

강변저류지 월류부에서 월류제 또는 수문 형식에 따른 홍수저감효과에 관한 개략적 연구

안태진⁺

한경대학교 토목안전환경공학과

An approximate study on flood reduction effect depending upon weir or gate type of lateral overflow structure of washland

Tae Jin Ahn⁺

Department of Civil, Safety and Environmental Engrg.

Hankyong National Univ. Ansung, Gyeonggido, Korea

요 약

기후변화에 의한 홍수 특성의 변화에 적극적으로 대처하기 위한 대규모 댐 건설의 추진이 환경성, 경제성 등과 같은 문제로 난해해짐에 따라 강변저류지 또는 유수지 시설이 유역내 홍수 분담 측면에서 포함되기 시작하였다. 강변저류지는 주하도에 인접되고 제방으로 둘러싸인 공간으로 홍수기에 월류구조물을 통하여 인위적으로 범람시키는 지역이다. 강변저류지 직하류에서의 홍수저감효과는 실제홍수수문곡선의 형상, 강변저류지의 저류용량 등에 추가하여 월류부 구조물의 형식, 길이 및 월류턱 표고에 따라 영향을 받는다. 본 연구는 표본지구인 청미천에서 주어진 수문곡선에 관하여 월류제 형식과 수문 형식에 따른 홍수저감효과를 비교코자 하였다. 월류부에서 수문형식이 월류제 형식보다 홍수저감효과가 더 크지만 수문형식에 의한 홍수저감율은 공학적 견지에서 보면 의미있는 수치가 아니기 때문에 수문형식을 선정할 때는 초기 사업비, 운영 관리 비용 등을 신중히 고려해야 하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 강변저류지, 월류구조물, 월류제, 수문

Abstract

Construction of large-scale structures such as dams would be suggested actively to cope with change of flood characteristics caused by climate change. However, due to environmental, economic and political issues, dams are not ideally constructed. Thus flood damage reduction planning projects would get started including washland or detention pond for sharing the flood in basin. The washland made artificially by human being is an area of floodplain surrounded by bank to be intentionally inundated by overflowing through overflow structure adjacent to main channel during flood season. Flood reduction capacity at just downstream of each washland could be affected by type, length, and crest elevation of overflow structure in addition to shape of design hydrograph, storage volume of washland, etc.. In this study flood reduction effects of washland are estimated for overflow weir type and gate type to compare the results of flood reduction respectively subjected to given hydrograph in sample site, the Cheongmicheon stream. It has been shown that even if gate type at overflow structure could yield more flood reduction than overflow weir type, economic aspect such as initial cost, operation cost and maintenance cost should be considered to select the type of overflow structure because flood reduction rate by gate type could not be significant value from engineering point of view.

Keywords : gate, overflow structure, overflow weir, washland

1. 서론

최근 들어 기상이변에 따른 집중호우가 빈번하게 발생하고 있고, 하천 주변의 인구 집중과 도시화로 인한 홍수피해의 위험성이 증대되고 있다. 과거 하천정비사

업은 제방의 직선화와 정비위주의 사업을 통해 홍수량을 빠른 시간내 바다로 유출시켜 주로 하도에 홍수를 부담시키는데 주력하였으나, 근래에는 유역내 다양하게 홍수량을 부담시키는 방안으로 하천연안 저지대의 농경지를 이용하여 기존 범람지에 제방과 월류제를 축조함

⁺ Corresponding author : ahntj@hknu.ac.kr

으로써 홍수 발생시 이를 일시적으로 저류하여 하류에 가해지는 홍수량을 경감시키는 강변저류지(washland) 도입이 적극적으로 도입되고 있다. 강변저류지는 홍수시에는 도시화 등에 의한 초과 홍수량을 일시 저류하여 하류부 도시 침수피해를 저감시키며, 홍수량 분배를 통한 홍수와 에너지를 감소시켜 구조물 피해를 저감시키고, 습지의 효과를 통해 강 주변의 훼손된 자연환경을 복원하고 저류된 물을 정화하여 하천으로 깨끗한 물을 공급하는 기능이 있다.

미국에서는 우수유출 저감용 우수지에 유럽에서 사용하고 있는 강변저류지와 유사한 기능을 부여하고 있으며, 일본에서는 미국 및 유럽에서 정의하는 강변저류지와 유사한 기능을 제공하는 시설로 조절지 또는 우수지라는 용어를 사용하고 있다. 우리나라에서는 일반적으로 토지이용의 극대화를 위하여 기존 범람지에 제방을 설치함으로써 농경지, 주거지 등과 제내지가 조성되었다. 따라서 제방설치 후 범람원에 의한 홍수조절기능이 상실되어, 이 범람원을 복원하여 홍수조절기능을 부여코자 하였으며, 이와 같은 공간을 강변저류지로 정의하고 있다. 즉 기존 제방의 일부를 낮게 설치하여 홍수시 일정 수위 이상일 경우 주하도의 유수를 조성된 저류지로 자연 월류시켜 주하도의 홍수량을 저감코자 하였다. 또한 강변저류지는 본류하천과 제방으로 절연되어 홍수기에는 본류하천의 유수가 저류지로 유입되었다가, 본류하천의 수위가 낮아질 때 저류지내 유입된 유수를 본류하천으로 방류하는 기능을 부여하였다. 그러므로 본류하천의 수위와 거의 동일하게 거동하는 하도 내 범람원과는 구별된다.

강변저류지에 관한 연구들은 많이 수행되었으며, 국외에서의 연구는 주로 그 기능과 제원이 강변저류지와 유사한 습지(Wetland)와 관련된 연구가 많이 수행되었다. England Nature (2004), Hammer (1989), Kadlec and Knight (1996) 및 Anrold et al. (2001) 등의 연구가 있으며, 이들 연구에서는 강변저류지의 복원 및 조성이 홍수 방어, 수질개선 및 생물다양성 증진 등을 위한 생태학적 하천복원의 의미있는 대안이라 제시하였다. Han et al. (2005)은 1차원 부정류 해석에 대한 Saint Venant식을 음해법 유한차분형태로 해석한 모형인 DWOPER을 이용하여 하천에서의 천변저류지 홍수저감효과를 분석하였다. Choi and Ahn (2011)은 하도와 저류지를 연계하는 2차원 수리모형을 제시하였다.

Kim et al. (2006)은 “천변저류지 기본계획 수립에 관한 연구”(MOCT, 2005)의 결과를 바탕으로 천변저류지의 정의를 수립하고 활용방안을 제시하였다. Jun et al. (2006)은 Newton-Raphson 방법을 이용한 수리학적 접근 방법에 의해 천변저류지의 홍수조절 효과를 분석하였다. Kim et al. (2007)은 HEC-RAS의 부정류모의 기능과 GIS프로그램인 AV-SWAT모형을 이용하여 토평천 유역

의 홍수위 저감효과를 분석하였다. Kim et al. (2011)은 실내 모형 실험을 통하여 저류지에 의한 홍수조절 효과를 분석하였다. Ahn et al. (2007)은 수문학적 접근방법을 이용하여 강변저류지의 홍수조절효과를 산정하는 방안을 제시하였으며 Kim (2009)는 월류특성을 고려한 천변저류지 내역을 결정하는 모형을 제시하였다. Back et al. (2009)은 수문학적 접근방법에 의해 강변저류지의 홍수조절효과를 산정하는 모의 월류고의 변화를 변수로 추가하여 최적위치 및 최적 월류고를 함께 모의할 수 있는 모형을 제시하였다. Kim et al. (2009)은 HEC-RAS의 Storage 기법을 이용하여 유입부의 월류고 및 월류폭의 변화에 따른 강변저류지 홍수조절효과를 분석하였다.

On-line 강변저류지 형식은 유역의 모든 유출량이 저류지로 유입된 후 하천으로 방류되는 형태이며, Off-line 형식은 유역의 모든 유출량 중 일정 수위를 초과하는 유출만을 저류지로 유입시켜 본류의 침투유량을 감소시킨 후 방류하는 형태로 본 연구의 강변저류지는 Off-line 형식의 저류지이다. Off-line 강변저류지의 홍수저감효과는 본류에서의 홍수시 사류흐름 및 상류흐름과 같은 수리적 특성, 본류의 계획홍수수문곡선의 특성, 월류부의 길이, 월류고의 높이, 월류부의 형식, 강변저류지의 저류용량 등에 따라 영향을 받는다. 본 연구에서는 월류부의 형식을 크게 월류제(Overflow Weir)와 수문(Gate) 형식으로 구분하여 각각의 형식에 따라 월류고 높이, 월류제 길이, 수문개방도, 수문의 길이를 변화를 주어 홍수조절 효과에 대해 어떤 영향을 주는지 분석하였다.

2. 월류량 산정 이론

강변저류지는 그 기능에 따라 다음과 같이 3가지 형식으로 분류된다(England Nature, 2004). 첫 번째로 홍수 관리형 강변저류지로서 홍수관리가 우선이고 생태다양성은 부수적으로 고려하며 우리나라 유역종합치수 계획에서 도입하고 있는 저류지의 형식이다. 두 번째는 통합형 저류지로서 홍수관리와 생태 다양성이 동등하게 고려되는 형식이다. 세 번째는 생태보전형 저류지로서 생태 다양성의 보전이 우선이고 홍수관리는 부수적으로 고려하는 형식이다. 또한 강변저류지 월류부 사면의 경사는 가능한 한 완만한 것이 양호하며, 외국의 사례로 보아 1:8 정도가 바람직하나, 현행 기존 하천의 비탈면 경사가 1:2~1:3 정도임을 감안하면 저류지 측의 월류부 비탈면 끝은 기존 제방의 제내지 측 비탈면 끝보다 더 제내지 측으로 들어오게 된다. 본 연구에서는 강변저류지의 월류부 형식과 제원변화에 따른 홍수저감효과를 분석을 하여 홍수저감효과에 어떤 영향을 주는가 하는데 목적이 있다.

2.1 횡월류위어 기본 이론

De Marchi(1934)는 횡월류위어 전반에 대한 비에너지와 유량계수가 상수라고 가정하여 본류의 수면형을 계산할 수 있는 이론적방정식을 제시하였다. 현재까지 횡월류위어와 관련한 대부분의 연구는 De Marchi(1934)의

가정에 근거하고 있다.

Fig. 1은 횡월류 흐름에서 B 는 하도폭, S_0 는 하상경사, L 은 월류부폭, w 는 월류턱의 월류고, Q 는 본류유량, Q_w 는 횡월류량, y_u 는 본류의 수심, y_d 는 횡월류위어의 하류수심이다.

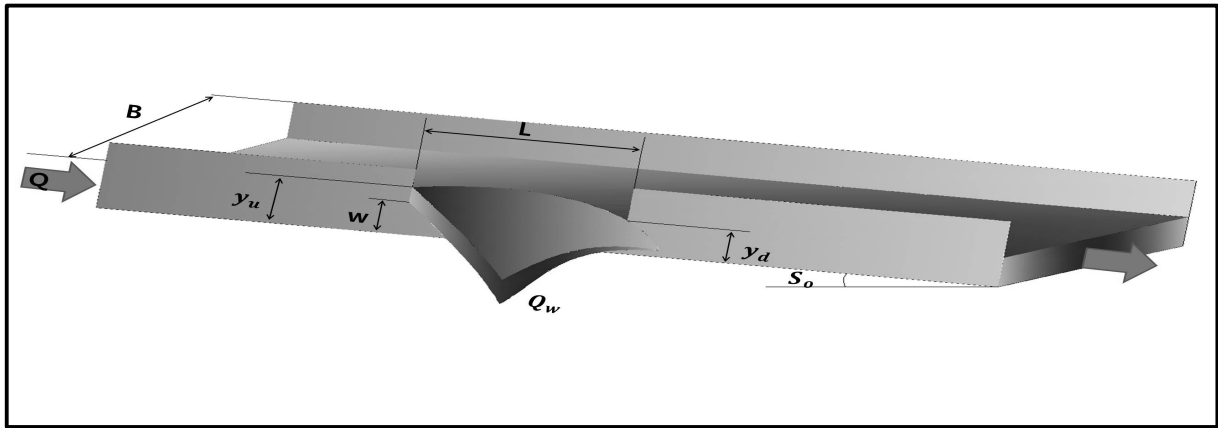


Fig. 1. Definition of lateral overflow structure

본류의 하상경사와 단면이 일정한 직사각형 또는 원형수로이며, 직사각형 예연위어인 1차원 흐름에 대하여 본류로부터 발생하는 월류량은 횡월류위어의 지배방정식은 다음과 같이 구할 수 있다. 총에너지는 에너지 방정식에서 식 (1)과 같다.

$$H = z + y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \quad (1)$$

여기서 z 는 수평기준면으로부터 수로바닥까지 거리이다.

식 (1)을 흐름방향에 대하여 미분하면 식 (2)와 같다.

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{2Q}{A^2} \frac{dQ}{dx} - \frac{2Q^2}{A^3} \frac{dA}{dx} \right) \quad (2)$$

여기서 각 미분항은 $dH/dx = -S_f$, $dz/dx = -S_0$, $dQ/dx = q$ 및 $\frac{dA}{dx} = \left(\frac{dA}{dx} \right) \left(\frac{dy}{dx} \right) = \frac{Bdy}{dx}$ 로 정리하면 식 (2)는 식 (3)과 같이 간단히 된다. 식 (3)은 본류 수로로부터 유출 발생하는 흐름에 대한 점변류의 수면곡선식이다.

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2} \right) \left(\frac{dQ}{dx} \right)}{1 - \left(\frac{\alpha Q^2 B}{gA^3} \right)} \quad (3) \\ &= \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2} \right) \left(\frac{dQ}{dx} \right)}{1 - \alpha Fr_u^2} \end{aligned}$$

여기서, x 는 흐름방향, y_u 는 본류의 수심, S_f 는 본류의 에너지경사, A 는 본류의 흐름 단면적, α 는 에너지 보정계수, g 는 중력가속도, 그리고 Fr_u 는 위어 상류부 Froude 수이다.

횡월류위어 구간은 수로연장에 비해 상대적으로 짧기 때문에 횡월류 구간에서는 $S_0 - S_f = 0$ (즉, 위어를 따라 비에너지 일정), $\alpha = 1$ 이라고 가정하면 단위폭당 월류량 q 는 본류에서의 유량 감소량과 같으므로 위어의 일반식은 식 (4)와 같다.

$$q = - \left(\frac{dQ}{dx} \right) = \left(\frac{dQ_w}{dx} \right) = \frac{2}{3} C_m \sqrt{2g} (y_u - w)^{3/2} \quad (4)$$

여기서, C_m 은 유량계수 또는 De Machi의 유량계수이다. 식 (4)을 이용하여 강변저류지의 월류량을 산정할 수 있다.

유량계수는 횡월류량 산정에 큰 영향을 주며, 하도내

의 흐름조건과 횡월류위의 기하학적 인자들에 의해 크게 영향을 받는다. De Marchi (1934)의 유량계수 산정식은 많은 연구자들의 실험을 통해 산정공식을 제시되어 왔으며 Table 1에는 연구자들의 실험을 통한 예언위어 유량계수식을 나타내었다.

Table 1. Discharge coefficient of lateral weir structure (Source: KICT, 2011)

Researcher	Year	Equation of discharge coefficient
Subramanya and Awashty	1972	$C_m = 0.864 \sqrt{\frac{1 - Fr_u^2}{2 + Fr_u^2}}$
Nandesamoorthy and Thomson	1972	$C_m = 0.4317 \sqrt{\frac{2 - Fr_u^2}{1 + 2Fr_u^2}}$
Yu-Tech	1972	$C_m = 0.6225 - 0.222Fr_u$
Ranga Raju et al.	1979	$C_m = 0.81 - 0.60Fr_u$
Hager	1987	$C_m = 0.485 \sqrt{\frac{2 + Fr_u^2}{2 + 3Fr_u^2}}$
Cheong	1991	$C_m = 0.45 - 0.22Fr_u^2$
singh et al.	1994	$C_m = 0.33 - 0.18Fr_u + 0.49 \left(\frac{w}{y_u} \right)$
Jalili and Borghei	1996	$C_m = 0.71 - 0.41Fr_u - 0.22 \left(\frac{w}{y_u} \right)$
Borghei et al.	1999	$C_m = 0.7 - 0.48Fr_u - 0.3 \left(\frac{w}{y_u} \right) + \left(\frac{L}{B} \right)$
Onitsuka et al.	2005	$C_m = \left(-1.33 \frac{L}{B} + 0.3 \right) Fr_u + 0.84 \frac{L}{B} + 0.19$

광정위어 월류계수 산정식으로는 Honma 등(1973), Ranga Raju 등(1979), Suetsugu 등(1996) 등의 공식이 있으며 Choi and Ahn (2011)은 예언위어 및 광정위어에 관하여 각 공식에 의한 월류량을 하도수위, 하도경사 및 Froude 수에 의하여 변화되는 양상을 평가하였다.

국내에서 횡월류 위의 월류고는 강변저류지내 침수 빈도를 고려하여 일반적으로 약 30년빈도 확률홍수위와 같이 두고 있으나 일본의 경우에는 국내 보다 더 낮은 월류고를 선정하기도 한다. 횡월류량 산정시 대부분 De Marchi (1934) 공식을 이용하고 있으며, 유량계수를 0.623이라는 고정된 값을 사용하고 있다. 본 연구에서는

월류제와 수문 형식에서 완전월류가 발생하는 경우는 횡월류 유량계수 0.623을 적용하였다. 강변저류지의 월류부는 횡월류위어라 하며 이는 완전월류인 형태로 월류되는 것으로 하였다.

$$q = Kh^{3/2} \tag{5}$$

식 (5)는 횡월류 위의 월류량 산정식이다. 여기서 K 는 월류계수이며 이는 보통 정면이 평면인 경우에는 $K=1.80 \sim 2.20$, 원통형인 경우에는 $K=2.20 \sim 2.40$, 갈날형인 경우에는 $K=1.90 \sim 2.20$ 정도이다. 본 연구에서는 유량계수는 0.623로 하였으며 월류계수 값 K 에 이를 적용하면, $K=1.84$ 로 산정된다. 즉 식 (5)에서 K 의 값을 적용하면 횡월류량 계산에서 완전월류 일때의 산정식은 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$Q = 1.84Lh^{3/2} \tag{6}$$

여기서 h 는 월류 수심, L 은 월류부의 길이이다.

월류부의 형식이 수문인 경우 하도내의 수위가 높아져 월류부 보다 높을 때 월류가 발생하는데 이때, 수문의 개방도를 일정하게 유지하게 되면 완전월류 또는 부분월류가 이루어진다. 즉 월류수심이 수문개방도 보다 낮을때는 완전월류, 월류수심이 수문개방도 보다 높을때는 부분월류가 발생한다. 수문의 개방도를 본류수위에 따라 일정 높이만큼 뺀 만큼으로 설정하면 수문의 개방도는 본류 수위에 따라 변하며 부분월류인 오리피스 흐름이 된다. 본 연구에서는 수문의 개방도를 일정하게 고정한 경우와 본류 수위에 따라 수문의 개방도가 변화하는 경우를 고려하여 분석하였다. 삼교천수계 유역종합치수계획에서 강변저류지의 월류제 형식을 수문으로 한 지구가 다수 있다. 수문의 개방도를 일정하게 두면, 수문개방도 보다 월류수심이 낮을때는 완전월류 공식과 마찬가지로 식 (6)과 동일한 방법으로 월류량을 산정하며, 부분월류인 경우 다음 식 (7)과 같은 방법으로 월류량을 산정한다(Fig. 2 참조).

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} CL(H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \tag{7}$$

여기서 C 는 유량계수이며, H_1 은 하도수심에서 월류고를 뺀 값, H_2 는 H_1 에서 수문개방도를 뺀값이다. 하도수위 및 월류고와 수문개방도에 따라 완전월류와 부분월류가 발생하며 유량계수 선정에 있어 유의하여야 한다.

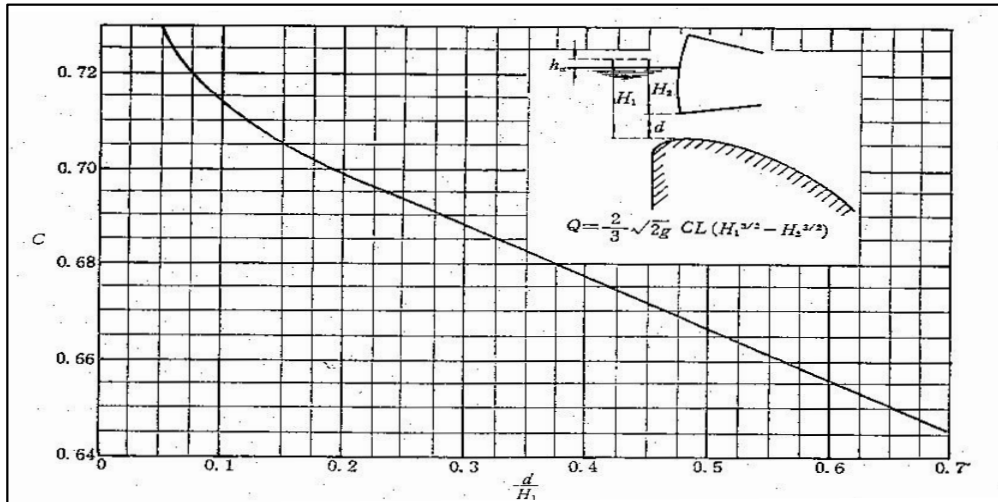


Fig 2. Discharge coefficient under orifice flow at gate structure (Design of small dam, USBR)

3. 월류부 형식과 제원에 따른 홍수저감효과 분석

3.1 청미천 강변저류지

이천시 장호원읍과 음성군 감곡면의 경계를 흐르는 청미천 국가하천 구간 No.15.7~No.17.2 단면에 연하여

강변저류지 시범사업이 구상된 바 있다. 이 강변저류지 개발안은 2개로서, 1안은 구하도를 포함하여 길이 약 1.5 km, 폭 약 300 m 내외의 저류지이며, 2안은 과거 구하도를 강변저류지로 개발하는 안으로서, 최종적으로는 구하도의 복원과의 연계를 위해 청미천 시범 강변저류지는 2안을 채택하게 되었다(Fig. 3 참조).

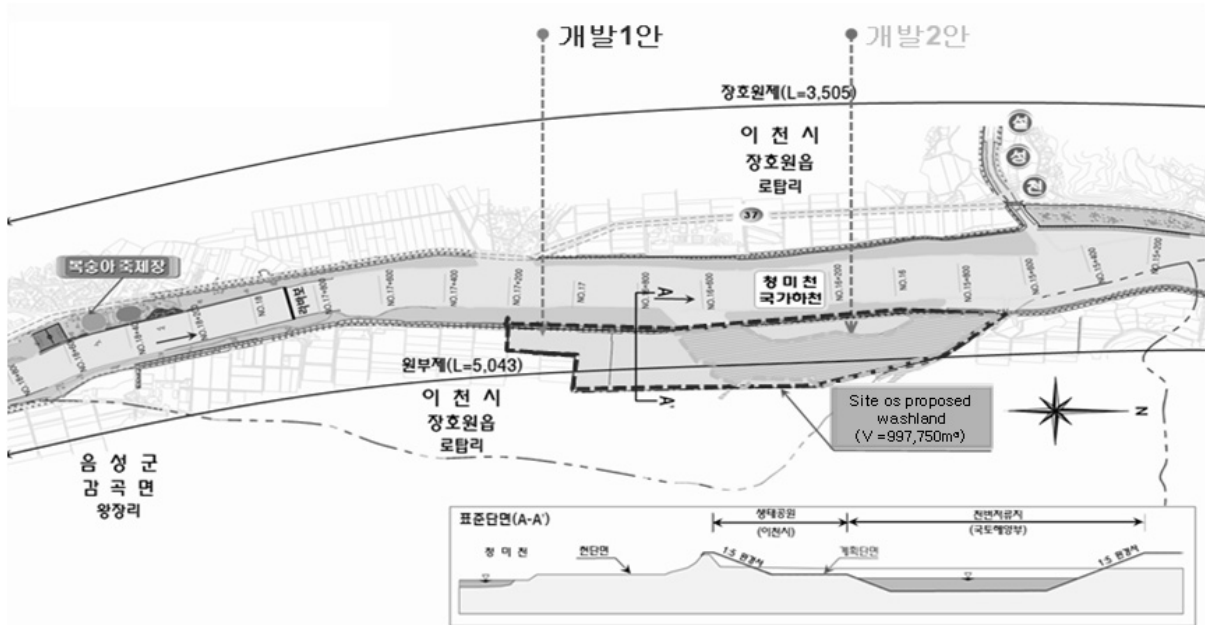


Fig. 3. Location map for proposed washland in the Cheongmicheon stream

분석대상인 청미천 시범 강변저류지의 저류가능량은 월류고가 EL. 59.0 m 일때는 997,750^m³이며 EL. 58.0 m 일때는 844,250^m³이다.

3.2 적용

청미천 강변저류지 지점에서 2,265 m³/s의 침투홍수량을 가지는 수문곡선은 Fig. 4와 같이 청미천 강변저류지 시범사업 실시설계에서 적용한 값을 적용하였다.

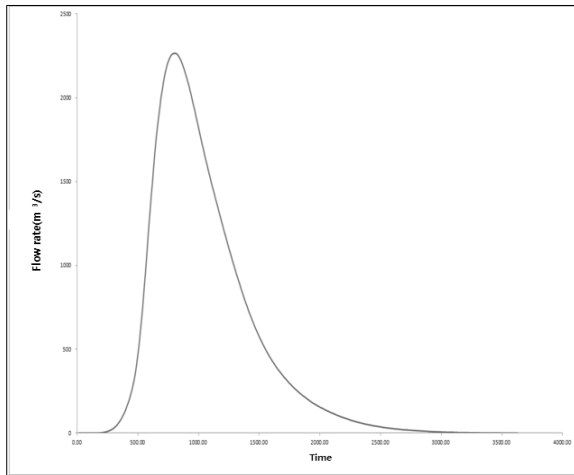


Fig. 4. Flow hydrograph at the proposed site of washland in the Cheongmicheon stream

강변저류지에 대한 홍수저감효과 분석을 하기 위하여 하도내의 수심변화가 필요하며 이 하도 수위는 청미천 강변저류지 시범사업 실시설계에서 산정한 수위-유량 관계곡선식을 이용하여 계산하였다. Fig. 5는 청미천 강변저류지 지점에서의 수위-유량 관계곡선식의 그림이며 하도 수위에 따라 강변저류지 월류부에서의 월류수심을 결정하는데 활용되었다. 하도수위는 HEC-RAS의 부정류 해석 기능을 통하여 구한 수위 유량 관계곡선식을 이용하여 Fig. 4의 홍수수문곡선으로부터 분석기간 동안 10분단위별로 하도수위를 산정하였다.

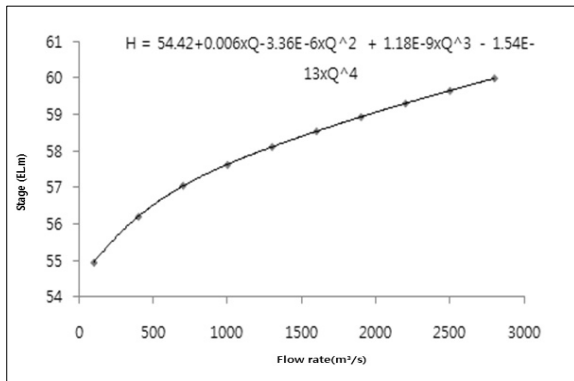


Fig. 5. Rating curve at the proposed site of washland in the Cheongmicheon stream

월류부의 수문 형식에서 부분월류의 경우 오리피스 흐름이 발생되며 이때 유량계수는 Fig. 2와 같이 하도수위 및 월류고와 수문개방도에 따라 결정된다. 유량계수는 하도내 수위에 따라 변화가 일어나며 월류가 일어나는 시간의 수위를 평균값을 적용하여 유량계수를 산정하였으며 Table 2에는 수문바닥고별 수문개방도별로 산정된 유량계수를 표시하였다.

Table 2. Discharge coefficient for gate structure

Invert elevation for gate (EL. m)	Degree of fixed open	Coefficient
57.49	0.3m	0.688
	0.4m	0.683
	0.5m	0.677
	0.6m	0.672
	0.7m	0.668
	0.8m	0.663
	0.9m	0.659
	1.0m	0.653
57.99	0.3m	0.683
	0.4m	0.678
	0.5m	0.668
	0.6m	0.665
	0.7m	0.658
	0.8m	0.653
	0.9m	0.647
	1.0m	0.643

3.3 분석결과 및 고찰

월류제 또는 수문 형식, 월류고 및 월류장에 따른 월류량을 산정하여 청미천 강변저류지 지점에서의 계획첨두홍수량 2,265 m³/s이 상정된 월류부 조건에 따라 강변저류지에 의한 첨두홍수량의 저감효과를 분석하였다. 청미천 시범지역에 대해 수문과 월류제의 제원을 변화시켜 분석을 하였으며, 그 결과는 Table 3과 같고, 홍수저감효과가 높은 값은 굵은체로 표시하였다. Table 3의 하단에 표시한 (f)는 강변저류지의 저류용량을 모두 활용된 상태를 의미한다. 분석 결과에 의하면 저류용량이 1,000,000m³ 내외의 강변저류지인 경우 월류제와 수문의 홍수저감효과 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

월류제의 경우 Table 3과 같이 월류부의 폭보다는 월류고가 홍수조절효과에 영향을 미치는 것으로 분석되었으며 월류고가 너무 높으면 강변저류지의 저류용량을 모두 활용하지 못하여 강변저류지를 효과적으로 사용하지 못하여 되어 홍수조절저감 효과가 낮다. 한편 월류고가 너무 낮거나 월류장 길이가 길면 단기간에 저류지용량이 사용되어 홍수저감효과에 크게 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. Fig. 6은 월류제의 월류고별 월류장별 강변저류지 설치 후 홍수수문곡선의 변화를 나타내었다. 수문에 의한 홍수저감효과는 수문의 개방도에 따라 크게 차이가 있는 것으로 분석되었다. Table 3에서 수문의 개방도는 수문운영방식이 고정인 경우에 의한 홍수저감을 나타낸 것이고, Table 4에서 수문의 개방도는 수위에 따라 변하는 운영방식을 적용한 결과 홍수저감을 나타내었다.

Table 3. Peak flow rates at the proposed site of washland in the Cheongmicheon stream

Type \ Width of weir		10m	20m	30m	40m	50m	70m	100m
		10m	20m	30m	40m	50m	70m	100m
Without washland		2265.00	2265.00	2265.00	2265.00	2265.00	2265.00	2265.00
Weir (crest EL.)	58.99 (el.m)	2260.72	2256.52	2252.32	2248.12	2243.91	2235.51	2222.11 (42.89)
	58.49 (el.m)	2250.53	2236.14	2221.75	2207.37	2192.98 (f)	2192.33 (f) (72.67)	2261.24 (f)
	57.99 (el.m)	2236.89	2208.85 (f)	2180.82 (f) 84.18	2253.89 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	57.49 (el.m)	2220.51 (f)	2228.17 (f) (36.83)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
Gate (invert EL.) (57.49)	0.3m fixed open	2252.86	2240.80	2228.74 (f)	2216.68 (f)	2204.62 (f) (60.38)	2261.24 (f)	2265.00 (f)
	0.4m fixed open	2249.21	2233.51	2217.80 (f)	2202.10 (f) (62.90)	2241.95 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	0.5m fixed open	2245.81	2226.71 (f)	2207.60 (f) (57.40)	2232.26 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	0.6m fixed open	2242.56	2220.19 (f)	2197.83 (f) (67.17)	2261.24 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	0.7m fixed open	2239.45	2213.98 (f) (51.02)	2228.17 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	0.8m fixed open	2236.57	2208.23 (f) (56.77)	2253.89 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	0.9m fixed open	2233.79	2202.67 (f) (62.33)	2261.24 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	1.0m fixed open	2231.25	2197.57 (f) (67.43)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	0.3m fixed open	2254.84	2244.76	2234.69	2224.61 (f)	2214.53 (f)	2194.37 (f) (70.63)	2261.24 (f)
	0.4m fixed open	2251.94	2238.95	2225.97	2212.99 (f)	2200.00 (f) (65.0)	2241.95 (f)	2265.00 (f)
	0.5m fixed open	2249.19	2233.46	2217.73 (f)	2202.00 (f)	2192.33 (f) (72.67)	2265.00 (f)	2265.00 (f)

(f) : fully filled storage

An approximate study on flood reduction effect depending upon weir or gate type of lateral overflow structure of washland

Table 3. Peak flow rates at the proposed site of washland in the Cheongmicheon stream (continued)

Width of weir Type		10m	20m	30m	40m	50m	70m	100m
		Without washland	2265.00	2265.00	2265.00	2265.00	2265.00	2265.00
Gate (invert EL.) (57.99)	0.6m fixed open	2246.73	2228.54	2210.36 (f)	2192.17 (f) (72.83)	2241.95 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	0.7m fixed open	2244.38	2223.85	2203.31 (f)	2189.39 (f) (75.61)	2254.58 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	0.8m fixed open	2242.28	2219.64	2197.00 (f) (68.0)	2228.17 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	0.9m fixed open	2240.36	2215.81 (f)	2191.25 (f) (73.75)	2241.95 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)
	1.0m fixed open	2238.85	2212.77 (f)	2186.70 (f) (78.30)	2253.89 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)	2265.00 (f)

(f) : fully filled storage

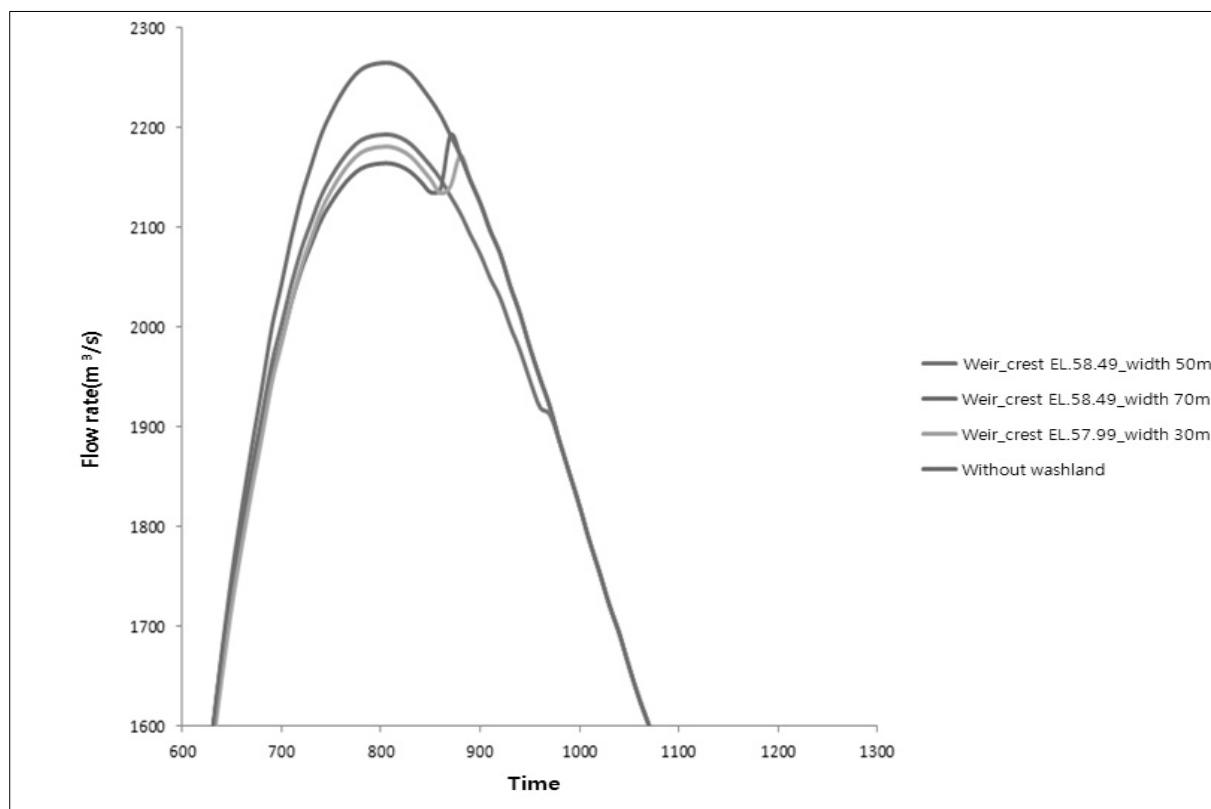


Fig. 6. Flood hydrographs for given weirs

Table 4. Flood reduction effect depending upon weir or gate at the proposed site of washland

Crest El. for weir or invert El. for gate (EL. m)	Type of overflow structure	Width of weir or gate size	Peak flow rate (m ³ /s)	Reduction of peak flow rate (m ³ /s)
Without washland	-	-	2,265.00	-
58.99	weir	100m	2,222.11	42.09
58.49	weir	70m	2,192.33	72.67
57.99	weir	30m	2,180.82	84.18*
	gate	30m×3m (1.0m fixed open)	2,186.70	78.30*
	gate	30m×3m (overflow depth- 0.2m) varied open	2,171.76	93.24*
57.49	weir	20m	2,228.17	36.83
	gate	20m×3m (1.0m fixed open)	2,197.57	67.43
	gate	20m×3m (overflow depth - 0.2m) varied open	2,181.68	83.32

Table 4와 같이 월류제를 적용할 경우 월류턱이 57.99 m이고 월류장은 30 m일 경우에 홍수저감량은 84.18 m³/s(첨두홍수저감을 3.7%)이었으며 월류장 길이에 해당하는 수문을 설치할 경우 78.30 m³/s 및 93.24 m³/s 이었다. 수문을 설치할 경우 수문 조작용은 2가지 방법을 적용하는 것을 상정하였으며 첫 번째는 수문을 수문바닥고에서 1.0 m 만큼 고정시키는 방법이며, 두 번째 방법은 월류수심으로부터 0.2m만큼 뺀 값을 수문의 개방도로 하여 분류 수위에 따라 수문의 개방도가 변하는 방법을 적용할 결과 두 번째 방법이 좀 더 크게 홍수량이 저감되었다. 첫 번째 수문개방도를 고정하는 경우 홍수저감량은 78.3 m³/s(첨두홍수저감을 3.4%), 두 번째 수문개방도가 변화되는 경우 홍수저감량은 93.24 m³/s(첨두홍수저감을 4.1%)이었다. 한편 수문폭 10m당 첨두유량 저감량을 감안하면 수문바닥고 57.49m인 경우 수문에 의한 홍수저감량이 더 크게 분석되었다. 월류제 형식보다 수문 형식에 의한 홍수저감량이 더 크지만, 월류부 형식에 따른 홍수저감이 되는 비율을 면밀히 고려하면 월류제 또는 수문으로의 월류부 형식을 선정할 때, 초기 사업비, 운영비, 유지관리비 등을 감안하여야 한다.

Fig. 7은 산업단지나 주택단지 조성사업 추진에 있어, 기존에 설계된 50개지구의 방재조절지(detention pond)로부터 저감된 홍수량과 저류지의 저류용량과의 관계를 표시하였고 Fig. 8은 기존에 설계된 50개 강변저류지에 의하여 저감된 홍수량과 저류용량과의 관계를 표시하였

다. Fig. 7 및 Fig. 8의 자료에서 저류지의 월류부 형식은 월류제이었다.

$$\Delta Q_{p1} = 0.0069 V_1^{0.6912} \quad (8)$$

$$\Delta Q_{p2} = 0.0031 V_2^{0.7383} \quad (9)$$

여기서 ΔQ_{p1} 는 방재조절지에 의하여 저감된 홍수량(m³/s), V_1 는 방재조절지의 저류용량(m³), ΔQ_{p2} 는 강변저류지에 의하여 저감된 홍수량(m³/s) V_2 는 강변저류지의 저류용량(m³)이다.

Table 4와 같이 청미천 강변저류지의 저류용량은 약 1백만m³이며 홍수저감량은 월류제인 경우 84.18 m³/s이었으며 식 (9)로부터 평가된 저류용량 약 1백만m³당 홍수저감량은 83.4 m³/s로 청미천 경우와 거의 유사한 값을 보여주고 있으며 대략 홍수저감량이 강변저류지에 유입되는 시간을 산정하면 약 3.3시간이 소요된다. 식 (9)을 활용하여 저수용량 5백만m³ 일 경우 홍수저감량은 273.7 m³/s이고 이것을 1백만 m³당 홍수저감량으로 환산하면 54.7 m³/s이 된다. 또한 저수용량 1천만m³ 일 경우 홍수저감량은 456.5 m³/s이므로 같은 방법으로 1백만 m³당 홍수저감량으로 환산하면 45.6 m³/s이 된다. 한편 일본 강변저류지에서의 홍수저감량은 저류용량의 크기에 따라 다르지만 대략 40~50 m³/s을 감안하여 참조할 수 있으리라 판단된다.

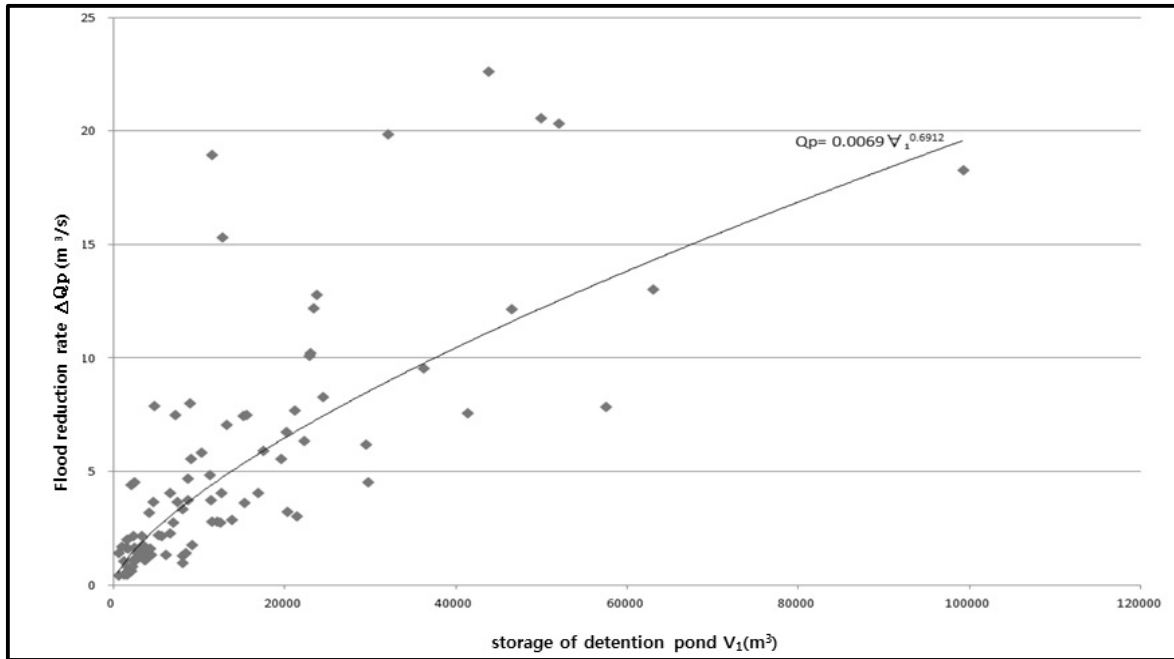


Fig. 7. Relationship between storage of detention pond and flood reduction rate (50 sites of detention ponds)

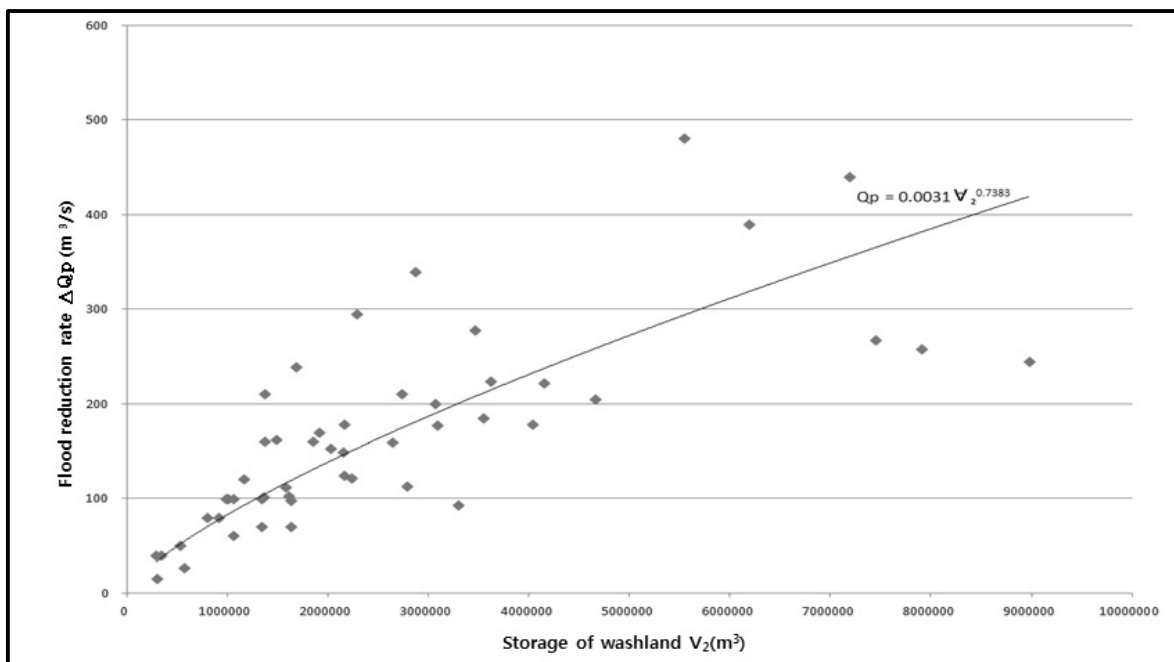


Fig. 8. Relationship between storage of washland and flood reduction rate (50 sites of washlands)

4. 결론

최근들어 우리 나라에 급증하고 있는 집중호우로 홍수피해가 계속적으로 발생하고 있으며, 이에 대한 대안으로 강변저류지의 도입되고 있는 실정이다. 이에 강변저류지의 월류부의 형식과 그 제원의 변화가 홍수저감효과에 대해 어떠한 영향을 주는지 분석하기 위하여 대상저류지인 청미천 강변저류지의 홍수저감효과분석을 실시하고, 월류부 형식과 제원 변화에 따라 홍수저감량

의 변화를 분석하였다.

월류제의 경우 월류고가 너무 높으면 저류용량을 모두 활용하지 못하여 홍수저감효과가 낮을 수 있다. 월류고가 너무 낮거나 월류장의 폭이 너무 길면 단시간에 저류지용량을 다 소모해 오히려 홍수저감효과가 낮게 나타나므로 제원 선택에 있어서 신중히 고려되어야 한다. 기존 설계사례 분석 결과에 의하면 강변저류지의 저류용량 일백만 m^3 당 홍수저감량은 $80.0 m^3/s$ 이었으며 저수용량 1천만 m^3 일 경우 $456.5 m^3/s$ 로서 저류용량 일백만

m³ 당 홍수저감량으로 환산하여 산정하면 45.6 m³/s이었다. 한편 일본 강변저류지에서의 홍수저감량은 저류용량의 크기에 따라 다르지만 대략 저류용량 일백만m³ 당 홍수저감량은 40~50 m³/s이었음을 참조할 수 있으리라 판단된다.

한편 강변저류지의 저류용량 일백만m³ 정도로 비교적 중소규모인 경우 월류제와 수문 형식에 따른 홍수저감 비율의 차이가 뚜렷하게 크지 않으므로 경제성을 고려하여 월류부형식과 제원을 신중히 선택하여야 함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해 저감기술개발사업 (NEMA-자연-2011) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Reference

- Ahn, TJ, Kang, IW, Kim, BC and Back, CW (2007). Suggestion for basic algorithm of decision making model for determination of optimal size and location of wetland, *Proceedings the 2007 Conference of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, pp. 3371-3375. [Korea Literature]
- Anrold, JG, Allen, PM and Morgan, DS (2001). Hydrologic model for design and constructed wetlands, *Wetland*, 21(2), pp. 167-178.
- Baek, CW, Kim, BC and Ahn, TJ (2009). Analysis of flood reduction effect of washlands based on variation of rollway characteristic, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 9(1), pp. 145-150. [Korea Literature]
- Choi, SY and Ahn, TJ (2011). Development of river-reservoir integrated model for flood reduction capacity analysis of off-stream reservoir, *J. of Korean Society of Hazard Mitigation*, 11(1), pp. 165-174. [Korea Literature]
- De, Marchi, G (1934). Essay on the performance of lateral Weirs, *L'Energia Elettrica*. 11(11), pp. 849-860.
- Dongbu Engineering Corporation (2009). Technical report on creation of Cheongmicheon washland, pp. 45-52. [Korea Literature]
- England Nature (2004). *Integrated washland management for flood defence and biodiversity*, Research No. 598, pp. 71-87.
- Han, KY, Kim, JS, Baek, JG and Park, HS (2005). Flood mitigation analysis by flood plain storage basin in river, *Proceedings the 2005 Conference of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, pp. 233-236. [Korea Literature]
- Hammer, BE (1989). *Constructed wetlands for wastewater treatment*, Lewis Publishers, Chelsea, MI, USA.
- Jun, KS, Kim, W and Yoon, BM (2006). Uncertainty of flood control effect of storage pockets with lateral weirs, *Proceedings the 2006 Conference of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, pp. 256-270. [Korea Literature]
- Kadlec, RH and Knight, RL (1996). *Treatment wetlands*, CRC, Lewis Publishers, Boca Raton, FL., USA.
- Kim, BC (2009). *Development of decision making model for optimal locations and dimension of washland considering weir specification*, Master's Thesis, Hankyong National University, Ansong, Korea, pp. 32-36. [Korea Literature]
- Kim, DG, Lee, LY, Lee, CW, Kang, NR, Lee, JS and Kim, HS (2011). Analysis of flood reduction effect of washland using hydraulic experiment, *J. of Wetlands Research*, 8(2), pp. 307-317. [Korea Literature]
- Kim, DK, Kyung, MS, Kim, SD and Kim HS (2007). Effectiveness analysis of flood level mitigation by washland Construction, *Proceedings the 2007 Conference of the Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers (KSCE), pp. 2660-2663. [Korea Literature]
- Kim, SJ, Hong, SG, Yoon, BM and Yu, KK (2009). Sensitivity analysis of designing factor about storage pcket using HEC-RAS, *Proceedings the 2009 Conference of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, pp. 1472-1475. [Korea Literature]
- Kim, HS, Kyung, MS, Kim, SD and LEE, GH (2006). Construction and applications of a Washland, *Proceedings the 2006 Conference of Korea Water Resources Association*, KWRA, pp. 83-88. [Korea Literature]
- Korea Institute of Construction Technology (KICT) (2011). *Final research report on technology for creation of washland*, pp. 36-42. [Korea Literature]
- Ministry of Construction & Transportation (MOCT) (2005). *Flood mitigation by washland research on establishment of basic plan*, pp. 45-67. [Korea Literature]
- USBR (1977). *Design of small dams*, pp. 386.

- 논문접수일 : 2013년 10월 14일
- 심사의뢰일 : 2013년 10월 15일
- 심사완료일 : 2013년 10월 30일