

HEC-18 을 이용한 교각주위에서의 국부세굴심도 산정

오정희*, 최계운**, 안경수**

1. 서 론

교각주위에서의 세굴이란 교각설치에 의한 흐름의 간섭 때문에 일어나는 하상변화이다. 설치된 교각은 흐름을 가속시키고, 가속화된 흐름은渦流(vortex)를 발생시키며, 이로 인한 교각주위에서의 세굴은 교량의 안전에 상당히 큰 영향을 끼친다. 일반적으로 하상상승(aggradation)과 하상하강(degradation), 수축세굴(contraction scour) 및 국부세굴(local scour)등 3가지 형태의 세굴이 알려져 있는데 교각주위에서의 세굴은 주로 국부세굴이 지배하는 것으로 알려져 있다.

그동안 교각주위에서의 세굴심도의 산정을 위한 공식은 Neill(1964), Laursen(1956, 1958, 1962), C.S.U.(1975), Froehlich(1987)등 여러 연구자들에 의하여 제안된 수십 여개의 공식이 존재하고 있다. 그러나, 이와같은 공식들을 적용하여 실제 하천내 교각주위에서의 세굴심도를 산정한 결과 그 편차가 상당히 크게 나타나고 있다(안상진 등, 1993).

미연방도로국(FHWA)에서는 그와같은 차이로 인하여 세굴심도가 과소 또는 과대 추정되는 문제점의 해소뿐만아니라 현장에서의 세굴조사, 세굴방지대책 수립등을 위한 지침서로 HEC-18 (Hydraulic Engineering Circular No.18)을 발간하였다. 본 논문에서는 HEC-18을 이용하여 한강 반포대교 교각주위에서의 세굴심도를 산정하였으며, HEC-18에서 추천된 C.S.U.공식을 이용한 HY-9과 비교적 많이 사용되는 Laursen 공식, Jain과 Fischer 공식, Shen 공식, Breusers 공식 및 Froehlich 공식을 사용한 세굴심도계산 결과를 비교하였다.

* 인천대학교 토목공학과 석사과정

** 인천대학교 토목공학과 교수

2. HEC-18 의 주요 구성 요소

HEC-18은 교량설치로 인한 세굴문제를 해석하고 평가하기 위하여 그림 1 에서 보는 바와 같이 크게 5부분의 각기 다른 목적을 중심으로 구성되어 있다.

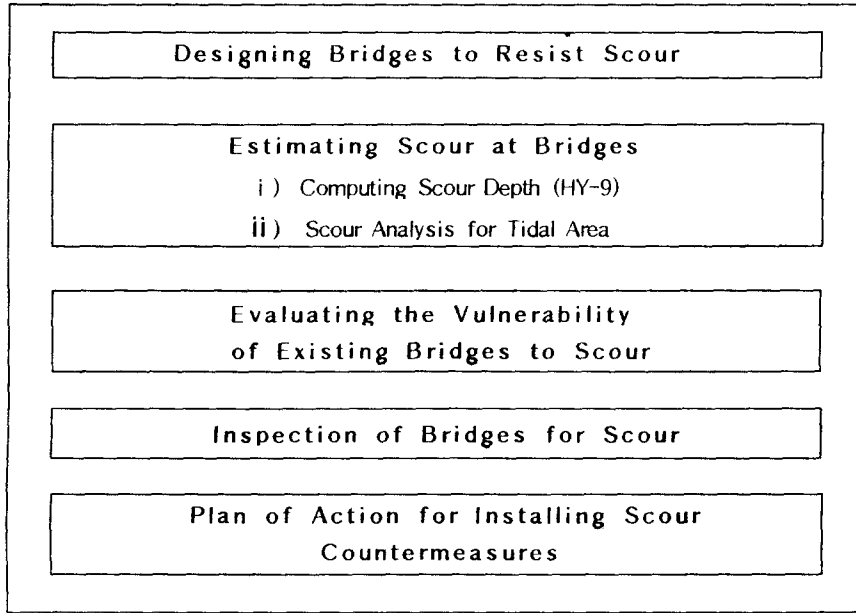


그림 1. HEC-18의 주요구성요소

그림 1에서 보는바와 같이 HEC-18에서는 첫째로, 세굴문제를 발생시키지 않는 안정적인 교량 설계 부분을 다루고 있으며 이 부분에 있어서는 8단계를 거쳐 세굴에 대하여 검토하도록 권장하고 있고, 교각 및 교대등에 대하여도 구체적인 검토를 통하여 교량을 설계하도록 제안하고 있다. 둘째로, 교량 설치로 인한 세굴예측은 세굴 해석 변수 결정으로부터 총 세굴심도의 그래픽화까지 7단계를 거쳐 실시하도록 제안하고 있으며 조석(Tidal)영향이 없는 지역에서의 세굴깊이 결정을 위한 프로그램으로 HY-9프로그램을 제안하고 있다. 또한, 조석영향을 받는 지역에서의 세굴 해석을 위하여 조석영향 결정, 교량설치로 인한 세굴량산정등 3단계를 거쳐 세굴심도를 산정하도록 하고 있다. 셋째로 기존교량의 세굴에 의한 위험성 평가는 위험성 정도의 평가, 홍수에 의한 교량

의 손상잠재성 평가등 5단계를 거쳐 세굴위험성에 대하여 평가한 후 구체적으로 수면계산, 장기간 동안의 단면상승 및 하강계산, 수축세굴, 교각 및 교대의 세굴등을 계산한 후 세굴에 대한 평가를 기록하도록 제안하고 있다. 넷째로, 세굴에 대한 교량검사는 하부구조평가, 교량에서의 잠재적인 세굴량 평가, 하부조사등을 거쳐 수행하도록 제안하고 있다. 다섯째로, 세굴에 대한 구체적인 대책수립에 대하여는 일반적으로 세굴대책에 대한 계획을 수립한 후 구조적으로 가능한 대책들을 제시하고 이를 사용하여 세굴에 대한 구체적인 대책을 수립하도록 제안하고 있다.

3. HEC-18 에서 제안된 교각 주위에서의 국부세굴공식

HEC-18에서는 1983년 FHWA에서 실시한 세굴심도 비교분석 결과등을 토대로 최종적으로 교각주위에서의 세굴심도 산정을 위하여 식 (1)과 같은 C.S.U.공식을 사용하도록 제안하고 있다.

$$\frac{d_s}{b} = 2.0K_1K_2K_3\left(\frac{y}{b}\right)^{0.35} F_r^{0.43}$$

(1)

여기에서 $d_s, y, b, K_1, K_2, K_3, F_r$ 는 각각 세굴심, 교각접근수심, 교각의 폭, 교각형상보정계수, 흐름접근각도에 대한 보정계수, 하상조건보정계수, 교각부근의 Froude 수를 나타낸다. 또한 HEC-18에서는 이와같은 C.S.U.공식을 이용한 세굴량 계산을 위하여 HY-9 프로그램을 이용하도록 하고 있다. 본 논문에서는 HY-9 프로그램에 의한 국부세굴심도 계산결과와 비교하기 위하여 비교적 널리 사용되고 있는 아래와 같은 5개의 공식을 추가로 선정하였다.

$$d_s = 1.5K_2b^{0.7}y^{0.3} \quad (2)$$

$$\frac{d_s}{y} = 1.4\left(\frac{b}{y}\right) \quad (3)$$

$$\frac{d_s}{b} = 1.84\left(\frac{y}{b}\right)^{0.3} F_r^{0.25} \quad (4)$$

$$\frac{d_s}{b} = 3.4(F_r)^{0.67} \quad (5)$$

$$\frac{d_s}{b} = 0.32K_1 \left(\frac{b}{b'}\right)^{0.62} \left(\frac{y}{b}\right)^{0.46} F_r^{0.2} \left(\frac{b}{D_{50}}\right)^{0.08} + 1 \quad (6)$$

식 (2), (3), (4), (5), (6)은 각각 Laursen(1956), Breusers(1964), Jain & Fischer(1980), Shen(1969), Froehlich(1987)의 공식이며 D_{50} , b' 는 각각 하상재료의 50%가 통과되는 체의 크기, 교각의 투영길이를 나타낸다.

4. 대상교각에 대한 적용 및 분석

교각주위에서의 국부세굴심도를 산정하기 위하여 한강유역내 한강대교 지점으로부터 상류측 35개 단면에 대하여 최대홍수량 $Q=15,000, 20,000, 25,000, 30,000, 37000\text{m}^3/\text{sec}$ 에 대한 수면계산을 실시하여 각 교량에 대한 접근유속 및 접근수심을 산정하였으며, 산정된 접근유속은 각각 2.25, 2.5, 2.69, 2.89, 3.11m/s, Froude수는 각각 0.24, 0.24, 0.25, 0.25, 0.26 이었다. 이와 같이 산정된 수리자료를 기초로하여 HY-9 프로그램을 이용하여 교각 주위에서의 국부세굴량을 산정하였는 바, 이때 이용된 하상재료는 현재 시공중인 한강하류부 김포대교 지점에서 채취한 하상재료 분석결과를 그대로 활용하였으며, 구체적으로는 $d_{50} = 0.7\text{mm}$, $d_{84} = 50\text{mm}$ 을 이용하였다. 또한 교량자료는 한강교량안전관리 실시설계 종합보고서(서울특별시, 1987)를 이용하였으며 이때 사용된 반포대교 교각의 폭은 1.6m, 길이 25m(21.5m간격을 가진 교각 2개의 연결된 길이)이고, 기초폭 5m, 기초깊이 14m, 수정계수 K_1, K_2, K_3 는 각각 1.0, 1.0, 1.2를 사용하였다. 표 1 은 HY-9 프로그램 및 Laursen, Breusers, Jain & Fischer, Shen, Froehlich등 총 6개의 공식을 사용하여 5개의 홍수량에 대한 세굴심도계산 결과를 보여주고 있으며 그림 2는 이를 그래프로 보여주고 있다.

표 1. 각 교각세굴공식들의 계획홍수량별 세굴심도 비교

Q (CMS)	15,000	20,000	25,000	30,000	37,000
Formular					
Laursen	4.37	4.53	4.66	4.77	4.90
Breusers	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
HY-9	3.35	3.35	3.66	3.66	3.96
Jain & Fischer	2.06	2.13	2.26	2.31	2.44
ShenIII	2.09	2.09	2.15	2.15	2.21
Froehlich	6.95	7.16	7.37	7.51	7.73

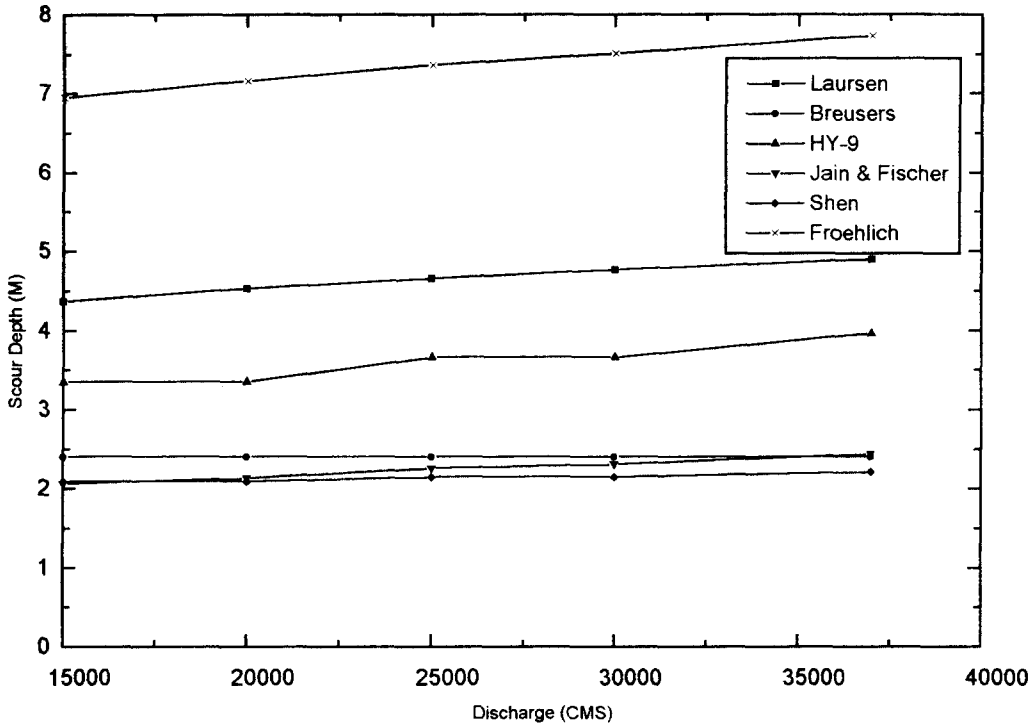


그림 2. 각 공식을 이용한 교각 주위에서의 국부세굴심도의 비교

그림 2에서 보는 바와 같이 HY-9을 사용하여 추정된 국부세굴심도는 최대홍수량 37,000m³/sec일 때 약 4m에 이르고 있다. 또한 HY-9을 이용하여 계산된 국부세굴심도는 Breusers 공식, Jain과 Fischer 공식, Shen 공식보다는 큰 값을 유지하나 Froehlich 공식이나 Laursen 공식을 이용한 결과보다는 작은 값을 나타내고 있다.

5. 결론

본 논문에서 HEC-18을 이용하여 하천내 교량설치로 인한 국부세굴심도를 산정하였다. HEC-18은 세굴문제를 발생시키지 않는 안정적인 교량설계부분, 교량설치로 인한 세굴예측, 기존 교량의 세굴에 대한 위험성 평가, 세굴에 대한 교량점사, 세굴에 대한 구체적인 대책수립등 크게 5부분으로 구성되어 있다. 특히, 교각 주위에서의 국부세굴심도 산정을 위하여는 C.S.U. 공식에 기초한 HY-9 프로그램을 이용하여 한강 반포대교 교각 주위에서 홍수량 15,000, 20,000, 25,000, 30,000,

37,000m³/sec일때의 국부세굴심도를 산정한 결과 3.35~3.96m에 이르는 것으로 나타났다. HY-9 프로그램을 이용한 국부세굴심도와 Laursen 공식, Breusers 공식, Jain과 Fischer 공식, Shen 공식, Froehlich 공식을 이용한 국부세굴심도를 비교한 결과 HY-9을 사용하여 추정된 국부세굴심도를 Breusers, Jain과 Fischer, Shen 공식보다는 큰 세굴심도를 나타내나 Froehlich 공식이나 Laursen 공식을 이용한 결과보다는 작은 값을 나타낸다.

물론, HEC-18에서 제안된 HY-9 프로그램을 이용한 국부세굴심도는 미국내에서 여러 실측결과 등을 통하여 검증된 것으로 알려져 있으며 국내의 경우에도 이와같은 결과를 토대로 검증단계를 거치는 것이 바람직 한 것으로 판단된다.

6. 참고문헌

1. Ettema, R (1980), Scour at Bridge Piers, University of Auckland, New Zealand
2. FHWA (1988), Interim Procedures for Evaluating Scour at Bridge, US, Dept. of Transportation
3. Laursen, E.M. and A. Toch A. (1953), A Generalized Model Study of Scour around Bridges Piers and Abutments, Proc. IAHR
4. Laursen, E.M. (1980), Predicting Scour at Bridge Piers and Abutments, General Report No.3, Engineering Experiment Station, Univ of Arizona, Arizona
5. Melville, B.W (1975), Local Scour at Bridge Sites, University of Auckland, New Zealand
6. Richardson, E.V. et al. (1993), Evaluating Scour at Bridges, Second Edition, Hydraulic Engineering Circular No. 18, Federal Highway Administration, Virginia
7. Shen, H.W., V.R. Schneider, S. Karaki (1984), Local Scour around Bridge Piers, Jour. of Hydraulics Division, ASCE
8. 서울특별시 (1983), 한강종합개발 기본 계획보고서
9. 서울특별시 (1987), 한강교량안전관리 실시설계종합보고서
10. 安相鎭, 崔桂滢, 金宗燮, 安昌鎭 (1993), 報青川內 橋脚設置에 따른 局部洗掘深度의 算定, 대한토목학회지 논문집, 제13권 제3호, pp.93-105