

저수지 홍수배제능력증대 방안 검토

윤 동 균

(ydkibm@ekr.or.kr)

농어촌연구원 수자원연구팀

■ 서 론

국내에는 약 18,000개의 댐이 건설된 것으로 추산되는데 대부분 1970년 이전에 건설되었고 필댐 형식이어서 최근 빈번히 발생하고 있는 국지성 집중호우에 매우 취약하다. 과거 홍수로 인한 댐 붕괴사례를 보면 대부분 대규모 댐보다는 규모가 작은 농업용수댐들에서 월류에 의한 파괴가 발생한 것으로 나타났다.

이러한 이유로 규모가 작은 저수용량 100만톤이상의 댐들에 대해서도 비상대처계획(EAP) 수립을 의무화하고 있으나 홍수예방을 위한 적극적인 대책수립 및 예산지원은 아직 미미한 수준이다. 또한 치수능력증대를 위한 구조적인 보강대책으로 댐 증고, 보조여수로 신설, 여수로 확장 및 상류에 홍수조절용 댐 신설 등의 방안이 적용되고 있으나 이러한 대책들은 막대한 예산이 소요되고 환경파괴측면에서도 현실적으로 어려운 점이 있기 때문에 중규모 이하 농업용수댐에 적용하기에는 무리가 있다.

따라서 본고에서는 국내외 댐 개축사례를 살펴보고, 치수 및 경제적인 측면에서 농업용수 댐에 적용 가능한 홍수배제능력증대방안을 알아보았다.

■ 농업용수 댐의 현황

‘농업생산기반정비사업통계연보(2003, 농림부)’에 의하면 농업용수 댐은 전국에 모두 17,820개소가 있으며, 이 중에 한국농어촌공사 관리시설이 3,323개소로 전체 저수지의 18.6%를 차지하고 있으며, 나머지는 시·군·구 등 지방자치단체에서 관리하고 있다. 준공연도별로 살펴보면 1945년도 이전에 준공된 댐이 9,589개소로 전체의 53.8%가 60년 이상 경과되었으며, 1946~1966년 사이에 준공된 댐도 21.0%에 달하는 등 40년 이상 노후화된 시설이 전체의 74.8%에 이르고 있다. 또한 농업용수 댐을 높이별로 구분하면 10m미만이 14,830개소로 전체 댐의 83.2%를 차지하고 있으며, 10m~20m가 13.7%로서

20m미만의 댐이 전체의 96.9%를 차지하고 있고, 높이 30m이상의 댐은 0.9%에 불과하다. 한편, 댐의 유효저수량을 기준으로 댐의 규모를 살펴보면 10만 m³ 미만의 소규모 댐이 전체 댐의 88.7%를 차지하고 있으며, 전체의 95.6%가 100만m³이하의 댐이다. 1,000만m³이상의 댐은 40개소로서 전체의 0.2%에 불과하다.

농업용수 댐 중에서 한국농어촌공사에서 관리하는 댐은 3,323개로, 유효저수량 별로 분류해보면 전체의 87.39%가 100만m³이하의 저수량을 가지고 있고, 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」에서 정한 1,000만m³이상의 1종 시설물은 40개에 불과하다. 댐 높이 별로 살펴보면 10m미만인 댐이 1,947개소 58.59%, 20m미만의 댐이 87.18%를 차지하고 있다. 50m이상의 대형 댐은 15개소로서 0.45%를 차지하고 있다.

한국농어촌공사가 관리하는 댐의 여수로 형식을 살펴보면 대부분 자연월류형으로 전체의 98.79%인 3,283개소를 차지하고 있다. 수문형과 복합형(수문형+자연월류형)이 24개소로 0.73%, Siphon식이 14개소로 0.42%, 그리고 모닝글로리 형식은 경북 경주시에 있는 덕동댐 등 4개소로 조사 분류되었다.

■ 홍수배제능력 증대사례

국내 댐들의 홍수배제능력 증대사례를 살펴보면 기존에 수문조절식 여수로의 경우는 보조여수로 또는 비상여수를 설치하고 있고, 자연월류형 여수로의 경우는 수문을 설치하는 방법으로 설계 시공되고 있다. 외국 댐들의 홍수배제능력 증대사례는 국내와 마찬가지로 댐 증축, 보조여수로 신설, 수문설치 등이 있고, 그 외에도 Fuse plug, Parapet wall, Fuse gate와 같이 좀 더 다양한 구조물을 설치하고 있다.

■ 구조적인 홍수배제능력증대방안

▶ 보조여수로(Auxiliary Spillway) 설치

일반적인 보조여수로는 상용여수로(Service Spillway)와 결합하여 사용하는 것이 유리할 경우에 계획하며, 이런 경우 상용여수로는 자주 발생하는 홍수를 소통시키게 설계하고 보조여수로는 설계홍수를 초과하는 홍수가 발생하였을 때 작동하도록 한다. 장점으로는 기존 댐의 제원 및 운영조건을 만족시키고 수문조작을 통한 예비방류가 가능하며, 기존 댐체에 영향을 주지 않고 항구적인 댐 안전성을 확보할 수 있다는 것이다. 단점으로는 과도한 공사비와 시공 후 유지관리 비용이 소요되며 공사시행에 따른 자연경관이 훼손되고, 하류하천 영향에 대한 평가를 시행하여야 한다.

▶ 비상여수로(Emergency Spillway) 설치

비상여수로는 상용여수로의 어떤 부분에 파괴가 발생하여 여수로를 우회시킬 필요성이나 수문의 고장, 방류부의 폐쇄 등과 같은 비상사태가 발생하였을 때의 댐 안전성을 증대시키기 위해 설치하는 것이다. 비상사태는 홍수조절용량이 유입홍수량으로 채워진 뒤 그 홍수량이 상용여수로로 방류되기 전에 후속 홍수가 유입될 때에도 일어나며, 비상여수로는 설계홍수보다 더 큰 홍수가 발생하면 보조여수로처럼 작동을 하게 된다. 미국 토목학회에서는 특별위원회를 구성하여 과거에 빈도 홍수로 설계된 기존 댐의 여수로 방류능력을 재평가하여 용량이 부족한 경우에는 비상 여수로를 갖추도록 권고하고 있다. 이 방안의 장·단점은 보조여수로 신설안과 같다.

▶ 기존여수로 확장

댐 계획 시 여수로는 경제성, 시공성 등을 검토하여

형식 및 위치를 선정하게 되므로 기존여수로와 별도로 보조 및 비상여수로 계획시 위치선정에 있어 적지가 없는 경우가 발생할 수 있다. 이때 기존여수로를 확장하여 여수로 방류능력을 키우는 방법을 선택할 수 있으며 공사비 면에서 유리한 장점이 있다. 단, 공사 중 유수처리에 유의하여야 한다.

▶ 수문설치

자연월류형 여수로의 경우 일반적으로 웨어마루를 상시만수위와 일치시키므로 수문식 여수로 보다 대부분 웨어 단위 폭 당 방류능력이 떨어진다. 이때 기존 여수로 웨어에 수문을 계획하고 수문 하단부를 웨어 마루보다 아래에 두면 웨어 단위 폭 당 방류능력을 높일 수 있다.

▶ Labyrinth Spillway

홍수배제능력증대를 위해 웨어 길이를 증가시키는 방안 중 하나인 Labyrinth를 설치한 사례는 국내에는 적용된 적이 없고 외국에서 여러 댐에서 적용한 예가 있다. Labyrinth Spillway는 주기적인 반복으로 이루어진 다각형 평면을 갖는 것이 특징이다. 그러므로 이 여수로는 같은 여수로의 폭에 대하여 직선형 여수로보다 더 긴 웨어 길이를 제공한다. 즉 Labyrinth 여수로는 직선형 여수로와 같은 여수로 폭에 대하여 더 큰 홍수배제능력을 가지거나 작은 일류수심으로도 더 큰 홍수배제능력을 가지는 장점을 가지고 있는 것이다. 후자에 의하면 Labyrinth 여수로는 댐 높이를 감소시키거나 저수지 수위를 올릴 수 있다는 것이다. Labyrinth 여수로는 자유낙하식 수리특성을 주는 얇은 벽으로 되며 평면상으로 여러가지 형태가 있는데 그 중 대칭을 이루는 사다리꼴이 가장 많이 사용되고 있다.

▶ Fuse Plug, Fuse Gate 설치

Fuse plug는 비상시 방류능력을 증대시켜 댐의 안전을 확보할 목적으로 설치되며 일반적으로 상용여수로의 방류량과 Fuse plug의 방류량을 합쳐도 댐 하류에 큰 영향을 미치지 않는 광활한 지역에 적합하다. Fuse plug는 월류시 항상 자동적으로 파괴되도록 설계하며, 설치비가 싸고 유지관리가 쉽다. 여러 구간으로 나누어 높이를 다르게 하여 설치하면 전구간이 동시에 월류되지 않을 것이기 때문에 적은 양의 홍수는 한 구간이나 혹은 몇 개의 구간만을 붕괴시키고, PMF 시에만 전 구간을 붕괴시킬 수 있다. 한 구간씩 붕괴가 되면 Fuse plug의 급작스런 전면파괴로 인한 홍수과를 최소로 하게 될 것이다. Fuse gate는 일반적으로 블록단위의 자립형 구조물을 수밀이 되도록 연속하여 설치하고 일정수위 이상이 되었을 때 구조물 하부로 연결된 유입구로 물이 유입되도록 하여 구조물 하부에 수압을 발생시켜 구조물을 전도시키는 원리이다.

▶ 가동웨어(Movable Weir)

가동웨어(Movable Weir)는 저류기능을 쉽게 발휘하거나 또는 없앨 수 있는 보를 말하며 고무보와 전도게이트가 근래 널리 쓰이는 가동웨어의 한 형식이다. 고무보는 속이 빈 원형, 타원형의 고무통으로 하천이나 저수지를 가로막아 저수용량을 크게 할 수 있는 것으로 고무통에 공기나 물 또는 혼합물을 주입시켜 수위를 높이고 반대의 경우에는 주입한 유체를 방출시켜서 고무보 위로 물이 흐르도록 한다. 전도게이트는 철판 하부에 설치된 유압실린더를 이용하여 상단부의 철판 각도를 조정하고 전도시킴으로서 저수용량을 조절하는 형식이다. 기존 여수로의 상단에 가동웨어를 설치할 경우 저수용량을

증대시킬 수 있어 수자원의 추가적인 확보에 도움을 줄 수 있으나 방류능력을 증대시키기 위해서는 웨어마루 표고를 낮추고 가동웨어를 설치하는 것도 하나의 개축방안이 될 수 있을 것이다.

▶ 사이펀 여수로(Siphon Spillway)

사이펀 여수로는 여수로 설치 공간에 제한을 받는 경우에 제체 안에 설치할 수 있으므로 기존 댐의 여수로 확장의 대안으로 적합하다. 관로에 출구로부터 공기가 거꾸로 유입되는 것을 막기 위하여 관로 끝은 물웅덩이(Barrel)에 유입시키거나 U자형으로 구부려야 하며, 흡입된 공기는 사이펀 마루(Crown)에서 방출 시키도록 설계해야 사이펀기능이 유지된다. 장점은 저수지 수위가 자동적으로 일정 범위 내에서 유지되는 것이나 관로 끝에 물웅덩이를 만드는데 공사비가 많이 들고 유지관리가 어려운 단점이 있다.

■ 취수시설을 이용한 홍수배제능력증대 방안

▶ 설계기준 분석

농업생산기반정비사업 설계기준(필댐편)에 의하면, 취수설비를 설치하는 목적은 관개, 발전, 상수도 등을 위한 취수, 홍수의 방류, 홍수조절, 하천의 정상적 기능유지를 위한 방류, 점검·수리 및 유지관리를 위한 방류, 공사중의 가배수, 저수지 저위부의 냉수를 방류하여 온수층을 두껍게 하는 등의 목적을 가지고 있다. 또한, 취수시설은 이와 같은 목적에 알맞고 그 중에서 최대의 취수량을 안전하게 취수 및 방류할 수 있어야 한다고 되어 있다. 그러나

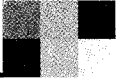
현재 증가하는 홍수량을 배제하기 위해 취수시설을 이용하여 홍수량을 배제할 시 부대시설인 공기통에서 소음과 진동 등의 공동현상(Cavitation)이 발생하는 것으로 나타났다. 현재 공기통 단면결정은 농업생산기반정비사업 설계기준(필댐편)의 4.11.5 구조설계 부분 중 “라”항 부대시설에 설명되어 있으며, 2Page(pp.423~424)로 정리되어 있다. 그러나 현 설계기준은 취수시설의 이수측면에서 설계 및 시공이 진행됨에 따라 치수에 대한 목적을 달성하기에는 어려움이 있다. 따라서 현재 설치된 취수시설에 대하여 취수구, 공기통단면, 가배수터널 등을 고려하여 홍수량을 배제할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것으로 판단되어 진다. 또한 신규 저수지 설계 및 개보수사업 시에도 취수시설을 이용한 홍수배제 능력 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

▶ 공기구멍의 효과

공기구멍의 효과로는 게이트 또는 밸브가 열려 있을 때는 게이트에서 유로 내로 들어간 물이 고압류이기 때문에 일부 유로 내에서 만류되고 그 곳에서 도수가 상류쪽으로 이동하는 과도적인 기간 중에는 게이트 직하류위 압축된 공기를 유로 외로 배제할 수 있다. 반면 게이트 또는 밸브가 닫혀 있을 때는 도수가 하류쪽으로 이동하는 순간 게이트 직하류부에 진공이 되는 곳에 공기를 공급할 수 있게 된다. 또한 게이트 또는 밸브가 반쯤 열려 있을 때도 하류부의 수류로 만류되고 게이트 직하류 부근이 만류되어 있지 않은 경우 그 곳의 압력이 대기압 이하로 내려가지 않도록 공기를 공급하여 공동현상이 생기지 않도록 할 수 있다.

▶ 공기구멍 설계 시 고려사항

저수지 취수시설(취수탑, 사통) 설계에 대한 공기



구멍 설계 시 고려하여야 할 사항들은 다음과 같다.

(1) 공기구멍의 최소직경은 100mm 이상이 되도록 한다.

(2) 게이트 직하류부근에 설치하는 공기구멍 위치는 모형실험에 의해서 결정하는 경우 이외에는 게이트 높이에 상당하는 거리만큼 하류로 정한다.

(3) 게이트 하류의 방수로중에 상류부 및 하류부에서 각각 만류하고 중간부에 간극단면을 일으키는 경우에는 그 부분에도 공기구멍을 설치한다.

(4) 소단면의 유로에서 더 큰 단면의 터널 등에 고압류를 방류할 경우도 고압류에 의해서 터널의 일부가 만류되려고 할 때는 만류점보다 상류에 공기구멍을 설치한다.

(5) 사통에서의 공기구멍은 종래에는 사통관체의 상부에만 개구할 정도의 설계 예가 많은데 사통과 취수터널과의 연결부에서는 난류로 인한 공동현상을 일으키는 경우가 있으므로 이때에는 이곳에도

공기구멍을 설치한다.

(6) 공기관을 취수탑에 설치할 경우 소규모의 것은 철관을 사용하여 탑체벽에 매설하나 대구경의 것은 탑체벽의 외측에 설치하게 되므로 이 경우에는 지진, 수압, 온도차로 인한 신축 등을 고려한 이음매로 해야 한다.

(7) 공기구멍은 조작실에 개구해서는 안된다.

▶ 공기구멍의 크기 결정

공기구멍의 크기는 원칙적으로 다음식에 의해서 소요공기량을 산출하여 결정한다. 단, 소규모 또는 간이적인 것은 계획최대취수량의 15%에 해당하는 공기량을 소요 공기량으로 결정해도 된다.

(1) 소요공기량 산정식

$$Q_a / Q_w = 0.004(F-1)^{0.85}$$

여기서, Q_a : 소요공기량, Q_w : 게이트를 80% 개방

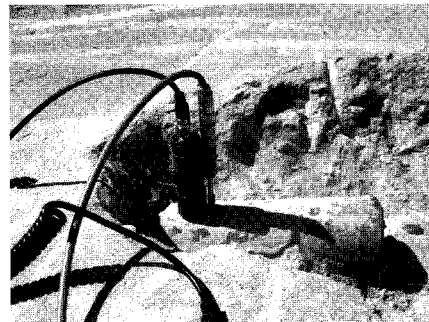
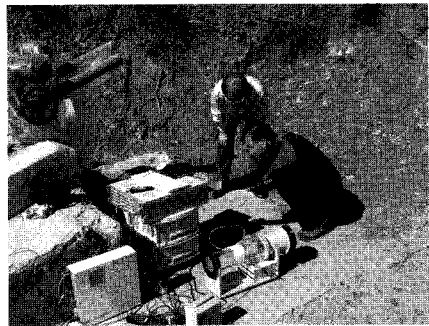


그림 1. 저수지 취수시설(사통) 공기통 현장조사

하였을 때의 유량, F : 게이트 직후방 수축단면에서의 사류의 프루드수

한편, 공기량의 최고수요는 게이트가 약 80% 열렸을 때 또는 극히 적게 열렸을 때 일어난다.

(2) 공기구멍 규모의 결정 : (1)에서 산정한 소요공기량에서 공기구멍 내의 풍속은 45m/s를 기준으로 하고 90m/s를 초과하지 않는 범위 내에서 공단면을 산정하고 이에 해당하는 관제품 규격에 맞추어 관내경을 정한다. 공기구멍의 재료도 강관, 주철관 등을 사용하는데 규모, 설치공법에 따라서 관종을 결정한다.

▶ 공기량 조사

현재 기 설치된 공기통의 풍속을 현 설계기준과 적합성을 판단하기 위하여 경기도에 위치한 지천저수지에 실제 공기량 측정을 실시하였다. 현재 설치된 관계용 취수문 1호~3호 중 1호 수문(Ø 500mm)을 최대로 개방하였을 때 현재의 설계기준에서 제시한 관내 풍속 45m/s와 비슷한 43m/s로 나타났다. 2호, 3호를 추가로 개방하여 공기량을 측정하려 하였으나, 하류하천에 위치한 논 벼 작물에 대한 영향을 미치는 것으로 조사되어 2호와 3호는 추수가 끝난 뒤에 조사하는 것으로 계획 하였다. 현재 분석된 자료만을 보더라도 취수문 1개를 개방할 때 공기통 단면이 적정한 것으로 나타났으나, 홍수량 증가 시 2호, 3호 수문을 추가로 개방할 때는 현 공기통 단면은 부족한 것을 알 수 있다. 그림 1은 저수지 취수시설(사통)에 대한 현장조사를 시행하는 것이다.

■ 결 론

최근 강우사상의 증가와 이상기후로 인한 국지성

집중호우가 빈번하게 발생하여 홍수로 인한 인적·물적 피해가 늘어가고 있다. 이제라도 시설물의 중요도 및 예산형편 등을 이유로 안전의 사각지대에 놓여있는 중·소규모 댐들에 대한 홍수재해 예방을 위해서는 충분하지는 않더라도 최소의 비용으로 최대한의 효과를 거둘 수 있는 현실적인 대책을 마련되어야겠다. 그러기 위해서는 여수로를 신설하는 무리한 방법 보다는 기존 수리구조물을 최대한 활용하는 방법과 취수시설을 이용하는 경우를 적극 추천하고자 한다. 현재 농어촌연구원에서는 취수시설(사통, 취수탑)을 이용한 홍수 배제능력 검토를 위해 현장조사, 수치해석, 수리모형시험 등 복합적인 연구가 진행 중에 있으며, 연구가 완료된다면 이상강우에 대한 대처가 마련될 것으로 판단된다. 끝으로 매년 겪고 있는 홍수재해를 극복하기 위하여 치수능력증대방안에 관한 다양한 연구가 활발히 이루어지길 기대해 본다.

참고문헌

1. 건설교통부(2004), 댐의 수문학적 안정성 검토 및 치수능력 기본계획수립 보고서.
2. 농림부·농업기반공사(2002), 농업생산기반정비사업 설계기준(필댐편).
3. 농림부·농업기반공사(2003), 농업생산기반정비사업 통계연보.
4. 윤동균, 농어촌연구원(2010), 저수지 취수시설 공기통 설계기준 정립(안) 연구 2011년도 연구계획발표회집 pp.145~158.
5. 한국농촌공사(2004, 2005), 기존 저수지 수문조사 지원사업 조사 보고서.
6. 한국농어촌공사(2008) 소규모댐 설계기준(안).