

군교각에 의한 하천의 홍수위 상승분석

Analysis of Backwater Effect due to Group of Piers

김주황*, 윤병만**, 류권규***, 고택조****

Chuhwang Kim, Byungman Yoon, Kwonkyu Ryu, Taekjo Ko

요 지

하천 복개나 하상 도로 등 교각이 밀집된 군교각은 홍수시에 큰 수위 상승을 유발할 수 있다. 이런 군교각에 의한 배수위 효과를 분석하기 위해 다양한 경우에 대한 실험과 2차원 수치 모의를 수행하였다. 수리 실험은 수치 모형의 정확도를 검증하기 위해 수행되었으며, 다양한 종류의 교각 배치 경우에 대해서는 수치 모의를 위주로 분석하였다. 수리 모형 실험을 통하여 2차원 수치 모형인 RMA-2의 신뢰성에 대해 검토한 결과 이 모형은 교각에 의한 수위 상승 효과를 상당한 정확도로 모의할 수 있음을 알 수 있었다. 군교각에 의한 수위상승 인자를 흐름 횡단면 교각 수, 흐름 방향의 교각 간격, 흐름방향의 교각 수로 선정하여 이들 변수들을 조합하여 다양한 경우에 대하여 수리 실험과 수치 모의를 병행하였다. 단일 횡단면의 교각 수 증가에 따른 배수위 상승은 횡단면의 차단율 증가에 따라 선형적으로 증가한다. 그러다가 차단율이 어느 정도 이상에 이르면 수위 상승이 매우 급격히 증가하는 경향을 보인다. 또한 흐름방향 교각 수 증가에 따라 배수위는 선형적으로 증가함을 알 수 있는데, 이는 교각에 의한 상호 간섭 및 중첩에 의한 것으로 생각된다. 흐름방향 교각 간격을 증가시켜도 배수위 상승이 크게 증가하였으나, 교각의 지름의 약 9배 (9D) 이상 떨어진 다음부터는 배수위 상승량이 감소하는 것을 알 수 있다. 이런 점에서 볼 때, 군교각은 교각 지름의 9배 정도 떨어진 경우 배수위 상승 효과가 중첩되지 않음을 알 수 있었다..

핵심용어 : 군교각, 배수위 효과, 홍수위 상승, 수리 실험, 수치모의

1. 서론

우리나라의 홍수피해의 상당부분은 하천연안지역 토지이용의 고도화 및 도시지역에서의 국지성 호우 등으로 인한 홍수위의 급격한 상승이 1차적인 원인이다. 홍수 소통을 고려하지 않은 하천 중형단 구조물 및 복개 구조물은 2차적 원인으로 홍수위 상승을 가중시키고 있다. 국내 하천 구조물 설계에 관한 지침서로는 하천설계기준(건설교통부, 2005)이나 도로설계기준(한국도로공사, 2003) 등이 있으나 설계홍수량에 따른 교량 여유고나 경간장 등의 기본적 지침 외에 교각 형태 및 배치에 관한 지침은 현재 없는 실정이다. 이로 인해 수리학적 고려 없이 무분별하게 설치되고 있는 구조물로 홍수 피해가 가중되고 있어 설계 지침 마련이 시급한 실정이다.

특히, 이전에 수행된 도시 하천 복개 사업에서는 수리적인 고려가 없이 무분별하게 교각이 설치된 사례들이 많이 있다. 본 연구에서는 군교각의 수리적인 영향을 수치모형과 수리모형실험과

* 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : red_soccer@hanmail.net
** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : bmyoon@mju.ac.kr
*** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 연구원 · E-mail : pururumi@hotmail.com
**** 정회원 · 명지대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : kotjo0329@yahoo.co.kr

비교 검토하여 수치모형을 검증하고, 군교각에 의한 홍수위 상승효과에 대한 분석을 수행하고자 한다.

군교각의 배치는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 그 중에서 특히 NP (횡방향 교각수) = 5, TN (종방향 교각수) = 5이고, SD (종방향 거리) = 3D, 6D, 9D, 12D인 네 경우에 대하여 수치 모의 및 수리실험을 우선 수행하고자 한다. NP = 5인 경우는 하천폭 감소율 (= 설치된 교각폭의 합계 / 설계 홍수위에서의 수면의 폭)이 하천에서의 실제 상황에 비해 지나치게 크긴 하지만, 본 연구와 같이 SD의 영향을 살펴 보고자 할 경우는 하천폭 감소율이 어느 정도 이상 큰 경우가 그 영향을 쉽게 파악할 수 있으므로, 이 값을 선택하였다.

군교각에 의한 배수위 상승영향을 실험하기 위해 폭 1.5m, 길이 25m, 경사 1/1,000인 개수로를 사용하였다. 군교각의 모형은 직경 7.5 cm의 아크릴 원통을 사용하였으며, 이 때의 하천폭 감소율은 25 % 이다. 실험 유량은 97ℓ/s로 이 때의 Froude 수는 $Fr = 0.4$ 로 고정시켰다. 이것은 자연 하천에서의 홍수 때 Froude 수가 대체로 0.4 정도인 것을 상정한 것이다. 수치 모형에 입력된 자료도 수리 실험의 자료와 같다. 이처럼 같은 경우에 대하여 수치 모의와 수리 실험을 수행함으로써 수치 모형의 결과를 검증하고 또한 수리 모형 실험이 곤란한 경우에 대한 수치 모의의 정확성을 분석할 수 있을 것이다.

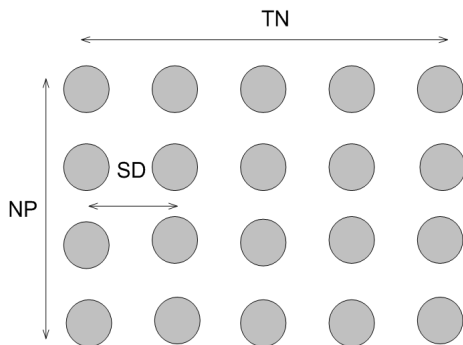


그림 1. 군교각 실험 모식도

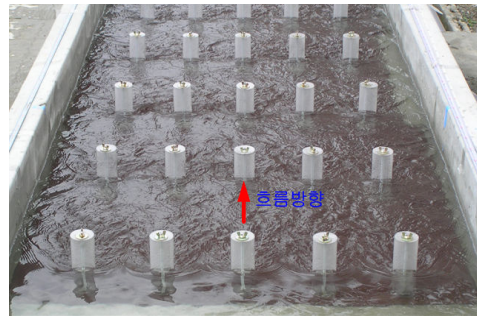


그림 2. 군교각 실험사진

2. 수치 모의

수치 모의는 RMA-2 모형을 이용하였다. RMA-2모형은 2차원 천수 방정식을 이용한 유한 요소 모형으로 사실 교각 주위의 흐름과 같이 3차원성이 강한 흐름을 위한 모형은 아니지만, 구조물에 의한 하도의 수위 상승과 같은 경우에는 별 문제가 없을 것으로 보인다.

그림 3 ~ 6은 각 경우에 대한 수치 모의 결과에서 수위를 보인 값이다. NP = 5, TN = 5일 때는 SD가 3D ~ 12D까지 증가함에 따라서 배수위가 약 8.2% ~ 9.6 %까지 상승하였다. 단, 3D에서 9D까지는 수위가 거의 비례적으로 상승하지만, 12D에서는 그 상승량이 매우 작았다. 군교각에 대한 윤용남 (1995)의 실험 결과에서는 SD가 6~8 부근에서 최대 상승률을 보이다가 교각 간격이 더 커지면 상승률은 거의 변화하지 않는 것으로 제시된 바 있다. 사실 SD가 증가함에 따라 수위 상승률이 커진다는 것은 의외의 결과이었다. 일반적으로 교각의 종간격이 길어지면 수위 상승이 작아질 것으로 기대되었기 때문이다. 이에 대해 윤용남 (1995)은 교각 간격이 일정한 한도를 넘으면 와류의 간섭 및 중첩 효과가 없어지지만, 일단 상승한 배수위는 상당한 거리에 걸쳐 일정하게 유지되면서 배수위 상승에 영향을 미쳤기 때문일 것으로 설명하였다. 한편, 이것은 후류의 중첩으로 해석할 수도 있을 것이다. 즉, 상류 교각의 후류 속에 다음 교각이 들어 있을 경우 상류 교각의 배수위 상승량과 하류 교각의 배수위 상승량이 중첩되기 때문에 충분한 배수위 상승을 일으키

지 못하기 때문에 해석할 수도 있다. 따라서 어느 정도 거리가 떨어지면, 각 교각이 일으키는 배수위 상승량을 독립적으로 간주하여 더하기를 할 수 있으며, 이 거리가 약 6D~8D인 것으로 보인다.

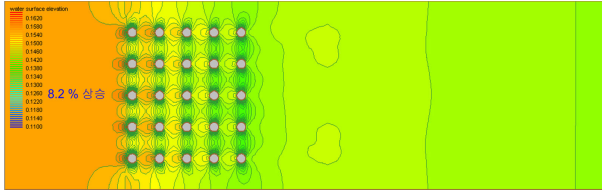


그림 3. NP=5, NT=5, SD=3D 배수위

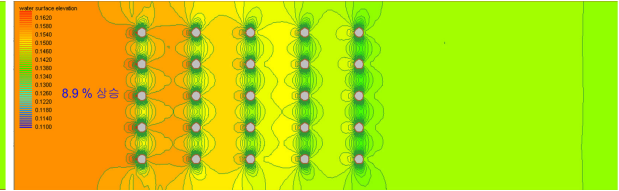


그림 4. NP=5, NT=5, SD=6D 배수위

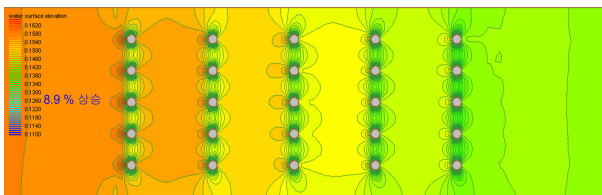


그림 5. NP=5, NT=5, SD=9D 배수위

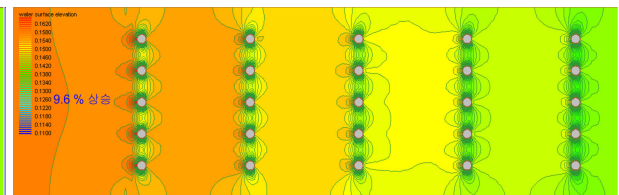


그림 6. NP=5, NT=5, SD=12D 배수위

3. 수리실험

수치모의 결과를 비교 검토하기 위하여 동일 조건으로 수리실험을 수행하였다. 그림 7~그림 10은 RMA-2에 의한 배수위 상승량을 수리 실험에 의한 결과와 비교한 그래프이다. 수치모의 결과와 수리실험 결과를 비교해 보면, SD = 3D인 경우 수치모의의 배수위 상승값이 수리실험 보다 약 4% 정도 높게 모의되었다. 이는 교각간의 간격이 매우 가깝기 때문에 수치 모형이 교각 사이의 난류를 적절히 표현하지 못하는 한계인 것으로 보인다. 실제로 RMA-2는 난류 모의를 적절히 하지 못하는 것으로 알려져 있다. 그림 8~그림 10에서 볼 수 있듯이, SD = 6D~12D인 경우에서도 교각 후면, 즉 모형 교각의 하류의 후류부에서 수위 저하는 적절히 기술하지 못하는 것을 알 수 있다. 이것은 이 지점이 후류에 의한 난류가 가장 강한 곳이기 때문이다. 교각 전면부에서 측정된 수리실험 측정결과 배수위가 3.0% ~ 6.4% 까지 상승하는 것으로 측정되었다. 수치 모의와 수리실험 결과 두 값 모두 교각 전면부에 전반적인 수위 상승이 일어나는 것으로 결과를 보였다. 또한 교각 후면부 즉 후류 영향권 안에 있는 곳은 후류의 영향으로 수치모의 결과와 수리실험 결과가 상당한 차이를 보이며, 후류 안에 위치한 교각을 기준으로 해서 수심은 계단형태로 점점 감소하다가 후류의 영향권에서 점점 벗어나면 수심은 점차 상승하여 등류수심으로 회복되는 것을 알 수 있다. 이들 그림에서 청색 점선은 교각이 없을 때의 수면을 나타낸다.

유속측정 비교 결과도 마찬가지로 수치모의 결과가 수리실험 결과보다 높게 모의되었다. 특히 SD = 3D와 6D의 경우 교각 후반부의 유속이 서로 상당한 차이를 보인다. 반면, 9D와 12D의 경우는 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 교각에 의한 후류의 영향이 적은 곳에서는 수치모의가 결과와 수치실험이 잘 맞지 않고 후류의 영향이 적은 곳에서 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 또한 후류의 영향권을 벗어나는 지점에서는 유속이 점차 회복되어서 유속이 점점 빨라짐을 확인할 수 있다. 결국 RMA-2 모형은 강한 난류 현상이 생기거나 비정상성이 강한 곳은 적절히 모의하지 못함을 알 수 있다. 그러나 모형 교각에 인접한 직하류부분의 유속 감소는 의외로 RMA-2 모형이 비교적 근접하게 모의하고 있음을 알 수 있다.

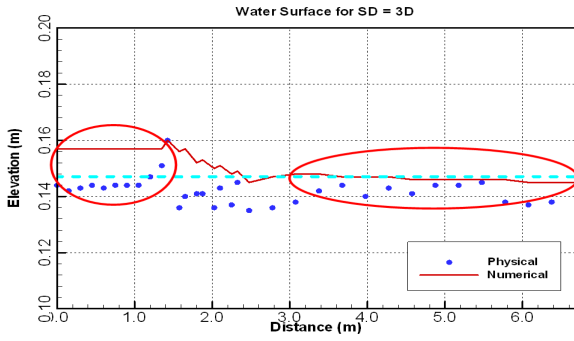


그림 7. NP=5, NT=5, SD=3D 배수위

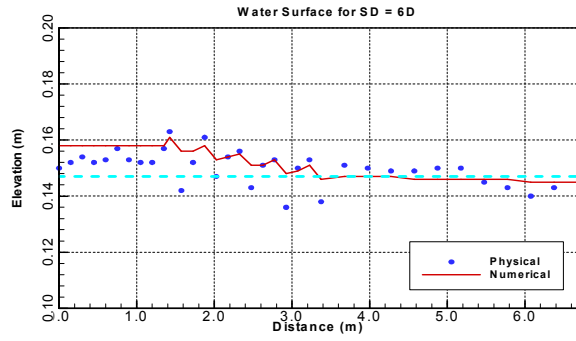


그림 8. NP=5, NT=5, SD=6D 배수위

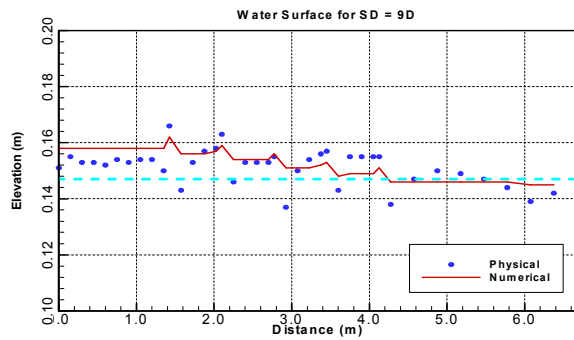


그림 9. NP=5, NT=5, SD=9D 배수위

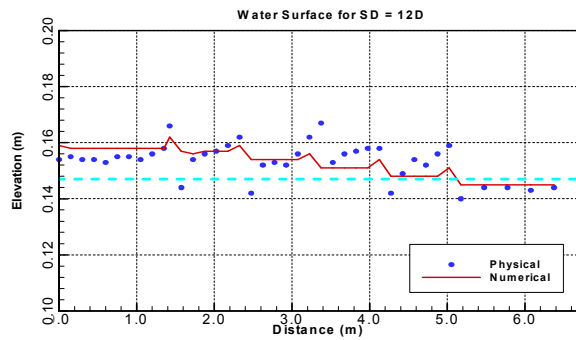


그림 10. NP=5, NT=5, SD=12D 배수위

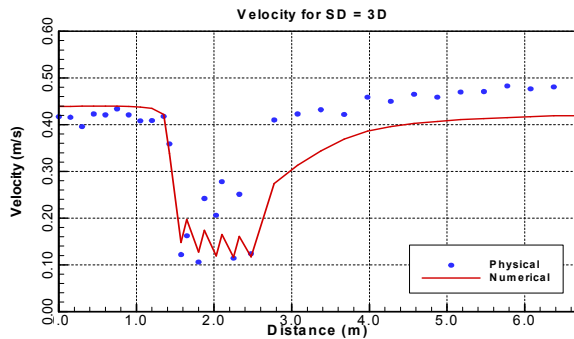


그림 11. NP=5, NT=5, SD=3D 유속

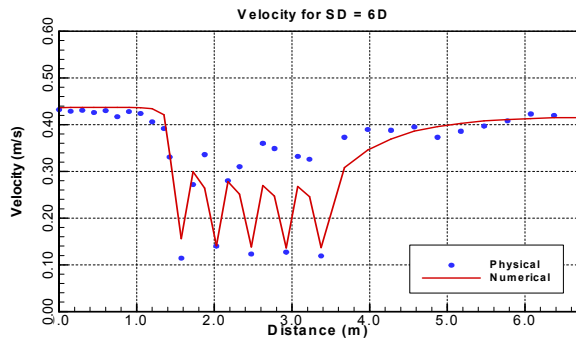


그림 12. NP=5, NT=5, SD=6D 유속

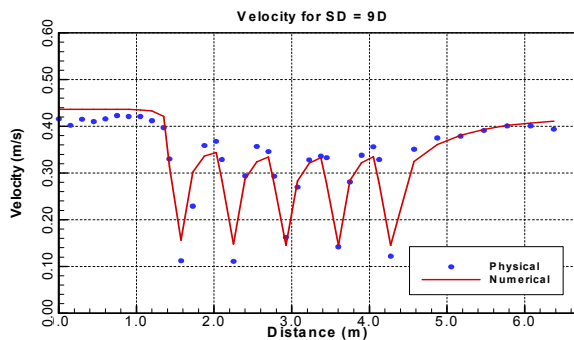


그림 13. NP=5, NT=5, SD=9D 유속

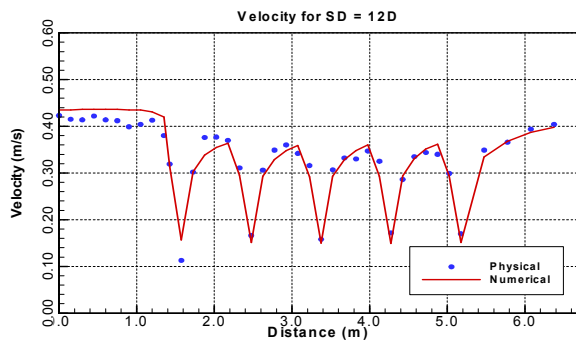


그림 14. NP=5, NT=5, SD=12D 유속

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 NP (횡방향 교각수) = 5, TN (종방향 교각수) = 5, SD (종방향 간격) = 3D, 6D, 9D, 12D인 네 경우에 대해 RMA-2 모형을 이용한 수치 모의와 수리 실험을 통하여 균교각의 종방향 배치가 배수위에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

RMA-2 수치모의 결과와 수리실험결과 교각 전면부의 수위상승은 잘 나타나지만, 수치모의결과가 수리실험 결과보다 약 4%정도 높게 모의되었고, 후류의 영향이 적은 곳에서는 RMA-2가 비교적 수리실험 측정 결과와 비교적 잘 일치한다. 이는 수치모형의 한계 및 수리실험의 측정오차로 인한 것으로 판단된다. 즉 유속 비교 결과는 후류에 구간에서는 수치모의의 한계로 인해 유속을 잘 모의하지 못하나 후류 구간을 벗어난 곳에서는 유속을 비교적 잘 모의 하는 것을 알 수 있다.

SD = 3D~12D인 경우 모형 교각 상류의 배수위는 수치 모형에서는 8.2% ~ 9.6% 까지 상승하였으며, 수리 실험에서는 3.0 % ~ 6.4% 까지 상승하였다. 배수위 상승량은 SD가 증가함에 따라 증가하다가, SD가 9D 이상 떨어진 다음부터는 거의 일정한 배수위에 도달한다. 이것은 교각이 가까이 인접해 있을 경우 생기는 배수위의 중첩 때문으로 보인다.

감 사 의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행 한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술 연구사업단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2005). “하천설계기준.”
2. 윤용남 (1995) 도시 하천의 복개로 인한 배수 영향의 실험적 및 해석적 연구, 한국과학재단 KOSEF 931-1200-025-2.
3. 한국도로공사 (2003) 도로설계기준.