

낙동강 수계 댐 방류량 조절을 위한 하도추적 모형 연구(I)

신용노*, ○신사철**, 박명기**, 박종택***

1. 서론

홍수기 댐에서 방류한 물은 긴 河道를 따라 흐르면서 支流의 유입량과 합쳐져서 흐르게 된다. 그러므로 댐 하류 地點에서의 流出量은 무엇보다도 중요한 變數이며 이에 대한 평가가 선행되어야 홍수조절 및 용수공급의 신뢰성이 보장될 수 있다. 이 流出量은 댐의 放流量과 支川 流入量의 합이라고 간단히 생각할 수 있는데, 여기서 방류량은 조절 가능한 값이므로 기지의 값이라고 할 수 있으나 支川의 유입량은 조절 불가능한 값이고 미래의 값을 예측하기 매우 어렵다.

현재 한국수자원공사에서는 다목적댐 상류 流域의 流出模型으로서 貯留函數法에 근간을 둔 홍수 流出模型이 구축되어 댐 유입량을 예측하고, 댐 방류량을 결정하여 다목적댐의 홍수조절 업무에 활용하고 있다. 그러나 아직까지 다목적댐 하류의 지류 유입량과 댐방류량이 하류 제어 지점에 미치는 양적인 영향을 감안하여 홍수피해를 사전에 예측·조절할 수 있는 방법은 미흡하다. 따라서 본 연구의 목적은 수문학적 강우-유출 모형과 수리학적 하도추적 모형을 결합하여, 낙동강 수계 다목적댐 하류에 대한 유역유출 체계를 확립하는 것이다. 이로부터 댐군의 방류시 지류의 유입을 고려한 하류영향 예측이 가능하도록하여, 다목적댐의 홍수조절 의사결정 능력을 향상 시키고자 한다.

2 다목적댐 하류부의 강우-유출 체계 구성

2.1 유역 및 하도의 분할

낙동강과 같이 유역면적이 대단히 큰 유역의 본류와 주요 수위표 지점에 대하여 저류함수법에 의한 유출계산을 실시하기 위해서는 전 유역과 하도를 적절한 크기의 소유역과 하도구간으로 분할하여 상류로부터 하류방향으로 축차적으로 홍수추적을 하여야 한다. 본과업의 최종적 목표인 수리학적 모형과의 연계를 고려할 때 낙동강 홍수예경보 시스템의 유출체계도는 몇 개의 소유역에서 유역유출의 물리적 특성반영이 부족하였다. 따라서 본과업에서는 낙동강 홍수예경보 시스템에 구성되어 있는 소유역 및 하도를 기본으로 38개의 소유역과 33개의 하도구간으로 분할하여 유출계산을 수행하였다. 낙동강 유역 다목적댐 하류부의 소유역 분할도를 그림 1에 표시하였으며 그에 따른 유출 모식도를 그림 2에 나타내었다.

2.2 단위 소유역 및 하도의 매개변수 결정 및 시험 운영

낙동강수계 다목적댐 하류부의 유역유출 모의를 위해 사용된 자료는 1993년 8월 홍수(8. 7~8. 15)의 강우량과 상류 다목적댐의 방류량 자료이다. 먼저 유역 및 하도에 대한 매개변수를 초기치로 설정하고, 관측유량값과 적합도가 높은 매개변수를 동정하여 본류상 4개 수위관측소 지점에서 모형 수행 결과를 도시한 결과는 다음의 그림 3~6과 같다.

* 한국수자원공사 선임연구원, ** 연구원, *** 과장

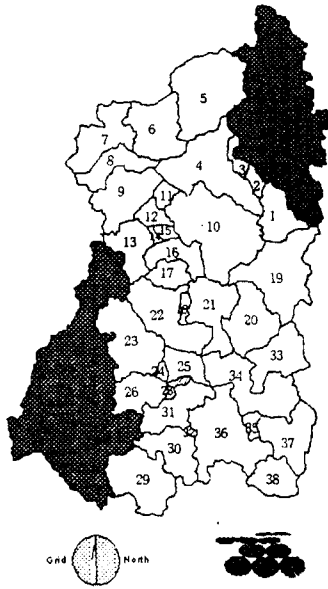


그림 1. 낙동강 유역의 소유역 분할도

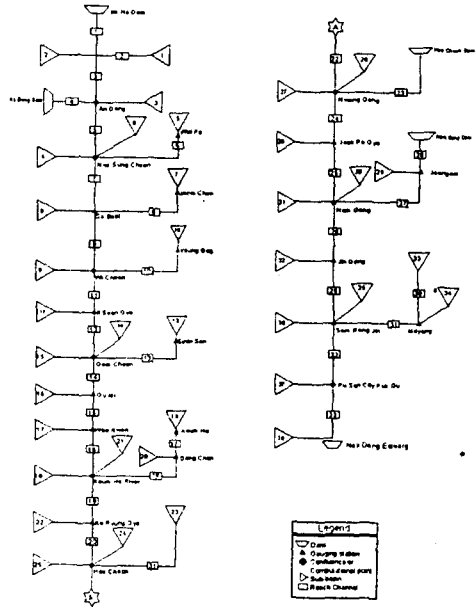


그림 2. 낙동강 유역의 유출 모식도

중상류에 위치한 사벌 및 일선교 지점에서는 관측 및 계산 수문곡선의 형태가 비교적 잘 일치하나, 중·하류부로 내려 오면서 관측 및 계산 수문곡선의 형태가 틀러지는 것을 알 수 있다. 유출용적은 진동 수위관측소 지점에서 11.5%의 오차를 보이는 것을 제외하곤, 사벌, 일선교 및 왜관 지점에서 10% 미만이다. 그러나 Peak 도달시간은 비교적 많은 시간차를 보이며, 하류로 내려오면서 첨두유량과 Peak 도달시간의 오차가 확대되는 것을 알 수 있다.

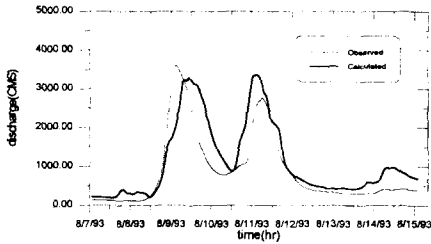


그림 3. 사벌 수위관측소의 수문곡선

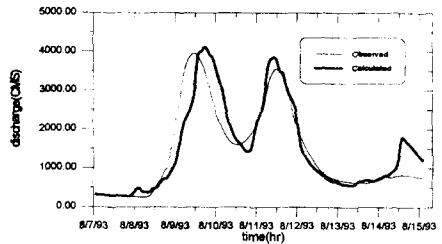


그림 4. 일선교 수위관측소의 수문곡선

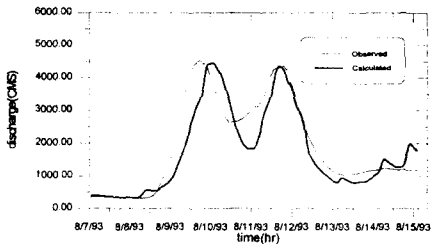


그림 5. 왜관 수위관측소의 수문곡선

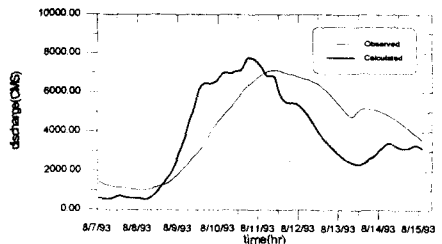


그림 6. 진동 수위관측소의 수문곡선

3. 소유역의 매개변수 산정

3.1 매개변수 산정방법

저류함수법을 이용해 강우-유출 관계를 모의하기 위해서는 유역 및 하도에서 저류상수 K, P 및 지체시간 T1을 결정하여야 한다. 소유역의 매개변수를 추정하기 위한 방법으로는 해석적 방법, 최적화 기법 및 경험적 방법을 이용할 수 있다. 이중 최적화 기법은 더 많은 컴퓨터 수행시간을 필요로 하지만 전체적인 보정 과정에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있다. 더욱이 근래에는 컴퓨터의 발달로 컴퓨터의 수행시간이 차지하는 비율이 적어짐으로 인해 최적화 보정기법의 효율성이 증가되고 있다. 따라서 한국수자원공사에서는 모형의 실시간 보정과정을 개선하기 위하여 최적화 기법의 하나인 Pattern-Search법을 저류함수 유출모형에 적용하였다. 본 연구에서는 우선 길안 수위관측소 지점에서 유역의 저류상수를 해석적 방법으로 산정하여 그 적합성을 검토하고, 지속적인 연구를 통하여 신뢰성있는 유출자료가 있는 모든 지점에서 확대 수행할 계획에 있다.

3.2 길안 수위관측소의 유역 저류상수 산정

분석대상 홍수사상은 유출자료의 신뢰도를 고려하여 '88 ~ '90년 수문자료에서 3개 홍수를 '87년 수문자료에서 1개 홍수사상을 선정하였다. 유역의 저류상수 K, P를 결정하기 위하여 지체시간 T1을 변화시켜 직접 유출고와 유역저류고의 관계를 조사하여 저류고와 유출고 사이의 loop가 최소가 될때의 지체시간을 결정한다. 4개 홍수사상 중 '90년 홍수를 제외하면 홍수사상별 지체시간은 약 3.7 ~ 4.2 시간으로 큰차이가 없어 3개 홍수의 평균인 3.90시간을 길안천 수위관측소의 대표값으로 선택하였다. 한유역에서 개개의 단일홍수 또는 복합홍수로부터 유도된 유역의 저류상수는 서로 상이하므로 본 연구에서는 길안 수위관측소 지점의 대표 저류상수를 최소자승법을 이용해 유도하였다. 특이한 현상을 보이는 '89년 8월 22일 홍수를 제외한 3개 홍수사상의 유역저류고와 유출고 자료를 동시에 고려하여 추정된 저류함수식의 상관계수는 그림 7에서 보는 바와 같이 0.5005로 양호하다고 할 수는 없다. 따라서 지속적인 연구를 통하여 해석적 기법과 최적화 기법을 병행·검토하여 소유역을 대표하는 유역의 저류상수를 산정할 계획이다. 이상에서 검토된 길안천 수위관측소 유역의 저류상수 및 지체시간을 각 경험식과 비교하면 다음의 표 1과 같다.

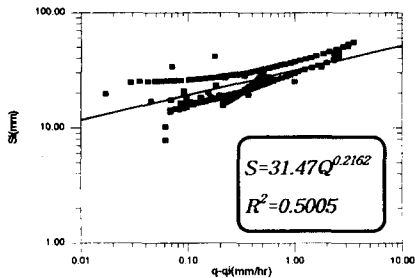


그림 7 길안 수위관측소 지점의 대표 저류상수 K, P의 결정

표1. 길안 수위표지점의 매개변수 비교

구 분	K	P	T1
본 과 업	31.47	0.2162	3.90
낙동강수계 유출 프로그램 개선	22.26	0.3855	3.12
도네가와(利根川) 공식	26.61	0.5651	2.47

4. 부정류 하도추적 체계 구성

4.1 단면자료 및 경계조건

한국 수자원공사에서 개발된 Loopnet 모형은 해의 안정성 및 정확성에서도 별 무리가 없는 점과 실무에의 적용 경험 등을 고려하여 부정류 하도추적을 위하여 Loopnet 모형을 선정하였다. 낙동강 수계의 부정류 하도추적 체계 구성을 위한 하도망은 5개 하도로 결정하였으며 각 하도에서의 하천 단면은 지류 유입부와 홍수예警보를 위한 낙동강 본류와 지류상의 주요 수위표 지점은 필수적으로 선택하였다. 입하댐 조정지점 하류에서 낙동강 하구둑까지는 총 66개, 황강(합천 조정지댐~낙동강

합류부) 10개, 남강(남강댐~낙동강 합류점) 10 등 총 86개의 하천 횡단면 자료를 이용하였다.

본 연구에서 모의하는 하도추적 구간은 낙동강 본류(임하 조정지댐~낙동강 하구둑), 황강(합천 조정지댐~낙동강 합류부), 남강(남강댐~낙동강 합류부)으로 선정하였으므로 각각에 대한 상류 경계조건이 필요하다. 각각의 하천 구간 최상류에는 임하댐, 합천댐, 남강댐이 있으므로 이들의 방류량을 상류 경계조건으로 설정하였다. 안동댐 방류량의 경우는 반변천 합류점에서 local flow가 유입하는 것으로 간단히 처리하였다. 낙동강 하구둑에서는 저수지 수위가 관측되고 있으므로 낙동강 하구둑의 저수위를 하류 경계조건으로 설정하였다.

4.2 부정류 하도추적 체계 구성

수문학적 하도추적 방법이 갖는 단점을 보완하기 위해서는 보다 상세한 하도추적 체계를 구성하는 것이 바람직 할 것이다. 그러나 복잡한 하도추적 체계는 홍수기 댐운영시 신속한 의사결정에 다소 무리가 있을 것으로 판단돼 상류단에 다목적댐이 있는 하도구간 만을 선정하였다. 즉 낙동강 본류와 합천댐이 위치한 황강과 남강댐이 있는 남강 등의 3개 하도구간을 선택하였다. 여기서 낙동강 본류는 임하 조정지댐에서 낙동강 하구까지로 하고, 황강 하도와 남강하도가 각기 본류 하도와 합류하는 것으로 구성하였으며, 계산의 간편성을 위해 반변천 합류부 직상류에 위치한 안동 조정지댐의 방류량은 local flow형태로 본류에 유입되는 것으로 처리하였다. 2개 이상의 단위하도가 만나는 합류점에서 LOOPNET 모형은 유량의 물수지가 만족되고 동일수위 가정이 적용되는 내부 경계조건으로 이용된다. 따라서 2개 이상의 단위하도가 만나는 합류점이 2개 이므로 설정된 단위하도는 모두 5개 하도로 구성되었다.

최종적으로 구성된 하도추적 체계는 그림 8에 제시되어 있다. 구성된 하도추적 체계에서는, 本流 하도추적 구간이 반변천의 임하 조정지댐부터 낙동강 하구둑댐까지이다. 황강과 남강은 支流로서 本流 河道에 유입된다. 38개의 소유역에서 모의되는 유량은, 소유역 번호와 유입 위치로 구분되어 하도추적 체계에 포함되어 있다. 화살표로 표시된 것은 본류에 인접한 소유역이나 支流가 하도추적 구간의 특정 지점으로 유입되는 것을 나타낸다.

구축된 하도추적 체계는 안동댐과 임하댐, 합천댐, 남강댐의 방류량이 하류로 전파되는 양상을 모의한다. 하류로 流下한 물은 38개 소유역으로부터의 유입량과 합쳐져서 낙동강 하구둑까지 계속 흘러가게 된다. 각각 하도구간의 최상류에 위치한 임하댐, 합천댐, 남강댐의 방류량을 상류 경계조건으로 설정하였으며, 낙동강 하구둑에서는 하류 경계조건으로서 저수위를 사용하게 되고, 전체 하도 구간에서는 수위 h 와 유량 Q 가 계산된다.

4.3 강우-유출 및 하도추적 모형 통합모의

앞에서 구성한 하도추적 체계와 38개 소유역의 유출량으로 낙동강유역 다목적댐 하류부의 유출을 모의하였다. 전체 유출체계의 입력자료는 강우량과 안동, 임하, 합천 및 남강댐의 방류량이다. 강우-유출 모형에서는 각 소유역별 유출량을 모의한 후 하도추적 모형에 입력되는 local flow 및 댐 방류량을 file로 출력하고, 하도추적 모형에서는 이들을 小支流 유입량으로 받아들여 하천구간의 각 계산지점에서 미지수를 구해낸다. 즉 상류의 댐 방류량과 낙동강 하구둑의 저수위를 외부 경계조건으로 하고, 소유역의 유출량을 받아들여 전체 유역의 유출을 모의한다.

'93년 8월 홍수(8. 7~8. 15)의 수문자료와 댐 자료를 입력하여 하도추적 모형을 수행한 결과는 다음의 그림 9, 10과 같다. 왜관 수위 관측소 지점에서 저류함수 모형에 의한 유량 수문곡선과 수리학적 하도추적모형에 의한 수위 수문곡선 형태는 관측수문곡선과 잘일치하나, 초반부에서 관측 수문곡선보다는 두께 모두가 지체가 되는 것을 알 수 있다. 또한 진동 수위관측소 지점에서는 관측

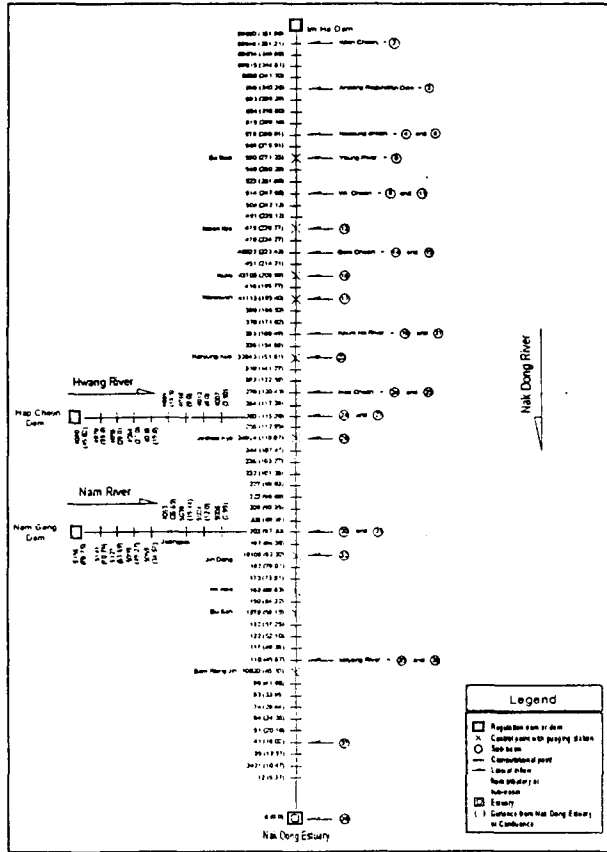


그림 6.3 낙동강수계 다목적댐 하류 하도추적 체계

치와 비교할때 저류함수모형에 의한 유량 수문곡선은 침투 유량군이 조기에 형성되나, 수리학적 모형에 의한 계산 수위 수문곡선은 침투부에서 관측치와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 한개의 홍수 사상에 적용하여 본 연구에서 구축된 시스템을 평가하기에는 이르지만 홍수기 댐운영시 저류함수 모형에 의한 강우 유출 모형과 강우 유출 모형과 수리학적 하도추적 모형을 통합한 시스템을 동시에 적용하여 상호 보완 과정을 통해 운영한다면 다목적댐의 홍수조절 의사결정능력을 향상시킬 수 있다고 판단된다.

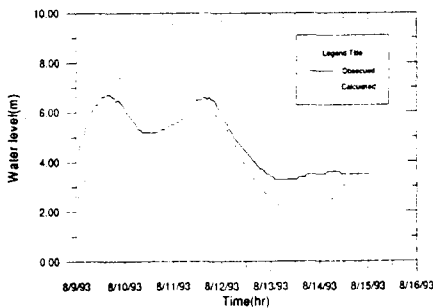


그림 9. 왜관 수위관측소의 수위수문곡선

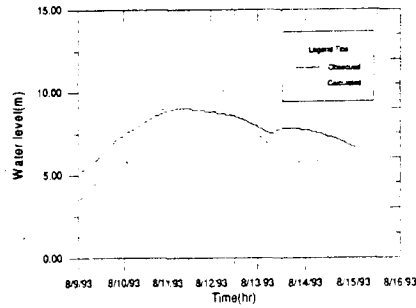


그림 10. 진동 수위관측소의 수위수문곡선

5. 결론

낙동강 流域의 안동, 임하, 합천, 남강 다목적댐에는 효율적인 운영을 위하여 여러가지 운영방안들이 연구되고 있다. 이들 운영방안에는 댐 하류지역의 支流 流入量이 고려되어야 하므로 보다 기술적이고 과학적인 평가를 필요로 한다. 또한 댐 상·하류 지역의 도시화 및 기상변화 추이 등으로 다목적댐 하류지역의 효율적인 홍수조절을 위하여 댐 지점 뿐만 아니라 下流 流域의 流下量 豫測까지 고려한 치수단위 流域 물관리 체계가 요구된다. 따라서 낙동강 수계 다목적댐 하류부에 대한 유역유출 체계를 확립하여 다목적댐의 홍수조절 의사결정 능력을 향상시키기 위해 주로 강우-유출과 하도추적 모형을 선정하여 낙동강 수계의 유역유출 체계를 구축하는데 주력하였다.

수리학적 하도추적을 위한 하도망은 낙동강 본류(임하댐 - 낙동강 하구둑), 황강(합천댐 하류 - 황강 합류점), 남강(남강댐, - 남강 합류점) 등 크게 3개 하도로 구성하였다. 이때에 86개 하천 단면 측량성과를 이용하였으며, 임하, 합천 및 낙동강 하구둑의 방류량과 저수위를 외부 경계조건으로, 안동댐의 방류량은 반변천 합류점에서 유입되도록 시스템을 구성하였다.

강우-유출과 수리학적 하도추적 모형의 통합모의는 '93년 8월 홍수(8. 7~8. 15)의 수문자료를 이용하였다. 통합모형을 수행한 결과 왜관 수위 관측소 지점에서 저류함수 모형에 의한 유량 수문곡선과 수리학적 하도추적모형에 의한 수위 수문곡선 형태는 관측수문곡선과 잘 일치하나, 초반부에서 관측 수문곡선보다는 두께 모두가 지체가 되는 것을 알 수 있다. 또한 진동 수위관측소 지점에서는 관측치와 비교할때 저류함수모형에 의한 유량 수문곡선은 침두 유량군이 조기에 형성되나 수리학적 모형에 의한 계산 수위 수문곡선은 침두부에서 관측치와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 한개의 홍수사상에 적용하여 본 연구에서 구축된 시스템을 평가하기에는 이르지만 홍수기 댐운영시 저류함수모형에 의한 강우-유출 모형과 낙동강 본류 및 주요지류의 하도구간에서 홍수추적을 수리학적 하도추적 모형으로 대체한 시스템을 상호·보완하여 운영한다면 다목적댐의 홍수조절 의사결정 능력을 향상시킬 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- 낙동강 수계 홍수유출 프로그램 개선 (1995). 건설교통부
- 낙동강 유역조사 보고서 (1990). 한국수자원공사. pp 4-1~4-86.
- 박봉진, 김규문 (1996). "댐방류에 따른 하류홍수추적연구(II)." '96년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 247-253.
- 박봉진, 박정기, 정관수(1995). 댐방류에 따른 하류홍수추적연구(I)," '95년 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 47-478.
- 박봉진, 이환기, 정관수 (1996). "폐합형수계 모형에 의한 부정류 해석". 한국수문학회지, Vol. 2, No.5, pp.129-138.
- 이환기 (1987). "수치모형에 의한 개수로 Network의 부정류 해석." 제8회 한국대댐학회 학술발표회 발표집.
- Abbott, M.B. and Basco, D.R. (1989). Computational fluid dynamics : An introduction for engineers. Longman Scientific & Technical.
- Abbott, M.B. (1992). Computational hydraulics : Elements of the theory of free surface flow. Pitman, London.
- Cunge, J.A., Holly, F.M., Jr., and Verwey, A. (1980). Practical aspects of computational river hydraulics. Pitman.