신곡수중보와 조석운동을 고려한 한강 본류의 흐름특성

○김 원*, 김창완*

1. 서 론

한강 본류의 흐름은 여러 가지로 많은 특징을 지니고 있다. 상류의 팔당댐에서는 최소 100cms 이상의 물이 계속해서 방류되고, 하류에서는 조석의 영향으로 하루에 두 번씩 물이 역류한다. 하류의 조석 영향은 잠실수중보 직하류까지 영향을 미치는데 만조시에는 하류에서 역류하는 물과 역류로 인해 하류로 내려가지 못하는 물이 합쳐져서 수위상승이 발생하고, 간조시에는 갇혔던 물이 한꺼번에 하류로 내려가면서 상류에서 유입되는 양보다 훨씬 큰 유량이 발생하게 된다. 이러한 영향으로 한강 본류 구간에서는 상당한 구간에 걸쳐서 음의 유속과 양의 유속이 번갈아 발생하게 된다. 조석의 영향 외에도 한강본류에는 흐름에 영향을 미치는 많은 장애물이 있다. 수십개의 교량이 설치되어 있고 좌우안에 강변도로가 설치되어 있어 국부적으로 흐름에 영향을 미치고 있다. 또한 잠실대교 하류와 김포대교 하류에 설치되어 있는 잠실수중보와 신곡수중보는 하천을 횡단하는 큰 규모로 설치되어 있기 때문에 수위, 유속, 유량, 조석 등에 큰 영향을 미친다. 특히 신곡수중보의 경우에는 한강개발로 인해 발생하는 수위저하를 방지하기 위하여 1987년에 설치되었는데 883m의 고정보와 124m의 가동보로 구성되어 있으며 보의 높이는 E.L. 2.4m로서, 일반적인 보와는 달리 보위에서 조석에 따라 흐름의 방향이 바뀌면서 상류와 하류의 흐름에 큰 영향을 미치고 있다. 신곡수중보의 설치로 인해 한강 본류의 수위자료에는 불연속이 발생하게 되었으며, 한강 본류의 많은 구간에서 유속, 유량, 조석영향, 염도 등이 영향을 받고 있다. 이와 같이 많은 영향을 미치고 있는 신곡수중보이지만 설치된 이후로 신곡수중보의 영향, 상하류 흐름의 변화 등에 대해서는 아직까지 한번도 분석된 적이 없다.

본 연구는 신곡수중보로 인해 보 상하류구간에 나타나는 영향과 보 주위에서 발생하는 흐름의 특성을 여러 가지 조건에 따라 조사하는 것이 목적으로 전류, 신곡수중보 상류와 하류, 한강대교, 잠수교 등의 실측수위를 이용하여 신곡수중보의 영향을 분석하였고 수치모형을 이용하여 신곡수중보의 영향 및 서해안 조위가 한강 본류에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 실측 수위자료를 통한 영향분석

신곡수중보는 높이가 E.L. 2.4 m로서 높이측면에서 큰 규모는 아니지만 전 하폭에 걸쳐 설치되어 있기 때문에 실제로 흐름에 미치는 영향은 상당히 크다고 할 수 있다. 신곡수중보로 인해 보 상류측에서는 최소한 E.L.2.6m이상의 수위가 항상 유지되고 있다. 또한 서해안의 조석영향이 신곡수중보로 인해 감쇠되어서 상류측의 조차가 작아지고 파의 전달속도도 늦어지는 영향이 나타나게 된다.

본 연구에서는 이러한 영향을 실측수위 자료를 통해 분석하였다. 분석을 위해서는 대상구간내 모든 수위관측소의 자료가 양호해야 하며 가능한 최대 조차가 발생하는 기간이 바람직할 것으로 판단하여 1994년 6월 24일 01:00 ~ 6월 26일 08:00의 자료를 사용하였다.

---

* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원

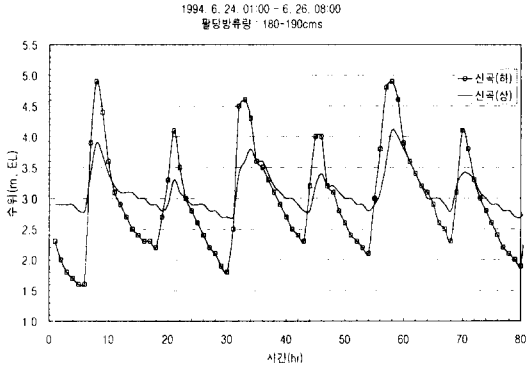

그림 1. 신곡수중보 상하류의 수위

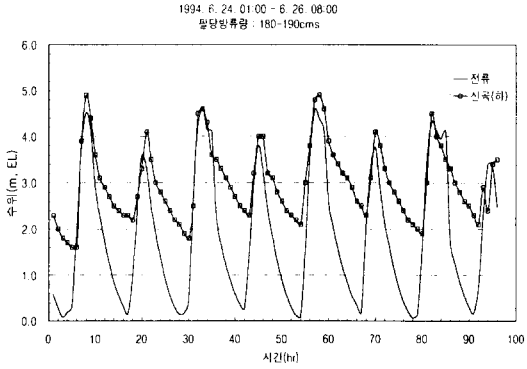

그림 2. 전류와 신곡수중보 하류의 수위

그림 1은 신곡수중보 상류와 하류의 수위를 나타낸 것이다. 이 그림에서 신곡수중보의 수위에 대한 영향을 명확하게 판단할 수 있다. 우선 이 기간 중의 팔당댐 방류량은 180~190 m^3/s로서 갈수기의 팔당댐 방류량에 해당하는 양이다. 이 그림에서 확인할 수 있는 가장 큰 특징은 간조시에는 상류의 수위가 하류의 수위보다 높아서 물이 하류로 흐르고 만조시에는 하류의 수위가 상류의 수위보다 높아서 물이 상류로 흐른다는 것이다. 하루 24시간동안 두 번에 걸쳐 16~18시간 동안은 물이 상류에서 하류로 흐르고 6~8시간 동안에는 물이 하류에서 상류로 흐르게 된다. 상류에서 하류로 물이 흐를 때 신곡수중보 상류와 하류에서는 최대 약 1.2 m의 수위차가 발생하고 하류에서 상류로 물이 흐를 때 최대 약 1.0 m의 수위차가 발생하고 있다. 신곡수중보로 인한 조차의 감소도 그림 1에서 확인할 수 있는데 신곡수중보 하류의 최대조차는 3.4 m 정도이지만 상류의 최대조차는 1.1 m 정도로서 신곡수중보로 인해 조차가 2.3 m 정도 감소된다. 창조시간과 낙조시간은 신곡수중보로 인해 크게 바뀌지는 않는다. 이 지점의 창조시간은 2~4시간 정도, 낙조시간은 8~10시간 정도로 나타났다.

그림 2는 전류 수위관측소와 신곡수중보 하류의 수위를 나타낸 것이다. 만조시의 수위는 두 지점이 거의 동일하거나 신곡하류의 수위가 약 0.3 m 정도 높지만 간조시에는 최대 2.1 m 정도 전류의 수위가 낮게 나타나고 있다. 또 만조시 수위가 높아질 때에는 두 지점의 수위가 거의 동시에 높아지지만 간조시 수위가 낮아질 때에는 전류의 수위가 훨씬 더 빨리 낮아지는 것을 알 수 있다. 전류지점의 조차는 최대 4.4 m 정도로 나타나지만 신곡수중보 하류의 조차는 3.4 m 정도로서 이 두 지점 사이에서 1.0 m 정도 조차가 감소하고 있다.

그림 3은 신곡수중보 상류와 한강대교의 수위를 나타내고 있다. 이 구간에서는 파의 전달이 1~2 hr 정도 지체되어서 나타나고 있다. 한강대교 지점의 창조와 낙조시간은 각각 2~3 hr과 9~10 hr으로 나타남을 알 수 있다. 이 지점에서 간과할 수 없는 사항은 한강대교에 미치는 조석의 영향이다. 팔당댐의 방류량이 180 m^3/s 정도일 때 한강대교에서는 만조시 최대 1.1 m의 조차가 발생한다는 것이다. 서해안의 조차 규모에 따라 다르게 나타나겠지만 한강대교 지점에는 1.0 m 정도의 조차가 발생할 정도로 조석의 영향이 강하게 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

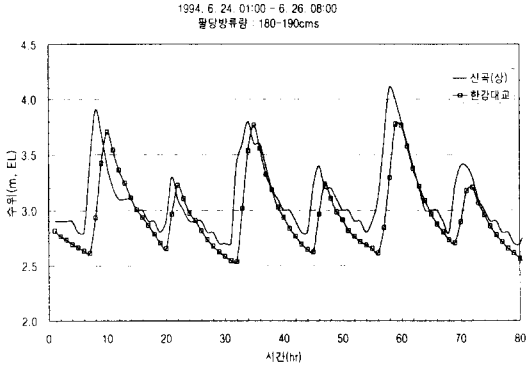

그림 3 신곡수중보 상류와 한강대교의 수위

그림 4는 팔당댐의 방류량에 따른 신곡수중보 상류와 하류 수위의 변화를 나타내고 있다. 팔당댐의 방류량이 1,000 m^3/s 정도인 경우에는 조석의 영향이 신곡수중보 상류와 하류에 나타나서

하류쪽에는 약 1.0 m의 조차가 발생하고 있고 상류쪽에도 약 0.2 m 정도의 조차가 발생하고 있다.

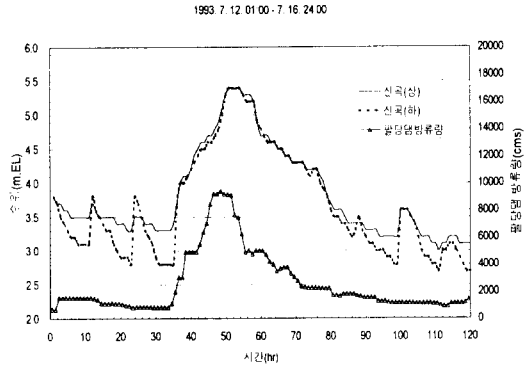

그림 4. 팔당댐 방류량에 따른 신곡수중보 상하류수위의 변화 (1993. 7. 12. 01:00~7. 16. 24:00)

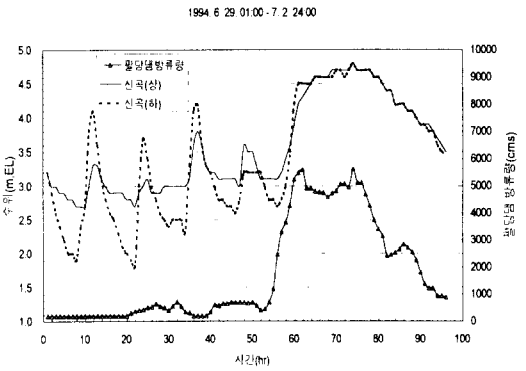

그림 5. 팔당댐 방류량에 따른 신곡수중보 상하류수위의 변화 (1994. 6. 29 01:00 ~ 7. 2. 24:00)

이 경우에는 서해안의 조차가 크지 않은 경우이며 그로 인해 신곡수중보 근처에서도 조차가 크게 발생하지는 않고 있다. 물론 평상시 보다 큰 팔당댐 방류량으로 인해 어느 정도는 조차가 감소되고 있다. 팔당댐의 방류량이 증가하여 4,000 m^3/s를 넘어서면 신곡수중보 상하류의 수위는 동일하게 유지된다. 이후 방류량이 2,000 m^3/s 정도로 감소하게 되면 또 다시 조석의 영향이 나타나서 상하류의 수위차가 발생하게 된다.

그림 5는 팔당댐의 방류량이 최대 5,000 m^3/s 정도일 때 신곡수중보 상하류 수위의 변화를 나타내고 있다. 팔당댐 방류량이 200 m^3/s일 때는 신곡수중보 하류에서 최대조차가 2.0 m 정도, 상류에서 0.5 m 정도로 나타나다가 팔당댐 방류량이 4,000~5,000 m^3/s 정도가 되면 조차가 없어지면서 신곡수중보 상하류의 수위는 동일하게 된다.

3. 수치모형에 의한 영향분석

본 연구에서는 실측수위자료 분석과 더불어 수치모형을 이용하여 신곡수중보가 한강 하류부에 미치는 영향을 분석하였다. 수치모형으로는 미국 기상청(NWS, National Weather Service)에서 개발한 DWOPER 모형을 이용하였다. 이 모형은 1차원 모형으로 국내외적으로 여러 하천에 적용되어 모형의 적용성, 정확성 등이 검증된 바 있다. 국내에서도 한강, 낙동강, 영산강 등에서 홍수예보를 위해 실제 사용되고 있는 모형이다. 본 연구에서는 현재 한강홍수통제소에서 홍수예보를 위해 운영하고 있는 DWOPER 모형을 이용하여 한강 하류부에 대한 모의를 실시하였는데 하천단면자료, 조도계수 등은 '수리학적 모형을 이용한 한강 상류부 하도의 홍수예측모형 개발'(한강홍수통제소, 1997)에 수록된 자료를 이용하였다.

모형의 적용을 위해 팔당댐에서 한강 하구까지 총 91.91 km 구간에 대해 모두 71개의 단면을 구성하였다. 임진강 합류점 하류부에 대해서는 측량자료가 없기 때문에 단면을 가정하였다. 상류경계조건으로는 팔당댐의 방류량 자료를 사용하였고 하류경계조건으로 인천의 조위를 한강하구의 조위로 변환하여 사용하였다. 이 구간내의 지류 중 왕

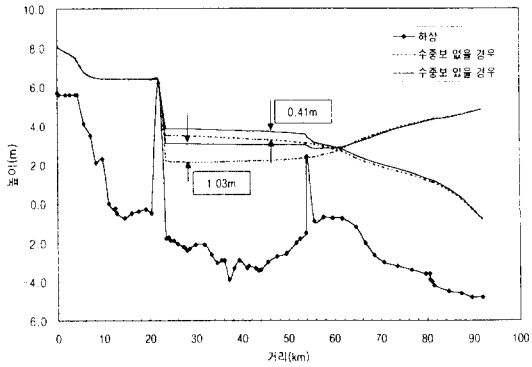

그림 6. 신곡수중보 유무에 따른 수위의 변화

숙천, 안양천, 임진강에 대해서는 실제 하도단면자료를 구성하여 고려하였으며 탄천과 중랑천에 대해서는 횡유입량으로 고려하였다. 신곡수중보의 모의를 위해서는 특별한 방법을 사용하지 않고 수중보로 인한 하천단면적의 감소만을 고려하였다. 팔당댐의 방류량은 전시간에 걸쳐 300 m^3/s로 가정하였으며 한강하구의 조위자료는 대조기간인 1997. 10. 16~10. 18 사이의 자료를 이용하였다.

그림 6은 신곡수중보가 있는 경우와 없는 경우를 비교한 그림으로 신곡수중보가 상류수위에 미치는 영향을 잘 보여주고 있다. 신곡수중보가 없는 경우라는 것은 수치모형에서 신곡수중보로 인한 하천단면축소영향을 고려하지 않은 것을 의미한다. 그림에서 알 수 있듯이 간조인 경우 신곡수중보는 상류에 최대 1.03 m의 수위상승을 유발시키고, 만조인 경우에는 최대 0.41 m의 수위상승을 유발시키고 있음을 알 수 있다. 신곡수중보의 실제 높이가 2.4 m인 점을 고려하면 이 정도의 수위상승 효과는 예상보다 크지 않음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 신곡수중보가 건설된 지 10년이 넘으면서 신곡수중보 상류와 하류에 유사가 퇴적되어 하상이 높아짐으로 인해 발생하는 것으로 판단된다.

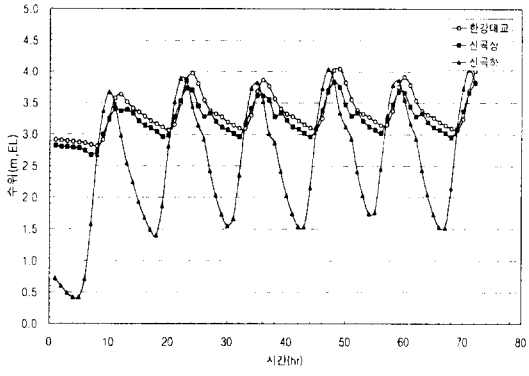

그림 7. 신곡수중보가 있는 경우 수위의 변화

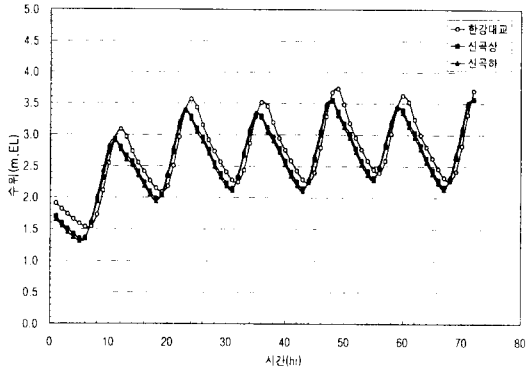

그림 8 신곡수중보가 없는 경우 수위의 변화

그림 7은 신곡수중보가 있는 경우, 한강대교와 신곡수중보 상류, 하류에 대한 수위를 나타내고 있다. 신곡수중보 하류에서는 2.0 m 정도의 조차가 발생하지만 신곡수중보 상류에서는 0.8 m 정도의 조차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 신곡수중보로 인해 변화되는 파의 특성을 잘 나타내는 것이다.

그림 8은 신곡수중보가 없는 경우, 한강대교와 신곡수중보 상하류의 수위를 보여주고 있다. 신곡수중보가 있는 경우의 수위변화를 나타낸 그림 11과는 달리, 지점에 따른 수위의 변화가 크지 않음을 알 수 있다. 또 신곡수중보가 없는 경우에 발생하는 신곡수중보 상류와 하류의 조차가 1.5 m 정도로 나타나서 신곡수중보가 있는 경우에 보 상류의 조차 0.8 m 보다는 크고, 보 하류의 조차 2.0 m 보다는 작다는 것을 알 수 있다. 즉 신곡수중보로 인해 하류쪽에서는 조차가 오히려 커졌고 상류쪽에서는 작아졌다는 것이다. 이것은 하류에서 전파되어 오는 파가 신곡수중보에 부딪히면서 보하류의 조차가 커진 것을 의미한다. 상류쪽의 조차는 신곡수중보에 의해 그 규모가 작아진 것이다.

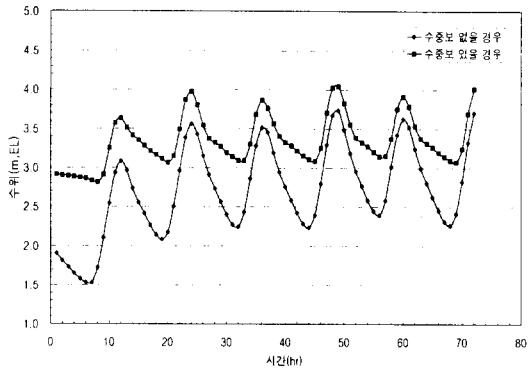

그림 9. 신곡수중보 유무에 따른 한강대교의 수위변화

그림 9는 신곡수중보가 있는 경우와 없는 경우의 한강대교 지점의 수위변화를 나타내고 있다. 한강대교 지점에서는 모든 시간에 걸쳐 신곡수중보로 인해 수위가 상승하는데 신곡수중보가 없는 경우에 비해 만조시에는 최대 0.4 m 정도, 간조시에는 최대 1.0 m 정도 수위가 상승하는 것을 알

수 있다.

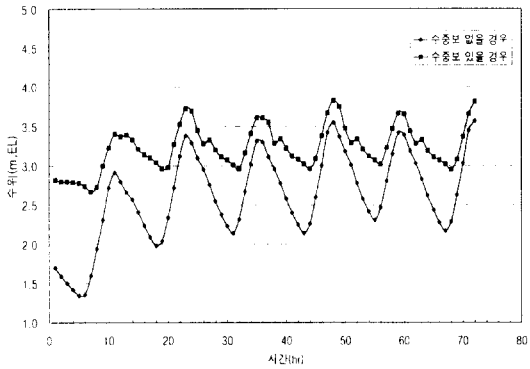

그림 10. 신곡수중보 유무에 따른 신곡수중보 상류의 수위변화

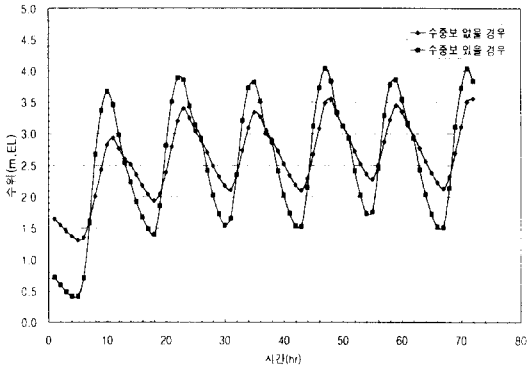

그림 11. 신곡수중보 유무에 따른 신곡수중보 하류의 수위변화

그림 10은 신곡수중보가 있는 경우와 없는 경우의 신곡수중보 상류의 수위변화를 나타내고 있다. 이 지점에서도 전 시간에 걸쳐 수위가 상승하는데 만조시에 0.5 m 정도, 간조시에 1.0 m 정도 신곡수중보로 인해 수위가 상승하는 것을 알 수 있다.

그림 11은 신곡수중보가 있는 경우와 없는 경우에 대한 신곡수중보 하류의 수위변화를 나타내고 있다. 다른 지점과는 달리 이 지점에서는 신곡수중보로 인해 간조시에는 0.7 m 정도 수위가 낮아지고 만조시에는 0.7 m 정도 수위가 높아지는 것을 알 수 있다. 즉 신곡수중보 하류구간에서는 신곡수중보의 영향으로 만조시(역류시)에는 수위가 더 높아지고 간조시에는 수위가 더 낮아진다는 것을 의미한다.

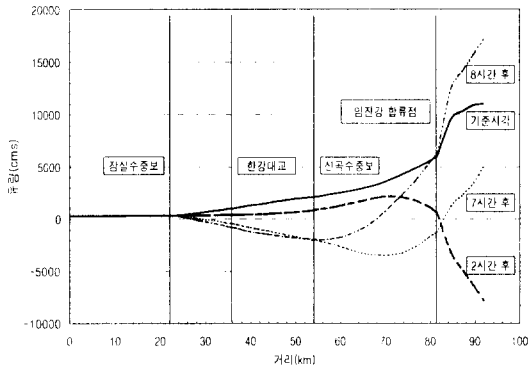

그림 12. 신곡수중보가 있는 경우 한강 본류의 유량변화

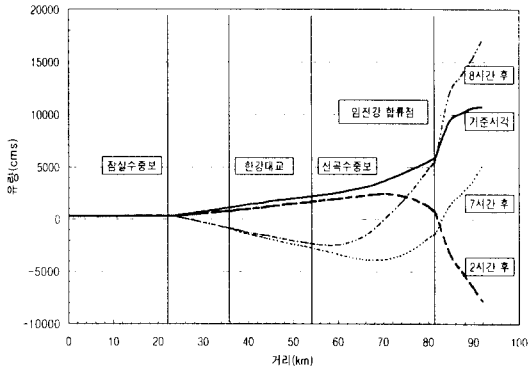

그림 13. 신곡수중보가 없는 경우 한강 본류의 유량변화

그림 12와 그림 13은 신곡수중보가 있는 경우와 없는 경우의 유량분포를 나타내고 있다. 이 그림을 살펴보면 한강 본류 구간에서 조위의 변화에 따른 유량의 변화를 알 수 있다. 우선 주목할 수 있는 사항은 조석의 영향으로 한강본류에서는 잠실수중보 직하류 부분에까지 유량의 변화가 발생하며 실제적으로 음의 유량이 발생한다는 것이다. 신곡수중보의 경우 유량이 -2,000~2,000 m^3/s 범위에서 변화되고 있으며 한강대교의 경우에는 -1,000~1,000 m^3/s 범위에서 변화되고 있다. 이와 같이 조석의 영향으로 한강 본류 구간에는 유량의 변화가 상당히 심하게 나타나고 있다. 신곡수중보의 유무에 따라서는 유량의 변화는 크게 나타나지는 않고 있다.

그림 14는 팔당댐 방류량에 따른 잠수교의 조석영향을 분석한 그림이다. 팔당댐의 방류량이 300cms일 경우 대조시에는 최대 1.0m 가량의 조차가 발생하지만 소조시에는 0.4m 가량의 조차만 발생한다. 소조시에는 팔당댐의 방류량이 5,000cms 정도가 되면 조석의 영향은 거의 나타나지 않지

만 대조시에는 팔당댐의 방류량이 11,000cms 정도가 되어야 조석의 영향이 무시할수 있을 정도로 작아지는 것을 알 수 있다.

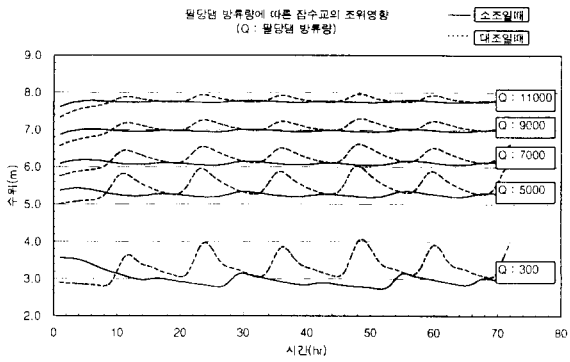

그림 14. 팔당댐 방류량에 따른 잠수교의 조석영향

4. 결 론

본 연구에서는 신곡수중보의 영향과 서해안 조석이 한강 본류의 흐름에 미치는 영향을 실측수위와 수치모형을 이용하여 분석하였다.

실측 수위를 이용하여 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 신곡수중보 상류와 하류, 전류, 한강대교, 잠수교 등의 실측수위를 분석한 결과 신곡수중보로 인한 영향을 분석할 수 있었다(1994. 6. 24~6. 26 자료 이용). 신곡수중보에서 하류에서 상류로 물이 역류하는 시간은 하루 24 hr 동안 2번에 걸쳐 6~8 hr이며 상류에서 하류로 물이 흐르는 시간은 16~18 hr으로 나타났다. 또 상류에서 하류로 물이 흐를 때 신곡수중보 상하류의 수위차는 최대 1.2 m, 하류에서 상류로 흐를 때는 최대 1.0 m의 수위차가 발생함을 알 수 있었다. 신곡수중보는 조차에도 영향을 미치는데 실측자료를 분석한 결과 조차가 2.3 m 정도 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 신곡수중보로 인해 감소된 조석의 영향은 잠수교 지점에도 직접적인 영향을 미쳐 팔당댐의 방류량이 180 m^3/s일 때 잠수교에서는 만조시 최대 1.1 m의 조차가 발생하는 것으로 나타났다.

(3) 신곡수중보 상하류의 수위차에 영향을 미치는 중요한 요소는 팔당댐의 방류량인데 실측자료를 분석한 결과 대부분의 조석상황에서 팔당댐의 방류량이 4,000 m^3/s 정도를 넘으면 신곡수중보 상하류에는 수위차가 발생하지 않는 것으로 나타났다.

수치모형을 통하여 분석한 결과는 다음과 같다.

(1) 신곡수중보의 유무에 따른 상류수위의 변화를 분석한 결과 현재 상태에서 신곡수중보가 없으면 한강 본류 구간에서는 간조시 최대 1.03m, 만조시 0.41m 정도 수위가 낮아지는 것으로 나타났다.

(2) 신곡수중보로 인한 조차의 변화를 분석한 결과, 보 하류쪽에서는 파가 신곡수중보에 부딪치면서 조차가 커졌고 상류쪽에서는 작아진 것으로 나타났다.

(3) 신곡수중보가 있는 경우와 없는 경우에 대한 한강본류의 유량분포를 분석한 결과 조석의 영향으로 잠실수중보 직하류까지 유량의 변화가 발생하며 실제적으로 음(-)의 유량이 발생하는 것으로 나타났다. 신곡수중보의 경우 유량이 -2,000~2,000 m^3/s 범위에서 변화하며 한강대교의 경우 -1,000~1,000 m^3/s까지 변화하는 것으로 나타났다.

(4) 팔당댐 방류량에 따른 잠수교 지점의 조석영향을 분석한 결과 대조의 경우 팔당댐 방류량이 11,000cms 정도가 될 때까지 조위의 영향이 계속해서 나타났다.

본 연구에서는 조석의 영향이 가장 크게 나타나는 조건을 부여하기 위해 서해안에서 최대 조위가 발생하고 팔당댐에서 평상시 유량을 방류할 경우에 한정해서 신곡수중보의 영향 및 조석의 영향을 분석하였다. 따라서 다른 조건에서의 흐름특성은 달라질 수 있음을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

서울특별시 (1986). 한강수위유지시설(하류수중보) 기본계획 및 실시설계 보고서.

건설교통부 한강홍수통제소 (1997). 수리학적 모형을 이용한 한강 상류부 하도의 홍수예측모형개발.

이종태, 한건연, 서병하 (1993). '한강의 홍수규모에 따른 인도교 수위의 조석영향 분석', 한국수문학회지, 26(2), pp. 67~77.