

교대주변의 국부세굴에 관한 실험적 연구 An Experimental Study on Local Scour around Abutment

안 상 진* / 황 보 연**

Ahn, Sang Jin / Hwang, Bo Yeon

Abstract

The laboratory data are for local scour depth measurement at vertical-wall abutment. These include the data to demonstrate the effects of local scour depth of abutment nose shape, alignment angle, flow depth and flume slope. The pattern of local scour were measured and analyzed the abutments which are rectangular, sharp, chamfered rectangular and oblong nose shapes.

The experiments were carried out with varying the flume slope and alignment angle increasing flow depth every step in 1cm for four abutment types on the live-bed scour conditions. The flume slope and alignment angle were varied in five cases : for latter 30 °, 60 °, 90 °, 120 ° and 150 °, for former 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.1% and 0.2%.

The maximum scour depths were analyzed for the shapes of abutment nose with rectangular, oblong, chamfered rectangular and sharp in order. The results of the experiments show that the scour depth varies not only with abutment nose shapes and alignment angle but also with the flow depth and flume slope.

keyword: vertical-wall abutment, local scour, alignment angle

요 지

연직벽 교대에서의 국부세굴심을 측정된 실험실 자료들이다. 이들 자료들은 교대의 끝단형상, 정렬각도, 흐름수심, 흐름경사에 따라 국부 세굴심의 영향을 주는 자료들로 포함한다. 모형교대 끝단 형상이 직사각형, 타원형, 끝단을 깎아낸 직사각형, 예연형인 교대에서 국부세굴의 양상이 실험적 연구에 의하여 분석되었다. 실험들은 4개의 교대 형상에 대하여 흐름수심을 약 1cm씩 증가시켜서 이동상 세굴 조건하에 실험을 하였다. 수로의 하상경사는 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.1%, 0.2%로 정렬각도는 30 °, 60 °, 90 °, 120 °, 150 °로 변화시켜 실험을 실시하였다. 최대 세굴심은 끝단 형상이 직사각형, 타원형, 끝단을 깎아낸 직사각형, 예연형의 순서로 분석되었다. 실험결과들은 세굴심이 교대의 형상뿐만 아니라 정렬각도, 흐름수심, 수로경사에 따라 다르게 나타나는 것을 보여주었다.

핵심용어 : 연직벽교대, 국부세굴, 정렬각도

* 충북대학교 토목공학과 교수

Prof. Dept. of Civil, Engrg., Chungbuk National Univ., Cheongju, Chungbuk, 361-763, Korea

** 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수리시험장

Rural Development Corporation, Rural Research Institute., Ahnsan, Kyunggi, 420-170, Korea

1. 서 론

교량 주위에서의 세굴현상은 유수의 흐름에 의하여 수로를 구성하고 있는 하상재료가 이동 또는 제거됨에 따라 수로 단면이 확장되는 현상으로 정의할 수 있다. 이 현상은 흐르는 물에 의한 침식활동, 수로내 하상의 세굴현상 및 하천의 하상재료의 운반작용들을 포함하므로 서로 다른 하상재료로 구성된 하천은 세굴의 비율에 차이가 있게 된다. 이러한 세굴비율은 일반적인 하천의 지형학적 형태와 하천수계내의 수리학적 인자들과 밀접한 관련 (Ricky 와 Melville 1994; 이정규 1993; 안상진등 1992; Melville1992)이 있다.

현재까지의 세굴예측 방법들은 특정하천부지에 대한 세굴현상을 이해하고 그 현상에 따른 예측방법을 적절하게 선택하는 일련의 과정을 통해서만 얻어졌다. 정확하지 못한 세굴심도의 예측은 교량이나 교대를 붕괴시키는 원인이 되며, 교량 또는 교대의 붕괴는 복구에 드는 재정적인 손실과 더불어 교통체증, 각종 무형재산의 손실등 심각한 사회적 손실을 일으키게 된다. 대부분의 교대가 어떤 특정한 형상으로 건설되고, 외적요인에 의해 흐름의 방향과 어떤 각도를 이루어 교대를 설치하는 경우가 흔히 있다. 교량의 건설 당시에는 교대가 흐름의 방향과 일치하게 설치되었다고 하더라도 건설이후 하천내 많은 영향인자에 의해 중심수위가 변경되므로써 흐름의 정렬각도(Alignment angle)가 바뀌게 되는 경우가 있다. 이러한 영향은 이미 건설된 교량의 교대의 안전성 여부에 중대한 문제를 일으킬 수 있다. 그러므로 여러 형상(Shape)별, 정렬각도에 따른 국부세굴에 관한 연구를 한다든지 또한 국부세굴심에 대한 정확한 예측을 한다면 경제적인 교대의 설계는 물론 교대의 안전성 검사에도 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 특히 교대의 형상별, 정렬각도에 대한 세굴심을 검토하는 것은 매우 중요하나 이에 대한 국내의 연구결과와는 아직 미비한 실정이며 교대설계에 있어서도 세굴심의 영향을 고려하고 있지 않은 실정이다.

따라서 본 연구는 교대의 형상 중 연직벽 교대의 끝단 형상(Nose shape)에 따른 국부세굴과 교대의 정렬각도에 따른 국부세굴의 영향을 수로경사 및 수심별 세굴심 변화를 비교·검토함으로써 실제 하천에서 교대를 설치하거나 기왕에 설치된 교대의 안전성을 평가할 때 적절한 국부세굴심을 예측하기 위한 기본자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 국부세굴

교대에서 국부세굴은 교대가 흐름을 방해할 때 발생한다. 흐름장애물은 교대의 상류단 끝에서 시작해서 교대의 하부를 따라 흘러가는 수평외류와 교대 하류단에서 형성되는 연직외류로 구성된다. 교대상류단 하부에서의 외류는 교각에서 형성되는 말굽형외류(Horseshoe vortex)와 매우 유사하며, 하류단에서 형성되는 외류는 교각하류부에서 형성하는 후류형외류(Wakevortex)와 매우 유사하다.(Richardson등 (1993)) 그림 1은 교대주변의 외류의 발달상태를 나타낸 것이다.

2.1 교대의 형상에 따른 국부세굴

2.1.1 교대의 형상계수(K_s)

교대는 매우 다양한 크기와 형상으로 설계된다. 일반적으로 교대의 형태는 서로다른 형태를 구별하는 형상인자로서 흐름을 방해하는 구조물의 길이 L 로 표현할 수 있다.

이는 교대의 부분적인 형상이 교대세굴에 중요하다는 것을 잘 알려주고 있다. 서로다른 여러 교대의 형상은 여러 가지 방법으로 흐름이 전환되므로, 유선형의 형상을 지닌 교대는 무딘 형상의 교대에 비해 더 적게 세굴된다. 이러한 교대의 형상은 Melville(1992)가 실험에 의해 제안한 형상계수 K_s 로 표현되며 그 값은 표 1과 같으며, 그림 2는 여러 형태의 교대를 나타내고 있다.

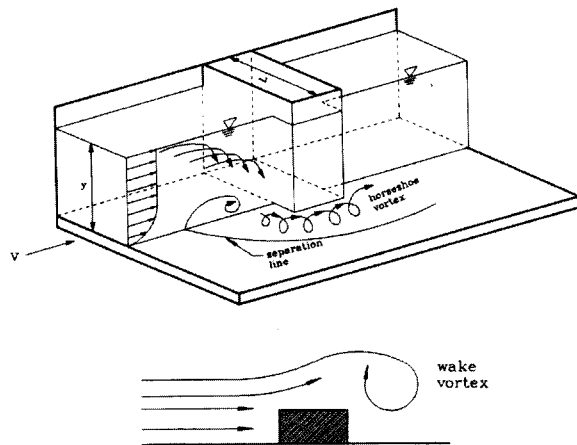


그림 1. 교대주변의 외류

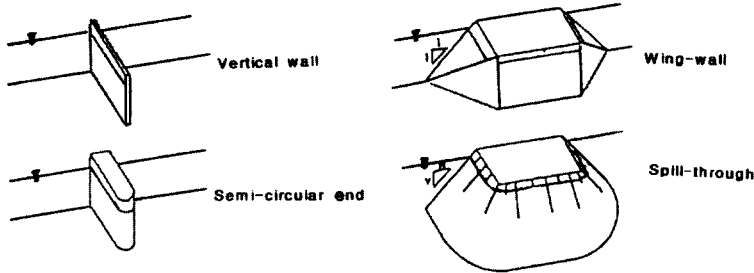


그림 2. 교대의 형상

표 1. 교대형상 보정계수

Abutment shape	K_s
Vertical-wall abutment	1.00
Vertical-wall abutment with wingwalls	0.82
Spill-through abutment	0.55

연직벽교대(Vertical wall abutment)가 가장 단순한 형태이며 기준으로 이용된다. 경사벽교대(Spill-through abutment)에서 교대길이는 수심의 중앙길이로서 나타낸다.

2.1.2 교대 길이에 따른 분류

Melville(1975)는 각각 평형세굴심과 교대길이 사이의 관계와 평형세굴심과 수심과의 관계를 나타내어 다음과 같은 방정식을 도출하였다.

$$d_s = 10 K_\theta y \quad \frac{L}{y} > 25 \quad (2a)$$

$$d_s = 2 K_S L \quad \frac{L}{y} < 1 \quad (2b)$$

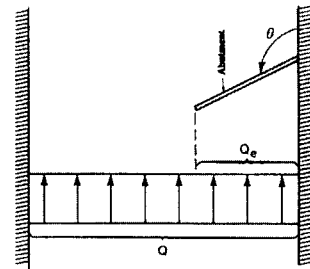
$$d_s = 2 K_S^* K_\theta^* (yL)^{0.5} \quad 1 \leq \frac{L}{y} \leq 25 \quad (2c)$$

여기서, K_S 는 Melville(1992)가 제안한 교대의 형상계수이고, K_θ 는 Richardson등(1993)이 제안한 흐름의 정렬각도 보정계수이고, K_S^* 와 K_θ^* 는 Melville(1992)가 더 많은 추가 실험 자료로부터 제안된 교대 형상계수 및 흐름의 정렬각도 보정계수이다. 식(2a), (2b) 및 (2c)는 각각 긴 교대, 짧은 교대 및 중간교대를 나타낸다.

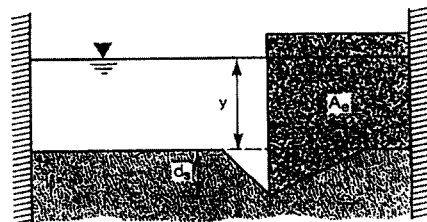
2.2 흐름의 정렬각도에 따른 국부세굴

2.2.1 교대의 정렬각도 보정계수

교대의 정렬각도는 그림 3(a)에서 보여주는 바와 같이 접근각 θ 로 표현할 수 있다. 이는 일반적으로 θ 가 증가함에 따라 세굴심도 증가하며, θ 의 감소는 세굴심의 감소를 의미한다. 교대의 정렬각도 θ 의 영향은 정렬각도 보정계수 K_θ 를 이용하여 표현된다. 또한 K_θ 는 연직벽 교대가 기준으로 이용되며, K_θ 는 $\theta = 90^\circ$ 로 수직일때에 대하여 θ 의 변화량과 세굴심의 비로서 나타낸다. Richardson등(1993)은 실험에 의하여 교대의 K_θ 의 값을 제안하였는데 그 값은 표 2에



(a) 평면도



(b) 단면

그림 3. 교대 정렬

표 2. 교대정렬각도 보정계수

θ (°)	30	60	90	120	150
K_{θ}	0.9	0.97	1.0	1.06	1.08

나타난 바와 같다.

3. 실험과 분석

3.1 실험

실험장치는 수로길이 12m, 수로폭 0.4m, 수로높이 0.4m의 개수로 장치를 이용하였다. 설치된 실험수로는 양측 벽면이 유리로 되어 있어 흐름을 관찰할 수 있고, 수로경사를 0.0~0.4% 범위까지 변화시킬 수 있도록 되어 있다.

유속의 측정은 수로에 장치된 微유속계를 사용하여 모형교대의 위치로부터 상류 1m 지점에서 수면으로부터 수심(y)의 0.6y에 해당되는 1점유속을 3회 측정하여 평균 하였다. 유속계는 프로펠러 유속계로 회전수를 관측하고 이를 자체의 유속환산 공식에 대입하여 유속을 얻었다

실험수로의 바닥재료는 하상재료로 보청천내 산계교 지점에서 채취한 모래를 이용하였다. 산계교지점의 하상은 모래와 자갈이 함께 존재하는 이동상 하상이므로 모래만의 이동특성을 파악할 수 있도록 채취된 시료중에서 5mm(#4)체를 통과한 잔골재만을 선별하여 체가름 분석을 실시하였다. 채취된 모래의 체가름 분석결과 중앙입경(d_{50})은 0.8mm, 기하표준편차(σ_g)는 1.95이며, 비중이 2.58인 불균등 모래를 사용하였다.

세굴현상을 파악하기 위한 하상재료는 수로의 중앙으로부터 수로바닥에 깊이 10cm, 길이 6.0m로 부설하였으며, 모형교대는 수로의 중앙에 설치하여 세굴을 파악토록 하였고, 수리량중 수심을 고정시켰으며 이 수심은 point gage를 이용하여 측정하였다. 이때 모래를 실험수로의 바닥에 형상별 세굴실험에서는 10cm, 정렬각도 실험에서는 15cm 높이로 부설하여 실험을 수행하였다.

3.1.1 교대의 형상에 따른 실험

실험은 연직벽교대로서 끝단이 직사각형(Rectangular nose), 타원형(Oblong nose), 끝단을 깎아낸 직사각형(Chamfered nose), 예연형(Sharp nose)의 4가지 형상의 교대로 실험을 실시하였으며,

표 3. 교대형상에 따른 실험 제원

Abutment nose shape		Length L(cm)	Width B(cm)	Opening ratio (%)
Rectangular nose		2.0	10.0	95.0
Oblong nose		2.0	10.0	95.0
Chamfered Rectangular nose		2.0	10.0	95.0
Sharp nose		2.0	10.0	95.0

세부사항은 표 3과 같다. 한 형상의 교대에 대해 각각의 수로경사별로 수심을 증가시키면서 실시하였다. 수심은 수로바닥을 기준으로 하여 점차로 증가시켰으며, 같은 수심에 있어서 1회의 실험기간은 최대세굴심에 도달하여 평형상태가 유지될 때 까지 충분한 시간이 되도록 하였으며, 최대세굴심의 측정은 모형교대에 mm로 표시된 눈금을 측정하는 방법으로 실시하였다.

수로경사는 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.1%, 0.2%까지 변경 시키면서 수행하였고, 모형교대는 유수의 방향과 나란하게 벽면에 설치하였다.

3.1.2 정렬각도에 따른 실험

표 3과 같은 실험조건에서 모형교대중 직사각형 모형교대를 사용하여 수로경사를 0.01%, 0.03%, 0.05%로 변화시키면서 교대를 흐름방향에 대하여 30°, 60°, 90°, 120°, 150°로 설치하여 평형 최대세굴심을 측정 비교하였다. 세부사항은 표 4와 같다.

표 4. 교대 정렬에 따른 실험 제원

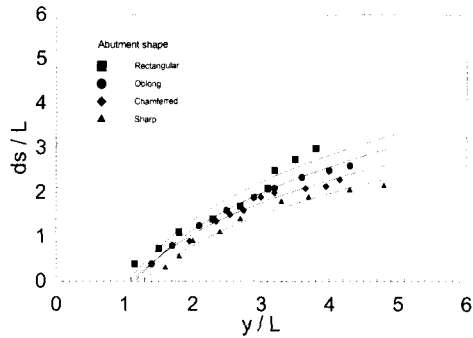
Alignment angle	Length	Width	Opening ratio (%)
	6.0	2.0	85%

3.2 실험결과 분석

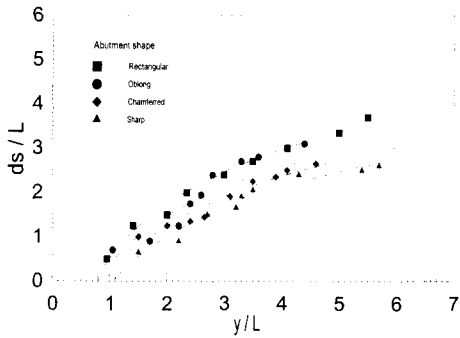
3.2.1 교대형상별 최대세굴심의 변화

동일한 수로경사에서 모형교대의 끝단형상이 직사각형, 타원형, 끝단을 깎아낸 직사각형, 예연형일때의 수심증가에 따른 최대세굴심의 변화를 그림 4(a)~(e)와

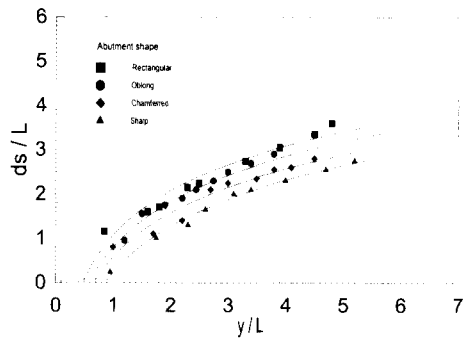
같이 나타내고 있다. 그림 4에서 수평축은 y/L , 수직축은 d_s/L 로 표현된 무차원량을 나타내고 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 동일한 하상경사에서는 직사각형, 타원형, 끝단을 깎아낸 직사각형, 예연형의 순서로 최대세굴심이 크게 나타났다. 또한 수로경사가 커질수록 최대 세굴심 역시 증가하는 경향으로 나타났다.



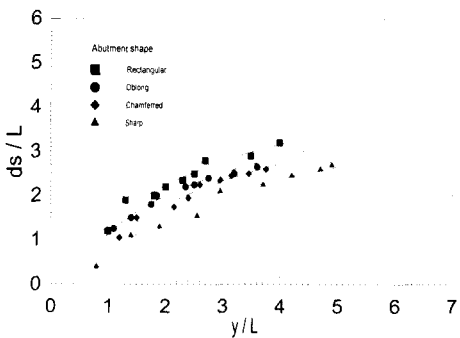
(a) 수로경사 0.01%



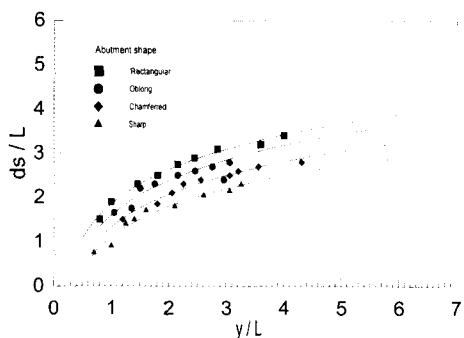
(b) 수로경사 0.03%



(c) 수로경사 0.05%



(d) 수로경사 0.1%



(e) 수로경사 0.2%

그림 4. 교대 형상에 따른 최대 세굴심 변화

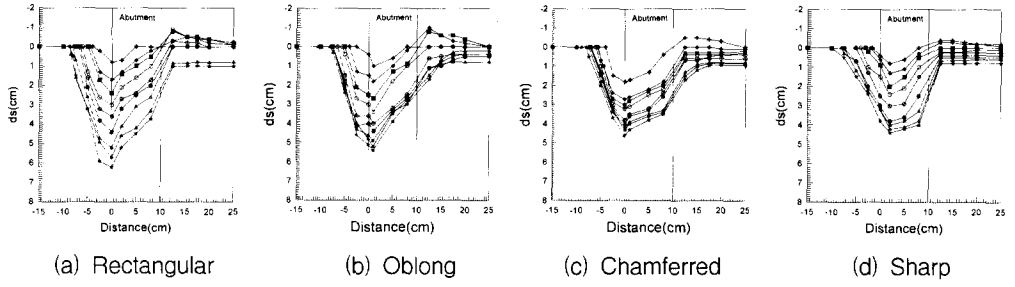


그림 5. 수심증가에 따른 최대세굴심 변화 (수로경사 0.01 %)

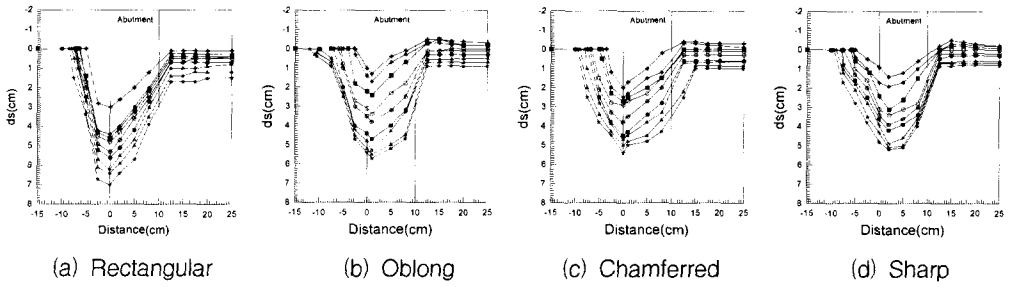


그림 6. 계속 (수로경사 0.03 %)

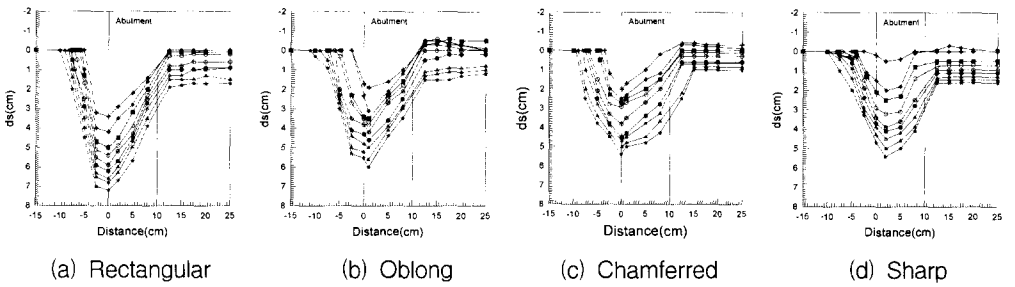


그림 7. 계속 (수로경사 0.05 %)

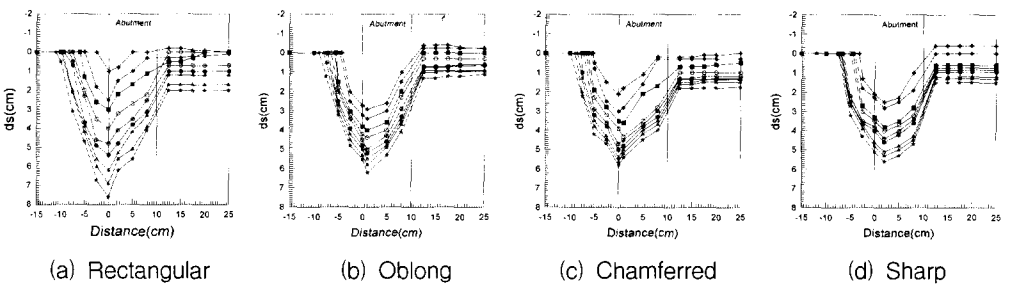


그림 8. 계속 (수로경사 0.1 %)

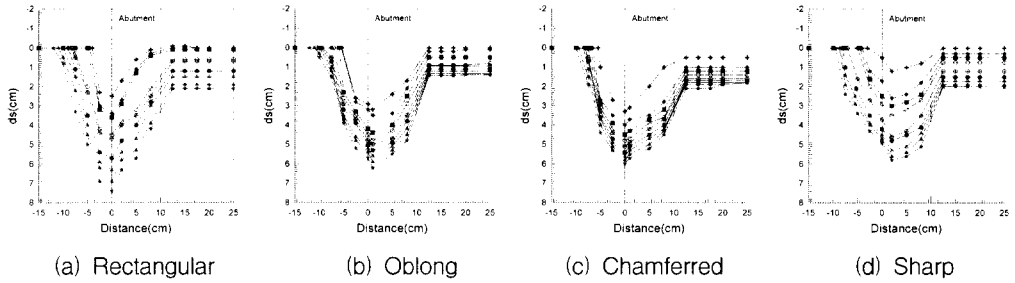


그림 9. 계속 (수로경사 0.2%)

3.2.2 교대형상별 수심변화에 의한 세굴심

수로경사 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.1%, 0.2%에서 최저수심은 1.4cm, 최대수심은 11.6cm로 범위로 하였으며 수심을 점차로 증가시켰을 때 직사각형, 타원형, 끝단을 깎아낸 직사각형, 예연형모형교대에 대한 평형 세굴심의 변화를 그림 5~9에 나타내었다.

그림 5~9에서 보는 바와 같이 직사각형, 반타원형, 끝단을 깎아낸 직사각형, 예연형 모형교대의 순으로 최대세굴심이 크게 나타났으며, 초기 수심에서 교대 후미의 Dune을 볼 수 있었으나, 수심의 증가로 점차적으로 없어지는 경향으로 나타났다.

3.2.3 교대의 정렬각도에 따른 세굴심의 변화

수로경사가 각각 0.01%, 0.03%, 0.05%일 때 정렬각도를 30°, 60° 및 90°로 하였을때 교대의 세굴심의 변화를 그림 10에 나타냈다. 그림에서 x축과 y축 역시 y/L' , d_s/L' 로 표현된 무차원량을 나타내고 있다. 여기서 L' 는 교대정렬에 따른 교대의 길이이며, 그림 10에서 알 수 있듯이 동일 수로경사에서 정렬각

도 θ 의 값이 클수록 세굴심도 증가하고 있음을 볼 수 있었고, 그 증가폭은 점차 둔화하는 것으로 나타났다.

3.2.4 동일 개도비를 가진 정렬각도별 최대세굴심

수로경사가 각각 0.01%, 0.03%, 0.05%이고, 동일 개도비를 갖는 30°와 150°, 60°와 120° 정렬상태에서 최대 세굴심을 비교하여 그림 11~12에 나타내었다. 여기서 알 수 있듯이 동일 개도비를 갖는 정렬각도에서 정렬각도가 둔각(90° 이상)인 교대에서의 최대 세굴심이 예각(90° 이하)의 정렬각도보다 크게 나타났다.

3.2.5 교대형상별 수로경사 변화에 의한 세굴심

동일한 교대형상에서 세굴심의 변화를 분석하기 위하여 수로경사가 0.01%, 0.03%, 0.05%, 0.1%, 0.2%일때의 최대세굴심을 측정하여 비교하였다. 그림 13은 모형교대 끝단 형상이 직사각형, 타원형, 끝단을 깎아낸 직사각형, 예연형일때 하상경사에 따른 최대세굴심의 변화를 나타내고 있다. 그림 13에서 알 수 있듯이 각각의 형상별로 경사변화가 클수록 세굴심도 증가하

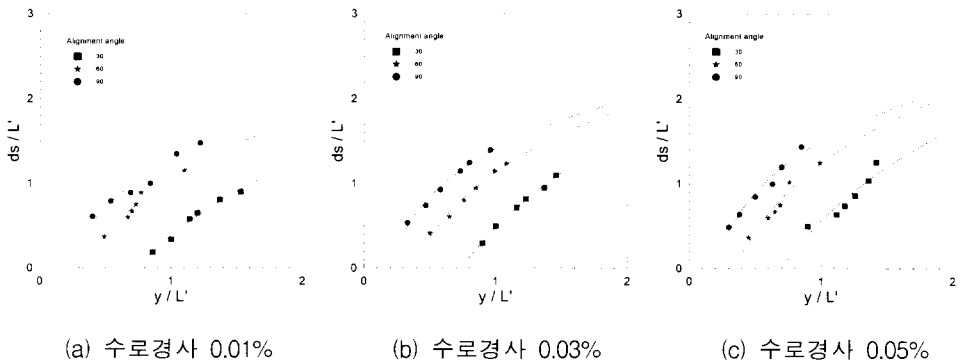


그림 10. 정렬각도 변화에 따른 세굴심 변화

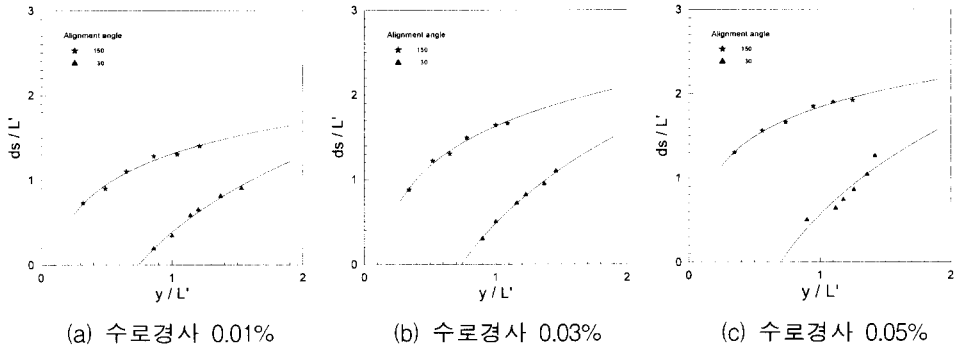


그림 11. 동일 개도비 (30° 와 150°)를 갖는 정렬각도에 따른 최대 세굴심 비교

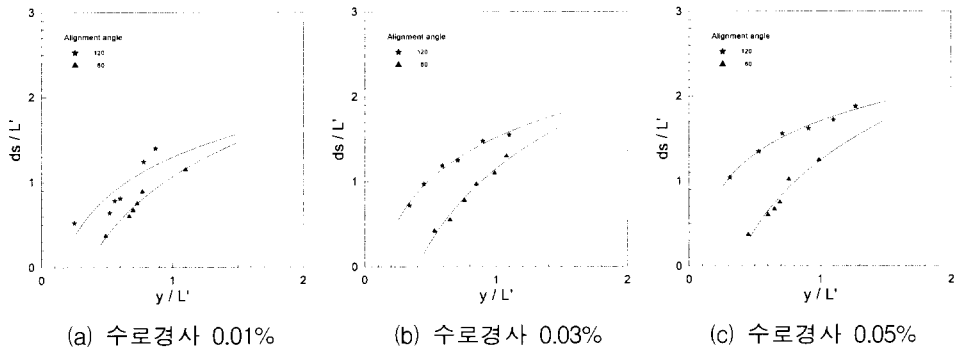


그림 12. 동일 개도비 (60° 와 120°)를 갖는 정렬각도에 따른 최대 세굴심 비교

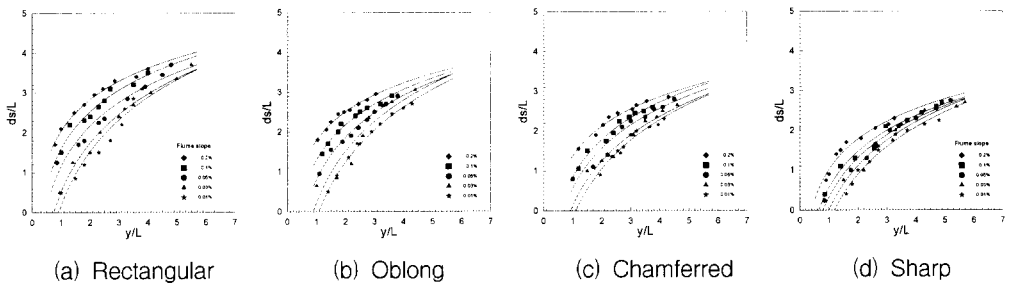


그림 13. 교대형상별 수로경사 변화에 의한 세굴심

고 있음을 볼 수 있다. 그러나 그 증가폭은 점차 둔화하는 것으로 나타났다.

3.2.6 정렬각도별 수로경사 변화에 따른 세굴심 변화

연직벽 교대중 직사각형 모형교대를 사용하여 수로경사가 0.01%, 0.03%, 0.05% 일 때를 매개변수로 하

여 교대 정렬각도(θ)를 30° ~150° 까지 변화시켰을 때의 최대세굴심을 비교한 결과를 그림 14에 나타내었다. 그림 14에 나타난 바와 같이 θ 값이 증가할수록 최대 세굴심도 증가하는 경향을 볼 수 있으며, 그 증가폭은 둔화되고 있음을 보여주고 있다.

또한 수로경사에 따른 정렬각도 영향은 수로경사가

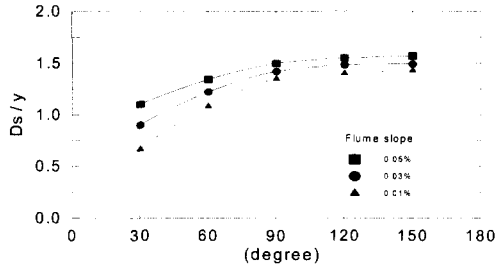


그림 14. 정렬각도별 수로경사 변화에 따른 세굴심 변화

급해질수록 세굴심이 증가하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 교대를 설치하거나 기왕에 설치된 교대의 안전성을 평가하고자 교대의 형상과 정렬각도에 따른 국부세굴심을 수로경사, 수심, 동일 개도비별로 실험을 통하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 동일한 수로경사에서 수심을 증가시켰을 때 최대세굴심은 점차 증가하였으며 수심이 증가할수록 교대후미의 세굴심도 증가하였다.
- (2) 동일한 교대형상에서 하상경사를 증가시켰을 때 최대세굴심은 증가하였으나 그 증가폭은 그다지 크지 않게 나타났다.
- (3) 동일한 수로경사에서 교대형상에 따른 세굴심의 크기는 직사각형, 타원형, 끝단을 깎아낸 직사각형, 예연형의 순서로 나타났다.
- (4) 교대의 정렬각도 θ 값이 증가할수록 최대 평형 세굴심도 증가하는 경향을 볼 수 있으며 그 증가폭은 둔화되었고, 수로경사가 급해질 수록 정렬각도의 영향은 더욱 크게 나타났다.

(5) 동일개도비를 갖는 교대에 대하여 최대세굴심은 정렬각도가 둔각(90° 이상)인 교대에서의 최대세굴심과 세굴폭이 예각(90° 이하)의 정렬각도보다 크게 나타났다.

참 고 문 헌

- 안상진, 김종섭, 김응용 (1992). "설계 적용을 위한 교각 세굴현상의 예측에 관한 기술적 수준." 충북대 건설기술논문집, 제11권, 제1호, pp. 135~152.
- Melville, B. W. (1992). "Local Scour at Bridge Abutment." *J. of Hydraulic Engineering*, Vol. 118, No. 4, ASCE, April, pp. 615~631.
- Ricky T. F., and Melville, B. W. (1994). "Local Scour and Flow Measurements at Bridge Abutment." *J. of Hydraulic Research*, Vol. 32., No. 5, pp. 661~673.
- 이성규 (1993). "교각에 미치는 Armouring 효과." 한국수문학회논문집, 한국수문학회, 제26권 제4호, pp. 107~118.
- Richardson, E. V., Harrison, L. J., Richardson, J. R., and Davis, S. R. (1993). "Evaluating Scour at Bridge." *Hydr. Engrg. Circular No. 18 (HEC-18)*, Fed. Hwy. Admin., V. S. Dept. of Transp., Washington, D. C.
- Melville, B. W. (1975). *Local Scour at Bridge Site*. Report School of Engineering, Univ. of Auckland, Auckland, New Zealand.
- (논문번호:99-002/접수:1999.01.25/심사완료:1999.04.27)