

# 수자원 확보를 위한 고무보 활용 사례 연구

장용철\* 이충성\*\* 심명필\*\*\*

## 1. 서론

현 시점에서 물 부족 문제의 해결책은 수요관리와 수자원 확보로 요약될 수 있다. 그러나 정부가 지난 7월 내놓은 수자원장기계획에 따르면 수요관리를 통한 물 절약요인을 감안하더라도 2011년에는 18억t의 물이 부족할 것이라고 예상하고 있으며, 양적인 측면에서의 가장 확실한 대안인 댐의 건설 또한 경제성과 공학적 효율성에도 불구하고 환경보전론에 밀려 92년 탐진댐이 착공된 이후 10여 년 동안 단 하나의 댐도 착공되지 못하고 있는 실정이다. 결국 이수적인 문제의 해결 뿐 아니라 환경적인 영향을 극소화 할 수 있는 중소형댐 만이 유력한 대안이라고 볼 수 있으며, 자발적인 대중적 승인을 얻어내기 위해서는 준공 후 생성되는 저수지와 수변공간에 대한 활용도를 극대화 할 수 있는 구조물이어야 할 것이다.

본 고에서는 이러한 조건에 맞추어 상하류간 생태적인 단절을 피할 수 있고 수위와 수량의 확보에도 효과적인 고무보의 사용 사례를 조사해 보고 그 활용도를 가늠해보는 한편 실제 사용에 있어서의 한계점을 알아보고 국내 적용성을 검토해보고자 한다.

## 2. 연구동향

고무보는 1957년 미국에서 최초로 개발된 이래 세계 각 국에 소개되었으며, 현재 전 세계적으로 2200여 개의 고무보가 설치되어 운영중이다. 특히 미국, 일본, 중국은 현재까지 가장 활발한 시공실적을 보유하고 있으며, 가까운 일본에서는 1964년에 고무댐이 최초로 설치된 이후, 세계에서 가장 높은(6m) 후쿠시마현의 Kurotani강에 설치된 수력발전용 댐을 비롯해서 1999년 말에는 그 수가 3100여건에 달하고 있고, 중국 또한 현재까지 450여 개의 고무보를 보유하고 있다.

또한, 최근에는 Laos(1998)와 Bangladesh(1995)에 각 국 최초의 고무보가 설치되는 등 세계적으로 고무보에 대한 관심이 확대되고 있으며, 연구자뿐만 아니라 개발자들도 사용자의 다양한 요구조건을 만족시키기 위해 새로운 형태의 고무보나, 상·하류 양방향으로 수축 가능한 고무보, 강화 강관을 합성한 고무보 등 다양한 연구를 추진하고 있다. 현재 가장 활발하게 기술적인 연구가 행해지고 있는 국가는 일본으로서 1980년이래 고무보의 대형화(6m이상)를 목표로 한 기술적인 검토가 이루어지고 있으며, 대형화에 따른 기능, 구조, 재료적인 단점을 보완하기 위한 연구가 지속적으로 진행중이다. 또한 주목할 만한 점은 일본이 그동안의 시공실적, 기술상의 진보, 개별검토 등을 통해 얻어진 결과들을 모아 합리적이고 효과적인 사업전개를 할 수 있도록 성능 규정화를 시도하고 있다는 점으로 향후 국내 연구에도 많은 도움이 될 것이라 생각된다.

\* 인하대학교 대학원 토목공학과 석사과정

\*\* 인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\* 인하대학교 환경토목공학부 교수

### 3. 각 국 주요동향

#### 3.1 중국(Wuhan built a biggest rubber dam in China)

중국은 근래(2001) Wuhan에 캔버스와 네오프렌 등의 강화 합성수지를 재료로 한 높이 5.0m, 길이 213m의 고무보 시공을 계획하고 있으며, 이는 기존 철근콘크리트 댐에 비해 60%의 투자 절감 효과를 가져다줄 것으로 예상하고 있다.

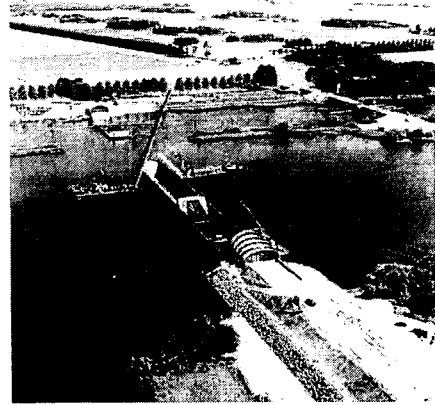


그림 1 Ramspol 고무보의 시공장면

#### 3.2 네델란드(Ramspol storm surge barrier project)

네델란드는 1958년부터 행해오고 있는 Delta Plan의 일환으로 Kampen시 Ramspol에 길이 240m의 세계에서 가장 높은 8.2m의 홍수피해 방지용 고무보를 계획하여 시공하고 있으며, bladder의 기복시 공기채움 방식과 물채움 방식을 혼합하여 운영되도록 설계되었다. 하지만 고무본체의 응력집중현상과 거대 bladder의 기초 등 대형화에 따른 구조적, 기능적 검증 단계의 지연으로 2002년 가을 이후에 완공될 예정이다(<http://www.reest-wieden.nl/project/ramspol.html>).

#### 3.3 스페인(Replace rubber dam in Guadiana River)

스페인 Guadiana강의 고무보(3.0m × 40.0m ; 2000년 설치)는 도복시 진동에 의한 심한 마모로 인해 제거될 예정이다. 이는 콘크리트 기초의 부적절한 설계로 인한 흐름 패턴의 변화와 예상 밖의 고수위에서 기인한 것으로 추정되고있다.

#### 3.4 방글라데시(The first rubber dams in Bangladesh)

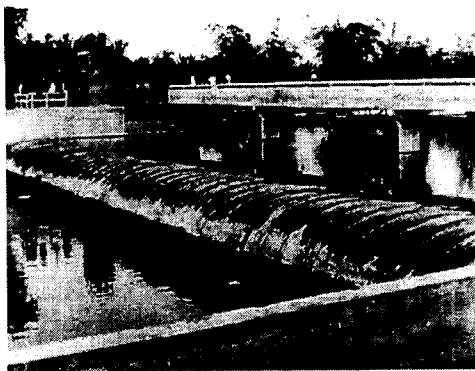


그림 2 관개용수공급용 댐(Bangladesh)

방글라데시의 강우는 심한 계절적 편중 성향을 가지고 있으며, 이로 인해 효과적인 관개시스템의 도입과 관리가 요구되고 있다. 이에 따라 LGED(Local Government Engineering Department)는 8000ha의 관개지역에 물을 공급하기 위한 방안으로 Cox's Bazar의 Bakkhali강과 Idgoan Khal 지역에 각각 84m×3.5m와 52m×3m 규모의 방글라데시 최초의 고무보 설치를 제안하였고 1995년 방글라데시는 두 고무보의 설치로 인해 각각 6000ha와 2000ha의 관개지역에 농업용수를 공급하고 있다.

#### 3.5 라오스(The first synthetic rubber mobile dam to be used in Laos)

라오스는 Mekong강의 지류인 NamTheun강에 최초의 소수력발전용 고무보(2×105,000kw)를 건설할 예정이다. 라오스 정부에 의해 일본 SUMIGATE회사가 건설, 관리 등 모든 공정을 위임받아 추진할 예정이며, 설치될 고무보는 수력발전뿐 아니라 홍수제어 등 다양한 목적으로 쓰일 예정이다.

#### 4. 효율적 수자원 이용을 위한 고무보 활용 사례

단순히 수량확보와 같은 양적인 측면에서 고무보와 고정보를 비교하는 것은 무리가 있다. 완전히 기복된 이후의 고무보는 같은 규모의 고정보와 같은 구실을 하게 되며 동일 수량을 확보하는 수단에 지나지 않기 때문이다. 그러나 고무보의 기복 특성인 상하류간 생태적인 단절을 막고 홍수 발생 시 도복 함으로서 댐고에 의한 수위상승을 억제해 하천범람을 막을 수 있으며, 홍수지 퇴적될 다량의 유사를 흘려보내게 된다. 이러한 다목적적인 기능은 구조물 설치의 결정단계에서 대중의 승인을 보다 용이하게 한다.

또한 고무보는 각 국의 사례에서 볼 수 있는 바와 같이 레크리에이션을 위한 하천구조물로서 폭 넓게 지지되어지고 있으며, 기복의 정도에 따라 연속적인 흐름을 가능하게 함으로서 한파에 영향을 받지 않고 재료적인 특성 상 지형적인 영향을 거의 받지 않는 등 악조건에서의 설치가 가능하다

##### 4.1 다목적적인 사용 예(Wyoming Valley Inflatable Dam Project)

최근 Pennsylvania의 Wyoming Valley에서는 홍수피해격감을 위한 기존의 20km에 이르는 높이 1~1.5m의 제방축조사업에 대한 검토를 중단하고, 지역주민의 생활환경과 환경적인 건전성을 고려하여 Susquehanna강에 높이 3m, 길이 200m에 이르는 고무보 축조를 계획하기 시작했다.(2000)

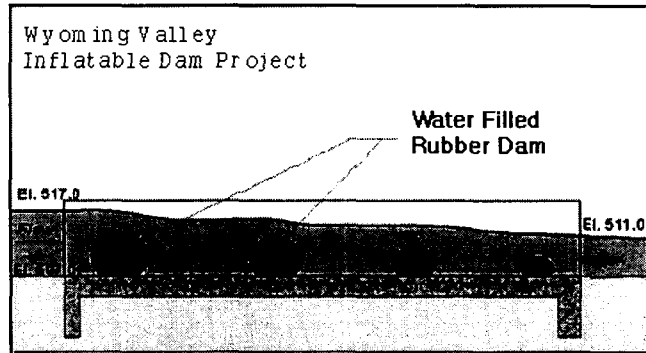


그림 3 고무보를 이용한 계단식 어도(Wyoming Valley)

경제적, 공학적 측면에서 다각적인 검토가 이루어졌고 홍수방지시스템으로서 뛰어난 효과가 있음을 증명했다. 특히 환경적인 측면에서는 수질, 주변 습지, 생태조건 등 전반적인 측면에 대해 면밀한 검토가 이루어진 결과 미공병단을 포함한 사업단은 이에 대해 충분한 경제성이 내재되어있으며, 환경적으로 건전하다고 판단하였다. 또한 Wyoming Valley는 환경적인 영향을 극소화하기 위해 하천에 대각선의 형태로 고무보를 설치하고 회귀성 어류를 위해 고무보를 이용한 계단식 어도를 설치하는 등 다양한 응용적인 설치에 의해 효율적으로 친환경적인 구조물을 구현하고 있으며, 본 프로젝트는 비용편익분석에 있어서도 장기적으로 고무보만 설치할 경우 3.4:1, 고무보 설치와 함께 위락시설을 갖출 경우 33:1에 이르는 등 향후 성공적인 사업으로 평가받아 미국컨설팅협회에서 대상을 수상한바 있다(Honor Award in the American Consulting Engineers Council's 35th annual Engineering Excellence Award Competition. 2001).

##### 4.2 홍수시 모래주머니 대안으로서의 고무보(Water wall system, Canada)

소규모의 수해방지 구조물로서 물채움 방식의 고무보(Water Wall)는 "Water Structures" 또는 "Aqua Dam"이라고도 불리며 설치가 빠르고 자중에 의한 지지가 가능하므로 특수건물이나 일반주택, 소규모 하천공사를 위한 목적으로 사용된다. 또한 비탈진 곳에 사용될 경우 고무보나 기타 포장재(geomembrane)의 유연한 재질과 중력에 의해 댐 형태가 변형되는 것을 방지하기 위해 내부를 얇은 막으로 나누어 일정 형태를 유지하도록 고안되었다([http://www.epc-pcc.gc.ca/research/scie\\_tech/alter\\_sand/alter\\_04.html#4.4.3](http://www.epc-pcc.gc.ca/research/scie_tech/alter_sand/alter_04.html#4.4.3)).

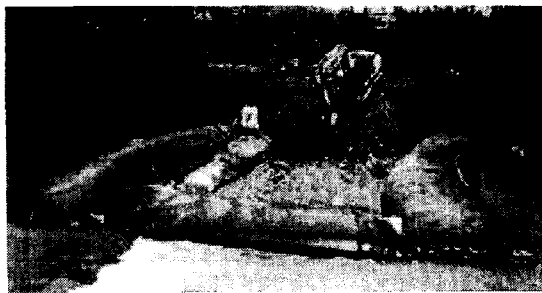
주택 침수 방지



흐름 방향 제어



하천 공사



딤체 변형을 방지하기 위한 내부 막

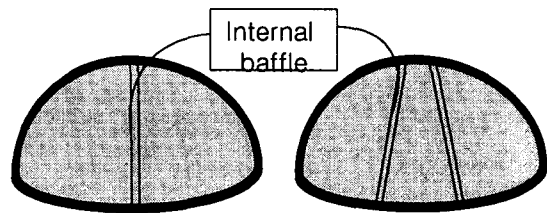


그림 4 수해 방지를 위해 사용된 Water Wall 사용 사례

#### 4.3 도시지역 합류식 하수도관 시스템의 월류방지용 고무보(ExpanGates, Japan)

집중호우로 인해 처리시설의 능력을 초과하는 추가 유입량이 발생했을 때 합류식 하수도관 시스템에서의 월류(Combined Sewer Overflows)상황은 특히 도시지역에 있어 커다란 문제 중 하나이다. 이는 하수관의 직경을 크게 하거나 관을 보다 깊이 매립함으로써 해결되어왔으나 기존 관내에 설치가 가능한 ExpanGates는 기존 시설용량을 그대로 유지한 채 고무보를 관내에 설치함으로써 관로시스템을 조정하고 유출량을 조절할 수 있는 구조물로서 외부환경에 영향을 받지 않고, 관의 형태에 상관없이 설치가 가능하며, 실제 하천상의 고무보보다 작은 압력에 의해 기도복이 가능하다는 장점이 있다(<http://www.bridgestoneindustrial.com/ExpanGate/index.htm>).

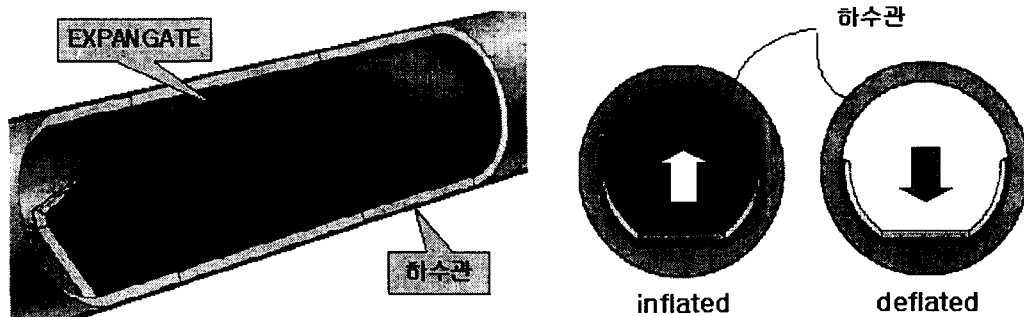


그림 5 도시 하수구에 설치 가능한 ExpanGates

#### 4.4 단면이 불규칙한 하천의 경우와 악조건에서의 사용 예(Europe)

고무보는 유(柔)한 재료의 특성상 곡선형태 혹은 기타 불규칙한 형태의 하천에서도 적용이 가능하며, 한파시 고무보의 높이를 조절함으로써 연속된 흐름을 만들어 상류에 저류 되어있는 물이 결빙하는 것을 방지할 수 있기 때문에 동해의 위험이 상주하는 곳에 적합하다.

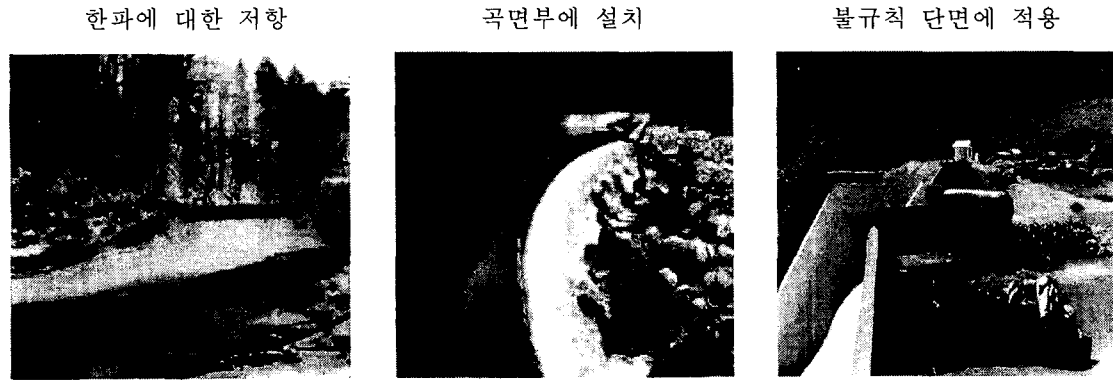


그림 6 지형적, 기후적 악조건 하에서의 사용 사례

### 5. 고무보의 한계 및 문제점

#### 5.1 수위변화에 따른 댐체 변형(Water level change and tube deformation)

지속적인 상하류 수심의 변화는 압력차를 발생시킴으로서 bladder의 형태를 변화시키게 되고, 결과적으로 시간에 따라 유동적인 댐 높이의 변화를 가져옴으로서 수위조절을 어렵게 한다. 또한 유량조절 게이트나 어도가 병설될 경우에는 기복 정도에 따른 방류량의 변화에 대한 검토가 필요하다.

#### 5.2 최대월류수심(Maximum overflow depth)

월류 수심이 설정된 한계 수위를 벗어날 경우 파동이 발생하게 되고 이는 bladder에 전달되어 손상을 가하게 된다. 또한 지속적인 bladder의 진동은 댐체와 바닥의 마찰로 인한 손상을 가져올 수 있으며, 수명을 짧게 할 수도 있다. 따라서 월류수심이 진동발생의 한계치를 넘는 경우에는 유효한 대책을 강구해야 한다.

#### 5.3 V노치(V notch effect)

팽창재로서 공기가 사용될 경우 도복 과정에서 bladder에 V자 형태의 국부적 변형이 발생할 우려가 있으며, V노치부에 유량 집중이 발생하기 때문에 수위 및 방류량의 제어가 곤란하게 된다.

#### 5.4 불완전 도복(Flattening)

상하류 간 수위차가 작고, 유속이 낮을 경우 러버댐의 완전한 도복을 어렵게 하며 파손의 원인이 된다.

이 밖에 고무보의 문제점으로는 고의적인 행위에 의한 파손(Vandalism), 열에 의한 손상(Fire damage), 채움재의 누출(Leakage)에 의한 기능 마비 등이 있으며, 주로 설치 이후의 재료적인 문

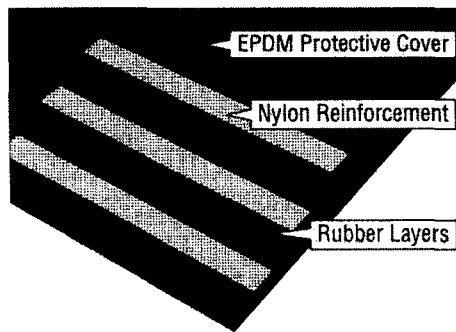


그림 7 다단의 강화고무재료

제점임을 알 수 있다. 하지만 이러한 문제점은 홍콩의 관리 사례에 따르면 극히 빈도가 적거나 사용기간 동안 발견되지 않았음을 알 수 있으며, 고탄력, 고강도 재료에 대한 지속적인 연구와 미세한 파손에 대한 자기 복원(self-sealing material to re-close small holes)bladder 등의 개발로 인해 꾸준히 개선되어지고 있다(國土開發 技術 研究セクター, 2000). 또한 고무보는 짧은 역사로 인해 분석시 전산프로그램에 의한 거동해석 보다는 대다수 물리모형에 의존해야만 하는 한계가 있다(Hubert Chanson, Austria).

## 6. 결론

미국의 경우 1985년부터 시행된 Public Law에 의거 모든 수자원개발사업은 조사 및 계획 단계에서부터 레크리에이션 기회와 생태보전 사업을 포함토록 하고 있으며, 동 사업의 실천력을 강화하기 위하여 사업에 소요되는 예산을 수자원개발사업 편익계산에 반영시키도록 하고 있다. 즉, 앞으로는 댐 건설의 본 목적뿐 아니라 환경친화적이어야 하며 레크레이션 등과 같은 복수적인 기능(Positive Features)을 제공함으로써 자발적인 대중적 승인을 유도 할 수 있는 형태의 구조물만이 사업화 되어 현 물문제를 해결할 수 있다는 것이다. 이러한 점에서 고무보는 현 시점에 부합되는 구조물로 사료되며 향후 해외기술동향 파악과 연구개발이 필요하다고 생각된다.

한편 고무보의 기도복 기능은 고정보에 비해 다양한 장점을 제공하지만 정밀하고 치밀한 수위 제어 등은 할 수 없다는 한계가 존재한다. 이것은 수위 변화에 의한 댐체 형태의 변형, V-notch현상의 발생 등 고무보의 유(柔)한 구조에서 기인한 것이다. 물론 이러한 특성에 부합한 설치를 함으로써 제어 기능을 만족하는 것도 가능하지만, 조작 설치가 복잡화되기 때문에 고무보의 특징을 떨어뜨리는 경우가 발생할 수도 있으므로 실제 하천에 고무보를 적용할 경우 이들 특성에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 國土開發 技術 研究セクター(2000). ゴム引布製起伏堰技術基準(案)  
 Bridgestone Coporation(1987). Introducing the Bridgestone rubber dam  
 Xue-qing Zhang(1999). "Construction of rubber dams" Water Resources Journal, ESCAP.  
 March 1999, pp21~28

## website

- <http://www.bridgestoneindustrial.com/ExpanGate/index.htm>  
[http://www.epc-pcc.gc.ca/research/scie\\_tech/alter\\_sand/alter\\_04.html#4.4.3](http://www.epc-pcc.gc.ca/research/scie_tech/alter_sand/alter_04.html#4.4.3)  
<http://www.reest-wieden.nl/project/ramspol.html>  
[http://www.gfnet.com/damproject/01\\_home.htm](http://www.gfnet.com/damproject/01_home.htm)  
<http://civcal.media.hku.hk/rubdam/default.htm>  
[http://www.ferc.fed.us/hydro/docs/engguide/pdf\\_files/chap10.pdf](http://www.ferc.fed.us/hydro/docs/engguide/pdf_files/chap10.pdf)  
[http://www.hydroconstruct.at/e\\_start.htm](http://www.hydroconstruct.at/e_start.htm)