韓國水資源學會論文集
第34卷 第6號 · 2001年 12月
pp. 753~761

교각주위 국부세굴 방지를 위한 사석크기 결정 공식

A formula for the Decision of the Riprap Size for the Local Scour Protection around Bridge Piers

최 계 운* / 김 현 태** / 안 경 수**
Choi, Gye-woon / Kim, Hyun-tae / Ahn, Kyoung-Soo

Abstract

In this paper, the experiments to decide the riprap size for the local scour protection at bridge piers and the coefficients of attack angle were conducted. A formula for the decision of the riprap size and a figure for the coefficients of attack angle were suggested based upon the experimental results. The coefficients of attack angle indicate different values based on the variation of the length-width ratio of bridge pier and the coefficients are increased by the increment of the attack angle. In this paper, the experiments using the piers having the opening ratios of 90%, 92.86% and 95% were conducted. Also, the attack angles of 0°, 15° 30°, 45°and 60° as well as four different length-width ratios of the bridge pier were utilized. The suggested formula were compared with 6 different formulas and the riprap sizes calculated using the equation suggested in this paper indicate the similar patterns with the formula suggested by Richardson. The suggested formula in this paper can be widely applied in the riprap design for the local scour protection around the bridge pier with the consideration of the attack angle to the flow.
keywords : local scour, riprap protection, coefficient of attack angle

요 지

본 논문에서는 교각주위에서의 국부세굴 방지를 위한 사석 크기 및 접근각도 영향계수를 결정하기 위한 실험을 실시하였으며, 실험결과에 기초하여 사석크기 결정 공식과 접근각도 영향계수를 제안하였다. 접근각도 영향계수는 교각의 장폭비에 따라 다른 값을 보이며 교각에서의 접근각도가 증가됨에 따라 영향계수가 증가하는 경향을 보인다. 본 연구에서는 90%, 92.86%, 95%의 개도비와 1~4의 장폭비를 가진 교각과 00, 150, 300, 450 및 600의 접근각도에 따른 실험을 실시하여 교각주위에서 국부 세굴 방지를 위한 사석크기를 결정하는 1개의 공식을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 사석보호공의 크기 결정공식을 사용하여 사석을 크기를 산정한 결과와 기존의 6개의 사석보호공 공식을 비교한 결과, 본 공식을 사용한 결과는 Richardson 공식을 이용하여 산정한 사석크기와 비슷한 결과를 나타내었다. 교각설치지점에 대한 흐름의 접근각도 영향계수가 고려된 본 논문에서 제안된 사석보호공 공식은 향후 국내 하천에서의 국부세굴 방지를 위한 사석보호공 설계에 폭넓게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.
핵심용어 : 국부세굴, 사석보호공, 접근각도 영향계수

* 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수
Prof., Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea
(E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr)
** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 공학석사
Master Student, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea
*** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수
Prof., Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea

1. 서 론

오늘날 교통량의 증가 및 도로망의 확충으로 인하여 하천을 횡단하는 교량이 증가하고 있고, 이때 설치되는 교각등으로 인하여 하천의 형태학적인 변화가 일어나며 하천내 수리학 인자들이 변하게 된다. 이와같은 수리학적 인자들의 변화로 인하여 교량의 교각 및 교대 주위에 포설되어있는 하상재료가 전반적 또는 국지적으로 이동하는 이른바 세굴이 발생한다. 세굴은 크게 하상상승과 하상저하, 압력세굴 및 국부세굴로 크게 나뉘며, 교량설치에 따른 세굴은 주로 국부세굴에 크게 영향을 준다.(김기형(1997)) 교량 주위내 국부세굴은 하천내 수심, 유속, 교각의 형상, 설치형태 등에 따라 크게 영향을 받으며 세굴에 대한 적절한 대책이 수립되지 않을 때는 교량붕괴를 초래하여 인명피해 및 재정적인 손실을 가져오며, 붕괴된 교량은 복구기간이 오래 걸려 교통체증 등의 2차적인 문제를 일으키게 된다. 1900년대 들어 교각주위에서의 세굴심도의 예측은 많은 학자들에게 큰 관심이 되어왔다. 최근에는 교각주위 세굴에 대한 세굴심도를 예측하기 위한 연구와 더불어 세굴로 인한 세굴을 방지하기 위한 연구도 다방면으로 진행되고 있다. 교각주위의 국부세굴을 방지하기 위한 공법으로는 기초 케이슨 설치, 작은 말뚝 설치, 사석층 포설, 교각에 평판 부착, 콘크리트블럭의 이용 등이 있다.(안상진 등(1993)) 이와 같은 방법 중에서 경제적이고 시공상의 간편함 등으로 인하여 사석보호공이 가장 많이 사용되고 있으나 국내의 경우 사용빈도에 비하여 사석보호공에 관한 연구는 미흡하여 기존에 외국에서 제안된 경험적 공식들에 의하여 산출된 사석의 크기가 주로 사용되고있는 실정이다. 외국에서 제안된 사석보호공 경험식들을 활용하고자 할 경우 공식이 유도된 조건들이 다르고 공식들마다 지배인자도 다를 뿐 아니라, 교각의 형상들도 다르기 때문에 어느 하나의 공식을 단순히 선정하기에는 많은 어려움이 있다. 또한, 교각의 접근각도가 증가함에 따라 세굴심의 크기도 증가한다고 연구되어 왔으나 사석크기를 결정하는데 있어 이를 반영할 수 있는 공식이 거의 없어서 이에 대한 심도 있는 연구도 필요한 실정이다. 특히 선진국의 경우 사석을 포설하는 경우에는 사석과 모니터링을 함께 사용하도록 매뉴얼에 명시하고 있는바 국내에서도 이에 대한 적극적인 검토가 필요하다. 본 연구에서는 문헌연구를 통하여 기존에 제시된 사석보호공 경험식들을 비교 검토하고 모형수로에서의 실험을 통하여 사석의 안정에 영향을 미치는 흐름접근각도, 교각의 장폭비, 개도비 등 각각의 변수들과 이에 대한 민감도분석을 실시하여 이들 관계에 의해서 접근각도 영향계수와 사석크기를 결정할 수 있는 공식을 도출하는데 있다.(안창진(1994), 안상진 등(1997))

2. 기존 사석보호공 공식의 비교 및 검토

기존의 사석보호공에 관한 연구를 살펴보면 교각 주위 사석보호공 설계식의 대부분은 구조물이 없는 하상에서의 사석크기를 결정하는 Isbash(1935)의 공식을 변형한 형태이다.(최계운(1995)) Isbash의 연구를 기초로 하여 유도된 설계식은 Carstens(1966), Neill (1967), Breusers 등(1977) 및 Richardson 등(1995)이 제안한 식들로서 주로 Isbash식의 계수만을 조정하여 유도된 식들이다. Quazi 와 Peterson 등(1973)은 Isbash의 연구결과에 접근수심의 영향을 추가시켰으며, Parola(1993)는 상세한 실험결과를 이용하여 교각폭의 영향을 설계식에 반영하였다. Chiew(1995)는 국부세굴의 공식에 기초하여 사석보호공 공식에 수심 및 교각폭의 영향을 동시에 고려하였다. Bonasoundas(1973)는 유속만으로 사석의 크기를 결정하는 공식을 제안하였으며, Croad(1997)는 교각의 형태, 하상재료의 중앙입경, 유속, 수심을 고려한 공식을 제안하였다. Lauchlan (1999)는 수심, 프르드수, 사석의 포설 두께 등을 고려한 사석크기 설계식을 제안하였다. 국내연구는 윤 등 (1996,1998)에 의하여 접근수심, 접근유속, 사석포설폭, 교각폭을 고려한 공식을 제안하였다.

기존에 제안된 사석보호공 공식들을 비교할 때 Fr수와 수심변화에 따른 사석크기에 공식에 따라 크게 차이가 나고 있다. 따라서 기존에 제안된 많은 사석보호공에 관한 공식들은 공식이 유도된 조건에 따라 상당한 다른 결과를 나타낼 것이지만, 실제 적용에 있어서는 공식이 유도된 조건을 감안하지 않고 단순한 적용을 하고 있어 적용공식에 따른 적용결과에 큰 차이를 보이고 있다. 특히, 국내의 연구는 교각주위 국부세굴을 방지하기 위한 국내 공식의 개발에 대한 연구가 그다지 폭넓게 진행되지 못하여 본 연구에서는 수로에서의 실험을 통하여 교각의 장폭비 변화와 접근각도변화에 따른 사석보호공의 크기를 산출할 수 있는 영향계수와 개도비에 따른 사석보호공의 크기를 산출하는 공식에 대하여 검토하였다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

교각주위에서의 국부세굴 방지를 위한 사석보호공 크기결정을 위한 모형 실험장치는 그림 1과 같이 수로 길이 18m, 수로 폭 70cm, 수로 높이 80cm의 개수로 장치를 이용하였다.

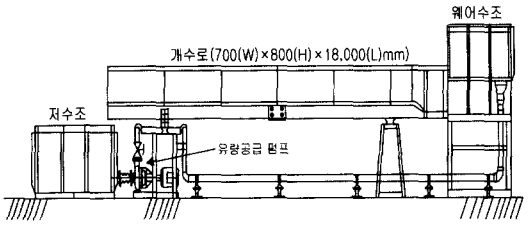


그림 1. 실험개수로의 개략도

그림 1은 개수로장치의 개략도를 나타낸 것으로 양 측벽면이 유리로 되어 있어 흐름 및 세굴양상을 관찰할 수 있고, 펌프를 이용하여 저수조로부터 웨어수조로 물을 공급하고 재순환 시킬 수 있도록 되어있다. 개수로의 하도 경사는 0~1/50까지 경사를 조절할 수 있으며, 유량조절 밸브를 이용하여 유량을 조절할 수 있으며, 상류측 웨어와 하류측 개수로장치 사이에는 스크린이 설치되어 있어 흐름을 정류상태로 유지시키며, 웨어수조의 삼각웨어 및 사각웨어에 의하여 유량을 측정할 수 있다. 실험에 사용된 모형교각은 투명아크릴로 제작하였으며, 그림 2와 같은 교각 폭을 각각 3.5cm, 5.0cm, 7.0cm로 제작하였다. 교각의 모양은 국내에서 많이 볼 수 있는 교각으로 반원형으로 제작하였으며, 교각폭이 작은 경우에는 원형을 갖추고 있다. 교각의 폭(b)과 길이(L)의 비인 장폭비(L/b)는 1, 2, 3, 4배가 되도록하여 실험현장에서의 조립 및 분리가 가능하도록 제작하였다.

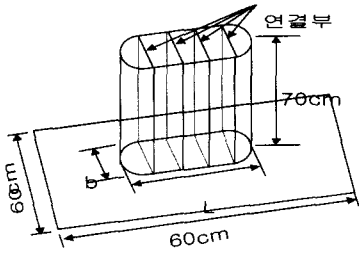


그림 2. 모형교각

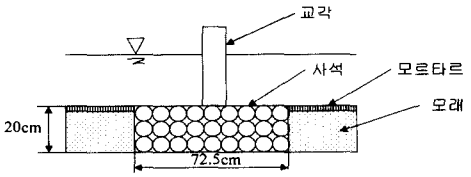


그림 3. 교각 및 사석의 포설 단면

유속측정은 3차원 유속계를 이용하여 측정하였으며, 유속계의 측정으로 인한 교각주위의 와류 발생을 방지하기 위하여 교각 전면 1m지점에서 흐름방향의 유속을 측정하였다. 실험에 사용된 사석은 잡석을 일정 크기로 체분석하여 사용하였으며, 사용된 사석의 중앙입경은 각각 1.15mm, 1.75mm, 2.91mm, 3.40mm, 4.65mm로, 표 1은 실험에 사용된 사석의 제원을 나타내고 있다.

표 1. 실험에 사용된 사석의 크기

사석의 크기(mm)			비 고
최소입경	최대입경	중앙입경	
0.84	1.45	1.15	사석은 잡석으로 모난 입자
1.45	2.04	1.75	
2.04	3.78	2.91	
3.02	3.78	3.40	
3.78	5.51	4.65	

3.2 실험방법

본 실험에 앞서 모형수로의 중앙부 72.5cm를 제외한 수로의 전체 부분에 걸쳐 잔모래를 포설 한 후 모래의 위 부분을 모르타르로 마감하여 약 20cm의 두께가 되도록 하였다. 정적세굴실험을 실시하기 위하여 하상의 표면을 모르타르로 마감하였기 때문에 본래 하상입자의 조도계수와는 차이가 있어, 하상입자의 조도와 같게 하기 위하여 모르타르 마감 전에 모형수로의 경사 및 수심변화를 통하여 조도계수의 크기를 결정한 후 모르타르로 마무리하기 전에 조도계수를 조절하기 위해서 굵은 모래 입자를 모르타르 표면에 부착하였다.

모르타르 마감 후 교각을 수로 중앙에 위치시킨 후 그림 3과 같이 흐름방향 길이 72.5cm, 폭 70cm로 사석을 포설하였다.

유량조절밸브를 천천히 열어 교각주위의 국부세굴로 인하여 사석이 2~3개 떠내려가는 시점을 한계상태라 정의하고 그 때의 유속 및 수심을 측정하였다. 이때 유량조절 밸브를 조금씩 천천히 개폐하여 부정류의 영향

으로 인한 사석이 떠내려가는 것을 방지하였다.

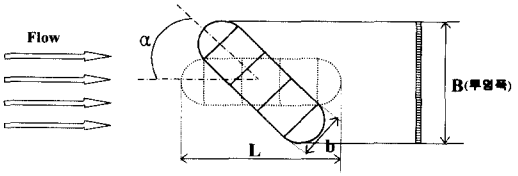


그림 4. 교각에서의 흐름접근각도

실험은 하나의 사석을 수로 중앙에 포설하고 각각의 교각폭에 대해 그림 4와 같이 교각의 장폭비 및 흐름접근각도(α)를 변화해가며 실험을 실시하였다.

실험결과에 대한 정리를 위하여, 사석이 떠내려가는 시점의 한계유속 및 이때의 수심을 측정하였으며, 사석의 크기를 표 1과 같이 바꾸어가며 교각의 폭, 흐름접근 각도, 장폭비의 변화에 따른 실험을 실시하였다.

4. 실험결과에 대한 분석

4.1 접근각도 영향계수의 산정

교각의 장폭비에 따른 접근각도의 영향을 고려하기 위하여 실험결과의 무차원화와 차원해석을 실시하였다. 흐름에 대한 교각의 접근각도별 교각의 장폭비에 따른 교각폭에 무차원화된 수심과 접근각도별 교각의 장폭비에 따른 Frb(교각 Fr 수)가 사석크기에 민감하게 나타나 수심과 Frb가 한계 사석크기를 결정하는데 있어 크게 영향을 미치는 것으로 판단되어 교각의 접근각도와 교각의 장폭비에 따라 차원해석을 실시하여 사석크기를 결정할 수 있는 한계사석크기 결정식을 도출하였다. 이 도출된 사석크기 결정식에 의해 접근각도 영향계수를 산정하기 위하여 교각의 장폭비별 흐름 접근각도에 따른 사석의 크기를 흐름 접근각도 0°에 대한 각각의 흐름 접근각도별 사석의 크기의 비로 나타내면 표 2와 같다.

표 2. 교각의 장폭비별 흐름접근각도에 따른 접근각도 영향계수

장폭비 / 접근각도	L/b=2	L/b=3	L/b=4
0°	1.00	1.00	1.00
15°	1.02	1.08	1.12
30°	1.05	1.14	1.25
45°	1.11	1.23	1.38
60°	1.15	1.29	1.47

표 2에서 교각의 장폭비가 4일 때 접근각도 0°, 15°, 30°, 45°, 60°로 증가하면 접근각도 영향계수는 1.00, 1.12, 1.25, 1.38, 1.47로 크게 증가하는 것으로 나타나 흐름 접근각도가 60°이고 교각의 장폭비가 4인 경우 접근각도를 고려하지 않았을 때 보다 보호공에 필요한 사석크기가 47% 증가되어야 함을 나타낸다. 흐름에 대한 교각의 접근각도가 60°인 경우 교각의 장폭비가 2, 3, 4로 증가하면 접근각도 영향계수는 1.15, 1.29, 1.47로 크게 증가하는 것으로 나타나 접근각도 영향계수는 교각의 장폭비에 따라 민감하게 작용하는 것을 보이며, 사석크기를 산정하기 위하여 접근각도 영향계수를 적용할 경우 이보다 정확한 값을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 5는 표 2에서의 결과를 교각의 장폭비에 따른 접근각도와 접근각도 영향계수의 관계를 도시하고 회귀분석한 결과를 나타낸 것이다.

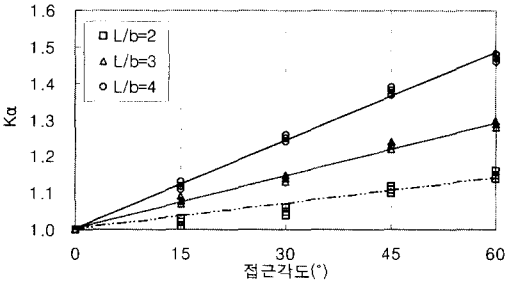


그림 5. 장폭비별 접근각도에 따른 접근각도 영향계수(Kα)

그림 5와 같이 교각의 장폭비에 따른 접근각도와 접근각도 영향계수의 관계를 회귀분석한 결과 교각의 장폭비와 접근각도가 증가하면 접근각도 영향계수도 선형으로 증가하는 것으로 나타났다. 이 도표를 이용하여 교각의 장폭비와 접근각도의 증가에 따른 접근각도 영향계수를 산출하고 사석보호공 공식에 적용할 수 있다.

4.2 사석보호공 크기결정 공식

교각주위의 국부세굴 방지를 위한 사석보호공 크기를 결정하는 공식을 도출하기 위하여 민감도 분석을 통하여 접근수심, 접근유속, 교각폭 등이 사석크기에 영향을 미치는 주요 인자라는 사실을 알아냈으며, 이 영향인자에 대한 차원해석을 실시하여 공식을 도출하였다.

그림 6은 사석보호공 공식을 도출하기 위해 개도비의 변화에 따른 수심, 유속, 교각폭과 사석의 관계를 나

타내고 있다.

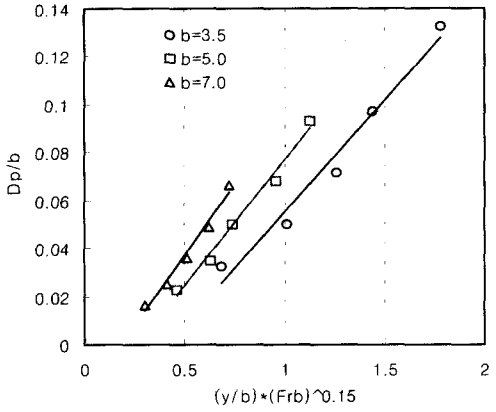


그림 6. 공식 도출을 위한 교각별 사석크기의 관계

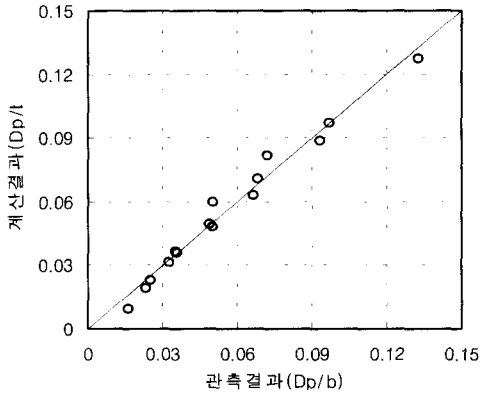


그림 7. 실험결과와 공식에 의한 결과의 비교

한계사석 크기를 결정하기 위한 공식은 그림 6의 결과를 회귀분석하여 하나의 공식으로 표현하였으며 이는 식 (1)과 같다.

$$\frac{D_p}{b} = \left(0.140 - \frac{K_0}{1.29}\right) \times \frac{y}{b} \times Fr_b^{0.15} - 0.029, \quad K_0 = \text{개도비} - 0.9286 \tag{1}$$

식 (1)에서 Dp, b, y 는 각각 사석의 직경, 교각의 폭, 수심을 나타내며, Fr_b는 교각폭을 이용한 교각 프르드수를 나타낸다. 식(1)에 의해 계산된 사석크기와 실험결과와 비교하면 그림 7과 같다. 그림 7에서 보는 바와 같이 제시된 사석보호공 공식에 의해 계산된 사석크기가 실험결과와 거의 차이가 없어 사석보호공 공식이 실험결과를 잘 반영하고 있는 것으로 나타났으며, 안전율을 고려하여 실무에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

4.3 도출된 사석보호공 공식의 현장 적용

본 연구에서 도출한 사석보호공 한계 직경 결정식과 기존에 제안된 공식과 비교, 검토하기 위하여 그동안 세굴크기 또는 사석크기 산정을 위하여 사용된 실제 하천에 대하여 적용을 하였다. 본 식에 서는 $\frac{D_p}{b}$ 가 0.14 이하인 경우를 대상으로 기존 공식과 비교하였으며 이때의 개도비는 실험실 결과의 한계인 90%이상으로 한정하였다. 표 3은 본 논문에서 제안된 공식과의 비교를 위해 사용된 기존공식을 정리한 것이다. 공식을 적용함에 있어 사석의 비중은 2.65를 사용하였다.

그림 8은 본 연구에서 도출된 한계 사석크기 결정식에 의해서 얻은 결과와 기존의 사석보호공 공식인 Richardson식, Neill식, Quazi & Peterson식, Breusers and Raudkivi식, Chiew식, Parola식에 의해 얻은 결과를 비교한 것이다.

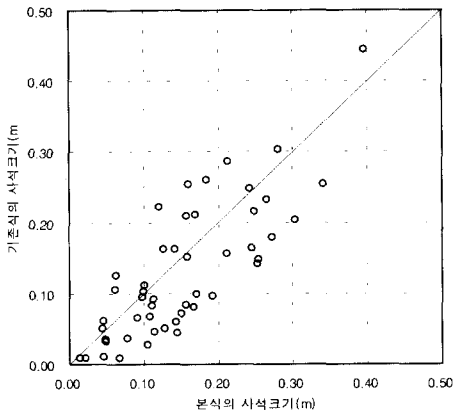
기존의 공식에서 산정된 사석크기와 본 연구에서 도출한 사석크기 결정식에 의해 산정한 사석크기와의 비교결과 Parola식은 본 연구에서 산정된 사석크기보다 매우 크게 나타났으며, Neil식, Breusers & Raudkivi식, Chiew식은 본 연구에서 산정된 사석크기보다 매우 작게 나타났고, Quazi & Peterson식은 본 연구에서 산정한 사석크기보다 비교적 작게 나타났으며 Richardson식은 본 식에 의한 사석크기와 비슷하게 나타났다.

사용된 하천내 교량에 대해서 각각의 교각별로 Richardson식, Neill식, Quazi & Peterson식, Breusers and Raudkivi식, Chiew식, Parola식과 본 연구식에서 산정된 사석크기 비는 각각 0.897, 0.287, 0.621, 0.131, 0.093, 3.080으로 나타나 Parola식에 의해서 산정된 사석크기는 본 연구에서 산정된 사석크기의 3.08배로 가장 크게 산정되었으며, Cheiw식에 의해서 산정된 사석크기는 0.093배로 가장 작게 산정되었다.

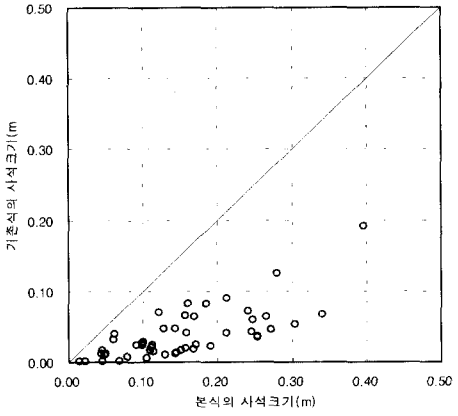
실험에 사용된 하천내 교량에서 본 연구식과 기존에 제안된 사석보호공 공식에 의해 사석크기를 비교하는데 있어 흐름접근각도를 고려하지 않고 산정하였으며, 본 연구에서 산정한 접근각도 영향계수를 고려하여 사석크기를 산정하고 안전율을 적용하므로써 설계에 보다 확실하게 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3. 본 논문에서 제안된 사석크기 결정 공식과의 비교에 사용된 기존 공식

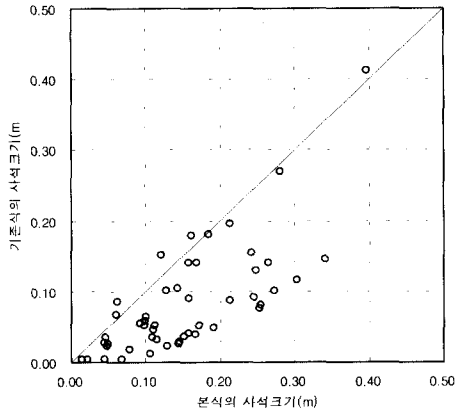
구 분	공식(Equation)	기호(Symbol)
Richardson (1995)	$\frac{d_{r50}}{y} = \frac{0.346 f_1^{\,2} f_2^{\,2}}{(S_s-1)} Fr^2$	f_1 = factor for pier shape f_1 = 1.5(round-nose), 1.7(rectangular) f_2 = factor ranging form 0.9 for a pier near the bank in a straight reach to 1.7 for a pier in the main current at a bend
Neill (1967)	$\frac{d_{r50}}{y} = \frac{0.32}{(S_s-1)^{1.25}} Fr^{2.5}$	
Quazi & Peterson (1973)	$\frac{d_{r50}}{y} = \frac{0.85}{(S_s-1)^{1.25}} Fr^{2.5}$	
Breusers & Raudkivi (1991)	$\frac{d_{r50}}{y} = \frac{0.278}{(S_s-1)^{1.5}} Fr^3$	
Chiew (1995)	$D_{50} = \frac{V_o^3}{10.47\sqrt{y_o}}$ $\frac{d_{r50}}{y} = \frac{0.168}{(S_s-1)^{1.5} U_*^{\,3}} Fr^3$ $U_* = \frac{0.3}{K_d K_y}$	$K_y = 0.783 \left(\frac{y}{b}\right)^{0.322} - 0.106 \quad 0 \le \left(\frac{y}{b}\right) \le 3$ $K_y = 1 \quad \left(\frac{y}{b}\right) \ge 3$ $K_d = 0.398 \ln\left(\frac{b}{d_{r50}}\right) - 0.034[\ln\left(\frac{b}{d_{r50}}\right)]^2$ $1 \le \left(\frac{b}{d_{r50}}\right) \le 50$ $K_d = 1 \quad \left(\frac{b}{d_{r50}}\right) \ge 50$ K_y = flow depth factor K_d = sediment size factor
Palora (1993, 1995)	$\frac{d_{r50}}{y} = \frac{f_1 f_3}{(S_s-1)} Fr^2$	b_p = projected width of pier f_1 = pier shape factor; f_1 = 1.0 (rectangular), 0.71(round-nose if aligned) f_3 = pier size factor = f(bp /dr50): $f_3 = 0.83 \quad 4 < \frac{b_p}{d_{r50}} < 7$ $f_3 = 1.0 \quad 7 < \frac{b_p}{d_{r50}} < 14$ $f_3 = 1.25 \quad 20 < \frac{b_p}{d_{r50}} < 33$



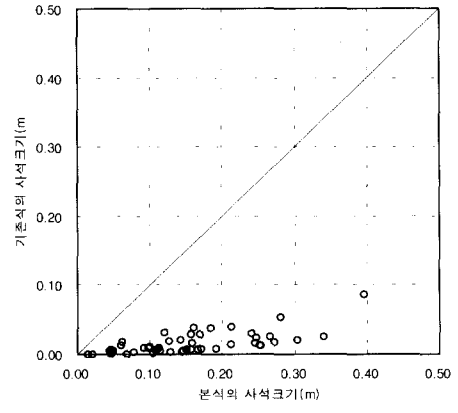
(a) Richardson



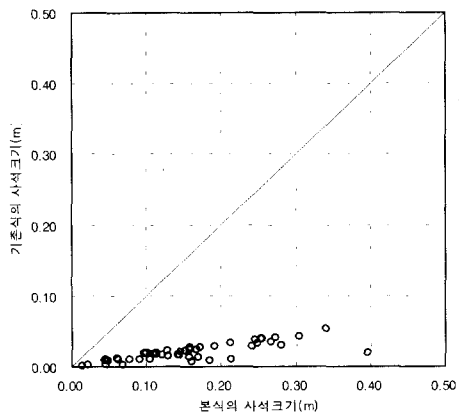
(b) Neil



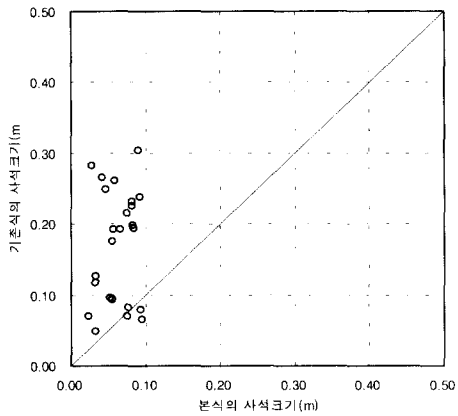
(c) Quazi & Peterson



(d) Breusers & Raudkivi



(e) Chiew



(f) Parola

그림 8. 기존공식과 본 공식에 의한 사석 크기의 비교

5. 결 론

본 논문은 하천내 교량 설치시 국부세굴로부터 하상을 보호하기 위하여 필요한 사석보호공의 크기 결정을 위한 실험논문으로서, 길이 18m의 실험수로에서 90%~95%의 개도비를 가진 3개의 교각을 설치하여 수심, 교각 Fr 수, 개도비, 흐름의 접근각도에 대한 실험을 실시하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째로, 하천내 교각의 설치방향과 흐름이 00, 150, 300, 450 및 600의 접근각도를 가진 상태에서 교각의 길이와 폭의 비가 1~4까지의 4종류의 교각을 설치하여 실험을 실시하여 흐름의 접근각도에 따라 사석의 크기를 증가시키는 영향계수를 제안하였다. 제안된 영향계수는 교각의 길이와 폭의 비에 따라 1개의 그림으로 제안되었다.

둘째로, 교각주위내 국부세굴 방지를 위한 사석크기 결정을 위한 공식을 개도비에 따라 적용이 가능한 공식으로 제안하였으며, 사석의 크기는 수심과 교각의 폭의 비(y/b), 교각 Fr 수(Frb)의 함수로 표시되었다.

셋째로, 본 논문에서 제안된 국부세굴 방지용 사석보호공 크기 결정 공식과 기존에 사용되고 있는 6개 공식을 50개 교량에 대하여 비교한 결과 Richardson (1993) 공식과 본 식에 의한 사석크기는 유사하게 나타났으며 Quazi & Peterson(1976)의 공식은 본 공식보다 다소 작게 산정하였다. Parola(1993, 1995)공식은 본 식에 비해 사석보호공을 지나치게 크게 산정하였고, Neill(1967), Breusers & Raudkivi(1991), Chiew (1995) 공식은 사석보호공을 지나치게 작게 산정하고 있어 사용에 매우 신중하게 사용하는 것이 바람직하다. 또한 이들 공식에서는 교각에 대한 흐름의 접근각도를 고려치 않고 있어 본 논문에서 제안된 접근각도 영향계수를 적용하는 것이 사석의 안정성을 향상시킬 수 있다.

넷째로, 국내의 하천내 개도비가 90%~95%의 원형 또는 반원형 교각이 설치되는 경우 본 논문에서 제안된 사석보호공의 크기 결정공식을 활용하여 교각의 세굴방지를 위한 사석보호공의 크기를 결정하는 것이 바람직하다. 그밖의 교각에 대하여는 향후 실험을 통한 추가 연구결과가 제시될 예정이다.

참 고 문 헌

김기형 (1997) **점착성 하상재료를 가진 수로내 교각 형상에 따른 국부세굴변화**, 사학위논문, 인천대학교.

안창진 (1994) **반원형교각에서 국부세굴에 대한 접근각도의 영향**, 석사학위논문, 충북대학교.

안상진, 김웅용 (1997) "교각의 크기와 접근각도에 따른 국부세굴의 실험적 연구," **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제17권, 제II-1호, pp.45-53.

안상진, 최계운, 김종섭, 안창진 (1993) "교각주위에서 세굴심도 영향인자의 민감도에 대한 실험적 연구," **제 35회 수공학연구발표회 논문집**, 한국수문학회, pp.81-88.

윤태훈, 윤성범, 윤광석 (1996) "교각 세굴 사석보호공의 기존 설계식의 비교 해석," **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제16권, 제II-5호, pp.411-420.

윤태훈, 윤성범, 오철승 (1998) "원형교각 세굴방지공의 사석직경결정식," **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제18권, 제II-1호, pp.13-22.

최계운 (1995) "하천구조물 설치에 따른 세굴발생과 최근 연구동향," **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제28권, 제6호, pp.22-27.

Bonasoundas, M. (1973) "Flow Structure and Problems at Circular Bridge Piers," Report No.28, Oskar V. Miller Inst., Munich Tech. Univ. Munich, West Germany.

Carstens M.R. (1966) "Similarity Laws for Localized Scour," *Journal of Hydraulics Division,* ASCE, Vol.92 No. HY3 p13-37.

Chiew, Y.M., Lim, F.H. (2000), "Failure behavior of riprap Layer at bridge piers under live-bed conditions," *Journal of Hydraulic Engineering*, A.S.C.E., 126(1), pp.43-55.

Chiew, Y.M. (1992) "Scour Protection at Bridge Piers," *Journal of Hydraulics Engineering,* ASCE, Vol.118, No. HY9, pp.1260-1269.

Chiew, Y.M. (1995) "Mechanics of Riprap Failure at Bridge Piers," *Journal of Hydraulics Engineering,* ASCE, Vol.121, No. HY9, pp.635-643.

Federal Highway Administration (1993) Evaluating Scour at Bridge, Hydraulic Engineering Circular(HEC) No.18, Washington, D.C.

Isbash, S.V. (1935) "Construction of Dams by Dumping Stones in Flowing Water," W.S. Army Engrg. District, Eastport, Maine.

Melville, B.W. "Bridge Scour," Water Resources Publications, LLC., pp.329, pp.353-354.

Neill, C.R.(1967) "Mean velocity criterion for scour of coarse uniform bed material," 12th IAHR Congress, Fort Collins, Colorado, U.S.A., Proc. Vol. 3, C6.1-C6.9.

Parola, A.C. (1993) "Stability of Riprap at Bridge

Piers," *Journal of Hydraulics Engineering,* ASCE, Vol.119, No. HY10, pp.1080-1093.

Parola, A.C. (1995) "Boundary stress and stability of riprap ar bridge piers," in River, Coastal and Shoreline Protection: Erosion Control Using Riprap and Armourstone, edited by C.R. Thorne, et al., John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A.

Quazi, M.E., Peterson, A.W. (1973) "A Method for Bridge Pier Riprap Design," Proc. First Canadian Hydraulics Conf., Univ. of Alberta, Edmonton, Canada, pp.96-106.

Richardson, E.V. and Davis, S.R. (1995) "Evaluating scour at bridges," Report No. FHWA-IP 90-017, Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC-18), Third Edition, Office of Technology Applications, HTA-22, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., U.S.A., November, 204pp.

(논문번호:01-067/접수:2001.09.07/심사완료:2001.12.06)