

홍수시 부유 잡목에 의한 수위상승과 제방의 여유고에 미치는 영향

최계운*, ◦김기형**, 강희경***

1. 서론

경제 성장과 인구 집중에 따라 교통량이 급속하게 증가하고 있어 도심의 하천을 포함하여 도심 외곽의 하천을 가로지르는 많은 교량들이 설치되었으며, 향후 그 숫자는 더욱 증가할 것으로 판단된다. 이러한 많은 교량들을 설치하는데 있어서 가장 중요한 것은 교량의 안전에 대한 문제이며 교량의 안전에 가장 많은 영향을 미치는 사항들 중의 하나가 교량의 여유고에 대한 문제이다. 교량의 여유고란 교량이 설치된 하천에 홍수 등으로 인해 수위가 상승할 경우 하천의 수위보다 높은 곳에 교량의 상판이 설치되도록 하여 교량의 안전을 확보하고 통행에 지장을 주지 않도록 하기 위한 여유 높이를 말한다. 대부분의 경우 교량의 상부구조물의 높이와 제방의 높이가 같은 경우가 많으며, 이때 제방의 여유고를 교량의 여유고로 적용하게 된다. 하천의 홍수시 하천 유역으로부터 유입된 많은 부유잡목 등이 교각에 걸리게 되어 발생하는 수위상승은 제방의 여유고에 영향을 미치게 되며 이러한 경우 상승된 수위는 하천의 유량에 따라 일률적으로 적용하도록 제안된 제방의 여유고보다 높아질 수 있으며 결과적으로 교량과 제방의 안전에 심각한 영향을 초래하게 된다.

제방의 여유고에 대한 연구에 있어서는 미개척국(1952)에서 유량에 따른 계수와 수심에 따라 여유고를 산정할 수 있는 공식과 유량과 제방의 여유고와의 관계에 대한 곡선을 제시하였으며, Chow(1959)는 통상적으로 수로의 설계시 수심의 5%미만~30%이상의 범위에서 여유고를 결정하는 것이 바람직하다고 하였으며 여유고의 범위에 있어서 0.3m(수심이 작은 경우)~1.2m(유량이 85m³/sec인 수로인 경우)까지 여유고가 변화하고, 여유고는 수로의 크기, 유속, 수면의 변화, 토양의 상태 등에 따라 좌우된다고 하였다. 또한 Shukry(1950)와 Houk(1956) 등은 만곡된 수로의 수로반경에 대한 연구에서 여유고를 고려하여 연구를 수행한 바 있다. 그러나 국내의 경우, 아직까지 교각의 부유잡목으로 인한 수위상승을 고려한 제방의 여유고에 대한 연구는 미진한 상태이며 제방의 여유고에 대하여 교각의 부유잡목에 의한 수위상승을 구체적으로 고려하기는 매우 어려운 상태에 있다.

따라서 본 논문에서는 교량의 교각에 부유잡목이 걸린 경우 이로 인한 교각 주위의 수위상승의 영향을 검토하고 교각에 걸린 부유잡목의 증가와 제방의 여유고에 대한 관계를 파악하고자 한다.

* 인천대학교 토목공학과 교수

** 인천대학교 토목공학과 박사과정

*** 인천대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에서는 12m의 모형수로를 사용하였으며 교각은 국내에 설치된 교각모형으로 아크릴로 제작된 폭 3.4cm, 길이 8.8cm의 모형교각을 사용하였으며 하상재료의 이동으로 인한 단면변화가 발생하지 않도록 하기 위하여 하상재료를 포설하지 않은 고정상 하상을 사용하였다. 또한, 교각에 걸린 부유잡목(이하 ‘잡목’으로 함)은 단면의 감소효과를 발생시키므로 같은 효과를 고려하여 아크릴 판을 교각의 전면에 부착하였다. 교각과 아크릴 판의 표면에는 수위상승의 측정이 용이하도록 일정한 간격으로 눈금이 그려진 스티커를 부착하여 수로에 설치된 게이지의 이용과 함께 정확한 수위 측정이 되도록 하였다. 그림 1은 실험에 사용된 교각모형의 측면도와 정면도를 보여주고 있으며 h_s 는 수면에서 교량 상판까지의 높이(여유고)를 나타내고 있다. 실험에는 하천시설기준에서 여유고 결정시 적용되는 실제유량인 $500\text{m}^3/\text{sec}$, $2,000\text{m}^3/\text{sec}$, $5,000\text{m}^3/\text{sec}$, $10,000\text{m}^3/\text{sec}$ 를 적용하였으나 본 논문에서는 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 의 경우의 결과만을 나타내었다.

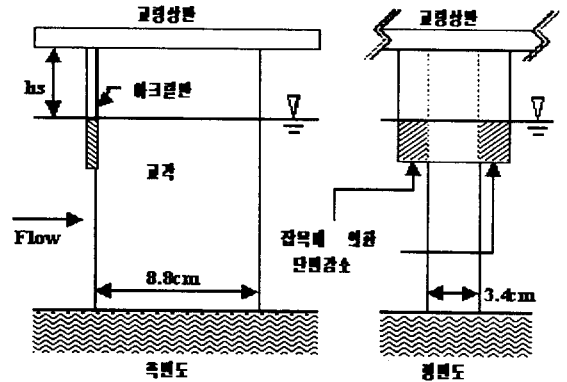


그림 1 모형교각의 개략도

2.2 실험방법

모형수로에 설치된 교각 전면에 잡목이 걸린 경우 감소되는 단면을 고려하기 위하여 50.0cm^2 , 70.0cm^2 , 90.0cm^2 , 110.0cm^2 의 면적을 가진 아크릴판을 교각의 전면에 교대로 설치하면서 잡목에 의한 단면감소를 고려하였다. 실험에 적용된 유량에 있어서는 실제하천에서 제방의 여유고 결정에 이용되는 유량인 $500\text{m}^3/\text{sec}$, $2,000\text{m}^3/\text{sec}$, $5,000\text{m}^3/\text{sec}$, $10,000\text{m}^3/\text{sec}$ 를 사용하였으며 각각의 유량에 대하여 Froude 상사에 의한 축척비를 적용하여 $500\text{m}^3/\text{sec}$, $2,000\text{m}^3/\text{sec}$ 의 경우 축척을 1/100로 하였고, $5,000\text{m}^3/\text{sec}$, $10,000\text{m}^3/\text{sec}$ 의 경우는 1/200의 축척을 사용하였다. 각각의 유량에 대하여 Froude 수를 점차로 증가시키면서 변화된 Froude 수에 대하여 교각에 걸린 잡목 비율의 변화에 따른 교각주위에서의 수위변화를 측정하였다.

표 1 각각의 유량에 따른 실험 조건

실제유량 실험조건	$500\text{m}^3/\text{sec}$	$2,000\text{m}^3/\text{sec}$	$5,000\text{m}^3/\text{sec}$	$10,000\text{m}^3/\text{sec}$
축 척	1/100	1/100	1/200	1/200
실험유량(cm^3/sec)	5,000	20,000	8,838.8	17,677.7
하천설계기준의 여유고(cm)	100	120	150	200
실험장치에서의 여유고(cm)	1.0	1.2	0.75	1.0

표 2 500m³/sec에서 CASE별 실험조건

CASE 실험조건	1	2	3	4	5
유속(cm/sec)	6.5	13.0	21.2	29.0	35.7
수심(cm)	19.1	10.5	5.9	4.3	3.5
Froude 수	0.047	0.128	0.279	0.447	0.610

실험에서 사용된 교량의 여유고에 있어서는 하천시설기준에 제시된 제방의 여유고를 사용하였으며 Froude 상사에 의한 축척을 사용하여 원형에서 유량에 따른 실제 여유고인 1m, 1.2m, 1.5m, 2m에 대하여 모형에서의 여유고를 1.0cm, 1.2cm, 0.75cm, 1.0cm로 결정하였다. 표 1은 각각의 유량에서 축척, 모형에서의 유량 및 여유고 등을 나타내고 있으며 표 2는 500m³/sec의 유량에 대하여 실험에 사용된 각 CASE별 Froude 수의 변화를 보여주고 있다. 또한 교각에서 발생하는 수위변화를 측정하기 위하여 교각 주위에서 46개 지점에 대하여 수심을 측정하였다. 그림 2는 교각주위에서의 수위 측정 지점을 나타내고 있다.

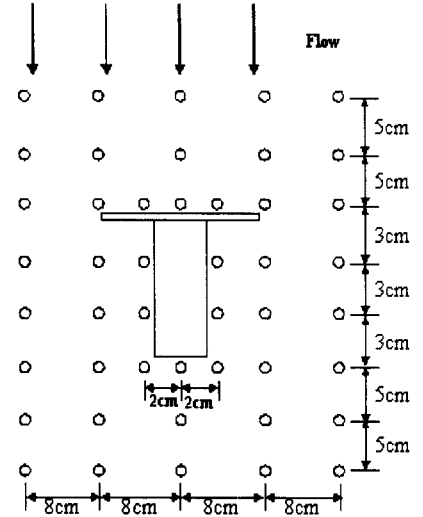


그림 2 수위 측정 지점

3. 실험 결과의 정리

3.1 Froude 수의 변화에 따른 교각주위 수위변화

유량이 일정한 상태에서 단순히 Froude 수만을 변화시킨 경우 Froude 수가 증가함에 따라 교각 전면에서의 수위도 함께 증가하는 경향을 나타냈으며, 교각 측면에서의 수위 변화는 더욱 크게 나타났다.

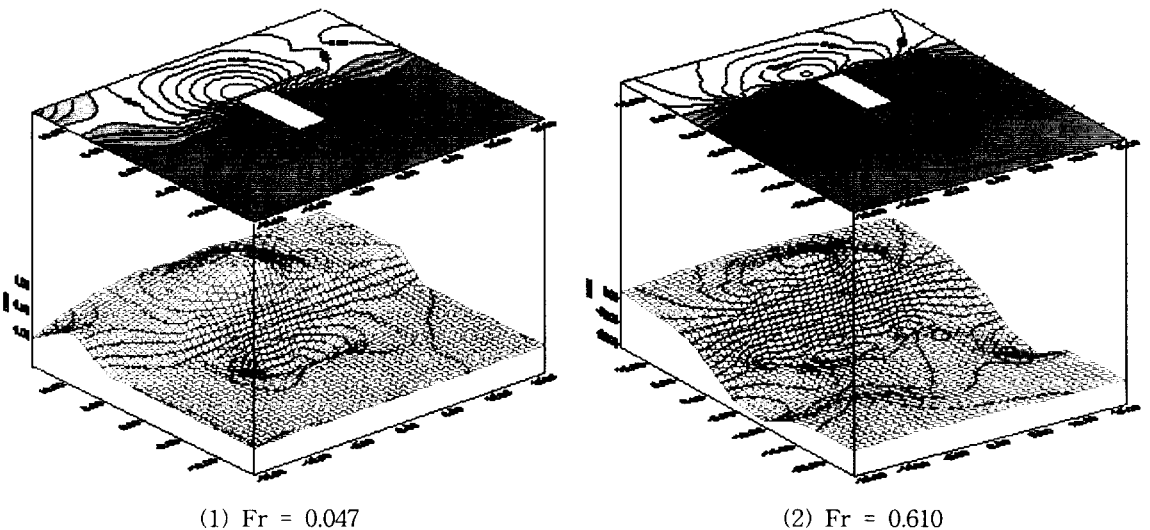


그림 3 500m³/sec인 경우 Froude 수의 변화에 따른 교각주위의 수위변화

그림 3은 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 일 때 교각에 걸린 잡목의 비율이 약 13%인 경우에서 CASE 1과 CASE 5의 교각주위의 수위 변화를 보여주고 있으며 그림 4는 잡목의 비율이 증가할 때 Froude 수의 변화에 따른 모형에서의 수위변화를 나타낸 것이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 일 때 교각의 잡목비율이 비슷한 상태에서 Froude 수가 0.047일 때 약 1mm, Froude 수가 0.477일 때 약 13.5mm 정도 수위가 상승한 것을 알 수

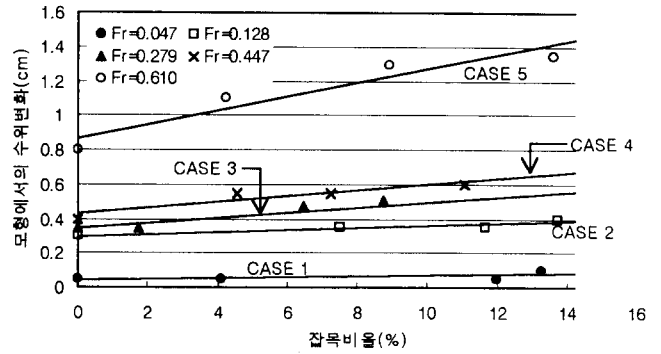
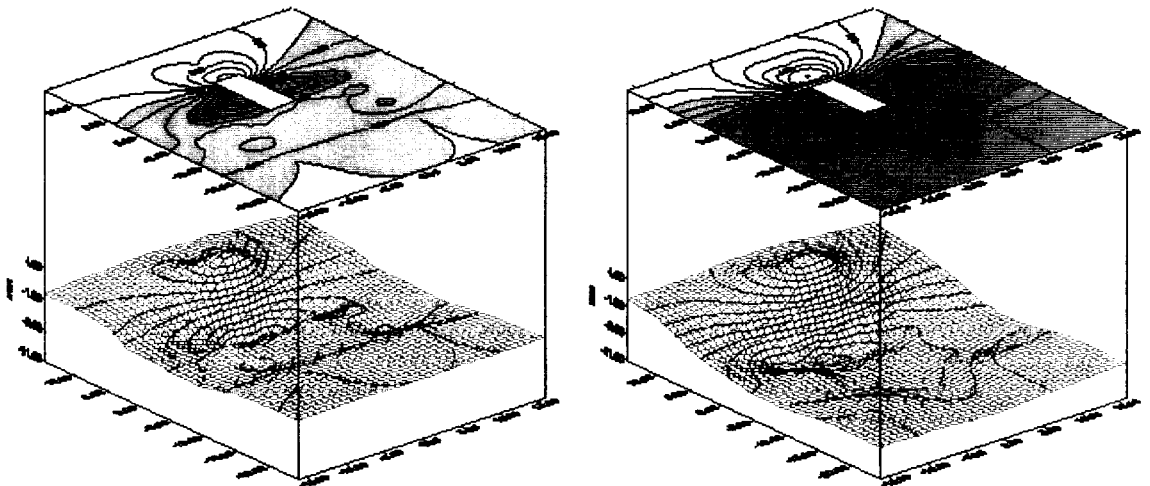


그림 4 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 일 때 모형에서의 수위변화

있다. 또한 그림 4에 나타난 것과 같이 원형에서의 유량이 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 로 일정한 상태에서 잡목의 비율이 변화할 때 CASE 1, 2, 3, 4, 5에서 교각 전면에서의 수위는 Froude 수가 큰 경우가 작은 경우에 비하여 수위상승이 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 교량에서의 여유고 결정시 교량 설치 단면에서의 Froude 수에 대한 영향도 함께 고려하여야 할 것으로 판단된다.

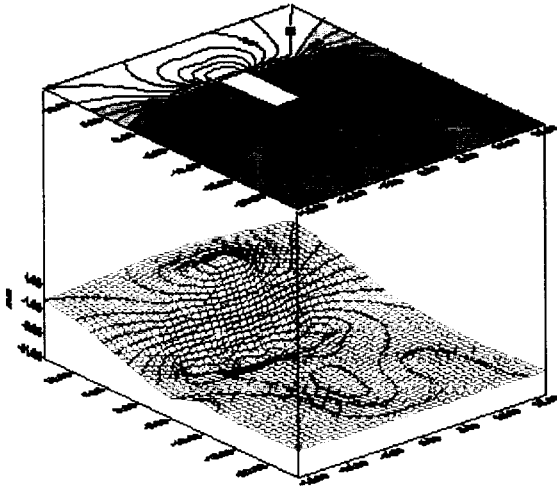
3.2 잡목의 증가 비율에 따른 교각주위의 수위변화

교각에 걸린 잡목의 증가에 따른 교각 주위의 수위 변화를 측정하였다. 그림 5는 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 에서 CASE 4인 경우 교각에 걸린 잡목 비율에 따른 교각주위의 수위변화를 나타낸 것이다. 그림에서 교각 전면에서 상승된 수위는 교각을 지나면서 교각 측면에서 감소하였다가 교각을 지나 교각 후면에서 어느 정도 다시 상승하는 것을 볼 수 있는데 교각 잡목의 비율이 증가함에 따라 이러한 경향은 더욱 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

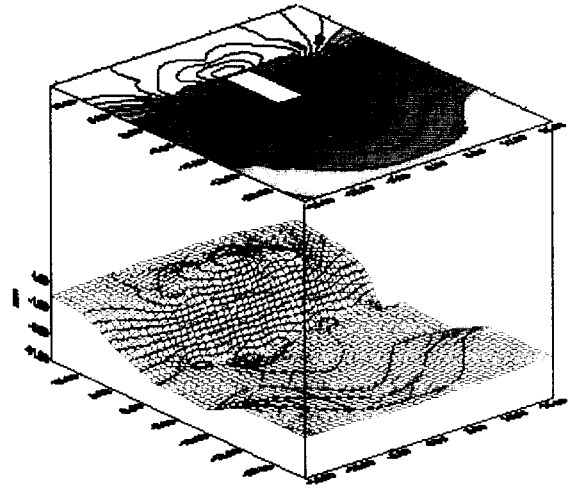


(1) 잡목비율 0%

(2) 잡목비율 4.57%



(3) 잠목비율 7.24%



(4) 잠목비율 11.06%

그림 5 500m³/sec인 경우 CASE 4에서 잠목비율의 변화에 따른 교각주위의 수위변화

또한 그림 6은 500m³/sec인 경우 모형수로에서 측정된 잠목비율의 증가에 따른 수위 상승을 수로의 수심에 대한 수위 상승률로 무차원화하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 잠목의 비율이 1%~15%로 변화할 때 각 CASE에서의 수심에 대한 수위상승은 0.5%~40%정도로 각각의 Froude 수에 대하여 잠목의 비율이 증가할수록 수위상승은 크게 발생하는 것으로 나타났다. 또한 그림 7은 하천 시설기준의 제방 여유고에 대하여 무차원화된 수위 상승을 보여주고 있다. 그림 7에서 여유고에 대한 수위의 상승률이 1이상의 경우는 하천의 수위가 하천시설기준에서 제안하고 있는 제방의 여유고를 초과하는 경우로 교량의 통행은 물론 제방 자체의 안전에도 심각한 위험을 초래할 것이다.

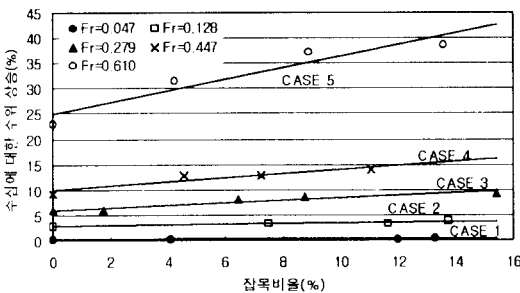


그림 6 수심에 대한 수위상승률

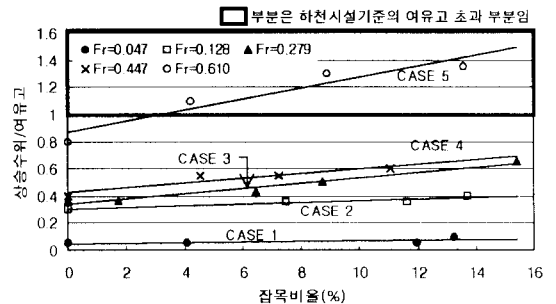


그림 7 여유고에 대한 수위 상승

그림 7에 나타난 것과 같이 유량이 500m³/sec인 경우 여유고에 대한 수위상승은 CASE 1에서 잠목 비율이 13.28%일 때 0.1, CASE 2에서 잠목비율이 13.74%일 때 0.4, CASE 3에서 잠목비율이 15.40%일 때 0.65, CASE 4에서 잠목비율이 11.06%일 때 0.60 그리고 CASE 5에서는 잠목비율이 4.22%일 때 여유고에 대한 수위상승이 1.1로 나타났으며, 500m³/sec의 유량에서는 Froude 수가 0.610인 경우 잠목의

비율이 4.22%만 되어도 여유고를 초과하는 높은 하천수위가 발생하는 것을 알 수 있다. 따라서 교량이나 제방 설치시 여유고 적용에 있어서 교각에 걸린 잡목의 비율과 Froude 수에 따른 수위상승의 효과를 고려하여 여유고를 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 실험에서는 실제 유량 $500\text{m}^3/\text{sec}$, $2,000\text{m}^3/\text{sec}$, $5,000\text{m}^3/\text{sec}$, $10,000\text{m}^3/\text{sec}$ 에서 각각의 유량에 대하여 Froude 수의 증가 및 하천에 설치한 교량의 교각에 걸린 잡목 비율의 증가에 따라 발생하는 교각주위의 수위상승이 제방의 여유고에 미치는 영향을 검토하였다. 유량이 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 로 일정한 경우 교각에 잡목이 걸리지 않은 상태에서 Froude 수의 변화에 따른 제방의 여유고에 대한 수위상승은 Froude 수가 0.047에서 0.05, Froude 수가 0.128에서 0.30, Froude 수가 0.279에서 0.36, Froude 수가 0.447에서 0.40, 그리고 Froude 수가 0.610에서 0.80으로 나타나 교각주위에서의 수위상승은 Froude 수에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한 Froude 수가 0.610인 경우에서는 교각에 걸린 잡목이 유수단면적의 4.22%만 되어도 상승된 수위가 하천시설기준에서 제안하고 있는 제방의 여유고를 초과하는 경우가 발생하였으며 잡목의 비율이 0%~13.5%로 변화할 때 수심에 대한 수위상승률은 23%~38.5%까지 발생하였다. 따라서 잡목에 의한 영향이 심각한 지역에서는 현재의 최소 여유고를 유량에 따라 단순 적용하는 것은 바람직하지 않다. 교량의 설치에 따른 여유고의 결정에 있어서도 하천의 설계 홍수량에 따라 일률적으로 적용하기보다는 교각에 걸린 잡목의 비율과 Froude 수의 변화에 따른 수위상승을 반드시 고려하여 교량의 안전이 확보되도록 하여야 할 것이다.

또한, 향후에는 교각의 형상과 하상의 변화를 고려한 상태에서 잡목비율과 Froude 수의 변화에 따른 수위상승의 변화 등에 관한 연구가 종합적으로 수행되어 하천내 시설물 설치에 따른 영향이 검토되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

건설부, 1993, "하천시설기준."

건설부, 1994, "하천시설공사표준시방서."

Chow, V.T., 1959, "Open-Channel Hydraulics." McGraw-Hill.

French, R.H., 1985, "Open-Channel Hydraulics." McGraw-Hill.

Jansen, P.P., Bendegom, L.V., Vries, M., Zanen, A., 1979, "Principles of River Engineering." Pitman.

Richardson, E.V., Simons, D.B., Julien, P.Y., 1987, "Highways in the River Environmental." FHWA.