

하천 횡단구조물 연결호안 설계 기법 검토

Techniques for Revetment Design around River-Crossing Structures

윤광석*, 배덕원**, 김형준***, 류용욱****
Kwang Seok Yoon, Deok Won Bae, Yong-Uk Ryu

요 지

최근 기후변화에 의한 강수량 및 집중호우의 증가로 인하여 설계규모를 초과하는 홍수발생 가능성이 커지고, 이에 따라 제방월류 위험성이 증대되고 있다. 특히, 하천을 횡단하는 보 또는 낙차공이 있는 경우, 구조물 영향에 의해 국부적으로 유속이 증가하여 연결호안을 유실시킴으로서 제방붕괴에 의해 홍수피해가 가중될 수 있다. 과거 피해사례를 보면 횡단구조물과 제방과의 연결부가 세굴되어 파괴되는 사례가 많이 발생하고 있으며, 이는 하천횡단구조물 주위에 설치되는 연결호안에 대한 정량적인 설계기법이 정립되어야 할 필요성을 보여 준다. 경험적인 요소만으로 연결호안의 안정성을 판단함으로써, 과소설계에 의한 홍수피해가 발생하거나, 과대설계에 의한 비용손실을 초래하게 된다. 본 연구에서는 기존에 제시되어 있는 호안설계식을 연결부에서의 국부유속증가특성을 고려하여 적용한 결과를 비교하였다. 비교 결과, 연결부에서의 호안 크기가 증가될 필요가 있으며, 이에 대한 실험·실증적 연구가 필요한 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 하천횡단구조물, 제방접속부, 연결호안, 호안설계, 수리실험

1. 서 론

최근 기후변화에 의한 강수량 및 집중호우의 증가로 인하여 설계규모를 초과하는 홍수발생 가능성이 커지고, 이에 따라 제방월류 위험성이 증대되고 있다. 특히, 하천을 횡단하는 보 또는 낙차공이 있는 경우, 구조물 영향에 의해 국부적으로 유속이 증가하여 연결호안을 유실시킴으로서 제방붕괴에 의해 홍수피해가 가중될 수 있다. 최근 이상홍수로 인하여 보 구조물의 파괴가 많이 발생하여 재산피해가 가중되고 있다. 한국건설기술연구원(2006)에 따르면 2002년 태풍 루사에 의한 강원도 지역 하천시설물 피해액 중 보, 낙차공 등의 구조물 파괴에 의한 피해가 약 7.3%(475억원)에 달하는 것으로 조사된 바 있다(그림 1 참조). 보 및 낙차공은 하천 취수나 하상유지를 위한 하천 횡단구조물로서 일반적으로 본체, 물받이, 바닥보호공 등으로 구성되는데 과거 피해사례를 보면 구조물 본체가 파괴되는 피해뿐만 아니라, 구조물과 제방과의 연결부가 세굴되어 파괴되는 사례가 많이 발생하고 있다. 이는 하천횡단구조물 주위에 설치되는 연결호안에 대한 정량적인 설계기법이 정립되어야 할 필요성을 보여 준다. 경험적인 요소만으로 연결호안의 안정성을 판단함으로써, 과소설계에 의한 홍수피해가 발생하거나, 과대설계에 의한 비용손실을 초래할 수 있다. 따라서 보

* 정회원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 연구위원 · E-mail : ksyoon@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 석사후연구원 · E-mail : luckybdw@kict.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 박사후연구원 · E-mail : john0705@kict.re.kr

**** 정회원 · 한국건설기술연구원 하천·해안항만연구실 박사후연구원 · E-mail : yuryu@kict.re.kr

및 낙차공의 연결부 호안의 설계 기법의 개선점을 도출하기 위해 기존 호안 설계방법을 검토하고, 하천 횡단구조물의 연결부에서의 흐름특성을 비교하여 연결부 호안설계 방안을 검토하고자 한다.

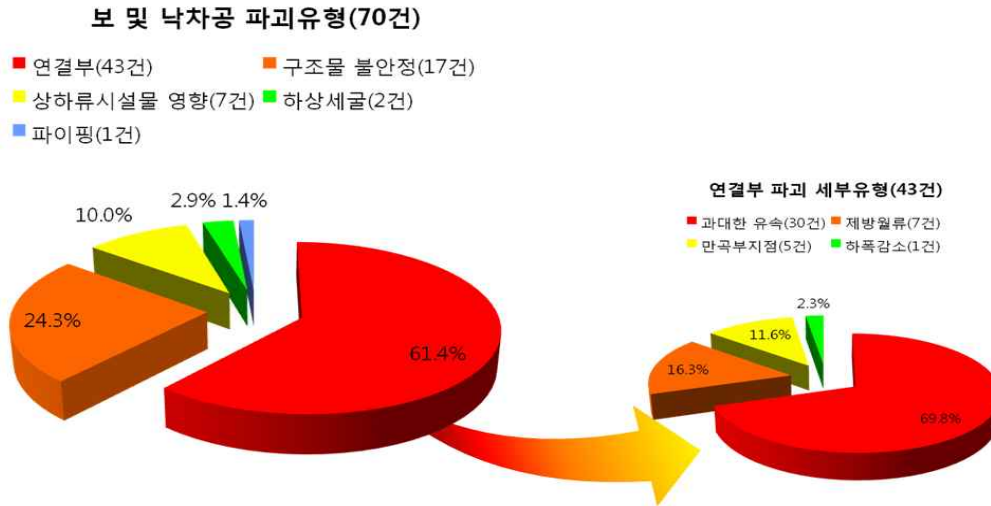


그림 1. 하천 횡단구조물 피해사례 분석

2. 연결호안 피해 원인 및 개선방안

앞서 살펴본 보 및 낙차공 파괴 유형 분류에서 우리나라의 보, 낙차공 피해의 주된 원인은 제방과의 연결부 파괴인 것으로 조사되었다. 제방과의 연결부 파괴가 다수 발생하는 원인으로서는 과대한 홍수로 인한 유속증가뿐만 아니라, 횡단구조물 직하류부에서 발생하는 도수현상에 의한 사류 발생 등을 들 수 있다. 또한, 정량적 평가에 의한 설계가 아닌 구조항목별 형상기준만에 의한 설계도 주원인으로 들 수 있다. 따라서 실무에서 연결호안으로 돌망태공이나 콘크리트 블록공을 설치하게 되는 경우에는 경험적인 판단에 의존하게 되어 과소 설계에 의한 호안재료 이탈이나 과대 설계에 의한 경제적 손실을 발생시킬 우려가 큰 것으로 판단된다.

국내 설계기준과 설계현황 조사결과에 따르면, 연결호안 공법으로 많이 설치하고 있는 돌망태나 콘크리트 블록공, 콘크리트 붙임공 등에 대한 정량적인 설계기법이 미흡한 점이 많은 것으로 조사되었다. 따라서, 정량적인 안전성 평가방법을 통해서 호안공법을 결정해야 할 것으로 판단된다. 연결호안의 정량적인 설계를 위해서는 기존 제방 호안의 설계방법을 검토하고 연결부에서 나타나는 유속증가 특성을 분석한 후, 수리특성 변화에 따른 정량적인 내·외력 산정을 통하여 호안의 규격을 결정하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

3. 기존 호안설계기법 분석 및 연결부 호안 설계 적용

3.1 연결부에서의 국부유속 특성

한국건설기술연구원(2006)은 폭 7m, 길이 40m, 높이 1.5 m인 수로에 모형 보를 설치하고, 경사가 1:2인 제방 비탈면을 재현하여 연결부에서의 3차원 유속을 측정하여 평균유속과 비교한 실험을 수행하였다. 그림 2는 수리실험결과에서 연결부 주위에서 발생하는 최대 국부유속과 단면평균유속

을 비교한 결과이다. 그림에 나타낸 바와 같이 국부적으로 나타나는 최대유속은 단면 평균유속의 3.09배가 되는 것으로 나타났다. 즉, 연결호안 설계시 일반 호안을 설계할 때보다 외력 조건으로서 유속을 3배 정도 할증할 필요가 있음을 보여주고 있다.

3.2 호안설계식 검토

연결부 호안 설계치의 산정을 위하여 기존 제방 호안에 대한 설계식을 검토하였다. 호안설계식은 영국의 Escarameia(1998)와 일본의 국토기술 연구센터(1998)에 의해서 사석, 돌망태, 블록 호안에 대해 제시되어 있으며, 각각의 설계식 비교결과는 표 1~3에 나타낸 바와 같다.

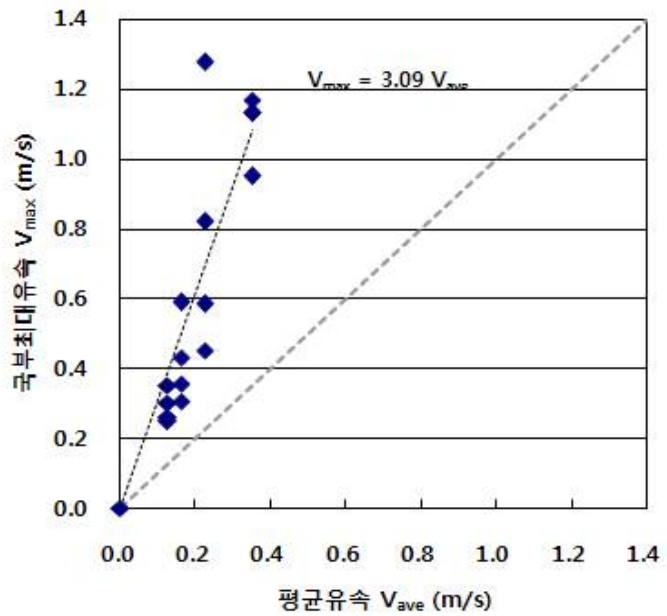


그림 2. 하천 횡단구조물 연결부에서의 최대유속과 단면평균유속과의 비교

표 1. 사석호안 설계식 비교

영국 (River and channel revetment-A design manual, 1998)			일본(국토기술연구센터, 1998)	
사석 호안	구분	설계기본식	막쌓기	설계기본식
	Escarameia & May(1992)	$D_{n50} = C \frac{U_b^2}{2g(s-1)}$		$D_m = K \frac{1}{E_1^2 \cdot 2g \left[\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right]} V_0^2$
	Pilarczyk (1990)	$D_{n50} = \frac{\phi}{(s-1)} \frac{0.035}{\psi_{cr}} K_T K_h K_s^{-1} \frac{U_d^2}{2g}$		
Maynard (1993)	$D_{30} = S_f C_s C_v C_T y \left[\left(\frac{1}{s-1} \right)^{0.5} \frac{U_d}{\sqrt{(K_1 g y)}} \right]^{2.5}$			
비고	D_{n50} : 입도분포의 50%에 해당하는 입자크기(m) C : 난류지수 TI에 따른 계수 U_b : 하상유속(m/s), U_d : 수심평균유속(m/s) s : 석재의 비중, g : 중력가속도(m/s ²) ϕ : 안정보정계수, ψ_{cr} : 안정지수 K_T : 난류지수, K_h : 수심계수 S_f : 안전계수, C_s : 안정계수 C_v : 유속분배계수, C_T : 피복두께계수 y : 수심(m), K_1 : 횡방향 경사계수		D_m : 쇄석 평균입경(m), E_1 : 난류강도실험계수 V_0 : 대표유속(m/s), ρ_s : 쇄석의 밀도(kg/m ³), ρ_w : 물의 밀도(kg/m ³) g : 중력가속도(m/s), K : 사면 보정계수 θ : 사면경사각도(°), ϕ : 수중안식각(°)	

표 2. 돌망태호안 설계식 비교

영국 (River and channel revetment-A design manual, 1998)			일본(국토기술연구센터, 1998)	
상 자 형 틀 망 태	구분	설계기본식	소류- 망태 채우기	설계기본식
	Escarameia & May(1992)	$D_{n50} = C \frac{U_b^2}{2g(s-1)}$		$\tau_{*sd} \geq \frac{u_*^2}{sgD_m}$
	Pilarczyk (1990)	$D_{n50} = \frac{\phi}{(s-1)} \frac{0.035}{\psi_{cr}} K_T K_h K_s^{-1} \frac{U_d^2}{2g}$		$\tau_{*sd} = \tau_{*d} \times \cos\theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2\theta}{\tan^2\phi}}$
비고	D_{n50} : 입도분포의 50%에 해당하는 입자크기(m) C : 난류지수 TI에 따른 계수 U_b : 하상유속(m/s), U_d : 수심평균유속(m/s) s : 석재의 비중, g : 중력가속도(m/s ²) ϕ : 안정보정계수, ψ_{cr} : 안정지수 K_T : 난류지수, K_h : 수심계수		τ_{*sd} : 사면을 고려한 한계 소류력, τ_{*d} : 무차원소류력, u_* : 마찰유속(m/s) D_m : 쇄석 평균입경(m), s : 석재의 비중 θ : 사면경사각도(°), ϕ : 수중안식각(°) g : 중력가속도(m/s)	

표 3. 블록호안 설계식 비교

영국 (River and channel revetment-A design manual, 1998)			일본(국토기술연구센터, 1998)	
블록 호안	구분	설계기본식	구분	설계기본식
	단체 블록	-	활동 단체	$t_b = \frac{W}{(\rho_b - \rho_w) \times g \times K_V \times A_b}$
	군체 블록	Loose/interlocking blocks $t_b = 0.037 \frac{U_d^2}{s-1}$ Linked blocks $t_b = \frac{0.026 U_d^2}{(1-n)(s-1) \left[\log \left(\frac{12y}{D_n} \right) \right]^2 k_d}$	활동 군체	
비고	t_b : 블록의 두께(m), U_d : 수심평균유속(m/s) s : 콘크리트의 비중(≈2.3) n : 블록의 유공률(%) y : 수심(m) k_d : 경사계수		t_b : 비탈덮기동의 지지두께(m) ρ_b : 콘크리트 밀도(kg/m ³), ρ_w : 물의 밀도(kg/m ³) W_w : 비탈덮기공의 수중중량(N) g : 중력가속도(m/s), K_V : 체적보정계수 A_b : 비탈덮기공의 투영면적(m ²)	

3.3 연결부 국부유속특성을 고려한 호안크기 결정

연결부에서의 국부유속 증가 특성을 고려하여 하천횡단구조물이 없는 경우와 있는 경우에 대해 연결부에서의 호안크기를 산정하여 비교하였다. 사석, 돌망태, 블록 호안에 대해 산정한 결과는 각각 그림 3, 4, 5와 같다. 그림에 보인 바와 같이 연결부에서의 유속증가 특성을 고려할 경우, 사석호안은 최대 18배, 돌망태의 사석은 최대 25배, 블록호안의 경우 두께가 최대 12배 정도 증가하는 결과를 나타냈다. 이러한 결과로 볼 때, 연결부에서의 호안 설계시 국부유속을 고려할 경우, 그

크기를 증가시킬 필요가 있으며, 적절한 크기를 결정하기 위해서 실험·실증 연구를 통해 규명할 필요가 있음을 보이고 있다.

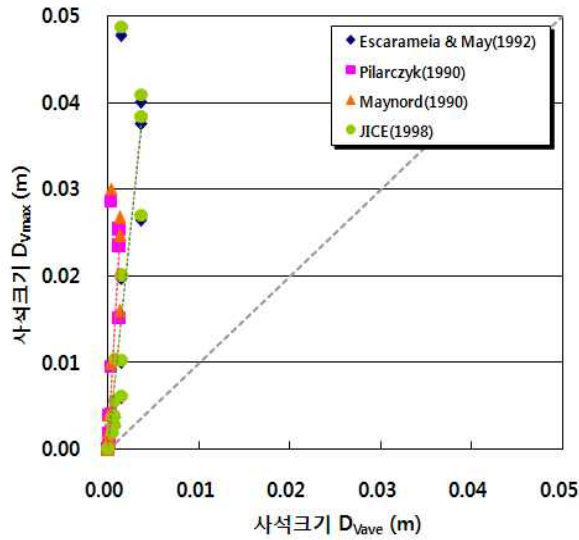


그림 3. 사석호안 크기 비교

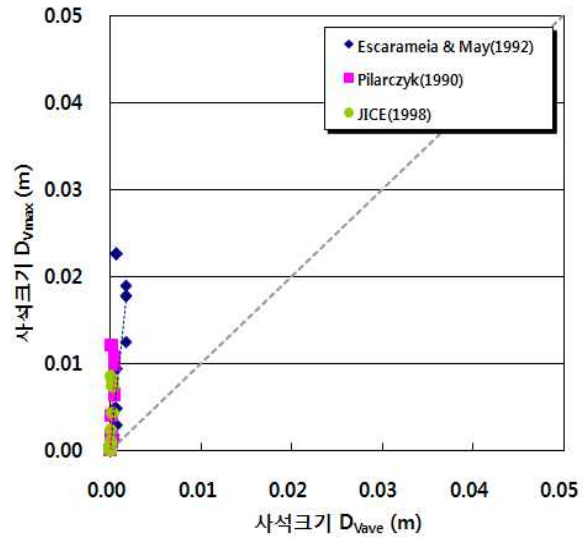


그림 4. 돌망태 호안의 사석크기 비교

4. 결 론

본 연구에서는 일반적으로 사용되는 호안 설계식을 이용하여 연결부의 국부유속 증가 특성을 고려하여 적용했다. 적용 결과, 호안의 크기가 증가될 필요가 있으며, 이에 대한 실험·실증적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2005년도 건설기술기반구축사업 (05-기반구축-D03-01)에 의한 이상기후대비시설기준강화 연구단의 연구성과입니다.

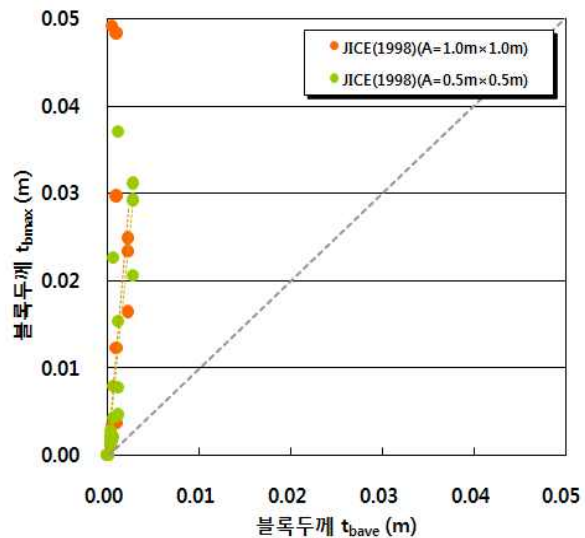


그림 5. 블록두께 분포도(단체형 블록호안)

참 고 문 헌

1. Escarameia, M. (1998) River and channel revetments-A design manual. Thomas Telford, London, UK.
2. 日本 國土開發技術研究センター (1998). 護岸の力學設計法, 山海堂.
3. 한국건설기술연구원 (2006), 보 및 낙차공 설계기술 개발 연구보고서, 건설교통부 한국건설교통기술평가원