

보 하류부 하상보호공 길이산정을 위한 실험연구

정재광*

An Experimental Study for Estimation of Bed Protection Length

Jae Kwang Jung*

요약 : 본 연구에서는 하천의 이동상 실험분석을 통하여 보 하류부의 하상보호공 길이 산정을 위한 공식을 제안하였으며, 실제 하천과 유사한 모형수로와 하천을 횡단하는 보 구조물을 설치하여 수리모형실험을 수행하였다. 실험을 통하여 하천 횡단 구조물인 보가 설치되었을 경우 수리학적 특성인 수위, 유속의 변화와 하상변동 등을 분석하였으며, 수리모형실험 수행 이후 실험 결과에 대한 분석을 통하여 보 설치에 따른 수리실험을 실시하여 하상 보호공 공식을 고정보 및 가동보에 대하여 제시하였고, 제시된 공식과 기존의 하상보호공 길이 산정공식을 비교해 본 결과 본 연구에서 제안된 공식에 의하여 산정된 바닥보호공 길이가 실험결과와 일치하는 것으로 나타났다. 또한, 본 실험을 통하여 보 설치에 따른 하상 퇴적 길이 및 하상변화를 산정하였으며, 산정결과 유량의 증가에 따라 보 직하류부부터 시작되는 세굴심과 최대세굴거리가 증가함을 확인하였다.

핵심용어 : 가동보, 고정보, 세굴, 하상보호공

Abstract : This study proposes a formula to calculate length of river bed protection through experimental research and an experimental plant has been installed to investigate the parameters which influence the length of scouring in the river after overflowing the weir. Through hydraulic experiments, the critical velocity, difference of water level between upstream and downstream and height of weir have been selected as independent variables. And new formula to calculate a length of river bed protection is suggested as the result of this study in the consideration of complex weir that consists of movable and fixed weir. The new formula is verified through additional experiments. Results of this study can be used for weir structures' construction and maintenance plans.

keywords : *movable weir, fixed weir, scouring, bed protection*

1. 서론

보는 수로나 하천의 수위 조절과 치수의 기능을 담당하기 위해 설치되는 하천 구조물로서 갈수기를 대비한 농업 및 생활용수 확보나 주운을 위한 수심확보의 목적으로 많이 활용되고 있다. 일반적으로 보의 상류부에서는 퇴적현상이 일어나고 보의 하류부에서는 세굴현상이 일어나며, 홍수 시에는 보의 상류부의 퇴적물들이 가동보를 통해 휩쓸려 나가기 때문에 가동보 하류부에는 집중된 유량으로 인하여 유속이 증가하고, 이로

인해 국부세굴이 일어나게 된다. 이것은 보 하류부에서의 바닥 보호공의 설계길이 및 보의 안정성 문제로 직결된다.

하천에서의 구조물 설치에 따른 하상변동 특성의 실험에 관한 연구동향을 살펴보면 안상진과 김종섭(1995)은 교각주위에서 세굴심도영향인자의 민감도에 대한 실험도 연구에서 세굴인자인 수심, Froude수, 개도비 및 접근각 등에 대한 영향을 분석하였고, 이강철(1997)은 현장관측을 이용한 해상교량 교각기초 주변의 국부세굴에 대한 연구를 수행하였다. 최계운 등(1997)은 해상교각

* 정회원 · 지엔씨엔지니어링 대표이사 · E-mail : kill0713@hanmail.net

주위에서의 세굴예측에 대한 실험적 연구를 수행하였으며, 여홍구(2006)과 여창건 등(2009)은 보 설치로 인한 하류부의 수리학적 영향을 분석하였다. 해외에서의 구조물에 의한 영향을 분석한 연구로는 Posey et. al(1938)은 사다리꼴 수로에서 도수현상에 대한 연구를 하였고, Bohr et. al(1993)은 수리모형실험을 통하여 중력과 점성력의 변화를 고려하여 도수길이를 정성적으로 분석하였으며, Garcia(1993)는 도수길이와 하상구조물의 하류부에서의 전단응력에 따른 세굴 및 부유사의 관계를 분석하였다. Chanson & Brattberg (2000)는 도수현상이 일어나는 흐름에서 도수의 크기의 증가에 따른 에너지 소산을 연구하였다. 지금까지의 연구는 보 등의 하천내 구조물의 설치로 인한 영향을 검토하는데에 국한되었다고 하면, 본 연구에서는 하천 내 흐름 영향을 고려한 보 구조물 설치 방안을 제시함으로써 하천을 보다 안전하고 효율적으로 관리할 수 있도록 제안하고자 한다.

2. 수리모형 실험장치 제작 및 실험 방법

본 수리모형실험을 위해 수로를 구성하고 모형에 사용된 보 구조물은 고정보와 가동보가 혼합되어 있는 다기능보로서 고정보의 길이가 4.51m이

고, 가동보의 길이가 1.50m인 복합보이다. 가동보의 형태는 수문이 위, 아래로 작동하여 유량을 조절하는 형태인 셸타입 게이트로 구성되어 있으며 두 개의 수문으로 구성하였고, 수리모형시설을 그림 1과 같이 제작하였다.

수리학적 특성을 파악하기 위하여 각 단면, 지점별로 유속 및 수심을 측정하여 가동보와 고정보를 통수하기 전 상류의 흐름과 통수후의 하류의 흐름의 수리학적 특성변화를 파악하였다. 유속의 경우 그림 2와 같이 2차원 유속계(VM-2201, 유속범위 0~200cm/s)를 사용하여 수심의 60%가 되는 지점을 30초간 측정하여 평균유속을 측정하였으며 유수의 흐름에 대하여 x, y축의 값을 측정하였으며, 수심은 0.1mm까지 측정이 가능한 포인트 게이지를 사용하여 측정하였다.

수심과 유속의 측정은 동일한 지점에서 측정을 하여 유량변화에 따른 수리학적 특성치 변화를 분석하였다. 유사이동의 특성을 분석하기 위하여 실험장 전체에 결정된 모형사를 15cm 깊이로 포설하여 실험을 진행하였다. 정확한 측정을 위하여 실험 수행 전 실험장 전체에 동일한 높이의 하상 바닥면을 유지하도록 유사를 포설하였고, 세굴깊이와 세굴이 발생한 거리는 레벨 측정기를 이용하여 실험 전과 실험 후의 세굴 및 퇴적의 범위 및 깊이를 측정하였다.



Figure 1. Installation weir and channel



Figure 2. VM-2201 Velocimeter

3. 보 형태에 따른 수리학적 특성 분석 결과

고정보 및 가동보 설치에 따른 보 상·하류부의 하도에 대한 단면의 실험유량별 변화에 따른 수심, 유속 및 하상변동의 측정 결과를 분석하였다. 고정보 실험의 경우 실험의 결과 값은 좌·우측의 벽면에 와류 등 벽면의 효과가 나타남을 감안하여 양측 벽면으로부터 0.25m 떨어진 지점의 사이의 측점을 측정하였고, 가동보 실험의 경우는 0.5m 떨어진 지점의 사이의 측점에서 측정을 수행하였다. 그림 3과 4는 고정보 설치시 유량변화에 따른 수위와 유속변화를 나타내고 있다.

고정보를 월류하는 흐름은 물받이공의 끝부분 부근에서부터 심하게 요동치는 흐름형태를 보이고

있으며, 보 하류부 0.66m에서 수심은 심한 변동을 일으키고, 보 하류부로 멀어질수록 수심이 일정한 값으로 수렴되는 것으로 나타났다. 유량별 보 하류부 난류에 의한 최대수심은 유량조건 0.05m³/s에서부터 유량이 0.09m³/s, 0.13m³/s, 0.18m³/s로 증가함에 따라 0.07m, 0.11m, 0.11m, 0.12m로 변화하였다. 보 하류부 수심변화는 고정보를 월류하여 유하하는 흐름이 직하류부에서는 난류의 형태를 띠고 있으며, 보에서부터 하류측으로 멀어질수록 보에 대한 영향이 작아짐에 따라 변동이 작은 안정화된 흐름을 갖는 것으로 나타났다. 안정화된 지점에서의 평균 수심을 측정된 결과 유량조건 0.05m³/s에서부터 유량이 0.09m³/s, 0.13m³/s, 0.18m³/s로 증가함에 따라 0.06m, 0.08m, 0.09m, 0.10m로 나타난다.

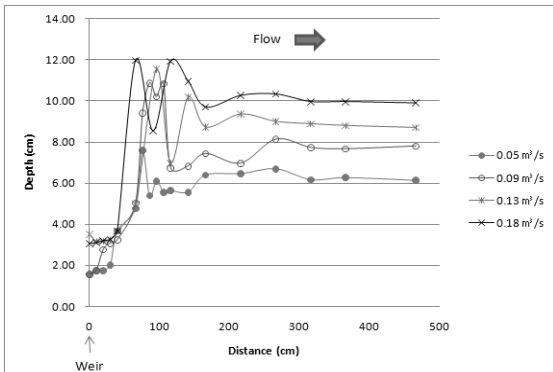


Figure 3. Downstream water depth variation in the fixed weir

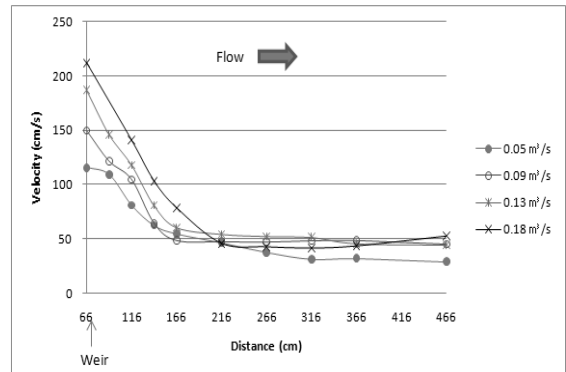


Figure 4. Downstream velocity variation in the fixed weir

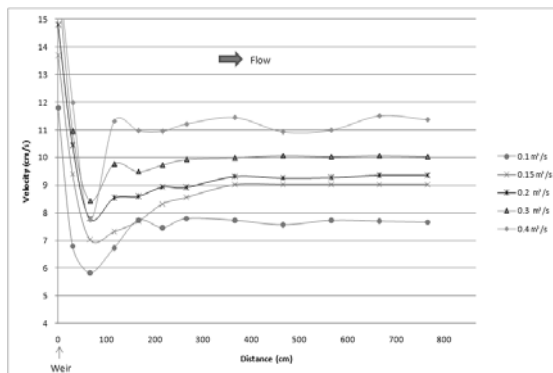


Figure 5. Downstream water depth variation in the moveable weir

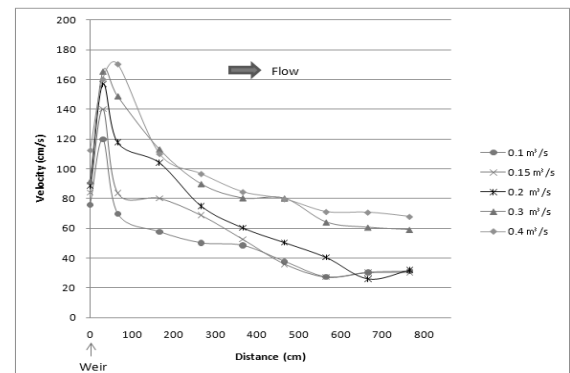


Figure 6. Downstream velocity variation in the moveable weir

고정보 하류부 유속변화는 보에 대한 영향이 보 하류측으로 멀어질수록 작아지기 때문에 변동이 작은 안정화된 흐름을 나타내게 된다. 최대유속은 고정보의 직하류부에서 측정되었으며, 유량조건 0.05m³/s에서부터 유량이 0.09m³/s, 0.13m³/s, 0.18m³/s로 증가함에 따라 발생하는 최대유속은 각각 1.16m/s, 1.57m/s, 1.87m/s, 2.12m/s로 나타남을 확인할 수 있다. 유속이 일정하게 유지되는 하류부의 유속은 유량의 변화에 큰 관계없이 0.40~0.60m/s에서 수렴되는 것을 확인하였다.

그림 5에서 보는바와 같이 가동보 하류에서의 수심은 각 유량조건 0.1m³/s에서부터 유량이 0.15m³/s, 0.2m³/s, 0.3m³/s, 0.4m³/s 크기로 증가함에 따라 각각 0.08m, 0.09m, 0.09m, 0.10m, 0.11m로 수렴되었으며, 단면의 급축소 및 급확대에 의한 영향으로 가동보 직하류부부터 난류가 일어난 후 수심이 지점별로 안정화되어 일정한 수위로 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 가동보의 유속은 그림 6에서 보는바와 같이 가동보를 통수하는 지점에서 최대 유속을 보이며, 물받이공 끝지점 부근에서 유속은 감소하기 시작하였고, 보 하류부로 멀어질수록 유속이 일정한 값으로 수렴되는 경향을 보이고 있다. 유량별 최대 유속은 유량조건 0.1m³/s에서부터 유량이 0.15m³/s, 0.2m³/s, 0.3m³/s, 0.4m³/s로 증가함에 따라 각각 0.12m/s,

0.14m/s, 0.16m/s, 0.17m/s, 0.17m/s로 나타나고 있고, 가장 작은 실험유량인 0.1m³/s를 기준으로 유량이 증가함에 따라 117%, 131%, 138%, 142%의 증가율을 보이고 있다.

그림 7은 고정보에서 세굴로 인한 하상변동을 나타내고 있으며, 고정보 설치에 따른 최대 세굴심은 유량조건 0.05m³/s에서부터 유량이 0.09m³/s, 0.13m³/s, 0.18m³/s로 증가함에 따라 각각 물받이공 끝지점으로부터 하류측으로 0.75m, 1.00m, 1.25m, 1.50m로 나타나며, 수심 및 유량의 변동이 강한 지점을 중심으로 하상변화가 크게 작용하는 하는 것으로 나타났다.

가동보에서 세굴로 인한 최대세굴심은 그림 8에서 보는바와 같이 유량조건 0.1m³/s에서부터 유량이 0.15m³/s, 0.2m³/s, 0.3m³/s로 증가함에 따라 물받이공 끝지점으로부터 하류측으로 각각 1.00m, 1.50m, 2.04m, 2.50m로 나타난다. 물받이공 끝에서의 수심 및 유량의 변동이 강한 지점을 중심으로 하상변화가 크게 작용하는 경향을 확인할 수 있다. 그리고 보로부터 하류측으로 떨어질수록 하상변동의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있었고, 소류력에 의한 세굴이후에 유수의 중방향 흐름으로 인한 침식현상이 추가적으로 발생하는 것을 나타냈다.

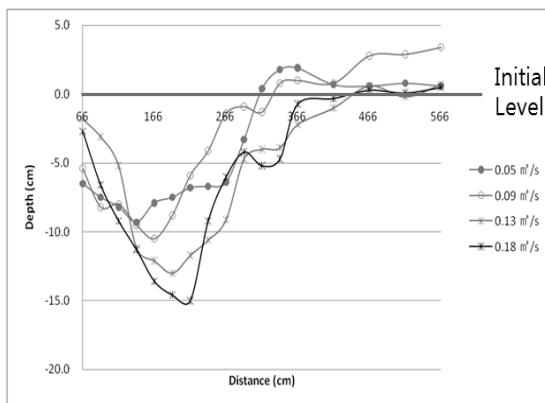


Figure 7. Downstream river bed changes in the fixed weir

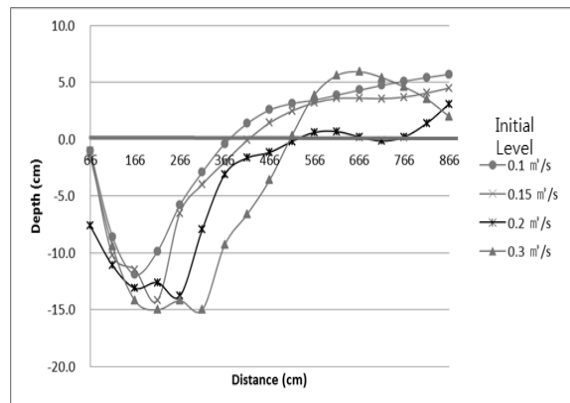


Figure 8. Downstream river bed changes in the moveable weir

4. 하상보호공 길이산정 공식개발

기존의 하상보호공 설치는 하천설계기준(수자원학회, 2009)에서 제안하고 있는 Bligh 공식 및 국립건설시험소의 공식을 사용하거나 수리모형실험에 의하여 결정하고 있으며, 본 실험결과와 비교 검토함으로써 기존 공식의 적정성을 평가하고 본 실험결과에 의한 하상보호공 공식을 제안하고자 한다.

세굴이 발생하는 지점과 퇴적이 발생하는 지점

을 검토하여 그림 9에서 나타난 바와 같이 침식 구간과 퇴적구간을 총 3개 구간으로 나누어 세굴 구간, 침식구간, 퇴적구간으로 구분하였다. 세굴구간은 I 구간으로써 복잡한 도수현상으로 인하여 발생하는 구간으로 최대세굴심 발생 위치를 기준으로 결정하였으며, 침식구간인 II구간은 도수현상으로 인한 세굴지점과 동수압 발생으로 인한 구간이고, 초기 하상높이 이상이 되는 퇴적구간은 III구간으로 분류하였다. 그림 9는 유사이동에 따른 하상변동구간의 분류를 도시화한 그림이다.

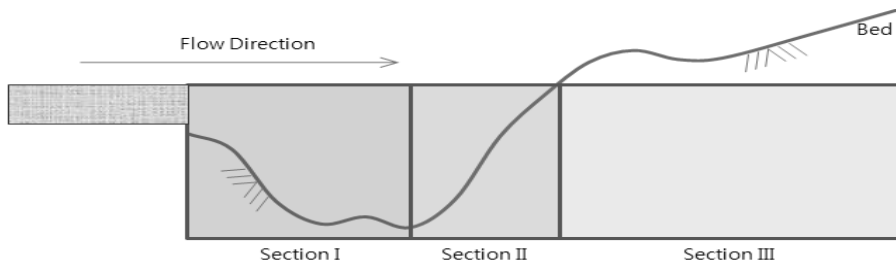


Figure 9. Division of sections for sediment transfer

본 연구에서는 보 하류부에 생성되는 3개 구간 중 구간 I의 경우에는 하도 침식이 크게 발생하여 보 체체에 안정성에 문제를 야기할 수 있기 때문에 하상보호공이 반드시 설치하여야 하는 구간으로 제안하였으며, 구간 II의 세굴은 하상보호공 등의 설치로 인하여 구간 I이 보호될 경우에는 세굴이 발생하지 않는 것으로 간주하여 구간 I의 영

향에 따라 하상보호공 설치 유·무를 결정하도록 하였다.

위에서 나타난 바와 같이 실험결과와 설계값, 계산값 등을 토대로 나타난 다양한 공식을 정리하여 종속변수인 하상보호공의 길이를 그림 9에서 나타난 구간 I로 결정하고, 각 독립변수에 대하여 정리하면 표 1과 같다.

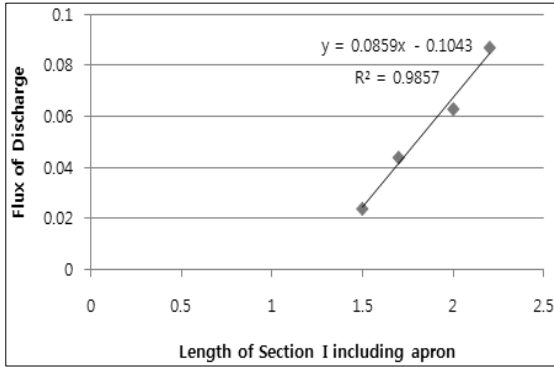
Table 1. Relationships among parameters

Independent variables (X)	Linear Relation with Length of section I (L)	Coefficient of Determination (R ²)	Remark
Flux of Discharge	$L=0.0859X-0.1043$	0.9857	-
Water depth at the upstream	$L=0.0469X+0.1687$	0.9534	-
Water depth at the downstream	$L=0.0521X-0.0143$	0.9853	-
Critical velocity	$L=0.45X-0.04$	0.9841	-
Height of weir	$L=0.0593X+7.0684$	0.9855	-
Difference of water level	$L=-0.0078X+0.1888$	0.9684	Inverse Proportion
Overflow water depth	$L=0.0324X-0.001$	0.8857	-
Overflow velocity	$L=0.7047X-0.7349$	0.9480	-

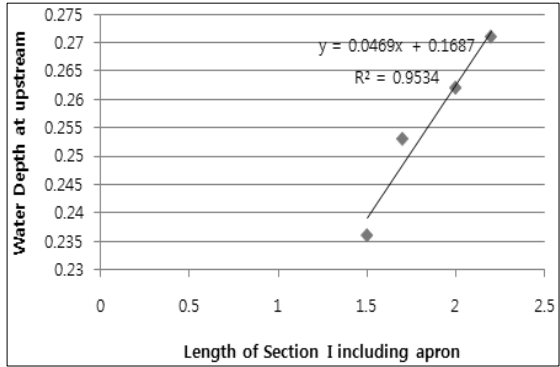
정재광

여기서, 특이한 사항은 상류수위와 하류수위는 모두 하상보호공 길이와 비례관계가 성립되는데, 하류수위-하상보호공 길이 간 비례식의 기울기가 하류수위의 경우가 더 크기 때문에 상하류간 수위

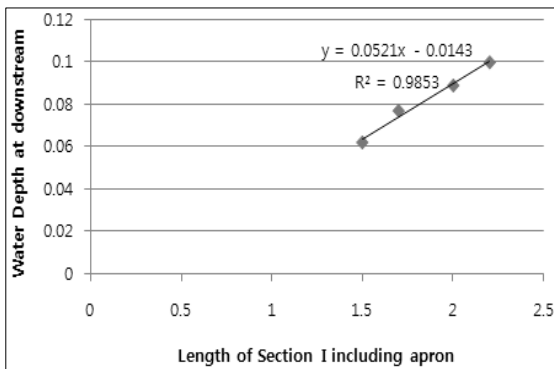
차이의 경우 반비례 관계가 나타나는 점을 확인할 수 있다. 표 1의 관계식과 결정계수는 그림 10의 (a)~(h)의 그래프를 통하여 나타낸 것이다.



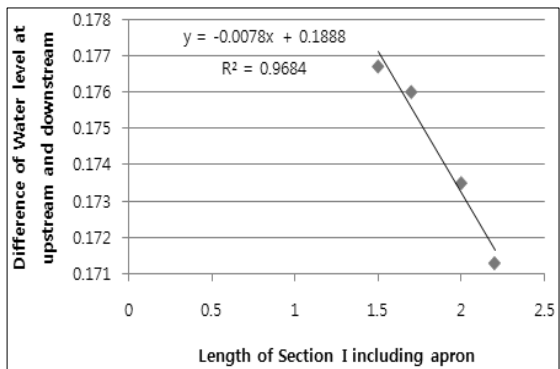
(a) Flux of discharge



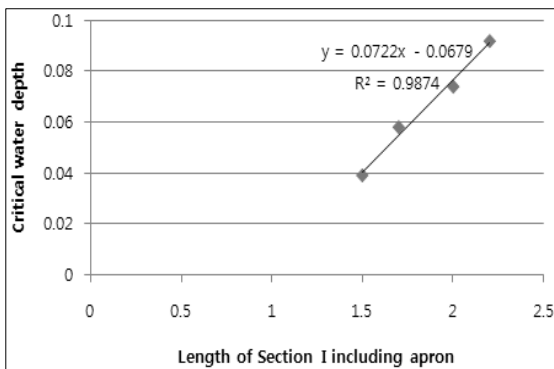
(b) Upstream water depth



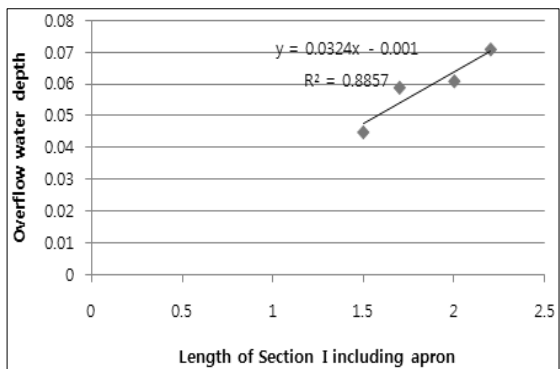
(c) Downstream water depth



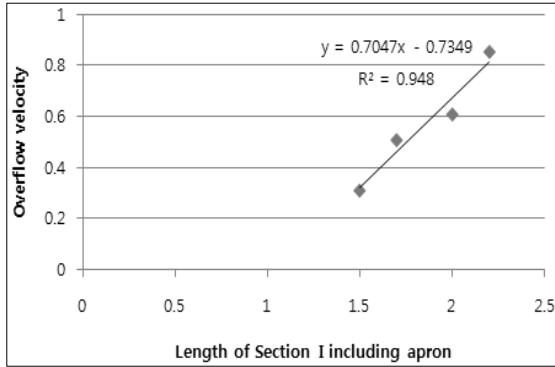
(d) Difference of water level



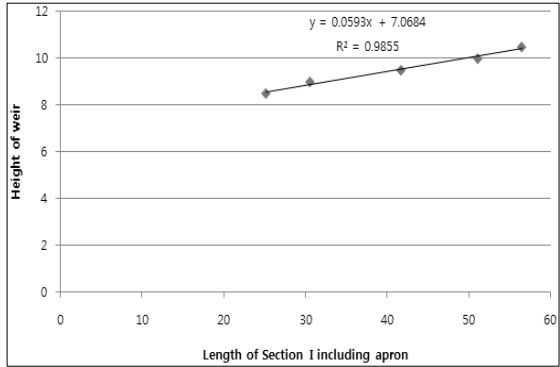
(e) Critical velocity



(f) Overflow water depth



(g) Overflow velocity



(h) Height of weir

Figure 10. Relationship of independent variables

본 연구에서 사용된 인자들과 하상보호공의 길이간의 상호관계를 분석하면 대부분의 인자들이 결정계수 0.88 이상의 관계를 보인다. 하상보호공 길이 결정에 위한 각종 독립변수를 분석한 결과 활용가능한 모든 변수를 이상과 같이 선정하였다. 그러나, 현장에서의 적용 가능성을 감안하자면 모든 변수가 활용 가능한 것이 아니다. 예를 들어, 보를 월류하는 수위와 유속은 보의 형식과 설계 홍수량을 수중보의 유량 결정 공식 등을 사용하여 개략적인 추측은 가능하지만, 정확한 예측이 불가능하여 수리실험을 실시하여 측정해야 하는 어려움이 있으며, 표 1과 그림 10에 나타난 바와 같이 월류수위와 유속은 상관도가 다른 변수에 비하여 작게 나타나기 때문에, 실제로 사용가능한 공식을 제안하기 위해서는 제안된 설계값을 이용하여 결정이 가능한 변수를 사용해야 한다. 그러므로 본 연구에서는 설계시 결정되는 홍수량(q), 상하류 수위(H_1, H_3), 보의 높이(H_d), 한계유속(V_c) 등을 이용하였다. 여기서, 한계유속은 홍수량을 바탕으로 계산되기 때문에 각각 모두 감안될 필요 없이 한 가지만 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 홍수량이 한계유속보다 상관도가 높은 변수로 나타났으나, 두 변수 모두 결정계수 0.98 이상이기 때문에 유사한 것으로 판단되며, 홍수량 보다는 한계유속을 적용하는 편이 Froude 수와 설

계 홍수량이 같이 표현될 수 있고, 수리학적 차원을 맞추는 데에도 장점이 있기 때문에 본 연구에서는 한계유속을 대표 변수로 선택하였다. 상류와 하류의 수심은 단면의 형상에 따라서 결정하기 어려울 수 있으므로, 일반적으로 수심보다는 수위정보가 활용되기 때문에 상류와 하류의 수심값에 비하면 수위차를 이용하는 방향이 합리적이며, 현장 적용성도 좋을 것으로 판단된다. 또한, 수리학적으로도 상류와 하류의 수심은 함께 표현되는 편이 보를 통과하며 발생하는 손실량을 감안하는 것으로 의미가 있다. 상·하류 수위차는 다른 인자와 달리 반비례하는 경향을 보이며, 상관관계에 대한 기울기가 작기 때문에 제곱근의 형태로 사용하는 편이 더 좋을 것으로 판단된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 하상보호공의 길이는 한계유속을 통하여 대표되는 하천의 흐름특성과 유량에 비례하고, 보의 높이에도 비례하며 상·하류 수위차에는 반비례하는 관계가 있는 것을 알 수 있다.

하상보호공의 길이는 길이의 차원(L)로 나타낼 수 있으며, 독립변수인 한계유속은 길이와 시간의 차원(LT⁻¹), 상하류 수위차와 보의 높이는 길이의 차원(L)로 나타낼 수 있다. 여기서 상하류 수위차의 경우 그 제곱근이 하상보호공 길이와 반비례한 형태(L^{-0.5})로 사용되기 때문에 독립변수를 조

함하여 길이의 차원(L)로 결과를 내기 위하여는 길이의 제곱근과 시간의 차원(L^{-0.5}T)이 추가되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 상수의 형태로 길이와 시간의 차원을 갖는 기지값인 중력가속도의 제곱근을 역수 형태(L^{-0.5}T)로 사용하였다.

따라서, 본 연구에서 제안하고자 하는 하상보호공 길이 산정을 위한 공식의 기본형을 나타내면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = C \times L^* - L_A \quad (1)$$

여기서 L*는 위에서 분석한 독립변수들을 조합한 것으로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L^* = \frac{V_c}{\sqrt{g \times (H_1 - H_3)}} \times H_d \quad (2)$$

그림 11과 12는 가동보와 고정보에서의 제안된 공식과 실험의 세굴 구간 I의 값을 비교한 그림이며, 0.97이상의 높은 상관성을 보이고 있는 것으로 나타났다.

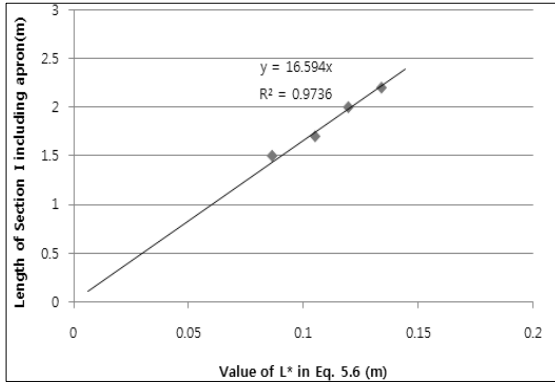


Figure 11. Relationship between L* value and length of section I in fixed weir

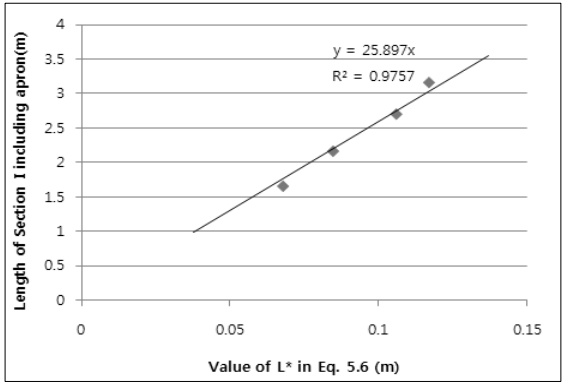


Figure 12. Relationship between L* value and length of section I in movable weir

고정보의 경우 L*값과 구간 I의 길이를 비교하여 그림 11과 같은 관계를 확인할 수 있었으며, 이를 바탕으로 C값은 기울기인 16.6으로 제안하였다.

가동보의 경우 제안된 공식을 통하여 계산된 L* 값과 구간 I의 길이를 비교하여 그림 12와 같은 관계를 확인할 수 있었으며, 이를 바탕으로 C값은 25.9로 제안하고자 하며, 공사 시 시공성과 약간의 안전율을 감안하여 26을 제안한다. 따라서, 본 연구에서 제안한 식에 사용될 보정계수 C값은 고정보에서 16.6, 가동보에서 26.0을 사용하

도록 제안하였다.

5. 기존 공식과의 비교

고정보의 경우 국립건설시험소 공식 적용 결과와 비교하였을 때, 그림 13과 14와 같이 본 연구에서 제안하고 있는 공식에 의한 결과가 실제 필요로 하는 보호공 길이에 근접하게 나타나며, 국립건설시험소 공식의 결과는 유량이 상승함에 따라서 과소 산정되는 경향이 나타났다.

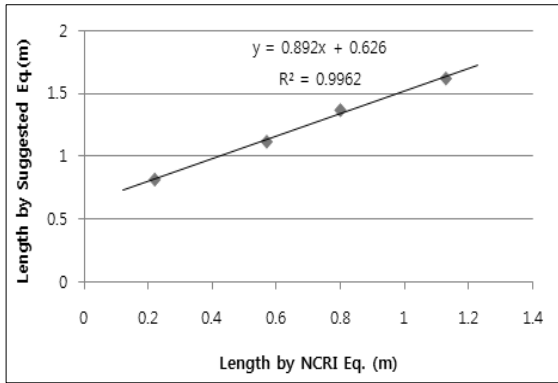


Figure 13. Relationship between suggested and NCRI (at fixed weir)

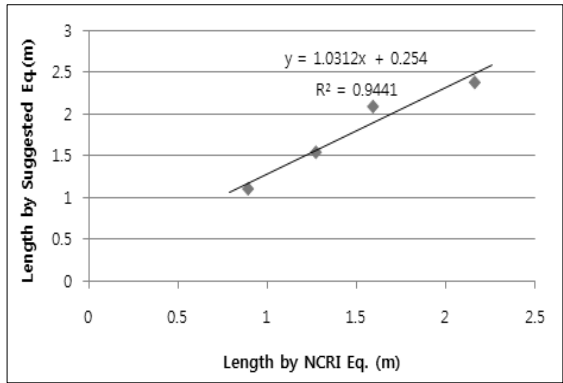


Figure 14. Relationship between suggested and NCRI (at movable weir)

국립건설시험소 공식 적용 결과 가동보의 경우에도 고정보와 유사한 형태로 나타났으며, 그림 15와 16에서 보는바와 같이 국립건설시험소 공식의 결과는 유량이 상승함에 따라서 과소 산정되는 경향을 나타내고 있다.

또한, Bligh 공식과 본 연구에서 산정된 공식을 비교하였을 때, 그림 15와 16과 같이 유사한 값

을 나타내고 있으나, Bligh 공식의 경우 본 연구에서 다양한 설계인자를 활용하여 제안하는 공식과 달리 유량을 제외한 변수가 일정하며, 유량변화폭이 크게 작용하고, 가동보 자체에 대한 안전율을 1.5를 적용하게 되어 본 연구에서 제안한 공식에 비하여 과다 산정되는 경향이 있다.

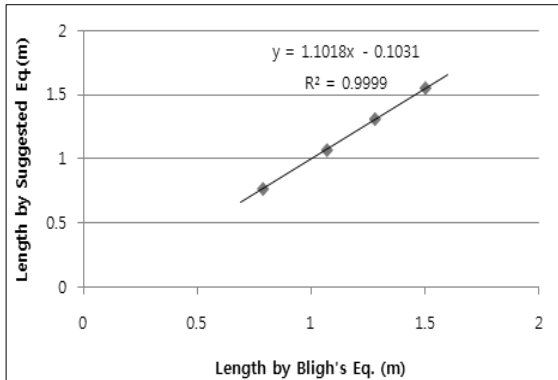


Figure 15. Relationship between suggested and Bligh (at fixed weir)

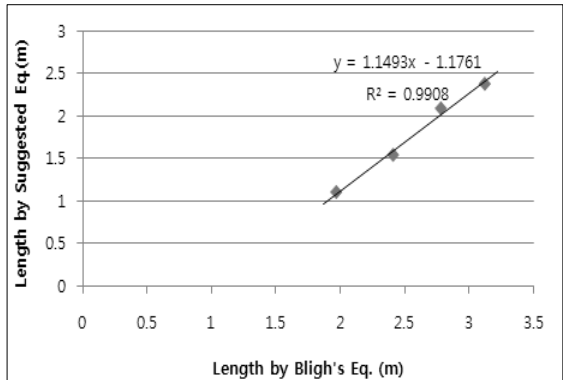


Figure 16. Relationship between suggested and Bligh (at movable weir)

그림 16에서 나타난 바와 같이 가동보의 경우에는 고정보의 경우와 달리 Bligh 공식을 적용하는 경우에 과다 산정되는 경향이 있기 때문에 본 연구에서 제안된 공식이 실제 하상보호공 필요길이에 근접하게 나타났다.

6. 결 론

본 연구는 하천 횡단 구조물인 보가 설치되었을 경우 하상변동에 직접적인 영향을 주는 세굴 및 퇴적현상을 수리모형실험을 통하여 분석하고,

이를 토대로 하상보호공의 길이를 산정할 수 있는 공식을 산출하고자 하천에 가동보와 고정보가 설치된 모형실험장을 구축하여 이동상 실험을 실시하고 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 가동보와 고정보를 대상으로 유량변화에 따른 보 하류부 하상세굴 양상을 검토하여 하상보호공 설치 구간을 결정하였으며, 현장에서 사용이 용이하도록 단위 폭 당 유량(q), 상하류 홍수위 (H_1 , H_3), 보의 높이(H_d), 한계유속(V_c) 등을 이용하여 하상보호공 공식을 개발하였고, 보정계수 C 값은 고정보에서 16.6, 가동보에서 26.0을 사용하도록 제안하였다.

둘째, 본 연구에서 제안된 공식과 기존의 하상보호공 길이 산정공식을 비교해 본 결과 본 연구에서 제안된 공식에 의하여 산정된 하상보호공 길이가 실험결과와 일치하였다.

셋째, 보 설치에 따른 하상변화를 분석하였으며, 세굴에 대한 영향을 고려하여 하상보호공이 설치된 구간과 산정결과 유량의 증가에 따라 보 직하류부부터 시작되는 세굴심과 최대세굴거리가 증가함을 확인하였다.

본 연구는 가동보 및 고정보가 함께 설치되는 단일 형태의 보를 대상으로 도출된 결과이므로 향후 보의 형태에 따른 다양한 인자를 도출하고, 하상 세굴에 대한 다양한 입경 변화를 통하여 보다 과학적이고 객관적인 결론을 도출할 필요가 있을 것으로 사료된다.

7. 참고 문헌

안상진, 김종섭. 1995. 교각의 크기와 접근각도에 따른 국부세굴심의 실험적 연구. 한국수자원학회 1995년도 학술발표회 논문집. pp 54-58.
 여창건, 김영호, 서근순, 송재우. 2009. 가동보 설

치로 인한 수리학적 영향 분석. 대한토목학회 2009년도 정기학술대회 논문집. pp 1444-1447.
 여홍구, 강준구, 정상화. 2006. 보 하류부 난류유속강도에 대한 실험적 연구. 한국수자원학회 2006년 학술발표회 논문집. pp 1318-1322.
 이강철. 1997. 해상교량 교각기초 주변의 국부세굴 특성. 석사학위논문. 명지대학교.
 최계운, 서병하, 곽한범. 1997. 모형실험을 통한 해상교각 주위에서의 세굴예측. 한국수자원학회 1997년 학술발표회 논문집. pp 102-107.
 한국수자원학회. 2009. 하천설계기준·해설. pp 411-431.
 Bligh, W. G. 1915. Dams and weirs, American Technical Society.
 Bohr, T., Dimon, P. and Putkaradze, V. 1993. Shallow-water approach to the circular hydraulic jump. Journal of Fluid Mechanics. 254. pp 635-648.
 Chanson, H., and Brattberg, T. 2000. Experimental Study of the Air-Water Shear Flow in a Hydraulic Jump. Intl JI of Multiphase Flow. 26(4): 583-607.
 Garcia, M. H. 1993. Hydraulic Jumps in Sediment-Driven Bottom Currents. Journal of Hydraulic Engineering, 119(10): 1094-1117.
 Posey, C. J. and Hsing, P. S. 1938. Hydraulic jump in trapezoidal channels. Engineering News-Record. 121(26): 815-817.

- 논문접수일 : 2011년 10월 14일
- 심사의뢰일 : 2011년 10월 17일
- 심사완료일 : 2011년 12월 26일