

# 교각의 크기와 접근각도에 따른 국부세굴심의 실험적 연구(II)

안상진\* · 김용용\*\* · 이재경\*\*\* · 황보연\*\*\*\*

## 1. 서 론

자연하천에서 국부세굴을 적게하기 위해서는 교각의 설치를 흐름의 방향과 나란하게 배열하는 것이다. 그러나 현실적으로는 그렇지 못한 경우가 많다. 즉, 건설당시에는 흐름의 방향과 일치하게 교각이 건설되었다 하더라도 건설 이후 하상정리로 인하여 흐름의 방향이 달라져 중심수로가 변경되므로 흐름의 각도가 바뀌게 되는 경우가 있다. 또한 최근에는 도로교통량의 증가로 이미 건설된 도로를 확폭하는 경우가 많아져 하천내에 교량을 추가로 설치하게 됨에 따라 하천의 폭을 감소시키게 하는 경우도 발생하고 있다.

하폭의 변화에 따라 개도비(Opening ratio)에 의한 세굴의 영향은 교각의 설치에 따른 하천폭의 감소정도를 나타내게 되며, 따라서 개도비의 감소는 하천폭이 감소하게 되어, 유속 및 수심 등을 변화시키게 되므로 세굴심에 직접적인 영향을 미치는 중요한 인자가 된다. 또한 같은 개도비를 가진 교각이라도 흐름방향과 각도를 이루고 있는 교각과 흐름방향과 일치한 교각과의 사이에서는 세굴심의 영향도 달라지게 된다. 이와같이 개도비와 접근각도의 영향은 이미 건설된 교각의 세굴에 대한 안전성 검토에 매우 중요한 문제를 일으킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 반원형 교각에 대해 교각의 접근각도 및 교각의 크기에 따른 국부세굴심의 영향을 살펴보고 동일한 개도비를 가지면서 교각의 크기 및 접근각도가 다를 때의 국부세굴심의 영향을 실험을 통해 알아보는데 있다.

## 2. 접근각도에 및 개도비에 의한 국부세굴

### 2.1 접근각도의 개념

접근각도에 의한 변화를 나타내는 방법으로는 지금까지 접근각도계수  $K_a$ 를 이용<sup>1)</sup>하여 왔으며,  $K_a$ 는 교각의 폭(b)에 기초한 교각 Reynolds수  $R_{ob}$ 와 교각의 투영폭(B)에 기초한 교각 Reynolds수  $R_{eB}$ 의 비  $R_{eB}/R_{ob}$ 로 나타낼수 있으며 이를 식으로 표시하면 식(2.1)과 같다. 또한 반원형교각에 대한  $K_a$ 는 식(2.2)와 같다.<sup>6,7,8)</sup>

$$K_a = \frac{R_{eB}}{R_{ob}} = \frac{B}{b} \quad (2.1)$$

$$K_a = \frac{(L-b)}{b} \sin \alpha + 1 \quad (2.2)$$

\* 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수  
\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사수료  
\*\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

그러나 접근각보정계수  $K_a$ 는 수심, 하상재료의 크기 및 균등성에 대해서도 명백히 변화한다고 하였으며<sup>2)</sup>, 흐름의 접근각도와 교각형상비  $L/b$ 에 의해서만 영향을 받는 독립적인 상수가 아니며 국부세굴심에 영향을 주는 다른 인자인 수심, 하상경사에 대해서도 변화가 있는 것으로 나타났다.<sup>1,3)</sup>

## 2.2 개도비의 개념

개도비는 교각설치에 따른 하천폭의 감소 정도를 나타낼수 있는 통수단면감소 정도를 대표하는 것으로 개도비가 100%일 경우는 하천폭의 감소가 전혀 없는 상태이고 개도비가 0%인 경우는 하천폭이 완전히 차단되어 있는 상태이다. 따라서 하천폭의 증감은 유속 및 수심 등을 변화시키게 되므로 세굴심도에 영향을 미치는 중요한 인자가 된다.

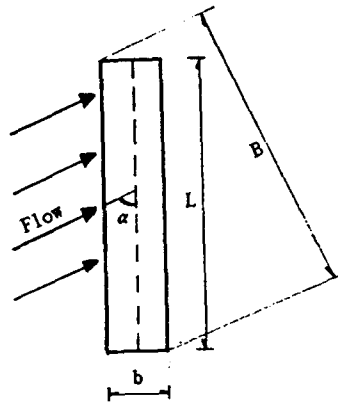


Fig. 1. The projected width at angle of attack(B)

## 2.3 교각의 크기와 개도비

교각폭은 세굴심도에 직접적인 영향을 미친다. 교각의 폭이 증가함에 따라 하천의 유속은 빨라지게 되며 결국 세굴심을 증가시킨다<sup>3,5)</sup>. 일반적으로 교각의 길이는 흐름의 방향과 일치하면 세굴심에는 큰 영향을 미치지 않지만 교각의 흐름의 방향과 각을 이루고 있다면 개도비가 작아지게 되어 세굴심에 큰 영향을 미치게 된다<sup>4)</sup>. 개도비는 교각의 설치에 따른 하천폭이 감소하는 정도를 나타내는 것을 의미하며 하천폭의 감소는 유속 및 수심 등을 변화시키게 되므로 세굴심에 영향을 미치는 중요한 인자라고 할 수 있다.

## 3. 모형수로내 교각설치 및 실험방법

본 연구에서 실험을 위한 실험장치는 수로길이 12m, 수로폭 40cm, 수로높이 40cm의 개수로장치를 이용하였다. 수심의 측정장치는 Vernier형의 Point gage를 이용하였으며 유속장치는 소형 magnetic 유속계를 사용하였으며 프로펠러형으로 회전수를 측정하고 이를 유속환산공식에 대입하여 유속을 계산하도록 되어있다.

실험에 사용된 교각의 모형은 각각 크기가 다른 반원형교각을 사용하였으며 교각의 제원은 Table 1과 같다. 수로바닥재료에 사용된 모래의 평균입경( $d_{50}$ )은 0.8mm, 기하표준편차( $\sigma_g$ )는 1.95이며, 불균등 모래를 사용하였으며 비중은 2.58<sup>6)</sup>이었다. Fig. 2는 채취된 모래의 채가름 분석결과를 나타내 주고 있다.

Table 1 The pier factors used for experiment

Opening Ratio (%)	Pier Length(L) (cm)	Pier width(b) (cm)	Shape factor Ratio (L/b)	Remarks
90.0	10.5	4.0	2.625	
92.5	8.0	3.0	2.667	
93.8	6.75	2.5	2.700	
95.0	5.5	2.0	2.750	
97.5	2.5	1.0	2.500	

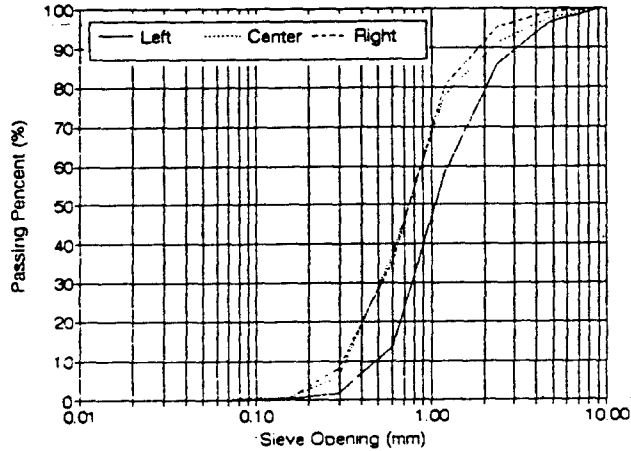


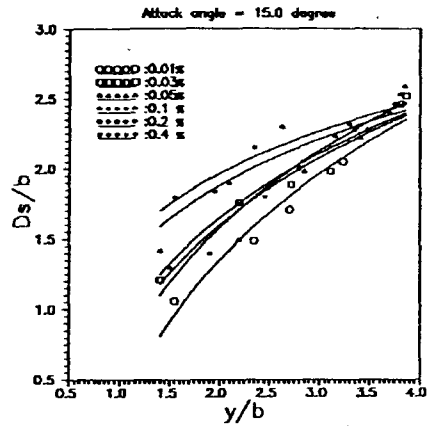
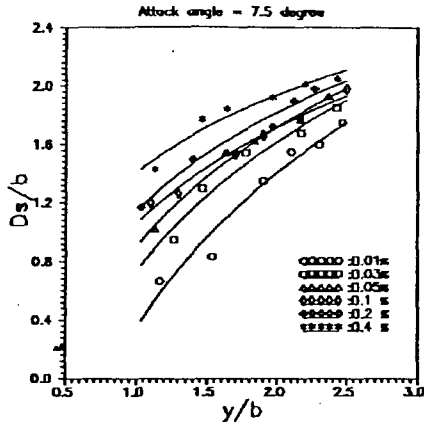
Fig. 2. Result of Sieve Analysis of Sand Used for Experiment

실험은 한 접근각도에 대해 각각의 교각 크기별 하상경사 및 수심을 증가시키면서 실시하였다. 하상경사는 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.1%, 0.2%, 및 0.4%까지 변형시키면서 수행되었고, 접근각도는 0°, 7.5°, 15°, 30°, 60° 까지 실시하였다. 또한 개도비와 접근각의 영향을 알아보기 위하여 흐름방향과 나란할 때 교각의 개도비가 90%, 92.5%, 및 95%가 되는 세가지 크기의 교각을 접근각을 변형시켜 동일개도비(이때의 접근각도는 0°, 11°, 및 35°)가 되도록하여 실험을 수행하였다. 실험결과 분석에 이용된 실험자료는 이동상세굴(Live-bed scour) 조건의 것이 사용되었다.

#### 4. 실험결과 분석

##### 4.1 동일한 접근각도에서 하상경사에 의한 세굴심의 변화

동일한 접근각도에서 하상경사에 의한 세굴심의 변화를 분석하기 위해 하상경사가 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.1%, 0.2% 및 0.4% 일때의 최대세굴심을 비교하였다. Fig.3의 (a) 및 (b)는 각각 개도비가 95% 및 90%, 접근각도 15°의 동일한 접근각도에서 하상경사의 변화에 따른 세굴심의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 동일한 접근각도에서는 하상경사가 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.1%, 0.2% 및 0.4%로 증가함에 따라 최대세굴심도 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 하상경사가 커질수록 접근각도에 의한 최대세굴심의 증가폭은 둔화되는 것으로 나타났다.



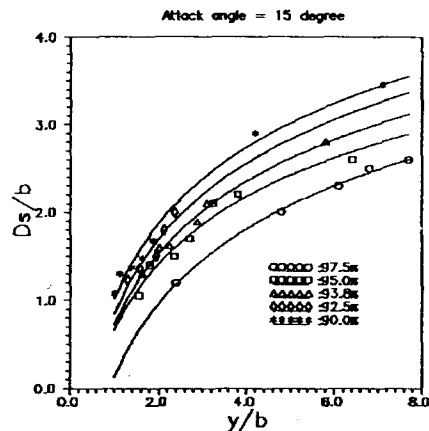
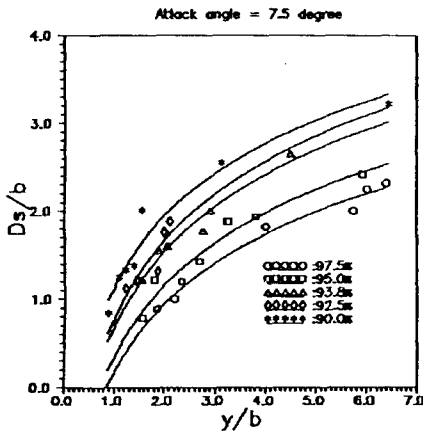
(a) Angle of attack 15°, opening ratio 95%

(b) Angle of attack 15°, opening ratio 90%

Fig. 3. Relationship of maximum scour depth with same flume slope

#### 4.2 동일한 접근각도에서 교각크기에 의한 세굴심의 변화

Fig. 4의 (a) 및 (b)는 교각의 접근각도가 각각 15° 및 30°를 가지고, 동일한 하상경사에서 교각의 크기별 세굴심의 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보는바와 같이 동일한 접근각도에서는 교각의 개도비가 97.5%, 95.0%, 93.8%, 92.5%, 및 90.0%로 증가함에 따라 최대세굴심도 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 접근각이 클수록 최대세굴심의 변화폭이 커지는 것으로 나타났다.



(a) Angle of attack 15°, flume slope 0.03%

(b) Angle of attack 30°, flume slope 0.05%

Fig. 4. Relationship of maximum scour depth with same opening ratio

#### 4.3 동일한 개도비에서 교각의 크기와 하상경사에 의한 세굴심의 변화

크기가 각각 다른 세 개의 교각에 대한 접근각도를 변화시켜 동일한 개도비를 가지게 한 후 세굴심의 영향을 비교하였다. 이때 동일 개도비는 교각의 크기가 큰 순서대로 접근각도가 각각 0°, 11° 및 35°였다. Fig.5의 (a), (b) 및 (c)는 교각의 크기가 다르고 동일한 개도비에서 하상변화에 따른 국부세굴심의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 동일한 개도비에서는 접근각도가 증가할수록 최대세굴심도 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 수심의 증가에 따라 그

증가폭은 점차 둔화하는 것으로 나타났다. 이는 교각의 접근각에 따른 최대세굴심의 영향이 단면의 크기에 따른 변화보다 크다는 것을 나타내 주고 있다.

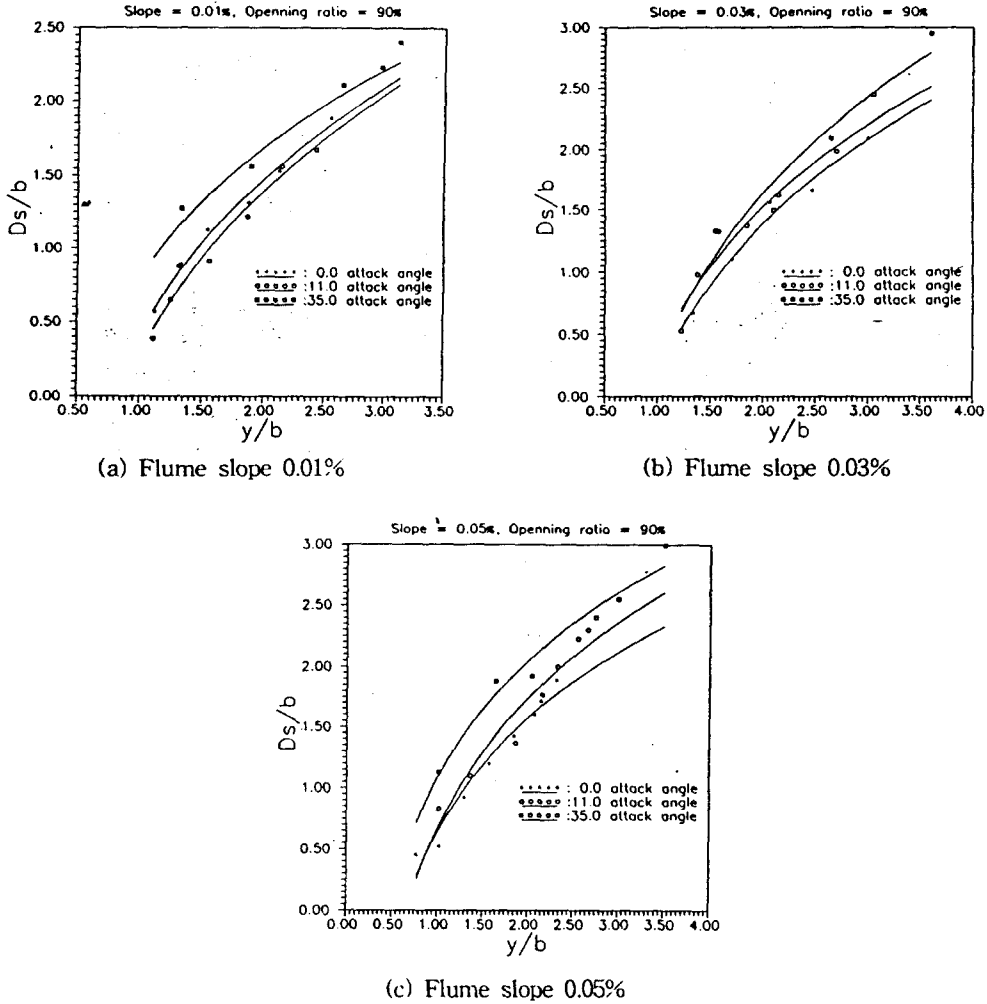


Fig. 5. Variation of maximum scour depth for various pier size with same opening ratio

## 5. 결론

본 연구는 하천에 교량을 설치할때 반원형교각의 접근각도 및 크기 변화에 국부세굴심의 영향을 예측하기 위한 실험적 연구로서 흐름의 방향이 교각과 어떤 접근각도를 이룰때 수심 및 하상 경사의 변화에 따른 유속의 변화를 고려한 최대세굴심의 영향을 비교 분석하였으며, 또한 교각의 크기에 따른 단면수축비에 의한 최대세굴심의 영향과, 접근각의 변화에 의해서 같은 개도비를 가지는 크기가 다른 세가지 교각에 대한 국부세굴심에 대한 비교 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 동일한 접근각도에서 하상경사가 증가할수록 최대세굴심은 증가하였으나 증가율은 둔화되는 것으로 나타났으며 수심의 증가에 따라 완경사에 비해 경사가 커질수록 경사별 최대세굴심의 증가폭은 점차 작아지는 것으로 나타났다.
2. 동일한 하상경사에서 접근각도가 증가함에 따라 최대세굴심도 증가하나 증가율은 점차 둔화되는 것으로 나타났으며, 개도비의 영향은 수심이 증가에 따라 교각의 크기가 커질수록 최대세굴심의 증가폭은 점차 커지는 것으로 나타났다.
3. 교각의 접근각도를 변형시켜 동일한 개도비를 가지게 한 크기가 다른 세가지 교각에 대한 최대세굴심의 영향을 분석해 본 결과 교각의 크기는 작지만 큰 접근각을 가진 교각이 크지만 작은 접근각을 가지는 교각에 비해 최대세굴심이 크게 나타났으며, 수심의 증가 및 경사의 증가에 따라서 그 영향은 더욱 커지는 것으로 나타났다. 따라서 교각의 접근각에 따른 최대세굴심의 영향이 단면의 폭에 미치는 최대세굴심의 영향에 비해 큰 것으로 사료된다.

그러나 모형실험만에 의한 실험결과를 실무에 바로 적용하는 데는 다소 무리가 따를 것으로 사료되며 교각의 세굴심도 변화에 관한 연구는 시간변화 및 압력변화에 따른 세굴심의 영향과 세굴의 범위도 함께 고려하여, 현장의 실측자료와도 비교 검토해 현장에서 직접 이용할 수 있는 자료로 활용할 수 있도록 하는 것이 향후의 연구과제라 하겠다.

## 참고문헌

1. Laursen, E.M., *Scour at Bridge Crossings*, Transaction, ASCE, Vol. 127, 1962, pp.166~209.
2. Tanaka Shigeru & Yano Motaki, *Local Scour around Circular Cylinders*, Proc. IAHR, 1967.
3. Laursen, E.M. and Toch., *Scour around Bridge Piers and Abutments*, Iowa Highway Reserch Board, Bulletin No. 4, 1956.
4. Breusers, H.N.C., G.Nicollet, H.W. Shen, *Local Scour around Cylindrical Piers*, J. of Hydraulic Research, Vol. 114, No.10, 1977, pp221~252.
5. Melville, B. W., *Local Scour at Bridge Sites*, Report No. 117, School of Engineering, ASCE, Vol. 110, 1984, pp.1234~1247.
6. Mostafa, E.A., A.A. Yassin, R. Ettema and B. W. Melville, *Local Scour at Skewed Bredge Piers*, Hydraulic Engineering '93, Proc. of the 1993 Conference, ASCE, 1993.
7. Richardson, E.V., et al, *Scour at Bridges*, FHWA, U.S. Dept. of Transportation, 1988.
8. 안창진, "반원형교각에서 국부세굴에 대한 접근각도의 영향", 충북대 석사학위논문, 1994.
9. 안상진, 최계운, 김종섭, 안창진, 설계 적용을 위한 교각 세굴현상의 예측에 관한 기술적 수준, 대한토목학회, 1992년 학술발표회 개요집(II), 1992, pp.105~108.
10. 안상진, 최계운, 김종섭, 안창진, 교각주위에서 세굴심도 영향인자의 민감도에 대한 실험적 연구, 한국수문학회, 제35회 수공학연구발표논문집, 1993, pp.81~88.
11. 안상진, 최계운, 김종섭, 안창진, 보청천내 교각설치에 따른 국부세굴심도의 산정, 대한토목학회논문집, 제13권 제3호, 1993, pp.81~88.
12. 안상진, 최계운, 김종섭, 안창진, 압력변화를 고려한 교각주위에서의 세굴현상연구, 한국수문학회, 한국수문학회지, 제 27권 1호, 1994.
13. 안상진, 김종섭, 이재경, 김용용, 교각의 크기와 접근각도에 따른 국부세굴심의 실험적 연구, 한국수자원학회, '95년 한국수자원학회 학술발표회논문집, 1995, pp.54~58.