

상부 콘크리트 구조물이 없는 소형 수문 시스템 개발

국정환¹, 김기선^{2*}

¹한국기술교육대학교 기계정보공학부, ²공주대학교 기계자동차공학부

The Development of Small Sluice gate systems without Upper Concrete structure

Jeong-Han Kook¹ and Key-Sun Kim^{2*}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

²Div. of Mechanical &Automotive Engineering, Kongju University

요 약 본 연구는 상부에 설치되는 콘크리트 구조물 없이 설치되어 작동하는 새로운 소형 수문 시스템을 제안하였다. 주요 메커니즘은 유압시스템, 수문 상하 이송 메커니즘, 수문 잠금 제어장치, 이물질이 감지되면 수문이 파손되지 않도록 하는 안전장치 등으로 구성하였다. 유압 펌프 및 제어 시스템은 수문 시스템의 위치에서 떨어진 장소에 설치하여 상부 구조물을 제거할 수 있도록 하여 제어 하였다. 수문 인양 장치는 유압 액추에이터가 달린 랙과 피니언이 측면에 설치되어 작동되며 그 결과 제품의 원가 절감, 작동시 안전성 확보 및 제품의 콤팩트화를 구현하였다.

Abstract This study proposes the system of new small sluice gate operated without the upper concrete structure. The new mechanism is composed of hydraulic system, driving mechanism to feed the floodgate up and down, hydrological locking device, safety device and etc. The hydraulic pumps and control systems away from the location of the sluice gate systems are installed and controled in place. The feed device with the hydraulic rack, pinion and hydraulic actuator is installed on the side of the sluice gate. The following results take the advantages of cost reduction, operation safety and compact product.

Key Words : Sluice gate, Hydraulic System, Pin jack type, Actuator.

1. 서론

최근 4대강 사업을 기반으로 하여 수문 수요가 급격히 늘어나고 있다. 수문은 유량 조절 또는 수심 유지를 위하여 수로에 위치되며 방수로인 경우 강 분류시키는 지점에 설치되고, 지류에서는 본천 홍수의 역류를 방지하는 지점에 각각 설치되며 해안의 고조 방조제에서는 수로와의 합류지점에 위치한다. 수문을 인양하는 권양장치는 모터를 동력원으로 사용하여 기어장치와 와이어로프를 이용하는 와이어식(wire rope type)와 주물 기어 박스에 다수의 기어와 축을 설치하여 모터 및 감속기를 동력원으로 구동하고 랙바를 적용시킨 핀잭식(pin jack type)이 주로 사용되고 있다. 최근에는 파워잭식(power jack type)과 월기어의 감속비를 스크루에 적용시킨 액추에이터식

(actuator type) 및 유압 실린더 장치를 이용한 유압식(hydro type) 등이 개발되어 적용되고 있다[1]. 소형 수문은 통상 지류에 사용되는 10톤 이하의 인양력으로 구동되는 설비를 말하며 권양기는 액추에이터식과 핀잭식을 주로 사용하고, 20톤 이상 50톤 이하의 중형에는 와이어식을 주로 적용한다. 수문에 대한 연구는 최근 유동해석에 의한 수문 설계 기법이나 안전성 확보 설계 등이 연구되고 있으며[2-3] 이와 더불어 수문 제어 기술들이 연구되고 있다[4-5]. 그러나 최근 수문 수요가 늘어나고 있는 추세에 비하여 설계 기술은 미비한 현실이며 대형 수문인 경우 외국 기술이나 국내 대기업에서 설계 노하우를 갖고 있으나 공개가 없고 소형 수문은 영세한 중소기업에서 생산되나 기술력이 부족하여 오래된 설계 방법을 그대로 답습하고 있는 실정이다. 특히 수문은 한번 설치

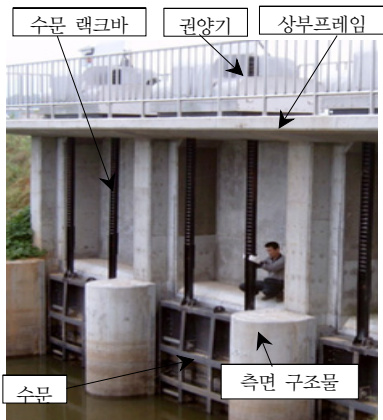
*교신저자 : 김기선(keysun@kongju.ac.kr)

접수일 11년 08월 29일

수정일 (1차 11년 09월 26일, 2차 11년 10월 20일)

계재확정일 11년 11월 08일

하면 수십년간 견디어야하기 때문에 기존의 낡은 기술로 만든 제품으로는 장기간 안전성을 확보하기 어렵다. 일반적으로 수문을 개폐하기 위해서는 그림 1과 같이 권양기를 설치하고 사람이 서서 조작할 수 있는 공간이 필요하며 수문의 상승 시 수문 크기만큼의 공간 확보를 위하여 콘크리트로 이루어진 상부 구조물을 설치해야한다. 이 구조물은 수압이 걸린 수문과 기계하중을 지탱할 뿐만 아니라 수문의 개수가 많아짐에 따라 상부 구조물이 커져야하며 이로 인하여 공사기간 및 공사규모가 늘어나는 문제점이 있다. 따라서 본 연구는 상기와 같은 기존 제품의 문제를 해소하기 위하여 소형 수문에 맞게 불필요한 상부 콘크리트 구조물이나, 복잡한 권양기의 내부를 없애고 원거리에서 작동되는 유압시스템을 제안하였다. 구체적으로 권양대를 설치할 필요가 없도록 기계 메커니즘을 설계하고 복잡한 권양기 구조를 유압 구동 메커니즘으로 간편하게 변경하여, 권양기에 걸리는 하중의 집중 현상을 해결하고 권양기의 단순화로 여러대를 공용으로 사용할 수 있는 구조로 개발하였다. 그 결과 공사 기간 단축과 설치 공간 축소 및 원가 절감을 할 것으로 예상된다.

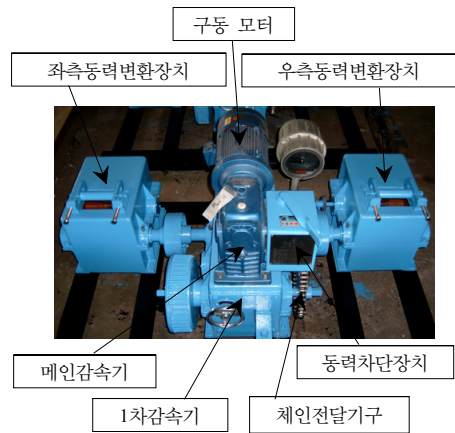


[그림 1] 기존 권양기 및 수문
[Fig. 1] Conventional windlass and floodgate

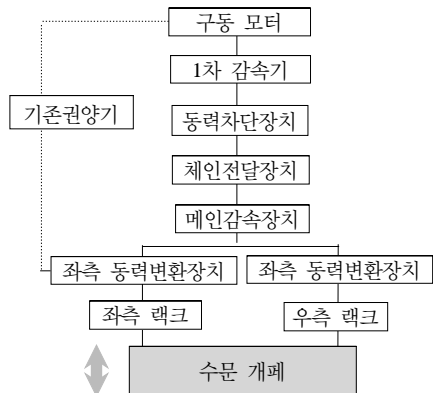
2. 메커니즘 설계

기존 제품의 문제를 해소하기 위하여 불필요한 콘크리트 구조물이 있는 기존 상부 인양식을 측면에서 인양 가능하도록 메커니즘을 개선하고 개념 설계, 구조 해석 및 상세설계 등의 순서로 진행하였다. 그림 2(a)는 기존에 가장 많이 사용되는 소형 편축식 권양기이며 상부 모터, 감속기, 메인 감속 장치, 동력 차단장치, 좌측 동력변환장치 및 우측 동력 변환 장치 등 복잡한 기구로 되어 있

며 수문 상단 구조물에 설치하여 지탱한다. 그 전달 순서를 보면 그림 2(b)에서처럼 수문의 개폐는 모터 혹은 수동에 의하여 회전을 하면 권양기에서 감속되어지고 증폭된 회전력이 래크에 의하여 직선 상하 운동으로 바뀌어 회전 방향에 따라 수문이 열리고 닫히게 된다. 본 연구에서 측면 구동 방식을 택하였으며 그 메커니즘 및 구조 설계는 3차원 설계 코드인 미국 SolidWork을 이용하였고 2련식 수문 시스템으로 설계하여 그림 3에 수문이 열렸을 경우와 닫혔을 경우에 대한 모델링을 도시하였다. 우선 일체형 권양기로 상부 구조물이 없는 수문 시스템을 개발하기 위하여 기존의 권양기를 없애고 원거리에 있는 유압 시스템에 의하여 작동이 되도록 하며 그때 수문을 고정하도록 하는 잠금 메커니즘을 고안하였으며 실린더와 기어를 병합하여 구동장치를 그림 4와 같이 최소화 설계하여 수문 측면에 부착되도록 개발하였다.

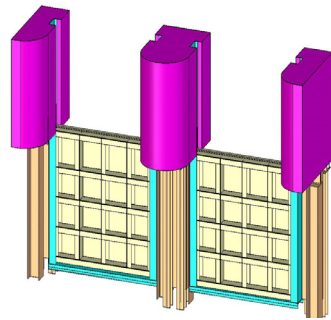


(a) 기존 권양기
(a) The conventional windlass

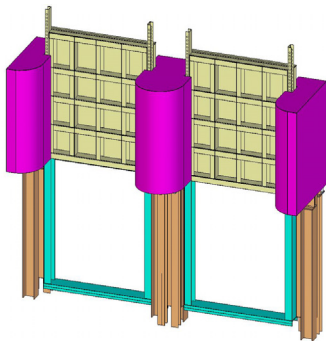


(b) 권양기 구성도
(b) Configuration of the windlass

[그림 2] 기존 권양기 구조
[Fig. 2] Structure of the conventional windlass

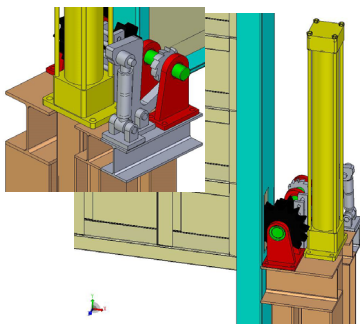
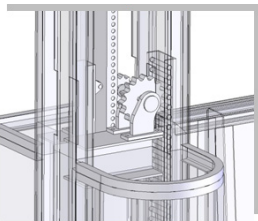


(a) 폐문시
(a) Closing the floodgate



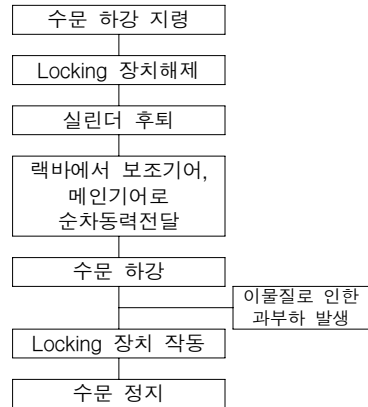
(b) 개문시
(b) Opening the floodgate

[그림 3] 시스템 모델링
[Fig. 3] System modeling



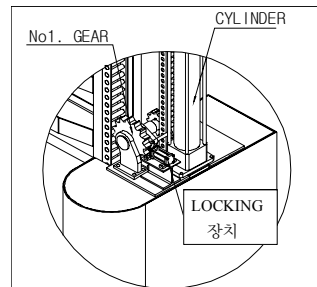
[그림 4] 구동 메커니즘
[Fig. 4] Driving mechanism

그 동작은 수문 하강시에는 잠금 제어 장치가 해제되며 실린더를 작동하여 랙크바를 이동시키면 기어로 동력을 변환시키게 된다. 이 회전력은 메인기어로 전달되어 수문이 하강하며 이때 비상으로 사용가능하도록 수동 랙크바를 동시 설치하였다. 하강시 이물질이 감지되면 수문이 파손될 우려가 있으므로 잠금 제어 장치가 동작하여 멈추도록 제어하였으며 그 동작 흐름도는 그림 5와 같다.



[그림 5] 속도 제어 장치 동작 흐름도
[Fig. 5] Flowchart of the speed control operation

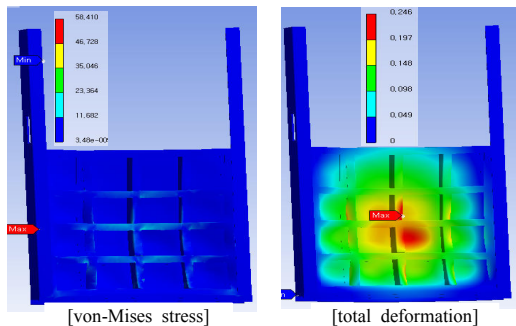
잠금 제어 장치는 수문을 오랜 시간 동안 개방하면 수문의 자중에 의해 수문이 일정 간격만큼 내려오게 되는 문제점을 해결하기 위하여 자동적으로 체결되도록 설계하여 시스템의 안전성을 확보하였으며 추후의 A/S 문제를 해결하기 위하여 단순한 구조로 그림 6과 같으며 한방향 랙치 장치를 설치하여 정지시 멈추고 작동시에는 전기 신호에 의하여 동작되도록 설계하였다.



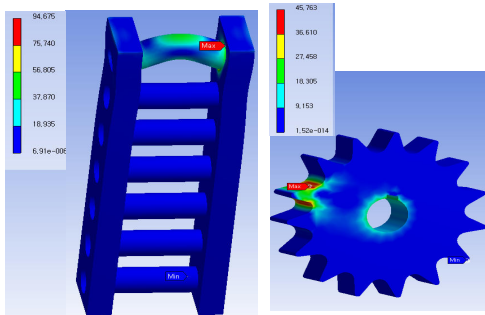
[그림 6] 수문 잠금 제어 장치
[Fig. 6] The floodgate locking control device

또한 1/2~1/4 기어비의 가변 가능한 랙 및 피니언 기어 구동 메커니즘을 새로이 추가하여 유압실린더 및 구동장치의 크기를 최소화하였다. 또한 수문의 사이즈 및

개수에 상관없이 수문을 설치할 수 있도록 하고 기존 수문은 수문 1개소 당 한 대의 전동 장치가 필요 하였으나 여러 대의 수문을 하나의 제동 장치로 제어할 수 있는 유압 구조로 설계하였다. 전기적 제어 방법은 수문 특성상 오랜 방치를 하여야하기 때문에 이로 인한 접점 센서의 불량률이 심해지고 수리비용의 증가를 보완하기 위하여 유압식 제어와 더불어 기계적 구조로 실린더와 기어를 사용하여 크기를 최소화 할 수 있게 설계하였다. 다음으로 구성된 메커니즘의 안전성 확보를 위하여 주요 부품에 대하여 상용 코드는 ANSYS를 이용하여 구조 해석을 수행하였으며 그중 대표적인 수문과 구동 랙크 장치의 구조 해석 결과를 그림 7에 도시하였다.



(a) 수문
(a) floodgate



(b) 랙크 바
(b) rack bar
(c) 스프라켓
(c) sprocket

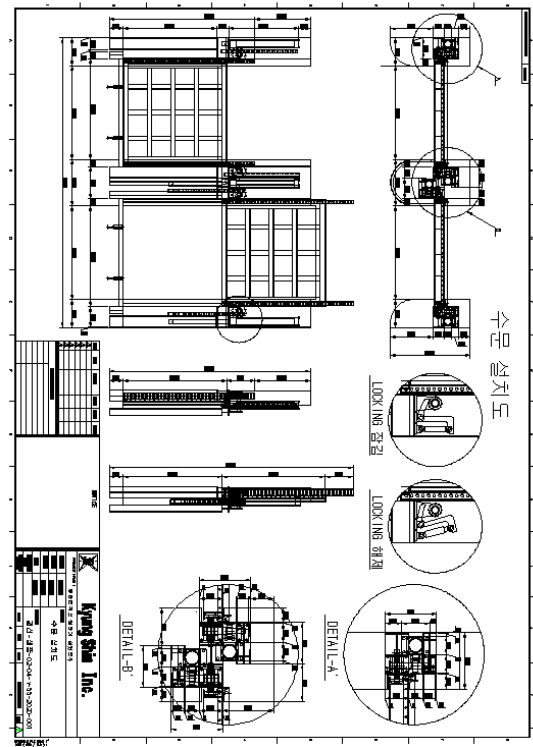
[그림 7] 주요 부품의 등가응력 분포
[Fig. 7] von-Mises stress of the major parts

그림 7(a) 수문에서 최대 등가응력은 중앙에서 발생하며 그 크기는 58.41 MPa로 안전하였으나 중앙부위의 처짐량이 최대 0.25 mm 정도를 보였다. 수문 사고시 대형 사고임을 고려하여 중앙부분에 15 mm의 평철을 보강하면 0.1 mm이하로 작아지는 것을 확인하여 수정 설계하였다. 다음으로 그림 7(b)의 스프라켓 응력분포를 보면

최대 등가 응력은 실제 기어가 물린 부분의 랙 봉 중앙에 나타나며 그 크기는 94.67 MPa로 다소 높은 응력이 집중됨을 보였다. 따라서 중앙의 봉을 2 mm정도 직경을 증가시키는 것이 설계의 안정성으로 확인하였다. 또한 그림 7(c) 랙크바의 최대 등가 응력은 이뿌리 부분에서 발생하며 그 크기는 45.76 MPa로 본 재질이 크롬-몰리브덴강 (SCM 415) 으로 안전함을 확인하였다.

3. 시작품 제작 및 성능 평가

구조 및 유동 해석을 통하여 설계 변수를 설정하고 그를 토대로 수문전문업체인 경신산업기계에서 설계 도면을 그림 8과 같이 작성한 후 부품 제작을 수행하였으며 주요 구성 부품은 표 1과 같다.



[그림 8] 제품 조립도
[Fig. 8] Product assembly drawing

[표 1] 구성 부품

[Table 1] Components

개발 부품	개발 내용
유압실린더	행정거리 150 cm
보조와 메인기어 트레인	1/4 기어비
랙크 및 기어	특수 개발 치형
동력 제어 및 차단 장치	특허에 의한 신개발
수동시 조작 장치	기존 설계 응용
locking 장치	새로 고안 설계/제작
목형 및 주물	바디 및 브라켓트
멀티 제어시스템	통상 유압 제어 시스템
수위 조절 장치	제어 시스템
구동 정지장치	하단부위 이물질이 걸려 있을 경우 작동 장치

시작품 제작과정에서 우선 채널을 절단한 후 수문의 문짝을 제작하였으며 중앙에 응력이 집중되는 것을 감안하여 보강 처리 하였다. 다음으로 양쪽 기둥이 되는 포스트를 제작하여 구조의 틀을 그림 9과 같이 제작하였다. 기어의 회전운동을 직선 운동으로 바꾸는 랙크바는 링에 균열이 생기지 않도록 특수 용접하였으며 기어는 힘이 생기지 않고 마모의 방지를 위하여 고주파 표면 열처리 하였다. 다음으로 문틀을 수직이 되도록 공사하고 안전을 고려하여 실린더 커버를 제작 설치하였으며 수문을 설치 후 유압 배관하였으며 완성된 시작품은 그림 10와 같다.



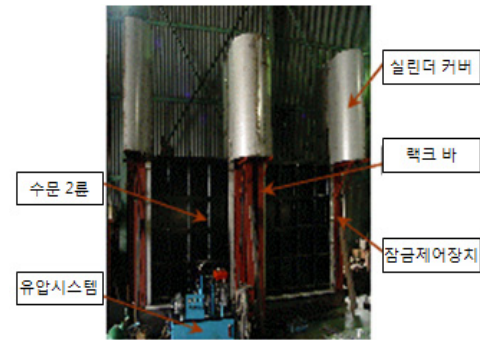
(a) 프레임
(a) frame



(b) 조립품
(b) assembly

[그림 9] 시작품 제작도

[Fig. 9] Production of prototype

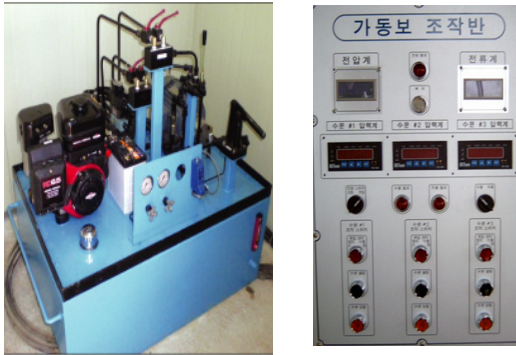


[그림 10] 완성된 구조물

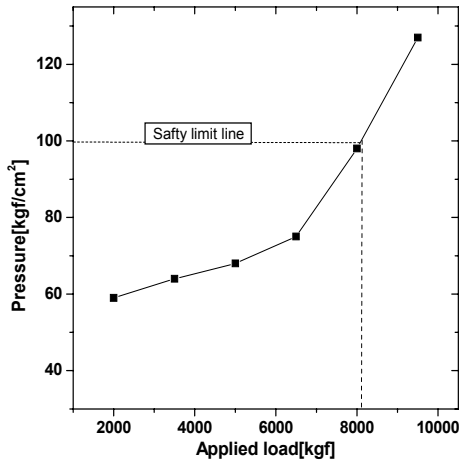
[Fig. 10] The completed structure

유압 제어는 여러대의 수문을 사용할 수 있도록 4중 병렬 배관을 하였으며 200 kgf/cm²까지 작동 가능 하도록 구성하였고 동력으로 기어식 유압펌프를 적용하였으며 용량은 경제성을 고려하여 각각 단독 구동하도록 하였고 그 시스템 완성 사진을 그림 11에 제시 하였다. 제품이 수톤 무게인 것을 감안하여 완성된 제품을 제조 공장에서 직접 시험을 수행하였으며 그 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 우선 인양력 시험에서는 작동 하중으로 2,000 kgf 부터 1,500 kgf 씩 증가시켜 9,500 kgf. 까지 무게(수문 무게포함)를 달아 상부로 인양 할 때 부하된 배관내 작동유의 평균 유압을 측정된 결과에 대하여 그림12에 도시하였다. 여기에서 작동 속도는 25 mm/min으로 하였으며 2,000 kgf인 경우 59 kgf/cm²이던 것이 9,500 kgf 에서는 127 kgf/cm² 로 급상승하였으며 저하중 보다 고하중 인가시 압력 상승이 커지는 것을 확인하였다. 한편 본 설계 목표인 5,000 kgf 에서는 68 kgf/cm²을 보였고 8,000

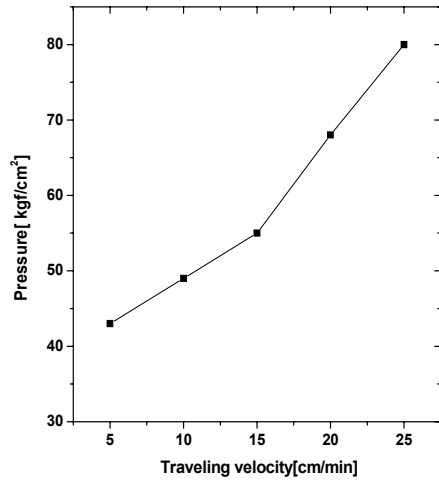
kgf 까지는 설계 기준치인 100 kgf/cm² 이하로 되었으며 이를 감안하면 안전성이 확보됨을 확인 하였다. 다음으로 수문의 이송속도를 5 mm/min부터 5 mm/min씩 증가시키면서 25 mm/min까지 시험 하였을 때 부하된 배관내 작동유의 유압을 측정한 결과, 그림 13에 도시하였다. 여기에서 5 mm/min속도인 경우 43 kgf/cm²이던 것이 25 mm/min에서는 80 kgf/cm² 로 급상승을 보였으며 거의 선형적으로 증가함을 확인하였다. 한편 본 설계 목표인 25 mm/min에서는 68 kgf/cm²을 보여 설계 기준치인 100 kgf/cm²보다 작아 안전설계임을 확인 하였다.



[그림 11] 유압 및 제어시스템
[Fig. 11] Hydraulic and control system



[그림 12] 적용하중 대 유압
[Fig. 12] Applied load vs. hydraulic pressure



[그림 13] 수문 이송속도 대 유압
[Fig. 13] Traveling velocity vs. hydraulic pressure

다음으로 수문 하부에 이물질을 넣고 작동하였을 때 정확한 위치에서 정지함을 보였으며 반복적으로 신뢰성 실험하였으나 일정하게 작동하였다. 그리고 2개의 수문이 순차 제어가 가능한지를 확인한 결과 모두 정상 작동되었으며 구동 기어 작동 및 제어도 원활함을 확인하였다. 따라서 본 연구를 통하여 5톤급 4륜의 소형 수문에 대하여 표 2와같이 제조원가를 분석한 결과 기존 대비 실제 원가 절감이 35 % 감소할 수 있었다. 또한 잠금 제어 장치로서 정상시의 수문고정을 효율적으로 하여 수문의 안전 확보를 기하였고, 구동장치를 최소화하여 내구성을 확보할 수 있었음을 시험을 통하여 확인하였다.

[표 2] 제조원가 분석
[Table 2] Manufacturing cost analysis

항 목	원가 구성비(%)		절감율 (기존대비%)
	기존	개발품	
권양기 (5ton,4륜기준) 기존:기계식, 개발:유압식	41	14.3	22.9
유압 구동부 및 배관	-	38.1	-100
랙크바 5ton용	7.8	-	100
문비, 문틀	18.8	28.6	0
토목시공(상부프레임포함)	27.7	11.9	28.6
제어판넬 및 원격조작 유니트	4.7	7.1	0
원가 합계	100	100	35%

4. 결론

본 연구는 복잡한 기존 권양기의 대신에 원거리에서 작동되는 유압시스템을 적용하여 상부 콘크리트 구조물을 없애고 구조를 간편하게 하여 원가 절감을 하였으며 이와 더불어 장기간 자연 방치를 하여도 기기의 오작동으로 인한 파손을 방지하여 안전성을 확보하였으며 그 구체 내용은 다음과 같다.

1. 상부 구조물이 없는 구조와 기계 본체를 콤팩트하게 하여 제작비의 혁신적 감소로 공사기간 및 공사비용의 획기적인 감소로 원가를 30%이상절감 할 수 있었다.
2. 기존 설비는 상부 모터, 감속기, 메인 감속 장치, 동력 차단장치, 좌측 동력변환장치 및 우측 동력 변환장치 등 복잡한 기구로 되었으나 이를 없애고, 유압식 제어 및 실린더와 간단한 기어 구조를 사용하여 크기를 간소화 하였다.
3. 수동/전동식 모두 사용 가능토록 개발하였으며 오랜 방치로 인한 점점 센서의 오동작을 방지할 수 있도록 개선하였다.

향후 수문의 자동화 추세에 따른 수문의 위치제어 등으로 인터넷, CCTV, 통제실의 원격 및 원방 조작의 용이성이 요구되며 이를 위해서는 작동시스템의 개발과 수위, 수문의 위치, 주변 환경여건을 고려한 효율적인 제어시스템과 유동 및 구조 해석으로 제품의 안전성 및 최적 설계가 이루어져야할 것이다.

References

- [1] Bergeron, Angelle, "Circular-Cell Cofferdam Saves Time, Cost and Concrete", Engineering News-Record, Alberici Constructors Inc Vol. 266 Issue 15, pp.15-15, 2011.
- [2] S. Amin, F. Hante, and A. Bayen., "Exponential stability of switched hyperbolic systems in a bounded domain.", Technical report, UC Berkeley, 2008.
- [3] N. Bedjaoui and G. Bastin., "Methods for the localization of a leak in open water channels. Networks and Heterogeneous Media", 4(2), pp.189-210, 2009.
- [4] Xavier Litrico, Vincent Fromion, "Boundary control of hyperbolic conservation laws using a frequency

domain approach", Automatical Journal of IFAC, v.45 n.3, pp.647-656, March, 2009.

- [5] Saurabh Amin, S. Shankar Sastry, Alexandre M. Bayen, "Stealthy deception attacks on water SCADA systems", Proceedings of the 13th ACM inter. conference on Hybrid systems: computation and control, pp20-25, 2010.

국 정 한(Jeong-Han Kook)

[정회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학원 기계공학과(공학석사)
- 1988년 2월 : 인하대학원(공학박사)
- 1992년 1월 ~ 현재 : 한국기술대학교 기계정보공학부 교수

<관심분야>

용접공학, 파괴역학, 재료강도 등

김 기 선(Key-Sun Kim)

[중신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학사)
- 1983년 2월 : 인하대학원 기계공학과(공학석사)
- 1988년 2월 : 인하대학원(공학박사)
- 1989년 7월 : 기계제작기술사
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

자동차 제조공정, 기계요소설계