

산지하천 호안의 역학적 설계를 위한 평가기준 및 프로그램 개발

Mechanical Design Criteria for Revetment in Mountain Rivers

이지원*, 최채복**, 박상덕***

Jiwon Lee, Chaebok Choi, Sangduk Park

요 지

국내에서 적용되는 호안 등의 구조물설계는 1차원적인 평면적 유속과 소류력을 기준으로 하여 기준허용치에 대한 초과 유무만으로 안정성 판단의 근거로 하고 있어 다양한 수리현상에는 만족하지 않는 경우가 발생한다. 따라서, 호안구조물의 보다 다양한 조건과 정량적 수치에 근거하는 역학적 설계기법과 구조적 안정성 검토를 위한 평가모델을 제안하게 되었다. 한편, 기존 호안의 위험도를 평가하기 위한 평가기준도 필요하며, 이를 관리자나 설계자가 편리하게 이용할 수 있도록 프로그램 개발도 필요하게 된다. HEC-RAS의 결과를 입력자료로 이용할 수 있도록 연계하였으며, 제시한 구조모델을 주해석 알고리즘으로 적용하고, 「수충부 및 토석류 방재기술 연구단」에서 개발된 식을 사용자가 쉽게 선택할 수 있도록 적용성도 고려하였다.

핵심용어 : 수충부, 구조안정성, 호안, 검토프로그램

1. 서 론

산지하천은 지형특성상 하도경사가 급하고 다수의 만곡부로 형성된다. 이로 인해 홍수시 유속은 급격하게 증가되고 만곡부에 작용하는 수충력은 비대해지며 하도 내·외측의 수위차도 발생하게 된다. 이러한 만곡부의 하도 안정성을 증대시키기 위해서는 편수위나 수충력 등의 문제를 고려한 설계방법과 호안 등의 구조물적 대책이 필요하게 된다. 국내에서 적용되는 호안 등의 구조물설계는 1차원적인 평면적 유속과 소류력을 기준으로 하여 대상시설의 기준허용치에 대한 초과 유무를 안정성판단의 근거로 하고 있다. 따라서, 호안구조물의 보다 다양한 조건과 정량적 수치에 근거하는 역학적 설계기법과 구조적 안정성 검토를 위한 평가모델을 제안하게 되었다. 호안의 역학적 안정성 검토는 대상 하도특성에 따라 설계조건을 설정하고, 호안의 파괴형태나 구조형식을 분석하여 구조모델로 규정하고, 호안에 작용하는 다양한 외력과 호안 부재간의 역학적 평형방정식을 통해 호안의 내력을 평가하는 것이다. 이를 통해 호안의 설치두께나 필요중량, 밀다짐공의 부설폭과 필요제원이 적정함을 판단하게 된다.

2. 호안의 역학적 설계기법의 제안

강원지역의 하천은 지형특성상 대부분 산지를 따라 형성되어있고, 하천의 특성도 산지하천의 일반적인 특성을 그대로 보여준다. 호안피해 현황을 살펴보면 주로 만곡수충부 외안에 피해가 집중되었다. 이러한 만곡수충부의 주요파괴요인을 살펴보면, 만곡부 수위상승에 따른 월류와 호안기초의 침식에 의한 파괴가 대부분이었으며, 형식이 다른 호안의 연결부나 구조물 접속부의 훼손이 전반적인 피해로 연결되는 경우도 있었다. 이는 국내의 호안설계기준이 강원지역 산지하천의 세굴특성을 충분히 고려하지 못할 뿐만 아니라, 홍수시 만곡내측과 외측에 동일하지 않은 수위가 발생함에도 불구하고 내외측 모두 같은 호안설치고를 적용했기 때문에 발생되었다고 판단되므로, 이를 개선하기 위한 정량적이고 역학적 해석에 근거한 호안 설계법의 도입이 절실하게 되었다. 하지만, 산

* 정회원 · (주)한국종합기술 기술연구소 소장 · E-mail : jwl2000@kecc.co.kr
** 정회원 · (주)한국종합기술 기술연구소 차장 · E-mail : portall@kecc.co.kr
*** 정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 교수 · E-mail : sdpark@gwun.ac.kr

지하천의 호안설계시 우선 고려해야 할 사항이 있다. 보전되어야 할 자연환경이나 자연경관을 훼손하면서까지 홍수로 인한 피해대상이 없고 피해가능성이 지극히 낮은 지점까지 일률적으로 호안을 설치하는 것은 유지관리 측면이나 경제적으로 비합리적이다. 따라서, 호안의 설계는 제방이나 제방을 보호해야하는 호안이 필요한지 유무에 대한 검토가 선행되어야 한다. 검토결과에 따라 호안설치의 필요성이 충분하다면, 대상하도나 제방의 특성을 고려하여 파괴형태나 가능성을 검토하고, 이에 대응할 수 있는 구조적으로 안정된 호안을 설치하여야 한다.

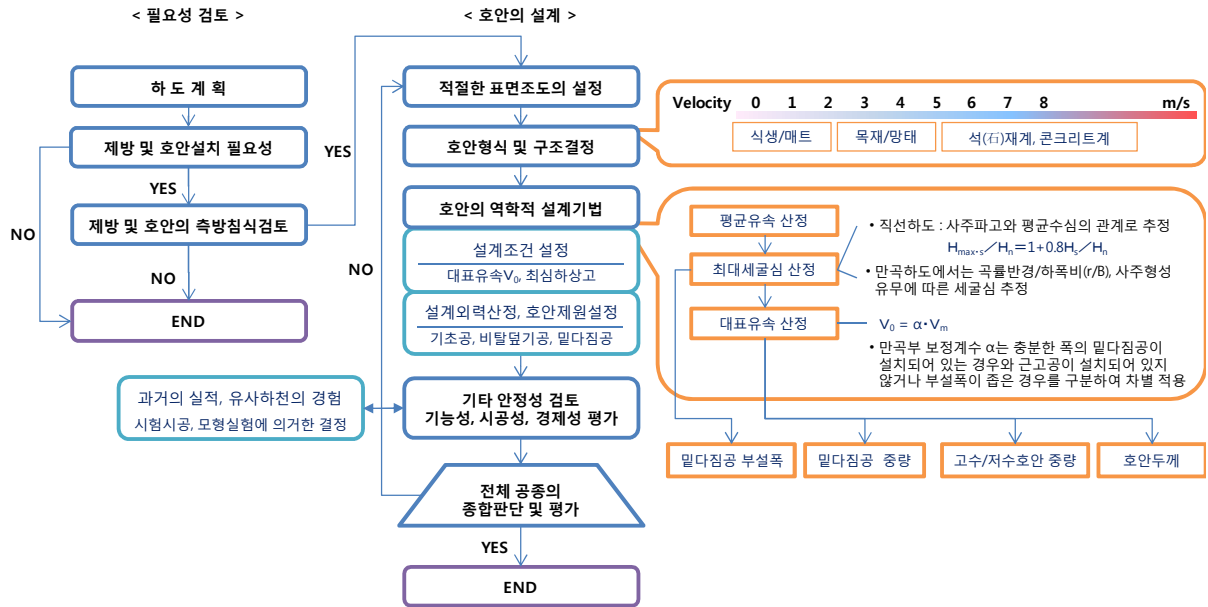


그림 1. 호안의 역학적 설계기법의 절차

호안의 설계조건으로는 유속 및 소류력, 수압, 토압, 하상지하 등을 고려해야 하며, 홍수시의 최심하상고는 안정성 평가에서 중요한 설계조건이 된다. 역학적 설계기법에서 사용되는 유속은 Manning 공식으로 구한 평균유속 V_m 에서 만곡부 등 고려되지 못하는 요인을 수리학적으로 평가하여 보정하는 계수 α 를 고려한다. 이를 대표유속 V_0 로 정의한다.

$$V_0 = \alpha \times V_m \dots \dots \dots (1)$$

만곡의 영향이 있는 경우 평균유속에 보정계수 α 를 사용하여 하폭변화, 저수로와 고수부 흐름의 간섭, 만곡에 의한 와류의 발생 등의 영향을 보정한다. 예를 들어, 그림 2.에서와 같이 내안측의 $\alpha = 1 + B/2r$, 외안측 및 하류단에서의 연장 $2B$ 구간의 $\alpha = 1 + \Delta Z / 2H_d + B/2r$ 가 된다. 한편, 홍수시의 세굴현상이나 되메우기에 의해 최대세굴심이 변화되며, 유사형태도 하도특성에 따라 달라진다. 이러한 최심하상고의 결정은 기존 하상변동 데이터로 산정하나, 자료가 없을 경우 과거 연구성과나 수치계산 및 이동상 수리모형 실험으로 평가한다. 최대세굴부의 수심(H_{max-s})은 지금까지의 실험 데이터 등으로, $H_{max-s}/H_n = 1 + 0.8 H_s/H_n$ 으로 평가된다. 따라서, 최대세굴심(평균하상고와 최심하상고의 차 ΔZ)은 $\Delta Z/H_m = 0.8 H_s/H_m$ 로 평가하여 얻는다(그림 3. 참조).

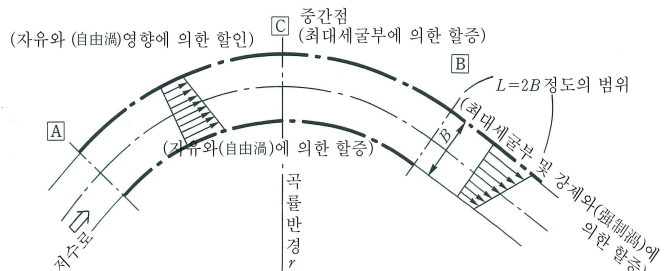


그림 2. 만곡부의 유속보정(보정계수 α)

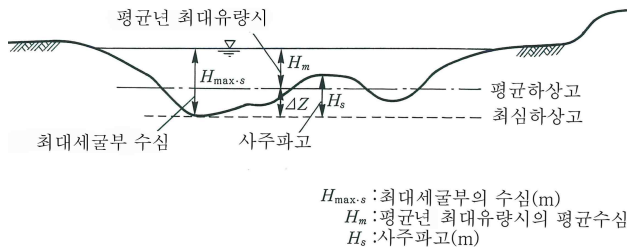


그림 3. 최대세굴부의 수심산정(H_{max-s})

H_{max-s} : 최대세굴부의 수심(m)
 H_m : 평균년 최대유량시의 평균수심
 H_s : 사주파고(m)

상기와 같이 산정된 대표유속 V_0 과 최대세굴심 H_{max-s} 을 통해 호안의 설치제원을 산정하게 되고, 호안은 유수에 의한 항력과 양력에 대해 호안이 견딜 수 있는 중량과 두께가 확보되어야 한다. 예를 들어, 호안블록을 사면에 설치할 때 다음과 같은 관계식을 이용하여 중량과 두께를 산정한다.

· 호안블록의 중량은,

$$W = \frac{W_w}{(\rho_b - \rho_w) / \rho_b} = \frac{L_s + ((W_w \cdot \sin \theta)^2 + D_s^2)^{1/2}}{\mu \cdot \cos \theta \cdot (\rho_b - \rho_w) / \rho_b}$$

· 호안블록의 두께는 그림 4.에서와 같이,

$$t_b = W_w / ((\rho_b - \rho_w) \cdot g \cdot K_v \cdot A_g) \text{로 산정한다.}$$

여기서, K_v, A_g 는 체적보정계수 및 투영면적을 의미한다.

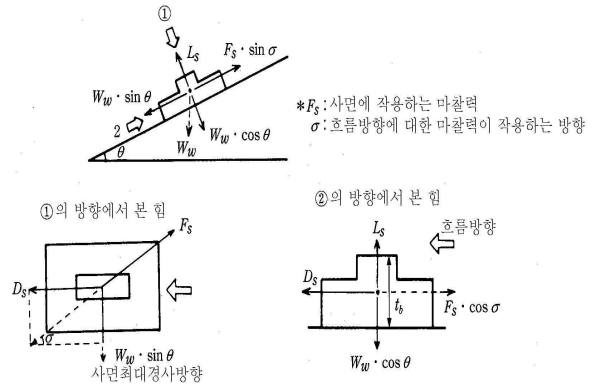


그림 4. 호안블록의 두께산정

한편, 밀다짐공은 소류력에 대응하는 중량이상을 확보함과 동시에, 예측되는 세굴에 대해 기초공 전면을 보호할 수 있는 부설폭과 부설고를 가져야한다. 따라서, 밀다짐공의 부설폭은 호안기초전면의 하상이 저하하지 않도록 충분한 폭이 되도록 설계한다. 밀다짐공의 필요중량은 다음과 같은 관계를 이용하여 산정한다.

$$W = \alpha \left(\frac{\rho_w}{\rho_b - \rho_w} \right)^3 \cdot \frac{\rho_b}{g^2} \left(\frac{V_d}{\beta} \right)^6$$

기본식에 사용되는 α, β 는 부재의 배치형상에 따라 다르다. 이 값은 밀다짐공의 형상, 부재의 방향, 배치형태에 따라서 수리모형실험이나 현지의 시공실적에 의해 구하는 것이 바람직하다. 표 1.은 이형블록의 형태에 따른 α, β 의 계수값을 제시하고 있다.

표 1. 이형 콘크리트블록계수(α, β)

구분	모형블록의 비중	$\alpha \times 10^{-3}$	β
A : 대칭돌기형	$\rho_b / \rho_w = 2.22$	1.18	1.54
B : 평면형	$\rho_b / \rho_w = 2.03$	0.54	2.06
C : 삼각추형	$\rho_b / \rho_w = 2.35$	0.83	1.44
D : 3점지지형	$\rho_b / \rho_w = 2.25$	0.45	2.36
E : 장방형	$\rho_b / \rho_w = 2.09$	0.79	2.81

3. 호안의 구조적 위험도 평가기준

3.1 고수·저수호안의 소류력에 대한 측방침식 평가

호안의 역학적 설계기법을 통해 산정된 대표유속(V_0)과 설치된 호안의 허용한계유속과의 비교를 통하여 소류력에 대한 안정성과 호안의 설치두께 부족으로 인한 말림파괴나 연쇄파괴에 대한 안정성을 검토한다. 소류력에 대한 중량의 확보가 최우선시 되어야 하며 호안의 두께부족에 의한 직접적 파괴나 부분적 침식, 분리/이탈, 말림파괴 등도 안정성 확보를 위해 고려해야 한다. 이러한 고수·저수호안의 소류력에 대한 측방침식 평가기준은 표 2.와 같다.

표 2. 고수·저수호안의 소류력에 대한 측방침식 평가

평가	내용
a	대표유속(V_0) < 대상호안의 허용한계유속(소류력에 대해 안정), 호안의 부설두께가 만족함(측방침식에 의한 말림파괴에 대해 안정).
b	대표유속(V_0) < 대상호안의 허용한계유속(소류력에 대해 안정), 호안의 부설두께가 만족하지 못함(측방침식에 의한 말림파괴에 대해 불안정).
c	대표유속(V_0) ≥ 대상호안의 허용한계유속(소류력에 대해 불안정), 호안의 부설두께가 만족하지 못함(측방침식에 의한 말림파괴에 대해 불안정).

3.2 호안기초 및 밀다짐공의 세굴에 대한 평가

밀다짐공은 호안의 파괴시에 발생하는 하상저하와 기초의 손실로 인한 호안파괴를 저감시키는 역할을 하기 때문에, 흐름에 저항할 수 있는 중량을 충분히 확보하고, 예측되는 세굴에 대해 기초공 전면이 보호될 수 있도록 부설폭을 설정한다. 국내 기준에서는 밀다짐공의 부설폭을 홍수량에 따라 일률적으로 적용하고 있으나, 역학적 설계기법에서는 기본 부설폭에 예상세굴심(ΔZ) 만큼 연장 적용한다. 이로 인해 하상의 세굴 진행 정도에 따라 자연스러운 하상보호가 가능하게 된다. 밀다짐공 주변의 하상저하나 세굴이 진행되면, 부설지점

의 횡단형상은 그림 5와 같이 변형한다. 밀다짐공의 부설폭은 호안기초전면의 하상이 저하되지 않는 넓이를 보호할 필요가 있다. 즉, 호안전면에 하상저하가 발생하여도 최소 1열 또는 2m정도 이상의 최소부설폭이 확보될 필요가 있다. 따라서, 부설폭 Bc는 밀다짐공의 설치고와 최심하상고 평가고의 고저차 ΔZ를 이용하면 기하학적으로 다음식이 된다(그림 5. 참조).

$$B_c = L_m + \Delta Z / \sin\theta$$

여기서, Lm : 호안전면의 최소부설폭

(블록 1열 또는 최소 2m정도 이상)

θ : 하상세굴시의 사면경사(=30°)

ΔZ : 밀다짐공 부설고에서 최심하상공의 평가고까지의 고저차(m)

사면경사 θ는 하상재료의 수중안식각 정도이지만 안전을 고려하여 일반적으로 30°로 한다. 이와 같이 세굴에 대한 밀다짐공의 평가기준은 표 3과 같다.

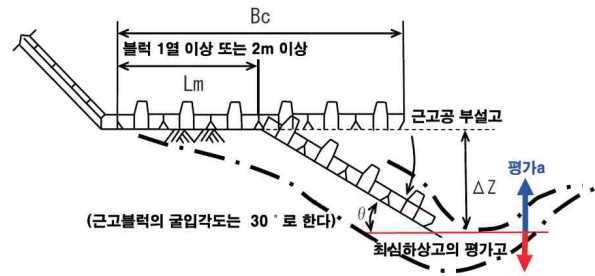


그림 5. 밀다짐공의 세굴에 대한 평가도

표 3. 세굴에 대한 밀다짐공의 평가

평가	내용
a	호안기초고 ≤ 최심하상의 평가고
	호안기초고 > 최심하상의 평가고, 단, 밀다짐공의 부설폭이 충분하여 세굴면을 따라 늘어져 대응 가능한 경우
b	호안기초고 > 최심하상의 평가고, 단, 밀다짐공의 부설폭이 부족하여 세굴면을 따라 늘어져 대응 불가능한 경우

3.3 호안의 구조적 위험도 평가기준

호안의 구조적 위험도는 고수호안의 구조적 안정성과 기초 및 밀다짐공의 위험도를 고려하여 두 가지 평가항목을 조합하여 복합평가를 실시한다. 복단면인 경우에는 저수호안에 대한 안정성을 고려해 주어야 하는데, 이는 고수부지가 횡방향으로 침식되어 제방 전체의 피해에 이르는 경우가 있기 때문이다. 따라서, 호안의 구조적 위험도에 대한 복합평가 기준은 표 4와 같고, 이는 국소세굴에 대한 평가가 “b”이고, 측방침식 및 소류력에 대한 평가가 “c”의 경우가 가장 위험하므로 “D”로 평가한다.

표 4. 호안의 구조적 위험도에 대한 복합평가

복합평가		고수/저수호안의 위험도 (측방침식 및 소류력 평가)		
		a	b	c
호안기초 및 밀다짐공의 위험도(국소세굴 평가)	a	A	B	C
	b	B	C	D

4. 호안의 구조적 위험도평가 모형

개발된 호안설계 및 평가모형은 다음과 같은 설계과정을 통하여 최적의 호안형식결정 및 제원을 산정하고, 위험구간설정 및 우선순위를 결정한다. HEC-RAS의 결과를 입력자료로 이용할 수 있도록 연계하였으며, 역학적 설계기법을 통해 제시한 구조모델을 주해석 알고리즘으로 적용하고, 산지하천을 고려한 연구개발식을 검토알고리즘으로 추가하여 사용자가 쉽게 선택할 수 있도록 적용성도 고려하였다(그림 6. 참조).

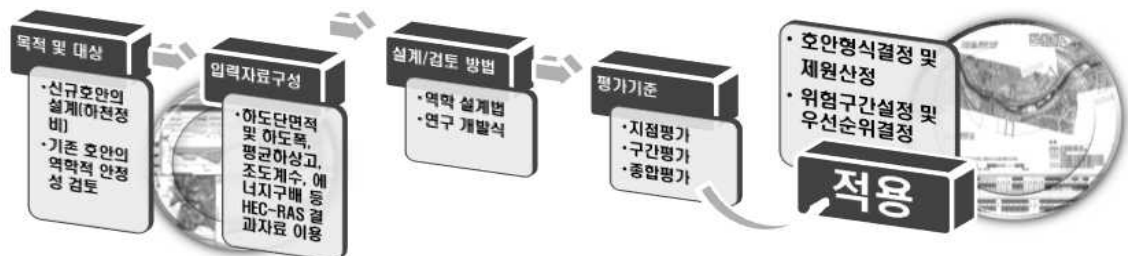


그림 6. 호안 설계·평가 모형의 개요

대상하천에 대한 평면형상은 지형파일을 활용하고, 점(Node)과 선(Link)을 이용하여 하도의 평면계획 및 축점별 하도단면을 작성할 수 있도록 하였으며, 계산시행 후 평가기준에 따른 위험도 결과가 출력되도록 구성하였다. 입력자료는 HEC-Ras의 계산결과 파일을 불러들인 후, DataGridView 컨트롤러 사용하여 하도형상, 조도계수, 에너지구배, 하상재료입경, 곡률반경 등의 선택입력조건을 직접입력가능 하도록 하였다. 호안 설계·평가 모형의 구성은 그림 7.과 같다.

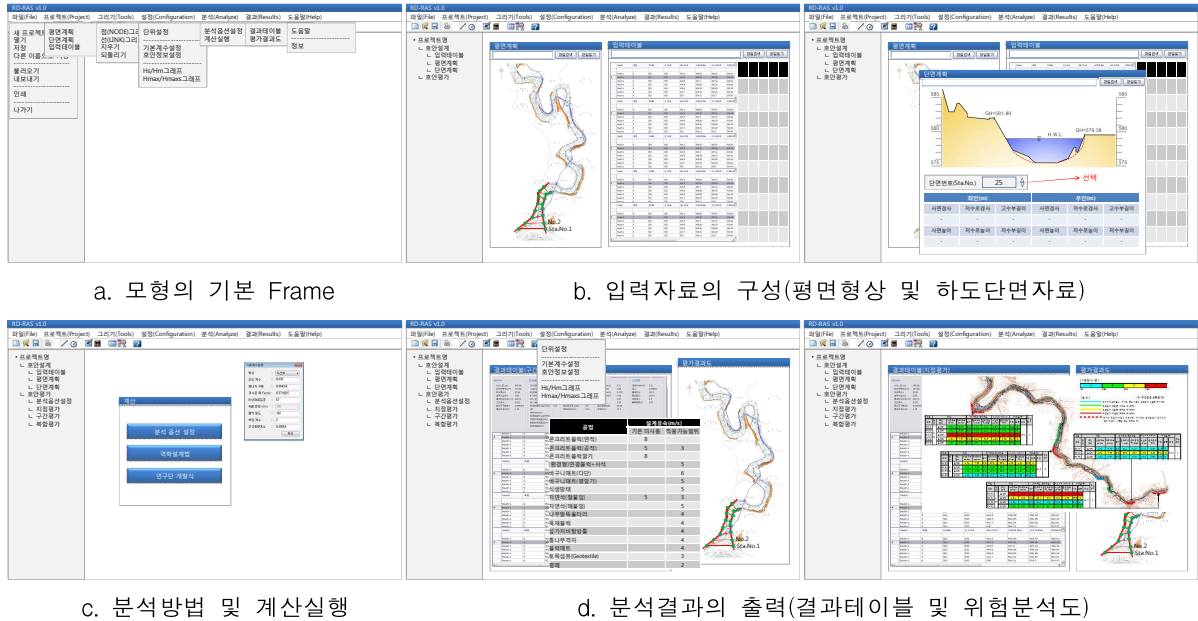


그림 7. 호안 설계·평가 모형의 구성

5. 결론

개발된 호안 설계·평가모형은 역학적 설계기법을 기반으로 하고 있어 다양한 수리현상에 만족되고, 정량적인 수치해석이 가능하다. 현재 국내 실무에서 사용되는 호안설계방법은 하도만곡에 따른 수리학적 영향이나 파괴형태를 고려한 호안두께, 하상저하나 국부세굴에 의한 호안기초와 밀다짐공을 충분히 반영하지 못하는 실정이므로 개발된 설계기법과 모형은 실무에서 유용하게 이용될 수 있을 것이다. 아울러, 역학적 설계기법에 의한 기존호안의 위험도평가를 통해 개수지구의 보수·보강이 필요한 우선순위 구간을 결정하고 부분적인 호안정비도 가능하며, 신규 호안의 계획시 수리역학적으로 안정되고 하도계획의 전체적인 종합판단과 평가가 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비지원(과제번호# '08지역기술혁신B-01)에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 하천만곡부의 적정설계를 위한 유로특성 분석, 행정자치부 국립방재연구소, NIDP 2003-08
2. 국립방재연구소, 하천만곡부의 개략설계 값 산정에 관한 연구, 연구보고서, 2004년
3. 이종태, 윤세의(1987), 개수로 만곡부에서의 중심각 변화에 따른 흐름특성, 대한토목학회 논문집, 제7권 제3호
4. 호안의 역학 설계법 (재)국토기술연구센터 편, 산해당, 2007년
5. 호안 비탈덧기의 수리설계에 관한 연구, 토목연구소자료, 제2635호, 1988년
6. A.Shucky, "Flow Around Bends in an Open Channel Flume", Trans. ASCE Paper No. 2411 pp. 751~788
7. Chin-Lien Yen and B.C.Yen, "Water Surface Configuration in Channel Bends", J. of Hydraulic Div., Vol. 97, No. HY2, pp. 303~321, 1971.