

사례조사를 통한 천변저류지 계획시 고려사항



오규창 >>

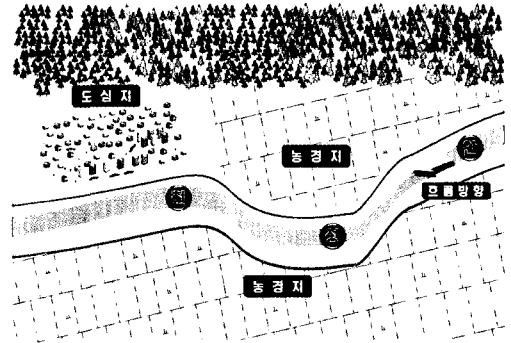
동부엔지니어링 전문
공학박사, 수자원개발 기술사
kyucoh@dbeng.co.kr

1. 천변저류지의 개념

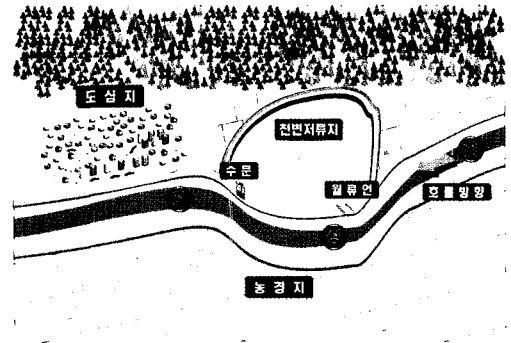
천변저류지는 하천변 제내지에 일시적인 범람을 위한 지역으로 하류부의 첨두홍수량을 저감하며, 홍수파의 이동을 지체하는 효과를 발휘한다. 즉, 홍수 발생시 하도내 일정 홍수량이 천변 저류지내로 유입되어 하도의 홍수부담을 덜어 주게 되며, 홍수가 지나고 난 후 저류지내 유량은 하도로 방류하는 방법으로 홍수조절기능을 수행한다. 저류지의 위치는 하도지형, 수문조건과 주변토지 이용상황을 토대로 결정되며, 습지 및 실개천 등의 조성으로 하천의 자연성을 증대하거나 공원과 친수 공간으로 이용하여 지역사회 환경개선에 기여할 수 있다.

홍수조절 저류지는 저류형태에 따라 On-Line과 Off-Line 저류형태로 나뉘며, Off-Line 형태의 천변 저류지는 하천에 인접하여 적은 양의 저류량으로도 첨두 조절 효과가 뛰어나며 저류효과가 즉시 나타나는 장점이 있다.

중요지역의 홍수를 방어하기 위해 중요도가 낮은 지역에서 인위적으로 홍수를 가둠으로써 선택적인 홍수방어를 수행하는 천변저류지의 개념도는 그림 1에서 잘 나타난다. 큰 규모의 홍수가 발생하였을 때, 재산 피해와 인명 피해가 커 홍수방어시 중요도가 큰 도시지역을 방어하기 위해서, 이보다 상대적으로



(a) 천변저류지 설치전



(b) 천변저류지 설치후

그림 1. 천변저류지 개념도

재산 피해와 인명 피해가 적은 나대지나 농경지 등에 천변저류지를 조성하여 홍수를 일시적으로 저류한다.

2. 천변저류지의 사례

2.1 국내사례

천변저류지는 최근 치수대책의 일환으로 제방중심 하도계획의 치수대책에서 탈피하여 친환경적이고 구

표 1. 하천별 유역종합치수계획상 저류지계획

대상하천	유역면적(km ²)	저류지 개소수	총저류지면적(ha)	비 고
삽교천	1,649.9	4개소	268.2	2개소씩 연계운영
안성천	1,657.6	2개소	319.0	
섬강	1,479.5	4개소	86.7	저류공원
영산강	3,455.0	1개소	197.0	
낙동강	23,384.2	20개소	1,755.3	

하도 복원 측면도 고려할 수 있는 홍수방어대책이다. 기존의 제방중심의 치수대책은 제내지 보호만을 목적으로 하천의 홍수를 하류로 빠르게 소통시켜 하류의 홍수량 집중 현상으로 홍수피해 위험성을 증가시킨다. 따라서 중상류부에서 적극적으로 홍수를 조절하고 유역차원의 홍수지체를 위한 유역대응 시설물 중에서 천변저류지를 치수계획에 반영시키고 있다.

그러나 천변저류지는 국내에 시공사례가 없으며 도입에 따른 여러 가지 불확실성으로 저류지에 의한 조절효과 및 계획홍수량에 반영에 어려움이 있다. 현재까지 이론적 뒷받침이 명확하지 않으며 설치에 따른 조절효과 및 관리방안 등에 대한 사례가 전무한 실정이다. 최근 국무조정실에서 임진강 유역 홍수대책의 대안 검토 일환으로 천변저류지를 검토한 바 있으며, 또한 현재 완료되었거나 진행중인 유역종합 치수계획에서 천변저류지 계획을 유역대응 치수사업 일환으로 반영하고 있다.

유역종합치수계획에서는 하류부 홍수량 저감을 목적으로 각 하천 유역별로 수립되었거나 수립중인 천변저류지 현황은 표 1과 같다.

2.2 일본사례

2.2.1 와타라세(渡良瀬) 홍수조절지

와타라세 홍수조절지는 1877년에 사업계획이 제기된 이후 1910년의 대홍수를 계기로 1911년 사업 착수와 더불어 유수지화 사업을 시행하고, 조절지화 사업은 1963년에 착공하여 제1, 2조절지에 이어 최종 제3조절지를 1997년에 완공하였다. 또한, 저수지화 사업을 포함한 종합개발사업은 1976년에 착수하여

1988년에 준공하고 1989년부터 본격적으로 운용하기 시작하였으며, 그림 2는 조절지의 현황을 나타낸 것이다.

와타라세 유수지 지역은 저지대로서 홍수시 상습 침수지대이므로 이의 대책 일환으로 계획이 수립되었다. 본류 하천인 도네강(利根川)에 홍수부담을 주지 않기 위해 그림 3과 같이 와타라세강(渡良瀬川) 계획 고수유량 4,500m³/s, 유주마강(巴波川) 1,200m³/s, 시강(思川) 3,700m³/s 등 3개 지천의 홍수총량을 와타라세 유수지에서 조절한다. 조절지는 3개소로 22.8km², 야나카 저수지 1개소 2,640만m³ 등으로 구성되어 있으며 홍수조절, 관개용수, 생활용수공급 등

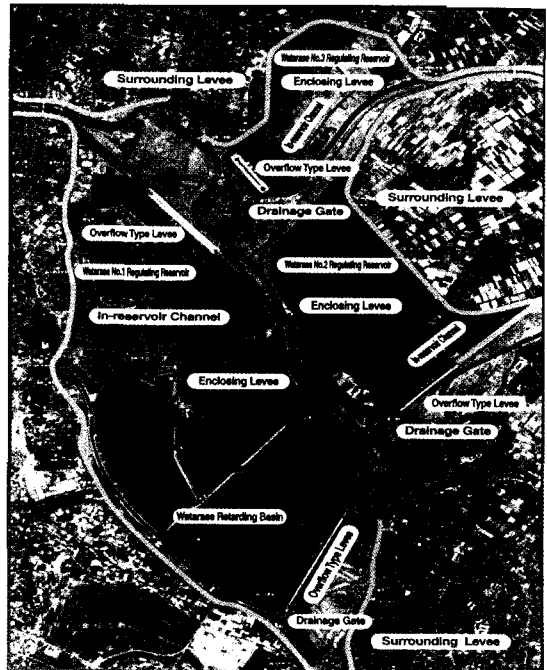
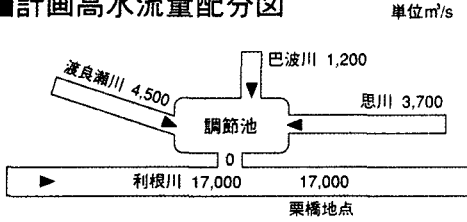


그림 2. 와타라세 홍수조절지 평면도

■計画高水流量配分図



■調節池諸元

	面積 (km ²)	容量 (100万m ³)
第1調節池	15.0	117.1
第2調節池	5.0	40.6
第3調節池	2.8	19.1
合計	22.8	176.8

그림 3. 유량배분도 및 조절지 제원

의 기능 이외에 각종 친수 활동 제공과 습지 등 생태계의 보고로 자리잡고 있다.

또한, 수질정화를 위해 대규모 갈대를 조성하고 있으며 이에 따른 수질 정화 효과에 대해서는 정량적으로 조사는 하고 있지 않지만 수질이 좋아지고 있음을 육안과 생물종의 다양성으로 추정하고 있다. 현재까지 유수지 일대에 확인된 생물종은 식물 667종, 조류 217종, 곤충 1,250종, 어류 32종 등이 서식하고 있는 것으로 조사되었다. 습지보전위원회 등 지역의 환경보전을 위해 자발적 주민활동이 활발하게 이루어지고 있으며 민간 위탁의 골프장(54홀)을 조성하여 수익사업에도 참여하고 있다.

2.2.2 츠루미강(鶴見川) 다목적 유수지

츠루미강 유역은 1958년에만 해도 도시화율이



그림 4. 츠루미강 다목적 유수지 전경

10%밖에 되지 않을 정도로 개발되지 않은 상태였으나, 그후 1975년에는 도시화율이 60%, 현재에 이르러서는 도시화율이 85%에 이를 만큼 츠루미강 유역은 급속한 도시화가 이루어졌다. 이는 곧 자연적 투수 지역의 감소로 유역의 보수·유수 기능의 저하를 가져왔다. 이로 인해 실제 홍수시 유출시간이 미개발시의 유출시간의 3분의 1 수준으로 감소하였으며, 침투홍수량은 약 두 배 증가한 것으로 나타나, 츠루미강 유역의 홍수에 대한 취약성이 크게 심화되었음을 알 수 있다. 츠루미강 다목적 유수지는 이러한 유역의 홍수에 대한 취약성을 보완할 적절한 방안으로 제시되었다. 그림 4는 츠루미강의 다목적 유수지 전경을 보여 주고 있으며, 그림 5는 2004년 태풍시 유수지 상황을 보여주고 있다.

츠루미강의 기본홍수량은 2,000m³/s인데, 이중 츠루미강 다목적 유수지에서 200m³/s의 유량을 분담함으로써, 나머지 부분들은 하도에 1,050m³/s, 상류부조정지에 50m³/s, 유수 및 보수지역에 290m³/s, 저지지역에 60m³/s 등으로 분담토록 계획하였다. 츠루미강 다목적 유수지는 하구에서 16km 상류에 위치한 요코하마 경기장 일대에 대해 홍수시 면적은 84 ha, 저류용적 390만m³을 가진 유수지를 확보하고, 저지지역은 낮은 농지를 유수지로 계획하여 60m³/s를 분담하도록 하였다(그림 6 참조). 그리고 기타 소규모 시설로 침투정, 침투트렌치 등과 같은 침투시설을 설치하여 대책을 수립하였으며, 최근 지구온난화 영향 등으로 강우량 증가가 예상되어 현재 시간최대 강우량 109mm에서

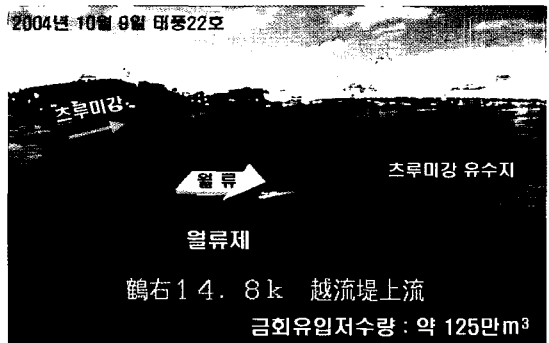


그림 5. 실제홍수시 유수지 유입상황

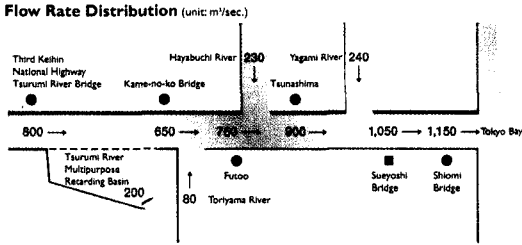


그림 6. 츠루미강 유량 배분도

장래 190mm에도 대비할 수 있도록 치수계획의 등급(계획규모)을 상향조정할 변경계획을 가지고 있다.

비구조적인 대책으로 홍수예警보를 강화하여 기준 우량, 기준수위가 넘을 경우 전자 메일(휴대폰, 팩스, 컴퓨터 등)을 발송하고 정보관 설치, 지하 침수발생 시 신속하게 대처할 수 있는 지침서 발간 및 침수센서를 시범적으로 설치하여 침수시 신속하게 대처할 수 방안도 운영 중에 있다. 또한, 침수예警도를 인터넷상에 공개하여 주민들의 상황 판단에 도움이 되도록 하는 등 경각심을 고취하기 위해 정보를 공유하고 있다. 협의회는 상설기구가 아니라 협의사항 발생시

소집되며 이에 대한 의결만 하고 계획 등의 결정을 하는 기구는 아니며, NGO, 지자체, 시민단체 등 시민들의 참여는 간담회를 통해 유도하고 있다.

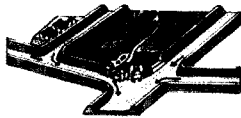
2.2.3 무타베(牟田) 유수지

무타베 지구는 우시즈강과 이사하라강이 합류하는 지점의 무제부 구간으로 하천이 역류하여 침수하는 지역이다. 무타베 유수지는 이런 특성을 이용하여 계획하였으며 홍수 일부를 월류제를 통하여 유수지내로 끌어들여 일시적으로 홍수를 저류하여, 우시즈강의 홍수위를 조절하는 역할을 맡고 있다. 이 유수지는 대홍수시 홍수피해를 줄이기 위한 시설로 중소 홍수에는 배수펌프에 의해 내수배제를 하여 유수지 저수 용량을 확보하고 있다. 그림 7은 무타베 유수지의 현황을 나타낸 것이다.

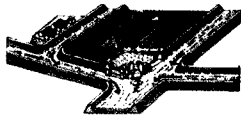
유수지 규모는 53.4ha로 저류용량은 90만 m^3 에 달한다. 무타베 유수지 사업은 1993년, 대책협의회를 발족하고, 1993년에서 1998년까지 용지를 매입하였으며, 2000년 9월에 월류제 공사에 착수한 후, 2002

■ 유수지의 운영

- 평소에는 농지 등에 이용되고 있습니다.



- 中小 홍수 때는 유수지내의 물을 초기 담수지에 모으고, 펌프로 뽑아 내어 침수하지 않도록 합니다.



- 우시즈강이 넘은 홍수가 되었을 때는, 중수의 임가를 월류제에서 계획적으로 유수지내로 끌어들이며 임시적으로 저류하여 우시즈강과 하류 유역의 홍수피해를 줄입니다.

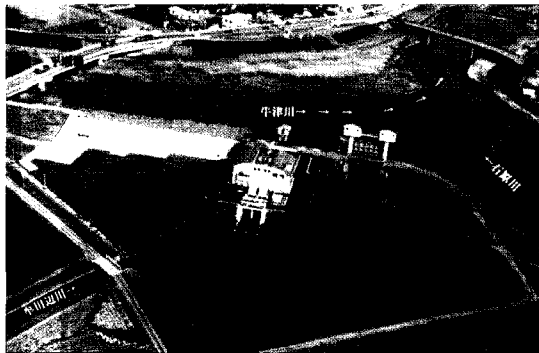


그림 7. 무타베 유수지 현황

년 6월에 무타베 유수지를 준공하였다.

2.3 미국사례

2.3.1 Harris county 홍수관리지구

1929년과 1935년의 대홍수로 인해 막대한 피해를 입은 후, 1937년 텍사스 주의회의의 만장일치로 Harris county 홍수관리지구를 설립하였다. 이 홍수관리지구에서는 홍수 피해 저감을 위해 구조적인 방법으로 통수량 증대를 위해 수로 개량, 방수로, 교량 개량, 제방 공사과 함께 홍수조절용 저류지를 계획하였다(그림 8 참조).

홍수조절용 저류지는 하천이 홍수를 안전하게 소통시킬 수 있을 때까지 홍수를 일시적으로 저류하는 곳으로, Harris county는 지역 전체에 걸쳐 홍수의 위험을 줄이기 위해 저류지를 광범위하게 이용하고 있다. 특히 유역내 개발계획 수립시는 불투수층의 증가에 따른 악영향(홍수 위험증가)을 줄이기 위해 저류지를 자주 이용한다. 이러한 저류지는 물이 차있을 경우에는 저수지와 같은 형상을 하며, 물이 없을 시에는 넓게 굴착한 친수 공간을 이룬다. 또한, 몇몇 저류지에서는 영구적인 수위를 갖도록 설계하여 작은 저수지를 이루게 하고, 기준 수위 이상의 공간에 대해 홍수저류용량을 부여하는 경우도 있다.

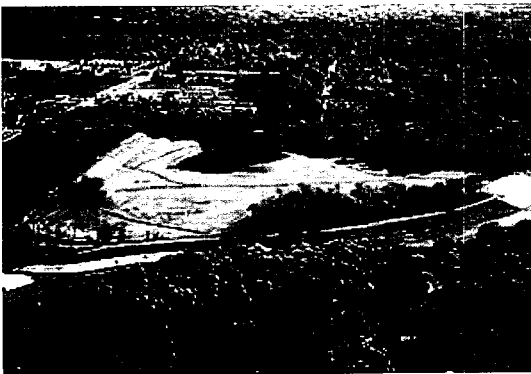
이 지역의 홍수조절용 저류지는 일반적으로 펌프

장을 통해서 배수를 하지 않고, 중력에 의한 자연배수가 이루어지도록 설계되었다. 이러한 배수 상황으로 인해 저류지의 깊이와 유출구나 배수구의 위치와 깊이는 하도의 깊이에 따라 정해진다. 홍수조절용 저류지에서 저류수가 배수되는 속도는 몇 가지 요소에 의해 영향을 받으며, 그 중 하나가 하도의 홍수위이다. 일반적으로 수로의 홍수위가 내려감에 따라 이어서 저류지에서 저류수가 배수된다.

2.3.2 UDFCD(Urban Drainage and Flood Control District)

UDFCD는 1969년에 덴버 도시지역의 지방정부를 돕기 위해서 콜로라도주 입법부에 의해 설립되었다. UDFCD는 덴버와 주위 6개 군의 일부 지역과 33개 도시와 마을의 전체 또는 일부 지역을 포함하여, 약 4,163 km²의 면적을 망라한다. 이 지역의 인구는 약 2백3십만 명이다.

이 지역의 홍수조절용 저류지는 유출 조절과 함께 지역 주민을 위한 편의시설을 제공한다. 편의시설은 야구장, 축구장과 다른 공원 시설, 골프 코스, 습지, 야생 서식지와 홍수 수질 관리 시설을 포함한다. 이와 같이 홍수 관리 시설들을 다른 호환가능한 용도와 결합하여 다목적 시설로 이용할 수 있다. 이는 비용과 용지를 절약할 수 있으며, 단일 목적의 홍수 관리 시설일 경우보다 더 가치 있는 시설이 되어 이웃 주



평상시

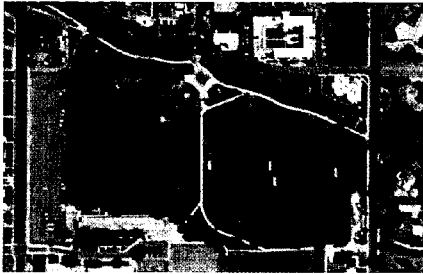


홍수시

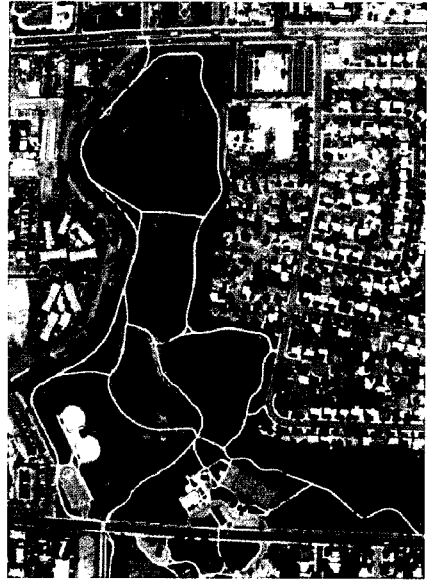
그림 8. White Oak Bayou 내 홍수조절용 저류지



(a) Green Valley Ranch 골프장



(b) Englewood 저류지



(c) Aurora 엑스포 공원

그림 9. UDFCD 내의 홍수조절용 저류지

민들에게 환영받는 시설로 인식된다. 이는 홍수조절용 저류지 뿐만 아니라 인공 수로와 홍수터에도 적용될 수 있다. 새로운 홍수조절용 저류지는 공원 편의 시설이나 좀더 자연적인 영역을 망라할 수 있다. 또한 기존의 공원이나 운동장 지역이 개조되어 홍수저류용량을 제공할 수도 있다.

그림 9의 Green Valley Ranch 골프장 저류지는 First강의 히말라야 도로 제방 횡단에 의해 형성되고, 도로 횡단 암거는 홍수가 비교적 방해를 받지 않고 제방을 통해 지나가게 하여, 재현기간이 긴 대홍수의 하류 최고홍수량을 줄인다. 이 홍수조절용 저류지는 Green Valley Ranch 골프장의 16번 홀, 17번 홀과 18번 홀의 일부분, 습지와 야생 서식지와 인근 거주민에게 공급하는 수질 관리 시설을 포함하고 있다.

3. 천변저류지 계획시 고려사항

3.1 천변저류지의 치수적 역할 정립

일본의 경우 기존의 하천이 이미 개수가 완료되어

있고 제방 높이도 과거 기왕 최고 홍수위 기준으로 되어있어 천변저류지 설치 유무에 상관없이 이미 제방으로서 홍수방어가 가능하다는 점이다. 따라서 저류지는 홍수방어를 위한 잉여시설로 볼 수 있으며 넓은 의미의 홍수터 확보 계획으로서 제방폭을 넓히고 홍수터를 저류지로 활용한다는 개념이다.

일본과 국내의 치수적 여건이 다르기는 하나 일본에서도 천변저류지의 불확실성에 대해서는 뚜렷한 대책이 없기는 마찬가지로 가장 최선의 방안은 천변저류지를 설치하여 홍수량 분담은 하되 계획홍수위는 그대로 유지하여 제방으로 방어하는 것이다. 즉, 제방은 홍수에 대한 방어대책으로써 유지가 필요하고 천변저류지는 예방시설로서 정량적인 홍수의 조절보다는 홍수를 분담하고 지체시킨다는 개념으로 도입이 필요하다. 그러나 이는 경제성 측면에서 비효율적일 수 있어, 현재 계획중인 유역종합치수계획에서는 이러한 측면을 고려할 필요가 있다.

3.2 주민참여제의 도입

기존의 대규모 국책사업은 국가주도형으로 지역주

민의 협력이나 홍보가 큰 비중을 차지하지 않고 도시 계획, 기간시설 등 지역적 여건만 고려하여 진행되었다. 최근에는 시민단체나 지역단체의 활성화로 대책 사업시 의견수렴이나 협의가 절대적으로 필요하게 되었으며 이를 소홀히 할 경우 사업자체의 추진이 어려운 실정이다.

천변저류지 사업도 대규모 대책사업으로 장기간의 추진과 더불어 지역주민의 협력과 호응이 필요할 것으로 판단되며 이를 위해서는 외국의 사례처럼 지역 주민을 위한 시설제공과 적극적 홍보 및 협의체등을 구성하여 장기간에 걸쳐 지속적 대화와 타협이 필요하다. 선진 여러 나라에서도 치수사업의 'Previous Involvement' (사전 참여제)를 적극적으로 시행하고 있으며 우리나라의 경우도 도로, 철도 사업 등에서 활용되고 있다. 우리의 경우는 인구밀집지와 가까운 지역은 소규모 공원이나 체육시설을 도입하고, 주변 지역의 생태공원과 연계한 자연학습장 등 여러 가지 활용 가능한 시설을 도입하여 지역주민이 참여할 수 있고 사업시행부터 적극적으로 의견을 수렴하고 함께 만들어가는 천변저류지 조성이 필요하다.

3.3 저류지활용 및 지역여건을 고려한 종합적 계획

일본의 천변저류지는 유역의 홍수분담 목적에서 설치된 것이며 기존의 하도 중심의 치수정책에서 벗어나 적극적 유역저류를 도모하고자 계획된 것이다. 그러나 일본은 기왕최고 홍수위 기준으로 이미 제방이 설치되어 있어 저류지에 의해 홍수량은 분담하나

하류의 수위는 하천의 확폭이나 준설을 통해 낮추고 있다. 또한, 도시계획과 연계하여 평상시 활용측면과 용수공급 측면도 고려하여 월류 빈도를 낮춰 저빈도 홍수에 대해서도 조절할 수 있는 규모로 계획되고 있으므로 국내의 천변저류지 설계에 있어서도 단순 치수계획 보다는 여러 활용성 측면을 종합적으로 고려하고 계획빈도 뿐만 아니라 평상시에도 조절이 가능한 다목적 저류지로 검토가 필요하다.

참고문헌

- 國土交通省 九州地方整備局 武雄河川事業所, “牟田邊地區低平地對策事業.”(브로셔)
<http://www.hcfcd.org/>(인터넷 사이트)
<http://www.udfcd.org/>(인터넷 사이트)
 Kanto Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Tone River.”(브로셔)
 Keihin Work Office Kanto Regional Development Bureau Ministry of Land, Infrastructure and Transport, “Tsurumi River Multipurpose Retarding Basin.”(브로셔)
 The Tsurumi River Basin Council for Comprehensive Flood Control Measures, “The Story of an Urban Baku.”(브로셔)
 Tsurumi River Basin Water Council, “The Tsurumi River Basin Management Plan.”(브로셔) 