

교각의 부유잡목에 의한 흐름특성의 변화

최 계운*, ○김 기형**, 전영호***

1. 서 론

홍수기간 중 유역으로부터 유송된 많은 부유잡목들은 하천을 따라 이동되며 하천을 가로질러 설치된 교량의 교각 등 다양한 수리구조물에 걸치게 되고 이들은 하천의 유수 단면적을 감소시켜 유속을 변화시키거나 수위를 변화시키는 등 하천 및 수리구조물의 안정성에 좋지 않은 영향을 끼치게 된다. 국내의 경우 교량의 붕괴원인을 살펴보면 붕괴된 전체 교량 중 약 40%정도가 홍수시의 부유잡목이나 이에 의한 교하공간(여유고)의 부족이 그 원인으로 알려지고 있으며 하천시설기준 및 도로교 설계기준에는 하천의 홍수량에 따라 교하공간(여유고)을 결정하도록 제시하고 있다. 그러나 이때 확보되는 여유고는 구체적인 수리실험 등을 통해 결정되지 못하고 일반적인 경험 등에 의해 결정되므로 여유고의 범위가 지나치게 크거나 혹은 너무 작아 경제적으로 불합리하거나 수리 구조물의 안정성 확보에 적합하지 않은 경우가 발생 할 수 있다. 따라서 잡목에 의해 상승되는 수위에 대하여 가장 경제적이며 동시에 효율적으로 안정성을 확보하기 위해서는 흐름특성을 파악하기 위하여 수리실험을 통한 구체적인 검토가 이루어져야 한다. 국내의 경우 윤세의(1997) 등은 수목이 있는 하도에서의 수위예측에 대하여 연구하였으며 최계운(1999) 등은 홍수시 부유잡목에 의한 수위상승과 제방여유고에 대하여 연구를 수행한 바 있으며 이상호(2000) 등은 홍수시의 유송잡목이 교각의 구조적 안정성에 미치는 영향에 대하여 연구하였고, 박영진(2000) 등은 유송잡목을 고려한 교각의 세굴심에 관한 연구를 수행한 바 있다. 국외의 경우는 Parola(2000) 등은 잡목이 있는 교량에서의 흐름형태에 대한 수치모의를 수행하였고, Pease(1989), White et al.(1992), Zhang(1997), Steven(1998) 등이 부유잡목이나 교량의 개도비에 대한 연구를 수행한 것으로 알려져 있다. 그러나 국내는 물론이고 국외의 경우에도 부유잡목에 의한 구조물 주위에서의 유속 및 수위의 변화 등 흐름특성에 대한 연구는 그리 많이 이루어지지 않고 있어 이에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 교각에 부유잡목이 걸린 경우 교각주위의 수위상승 및 유속변화 등 흐름특성에 미치는 영향을 검토하고 교각에 걸린 부유잡목의 면적변화 및 각도변화에 따른 교각 주위의 흐름특성을 파악하여 교량 및 제방의 안정된 설계가 이루어질 수 있도록 기초적인 특성을 파악하고자 한다.

* 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수

** 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정

*** 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서는 폭 0.4m, 높이 0.4m, 길이 12m의 가변경사수로에 아크릴로 제작한 폭 2cm, 길이 8cm의 반원형 모형교각을 20cm 간격으로 2개 설치하였으며 하상재료의 이동에 의한 수위변화를 방지하기 위하여 하상재료를 포설하지 않은 고정상 하상을 이용하였다. 또한 교각에 걸린 부유잡목(이하 '잡목'이라 함)의 효과를 발생하기 위하여 아크릴판을 잡목으로 이용하였으며 교각의 전면에 잡목의 부착이 용이하도록 1mm짜리의 mesh를 교각 전면에 부착하였다. 수위의 측정은 유속방향에 대하여 전후좌우 측정이 가능하도록 수로상단에 설치된 게이지를 이용하였으며 Froude 수를 구하기 위하여 SENSE-Z 300 마그네틱 전자유속계를 이용하였다. 그림 1은 실험에 사용된 모형교각의 개요를 보여주고 있다. 모형수로의 유량은 하천시

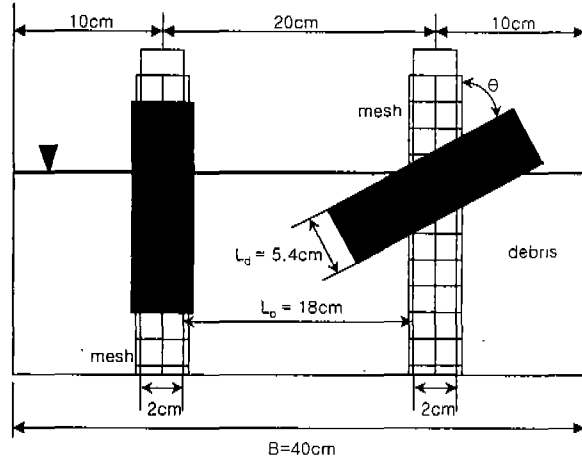


그림 1. 모형교각의 개략도

설기준의 여유고와 비교하기 위하여 실제유량 500CMS 유량의 1/120 축척인 6,000cm³/sec에 대하여 실시하였다. Froude수를 0.1, 0.2, 0.4, 0.6으로 변화시켰으며 모형수로의 평균유속을 측정하여 Froude수를 구하였다. 각각의 Froude수에서 모형수로에 설치된 교각 전면에 걸린 잡목에 의한 개도비가 100%, 95%, 90%, 85%, 80%로 변화하는 경우의 수위변화를 파악하기 위하여 잡목의 면적을 0%, 5%, 10%, 15%, 20%로 변화시켰으며 각각의 면적에서 수위변화가 가장 크게 발생하는 잡목의 폭과 길이를 결정하여 그림과 같이 잡목의 폭(L_d)가 교각지간(L_p)의 $0.3L_p$ 가 되는 잡목(5.4cm×15cm)을 사용하였다. 또한 각각의 잡목면적에 대하여 교각에 걸리는 각도의 변화에 대한 수위변화를 파악하기 위해 잡목을 교각에 대하여 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°로 부착하고 발생하는 수위변화를 측정하였다. 수위 측정은 Point gage를 이용하여 교각 전면에서 발생하는 최고 수위를 측정하였다. 표 1은 각각의 경우에 대한 실험조건을 나타내고 있다.

표 1. 각각의 경우에 따른 실험 조건

Froude Number	0.1	0.2	0.4	0.6
구분				
평균유속(cm/sec)	12.50	19.80	30.50	41.00
수심(cm)	13.90	9.64	5.70	4.76
잡목 비율(%)	0, 5, 10, 15, 20			
잡목 각도(θ)	0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°			
실제유량	500CMS	실험유량	6,000cm ³ /sec	
하천시설기준 여유고	100cm	실험장치 여유고	0.83cm	

3. 실험결과의 분석

3.1 잡목비율에 따른 수심별 유속변화

그림 2에 나타난 바와 같이 잡목의 비율이 30° 인 경우에 수심별 유속은 전형적인 개수로의

유속분포를 보이고 있으며 잠목의 비율이 증가할수록 유속은 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 수면 부근에서 유속이 가장 작게 나타나는 것은 교각에 부착된 잠목에 의해 흐름이 장애를 받아 유속의 상당부분이 감소하고 있음을 알 수 있다. 그림 3은 교각의 잠목이 90° 각도로 부착된 경우에 잠목의 비율에 따른 수심별 유속분포를 나타내고 있다. 그림 3에서 보듯이와 같이 수면부근은 잠목에 의한 영향으로 상당한 유속이 감소되었으며 잠목 하부로 갈수록 유속이 증가하다가 수로 바닥 부근에서 다시 유속이 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 잠목의 비율이 증가할수록 최대유속은 수로 하부에서 발생하고 있으며 동시에 수면에서의 유속감소는 더욱 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

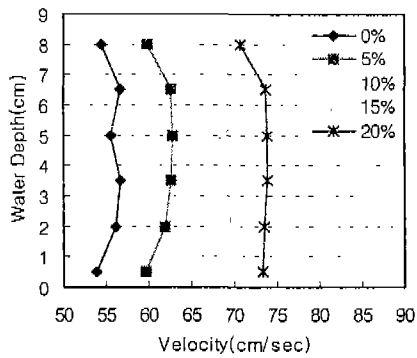


그림 2. 잠목설치 각도가 30° 인 경우

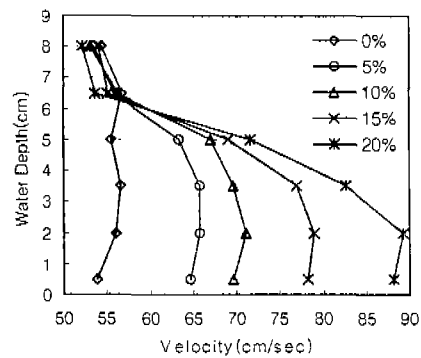


그림 3. 잠목설치 각도가 90° 인 경우

3.2 잠목 각도에 따른 수심별 유속변화

교각에 설치된 잠목의 비율이 일정한 경우에 잠목의 부착각도에 따른 유속분포를 그림 4와 그림 5에 나타내었다.

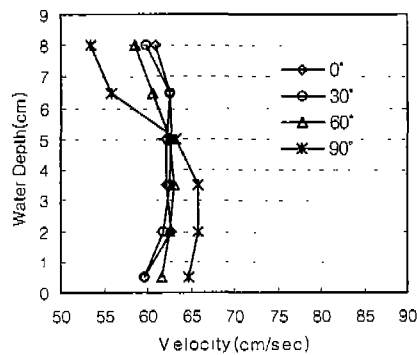


그림 4. 잠목비율이 5%인 경우

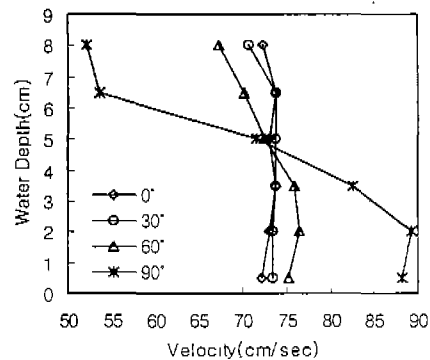


그림 5. 잠목비율이 20%인 경우

잠목의 비율이 5%인 경우 각도에 따른 평균 유속은 거의 일정하나, 각도가 증가할수록 즉, 교각과 직각에 가까울수록 수면에서의 유속감소와 잠목 하부의 유속 증가가 더욱 크게 발생하는 것으로 나타났다. 잠목의 비율이 20%인 경우도 유사한 경향을 보이고 있으나 잠목비율이 작은 경우에 비하여 교각의 부착각도에 따른 유속의 변화가 훨씬 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

3.3 잠목 면적별 수위변화

잠목의 면적이 증가할수록 교각주위의 수위변화는 크게 나타났으며 잠목의 부착 각도에 따라 수위변화의 폭은 서로 다르게 나타났다. 그림 6과 그림 7은 각각 0.1, 0.6의 Fr수에서 잠목비율의 증가에 따른 교각주위의 수위변화를 나타내고 있다. 그림에서 가로축은 잠목비율을 나타내며 세로축은 잠목이 없는 교각에서의 수위증가분(Y_p)에 대한 잠목비율에 따른 수위증가분(Y_d)의 비율 나타내고 있다. 그림에 나타났듯이 Fr=0.1에서 잠목비율이 5%인 경우 수위는 잠목이 없는 경우에 비하여 각도에 따라 1.0~1.4배, 10%일 때 각도에 따라 1.2~2.0배, 15%일 때 각도에 따라 1.8~2.4배, 20%일 때 각도에 따라 2.0~2.5배의 수위증가를 나타냈으며, Fr=0.6에서는 각도에 따라 각각의 잠목비율에서 2.0~2.25배, 2.03~2.44배, 2.13~2.44배, 2.2~2.38배의 수위증가를 나타냈다. 그림 6과 7에서 알 수 있듯이 Fr수가 작을 때 즉, 유속이 작고 수심이 큰 경우에 잠목이 없을 때의 수위 증가에 대한 잠목에 의한 수위증가율은 더욱 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

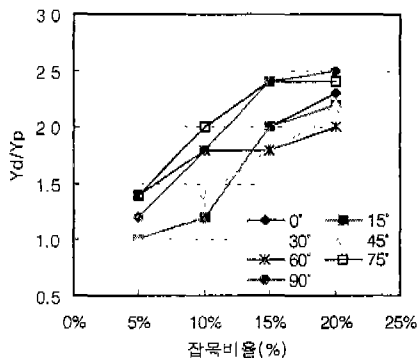


그림 6. Fr=0.1에서의 수위변화

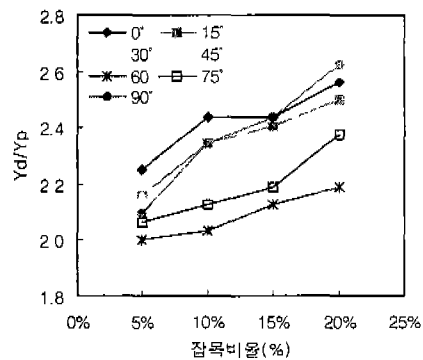


그림 7. Fr=0.6에서의 수위변화

3.4 잠목 각도별 수위변화

일정한 Fr수에서 잠목의 각도를 변화시키는 경우 Fr수와 잠목의 면적에 따라 수위의 변화는 서로 다른 경향을 보이고 있다.

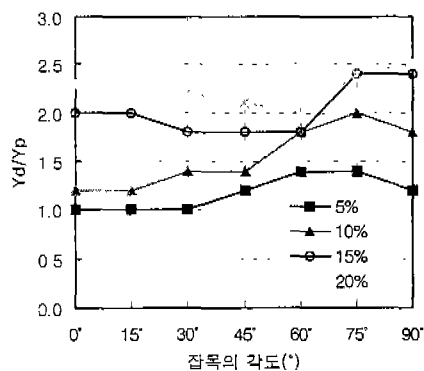


그림 8. Fr=0.1에서의 수위변화

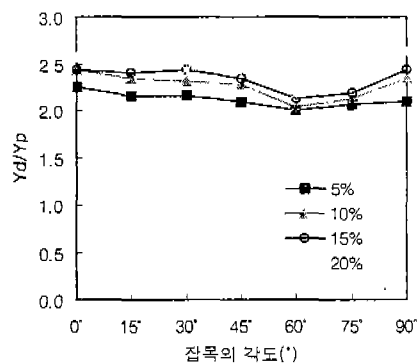


그림 9. Fr=0.6에서의 수위변화

그림 8과 그림 9에서 알 수 있듯이 잠목 각도에 대한 수위변화는 Fr수에 따라 다른 경향을 보이고 있다. Fr수가 0.1인 경우는 잠목의 부착 각도에 따른 뚜렷한 경향은 찾기 어려우나 잠목비율

이 5%, 10%인 경우는 대체로 잠목의 각도가 증가할수록 잠목에 의한 수위도 증가하고 있으나 잠목비율이 15%, 20%인 경우는 잠목의 각도가 60° 에서 최소 수위를 보이고 60° 를 지나면서 수위는 다시 증가하여 90° 에서 최대수위를 나타내며 Fr=0.6인 경우는 잠목의 면적에 관계없이 유사한 경향을 보여 잠목각도가 증가할수록 수위는 점차로 감소하다가 잠목각도 60° 에서 수위증가가 최소를 보이고 60° 를 지나면서 잠목에 의한 수위는 다시 증가하여 90° 에서 최대수위를 보이고 있다. 또한 잠목면적 5%, 10%, 15%에서는 잠목 각도가 0° 에서 최대 수위증가를 보이고 잠목의 면적이 20%인 경우는 잠목각도 90° 에서 최대 수위를 보이고 있어 잠목의 면적이 증가할수록 잠목이 90° 로 교각과 직각으로 부착된 경우에서 최대수위가 발생하는 경향을 보이고 있다.

따라서 잠목에 의한 수위의 영향은 잠목의 부착각도, 잠목의 면적비, 그리고 유속 및 수심 등 많은 인자들에 의해 복합적인 영향을 받고 있는 것을 알 수 있다.

3.5 부유잠목에 의한 여유고

하천시설기준과 도로교설계기준에서 제시하고 있는 교하공간(여유고)을 검토하기 위하여 모형에서 발생한 수위증가를 기준에서 제시하고 있는 여유고와 비교하였다. 하천설계기준에서는 제방의 여유고를 기준으로 교량의 여유고를 두도록 하고 있으며 도로교설계기준에서는 하천설계기준을 참고하여 교량의 여유고를 하천의 홍수량에 따라 표 2와 같이 제시하고 있다.

표 2. 교량의 여유고(도로교설계기준)

계획홍수량(CMS)	교하공간(여유고)
200 이하	0.6m 이상
200~500	0.8~1.0m
500~1,500	1.0~1.2m
1,500~3,500	1.2~1.5m
3,500~10,000	1.5~2.0m

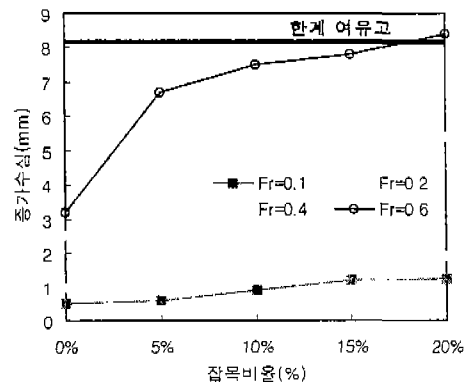


그림 10. 여유고에 대한 수위 상승

실제 유량이 500CMS인 경우 100cm를 확보해야 하는 여유고는 1/120으로 축소된 실험장치에서는 6,000cm³/sec의 유량에 대해 0.83cm의 여유고를 확보하여야 한다. 그러나 그림 10에서 알 수 있듯이 Fr수가 0.6일 때 잠목비율이 20%에서 0.83cm를 초과하는 경우가 발생하였다. 이러한 경우 교량의 통행은 물론 구조물 자체의 안전에도 심각한 위험을 초래할 것이다. 따라서 설계기준에서 제시하고 있는 여유고는 교각에 걸린 잠목의 비율과 수위상승의 효과 등을 고려한 좀더 구체적인 실험을 통해 제시되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 실험에서는 실제유량 500CMS를 1/120으로 축소한 실험모형에서 6,000cm³/sec의 실험유량을 이용하여 Froude 수의 증가 및 교각에 부착된 잠목의 비율과 각도의 변화에 따라 발생하는 교각의 수위변화 및 유속변화 등 흐름특성에 대하여 검토하였다. 잠목의 면적비율 증가에 따른 유속

의 변화는 잠목의 비율이 증가할수록 최대유속의 발생위치는 수심방향으로 수로 하부에서 발생하며 수면에서의 유속은 반대로 감소하고 있는 것으로 나타났으며 잠목의 비율이 증가할수록 유속의 변화폭도 훨씬 큰 폭으로 변화하고 있는 것으로 나타났다. 잠목의 각도 변화에 따른 유속변화는 잠목의 부착각도가 증가하여 교각과 직각에 가까울수록 수면에서의 유속은 큰 폭으로 감소하며 반대로 잠목 하부의 유속은 큰 폭으로 증가하고 있는 것으로 나타났다. 잠목의 각도에 따른 수위는 Fr수에 따라 영향을 받으며 Fr=0.6에서 잠목이 60° 일 때 최소수위, 90° 에서 최대수위를 보였으며 잠목의 면적 증가에 따른 수위증가는 잠목의 부착각도 및 Fr수의 영향을 받고 있으며, Fr수가 0.1~0.2에서 잠목비율 및 부착각도에 따라 최대 수위는 1.4~2.5배의 수위증가를 보였으며 수심이 크고 유속이 작은 경우에 잠목 비율에 따른 수위변화 폭은 크게 발생하고 있는 것으로 나타나 부유잠목에 의한 유속, 수위 등 흐름특성은 수심이 크고 유속이 작아 홍수시에도 비교적 적은 Fr수가 발생하는 하천에서 그 변화폭이 클 것으로 판단된다. 또한 Fr수가 0.6정도인 경우 부유잠목이 20%이상으로써 개도비가 80%이하가 되면 현재의 여유고를 초과하는 수위가 발생하는 것으로 나타나 향후 여유고 설정을 위한 유속분포, 수위변화 등을 고려한 구체적인 실험을 실시하고 이를 통해 좀더 안전한 여유고가 제시되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- French, R.H., 1985, "Open-Channel Hydraulics." McGraw-Hill.
- Hamill, L., 1999, "Bridge Hydraulics", E & FN SPON.
- Jansen, P.P., Bendegom, L.V., Vries, M., Zanen, A., 1979, "Principles of River Engineering." Pitman.
- Parola, A.C. Jr., Kamojjala, A., Richardson, J.E. and Kirby, M.W.(2000) Numerical Simulations of Flow Patterns at a Bridge with Debris, ASCE, *Stream Stability and Scour at Highway Bridges*, pp. 678~684.
- Richardson, E.V., Simons, D.B., Julien, P.Y., 1987, "Highways in the River Environmental." FHWA.
- 건설교통부, 2000, "도로교설계기준"
- 건설부, 1993, "하천시설기준."
- 건설부, 1994, "하천시설공사표준시방서."
- 김봉근, 오금호, 이상호(2000) 홍수시 유송잡물의 집적이 중소하천에 위치한 교각의 구조적 안정성에 미치는 영향, 방재연구논문집, 제2권, 제4호, pp.123~131.
- 심우배, 심기오, 박영진(2000) 유송잡물의 영향을 고려한 교량 경간장의 세굴심 감소효과에 관한 연구, 방재연구논문집, 제2권, 제4호, pp.133~140.
- 윤세의, 정재욱 외 2명(1997) 수목이 있는 하도에서의 수위 예측, 97년 한국수자원학회. 학술발표회 논문집, pp. 69-74.
- 최계운, 김기형, 강희경(1999) 홍수시 부유잠목에 의한 수위상승이 제방의 여유고에 미치는 영향, 99년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 523-528.