 과제 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발” 개발 업무를 진행하였다.

특히 펌프일체형수문 시스템의 통합제어반 제작을 진행하였으며, 수문 구동 및 제어 알고리즘을 개발하였고 2차년도의 통신용 통합제어보드 개발과 펌프일체형수문 시스템의 IoT기술 개발을 진행하였다. Fig. 302은 김○민 사원의 4대 사회보험 가입증명서를 나타낸다.

주관기관인 하서산업(주)은 2차년도 고용실적 1명의 양○석 사원을 2018년 09월 01일 채용하였으며, 본 과제 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발” 개발 업무를 진행하였다. 특히 성능시험용 펌프 수조개발에 있어 장비 설계 및 제작을 진행하였다. 3차년도 진행에 있어 펌프일체형수문 시스템의 통합 및 조립, 성능시험을 하였고 Fig. 304는 양○석 사원의 4대 사회보험 가입증명서를 나타낸다.

출력일자 : 2018.12.27 13:58

4대 사회보험 사업자 가입자 명부

발급번호: 20181207558218 | 발급일자: 2018-12-07 13:58 | 사업장 관리번호: 8168120298

구분: 국민연금 | 건강보험 | 산재보험 | 고용보험

사업자등록번호: 416-81-32201 | 416-81-32201 | 416-81-32201 | 416-81-32201

사업장 명칭: 하서산업(주) | 하서산업(주) | 하서산업(주) | 하서산업(주)

■ 가입 내역(발급일자 현재기준) 1 / 3

연번	주요(위탁인) 등록번호	성명	가입내역			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1		장 현	2017.03.01	2017.03.01	2017.03.01	2017.03.01
2		김 국	2001.09.25	2001.09.25	2001.09.25	2001.09.25
3		장 오	2010.08.18	2010.08.18	2010.08.18	2010.08.18
4		박 종	2011.03.25	2011.03.25	2011.03.25	2011.03.25
5		유 종	2012.01.01	2012.01.01	2012.01.01	2012.01.01
6		최 환	2018.11.24	2018.11.24	2018.11.24	2018.11.24
7		박 승	2013.06.20	2013.06.20	2013.06.20	2013.06.20
8		황 근	2016.03.20	2016.03.20	2016.03.20	2016.03.20
9		김 영	2018.09.27	2018.09.27	2018.09.27	2018.09.27
10		최 태	2010.10.01	2010.10.01	2010.10.01	2010.10.01
11		김 경	2015.09.01	2015.09.01	2015.09.01	2015.09.01
12		김 현	2009.07.13	2009.07.13	2009.07.13	2009.07.13
13		오 현	2018.01.01	2018.01.01	2018.01.01	2018.01.01
14		이 백	2018.11.26	2018.11.26	2018.11.26	2018.11.26
15		조 서	2013.09.23	2013.09.23	2013.09.23	2013.09.23
16		김 영	2014.02.13	2014.02.13	2014.02.13	2014.02.13
17		김 우	2017.08.01	2017.08.01	2017.08.01	2017.08.01
18		김 호	2018.09.27	2018.09.27	2018.09.27	2018.09.27
19		장 기	2013.04.01	2013.04.01	2013.04.01	2013.04.01

Fig. 304 양○석 사원 4대 사회보험 가입증명서

참여기관인 인버터기술(주)은 2차년도 고용실적 2명의 이○원 사원을 2019년 1월 11일, 최○홍 사원을 2019년 4월 3일에 채용하였으며, 본 과제 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발” 개발 업무를 진행하였다. 특히 펌프일체형수문 시스템의 통합제어반 제작을 진행하였으며, 수문 구동 및 제어 알고리즘을 개발하였다. 3차년도에는 빅데이터 분석 활용 수립 및 통합 원격모니터링 및 제어시스템의 성능시험을 검증하였고 Fig. 305은 이○원, 최○홍 사원의 4대 사회보험 가입증명서를 나타낸다.

참여기관인 인버터기술(주)는 3차년도 고용실적 2명의 김○석 사원을 2020년 02월 17일, 김○미 사원을 2020년 05월 25일에 채용하였으며, 본 과제 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발” 개발 업무를 진행하였다. 3차년도 연구개발로 빅데이터 분석 활용 수립 및 통합 원격모니터링 및 제어시스템의 성능시험을 검증하였다. Fig. 307은 김○석, 김○미 사원의 4대 사회보험 가입증명서를 나타낸다.

사업장 가입자 명부					
발급번호 : JGD0654202102610			Page : 1/1		
※「건강보험 사업장 가입자명부」는 발급일 현재까지 가입 신고된 가입자 중 발급대상으로 요청한 가입자의 명부로「공공기관의 정보공개에 관한 법률 제10조」에 의거 발급 관리되고 있습니다.					
※ 본 사업장 가입자명부는 반드시 국민건강보험업무를 위해서만 사용하여야 하며, 또한「사업장 가입자명부」는 개인정보이므로 외부로 유출되어 개인의 이익이 침해되는 경우 법적인 책임은 공단에 있지 않음을 알려드립니다.					
사업장명	인버터기술(주)			사업장관리번호	단위사업장기호
단위사업장명				40881748690	000
입력번호	종번번호	주민번호	성명	자격취득일	자격상실일
1	80958283893		김 석	2020-02-17	
2	80994000042		김 미	2020-05-25	
3	80935176871		김 영	2019-10-16	
4	80952759709		김 정	2019-12-23	
발급일 기준 사업장 가입자(상실자) 발급인수 총 4 명					
※ 주민등록번호중 일부는 개인정보보호를 위해 특수문자로 대체하였습니다.					
2020.10.26					
국민건강보험공단 이사장					

Fig. 307 김○석, 김○미 사원 4대 사회보험 가입증명서

참여기관인 목포대학교 산학협력단은 3차년도 박사과정의 신규 연구원인 오○빈, 이○람을 2020년 3월 2일 입학하였으며, 본 과제 “농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발” 개발 업무를 진행하였다. 펌프일체형수문 시스템의 유동 해석을 진행하였다. 3차년도 진행에 있어 펌프일체형수문 시스템의 성능시험을 진행하였다. Fig. 308는 오○빈, 이○람 연구원의 재학증명서를 나타낸다.

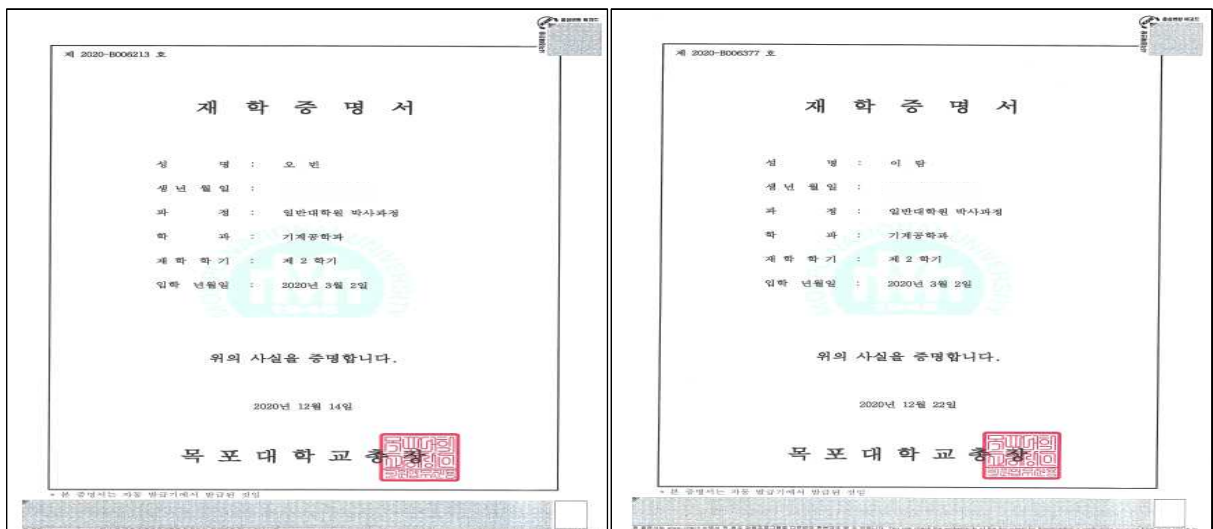


Fig. 308 오○빈, 이○람 연구원 재학증명서

2-25. 사업화 매출실적

하서산업(주)는 Surayaba Muncipal City 2020 수출계약명으로 펌프 3대 수출계약으로 당해 연도 수출액 162,000,000원으로 인도네시아에 수출 계약하여 제작은 완료하였으며 코로나19로 인한 납품일정을 조율 중에 있다. 펌프 3대를 납품한 실적을 작성하였으며 간접적 매출로 100%의 기여도를 인정되어 간접매출 162,000천원을 달성하였다.(Fig. 309 참조)

PT. NAWATA HIDRO ENERGI

PURCHASE ORDER

DATE: 05 March 2020

P.O # PO-SLS0320005

VENDOR

Hasuh Industries Corporation

Hwasun-gun, Jeonnam, 58143

Korea

T: +82-61- ; F: +82-

SHIP TO

PT. Nawata Hidro Energi

GRAHA NAWATA

East Java - Indonesia

T: (+62) 31 F: (+62) 31

TERMS	SHIP VIA	F.O.B.	DELIVERY TERMS
Urgent	Sea freight	Korea	75 days ex works

ADDRESS CORRESPONDENCE TO

Name: Didiet Andi Rahardjo email: didietandi@outlook.com Phone #: +62 (82) 1234 125 65

ITEM #	DESCRIPTION	QTY	UNIT PRICE	DISCOUNT	TOTAL
1	HAPV-1,200-250-10-T50-380 Submersible Axial Pump Ø1,200mm x 250kW x 10P x F x 50Hz	3	\$ 45,000	0.00%	\$ 135,000
Price includes: - Monitoring Unit (HSMU-1 & HSMU-2) - Others pumps accessories (Chain & Tools) - Test certificate - Certificate of Origin (COO)					
SUBTOTAL					\$ 135,000
OTHER					\$ -
TOTAL					\$ 135,000

Other Comments or Special Instructions

- Technical spec. refers to the proposal: HL-0213-1/2020
- Unit price refers to the proposal: HL-0213-1/2020
- Term of payment as in the sole distribution agreement

<첨부>

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과제명	농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IOT기반 스마트 펌프일체형 수문개발		
주관연구기관	하서산업(주)	참여기관	인버타기술(주), 목포대학교
연구책임자	김 국	연구기간	2017년11월~2020년11월(총3년)
기업 정보	기업 매출 총액 : 6,752,973,402원		
관련 실적	특허(✓), 표준(), 소프트웨어(), 디자인(), 상표(), 기타(상세)		
	명칭(번호) : 스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법(특허등록 10-20159898호)		
기술실시 명칭 : 스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법			
해당제품의 매출 실적			
제품명	제공사건	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)
펌프		국내	2.4%
		국외		162,000,000
<p>* 첨부 : 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자료(매출전표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등)</p> <p>상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.</p>			

2020년 11월 18일

연구책임자 : 하서산업(주) 김 국 (서명 또는 인)




Authorized by Didiet Andi Rahardjo Date 05/03/2020

Fig. 309 수출계약서 및 매출확인서

인버터기술(주)는 인버터제어반에 대한 국내매출로 354,365,472원으로 실적을 달성하였으며
간접적 매출로 60%의 기여도를 인정되어 간접매출 354,365천원을 달성하였다.(Fig. 310 참조)

<첨부4>

농림축산식품 연구개발과제 매출 확인서

과제명	농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발		
주관연구기관	하서산업(주)	참여기관	인버터기술(주)
연구책임자	이철	연구기간	2017년 11월 ~ 2020년 11월 (총 3년)
기업 정보	기업 매출 총액 : 3,486,417,561원		
관련 실적	특허(<input checked="" type="checkbox"/>), 품종(), 소프트웨어(), 디자인(), 상표(), 기타(상세)		
	명칭(번호) : 1) 인버터 제어반의 과열 방지 및 2중 전원 공급 장치 (특허번호: 제 10-2171660호) 2) 인버터 제어 방식을 이용한 펌프 일체형 수문제어 시스템 (출원번호: 10-2018-0118810)		
	기술실시 명칭 :		
해당제품의 매출 실적			
제품명	제품사진	매출액(원)	해당 과제의 매출액 기여율(%)
인버터제어반		국내 354,365,472원	60%
* 첨부 : 당해연도 매출액을 확인할 수 있는 자료(매출전표, 세금계산서, 매출원장, 수출계약 등) 상기와 같이 R&D 기술을 사업화하여 발생한 매출액을 보고합니다.			

2020년 11월 18일

연구책임자 : 하서산업(주) 김 국 (서명 또는 인)

Fig. 310 국내 매출확인서

2-26. 기술이전실적

연구개발을 통한 기술이전실적은 기술개발을 통해 개발된 스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법에 대한 특허 등록된 내용을 전용 실시권으로 기술이전 실적을 작성하였으며 계약을 체결하였다.(Fig. 311 참조)

특허권 전용실시권 설정계약서

특허권자 하서산업주식회사(이하 갑이라 한다)과 실시권자 에이테크주식회사(이하 을이라 한다)는 갑이 권리를 보유하고 있는 특허의 실시와 관련하여 다음과 같이 계약을 체결한다.

제1조 [목적]
본 계약은 제2조에 기재된 갑의 특허권(이하 '본건특허'라 한다)에 관하여 을에게 전용실시권을 부여하고 을이 대가를 지급함에 있어 당사자간의 권리와 의무를 규정하는 것을 그 목적으로 한다.

제2조 [특허권의 표시]
계약의 목적이 되는 본건특허의 내용은 다음과 같다.
전용실시 특허권 1. 제 1900678호 스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법

제3조 [실시권의 등록]
같은 을에게 설정한 본건특허 실시권의 등록에 필요한 서류 및 절차에 적극 협조하여야 한다.

제4조 [실시권의 범위]
들이 본건특허를 실시하는 권리의 범위는 다음과 같이 한다.
1) 실시지역: 대한민국
2) 계약기간: 계약일로부터 2023년 09월 30일까지 (단, 계약만료일까지 재계약을 체결하지 않은 경우 계약만료로서 본 계약은 확정적으로 종료된다.)

제5조 [실시보고]
을은 갑에 대해서 매년 12월 말일로 종료하는 1년간의 본건특허 실시현황을 그 다음 달 15일까지 문서로 보고한다.

제6조 [대가]
1) 을은 전용실시권 이전과 동시에 기술사용료 일금육백만원(W6,000,000-부가세별도)을 갑에게 지불해야 한다.(제10조 기술자료 제공 및 교육비)
2) 을은 갑에 대해 본건특허의 대가로서 본건특허를 사용한 제품 판매로 발생한 총매출액의 3%에 해당하는 금액을 지불한다.
3) 을은 제5조의 보고 후 15일 이내에 앞항에 기초하여 계산한 대가를 갑에게 송금하여 지불한다.

제7조 [기록의 작성·열람]
1) 을은 제품의 계약수량 기타 제5조 보고의 기초가 되는 사항에 대해 정확한 기록을 작성한다.
2) 을은 갑의 청구가 있을 때에는 언제든지 앞항의 기록을 갑 또는 갑이 지정하는 제3자에게 열람시켜야 한다.

제8조 [재실시권]
을은 사전에 갑으로부터 서면에 의한 동의가 없으면 제3자에 대해 본건특허 실시권을 양도하거나 재실시권을 허락해서는 안 된다.

제9조 [개발발명]
을이 본 계약 기간중에 본건특허에 대해 개발발명 또는 개량고안을 하였을 경우는 그러한 개발이나 발명에 대한 정보를 갑에게 무상으로 제공하며 그 권리를 갑과 공유한다.

제10조 [기술자료 등]
같은 을에 대해서 본 계약 체결 후 30일 이내에 본건특허 실시에 필요한 기술자료(도면 및 시방서)를 개시함과 동시에 을에게 기술지도를 한다.

제11조 [권리보존]
1) 을은 제3자가 본건특허를 침해하였을 때 또는 침해할 우려를 인지하였을 경우 곧바로 갑에게 그 사실을 통지함과 동시에 배제 또는 예방에 대해 갑에게 협력한다.
2) 갑은 계약기간 동안 본건특허에 관한 권리의무를 부담한다. 만약 을이 자신의 비용으로 본건특허의 권리를 위한 조치를 취할 경우 을은 그로 인한 비용을 갑에게 지불하는 대가에서 공제할 수 있다.
3) 을은 어떠한 경우에도 본건특허의 유용성에 대해서 분쟁을 해서는 안 된다.

제12조 [특허표시]
을은 제품, 포장, 카달로그 등에 본건특허의 특허번호를 표시한다.

제13조 [비밀유지]
갑과 을은 본 계약에 기초하여 얻어진 상대방의 비밀을 제3자에게 누설해서는 안 된다.

제14조 [실시료의 불반환]
같은 어떠한 경우라도 이미 수령한 실시료를 반환하지 않는다.

제15조 [계약의 해제·해지]
다음의 사유 중 어느 항목이 발생하였을 경우 계약상대자에게 통지최고를 하지 않고 곧바로 본 계약을 해제하거나 해지할 수가 있다.
1) 특허청에 의하여 본건특허가 취소된 경우
2) 을이 제6조의 대가를 15일 이상 지불하지 않은 경우
3) 정당한 이유 없이 본 계약 체결 후 1년 이내에 본건특허 실시를 하지 않은 경우
4) 을이 본 계약의 실시권을 포기한 경우
5) 을의 채무불이행으로 자압, 가차압, 가처분 등 강제집행을 받은 경우
6) 을이 파산, 회생 또는 회사경쟁을 제기하거나 이를 제기 사유어진 경우
7) 기타 본 계약의 중대한 사항을 위반한 경우

제16조 [계약의 수정]
본 계약은 쌍방의 권한 있는 대표자가 서면에 의하여 수정되지 않는 한 수정 보장될 수 없다.

제17조 [분쟁해결]
계약의 집행중 분쟁은 상호 원만하게 해결한다. 그러나 이해갈 분쟁은 갑의 소재지 관할법원의 관할에 따른다.

이상 본 계약의 성립을 증명하기 위해 본 계약서 2통을 작성하고 갑과 을은 기일날인 후 각각 1통씩을 보유한다.

계약체결일 2020년 09월 25일

특허권자 전남 화순군 동면 동농공길 에이테크주식회사 (인) 


실시권자 김 국 (인) 
에이테크주식회사 대표이사 김 필 (인) 

Fig. 311 기술이전 계약서

2-27. 사업화성과 및 매출실적

○ 사업화성과 및 매출실적

- 기술개발 관련 시장 현황

1. 국내외 시장규모

- 현재 물 시장은 세계적으로 노후 인프라의 교체·개량, 환경기준 강화, 재이용 및 자원회수, 에너지 효율성 향상 등으로 지속적인 확대가 이루어지고 있으며, 세계 인구증가와 도시화 및 산업화에 따른 물수요 증가와 공급 부족으로 세계 물 시장은 연평균 4.2%의 성장이 예상된다.(UN, OECD 환경전망 등)(Fig. 312 참조)
- 국내의 물 시장은 세계 12위(GWI 2018)의 규모로 세계 물 시장의 성장률에 비하여 낮은 2.6%의 성장이 전망되고 있으며, 해외수출 참여율은 4.5%에 불과하고 물 산업 수출액이 매출액에서 차지하는 비율은 4.7%(1.7조원)로 내수시장 의존도가 높지만, 상하수도 등 인프라 완비('17년 상하수도 보급률은 각각 99.1%(상수도), 93.6%(하수도))로 향후 내수 시장 성장정체가 우려된다.



Fig. 312 세계 물 시장 규모 및 전망

(출처: GWI, Global Water Market 2018)

- OECD의 향후 SOC 투자 전망에 의하면 물 산업이 차지하는 비중이 더욱 증대될 것으로 예상하며, 2000~2010년에는 통신·전력부문이 전체 SOC 투자의 약 50%를 차지하였으나, 2020~2030년에는 통신과 전력에 대한 투자 비중은 약 20% 수준으로 줄어드는 반면 수자원은 전체 SOC 투자의 57%를 차지할 것으로 전망된다.
- 꾸준한 성장이 예상되는 세계 물 시장에 비해 낮은 성장이 전망되고 있는 국내 물 시장이지만 중국을 포함한 아시아 시장은 경제 성장과 더불어 빠르게 성장하여 세계 물 시장에 자리매김 할 수 있는 가능성이 있고, 한국의 업체에게는 매우 좋은 시장선점 기회로 판단된다.(Table 43 참조)

Table 43 글로벌 권역별 물 관리 시장규모(2016) 및 성장률(2013~2020)

권역	공공(상수+하수)		산업(산업용수 및 폐수)	
	시장규모(억불)	성장률(%)	시장규모(억불)	성장률(%)
아시아/태평양	2,199	7.6	371	4.6
유럽	1,546	2.9	310	3.7
아메리카	1,533	3.0	583	3.5
중동	313	8.8	53	4.5
아프리카	187	6.0	25	4.7
기타	7	4.7	16	4.3
합계	5,785	3.1	1,358	2.5

- EU를 중심으로 추진되고 있는 상하수도서비스 사업은 자유무역 대상으로 포함하고 있으며, ISO의 상하수도서비스의 국제표준화(ISO/TC 224) 제정을 포함하여 세계적으로 물산업의 개방성을 강화할 것으로 전망된다.
- 물산업의 성장성 및 중요성이 날로 커져가는 가장 근본적인 이유는 공급의 자연적 한계와 수요의 급증으로 인한 물 부족 문제 때문이며, 세계 물 수요는 인구증가, 도시화 진전 및 생활수준 향상 등에 따라 계속 증가할 전망이다.
- 세계적으로 인구 및 소득 수준의 증가 도시 확장 등으로 물 수요는 기하급수적으로 늘어나지만 공급은 한정돼 있어 기후변화 시대에 만성적인 물 부족 현상이 심화될 것으로 예상된다.
- 2017년 12월 말 기준으로 시설물 유형별 고령화율(제1종 및 제2종시설물 평균)은 댐, 공동구, 항만, 하천, 상하수도 등의 순으로 높ی 나타나고 있어 배수·하수의 시설물 노후화 비율은 30년 이상 노후한 고령화 15.6%로 현재까지 국가 주요 시설물의 고령화율은 높지 않은 편이나, 향후 20년 후에는 고령화율이 약 30% 이상으로 증가할 것으로 예상되고 있다.(Fig. 313 참조)

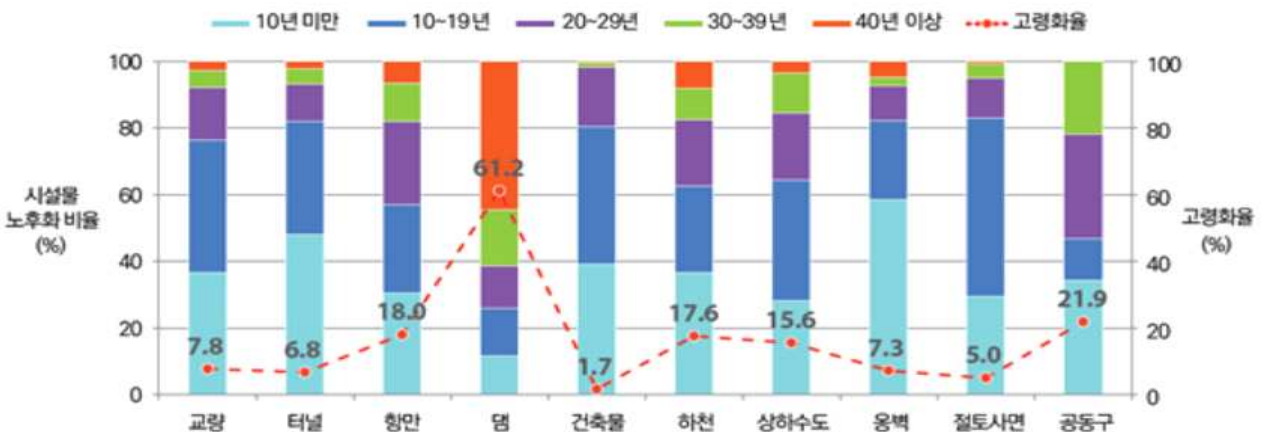


Fig. 313 유형별 시설물 노후화 비율 현황

(출처: 한국시설안전공단, 국회입법조사처제출자료 2018)

- 전문 조사기관인 GWI(Global Water Intelligence)에 따르면 2018년도 가장 높은 부분을 차지하는 상수도망 분야에서는 그 규모가 \$5,000Million에 이를 것으로 전망되고 있다.(Fig. 314 참조)

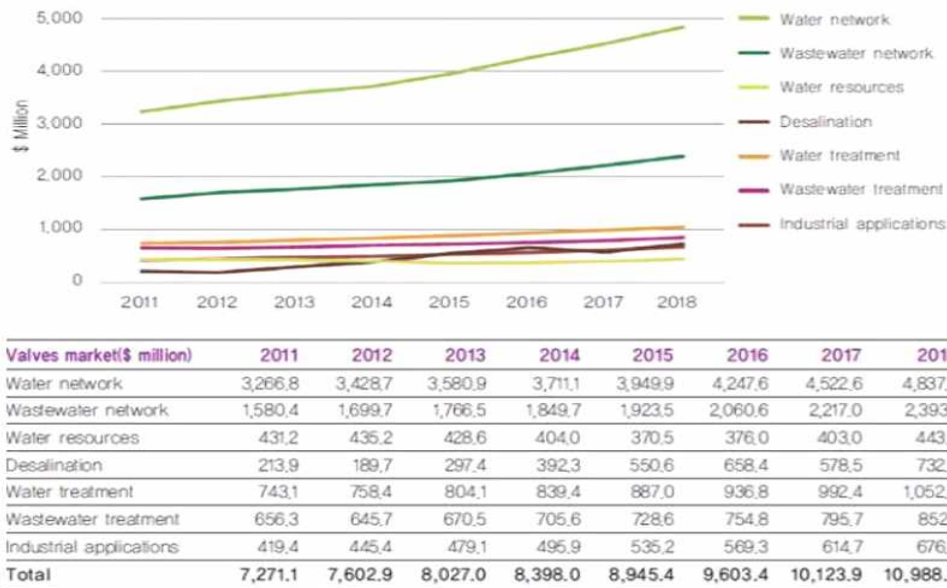


Fig. 314 세계 펌프시장 현황 및 전망

(출처 : Global Water Intelligence)

- 펌프와 관련된 국내 시장규모의 경우 '16년 기준으로 빌딩서비스, 수처리, 각종 산업용을 망라해 총 1조억 원에 이르는 것으로 확인되며, 대형 3사인 윌로펌프, 한국그런포스펌프, 효성굿스프링스 社에서 50% 가량의 시장점유율을 보인다.
- 매출액의 경우 2014년 신용평가사고시 기준으로 윌로펌프 1,664억 원, 그린포스펌프 600억 원, 효성굿스프링스 2,910억 원 등으로 총 5,174억 원 규모로 한일펌프 등 100여개 국내 중소 중견기업에서 4,800억원 수준의 시장을 점유하고 있다.(Fig. 315 참조)



Fig. 315 국내 펌프시장 점유율

(자료 : 부산경제진흥원, 2016)

구분		현재의 시장규모(2019년)	예상 시장규모(2020년)
세계 시장규모	펌프산업	12,968,147	13,875,917
	펌프 시스템	8,341,740	9,592,880
국내 시장규모	펌프산업	1,200,000	1,284,000
	펌프 시스템	147,200	178,100
산출근거		* 펌프 시장규모 12조 9천억 원(세계), 1조 2천억 원(국내) (출처 : 세계펌프시장규모 (GWI), 국내 펌프시장규모(부산경제진흥원) * 펌프시장 3년간 평균 성장률 7% 가정(출처 세계펌프시장규모 (GWI)) * 고효율 펌프관련 펌프시스템 국내외 시장규모 (출처 중소기업_기술로드맵) : 세계 및 국내 모두 고효율 펌프 시장의 확대에 따라 에너지 절감을 위한 고효율 펌프에 대한 수요가 지속적으로 증대	

- 고효율 펌프 관련 산업은 국가간 기업간 경쟁이 치열한 분야로 아직까지 정부 정책의 의존성이 높은 사업이며 세계 각국 정부의 기존 펌프 대체 및 배수펌프의 활성화 시책에 따라 시장이 빠르게 개화되고 있다.
- 고효율 펌프 제품은 에너지 절감 및 안전과 성능 등이 매우 중요한 요소임에 따라 한국 미국 유럽 일본 등은 자국의 현실에 안전 인증 규격(KS, CE, UC, VDE 등)을 제시하여 자국 회사의 보호와 세계적인 표준화를 선도하기 위해 치열한 경쟁을 하고 있다.
- 세계 고효율 펌프의 시장 규모는 급격한 성장률이 예상됨에 따라 모든 산업 부분으로 영향이 전파될 것으로 전망이며 국내 고효율 펌프의 시장 또한 고효율에너지 기자재 보급 촉진에 관한 규정에 따라 급속도로 확대 될 것으로 예상된다.(Fig. 316 참조)



(자료 : 산업단지 기술이전페어)

Fig. 316 국내·외 펌프시스템 시장규모

2. 시장진입을 위한 단계적 전략

[기술개발 제품 실용화]

- 제품화 계획은 본 연구개발의 추진일정에 맞추어 농업용수로 공급이 가능한 배수펌프를 적용한 고양정 수중펌프를 2020년 11월까지 개발을 완료하여 2021년 3월부터 본격 생산하여 상품화할 계획이다.

[기술개발 제품 사업화]

- 중계펌프장에 적용중인 수중펌프의 성능저하 노후화 제품을 대체하고 농업적용, 하수처리장, 배수펌프장, 중계펌프장에 납품할 예정이며 지방자치단체마다 연간 100대 이상의 수요가 예상된다.

[시장진입 및 수출전략]



Fig. 317 시장진입을 위한 단계적 전략

- **【1단계 : 2017 ~ 2020】** IoT기반 스마트 펌프일체형수문 개발 및 신뢰성 확보
 - ✓ 기술개발을 통해 제작된 시제품에 대한 성적서를 통하여 장비 신뢰성 확보 예정
 - ✓ 국내 업체들은 고객대응이 용이하지 못하고 제품 신뢰성이 확보가 매우 어려워 시장 확대가 어려운 상황
 - ✓ 따라서 1단계에서는 배수시설관련 업계에 기술개발 장비의 공정개선 효과에 대한 홍보 및 시연을 통해 기술선도기업으로서의 입지를 강화할 예정이다.
- **【2단계 : 2020 ~ 2021】** 양산공간 확보, 양산설비 구축을 통한 국내시장 점유율 확대 및 시장지배력 강화
 - ✓ 주관기관의 생산라인을 IoT기반 스마트 펌프일체형수문 생산에 맞추어 확대·재구축함으로써 양산에 대비함.

- ✓ 시제품 생산, 필드테스트 및 보완, 양산과정을 통해 국내시장의 점유율을 확대하고 시장지배력을 강화해 나감.
- 【3단계 : 2021 ~ 2022】 해외 물 시장에 완전한 진입을 위한 마케팅 및 판매
 - ✓ IoT기반 스마트 펌프일체형수문 개발 및 양산기술을 토대로 동남아, 중국, 아프리카지역을 대상으로 제품홍보 및 마케팅을 집중할 계획임.
 - ✓ 지역별 마케팅 결과를 바탕으로 진출의 우선순위와 진출전략을 수립·실행하여 글로벌 강소기업으로 도약함.

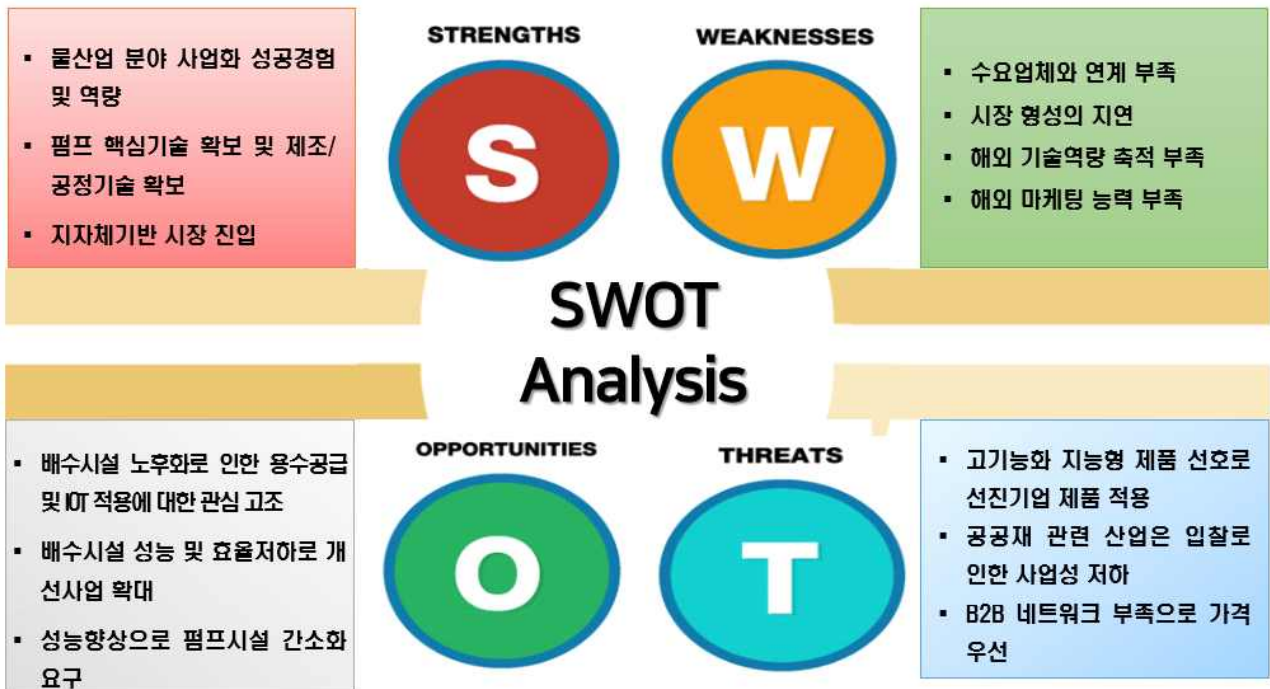


Fig. 318 시장진입을 위한 분석 - SWOT 분석

- 사업화 성과

항목	세부항목			성 과
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	5.1억원
			향후 3년간 매출	5.1억원
		관련제품	개발후 현재까지	억원
			향후 3년간 매출	억원
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 7 % 국외 : 1 %
			향후 3년간 매출	국내 : 15 % 국외 : 2 %
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : % 국외 : %
			향후 3년간 매출	국내 : % 국외 : %
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		10위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		5위

- 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	3년			
	소요예산(백만원)	500			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		5.1	26	40	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	7	15	25
		국외	1	2	5
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획	데이터 베이스 구축을 기반으로 완전 자동화 시스템 개발			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	-	-	-	
	수 출	1.6	3	5	

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

3-1. 목표

구분	내용		
최종목표	항목	목표치	평가방법
	권양하중	15ton이하	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	소 음	85dB이하	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	권상속도	0.4m/min±10%	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	전 양 정	3.8m±5%	공인기관 시험성적서 (KS B 6321, KS B 6301, KS B 6302 기준)
	펌프출력	45kW이하	
	펌프효율	75%이상	
	토 출 량	33m ³ /min이상	
	펌프직경	500mm±5%	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	수문 규격	가로 3500mm±5% 세로 2400mm±5%	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	과부하 검출	11sec이하	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	모니터링 오차율	5%이하	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	모터부하	15kW이하	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	과전류 검토	97%이상	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	헌팅제어	98%이상	공인기관 시험성적서 (의뢰자 제시방법)
	특허출원	5건	특허출원증
	특허등록	3건	특허등록증
	논문게재	3건	논문집 제시
종료후 매출	24억	매출 실적서	

o 주요 기능

- 펌프일체형수문 시스템의 이수 및 치수 수자원 관리 기능
- 원격 모니터링/제어시스템 통합 유지관리 시스템
- PC 및 스마트폰 어플리케이션 실시간 모니터링/제어 및 SMS 알림 서비스
- 빅데이터 분석을 통한 고장 원인 파악 및 실시간 피드백

o 주요 성능치

- 수문 시스템 : 펌프일체형수문용 수문 시스템 개발

항목	권양하중	권상속도	소음	모터부하
개발목표치	15ton이하	0.4m/min±10%	85dB이하	15kW이하

- 펌프일체형수문용 펌프 : 배수용 배수펌프 개발

항목	토출량	전양정	펌프효율	모터출력
개발목표치	33m ³ /min 이상	3.8m±5%	75%이상	45kW이하

- IoT 기반 제어시스템 : 원격 모니터링 및 제어시스템 개발

항목	모터 과전류 검토	과부하 검출 시간	헌팅제어	모니터링 오차율
개발목표치	97%이상	11sec이하	98%이상	5%이하

- 수출실적 : 펌프일체형수문의 마케팅을 통한 수출실적 1.5억원 달성

수출지	수출액			
	3차년도	종료 1년	종료 2년	종료 3년
동남아지역	0.5억원	0.2억원	0.3억원	0.5 억원

o 핵심 기술

- 펌프일체형수문 및 구동방법 (국내 최초 현장적용, 자연재해 저감 신기술 지정)
- IoT 기술을 적용한 펌프일체형수문 시스템 (원격 제어 및 원격모니터링-국내 최초 개발 예정)
- 빅데이터 분석으로 펌프일체형수문의 고장원인 파악(국내 최초 도입 예정)
- 빅데이터 분석을 통한 캐비테이션 및 헌팅현상 저감(국내 최초 도입 예정)

o 적용범위

- 노인인구 증가로 실시간 유지보수가 어려운 농어촌 지역의 수문관리 가능
- IoT 기반 기술을 적용하여 펌프일체형수문 시스템의 실시간 운영 및 유지관리 시스템을 통한 해외 마케팅 경쟁력 강화
- 빅데이터 분석을 통해 실시간으로 고장이력 파악 가능한 설비
- 원격 모니터링 시스템을 통해 관리자와 실시간 피드백 가능한 시스템 개발
- 보안유지가 필요한 관공서의 원격제어 시스템의 차별성
- 현재 보급되어있는 펌프일체형수문에 적용 가능한 기술개발
- 펌프일체형수문을 통해 신개념 배수설비 제공 및 수자원 관리 강화
- 시공지침 개발을 통해 재해 발생 후 배수시설 파손시 공사기간의 감축으로 인해 2차 침수 피해 방지
- 통합관리 시스템 개발로 수출경쟁력 확보

3-2. 목표 달성여부

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교 육 지 도	인 력 양 성	정책 활용·홍보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표	정 책 활 용			홍 보 전 시		
												SC I	비 SC I						논 문 평 균 IF	
단위	건	건	건	건	만 원	건	억 원	억 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	5	20		5	5	10	10	5	10					10		10		10		
최종목표	5	3		1	6	2	26	1.5	4			1	2	3		3		3		
1차 연 도	목 표 실 적	2	0						2					1		1		1		
	실 적	2	1						2					2		2		1		
2차 연 도	목 표 실 적	2	1						2			1		1		1		1		
	실 적	2	1						3			1		2		1		2		
3차 연 도	목 표 실 적	1	2		1	6	1	2	0.5			1	1	1		1		1		
	실 적	1	2		1	6	1	2	0.5			1	1	1		1		1		

구분	수행기관	연구개발 성과목표		
		1차년도	2차년도	3차년도
특허출원	하서산업(주)	수문 개폐기 구동 메커니즘 관련 출원 1건	펌프일체형수문 관련 개폐기 출원 1건	원격제어가 가능한 펌프일체형수문 시스템 출원 1건
	인버터기술(주)	수위레벨에 따른 펌프 구동 알고리즘 출원 1건	홍수 제어 시스템 출원 1건	-
특허등록	하서산업(주)	-	수문 개폐기 구동 메커니즘 관련 등록 1건	펌프일체형수문 개폐기 관련 등록 1건
	인버터기술(주)	-	-	수위레벨에 따른 펌프 구동 알고리즘 등록 1건
총매출액	하서산업(주)	-	-	국내·외 매출25억
기술실시(이전)	하서산업(주)	-	-	펌프일체형 수문 시스템 기술 실시 1건(6,000천원)
고용창출	하서산업(주)	신규채용 1명 (전기설계 및 제작)	신규채용 1명	-
	인버터기술(주)	신규채용 1명 (PCB제작 및 알고리즘)	신규채용 1명	-
학술성과	목포대학교	국내·외 학술대회 1건	국내·외 학술지 1건 국내·외 학술대회 1건	국내·외 학술지 2건 국내·외 학술대회 1건
인력양성	목포대학교	석사과정 진학 1명	석사과정 진학 1명	박사과정 진학 1명
해외 홍보전 참관 및 참가	하서산업(주)	박람회 참관 1건	박람회 참가 1건	홍보전 참관 1건
	인버터기술(주)	박람회 참관 1건	박람회 참가 1건	홍보전 참관 1건

4. 연구결과의 활용 계획 등

4-1. 연구개발 결과의 활용방안

- 기존 수문 설치시 발생하는 행정처리에 많은 기간이 소요되는 배수펌프장이나 철도, 주요 기간시설이 위치해 시설부지 확보가 불가능한 곳, 배수로 선형 변경 등으로 공사비가 증가되어 용지확보가 불가능한 곳, 수해재난지역으로 긴급공사가 필요한 경우, 재해예상지역으로 저지대 상습침수지역 등 재해예방사업에 적용할 예정이다.
- 현재 개발하고자하는 펌프일체형수문은 저수지 취수시설에 대한 현대화의 일환으로 제작·설치된 것으로서 설계기술, 제작기술, 시스템 구성 기술, 현장 설치기술등의 노하우를 이용하여 내구성과 효율성을 갖춘 시스템을 보급할 수 있으며, 이러한 펌프일체형수문의 기술이전을 통하여 시범사업 추진과 함께 일반 시군 등 지방자치단체에도 펌프일체형수문의 특징을 고려하여 보급한다.
- 수리시설물의 현대화 및 농촌환경의 개선이라는 목적에 보면 현재 개발하고자 하는 수문 기술을 수리시설물에 접목시킴으로써, 향후 국가적으로 수리시설의 현대화를 추진시 정책자료로 활용하는 것이 가능하다.
- 수문의 자동화 추세에 따른 수문의 위치제어 등으로 인터넷, CCTV, 통제실의 원격 및 원격 조종의 용이성이 요구되며, 이를 위해 작동시스템의 개발과 수위, 수문의 위치, 주변 환경여건을 고려한 효율적인 제어시스템과 유동 및 구조 해석으로 제품의 안전성 및 최적 설계의 연구결과물로 국내뿐만 아니라 해외 시공처에도 적용함으로써, 시제품의 파급 효과를 극대화한다.
- 침수발생원인 및 문제점으로 계절적인 요인(장마, 홍수, 태풍), 기후적인 요인(집중호우-예상불가) 고도화된 도시화(포장, 급경사), 댐 부하감소를 위해 홍수시에도 방류 및 수방설비를 관리부처마다 개별관리가 이루어져야 한다.
- 이에 대한 대책으로 홍보 활동 강화(설계 반영), 장마, 홍수시 권역별 IOT기반 구축하여 관리, 집중호우 대비 학교 운동장, 공원등 우수시설 설치. 도시화에 따른 홍수대책 수립(경사지 보강, 포장의 다변화) 및 홍수시 수방시설 IoT 기반 사전 대응함으로서 개발된 기술의 활용이 가능하다.

4-2. 기대성과 및 파급효과

■ 기술적 측면

- 펌프일체형수문을 개발 설치함으로써, 수리시설물 및물관리 기술의 현대화 및 농업용 저수지 물관리의 무인 자동화 실현에 기여하며, 우리나라 수리 시설의 기술력 향상 및 국제 경쟁력 강화를 도모할 수 있을 것으로 기대된다.
- 국가하천의 개수뿐만 아니라 국가하천과 비교하여 개수율이 낮은 지방하천의 홍수피해를 최소화하기 위한 투자가 활발히 이루어질 것으로 예측되기 때문에 본 기술개발 장비의 활발한 적용이 기대되고 기능적으로는 내수 및 외수위 변화에 따라 펌프일체형수문이 상하 또는 수평으로 개폐 또는 작동하면서 토출량 및 내수배제 용이성을 확보가 가능하다.
- 제방 침식 및 함몰, 구조물 붕괴예방으로 기후변화에 의해 발생하는 자연재해로부터 예방 및 대응할 수 있는 기술과 기존 노후수문의 교체설치가 용이하여 작업호환성이 좋아 구조물 공기 단축으로 시공비 절감에 따른 경제성 등 장점 기술이 정비사업과 노후 수리시설 정비사업 적용에 적합한 기술로 꾸준한 수요가 증가한다.
- 기존 펌프일체형수문의 문제점인 안정적이농업용수 확보가 어렵고 펌프일체형 수문의 고장원인 분석하기 위한 데이터 확보를 IoT시스템이 도입이 되어있지 않아 고장원인에 대한 데이터분석이 되지 않고 있고, 또한, 스마트폰 어플리케이션으로 실시간 모니터링 및 제어할 수 있는 방안이 없다.
- 펌프일체형수문은 설비의 간소화를 통해 공사기간은 최소 10%부터 최대 40%까지 단축이 가능하며, 긴급복구공사가 가능하기 때문에 빠른 대응으로 2차 피해 저감효과가 기대되고, 또한 공정간소화로 유수지가 불필요하기 때문에 환경피해 및 NIMBY현상이 극복가능하며, 토지매입 및 설비절감을 통한 예산저감까지 동반 감소가 기대된다.(Fig. 319 참조)



Fig. 319 펌프일체형수문 시스템 개발을 통한 기술 파급효과

■ 경제적 측면

- 기존 배수펌프장의 설치 및 운영상의 문제점을 개선하기 위해 고안된 것으로 수문에 펌프를 일체화함으로써 각각 별도로 설치하는 경우에 비해 공사비 절감 (30-50%), 공사기간 단축 및 부지확보가 용이할 것으로 예상되기 때문에 타사제품보다 경제적으로 우수함을 인정받았다.
- 펌프일체형수문은 제진기 설치를 통해 하천에 부유하고 있는 수질오염을 예방하고, 동시에 원하는 하천의 수량을 확보하며, 풍수관련 재해와 관련된 인명의 수해피해를 최소화 시키는 등 향후 지속되는 여러 종류의 수자원 관련 산업을 보호하여 국가 경쟁력에 기여할 것으로 기대된다.
- 신개념 배수설비 적용을 통해 수문 설치 및 관리의 경제력 확보가 가능하고 배수능력의 고효율화, 조작 및 유지관리의 용이, 자연방류능력 제고가 가능할 것으로 기대되며, 신속하고 신뢰성 높게 재난에 대응할 수 있다. 또한 유체수송경로가 짧아 전기용량을 저감시키고, 전기설비 및 유지비가 저감되며, 설비가 타사 제품과 보다 간단하게 구성되어 유지관리가 용이하며 관리비가 저감된다.
- 주관기관은 펌프수문을 시범 설치한 서울시 관악구에 위치한 신림5배수펌프장을 기준으로 본 기술개발 장비의 경제성을 분석한 결과, 용지매입비, 토목건축비, 기계설비 설치비, 전기설비 설치비 등 각 항목들에 대한 정량적인 공사비를 책정함으로써, 36%의 예산저감이 가능할 것으로 기대된다.(Table 44 참조)

Table 44 펌프일체형수문과 기존 배수설비간 경제성 비교

구 분		기존 배수펌프장	펌프일체형수문
시설규모	펌프설비	펌프 Φ900mm × 3대 (90kW - 110톤/분)	배수펌프 Φ900mm × 3대 (90kW - 110톤/분)
공사비	용지매입비	712 백만원 (475m ²)	49.5 백만원 (33m ²)
	토목건축	701 백만원	201 백만원
	기계설비	1,310 백만원	1,370 백만원
	전기설비	365 백만원	355 백만원
사업비 계		3,088.5 백만원 [100%]	1,975.5 백만원 [64%]

■ 경제성 성과 원가분석 - LCC

경제성 비교 [경제성효과원가분석-LCC]

구 분	펌프수문 500A	D사 펌프수문 500A	W사 펌프수문 500A
취득원가	149,876,000 [원]	187,759,000 [원]	189,700,000 [원]
사용원가	13,492,000 [원]	13,492,000 [원]	13,492,000 [원]
폐기원가	-736,000 [원]	-736,000 [원]	-736,000 [원]
합계	162,632,000 [원] 18.9% ↓	200,515,000 [원]	202,456,000 [원]
토목공사비	40,000,000 [원] 60% ↓	100,000,000 [원]	100,000,000 [원]
총계	202,632,000 [원] 34% ↓	300,515,000 [원]	302,456,000 [원]

펌프수문 ➔ **공사비 19% 저렴**
토목공사 ➔ **공사비 60% 저렴**
사업비 34% 이상
예산저감

Fig. 320 펌프일체형수문 시스템 개발을 통한 경제성 비교(LCC)



- 본 제품은 수명기간(내용연수)중 타업체의 비교제품 대비 19%가 감소되어 매우 경제적이며 스마트 감시제어 다기능 펌프의 안전성을 확보하였다.

I. 경제성효과(LCC) 원가분석 총괄표

○ 품명 : 펌프수문(스마트 감시제어유닛 적용) ○ 신청 업체명 : 하서산업주식회사
 [단위 : 원(부가세포함)/대]

— 하서산업주식회사 위촉 —
 "스마트 감시제어유닛 펌프수문" 에 관한
 경제성효과(LCC) 원가분석보고서

2021. 1.

구분	신청제품(A)	비교제품(B)	대비(%) (A/B)	비고
모델명	HPGA-S500A	500A		
규격	B1.16m×H1.25m	B1.20m×H1.30m		
제품수명(내용연수)	30(년)	30(년)		
원가항목	취득원가	149,860,846	187,759,074	79.81
	사용원가	13,429,218	13,429,218	
	폐기원가	-736,802	-736,802	
	합계	162,553,262	200,451,490	81.09
평가	1. 본 신청제품의 수명기간(내용연수) 중 총비용은 타업체의 비교제품 대비 18.91%가 감소되어 매우 경제적이다. 2. 수문본체의 하부와 문틀에 전동차단장치를 장착하여 펌프수문과 수로 구조물의 내구성을 증대시키고, 비상시 수로를 긴급 차단하는 자동강하장치를 구비하여 수위에 따라 자동운전 된다 3. 스마트 감시제어유닛을 적용하여 펌프의 안전성을 확보하였으며, 볼텍스방지 기술을 적용하였으며, 플립밸브는 2중회동링크로 구성되어있 4. 주위환경에 따라 펌프수문을 상하개폐, 회동개폐, 좌우개폐식으로 작동이 가능하다.			
2021년 1월 일 사단법인 한국통계조사연구원 이 사 장 신 동  책임연구원 추 장 				

社團法人 韓國統計調查研究所
 KOREA STATISTICAL SURVEY INSTITUTE



Fig. 321 펌프일체형수문 시스템에 관한 경제성효과(LCC) 원가분석 보고서

붙임. 참고문헌

- (1) Lee, C., Kim, H. S. and Kil, H. G., 2019, "Evaluation on the Blade Vibration Characteristics of a Plastic Axial Flow Fan Using Flow-Structure Coupled Analysis Technique", Korean Society for Fluid Machinery, Vol. 22 No. 5, pp. 21-27.
- (2) Kim W. T., et al., 2015, "FSI(Fluid/Structure Interaction) Analysis of the Ducted Fan Blade for UAV", Proceeding of Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Conference, pp. 41-44.
- (3) Li, H., 2014, "Flow Driven by a Stamped Metal Cooling Fan - Parametric Study on Blade Angles", Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Vol. 4, No. 2, pp. 222-236.
- (4) Kim, W., et al., 2011, "Development of a Low-Noise Cooling Fan for an Alternator Using Numerical and DOE Methods", International Journal of Automotive Technology, Vol. 12 No. 2, pp. 307-314.
- (5) Ahn, C. S. and Kim, K. W., 2013, "Design Optimization of An Axial-Flow Compressor Rotor Using Response Surface Method", Trans. Korean Soc. Mech. Eng. B, Vol. 27, No.2, pp. 155-162.
- (7) Lane, F., 1956, "System Mode Shapes in the Flutter of Compressor Blade Rows", Journal of Aeronautical Sciences, Vol. 23, pp. 54~66.
- (8) Gerolymos, G.A., 1988, "Numerical Integration of the 3D Unsteady Euler Equations for Flutter Analysis of Axial Flow Compressors", ASME 1988 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition, No. 88-GT-255.
- (9) Wolff, J. M. and Fleeter S., 1994, "Euler Analysis of Oscillating Cascade Unsteady Aerodynamics Using Embedded Composite Grids", AIAA paper, No. 95-0077.
- (10) Ji, S. and Liu, F., 1997, "Computation of Unsteady Flows Around Oscillating Blades and Aeroelasticity Behavior", 35th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, No. 97-0161.
- (11) Weber, S., Gallus, H. E. and Peitsch, D., 1997, "A Numerical Approach to Unstalled and Stalled Flutter Phenomena in Turbomachinery", ASME 1997 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition, No. 97-GT-102.
- (12) Bendiksen O. O. and Kousen, K. A., 1987, "Transonic Flutter Analysis using the Euler Equation", AIAA Dynamics Specialists Conference, No. 87-0911.
- (13) Huff, D. L. and Reddy, T. S. R., 1989, "Numerical Analysis of Supersonic Flow Through Oscillating Cascade Sections by Using a Deforming Grid", AIAA Paper, No. 89-2805.
- (14) Eick, C. D., and Liu, J. S., 1997, "Comparisons of Aeroelastic Computer Code Predictions Against Measured Rotor Vibratory Response Data", AIAA paper, No. 97-2750.
- (15) Gao, C., Luo, S. and Liu, F., 2003, "Calculation of Airfoil Flutter by an Euler Method with Approximate Boundary Conditions", AIAA paper, No. 2003-3830.
- (16) Bendiksen, O. O., 1991, "A New Approach to Computational Aeroelasticity", AIAA paper, No. 91-0939.
- (17) Masud, A., 1996, "A Space-Time Finite Element Formulation for Fluid-Structure Interaction", AIAA paper, No. 96-4049.
- (18) Servera, G., Beaumier, P. and Costes, M., 2001, "A Weak Coupling Method Between the Dynamic code HOST and the 3D Unsteady Euler Code WAVES", Aerospace Science and Technology, Vol. 5, pp. 397-408.
- (19) Carstens, V., Kemme, R. and Schmitt, S., "Coupled Simulation of Flow-structure Interaction in Turbomachinery", Aerospace Science and Technology, Vol. 7, No. 4, pp. 298-306.
- (20) Wu, X., Vahdati, M., Sayma, A. and Imregun, M., 2005, "Whole-Annulus Aeroelasticity Analysis of a 17-Bladerow WRF Compressor Using an Unstructured Navier-Stokes Solver", International Journal of Computational Fluid Dynamics, Vol, 19, No. 3, pp. 211-223.
- (21) Korea Water Resources Corporation, 2013, A Study on the Structural Stability Improvement of Dam and Beam Hydrologic System.

<별첨작성 양식>

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) 농지 침수재해를 예방하고 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT 기반 원격모니터링 및 제어가 가능한 펌프일체형 수문 개발				
	(영문) Development of IoT-based smart pumping system for flood prevention of agricultural land & secure stable water supply				
주관연구기관	하서산업(주)		주 관 연 구	(소속) 하서산업(주)	
참 여 기 업	인버터기술(주), 목포대학교		책 임 자	(성명) 김 상 국	
총연구개발비 (912,870천원)	계	912,870	총 연 구 기 간	2017.11.15~ 2020.11.14(3년)	
	정부출연 연구개발비	639,000	총 참 여 구 원 수	총 인 원	19
	기업부담금	273,870		내부인원	19
	연구기관부담금	-		외부인원	-

○ 연구개발 목표 및 성과

연구개발 목표 : 농지 침수재해를 예방하고 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT 기반 원격모니터링 및 제어가 가능한 펌프일체형 수문 개발

연구개발 성과 : 고용창출 5명, 특허 등록 3건, 특허출원 2건, 기술실시 1건, 인력양성 석·박사 3명, 진학, 국제학술지 1건, 국내학술지 2건과 국내 학술대회 7건, 해외 학술대회 1건

개발	목차	목표	성과	목차	목표	성과
기술 성과	권양하중 :	15ton	15ton	진 양 정 :	3.8m	3.85m
	소 음 :	85dB	69.4dB	펌프출력 :	45kW	32.81kW
	권상속도 :	0.4m/min	0.4m/min	펌프효율 :	75%	77.9%
	모터부하 :	15kW이하	5kW	토 출 량 :	33m ³ /min	36.77m ³ /min
	과 전 류 :	97%이상	100%이상	과부하 검출 :	11sec이내	1sec
	헌팅제어 :	98%이상	98.8%이상	모니터링 오차율 :	5% 이하	1%
	특허출원 :	5건	5건	특허등록 :	3건	4건
	기술실시 :	1건	1건	기술실시 기술료 :	6,000천원	6,000천원
경제 성과	수 출 액 :	0.5억	1.6억	매 출 액 :	2억	3.5억
	종 료 후 수 출 액:	1억		종 료 후 매 출 액:	24억	
	고용창출 :	4명	5명	홍보전시 :	3회	4회
연구 성과	S C I :	1건 게재	1건	학술발표 :	3회 발표	7회
	비 S C I :	2건 게재	2건	인력양성 :	석·박사 3명 진학	석·박사 3명 진학

○ 연구내용 및 결과

1. IoT 기술을 적용한 배수시설인 펌프 일체형 수문 및 개폐장치 개발
 - 국내·외 펌프일체형수문의 운영 현황 조사 및 문제점 발굴
 - 펌프 일체형 수문 및 개폐장치 개발
 - 개발된 수문 및 수문개폐 장치의 성능 검사설비(펌프, 개폐기 등) 개발
2. 개발된 수문 및 개폐장치의 중요 시스템 구조해석 및 2D 모델링
 - 상기 개발된 제품을 구조성 안전성 확보를 위한 검증
 - 펌프일체형수문 시스템 방진장치의 성능 확보를 위한 진동해석
 - 펌프일체형수문 시스템의 배수펌프 FEM모델 개발
3. 원격 모니터링 시스템을 통해 관리자와 실시간 피드백 가능한 시스템 개발
 - 원격 모니터링 및 제어를 위한 통신형 통합 제어보드 개발
 - 인터넷을 이용한 유/무선 통신 프로토콜 개발
 - 이력관리 및 빅데이터 분석을 위한 서버시스템 개발
4. 펌프 일체형 수문에 적용 가능한 원격 모니터링/제어 기술개발
 - 펌프 일체형 수문 시스템의 이수 및 치수 수자원 관리 기능 개발
 - 원격 모니터링/제어시스템 통합 유지관리 시스템 개발
 - PC 및 스마트폰 어플리케이션 실시간 모니터링/제어 및 SMS 알림 서비스 개발
 - 개체식별장치 및 제어시스템 개발을 통한 개체관리 통합시스템 구축
5. 개발된 수문 장치와 연계된 통합관리 시스템 개발
 - 통합관리 시스템 개발로 유지관리 시스템을 강화를 통한 수출시장 경쟁력 확보
 - 다양한 농업환경에서 안전운전이 가능한 구동 제어알고리즘 개발
 - PLC와 센서를 이용한 수위 높낮이에 따라 자동 운전 제어 알고리즘 개발
 - 현장에서 서버로 데이터를 전송 및 자동제어 할 수 있는 알고리즘 개발

○ 연구성과 활용실적 및 계획

6. 상기 기술들이 연계된 통합형 제품의 산업화

- 제품의 현장 보급 및 해외 시장 개척 추진

○ 연구성과 활용실적 및 계획

- 노인인구 증가로 실시간 유지보수가 어려운 농어촌 지역의 수문관리 가능
- IoT 기술을 적용하여 국내·외 펌프일체형수문의 운전상태 확인 및 서비스 범위 확대를 통한 수출 경쟁력 강화
- 통합관리 시스템 개발로 유지관리 시스템을 강화를 통한 수출시장 경쟁력 확보
- 빅데이터 분석을 통해 실시간으로 고장이력 및 운전상태 파악 가능한 설비
- 원격 모니터링 시스템을 통해 관리자와 실시간 피드백 가능한 시스템 개발
- 현재 보급되어있는 펌프일체형수문에 적용 가능한 원격 모니터링/제어 기술개발
- 펌프일체형수문을 통해 신개념 배수설비 제공 및 수자원 관리 강화
- 연구개발을 통한 사업화 매출실적은 기술개발을 통해 개발된 부품을 개별적으로 납품하여 국내매출 3.5억 및 해외매출 1.6억을 달성하였고 1건의 기술이전 계약을 체결하였음.

[별첨 2]

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		317068-3	
사업구분	첨단생산기술개발사업				
연구분야	EA0704			과제구분	단위
사업명	첨단생산기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발			과제유형	(기초,응용,개발)
연구기관	하서산업(주)			연구책임자	김상국
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2017.11.15.~ 2018.11.14.	213,000	91,290	304,290
	2차연도	2018.11.15.~ 2019.09.14.	177,500	76,080	253,580
	3차연도	2019.09.15.~ 2020.11.14.	248,500	106,500	355,000
	계		639,000	273,870	912,870
참여기업	인버터기술(주), 목포대학교				
상대국		상대국연구기관			

2. 평가일 :

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
하서산업(주)	대표	김상국

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약 

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

아주우수

- 펌프의 원활한 운전과 원격으로 현장상황을 모니터링하고 고장이력에 대한 빅데이터를 분석하여 서버시스템을 구축함으로써, 수위에 따라 배수설비의 부하를 최소화시키고 축류 펌프의 최대성능을 포함하여 상하 및 회동개폐가 가능한 펌프일체형수문 시스템을 개발함으로써 다가오는 4차 산업혁명에 맞는 기술을 개발하였음.
- IoT 기술을 적용한 펌프일체형수문 시스템 (원격 제어 및 원격모니터링) 및 빅데이터 분석으로 펌프일체형수문의 고장원인 파악이 가능함. 데이터 분석을 통한 캐비테이션 및 현상저감 효과 및 PC 및 스마트폰 어플리케이션 실시간 모니터링/제어 및 SMS 알림 서비스를 제공함

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

아주우수

- 주관기관은 펌프수문을 시범 설치한 서울시 관악구에 위치한 신림5배수펌프장을 기준으로 본 기술개발 장비의 경제성을 분석한 결과, 용지매입비, 토목건축비, 기계설비 설치비, 전기설비 설치비 등 각 항목들에 대한 정량적인 공사비를 책정함으로써, 36%의 예산저감이 가능할 것으로 기대됨.
- IoT 기술을 적용하여 국내·외 펌프일체형수문의 운전상태 확인 및 서비스 범위 확대를 통한 수출 경쟁력 강화
- 국내·외 통합관리 시스템 개발로 유지관리 시스템을 강화를 통한 수출시장 경쟁력 확보
- 펌프일체형수문을 통해 신개념 배수설비 제공 및 수자원 관리 강화
- 시공지침 개발을 통해 재해 발생 후 배수시설 파손시 공사기간의 감축으로 인해 2차 침수피해 방지

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

아주우수

- 수문의 자동화 추세에 따른 수문의 위치제어 등으로 인터넷, CCTV, 통제실의 원격 및 원 방 조작의 용이성이 요구되며, 이를 위해 작동시스템의 개발과 수위, 수문의 위치, 주변 환경여건을 고려한 효율적인 제어시스템과 유동 및 구조 해석으로 제품의 안전성 및 최적 설계의 연구결과물로 국내뿐만 아니라 해외 시공처에도 적용함으로써, 시제품의 파급 효과를 극대화함.
- 노인인구 증가로 실시간 유지보수가 어려운 농어촌 지역의 수문관리 가능함
- 빅데이터 분석을 통해 실시간으로 고장이력 및 운전상태 파악 가능한 설비, 원격 모니터링 시스템을 통해 관리자와 실시간 피드백 가능한 시스템 개발함
- 보안유지가 필요한 관공서의 원격제어 시스템의 차별성과 현재 보급되어있는 펌프일체형 수문에 적용 가능한 원격 모니터링/제어 기술개발함

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

아주우수

- 정량적 목표 및 추진일정에 맞게 기술개발을 하였음. 코로나19로 인한 활동제한으로 많은 문제점이 있었으나 연구개발에 따른 성과를 위하여 최선을 다함. 주관기관과 참여기관간의 유기적인 연구 활동 유지.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, 보통, 미흡, 불량)

아주우수

- 2017 금속산업대전 KOREA 2017 Metal Week 참여. 2018 물 산업전시회 Viet Water 참여, ABB 코리아 산업용인버터 설명회 세미나 초청을 실시하였고, 해외 현지 업무로써 2019 말레이시아 Tai Hoe 방문, 2019 말레이시아 Tai Hoe 방문을 하여 시장현황을 분석하고 개척 방향을 협의하였음. 또한 국내에서 한국농어촌공사 환경 신기술 기술설명회 참여와 국농어촌공사 환경 신기술 기술설명회 참여를 통해 기술력을 향상 시켰음.
- 국제학술지 1건, 국내학술지 2건과 국내 학술대회 7건, 해외 학술대회 1건을 발표함으로써 관련연구의 성과가 우수한 것을 확인하였음.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
특허출원	5	100	5건/5건
특허등록	20	100	3건/4건
기술이전	5	100	1건/1건
기술료	5	83.3	5백/6백
제품화	10	100	2건/2건
매출액	10	100	2.0억/3.5억
수출액	5	100	0.5/1.6
고용창출	10	100	4명/18명
논문 SCI	1	1	1건/1건
논문 비SCI	2		
학술발표	10	100	3건/7건
인력양성	10	100	3명/3명
홍보전시	10	100	3건/3건
합계	100점	99.1점	

III. 종합의견

1. 대한 종합의견

- 펌프장 및 배수설비의 노후화, 물관리자동화 사업의 한계성, 배수설비 관리 인력의 부족 문제를 해결할 수 있고 농업생산성 향상과 해외에 설치된 배수설비들의 운영과 관리를 보다 효과적으로 원활하게 수행하기 위해서는 많은 비용과 인력을 소모하는 배수설비의 운영 및 유지관리에 대해 획기적인 방안으로 농지 침수재해를 예방하고 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT 기반 원격모니터링 및 제어가 가능한 펌프일체형 수문 개발 연구개발을 완료하였음.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 새로운 재품을 개발하고 기존재품에 대한 차별화된 신기술을 적용하여 보다 효율적이고 안정적인 시스템을 활용할 수 있는 기반과 여건을 조성하는 것이 시급한 실정입니다.
신기술이 적용된 개발된 재품이 실적으로 반영될 수 있도록 될 수 있도록 구조적인 근거를 마련하여 지속적으로 매출을 증대될 수 있는 기반을 마련해 주면 합니다.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 기존 수문 설치시 발생하는 행정처리에 많은 기간이 소요되는 배수펌프장이나 철도, 주요 기간시설이 위치해 시설부지 확보가 불가능한 곳, 배수로 선형 변경 등으로 공사비가 증가되어 용지확보가 불가능한 곳, 수해재난지역으로 긴급공사가 필요한 경우, 재해예상지역으로 저지대 상습침수지역 등 재해예방사업에 적용할 예정임.
- 현재 개발하고자하는 펌프일체형수문은 저수지 취수시설에 대한 현대화의 일환으로 제작·설치된 것으로서 설계기술, 제작기술, 시스템 구성 기술, 현장 설치기술등의 노하우를 이용하여 내구성과 효율성을 갖춘 시스템을 보급할 수 있으며, 이러한 펌프일체형수문의 기술이전을 통하여 시범사업 추진과 함께 일반 시군 등 지방자치단체에도 펌프일체형수문의 특징을 고려하여 보급함.

IV. 보안성 검토

o 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 의견

--

2. 연구기관 자체의 검토결과

--

[별첨 3]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	317068-3	
연구과제명	농지 침수예방 및 안정적 농업용수 확보를 위한 IoT기반 스마트 펌프일체형 수문개발			
주관연구기관	하서산업(주)	주관연구책임자	김상국	
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	639,000천원	273,870천원	-	912,870천원
연구개발기간	2017.11.15. ~ 2020.11.14.			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
①IoT 기술을 적용한 배수시설인 펌프 일체형 수문 및 개폐장치 개발	①IoT 기술을 적용한 배수시설인 펌프 일체형 수문 및 개폐장치 개발 완료
②개발된 수문 및 개폐장치의 중요 시스템 구조해석 및 2D 모델링	②개발된 수문 및 개폐장치의 중요 시스템 구조해석 및 2D 모델링 및 3D 유동해석 완료
③원격 모니터링 시스템을 통해 관리자와 실시간 피드백 가능한 시스템 개발	③원격 모니터링 시스템을 통해 관리자와 실시간 피드백 가능한 시스템 개발 완료
④펌프 일체형 수문에 적용 가능한 원격 모니터링 /제어 기술개발	④펌프 일체형 수문에 적용 가능한 원격 모니터링 /제어 기술개발 완료
⑤개발된 수문 장치와 연계된 통합관리 시스템 개발	⑤개발된 수문 장치와 연계된 통합관리 시스템 개발완료
⑥상기 기술들이 연계된 통합형 제품의 산업화	⑥상기 기술들이 연계된 통합형 제품의 산업화 실시

3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용-홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표	정 책 활 용			홍 보 전 시		
												SC I	비 SC I						논 문 평 균 IF	
단위	건	건	건	건	만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	5	20		5	5	10	10	5	10				10		10		10			
최종목표	5	3		1	6	2	26	1.5	4		1	2		3		3		3		
연구기간내 달성실적	5	4		1	6	2	26	1.5	5		1	2		7		4		4		
달성율(%)	100	100		100	100	100	100	100	100		100	100		100		100		100		

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법
②	인버터 제어 방식을 이용한 펌프 일체형 수문 제어 시스템
③	스마트감시제어형 펌프수문

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복 제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해 결	정책 자료	기타
①의 기술	v	v				v	v			
②의 기술		v				v	v			
③의 기술	v	v				v	v			

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	기술이전을 통한 매출 향상
②의 기술	제품의 차별화를 통하여 많은 수주기대
③의 기술	스카트 기능이 첨가된 제품으로 안전하고 기후변화에 최적의 제품생산 가능

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
단위	건	건	건	건	만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치	5	20		5	5	10	10	5	10					10	10		10		
최종목표				1	6	1	24	1											
연구기간내 달성실적	5	4		1	6	2	26	1.5	5			1	2	7	4		4		
연구종료후 성과창출 계획						1	24	1											

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	스마트 펌프일체형수문 및 그 구동방법		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	6,000 천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input checked="" type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	1년	실용화예상시기 ³⁾	2년
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	-		

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

부 록 _ 통신 프로토콜

1. 초음파 수위계 LT-200

» RS485 MODBUS 통신 포맷

- 1 : 수신완료는 3.5 문자분의 시간 새로운 수신미 없는 경우에 완료 판정시 코맨드 처리를 실시한다.
 2 : 국번설정은 1 ~ 99까지 가능

» MODBUS RTU 코내드 메시지

START 3.5 문자 시간	ADDRESS 8비트	FUNCTION 8비트	DATA n * 8비트	CRC CHECK 16비트	END 3.5 문자시간
--------------------	----------------	-----------------	-----------------	-------------------	-----------------

» 대응 코맨드

03	Read Holding Register
04	Read Input Register
06	Preset Single Register
08	Diagnostics

» 코맨드=04 입력 레지스터

▪ Query

Slave Address	Function	Starting Address Hi Lo	No. of Points Hi Lo	CRC
---------------	----------	------------------------	---------------------	-----

▪ Response

Slave Address	Function	Byte Count	Data n Hi Lo	Data n+1 Hi Lo	CRC
---------------	----------	------------	--------------	----------------	-----

» 코맨드=03 보존 레지스터 코맨드=06 보존 레지스터

▪ Query (03, 06)

Slave Address	Function	Starting Address Hi Lo	No. of Points Hi Lo	CRC
---------------	----------	------------------------	---------------------	-----

▪ Response (03)

Slave Address	Function	Byte Count	Data n Hi Lo	Data n+1 Hi Lo	CRC
---------------	----------	------------	--------------	----------------	-----

▪ Response (06)

Slave Address	Function	Register Address Hi Lo	Preset Data Hi Lo	CRC
---------------	----------	------------------------	-------------------	-----

번호	내용	예	출력 수치
0	거리	2,000mm	2,000
1			
2	BOTTOM 거리	3,000mm	3,000
3			
4	%	100%	10,000
5			
6	노이즈 수치	30	30
7			
8	에코 레벨 수치	80	80
9			
10	센서 온도	25.0℃	250
11			
12	시스템 내부 온도	25.0℃	250,
13			
14			
15			
16			

부 록 _ 통신 프로토콜

2. Power Meter

1. Modbus RTU 통신 사양

- ▷ 접속규격(Interface) : RS-485
- ▷ 전송속도(Baud Rate) : 9600 bps
- ▷ 데이터 형식 (Data Format) : 1 Start bit, 8 Data bits, 1 Stop bits(None Parity)
- ▷ 전송방식(Transmit Method) : 반 2중 조보동기(Half Duplex Asynchronous)
- ▷ 에러검출(Error Checking) : CRC(Cyclical Redundancy Check) 방식

2. Modbus RTU 프로토콜

2-1. 전송 메시지의 구성

MODBUS 프로토콜에서 전송 메시지의 프레임 형식(Frame Format)은 아래의 그림과 같이 되어 있으며 질의 메시지와 응답 메시지가 동일한 형식으로 되어있고 다만 그 기능 코드에 따라 데이터 부분이 달라지도록 되어 있다.

Slave Address	기능코드 (Function)	데 이 터	CRC 코드
8 Bits	8 Bits	n × 8 Bits	16 Bits

Slave Address:

질의 메시지를 수신하고 응답 메시지를 송신할 슬레이브(통신 Device)의 주소를 나타내며 숫자 0 ~ 255 내의 값을 가지는 데이터가 전송된다.

기능 코드:

전송되는 메시지의 기능을 나타내는 코드로 숫자 1 ~ 255 범위 내로 표현된다. 질의(명령) 메시지를 수신하여 슬레이브 계기가 에러 없이 수행하고 응답할 때 같은 기능코드가 전송된다. 각 기능코드의 역할은 아래와 같다.

기능 코드	설 명	레퍼런스 타입 (레지스터 주소범위)	코드 사용 계기
01	Read Coil Status	0x (00001-09999)	KCDC(KCDI)
04	Read Input Register	3x (30001-39999)	KCDC(KCDI), KCAI, KCPM, PM-B,C,D
05	Force Single Coil	0x (00001-09999)	KCDC(KCDO-08, KCDO-16)
15	Force Multiple Coils	0x (00001-09999)	
16	Preset Multiple Registers	4x (40001-49999)	KCAO, KCDC(KMDA)

<기능 코드 표>

Register	Actual address	측정 데이터	설명
30001	0	V12	전압 1-2 (V12)
30002	1	V23	전압 2-3 (V23)
30003	2	V31	전압 3-1 (V31)
30004	3	A1	전류 1 (A1)
30005	4	A2	전류 2 (A2)
30006	5	A3	전류 3 (A3)
30007	6	W	전력 (Watt)
30008	7	Pf	역률 (Power Factor)
30009	8	Var	무효전력 (Var)
30010	9	Hz	주파수 (Frequency, Hz)
30011	10	Wh High	적산전력 (Watt Hour, Wh) 상위 Word
30012	11	Wh Low	적산전력 (Watt Hour, Wh) 하위 Word
30013	12	Varh High	적산무효전력 (Var Hour, Varh) 상위 Word
30014	13	Varh Low	적산무효전력 (Var Hour, Varh) 하위 Word
30015	14	-	사용하지 않음

부 록 _ 통신 프로토콜

3. 펌프 모니터링 유닛

<p style="text-align: right; margin: 0;">보드 수신</p> <p style="margin: 0;">0xFF 0xFE</p> <p style="margin: 0;">Comm=100 알람ON</p> <p style="margin: 0;">Length=8</p> <p style="margin: 0;">dummy1</p> <p style="margin: 0;">dummy2</p> <p style="margin: 0;">dummy3</p> <p style="margin: 0;">0xFD</p>	<p style="text-align: right; margin: 0;">보드 송신</p> <p style="margin: 0;">0xFF 0xFE</p> <p style="margin: 0;">Comm=103</p> <p style="margin: 0;">Length=8</p> <p style="margin: 0;">dummy1</p> <p style="margin: 0;">dummy2</p> <p style="margin: 0;">dummy3</p> <p style="margin: 0;">0xFD</p>
<p style="text-align: right; margin: 0;">보드 수신</p> <p style="margin: 0;">0xFF 0xFE</p> <p style="margin: 0;">Comm=101 알람OFF</p> <p style="margin: 0;">Length=8</p> <p style="margin: 0;">dummy1</p> <p style="margin: 0;">dummy2</p> <p style="margin: 0;">dummy3</p> <p style="margin: 0;">0xFD</p>	<p style="text-align: right; margin: 0;">보드 송신</p> <p style="margin: 0;">0xFF 0xFE</p> <p style="margin: 0;">Comm=104</p> <p style="margin: 0;">Length=8</p> <p style="margin: 0;">dummy1</p> <p style="margin: 0;">dummy2</p> <p style="margin: 0;">dummy3</p> <p style="margin: 0;">0xFD</p>
<p style="text-align: right; margin: 0;">보드 송수신</p> <p style="margin: 0;">0xFF 0xFE</p> <p style="margin: 0;">Comm=102 절연저항</p> <p style="margin: 0;">Length=8</p> <p style="margin: 0;">Res1</p> <p style="margin: 0;">Res2</p> <p style="margin: 0;">Res3</p> <p style="margin: 0;">0xFD</p>	<p style="text-align: right; margin: 0;">보드 송수신</p> <p style="margin: 0;">0xFF 0xFE</p> <p style="margin: 0;">Comm=105</p> <p style="margin: 0;">Length=8</p> <p style="margin: 0;">Input</p> <p style="margin: 0;">Output</p> <p style="margin: 0;">REV</p> <p style="margin: 0;">0xFD</p> <p style="margin: 0;">bit가 set 일 때 1</p> <p style="margin: 0;">bit가 reset 일 때 0</p>

보드 송신

	0	0xFF	
	1	0xFE	
	2	Comm=0 측정데이터	
	3	Length=30	
측정 데이터 전송주기	4	Measurement add H	측정데이터 주소 상위 8bit (u16bit)
	5	Measurement add L	측정데이터 주소 하위 8bit
1ms	6	sV1	공급전압 RS (u8bit)
	7	sV2	공급전압 ST (u8bit)
	8	sV3	공급전압 TR (u8bit)
	9	C1	공급전류 R (u8bit)
	10	C2	공급전류 S (u8bit)
	11	C3	공급전류 T (u8bit)
	12	mV1	모터전압 U (u8bit)
	13	mV2	모터전압 V (u8bit)
	14	mV3	모터전압 W (u8bit)
	15	mC1	모터전류 U (u8bit)
	16	mC2	모터전류 V (u8bit)
	17	mC3	모터전류 W (u8bit)
	18	RPM	RPM (u8bit)
	19	tR	온도 R상 (s8bit)
	20	tS	온도 S상 (s8bit)
	21	tT	온도 T상 (s8bit)
	22	tB1	온도 베어링1 (s8bit)
	23	tB2	온도 베어링2 (s8bit)
	24	Hum	습도 (u8bit)
	25	VB1	진동H (16bit)
	26	VB2	진동L
	27	Rev2	예약2
	28	Rev3	예약3
	29	0xFD	

-전압 단상 측정

-3.3V = 255 adc

-Ref = 1.5V = 115adc

-공급전압 및 모터 전압

3.3 % 255 = 0.012941

1adc = 0.012941V

전압 스케일 = 2000 / 1002000 = 0.001996

220 AC rms = 311.126983 V peak

311.126983 * 0.001996 = 0.621009458068 V

측정전압 = 1adc * 501.002004
= 0.012941 * 501.002004
= 6.4834669

1adc = 6.4834669V

-전류 측정

-3.3V = 255 adc

-Ref = 1.5V = 115adc

-공급전압 및 모터 전류

3.3 % 255 = 0.012941

1adc = 0.012941V

I = V / R = (adc*0.012941) / 0.2

5A = 1V = 77.273781adc

1adc = 0.06470588 A

-습도 0~100, 1=1%

-진동 0~160, 1=0.1g (1g=9.8m/s²)

INTER LOCK enable > MR_Voltage disable > MR_FG enable > UVW discharge UVW >

MR_FG disable > MR_FG_HV enable > HV enable > UVW 저항측정 > HV disable >

MR_FG_HV disable > MR_FG enable > MR_Voltage enable > INTER LOCK disable

보드 IP:192.168.0.123

라즈베리:192.168.0.155 1025포트

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.