

# 흐름특성과 하상특성을 동시에 고려한 교량세굴심 산정에 관한 연구

○최종석\*, 여운광\*\*, 이종국\*\*\*

## 1. 서 론

본 연구에서는 하상이 단단한 지질구조로 이루어진 하상조건에서의 실제적인 세굴현상을 파악하기 위해 실시간 교량세굴 모니터링 시스템을 설치하여 홍수시의 세굴심을 측정하였다. 또한, 홍수 전·후의 지반구조를 측정할 수 있는 GPR(Ground Penetrating Radar)탐사를 통하여 홍수로 인한 세굴가능성을 면밀히 파악하였다. 이와 같은 연구과정을 통해 지질구조에 따른 세굴심 산정공식의 적용성 여부를 판단하였고 하상특성과 흐름특성이 동시에 고려된 실제적인 세굴의 영향을 평가하였다.

## 2. 대상 지역 및 교량세굴 계측시스템 설치

본 연구의 대상지역은 그림1과 같이 강동대교와 천호대교 사이의 만곡부에 위치하여 흐름의 방향이 급변하는 구간으로 교각의 가설시 하상 및 교각과 인접한 호안에 세굴의 발생가능성이 대두되는 지역이다. 실제로 '천호대교-토평리간 도로건설 실시설계 종합보고서' (1996. 서울특별시 종합건설본부)에 의하면 한강 설계홍수량 37,000CMS 유입시 세굴심 산정공식에 의한 계산결과는 4.08m ~ 7.92m의 세굴이 발생할 것으로 예측되었다. 그러나 그림2에 나타난 대상지역의 시추주상도를 토대로 분석한 결과 하상지질은 지층의 표면부로부터 풍화암이나 연암이 잘 발달되어진 비교적 단단한 지질구조를 가지고 있어서 지반의 상태를 적절하게 고려하지 않은 채 단순히 세굴심 산정공식으로부터 추정된 값을 적용하여 대상지역의 세굴현상을 판단하기에는 어려움이 있을 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구에서는 상류로부터 유입되는 흐름이 만곡부에 영향에 의해 변화가 발생할 것으로 예상되는 P29지점과 호안으로 유입된 흐름이 유출되는 지역인 P7, 한강본류의 흐름을 직접적으로 접하는 지점인 RAMP A구간에 실시간으로 교량세굴을 측정할 수 있는 시스템을 설치하여 홍수시의 세굴심을 측정하였으며, 교각의 개수가 2개에서 4개로 증가하면서 호안부의 통수단면이 급격히 변하는 P16과 P18에는 그림3과 같이 교량세굴 측정센서와 유속계(Argonaut-SL)를 한 시스템으로 설치하여 세굴의 발생여부와 유속의 변화를 관측하였다.

## 3. 실시간 교량세굴 계측 자료분석

대상구간에서의 교량세굴심 측정은 2002년 8월 1일부터 ~ 2002년 9월 30일까지 실시하였다. 측정기간 중 홍수는 게릴라성 집중호우의 영향으로 발생하였다. 한강의 수위도 2002년 8월 6일부터 점차 상승하여 8월 7일 오후 6시경 최고수위 14.36m (P16), 최대유량은 팔당댐 방류량을 기준으로 23,486CMS(팔당 수력발전소)를 기록하였다. 23,486CMS는 한강의 계획홍수량 37,000CMS에는 못 미치지만 실제 하천을 대상으로 실시할 수 있는 실시간 교량세굴모니터링 측면에서 세굴의 거동양상을 충분히 파악할 수 있는 유량이라 판단된다.

\* 명지대학교 토목·환경공학과 석사졸업

\*\* 명지대학교 토목·환경공학과 교수

\*\*\* (주)DATAPCS 대표이사

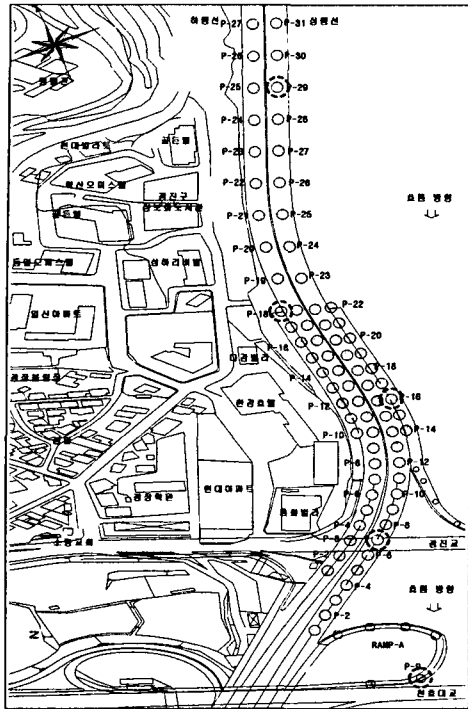


그림1 대상지역

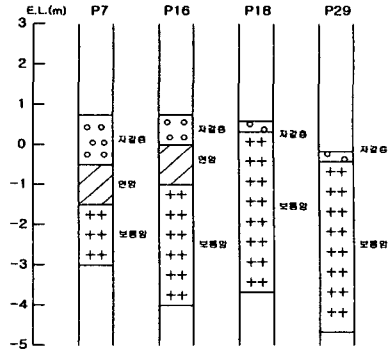


그림2 관측지점의 시추주상도

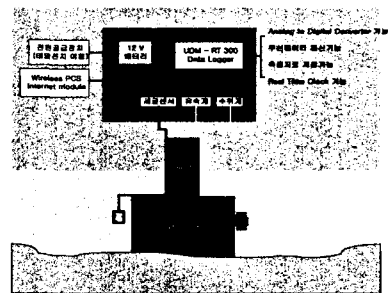
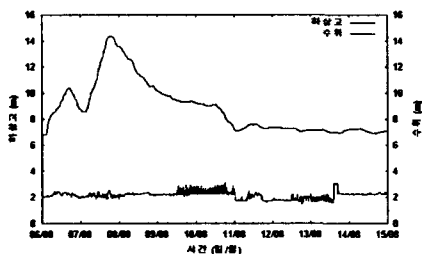


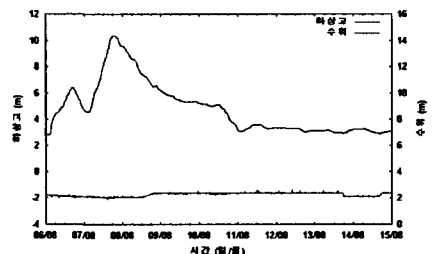
그림3 교량세굴 모니터링 시스템 설치도

그림4는 홍수기간이었던 8월 6일 ~ 8월 15일 기간동안 P7과 P29에서의 수위변화에 따른 세굴심변화를 나타낸 것이다. 그림4에서 관측된 것처럼 수위가 최대로 상승했던 8월 7일을 전·후로 유의할만한 세굴심의 변화는 발생하지 않았다. 다만, 수위가 하강하여 소강상태로 접어드는 8월 11일 자료를 살펴보면 P7에서 약 50cm의 세굴심변화가 관측되는데 이것은 센서 하상안정에 관련되어 나타나는 현상으로 그림3의 시추주상도에서 볼 수 있듯이 주변부 반사면의 일시적인 변화에 따라 나타나는 변화라 판단된다.

그림 5는 P16과 P18에서의 유속변화에 따른 세굴심변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 유속의 변화는 수위의 변화와 같은 분포를 보이고 있다. 홍수기간 중 최대유속은 P16의 경우 약 1.4m/s, P18은 약 1.0m/s로 측정되었으며 이 때의 세굴심은 변화 없이 일정한 경향을 나타내는 것으로 관측되었다. 이것은 최대유속이 발생하는 시점에서 세굴이 발생하지 않았다는 것을 의미한다.

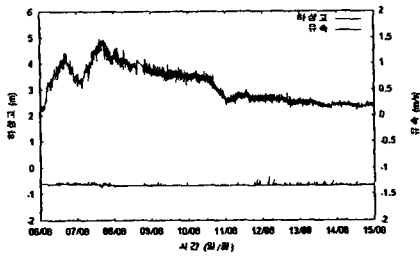


a) P7에서의 수위-세굴심 변화

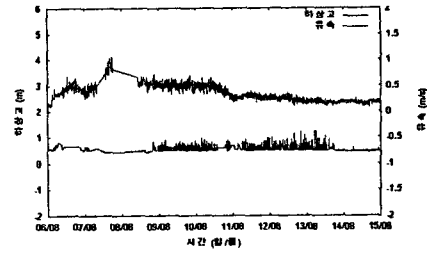


b) P29에서의 수위-세굴심 변화

그림4 측정지점에서의 수위-세굴심 변화 (P7, P29)



a) P16에서의 유속-세굴심 변화

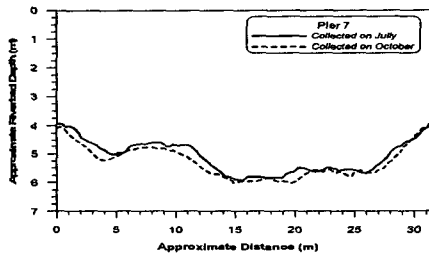


b) P18에서의 유속-세굴심 변화

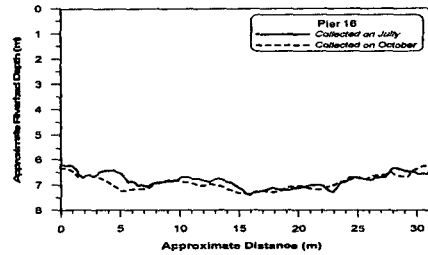
그림5 측정지점에서의 유속-세굴심 변화 (P16, P18)

#### 4. GPR(Ground Penetrating Radar) 탐사결과

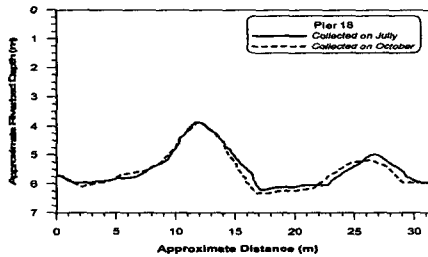
본 연구에서는 대상구간의 실시간 교량세굴심 측정결과를 검증하기 위하여 GPR탐사기법을 사용하였다. 탐사는 보트와 GPR 보조장비를 이용하여 세굴센서가 설치되어 있는 5개 교각의 우물통 주변을 홍수 전·후인 2002년 7월과 10월에 걸쳐 실시하였다.



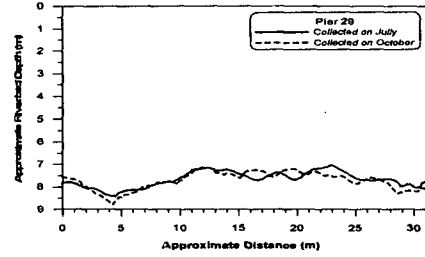
a) P7에서의 GPR 탐사결과



b) P16에서의 GPR 탐사결과



c) P18에서의 GPR 탐사결과



d) P29에서의 GPR 탐사결과

그림6 홍수 전·후의 GPR탐사결과

관측결과, 그림6에서 나타나는 것처럼 홍수를 전·후로 한 센서설치지점의 하상고는 변화하지 않았으며 전체적인 하상의 변화는 50cm 안팎으로 관측되었다. 그러나 이것은 유수의 흐름에 의한 세굴이나 퇴적에 의한 것이 아니라 홍수 전·후의 탐사위치가 약간씩 달라져서 발생하는 차이라고 판단된다. 그 이유로는 GPR 측정 시 안테나를 수중으로 삽입하는 과정에서 홍수 전·후의 측정위치나 안테나의 방향 및 각도가 정확히 일치하기 않기 때문이다. 이러한 어려운 조건에도 불구하고 얻어진 자료는 세굴에 의한 교량기초의 변화가 유의할 만한 수준, 즉 1m 이상의 구조적인 변화는 전혀 보여주고 있지 않아 실시간 교량세굴 모니터링 관측결과와 같은 경향을 나타냄을 확인할 수 있다.

## 5. 세굴심 산정공식의 적용성 검토

본 연구에서는 ‘천호대교-토평리간 도로건설 실시계획 종합보고서’(1996. 서울특별시 종합건설본부)에 적용되었던 세굴심 산정공식을 이용하여 이번 홍수시 발생한 실측홍수량 23,486CMS에서의 세굴심을 예측하였으며, 실측치간의 비교/검토를 수행하였다. 그림6은 세굴심 산정공식을 이용하여 계산된 결과를 측정치와 비교하여 도시한 것이다. 계산결과 본 대상지역에서는 이번 발생한 홍수량 23,486CMS에서 최대 3.5m, 최저 2.63m 가 세굴될 것으로 예측되었으나 실제적으로는 0.1m 미만의 아주 미미한 변화만이 관측되었다. 이러한 결과는 세굴심 산정공식이 단단한 지반으로 이루어진 대상구간의 지질특성을 제대로 반영하지 못하여 나타나는 현상으로 판단된다.

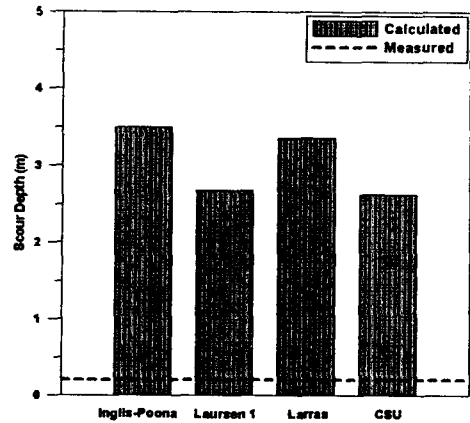


그림7 측정치와 결과치의 비교

## 6. 결 론

본 연구에서는 실시간 교량세굴 모니터링 시스템을 이용하여 홍수시 교량세굴심을 직접 측정하였으며 측정된 결과를 세굴심 산정공식의 계산치와 비교하여 적용성 여부를 검토하였다. 또한 홍수 전·후의 지반구조를 측정할 수 있는 GPR탐사를 실시하여 실시간 교량세굴 모니터링의 결과를 검증하였다.

관측기간 중 최대 유량은 약 23,486CMS를 기록하였으며 이러한 조건에서의 세굴심 산정공식을 토대로 평가한 결과 2.63 ~ 3.5m의 세굴이 발생할 것으로 예측되었다. 그러나 실제로는 세굴심 산정공식에 의한 당초 예상과는 달리 홍수시에도 세굴현상에 의한 직접적인 하상의 변화는 관측되지 않았다. 이와 같이 세굴심 산정공식의 계산치와 실측치간의 차이는 다음과 같은 몇 가지 이유에 기인한 것으로 판단된다.

첫째로, 기존에 사용되는 세굴심 산정공식의 대부분이 흐름과 교각의 특성만을 고려하여 개발되었으며 하상의 지질상태를 고려한 몇몇의 세굴심 산정공식이라 할지라도 하상표면 입자들의 이탈착이 자유로운 하상 조건에서 개발되었으므로 하상이 단단한 지질구조로 이루어진 지반에 적용하기에는 무리가 있기 때문이다.

둘째로, 세굴심 산정공식에 적용하기 위한 흐름인자를 추출하는 과정에서 대상구간의 실제적인 흐름특성을 제대로 반영하지 못하였기 때문이다.

따라서 세굴심 산정공식을 사용할 경우에는 대상지역의 흐름특성과 지질상태를 제대로 파악하여 반영하여야 하며, 세굴의 영향을 실제로 평가하기 위해서는 실시간 현장측정을 수행하는 것이 가장 효과적인 방법이라 판단된다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 1-1-1)에 의해 수행되었습니다.

## 7. 참 고 문 헌

FHWA (1993), "Evaluating Scour at Bridge", Hydraulic Engineering Circular, No. 18, Second Edition

Melville, B.W., (1999), "Bridge Scour", Water Resources Publication, LLC, pp.19

강준구 (2002). "실시간 교량세굴 관측 시스템의 개발 및 적용", 명지대학교, 공학박사학위논문

명지대학교 (1999). "한남대교 교각 기초주변의 세굴깊이 측정 및 현장 모니터링에 관한 보고서"

여운광 등, (2000), "실시간 교량세굴 관측을 통한 세굴현상 분석 및 수치해석을 이용한 최대 세굴심 비교",

한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp.579~585