

수자원 확보 및 친환경 수변공간 조성을 위한 고무보 설치 기술



김 필 식
유일기술연구소 / 소장
kimps@yooileng.co.kr



이 재 혁
㈜유일기연 / 대표이사
jaelee@yooileng.co.kr

1. 머리말

우리나라는 옛날부터 금수강산이라 불리며 사용가능한 수자원을 많이 보유하고 있어 물에 대한 기본적인 인식은 “풍부한 것”으로 생각되어 왔다. 하지만 최근 UN에서 아시아 국가중 유일하게 우리나라를 물부족 국가로 분류하고 있으며 연간 내리는 비의 70% 이상이 여름

철에 집중되어 매년 봄/겨울철 가뭄 재해가 되풀이 되고 있는 실정이며 수자원 확보가 심각한 사회문제로 대두되었다 (김재홍, 2002). 수자원 확보의 양적인 측면에서는 댐 건설이 가장 확실한 대안이며 그 경제성과 공학적 효율에도 불구하고 환경보전론에 밀려 1992년 탐진댐이 착공된 이래 현재까지 댐 건설은 계획하지 못하는 실정이다 (장웅철, 2002).



고무보



Spillway 게이트



전도게이트

그림 1. 가동보 설치 형식

수자원 확보를 위한 대규모 댐 건설의 대안으로 1980년대 하천에 콘크리트 고정보를 대다수 설치하였으나 보 상류측의 퇴적으로 하천 담수기능을 상실하고 홍수시 고정보로 인한 범람우려, 부유물질 정체로 인한 하천경관 훼손, 유지보수의 어려움 등의 문제로 인하여 현재는 대부분 철거되거나 가동보 형식으로 교체되고 있다. 가동보는 필요에 따라 기립과 전도가 가능하여 기존 콘크리트 고정보의 대안으로 활발히 설치되고 있다. 가동보는 사용 재료, 담수 형식, 운영방식 등에 따라 다양한 형식이 있는데 고무보, Spillway 게이트, 유압식 전도게이트, 힌지식 자동게이트 등이 그 대표적인 설치 형식이다.

“고무보는 타 가동보에 비하여 내구성이 약하다”, “고무보는 유지관리가 어렵다”와 같이 가동보 형식 중 고무보에 대하여 과거 부정적으로 인식되었고 현재도 일부에서 비슷한 견해를 보이고 있지만, 경제적/환경적/구조적/유지관리 등의 측면에서 기술적으로 분석해보면 부정적인 인식과는 그 실상이 매우 상이함을 알 수 있다. 최근 국가사업으로 시행된 4대강 살리기 사업이나 고향의 강 사업 등 하천관련 사업에서 다수의 가동보가 설치되었는데 약 50% 이상이 고무보로 적용되어 고무보 설치 공법의 신뢰성과 적용성이 검증되고 있다. 또한, 저수지 뚝 높이기 사업에서도 다수 적용되고 있으며 타 가동보 형식에 비해 경제성이 우수한 것으로 분석되고 있다 (김필식, 2009). 또한 현재 북미 및 동남아시아 지역에 10여기의 고무보가 설치 운영되고 있으며 특히 터키에는 최대규모 4.4m 높이의 고무보가 시공중에 있다.

본고는 고무보 설치공법을 소개하고 최근 새롭게 개발된 설치 자재들의 우수성을 검토하여 그동안의 고무보에 대한 부정적인 인식을 해소하고, 국·내외 적용 사례를 분석하여 다목적 고무보의 활용성을 검토하고자 한다.

2. 고무보 개요

2.1 고무보의 역사

1950년 미국 L.A.의 Department of Water and Power는 당시 목재댐이 홍수로 잦은 피해를 입어 목재댐의 역할을 대신할 수 있도록 고무보를 개발하였다. 목재댐은 지하수 함양을 위해 물의 흐름을 전환시키는 목적으로 설치되었는데, 토목기술자인 Imbertson은 평상시 기립하여 물의 흐름을 전환시키고 홍수시 보를 접어 유수의 소통을 원활하게 할 수 있는 보의 개념으로 개발하였다. 세계시장에 1982년 소개된 이후 다양한 용도로 사용되어진 고무보는 신속한 기동성과 도복의 확실성, 장경간 시공 가능, 하부공의 간략화 시공의 용이성과 공기단축, 유지관리의 편리성 등으로 하천의 이·치수 역할을 충실히 해왔다 (이재혁, 2009).

일본은 1968년 전기회사인 Sumitomo가 미국으로부터 고무보 기술을 도입하였는데 후쿠시마현의 쿠로타니강에 있는 수력발전용댐으로 일본내에서 가장 높은 6m 고무보가 있으며, 네델란드의 Ramspol에는 8.2m 높이의 세계에서 가장 큰 고무보가 설치되었다. 국내에서는 1985년 동북댐을 시작으로 고무보 설치가 시작되었으며 1988년 대덕연구소 내에 최초 국내기술(주)유일기연로 설치가 되었다. 그 후로 일본의 국토개발기술연구센터에서 제정한 고무보 기술기준이 국내에 도입되어 현재까지 약 200여기의 고무보가 설치되었으며 고무시트, 고정금구, 조작설비 시스템 등의 기술개발로 선진국에 비하여 국내의 고무보 설치기술이 더 높은 수준에 달하고 있다

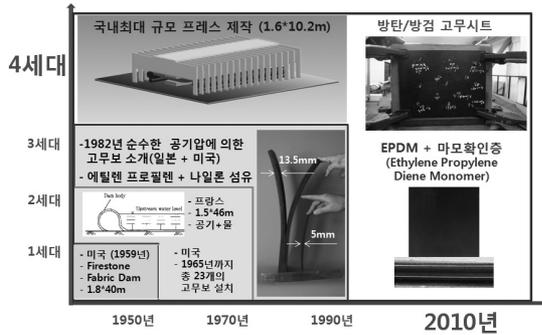


그림 2. 고무보의 역사

2.2 고무보의 구성 및 작동원리

고무보는 공기가 주입되는 고무본체, 콘크리트 기초와 체결하기 위한 고정금구류, 노즐 및 배관, 수위 계측

을 위한 수위계, 고무보 운영을 위한 조작시스템 등으로 구성되어 있다. 고무본체는 EPDM 고무와 마모확인층, 보강포로 이루어져 있으며 고정금구류는 엠베디드 플레이트, 클램핑 플레이트, 앵커볼트 등으로 구성된다. 노즐 및 배관은 고무보에 공기를 주입/배출하기 위하여 콘크리트 기초 내에 매설되어 고무보와 조작실의 송풍기에 연결된다. 수위계는 상류측 수위에 따라 고무보의 자동 기립/전도를 위하여 설치되며 일반적으로 초음파 수위계가 사용된다. 조작시스템은 조작실 내부에 위치하며 공기 주입을 위한 송풍기, 자동 및 수동운영이 가능한 조작 패널, 고무보의 내부 압력을 표시하는 압력계, 공기 주입/배출을 위한 밸브시스템 등으로 구성된다.

고무보의 작동원리는 매우 간단하며 자동 기립 및 도복이 가능하여 운영이 편리하다. 자동운전시 미리 설정

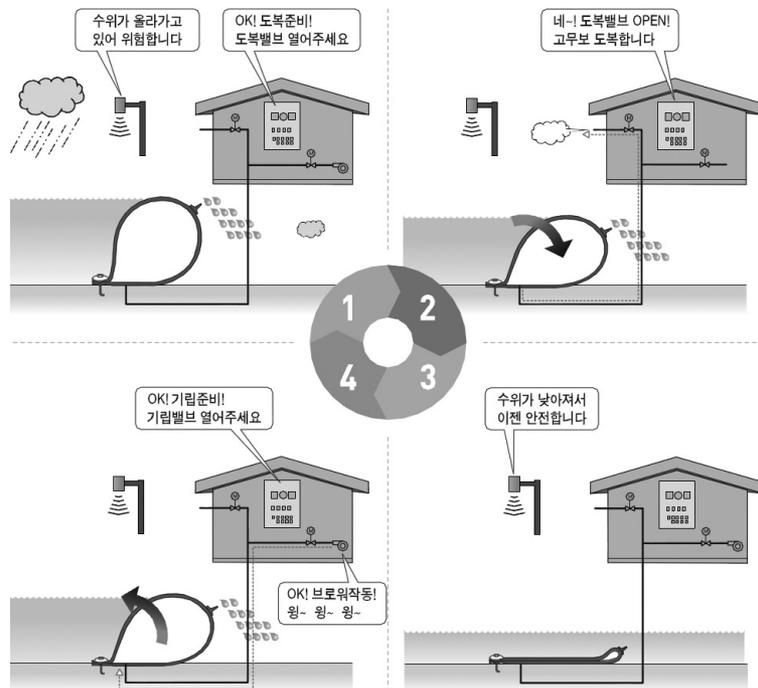
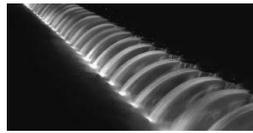


그림 3. 고무보의 기립 및 도복 원리



댐 여수로 상단보



수변공간 조성
(야간 조명)



친환경 하천 정비



농업용 취수보



역류방지용 차단보



소수력 발전용 담수보

그림 4. 고무보의 다양한 활용 사례

한 기립/도복 수위에 따라 홍수시 설정수위 이상으로 상승하면 도복밸브가 자동으로 개방되어 도복이 진행되며 홍수기 이후 설정수위 이하로 낮아지면 기립밸브가 개방되고 송풍기가 작동하여 자동으로 기립이 진행된다. 또한, 비상시 혹은 전원 공급이 중단되었을 경우 수동조작으로 고무보 운영이 가능하다. 그림 3은 고무보의 기립 및 도복 과정을 보여주고 있다.

2.3 고무보의 장점 및 특징

고무보는 신축성을 가지고 있는 원통형의 길고 유연한 하천 구조물로 콘크리트 기초와 체결되며 얇은 2겹의 특수합성 고무판을 설치하고 공기를 튜브 내에 주입/팽창시켜 댐을 형성하는 형태이다. 고무보의 장점을 정리하면 다음과 같다.

- 안전하고 신속한 기동성: 고무보의 빠른 수축 및 팽창으로 평상시에는 이수 용도로 물을 가두고 있다 홍수시에는 빠르게 고무본체를 바닥에 가라앉게

하여 유수의 흐름을 방해하지 않고 기존의 통수단면적을 확보하여 제방의 범람이나 배수영향에 의한 홍수피해 경감

- 준설 불필요: 고정식 구조물은 상류측 퇴적사의 발생이 불가피하나 고무보는 홍수시 도복에 의하여 퇴적사를 하류로 배제
- 시공성 및 경제성, 유지관리 편리성 우수: 타 가동보 공법에 비하여 시공이 간단하고 공사기간이 짧으며 고무시트의 품질향상을 통하여 유지관리가 편리하여 경제성 개선
- 수질정화를 통한 친환경적 기술: 모든 소재의 환경성 테스트를 통하여 수질오염 원인 물질의 배출이 없음을 확인하였고 고무보 부대시설인 공기공급장치, 통기핀, 저류수배출장치를 통하여 하천수질 정화
- 다양한 분야에 적용 가능한 다목적 활용: 농업용수 확보, 건천방지, 빗물펌프장 역류방지, 위락시설, 소수력 발전 등 다양하게 적용 가능한 다목적 활용 기술

3. 신소재 개발 및 적용

3.1 섬유강화 복합소재 클램핑 플레이트

고무시트와 콘크리트 기초를 체결하기 위하여 사용되는 클램핑 플레이트는 기초 바닥면에 위치하고 있어 항상 물과 접촉하고 있다. 기존의 클램핑 플레이트는 스틸 소재로서 장기간 하천환경에 노출되면 부식이 발생되고 방식을 위한 유지관리가 필요 하는 등 다양한 문제점이 야기되었다. 반면 섬유강화 복합소재 클램핑 플레이트는 섬유강화 복합소재를 적층하여 열을 가해 성형물드에 통과시켜 급속 경화 후 규격별로 절단하여 제작한 것으로서 기존의 스틸소재에 비하여 동등한 내구성을 가지며 중량은 약 40%로 경량화 되었다.

섬유강화 복합소재 클램핑 플레이트는 강이나 하천의 수처리 구조물 등 각종 고무보 환경에 적용이 가능하며, 장기간 구조적 안전성 확보와 내하력 증진이 보장될 뿐만 아니라 경량화에 따른 운반과 시공의 편리성이 제공 되는 이점이 있다. 그림 5는 고무보와 콘크리트 기초를 체결하기 위한 섬유강화 복합소재 클램핑 플레이트의

형상을 나타낸 것이다.

섬유강화 복합소재 클램핑 플레이트는 하천환경에서 부식의 우려는 없으나 내구성을 유지하는데 가장 중요한 요소는 수분흡수에 따른 강도저하 현상이 발생하지 않아야 한다. 항상 물에 노출되는 습윤조건에서 복합소재에 흡수된 수분은 확산과정을 통하여 섬유에 전달되고 이는 섬유와 수지의 계면분리 발생 요인이 된다. ACI(미국콘크리트학회)의 440H 기준에 의하면 습윤 흡수 후 65%이상의 강도를 유지하면 내구성이 안전한 것으로 알려져 있다.

또한 우리나라와 같이 여름철에 고온다습하고 겨울철에 장기적인 동결상태가 발생할 수 있는 기후 특성을 고려하여 습윤-건조, 동결-융해, 장기건조, 장기동결과 같은 인위적인 촉진 기후환경에 노출시켜 강도시험을 수행하였다. 그 결과 4가지 촉진 기후환경에 노출된 후 시험 공시체의 잔류하중은 모두 약 66%에서 87%를 유지하고 있어 하천에 설치되는 고무보에 적용이 가능하며 장기적인 내구성을 확보할 수 있다.

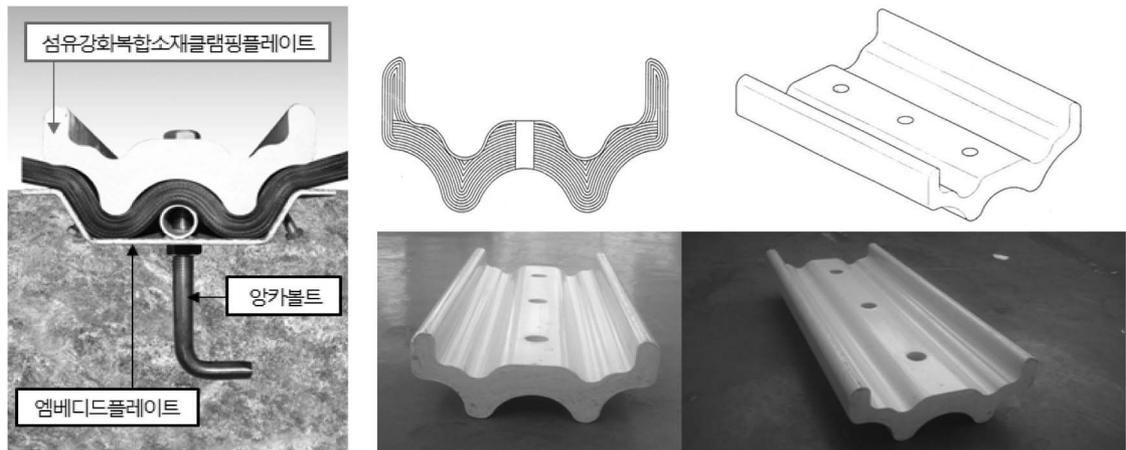
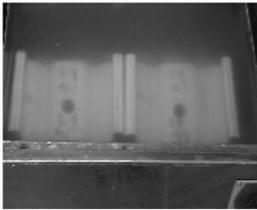


그림 5. 섬유강화 복합소재 클램핑 플레이트

표 1. 섬유강화 복합소재 클램핑 플레이트 강도시험 결과(한국화학융합시험연구원)

시험항목	인장강도	압축강도	휨강도	휨탄성률	시험편
시험결과(N/mm ²)	421	435	505	21,900	
시험방법	KS M 3015 : 2003	ASTM D695-10	KS M 3015 : 2003	KS M 3015 : 2003	



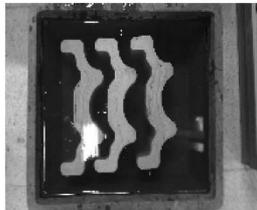
습윤-건조



동결-융해



장기건조



장기동결

그림 6. 촉진 기후환경 노출 시험

표 2. 촉진 기후환경 노출 후 강도시험(잔류하중)

촉진 기후환경	시험공시체 (250mmB × 200mmL)	습윤-건조	동결-융해	장기건조	장기동결
하중 (kN)	123.97	(108.29)	(81.96)	(101.85)	(105.28)
잔류하중율 (%)	100.00	87.35	66.11	82.16	84.92

3.2 마모확인이 가능한 고무시트

마모확인이 가능한 고무시트는 기존 시트와 달리 중간에 유색 마모확인 고무층(황색)을 삽입하므로 파손 및 마모로 인하여 내구성이 저하되는 문제점을 신속히 파악하여 유지보수 편리성을 높인 기술이다.

또한, 기존의 고무시트는 생산하는 폭에 제한이 있어

접합식 고무시트를 사용하여 왔으나, 마모확인이 가능한 고무시트는 국내 최대 규모의 대형 프레스를 도입하여 폭 10.2m까지 무접합으로 제작이 가능하며 고무시트 강도와 내구성이 접합 방식보다 우수하다. 대형 프레스를 이용한 무접합 고무시트의 도입 이전에는 여러 장의 고무시트를 조인트 결합하는 방식으로 제작되었다. 이는 조인트 부분 벌어짐 현상을 야기하여 잦은 점검과

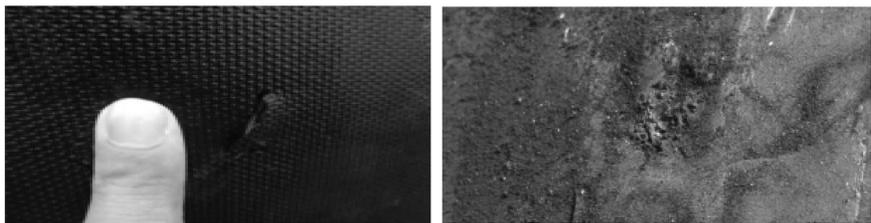
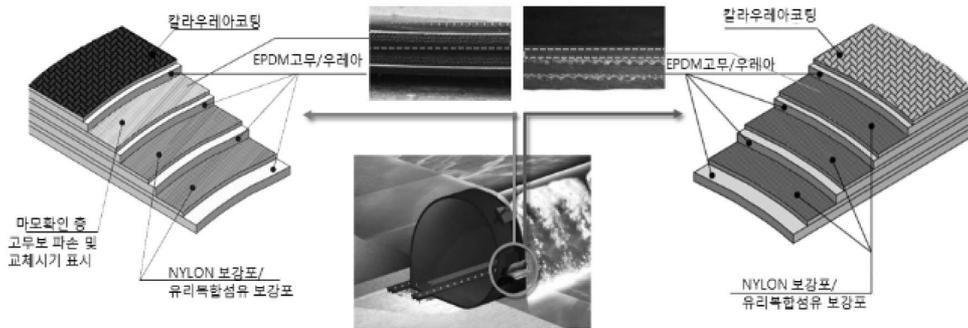


그림 7. 마모확인이 가능한 고무시트과 기존 고무시트 비교

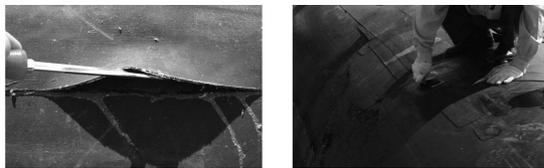


그림 8. 기존 고무시트의 조인트 벌어짐 현상에 따른 유지보수 사례

가능한 고무시트를 제작하는 과정을 보여주고 있다.

3.3 방탄/방검이 가능한 고무시트



그림 9. 대형 프레스를 이용한 마모확인이 가능한 고무시트 제작

고무보의 내구성 증진을 위하여 방탄 및 방검이 가능한 고무시트가 개발되었다. 1990년부터 현재까지 약 30여건의 고무보 유지보수 사례를 분석한 결과, 고무보 도복시 콘크리트 노출부에 의한 고무시트 마모가 약 15%, 인위적인 요인(사람이나 기계)에 의한 파손이 약 47%로 약 60% 이상이 고무시트의 내구성에 관련된 유지보수 사례로 조사되었다.

유지보수를 필요로 하게 되며 고무보 내구성 저하의 원인이 되었다. 그림 8은 조인트 결합방식으로 제작된 고무시트의 조인트 벌어짐 현상이 발생한 사례이고 그림 9는 대형 프레스를 이용한 무접합 방식의 마모확인이

기존 고무시트는 고무시트와 에폭시(Epoxy)를 적층하여 Hot Press에서 가황하여 제작하였으나, 방탄/방검의 효율을 높이기 위하여 고무시트와 아라미드포를 적층 작업하여 Hot Press에서 가황한 고무시트가 개발

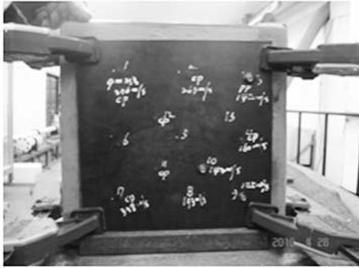


그림 10. 방탄 테스트 (육군사관학교)

되었다. 아라미드포는 일반 유기섬유에 비해 매우 우수한 인장강도, 탄성률, 내열성등을 갖고 있으며 우주항공 분야, 방탄재킷이나 방탄헬멧 등 군수물자 등에도 주로 쓰이는 소재이다. 방탄/방검이 가능한 고무시트 테스트 결과 6.8mm~13.5mm까지 훼손이 있었지만 고무시트를 관통하지 않는 것으로 보아 방탄/방검의 안전성이 확보되며 자연적, 인위적 손상에 대한 고무시트 파괴는 없을 것으로 판단된다(김필식, 2011).

4. 맺음말

하천을 가로질러 설치되는 보의 일종인 고무보는 내구성이 약하다는 일반적인 견해와는 달리 4대강 살리기 사업이나 고향의 강 사업, 저수지 뚝 높이기 사업에서 대다수 적용되어 현재까지 원활한 운영을 하고 있다. 또한, 해외에서도 터키 4.4m 높이의 고무보를 비롯하여 수자원 확보 및 소수력 발전 등의 목적으로 순수한 국내 기술로 설치된 고무보가 운영(캐나다, 미국, 필리핀) 중에 있으며 현재 시공(캐나다, 터키) 하고 있어 국내뿐만 아니라 해외에서도 그 신뢰성이 검증되었다.

1980년대 우리나라에서 처음 설치될 당시에 비하여

현재의 고무보 설치 기술은 그 공법이나 재료 등의 측면에서 4세대 기술이라 볼릴 만큼 국내 고무보 설치 기술은 선진국보다 더 앞서 나아가고 있다. 공법이나 재료적인 측면과 더불어 경제적인 측면에서도 시공성과 유지관리 편리성 등을 개선하여 우수한 경제성을 확보하고 있다. 또한 철재 가동보의 딱딱한 느낌과는 달리 고무재질의 소프트한 느낌으로 인근 지역주민을 위한 친수공간 조성을 위하여 적용성이 높으며, 설치 공법이 간단하여 최소한의 수환경 변화로 적용이 가능하다.

물부족 국가로 분류된 우리나라에서 대규모 댐 건설의 대안으로 하천이나 저수지 여수로에 고무보를 설치함으로써 양질의 수자원 확보가 가능함은 물론 향후 국내에서도 활성화 될 소수력 발전이나 화이트 워터 파크 조성 사업 등에 다목적 활용이 가능한 고무보 설치 기술의 보급은 점차 확대될 것이다.

참고문헌

1. 김재홍, 2002, 물 부족 현상에 따른 수자원개발에 관한 고찰, 기술사, Vol. 35, No. 4, pp. 19-23.
2. 김필식, 김선주, 지용근, 2009, 가동보의 새로운 Paradigm 연구, 한국수자원학회 2009년도 학술발표회, pp. 1560-1564.
3. 김필식, 이재혁, 김선주, 최범준, 박현준, 2011, 고무보의 유지보수 개선을 위한 고무시트 개발, 한국수자원학회 2011년도 학술발표회, pp. 192-196.
4. 이재혁, 2009, 관개기관 소개 - 유일기연, 하천과 문화, Vol. 5, No. 2, pp. 103-107.
5. 장응철, 이충성, 심명필, 2002, 수자원 확보를 위한 고무보 활용 사례 연구, 한국수자원학회 학술대회 논문집, pp. 750-755.

기획: 박창연 cepark@shingu.ac.kr