

교각주위의 국부세굴 보호실험

Experimental Study on Local Scour Protection around Bridge Piers

최기봉* · 김용용**
충청대학 산업안전과* · 충북대학교 토목공학과**

1. 서론

도시화 및 산업화가 급속히 진행되어감에 따라 하천에는 수중구조물이 상당수 설치되어 있어서 교량에서의 세굴에 대한 안전성 여부 및 그에 대한 대책 수립이 매우 절실한 실정이다. 국내의 경우 성수대교 및 행주대교 붕괴사고 이후 특히 하천의 교각에 대한 세굴의 영향은 많은 학자들의 관심이 되어 왔다. 연구의 주된 관점은 세굴에 영향을 미치는 인자들의 역학적 거동에 대한 것으로서 세굴을 일으키는 인자들의 최대 영향 및 최대세굴심도를 예측하고 세굴로부터 보호하는 공법에 주력하고 있다. 그동안의 조사결과에 의하면 교각이나 교대의 하부구조가 세굴로 인한 위험성이 상당히 내재되어 있는 것으로 알려지고 있다.

교각주위의 세굴현상은 이동하는 유체의 역학적인 상호작용 및 불균등 하상입자들을 포함하는 3차원적인 문제로서 그 현상이 대단히 복잡하여 여러 인자에 의해 지배를 받기 때문에 세굴에 대한 정확한 예측은 매우 어렵다. 또한 그동안의 세굴에 관한 연구들 대부분이 실험을 중심으로 이루어져 왔다.

국내에서는 현재까지도 외국에서 개발된 공식들을 적용하여 세굴량을 예측하고 있는 실정이나, 이와같은 경우에도 교각주위의 세굴량 예측공식이 수십종에 이르고 있고 그 차이도 커서 한 지역의 최대 세굴심을 예측한 결과가 10배 이상 차이가 나고 있다. 따라서 세굴안전에 대한 평가나 향후 세굴 진행상태 등을 평가할 만한 공식 하나도 개발되어 있지 못한 상태이며 교각세굴에 대한 예측공식은 물론 방지공법에 대한 연구도 거의 미진하고 그 기준도 정해져 있지 않은 실정이다.

교각주위의 국부세굴을 일으키는 주요 인자는 교각전면에서 발생하는 하강류와 이로인한 말굽형와류 및 후류형와류이다. 따라서 하강류를 감소시킨다면 세굴을 감소시키는 것이 가능하다. 하강류를 차단하는 방법의 하나는 교각의 상류부에 방지 구조물을 설치하여 하강류를 차단 또는 약화시키는 것이다. 그러나 교각 상류부의 방지 구조물의 수가 많게 되면 하천의 단면을 수축시켜 수축세굴의 발달이 예상되어 교각은 세굴을 감소시키기 보다는 증가시키는 인자가 되기도 한다. 따라서 어떤 조건에서 어느정도의 세굴감소 효과를 얻을 수 있는지 그 범위를 밝히는 것이 필요하다.

본 연구에서는 국부세굴을 방지시키는 방법으로 세굴보호 시설물을 모형교각 주변에 설치한 후 실험을 통하여 최대 평형 세굴심을 살펴보고, 수심별, 수로경사별, 설치각도별로 실험을 실시 하여 기존의 방지시설이 설치되지 않은 교각에 대한 실험결과와 비교하여 이것으로 인한 세굴보호 영향과 세굴감소 범위를 밝혀 신설교량 설치 및 기존교량의 보수에 따른 구조물의 안전성을 평가하는 기본 자료로써 활용토록 하는데 그 목적이 있다.

2 국부세굴에 영향을 주는 인자

교각에서 국부세굴을 일으키는 근본적인 원인은 하상에서의 와류의 형성이다. 이 와류현상은 유체 자체의 특성, 하천에서의 흐름의 변화, 하상재료의 성질 및 교각의 크기와 형상등 많은 인자들에 의해 영향을 받는다. 따라서 교각주위에서의 세굴에 영향을 주는 인자로는 크게 자체의 특성인자, 하천내 흐름인자, 하상재료인자 및 교각의 형태인자로 대별할수 있으며 이들 인자들을 정리하면 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Parameters affecting scour around piers

| Classification | Factors |
|----------------------------|---|
| Fluid properties | Density of fluid Viscosity of fluid |
| Flow properties | Depth of flow Velocity of the flow approaching Magnitude of stream discharge Duration of flow |
| Bed material properties | Grain size distribution Grain diameter Sediment density Cohesive properties Bed roughness |
| Pier shape characteristics | Pier dimensions Pier shape in plan view Number and spacing of piers Orientation of piers to approach flow direction Opening ratio |

3. 세굴보호 실험

3.1 실험수로

본 연구를 위한 실험장치는 수로길이 12m, 수로폭 0.4m, 수로높이 0.4m의 개수로를 이용하였다. 설치된 실험수로는 양측 벽면이 유리로 되어 있어 흐름을 관찰할 수 있고, 수로경사를 0.0~4.0% 범위까지 변화시킬 수 있도록 되어 있다. 설치된 실험장치의 개략도는 Fig. 3.1과 같다.

수로바닥재료는 수로바닥에 깊이 10cm, 길이 6m로 깔았으며, 채취된 시료중에서 5mm체(#4체)를 통과한 잔골재 만을 선별하여 체가름분석을 실시한 결과 가적통과율 50%에 해당하는 중앙입경(d_{50})은 0.8mm, 기하학적 표준편차(σ_g)는 1.95였으며, 비중이 2.58인 불균등 모래를 사용하였다.

3.2 모형교각 및 세굴보호 시설물 설치

모형교각은 직경이 각각 2.5cm, 3.2cm, 및 4.0cm인 크기가 다른 원형교각을 사용하였으며, 또한 세굴보호 시설물은 보호기둥과 보호판 및 직경 0.5cm인 회생과일 5개를 각각 설치하였다. 모형교각 및 보호 시설물의 표면은 조도의 영향을 무시할 수 있도록 스테인리스로 제작하여 설치 하였다.

보호기둥은 교각 전면에 0.5cm를 돌출하도록 제작하였으며, 방지기둥 끝단 각도는 수평방향과 0°, 30°, 45° 및 60°로 경사지게 제작하여 하강류의 작용을 억제

하는 역할에 대한 실험을 할 수 있도록 하였다.

보호판은 돌출길이(L_p)와 교각폭(D)의 비가 0.5, 1.0 및 2.0이 되는 길이로 교각 전면에 돌출하도록 제작하였으며, 방지판의 두께는 0.5cm로 하였다. 실험은 수심과 수로경사를 변형시키면서 세굴심이 평형을 이룰 때 까지 충분한 시간(40~80min)을 주면서 수행 하였다.

희생파일은 직경 0.5cm인 희생파일 5개를 교각전면에 일정한 거리를 두어 각각 설치하였다.

세굴보호 실험에 사용된 모형교각과 세굴보호 시설물은 Fig. 3.2와 같으며, 모형교각 및 세굴 보호시설물의 제원은 Table 3.2와 같다.

Table 3.2 The Pier and Protection device factors used for experiment

| Pier Model | | Scour Protecting Column | | | Scour Protecting Plate | | | Sacrificial Piles | | |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Diameter D(cm) | Opening Ratio $R_0(\%)$ | Nose Angle $(^\circ)$ | Length $L_c(\text{cm})$ | Width $b_c(\text{cm})$ | Lengh $L_p(\text{cm})$ | Width $b_p(\text{cm})$ | S.F Ratio (L_p/b_p) | Diameter d(cm) | Sacrif. Pile n (number) | Apex Angle $\alpha(^\circ)$ |
| 2.5 | 93.8 | 0 | 0.5 | 0.5 | 1.25 | 2.5 | 0.5 | 0.5 | 5 | 15 |
| 3.2 | 92.0 | 30 | 0.5 | 0.5 | 2.5 | 2.5 | 1.0 | | | 30 |
| 4.0 | 90.0 | 45 | 0.5 | 0.5 | 5.0 | 2.5 | 2.0 | | | 45 |
| - | - | 60 | 0.5 | 0.5 | - | - | - | | | 60 |

3.3 실험

실험은 보호시설물을 설치하지 않은 모형교각만으로 세굴심의 영향을 살폈으며, 다음 실험은 모형교각과 보호시설물을 설치한 후 세굴심의 영향을 알아보고 앞의 실험과 비교·분석하였다. 실험장치를 이용하여 실시한 실험은 다음과 같다. (1)수심변화에 따른 세굴심의 변화, (2)수로경사변화에 따른 세굴심의 변화, (3)교각크기에 따른 세굴심의 변화.

4. 실험결과

4.1 세굴보호기둥의 끝단 각도에 의한 영향

보호기둥의 끝단각도에 따른 영향을 알아보기 위하여 수로중앙에 2.5cm교각과 서로다른 끝단각도를 가진 방지기둥을 설치한 후 수심과 경사를 증가시키면서 실험을 수행하였다. 수로경사 0.10% 및 0.40%에 대하여 각각의 수심별 세굴심을 비교한 결과는 Fig. 4.1(a) 및 (b)와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 방지기둥 끝단의 각도는 수평방향과 45°, 30°, 60°, 0° 및 방지기둥을 부착하지 않았을 때의 순으로 세굴심의 감소를 보이고 있으며 수심이 증가할수록 끝단각도에 의한 세굴심의 증가폭은 점차 증가하는 것을 알 수 있다.

4.2 세굴보호판의 길이(L_p)에 의한 영향

교각의 방지판을 하강류를 방지하기 위한 것으로 본 실험에서는 교각의 상류 하상에 방지판을 부착하여 수심을 12cm로 유지시키고 세굴심의 변화를 조사한

결과 Fig.4.2와 같이 도시되었다. 방지판의 길이(L_p)가 교각폭(D)의 0.5배내지 1배의 범위($L_p/D=0.5\sim 1$)에서 세굴심에 대한 방지효율이 높아졌으며 그 범위는 최대 40%정도가 됨을 알 수 있다.

4.3 희생파일 설치에 따른 세굴심의 변화

수로경사 0.03% 및 0.05%이고 직경 2.5cm와 3.2cm인 원형교각에 대하여 희생파일을 설치하지 않았을 경우와 희생파일을 설치한 후 최상류에 위치한 희생파일로부터 최하류에 위치한 희생파일 사이의 각도인 향점각도를 30°, 45° 및 60°로 주어 설치한 경우에 대하여 수심변화에 따른 세굴심의 영향을 실험한 결과는 Fig.4.3(a) 및 (b)와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 동일한 교각에서는 수심이 증가함에 따라 무차원세굴심(ds/D)도 증가하는 것을 알 수 있다. 희생파일의 향점각도별 비교에서는 희생파일 미설치시, 향점각도 60°, 45° 및 30°의 순으로 나타나 향점각도가 세굴심에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

4.4 수심과 경사의 영향

보호시설물 미설치 교각과 시설물 설치시의 세굴심에 대한 수심 및 경사의 영향을 비교한 결과는 Fig.4.4(a) 및 (b)와 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 세굴심의 영향은 보호기등을 부착했을 때, 보호판을 부착했을 때, 희생파일을 설치했을 때, 방지시설물을 부착하지 않았을 때의 순으로 세굴심의 감소를 보이고 있으며 수심이 증가할수록 감소폭은 커지는 경향을 보였다.

5. 결 론

본 연구는 교각 주위에서의 발생하는 하강류를 차단하여 세굴심을 방지하기 위한 실험적인 연구로서 세굴보호 시설물을 설치하고 수리모형 실험을 실시하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 교각의 상류단에 하상과 같은 높이로 세굴보호기등과 보호판 및 희생파일을 설치하여 교각 전면에서 발생하는 하강류를 차단함으로써 세굴심을 감소시킬 수 있었으며, 세굴심을 감소시키는 시설물은 방지기등, 방지판, 희생파일 설치, 및 보호시설물을 미설치의 순서로 세굴심의 감소를 보였다.
2. 보호기등의 끝단각도와 세굴심과의 영향은 수평방향에 대하여 45°, 30°, 60°, 0° 및 보호시설물 미부착의 순으로 나타났으며, 방지기등의 끝단각도가 세굴심의 감소에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.
3. 희생파일의 향점각도에 대한 세굴심의 영향은 희생파일을 설치하지 않았을 때, 향점각도 60°, 45° 및 30°의 순으로 나타났다. 또한 희생파일의 향점각도 30° 이내에서 세굴방지효과가 최대로 됨을 알 수 있었다.
4. $L_p/D=0.5\sim 1$ 에서 세굴심 감소효율이 높으며 그 범위는 최대 40%가 되었다. 따라서 방지시설물 설치시 교각의 폭 및 방지시설물 끝단의 각도를 고려하여 부착하는 것이 바람직하다고 사료된다.

참고문헌

1. Bruce W. Melville, Anna C. Hadfield, and Christine S. Lauchlan, "Sacrificial Piles and Iowa Vanes as Pier Scour Countermeasures", Tennessee, ASCE, 1998 International Water Res. Eng. Conference, Vol.1, 1998, pp.39~44.
2. Posey, C. J. (1974), "Test of Scour Protection for Bridge Piers", *J. of Hydraulics Division, Vol.100, No. HY12*.
3. Richardson, et al.(1995), "Evaluating scour at bridges", *Hydraulic Engineering Circular No. 18 3rd Ed., FHWA, U. S. Dept. of Transportation*.
4. 안상진, 김용용(1997), "교각의 크기와 접근각도에 따른 국부세굴의 실험적 연구", **대한토목학회 논문집**, 제17권, 제II-1호, pp.45~53.
5. 안상진, 김용용, 김종섭, 김진극, "세굴방지 시설물에 의한 교각의 국부세굴 방지실험", '98년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, 1998, pp.461~465.
6. 안상진, 김용용, 이재경, "하강류 차단에 의한 교각세굴 방지실험" **대한토목학회논문집**, Vol.19, No. II-1, 1999, pp.45~57.

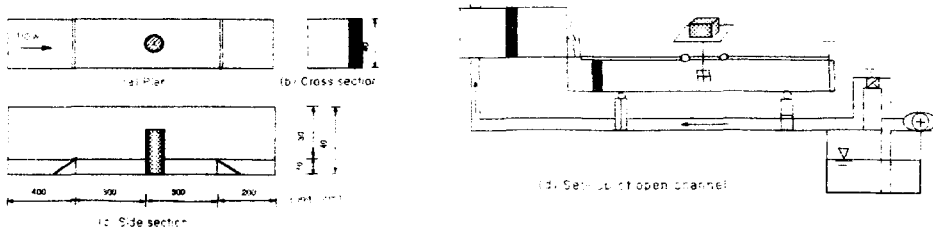


Fig. 3.1 Open channel apparatus for the experiment of local scour

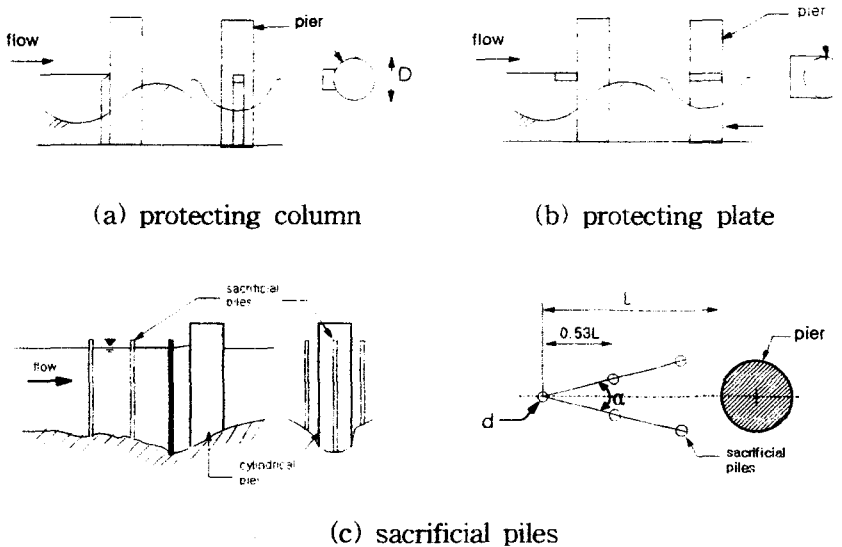
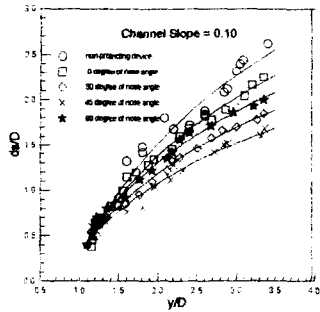
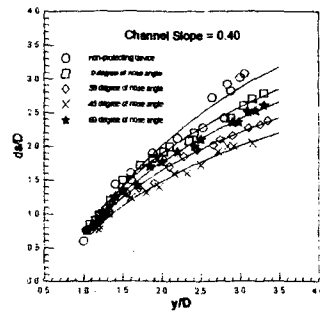


Fig. 3.2 Pier Model and Protection Models used for experiment



(a) Channel Slope 0.10%



(b) Channel Slope 0.40%

Fig. 4.1 Comparison of Maximum Scour Depth with Scour Protecting Column by Nose Angle

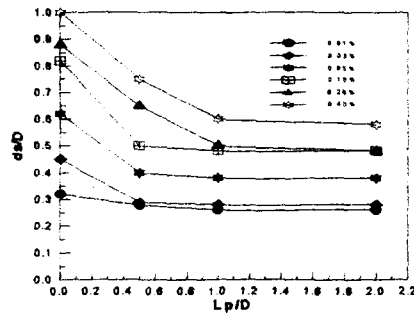
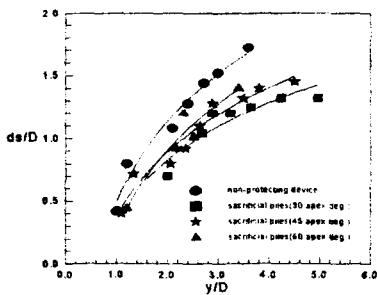
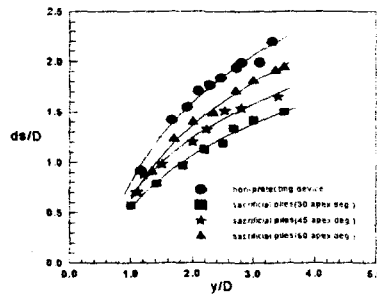


Fig.4.2 Variations of Scour Depths with L_p/D

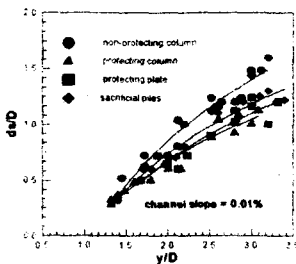


(a) channel slope 0.03%(D=2.5cm)

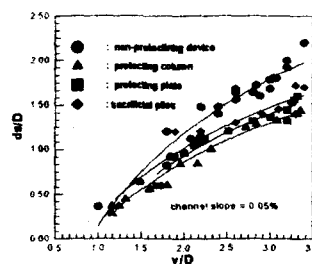


(b) channel slope 0.05%(D=3.2cm)

Fig.4.3 Maximum scour depth with flow depth



(a) Channel Slope 0.01%



(b) Channel Slope 0.05%

Fig.4.4 Comparison of Maximum Scour Depth with Scour Protecting and Non-protecting Devices