

압력흐름하의 교각 주위내 국부세굴의 변화

최계운* 안경수* ○권영석**

1. 서 론

하천에서의 세굴현상은 하천 내 유량과 유속증가로 인하여 발생하는 하상상승이나 하상하강작용, 자연 또는 인공적 작용에 의하여 단면이 수축되므로 발생하는 수축세굴, 교각설치등과 같이 국부적 변화에 따라 발생하는 국부세굴이 있으며 이중에서 하상상승이나 하상하강은 장기적 세굴로 수축세굴이나 국부세굴은 단기적 세굴로 구분할 수 있다. 하천 교각의 붕괴에 있어 그 주된 원인은 주로 단기적 세굴현상중 하나인 국부세굴에 의한 것으로서 교각주위에서의 많은 세굴연구가 주로 수중구조물 축조로 인하여 발생하는 국부세굴에 관하여 이루어졌다.

이러한 국부세굴현상에 대한 연구는 주로 실험실의 모형교각을 설치하고 실험을 실시하여 하상재료의 이동에 따른 세굴량의 변화를 예측하는 방법으로 진행되어 왔으며, 흐름은 거의 자유흐름에 한정되어 왔다. 그러나, 최근 들어 강우형태의 변화와 이에 따른 홍수형태가 크게 변화되고 홍수량 증가에 따라 교량상판을 월류하는 경우가 많이 있어, 이와 같은 경우에 발생하는 압력흐름에 있어서의 국부세굴심도는 자유흐름하에서의 국부세굴과 크게 다른 것으로 알려지고 있으나, 이에 대한 구체적 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 이와 같은 압력흐름하에서의 국부세굴의 변화를 검토하기 위하여 여러 가지 교각형태에 따른 압력흐름하의 교각 주위내 국부세굴을 실험적으로 검토하였다.

2. 모형실험장치

2.1. 하상재료의 선정

교각주위내 국부세굴실험에 사용되는 하상재료는 대개 현장에서 채취한 준설사나 토사를 그대로 사용하거나 상사법칙을 적용하여 축소된 하상재료를 이용하게 되는데, 이들 하상재료의 특성을 분석하는 것은 세굴에 관한 특성파악에 상당한 도움을 준다. 이와 같은 세굴현상 특성파악에 도움을 주는 인자로는 평균입경 (d_{50}), 균등계수 (C_u), 또는 곡률계수 (C_c) 및 기하학적 표준편차 ($\sigma_g \sqrt{(d_{84}/d_{16})}$)등이 있으며 이와 함께 비중도 중요한 요소로 사용된다. 본 실험에서 사용한 하상재료는 한강 최하류부에 위치한 김포대교 건설현장에서 준설된 하상토사중 일부를 사용하였다. 본 실험에 사용된 토사의 비중은 비중시험 6회의 평균치인 2.67의 결과를 얻었고, 6회의 입도분석시험결과, 평균입경 $d_{50}=0.529$ mm, 유효입경 $d_{10}=0.265$ mm 및 d_{60} , d_{30} 은 각각 0.606 mm, 0.400 mm로서 균등계수(C_u)는 2.287이고 곡률계수(C_c)는 0.996로 나타나고 있다. "Ettema"가 제안한 하상재료의 균등성에 대하여 살펴보면, 기하학적 표준편차의 값이 1.5이하 일 때 유사입자가 균등한 것

으로 표현하고 있는바, 본 하상재료는 기하학적 표준편차가 1.729로서 입도가 균등하지 않은 것으로 나타났다.

그림 1은 본 실험에서 사용된 하상재료의 입도분포곡선과 각 통과백분율에 따른 입경들을 보여주고 있다.

위와 같이 분석된 하상재료를 실험수로에 길이 6m, 높이 0.15m, 폭 0.4m로 포설하였으며 포설 구간 양쪽 끝단에는 완만한 경사를 가진 시멘트 지지단을 제작하여 설치하였다.

2.2. 실험수로 및 교각모형

본 실험에 사용된 모형 수로는 수로의 길이가 12m이며 폭과 높이가 각각 40cm이고 유량의 순환을 위한 펌프 및 송,배수관 그리고 상,하류부의 저수 및 유량공급탱크와 정사각형수의 3가지 부분으로 구성되어 있다. 모형수로는 하류부에 0~2%까지 경사를 조절할 수 있는 경사 조절 장치가 설치되어 있으며 수로 위에는 레일을 따라 움직이며 흐름의 저항을 최소화하기 위하여 지름이 4mm인 텅스텐 봉을 사용하고 상·하·좌·우 이동이 가능한 Point Gage가 있고, 수로 끝 부분에는 개폐가 가능한 수문이 설치되어 있다. 또한, 수로내의 흐름을 일정하게 하기 위하여 수로의 최상단 유량공급 탱크에 정류판을 4개 설치하고 중간 저수탱크에도 정류판을 3개 설치한 후 정류판 사이에는 텅스텐 조각을 채워 정류 효과를 최대화하였다. 그림 2는 본 논문에서 사용된 모형 수로의 개략도이다.

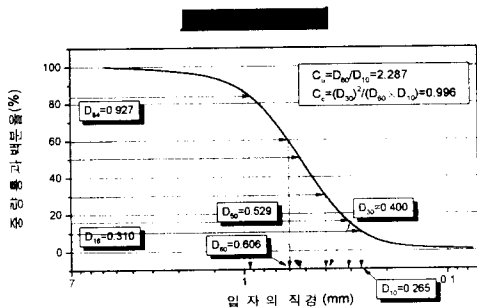


그림 1. 실험에 사용한 하상재료의 입도 분포 곡선

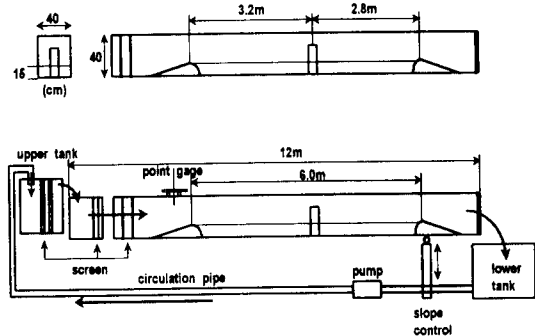


그림 2. 본 실험에서 사용된 모형 수로장치

또한 본 실험에 사용된 모형 교각과 상판은 아크릴을 사용하여 제작하였으며 교각 각 부위에서의 세굴심을 측정하기 위하여 눈금이 있는 스티커를 교각에 부착하여 비교적 정확한 측정이 되도록 하였다. 실험교각으로는 사각형 형태의 교각이 사용되었다.

3. 실험결과의 분석

본 세굴실험은 모형수로내 수위의 증가에 따른 자유흐름상태에서와 압력흐름상태에서의 세굴 양상과 최대세굴심을 비교, 검토하도록 수행되었으며 Fr수 및 수심에 따른 최대세굴심의 변화를

자유흐름상태와 압력흐름상태에서 검토하였다.

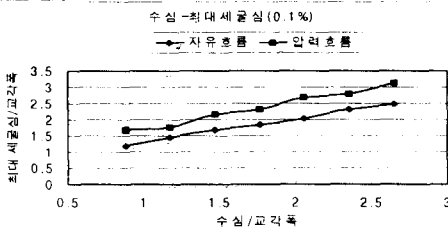


그림 3. 자유흐름과 압력흐름의 수심에 따른 최대세굴심 비교 (경사 0.1%)

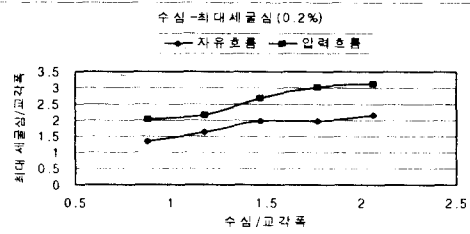


그림 4. 자유흐름과 압력흐름의 수심에 따른 최대세굴심 비교 (경사 0.2%)

그림 3은 하상경사가 0.1%의 경우에 수심변화에 따른 최대 세굴심의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 자유흐름상태에서의 최대세굴심도는 수심이 증가함에 따라 점차 증가하고 있으며 증가량은 거의 직선변화를 나타내고 있으며 압력흐름하에서는 수심이 증가함에 따라 증가폭은 커졌지만 자유흐름에 대한 증가율은 감소하고 있다.

그림 4는 하상경사가 0.2%의 경우에 수심변화에 따른 최대 세굴심의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 자유흐름상태에서의 최대세굴심도는 수심이 증가함에 따라 점차 증가하고 있으며, 압력흐름하에서는 수심이 증가함에 따라 증가폭과 자유흐름에 대한 증가율이 모두 커지고 있다.

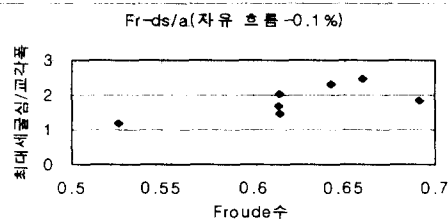


그림 5. Froude수에 따른 최대세굴심의 변화 (자유 흐름-0.1% 경사)

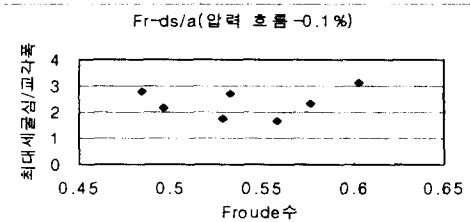


그림 6. Froude수에 따른 최대세굴심의 변화 (압력 흐름-0.1% 경사)

그림 5에서 보는 바와 같이 하상경사가 0.1%인 경우에는 Fr수가 0.45 ~ 0.7의 범위에서 Fr수가 증가함에 따라 최대세굴심이 점차 증가하고 있으며 어느정도 이상에서는 오히려 최대세굴심의 감소를 보인다. 그러나, 압력흐름하에서는 작은 Froude수에서 세굴심도가 커지다가 Froude수가 증가함에 따라 세굴심도는 작아지게 되고 Froude수가 어느정도 이상되면 세굴심도가 다시 증가하는 현상을 나타내고 있다.

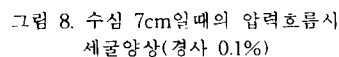
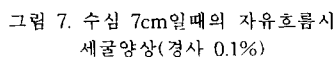
그림 7 ~ 그림 12는 0.1%의 수로에서 수심이 7cm, 8cm, 9cm 일때의 자유흐름과 압력흐름에서 발생한 세굴공의 형상을 등고선으로 보여주고 있는데, 그림에서 보는 바와 같이 하상경사를 0.1%로 같게 하였을 경우, 같은 수심에서 압력흐름인 경우의 최대세굴깊이가 자유흐름인 경우의 최대세굴깊이보다 더 깊어 일어남을 알 수 있다. 또한, 세굴형태도 두 경우가 크게 다르게 나타나

표 1은 하상경사가 0.1%일 때의 자유흐름과 압력흐름에서의 최대세굴심 비교와 압력흐름하에
서 자유흐름에 대한 최대세굴심의 증가치를 보여주고 있다.

수심/교각폭	자유흐름 (최대세굴깊이/교각폭)	압력흐름 (최대세굴깊이/교각폭)	증가치(%)
2.059	2.017	2.689	33.3
2.353	2.316	2.801	20.9
2.647	2.465	3.138	27.3

표 2는 하상경사가 0.2%일 때의 자유흐름과 압력흐름에서의 최대세굴심 비교와 압력흐름하에
서 자유흐름에 대한 최대세굴심의 증가치를 보여주고 있다.

수심/교각폭	자유흐름 (최대세굴깊이/교각폭)	압력흐름 (최대세굴깊이/교각폭)	증가치(%)
1.176	1.644	2.166	31.8
1.471	1.980	2.689	35.8
1.765	1.980	3.026	52.8



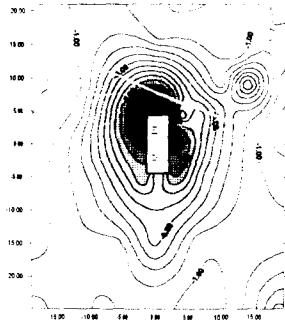


그림 9. 수심 8cm일때의 자유흐름시
세굴양상(경사 0.1%)

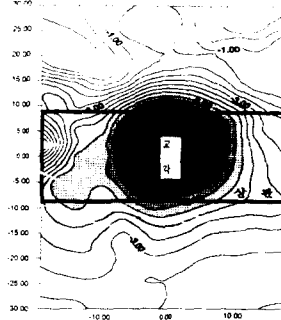


그림 10. 수심 8cm일때의 압력흐름시
세굴양상(경사 0.1%)

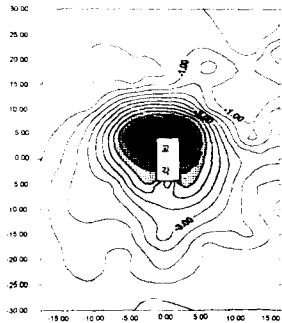


그림 11. 수심 9cm일때의 자유흐름시
세굴양상(경사 0.1%)

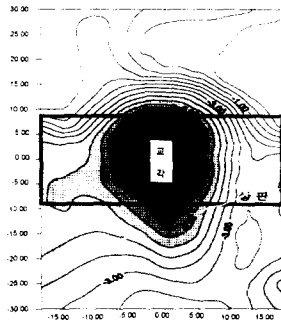


그림 12. 수심 9cm일때의 압력흐름시
세굴양상(경사 0.1%)

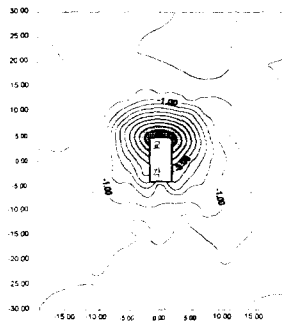


그림 13. 수심 4cm일때의 자유흐름시
세굴양상(경사 0.2%)

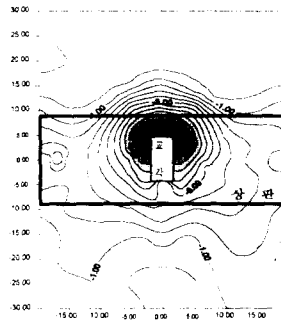


그림 14. 수심 4cm일때의 압력흐름시
세굴양상(경사 0.2%)

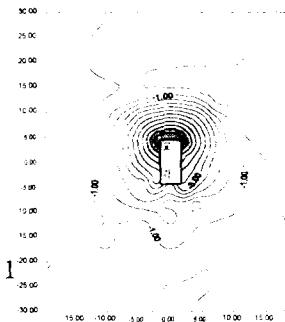


그림 15. 수심 5cm일때의 자유흐름시
세굴양상(경사 0.2%)

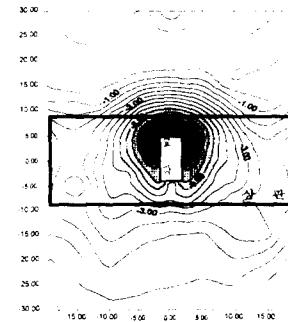


그림 16. 수심 5cm일때의 압력흐름시
세굴양상(경사 0.2%)

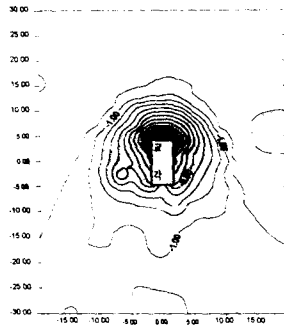


그림 17. 수심 6cm일때의 자유흐름시
세굴양상(경사 0.2%)

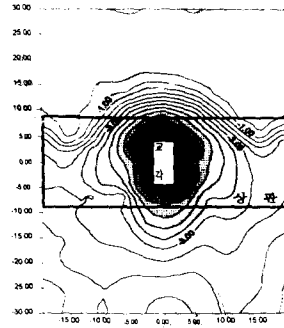


그림 18. 수심 6cm일때의 압력흐름시
세굴양상(경사 0.2%)

4. 결 론

본 논문에서는 자유흐름에서와 압력흐름에서의 세굴양상 및 최대세굴심에 관한 실험을 수행하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째로, 직사각형교각에 대하여 압력흐름하에서의 세굴양상실험을 실시한 결과 수심이 증가할수록 세굴심도가 증가하였으며 자유흐름에 비하여 세굴폭 및 세굴심도가 크게 증가하였다.

둘째로, Froude수가 0.45 ~ 0.7의 경우 압력흐름하에서의 최대 세굴심도는 자유흐름에 비하여 20% ~ 50% 증가하였다.

셋째로, 기존 교각의 안정성 검토시나 교각 주위내 보호공 설치등에 있어서는 수면이 상판에 이르거나 월류하는 경우를 반드시 검토하여, 이를 고려한 세굴검토가 필요하다.

넷째로, 새로운 교각설치시 압력 흐름여부를 판단하여 기존 세굴공식 적용에 주의를 요한다.

참 고 문 헌

1. Abed L. M., "Local Scour around Bridge Piers in Pressure Flow", Ph. D. Dissertation, Colorado State Univ., Collins Co., 1991.
2. FHWA, "Evaluating Scour at Bridges", Hydraulic Engineering Circular No. 18, Third Edition, 1995.
3. Ettema. R., "Scour at Bridge Piers", Report No. 216, Dept of Civil Engineering, Univ., of Auckland, New Zealand.
4. 김기형, "점착성 하상재료를 가진 수로내 교각형상에 따른 국부세굴변화", 인천대학교 토목공학과, 1997.
5. 오정희, "Y-형 교각에서의 세굴심도 및 배후하상변화에 관한 실험적 연구", 인천대학교 토목공학과, 1996.