

팔당댐을 내부경계로 포함하는 부정류 계산모형

○유 명 관¹⁾ · 전 경 수²⁾

1. 서론

우리 나라는 여름철에 집중하는 강우로 인하여 빈번한 홍수피해를 겪고 있다. 홍수피해의 경감을 위해서는 가능한 피해 양상을 평가할 수 있는 계산모형이 필요하다. 홍수류 계산모형, 또는 홍수추적 모형은 수문학적 모형과 수리학적 모형으로 대별할 수 있다. 수문학적 모형은 차분형의 연속 방정식과 다분히 개념적인 저류방정식에 근거한 방법으로서 모형이 간단하여 사용하기 간편한 대신에 수리학적 모형에 비하여 정확도가 떨어지고, 동시에 여러 지점에서의 흐름변수, 즉 수위 및 유속을 계산하기에 적합하지 않다. 수리학적 모형은 흐름이 연속적으로 변화하는 경우에 대하여 미분방정식인 연속 방정식과 운동량 방정식, 즉 St. Venant 방정식을 수치적으로 풀으로써 원하는 시간 및 지점에서의 흐름조건을 계산할 수 있고, 실제 물리적 현상과 자연조건을 상세히 반영하므로 수문학적 모형에 비하여 장점이 있다. 그럼에도 불구하고 수리학적 모형은 아직까지도 하천수계 내의 일부구간에 대하여 부분적으로 활용되고 있을 뿐, 수계 전체적인 계산모형으로는 사용되고 있지 않다. 이는 수계 내에 존재하는 각종 내부 경계, 특히 흐름 조절을 목적으로 하는 수공구조물에서의 흐름을 수리학적 모형을 사용하여 모의하기가 어렵기 때문이며, 한강 수계가 전형적으로 이러한 하천수계에 속한다.

하천 내에 존재하는 수공구조물을 내부경계로 포함하는 부정류 계산모형에 관한 기존의 연구들은 수공구조물 상·하류간에 수리학적 관계식이 성립하는 경우에 국한되며, 수리학적 관계식이 아닌 댐에서의 홍수조절 방안을 내부경계로 포함시켜 계산을 수정할 수 있는 부정류 계산모형에 대해서는 시도된 바 없다. 본 연구에서는 팔당댐을 내부경계로 수리학적 모형에 포함하여, 홍수시 운영조건에 대한 모의가 가능하도록 계산모형을 개발하고, 과거 홍수사상에 적용하여 그 적용성을 검토하였다.

2. 계산모형

계산모형으로서의 폐합형 수계에 대한 부정류 계산모형을 사용하였다. 일반적으로 관개·배수 시스템, 우수관거 시스템 등이 폐합형 수계에 속하며, 자연하천 수계의 경우에는 대개 수지형을 이룬다. 그러나 폐합형 수계에 관한 계산모형은 수지형 모형에 비하여 복잡한 대신에, 모형의 적용대상 수계가 폐합형이 아닌 경우에도 합류점 및 분기점, 외부 유출입량 및 월류형 수공구조물 등의 내부경계를 간편하게 처리할 수 있다는 장점이 있으며, 무엇보다도 잠실 및 신곡 수중보가 고정보와 가동보로 이루어져 이들 지점에서는 하도형 및 월류형 흐름이 함께 발생할 수 있다는 한강 본류의 특수한 상황 때문에 폐합형 수계에 대한 계산모형을 사용하였다.

폐합형 수계에 관한 계산모형의 지배 방정식 및 수치해법에 관한 전반적인 내용은 Holly 등(1990)에 상세히 기술되어 있다. 월류흐름의 처리기법에 관한 상세한 내용에 관해서는 田庚秀(1996)에, 교각에 따른 추가적 손실수두에 관한 실험공식으로 Yarnell의 식(Henderson, 1966)을 적용하였으며, 이를 포함한 수치해법에 관해서는 HEC(1996)에 기술되어 있다.

3. 모형의 구성

월곶리에서 팔당댐까지의 한강 본류 구간(92.981 km), 청평댐에서 남한강 합류점까지의 북한강 구간(23.8 km) 및 충주 조정지 댐에서 팔당댐까지의 남한강 구간(92.98 km)을 대상으로 하여 모형을 구성하였다. 모형의 구성을 나타내는 모식도는 그림 1과 같다. 모형의 상류단 및 하류단인 충주 조정지 댐, 팔당댐 및 월곶리와 임진강, 안양천, 중랑천, 탄천, 왕숙천, 경안천, 흑천, 복하천,

1) 성균관대학교 공과대학 토목공학과 석사과정

2) 성균관대학교 공과대학 토목공학과 조교수

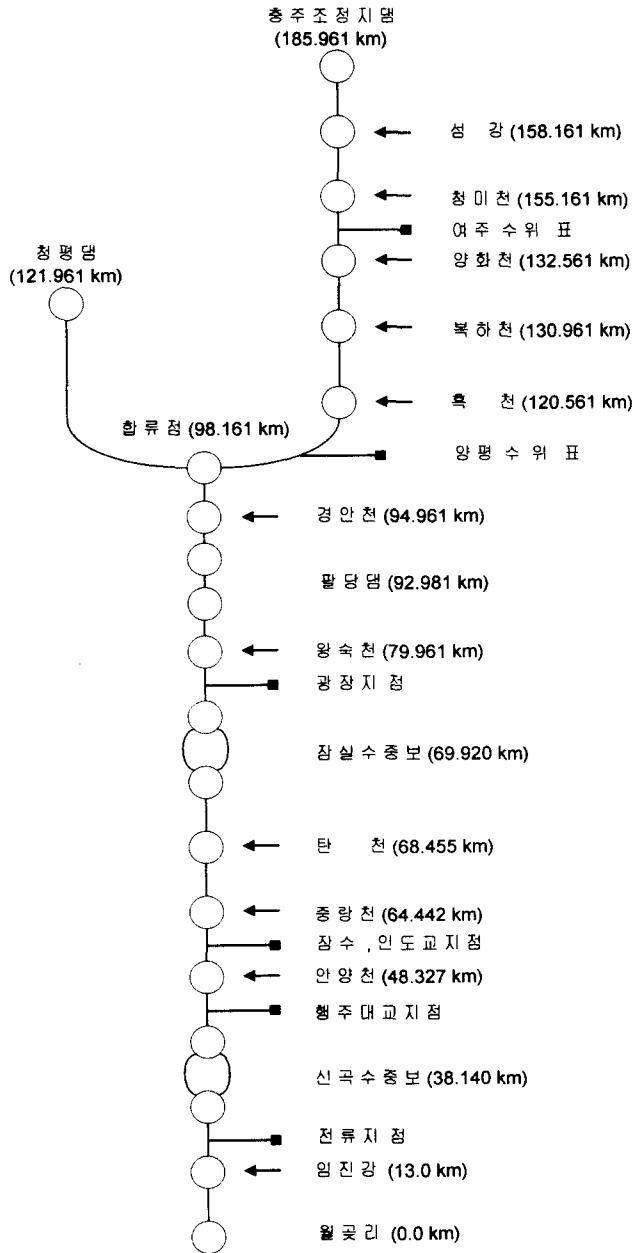


그림 1. 팔당댐을 내부경계로 하는 부정류 계산모형의 모식도

양화천, 청미천, 섬강 등 11개 지천의 유입지점, 남·북한강 합류점, 팔당댐의 직상류 및 직하류, 잠실 및 신곡 수중보의 직상류 및 직하류에 각각 절점에 위치하도록 하였다. 앞에서도 언급한 바와 같이 잠실 수중보와 신곡 수중보는 고정보와 가동보의 복합형으로 되어 있다. 따라서 가동보가 완전히 개방되는 홍수시 흐름의 경우, 고정보 측에서는 월류형 흐름이, 가동보 측에서는 하도형 흐름이 각각 발생하게 된다. 따라서 이들을 분리하여 모의하기 위하여 두 개의 수로로 연결되는 폐합형 수계 모형을 구성하였다. 고정보 흐름 모의를 위한 수로 상에는 상·하류측에 각각 한 개씩 두 개의 계산점이, 개방된 가동 흐름을 위한 수로 상에는 3개의 계산점이 포함되도록 하였

다. 또한 한강 본류에 대해서는 행주대교, 성산대교, 양화대교, 당산철교, 마포대교, 원효대교, 한강대교, 동작대교, 반포대교, 한남대교, 동호대교, 성수대교, 잠실대교, 잠실철교, 올림픽대교 및 광진교 등 총 17개의 교량이 포함되도록 모형을 구성하였다. 하천수로내 각 계산점에서의 횡단면 자료는 서울시 관내 하천제방 안전도 검토 및 치수 종합 대책수립 보고서(1992) 및 한강 하류연안 개발계획 보고서(1989) 등의 하천측량 자료를 사용하였다. 수중보 직상류 및 직하류의 절점들은 두 개의 수로로 연결되며, 그밖의 절점들은 인접 절점들과 각각 한 개의 수로로 연결된다. 따라서 전체모형은 총 21개의 절점과 22개의 수로로 구성되며, 계산점간 평균 간격은 약 200 m이다.

4. 모형의 보정

한강 본류에 대한 모형의 보정에 관해서는 황의준과 전경수(1997)에 상세히 기술되어 있다. 팔당댐 상류 하천 구간의 조도계수 추정을 위하여 충주 조정지 댐과 청평댐을 상류단으로, 팔당댐을 하류단으로 하는 모형을 구성하였다. 즉 그림 1에서 팔당댐 하류 부분을 제외시켜 매개변수 추정을 위한 부분모형을 구성하고, 1987년부터 1993년 사이에 발생한 홍수사상 중 충주 조정지 댐 및 청평댐 방류량과 팔당댐 수위 및 여주 또는 양평 수위표 자료가 가용한 12개의 홍수사상 자료(표 1 참조)를 이용하여 모형의 보정을 수행하였다. 충주 조정지 댐 및 청평댐 방류량을 상류단 경계조건으로, 팔당댐 수위를 하류단 경계조건으로 각각 사용하였다. 유입지천 중 경안천, 섬강 및 청미천의 지천 유입량은 경안, 문막 및 청미 수위표 자료와 수위-유량 관계식으로부터 산정하였으며, 흑천, 북하천 및 양화천에 대해서는 청미천 유입유량에 대한 비유량을 각각 산정하여 지천 유입량으로 취하였다.

표 1. 남한강 구간의 조도계수 추정에 사용된 홍수사상 자료

번호	기간	충주조정지댐 최대방류량(CMS)	청평댐 최대방류량(CMS)
1	90/9/9 23:00 ~ 90/9/13 23:00	16646	16103
2	90/6/20 01:00 ~ 90/6/27 23:00	2443	3304
3	90/7/19 01:00 ~ 90/7/25 23:00	1383	5057
4	88/7/19 01:00 ~ 88/7/25 16:00	5340	2496
5	87/7/21 01:00 ~ 87/7/24 23:00	5457	3798
6	87/8/3 01:00 ~ 87/8/6 23:00	3330	4141
7	93/7/13 01:00 ~ 93/7/16 23:00	1941	1763
8	88/7/13 01:00 ~ 88/7/16 23:00	2178	3055
9	87/7/26 01:00 ~ 87/7/30 23:00	2678	3214
10	89/7/25 04:00 ~ 89/7/30 23:00	3505	3168
11	91/7/24 12:00 ~ 91/7/26 12:00	2330	10339
12	87/8/7 01:00 ~ 87/8/9 23:00	1671	1590

북한강 구간에 대해서는 모형의 보정을 위한 수위 관측자료가 가용하지 않으므로 조도계수의 값을 임의로 부여할 수밖에 없다. 그러나 이와 같이 임의로 부여되는 조도계수의 값이 남한강 구간의 여주 및 양평지점 수위 계산치에 영향을 미친다면 남한강 구간에 대한 조도계수의 추정엔 별 의미가 없게 된다. 따라서 북한강 구간의 조도계수가 여주 및 양평 수위 계산치에 미치는 영향을 평가하기 위하여 북한강 구간의 조도계수를 0.025, 0.033, 0.050으로 변화시켜 가며 각 홍수사상에 대한 모의계산을 수행하였다. 북한강 구간의 조도계수 값을 0.025, 0.033 또는 0.050으로 부여하는 각 경우에 대하여 남한강 구간의 조도계수를 0.025, 0.033 및 0.050으로 변화시켜 가며 각각의 경우에 대한 계산을 수행하였다. 그 결과 모든 홍수사상에 대하여 북한강 구간의 조도계수는 양평과 여주 지점의 수위 계산치에 거의 영향을 주지 못함을 알 수 있었다. 즉, 북한강 구간의 조도계수를 임의의 값으로 설정하더라도 남한강 구간에 대한 조도계수를 추정하는데 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 따라서 북한강 구간의 조도계수는 0.030으로 고정하고 남한강

구간에 대한 조도계수의 추정을 수행하였다. 남한강 구간의 조도계수를 추정하기 위한 목적함수로는 여주 및 양평 지점에서의 매 시각 수위 관측치와 계산치간의 오차 제곱합이 최소가 되도록 하였다. 조도계수의 추정 결과와 그에 따른 RMS 오차는 표 2에 요약된 바와 같다.

표 2. 남한강 구간에 대한 조도계수 추정결과 및 RMS 오차

홍수사상	추정된 조도계수	RMS 오차
1	0.032	0.7105
2	0.045	0.3377
3	0.035	0.1239
4	0.035	0.3484
5	0.037	0.4859
6	0.037	0.4121
7	0.041	0.2879
8	0.040	0.3356
9	0.043	0.3364
10	0.038	0.4685
11	0.043	0.2543
12	0.034	0.2179
평균	0.038	0.3599

5. 팔당댐 홍수조절 방안의 설정 및 계산기법의 수립

팔당댐은 원래 발전용 댐으로서 홍수조절 용량은 없다. 상시 만수위는 El. 25.50 m, 홍수시 만수위는 El. 27.00 m이며, 발전 가능한 최저 수위인 저수위는 El. 25.00 m이다. 홍수조절 용량이 설정되어 있지 않기 때문에 홍수기 제한수위는 존재하지 않는다. 팔당댐에 대하여 명확히 설정된 홍수조절 방안은 없으나 과거의 운영자료를 검토해 본 결과, 실제로 홍수기의 댐 조작용은 상시 만수위 El. 25.50 m를 넘지 않는 범위에서 저수위인 El. 25.00 m 이상으로 댐 수위를 유지하도록 하고 있다. 팔당댐 수위가 저수위 이하로 내려가도록 하지 않기 위해서는 저수위인 El. 25.00 m 이상으로 목표 수위(target water level)를 설정하여, 이를 유지하도록 하는 방안을 생각할 수 있다. 댐 수위를 일정하게 유지하기 위해서는 방류량을 조절해야 한다. 각 시간 준위마다 댐 지점에서의 유입량에 대하여 전혀 방류를 하지 않더라도 수위가 El. 25.50 m 이하로 유지될 수 있다면 방류량을 영으로 한다. 방류량을 영으로 할 경우에 수위가 El. 25.50 m 이상으로 상승하게 될 것이라면, 수위가 El. 25.50 m에서 유지되도록 적정량을 방류한다. 이러한 과정, 즉 방류량의 조절은 실제로는 수문의 조작에 의하여, 즉 개도에 따라 이루어진다. 그러나 수리학적 모형에서는 이러한 과정, 즉 몇 개의 수문을 어느 정도 개방할 것인지를 반영하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 수문의 일부를 완전히 개방하여 필요한 양을 방류하는 것으로 보고 이 과정을 모의하였다.

각 시간 준위마다 우선 수문을 전혀 열지 않는 경우에 대하여 전체 시스템에 관한 계산을 수행하여 댐 수위가 El. 25.50 m 이상이 될 것으로 판명되면, 수문 개방 폭을 약간씩 늘려가며, 각 경우에 대한 계산을 수행하여 댐 수위를 산정한다. 이 과정에서 댐 수위가 El. 25.50 m에 근접하게 되면 그 때의 계산결과를 현 시간 준위에 대한 계산결과로서 취하고 다음 시간 준위로 넘어간다. 방류를 전혀 하지 않는 경우에 대한 모의 기법은 田庚秀(1996)에 상세히 기술되어 있다. 수문을 전면 개방한 경우에도 댐 수위가 El. 25.50 m를 넘는다면 수문을 모두 개방하는 것으로 하며, 이 때 댐 수위는 불가피하게 상시 만수위를 초과하게 된다.

6. 모형의 적용

이와 같이 수립된 방법을 사용하여 1988년부터 1990년도 사이에 발생한 5개 홍수사상에 대한 모의계산을 수행하였다. 사용된 홍수사상은 표 3에 정리된 바와 같다. Manning의 조도계수 값으로는 한강 본류 구간에 대해서는 2 매개변수 모형에 대한 추정치들로서 왕숙천 유입 지점 상류 구간에 대해서는 0.0386의 값을, 하류구간에 대해서는 0.0262의 값을 각각 사용하였으며(황의준과 전경수, 1997), 남한강 구간에 대해서는 4장에서 12개 홍수사상에 대하여 추정된 조도계수의 평균

치인 0.038을 사용하였다(표 2 참조). 북한강 구간에 대해서는 0.03의 값을 임의로 부여하였다. 그림 2와 3은 홍수사상 1 및 5에 대한 모의결과를 예시한 것으로서, 팔당댐 수위와 방류량을 실제 홍수사상 당시의 관측치와 비교하여 나타내고 있다. 우선 댐 수위 계산 결과를 보면 물리적으로 가능한 경우에는 목표 수위로 설정된 El. 25.50 m로 수위가 유지되도록 잘 모의되고 있음을 알 수 있다. 홍수사상 1에 대한 계산 결과를 보면(그림 2 참조) 약 20 시간 동안 댐 수위가 목표 수위를 상회하고 있는데, 이는 댐 상류로부터의 유입유량이 매우 커서 수문을 모두 완전히 개방하여 방류하더라도 댐 수위가 목표 수위 이하로 유지될 수 없기 때문이다. 이는 당시의 실제 댐 수위 관측 기록에서도 마찬가지로 나타나고 있음을 알 수 있다. 홍수사상 1의 경우, 모형에 의하여 계산된 팔당댐 최대 방류량은 당시의 실제 최대 방류량과 거의 같으면서도, 댐 수위가 25.50 m 이상으로 상승한 기간은 10 시간 정도 짧아지는 것으로 나타남을 볼 수 있다. 홍수사상 1에 비하여 그 규모가 매우 작은 홍수사상 5의 경우(그림 3 참조) 당시의 댐 수위를 25.50 m로 유지했다면 팔당댐의 방류량을 어느 정도까지 감소시킬 수 있었을 지가 잘 모의되고 있다.

표 3. 모형의 적용을 위한 홍수사상 자료

번호	홍수사상	충주 조정지댐	청평댐	팔당댐
		최대방류량(CMS)	최대방류량(CMS)	최대방류량(CMS)
1	90/9/9 23:00~90/9/13 12:00	16646	16103	31303
2	90/7/19 01:00~90/7/25 23:00	1383	5057	8806
3	88/7/19 01:00~88/7/25 16:00	5340	2496	11445
4	88/7/13 02:00~88/7/16 23:00	2178	3055	8431
5	89/7/25 11:00~89/7/30 23:00	3505	3168	6485

7. 결론

상시 만수위인 El. 25.50 m를 목표 수위로 하는 조건을 팔당댐의 홍수조절 방안으로 설정하고, 이러한 운영조건을 수리학적 모형의 내부경계로 포함시킬 수 있도록 하는 계산 모형을 수립하였다. 수립된 방법을 사용하여 과거에 발생한 홍수사상에 대한 모의계산을 수행한 결과, 설정된 홍수조절 방안이 잘 모의되는 것으로 나타났다.

감사의 글

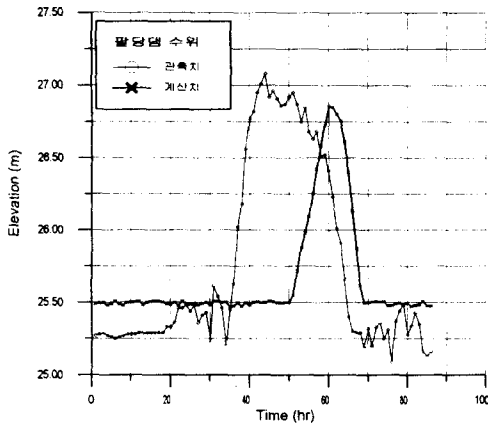
본 연구는 한국과학재단의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며(과제번호: 961-1205-018-2) 이에 사의를 표한다.

참고문헌

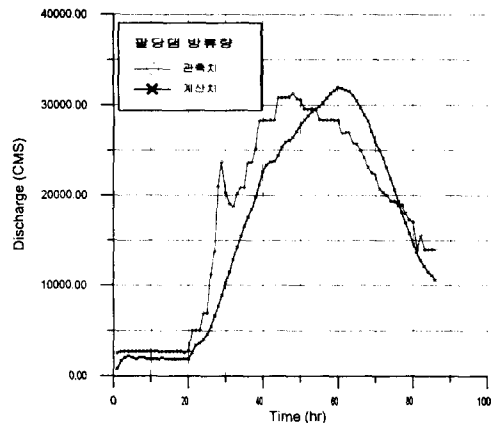
- 서울시 관내 하천제방 안전도 검토 및 치수 종합 대책수립 보고서. (1992). 서울특별시.
- 田庚秀 (1996). "월류흐름을 포함한 부정류 계산모형에 관한 연구." 韓國水資源學會誌, 제29권, 제2호, pp. 153-165.
- 한강 하류연안 개발계획 보고서. (1989). 건설부 서울지방 국토관리청.
- 황의준, 전경수 (1997). "한강 본류에 대한 부정류 계산모형: 모형의 보정." 韓國水資源學會論文集, 제30권, 제5호, pp. 549-559.
- HEC (1996). UNET: one-dimensional unsteady flow through a full network of open channels, version 3.1 user's manual. US Army Corps of Engineers.

Henderson, F.M. (1966). Open channel flow. Macmillan.

Holly, F.M., Yang, J.C., Schwarz, P., Schaefer, J., Hsu, S.H., and Einhellig, R. (1990). "Numerical simulation of unsteady water and sediment movement in multiply connected networks of mobile-bed channels." IIHR Report No. 343, Iowa Inst. of Hydr. Res., Iowa City, Iowa.

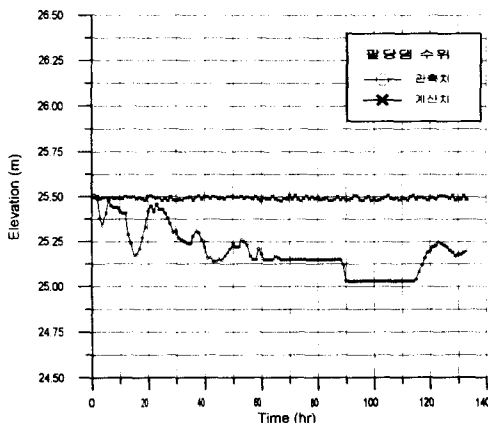


(a) 팔당댐 수위

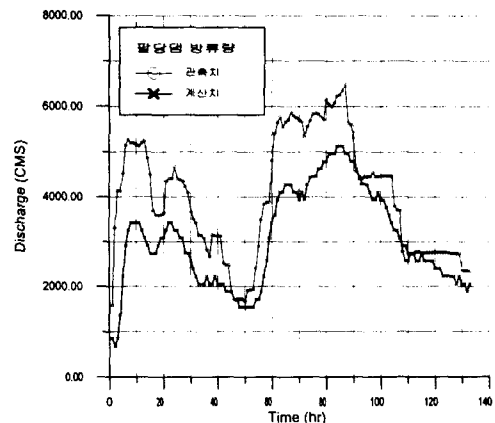


(b) 팔당댐 방류량

그림 2. 팔당댐 홍수조절 방안을 내부경계로 하는 계산모형에 의한 모의 결과(홍수사상 1)



(a) 팔당댐 수위



(b) 팔당댐 방류량

그림 3. 팔당댐 홍수조절 방안을 내부경계로 하는 계산모형에 의한 모의 결과(홍수사상 5)