

인공수초에 의한 세굴방지에 대한 연구

Scour Depth Reduction by Vegetations

○윤태훈¹⁾, 신용진²⁾

1. 서론

현대에 들어서면서 인구의 폭발적인 증가와 그에 따른 물량 수송의 발달이 급진전 되었다. 그래서, 교량에 대한 연구와 그 유지, 보수에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다. 그러나, 그 동안의 연구는 주로 교량의 상부구조에 관한 연구가 대부분을 이루고 있었다. 교량의 상부구조는 일반적으로 노후와 손상의 정도를 쉽게 알 수 있고, 그 붕괴에 대한 불안감을 심어주게 되기 때문에 연구가 더 진전되어져 왔다. 반면에 수중의 구조에 대한 연구는 근래에 들어서면서 이루어졌다.

교량의 수중 구조는 주로 피어나 기초이다. 세굴은 흐름의 영향으로 인하여 하상의 물질들이 침식작용을 받아 제거되어 지는 현상으로서 일반적인 경우 그 시간이 비교적 장시간에 걸쳐 누적되어 진다. 따라서, 세굴에 대한 대책도 근래에 들어서면서 연구되고 있는 실정이다. 기존의 세굴방지에 대한 연구로는 돌망태공이나 콘크리트 블록공, 사석보호공 등이 있다.

본 연구에서는 기존의 이러한 세굴방지방법과 달리 수초에 의한 세굴방지방법을 제안하고자 한다. 인공수초를 이용한 세굴방지에 대한 연구는 실험 및 연구가 거의 없는 실정이다. 따라서, 자연 친화의 중요성이 대두되어지고 있는 요즘 자연과 가장 친화적인 방법이 될 본 연구를 행함은 큰 의의가 있다할 수 있겠다. 따라서, 본 실험은 세굴을 방지할 수 있는 방법으로 인공 수초를 사용함으로써 그 효과를 알아보고자 한다.

2. 본론

2.1 실험 개요

기존의 수초에 대한 연구는 대부분이 하천의 고수부지나 홍수터에서 수초에 의한 흐름의 변화를 연구한 것이다. 본 연구의 목적은 수초에 의한 흐름의 변화와 세굴방지공으로서의 수초의 효율성과 실용성을 판단하는 것이다. 실험시의 변수로는 수초의 키와 폭, 유속 및 교각과 수초와의 거리, 수초의 밀도와 수초의 매설길이 등이다. 실제의 수초를 사용하여 실험할 수는 없는 관계로 인공으로 수초와 비슷한 역할을 기대할 수 있는 재료를 찾아서 실험하였다. 실험에 사용된 인공수초는 폴리 에스테르로서 얇은 천과 같은 모형으로 독립적으로 임의의 길이에 대해서 있을 수 있는 것으로서 물을 흡수하지 않는 재료를 선택하였다. 그리고 흐름에 따라 유동적이어야 하므로 유연한 재료가 선택되었다.

본 연구에서는 이러한 인공의 수초를 사용하여 세굴 실험을 행하였으며, 그 변수로는 수초의 매설길이로서 최대 세굴심을 비교하였다. 실험 시간은 4시간으로 정하였으며, 이것은 남궁돈(1997)에 기초하여 4시간의 세굴이 장시간 세굴(12시간)과 비교하여 5%미만의 오차를 보인 것에 기초하여 결정하였다.

2.2 인공 수초

본 연구에 사용할 인공 수초는 폴리 에스테르로서 1mm보다 작은 간격으로 잘라낸 후 아크릴 판 사이에

1) 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
2) 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

6cm당 10개를 심어 앞의 수초와 뒤의 수초가 서로 엇갈리게 붙였다. 수초의 키는 7cm로서 3cm는 아크릴 판에 붙게 되어있고, 나머지 4cm 중에 1cm를 수로의 바닥에 묻었다. 따라서, 표면적인 수초의 키는 3cm이다. 수심을 15cm로 잡았으므로, 수초의 길이와 밀도로 인한 통수 단면적의 감소는 없다고 간주할 수 있다. 인공수초는 자연수초와 비교하여 그 유연도와 강성이 비슷한 재료를 선정하였다.

인공수초는 10개씩 30개를 심은 것을 하나의 단위로 사용하였으며 각각은 따로 심을 수 있게하여 매설길이(L)를 조절하는데 편리하게 하였다. 그림 1은 제작된 인공수초의 모습을 형상화 한 것이다.

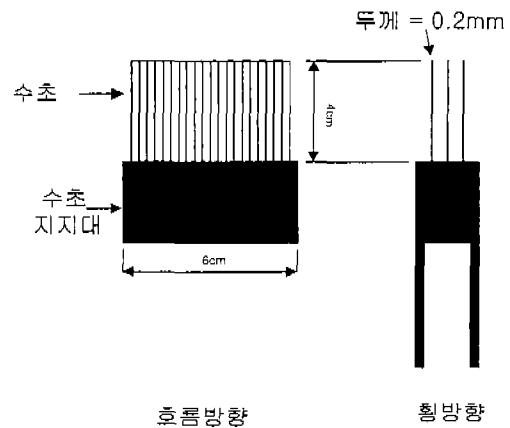


그림 1 인공 수초의 모습

2.3 실험 방법

본 연구에서는 수초의 매설길이의 변화에 따른 최대 세굴심의 변화와 최대 세굴심의 발생시의 주위 유속의 변화를 관찰하였으며, 수초와 교각과의 거리를 조절하여 각각의 최적 매설길이를 찾아냈으며 다음과 같은 순서로 진행되었다.

1) 우선 교각만의 실험을 행하여 최대 세굴심과 유속을 측정하였다. 실험수로의 모형도와 각각의 측정점 그림 2과 그림 4에 나타냈다.

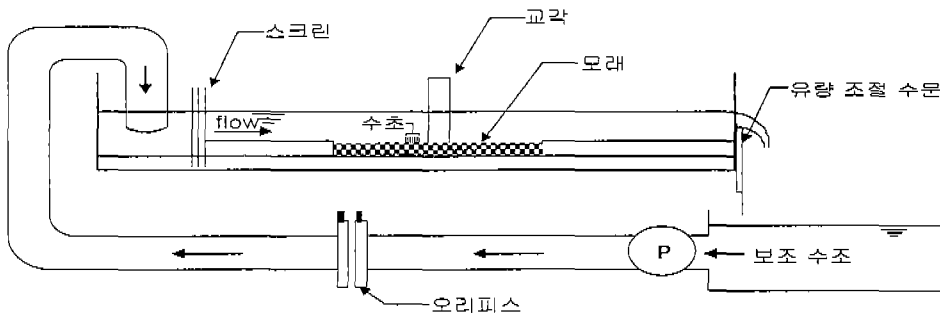


그림 2 수로의 개략적 모형

2) 인공수초의 매설은 교각의 직경($b=5\text{cm}$)에 대해 거리(R)에 첫 번째 수초를 심고 하나의 판이 1.1cm 이므로 3개를 매설하여 3.3cm 부터 11cm , 12.1cm 까지 2개, 2.2cm 단위로 늘려가면서 측정하였다. 초기 유량을 적게 하여 초기 흐름의 영향에 의한 세굴의 영향을 최소화 하였다. 수심이 15cm 가 될 때까지 서서히 유량을 증가시켜 나갔다. 각각의 실험은 4시간동안 행하여 졌으며, 실험 후 결과를 교각만 설치하여 실험한 값과 비교하였다.

3) 인공수초와 교각과의 거리(R)에 대하여 적정 수초 길이가 어떻게 변화하는지와 수초의 적정 매설길이의 범위를 알아보기 위해 R 을 교각의 직경의 $1.6b$, $1.4b$, $1b$, $0.8b$, $0.6b$ 까지 실험하였으며 각각의 경우에 대해 적정의 L 을 결정할 수 있었다.

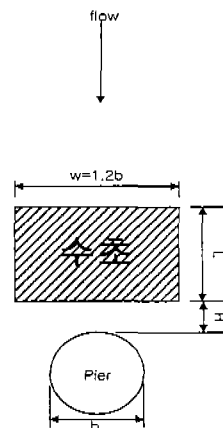


그림 3. 인공 수초의 매설모습

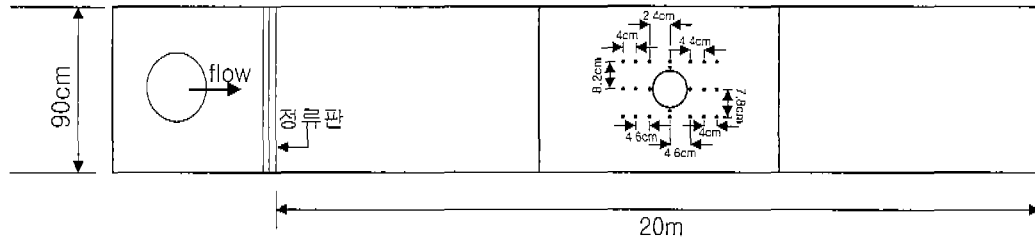


그림 4 세굴심의 측정을 위한 측정

2.4 실험 결과

2.4.1 세굴심의 실험 결과 비교

각각의 매설길이에 대해 유속과 수심의 변화를 없이하고 같은 방법으로 실험하여 그 결과를 교각만 설치하여 실험한 세굴심과 비교하였다.(그림 5.(a)~(f)와 그림 6(a)~(f))

1) 세굴심

교각의 중심을 원점으로 잡고 좌에서 우로 흐름방향에 대해서 3가지 축으로 세굴의 경향을 매설길이의 변화에 따른 세굴심과 비교하여 보고, 각각의 매설길이의 세굴심을 비교하여 효과가 탁월하고 경제적인 길이를 찾아냈다.

1-1) 교각만 설치한 경우

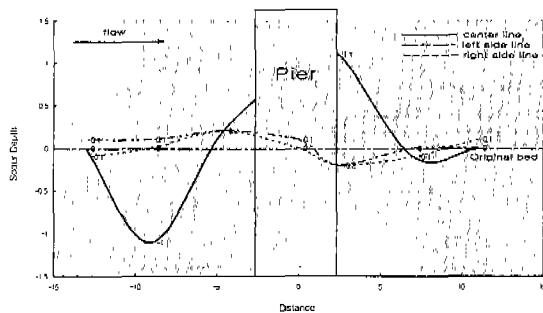


그림 5.(a) L=0

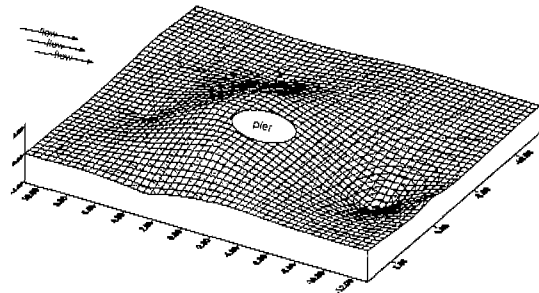


그림 6.(a) L=0

교각만을 설치한 경우 흐름방향에 대하여 전면부에서 세굴이 많이 발생함을 알 수 있었고 교각 주위로 동그렇게 패인 세굴을 확인할 수 있었다.

1-2) L=0.66b의 인공수초를 교각의 전면에 배치한 경우

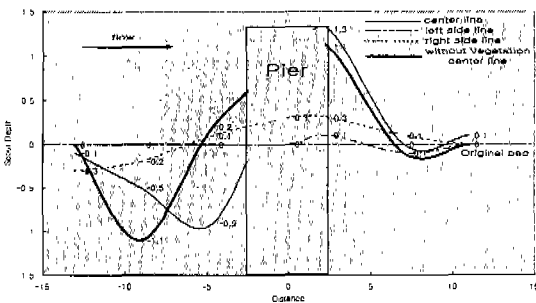


그림 5.(b) L=0.66b

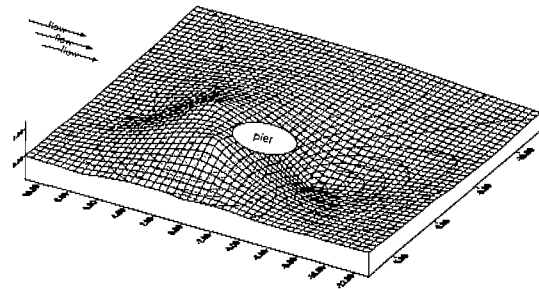


그림 6.(b) L=0.66b

교각만을 설치한 경우 보다는 세굴이 적게 일어남을 확인할 수 있었으나, 기대한 것 보다는 그 감소효과가 크지 않았다. 대략적으로 18%정도 감소 하였다. 그리고, 특징적인 현상은 수초의 매설한 후에 교각의 뒷편에서 흐름방향에 대하여 V자 형태의 하상의 솟음을 관찰할 수 있었다. 이는 교각만을 설치한 경우의 교각 뒷면이 동산의 모양처럼 솟아 오르는 경우와 비교할 때 수초에 의한 흐름의 변화로 인하여 와의 형성이나 유속의 변화가 있었음을 증명하는 결과라 볼 수 있겠다.

1-3) L=1.1b의 인공수초를 교각의 전면에 배치한 경우

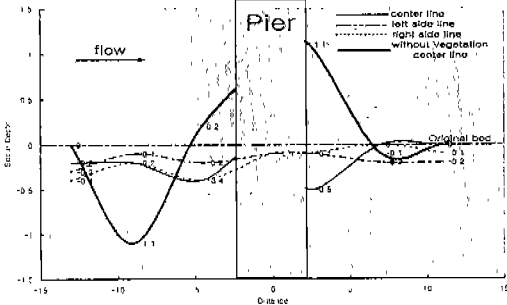


그림 5.(c) L=1.1b

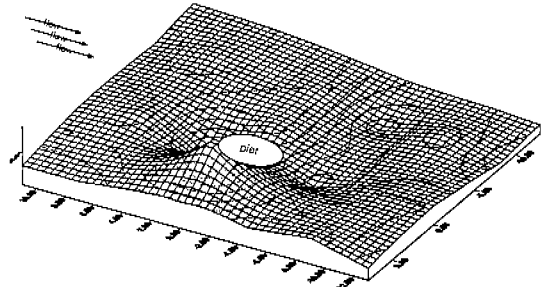


그림 6.(c) L=1.1b

인공 수초를 3.3cm매설한 경우와 비교하면, 54.5%정도의 세굴이 감소한 것을 알 수 있다. 따라서 3.3cm의 매설한 경우보다 그 효과가 매우 뛰어난 것을 알 수 있었다. 5.5cm의 경우에는 교각의 뒷편에 하강류의 분출에 의한 솟음현상이 눈에 띄게 줄어들었고, 오히려 최대 세굴심이 교각의 바로 뒷 편에 발생함을 볼 수 있었다. 이는 흐름이 더욱 많이 변화하고 수초에 의해 세굴의 발생 요인이 되는 하강류와 말굽형 와가 제어됨을 보이는 증거라 하겠다. 여기서도 특이한 현상이 발생하는데 그것은 수초의 양쪽의 측면부에 얇게 패이는 현상을 관찰할 수 있었다.

1-4) L=1.54b의 인공수초를 교각의 전면에 배치한 경우

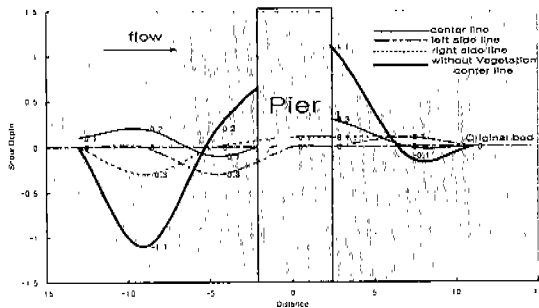


그림 5.(d) L=1.54b

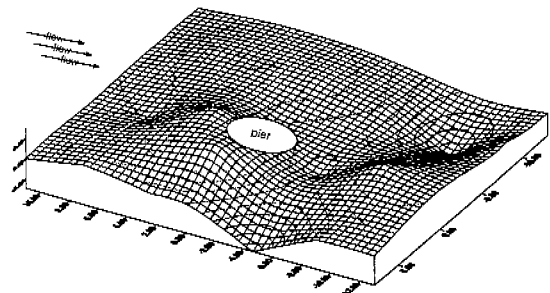


그림 6.(d) L=1.54b

이번의 경우는 흐름방향에 대하여 중앙단면에서의 세굴은 교각만을 설치한 경우보다는 90.9%정도 감소한 것을 알 수 있었다. 이는 인공수초를 매설함에 따라 흐름이 교각의 전면부에서 일정한 흐름의 방해를 받는 것이라 판단된다.

그리고, 이번 실험의 특징은 최대 세굴심이 흐름방향의 중앙단면에서 일어나는 것이 아니고, 흐름방향의 좌·우 두 단면에서 발생함을 알 수 있었다. 이는 인공수초의 길이만을 변화시킨 이번 실험이 교각의 흐름방향의 중앙단면에서의 세굴에는 탁월한 효과를 보이나 교각의 좌·우 단면의 세굴에는 별다른 영향을 주지 못함을 알 수 있게 해주었다.

1-5) L=1.98b의 인공수초를 교각의 전면에 배치한 경우

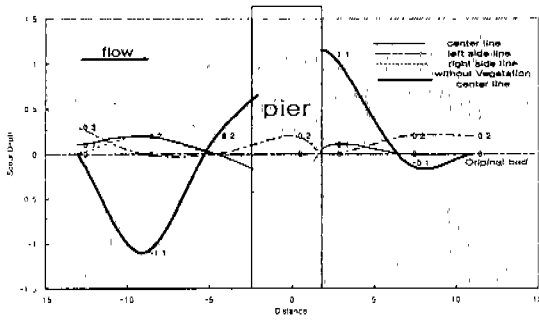


그림 5.(e) L=1.98b

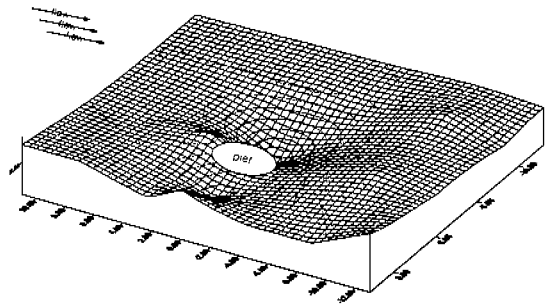


그림 6.(e) L=1.98b

이번 실험에서는 맨 처음의 실험과 비교하여 흐름방향의 중앙단면에서 109.1%의 세굴을 방지할 수 있었는데 이것은 인공 수초에 의하여 유속의 변화로 이송되던 입자들이 퇴적되었다고 판단된다.

그러나 이번 실험에서 주의해야 할 점은 최대 세굴심이 교각의 중앙단면이 아닌 교각의 흐름방향에 대하여 좌측에서 발생하였다는 점을 간과해서는 안된다는 사실이다. 이는 교각에 의한 세굴이라기 보다는 앞의 실험에서 언급하였 듯이 인공 수초의 좌·우 측면부에서 발생하였던 폐이는 부분이 매설길이가 길어짐에 따라 점점 하류쪽으로 그 길이를 길게 하는 것을 볼 수 있었는데 그 결과일 것으로 판단된다.

1-6) L=2.42b의 인공수초를 교각의 전면에 배치한 경우

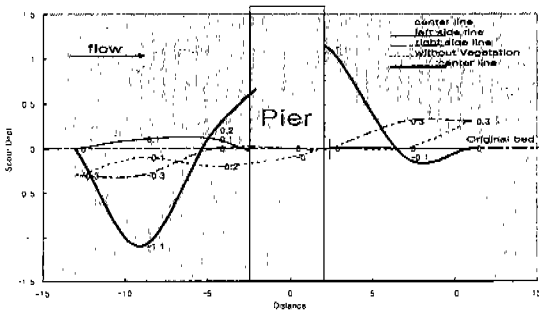


그림 5.(f) L=2.42b

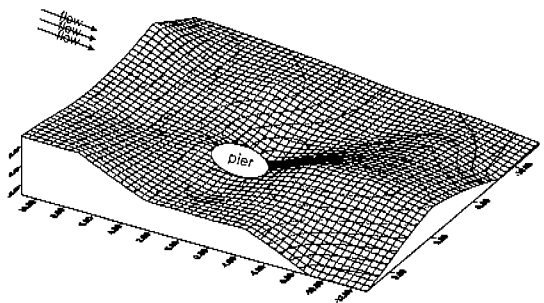


그림 6.(f) L=2.42b

이번의 실험은 109.1%의 세굴 방지 효과가 발생하여 바로 전의 실험과 비교하여 그 값의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 그리고 또한 인공 수초에 의해 발생되었던 좌·우 측면에서의 폐이는 길이가 더욱 길어지고 폭이 넓어져서 인공 수초를 매설한 위치에서의 좌·우 측점에서 최대 세굴을 관찰할 수 있었다.

2) 최대 세굴심의 비교

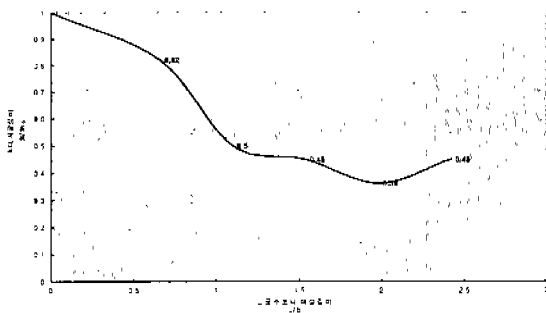


그림 6. 인공수초의 매설길이의 변화에 따른 최대 세굴심의 변화

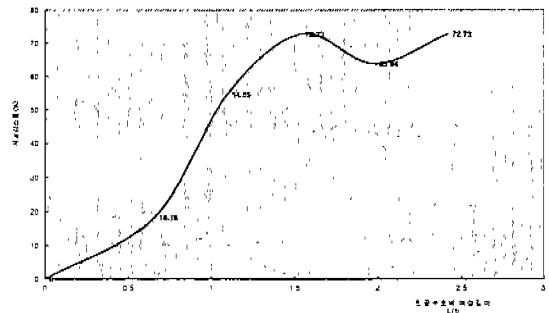
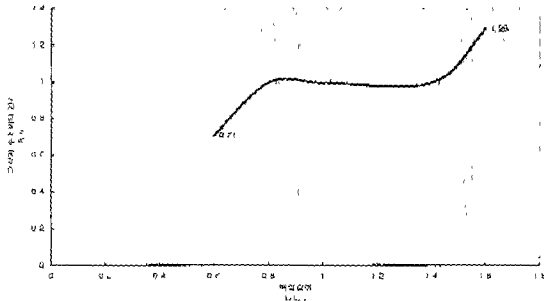


그림 7. 최대 세굴심의 변화율

따라서, 본 실험들을 분석한 결과 교각과 인공 수초와의 거리를 교각 직경의 1배인 5cm으로 한 경우 최대 세굴심에 근거하여 찾아낸 적정 길이는 교각 직경의 1.54배라 할 수 있겠다.

3) 교각과 인공 수초와의 거리를 변화시킨 경우

이번의 실험은 교각과 인공 수초와의 거리를 변화시켜가면서 각각의 경우에 위와 같은 방법으로 교각 직경의 1배인 R은 1b부터 1.6b까지는 L=1.5b(7.7cm)의 매설길이(L)로 실험하여 어느 정도의 거리까지 이 길이가 유효한지 실험하였으며, R=1b보다 작은 경우에는 교각 직경의 L=1.1b로 실험하여 세굴 심을 측정하였더니 감소효과가 90.9%로 나타나 적정길이라고 판단되었다.



본 실험의 결과 교각의 L=1.54b의 매설길이를 갖는 인공수초는 교각과 R=0.6b~1.4b사이에 유효하며 만약 R이 1.6b이상이면 L=1.98b로의 증가하여야 72.7%의 감소효과를 기대할 수 있으며, 또 R이 0.6b이하이면 L=1.1b로 감소하여도 세굴의 감소가 90%이상이다.

그림 8. 적정 매설길이에서 교각과의 간격이 변화함에 따른 허용 범위

3. 결론

본 연구에서는 수초를 사용하여 세굴방지에 대한 실험을 하였으며, 천연의 수초를 사용할 수 없는 관계로 그와 유사한 인공의 수초를 제작 실험하였다. 실험은 교각만을 설치한 경우의 세굴심과 비교하여 4시간 후의 최대 세굴심을 비교하였으며, 각각의 유량은 0.027cms로 동일하게 하였으며, 유속또한 20cm/s로 일정하게 유지하였다. 모래의 평균입경(d_{50})은 입경가적곡선에서 0.58mm로 채택되었으며, 기하표준편차(σ_g)는 $d_{84}/d_{50}=1.72 > 1.25$ 로써 불균등분포를 갖는다. 실험시간은 4시간을 기준으로 하였으며, 수심은 15cm를 유지하도록 하였다. 이번의 실험에서는 직경 5cm의 하나의 원형 교각을 사용하였으며, 수초의 폭 또한 6cm로 결정된 후에 실험하였다. 우선 한 가지의 교각과 수초 간격에 대하여 적절한 매설길이를 찾아내었고, 그 매설 길이가 교각과 수초와의 간격을 변화시켜가면서 교각 직경의 몇배 전·후에서 효과가 있는지 실험하였다. 결과적으로는 교각 직경의 1.54배의 매설길이가 교각과 수초와의 간격이 0.6b에서 1.4b까지 그 효과가 있고, 그 전·후로는 매설길이의 가감이 필요하다.

앞으로는 수초의 폭에 대한 연구와 더불어 수초의 키에 대한 변화, 유속의 변화에 따른 영향, 수초의 밀도에 대한 영향등을 고려하여 연구하는 것이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

서울특별시, 1998, 한강교량기초 수리모형실험 보고서
 윤태훈, 윤성범, 윤광석, 1996, 교각세굴 사석보호공의 기존 설계식의 비교해석, 대한토목학회 논문집, 16권 II-5호
 윤태훈, 윤성범, 오철승, 1998, 원형교각 세굴방지공의 사석결정식, 대한토목학회 논문집, 18권 II-1호
 세굴방지 시설물에 관한 교각의 국부세굴방지 실험, 1998, 한국수자원학회 학술발표회 논문집
 남궁 돈, 1997, "불균일단면교각이 교량세굴에 미치는 영향"
 Chow, V.T., 1959, *Open channel hydraulics*, McGraw-Hill Inc.
 Simons, D.B. and Fuat Senturk, 1977, *Sediment Transport Technology*, Water Resources Publications Fort Collins.
 River and Harbour Laboratory at the Norwegian of Technology, ICI Scour Prevention System "Hydraulic Flume study"
 건설기술연구소, 1999, 하천식생에 의한 수리특성 예측모형개발