

홍수시 영산강 수계 댐 군의 연계운영에 관한 연구

Multi-Reservoir Operation for Flood Control of the Youngsan River System

지병걸*, 노정환**, 전경수***, 이재형****

Byeong Geor Jung Hwan Roh, Ji, Kyung Soo Jun, Jae Hyung Lee

요 지

영산강 수계의 담양댐, 광주댐, 장성댐 및 나주댐 등 댐 군의 연계운영에 의한 홍수조절 효과를 검토하였다. 각 댐의 운영방안으로는 Rigid ROM을 적용하였으며, 댐 방류수의 홍수추적을 위하여 부정류 계산모형을 적용하였다. 200년 빈도 홍수수문곡선을 대상으로 하여 Rigid ROM의 매개변수인 각 댐의 일정 방류율을 변화시켜가며, 각 댐 하류 하천의 합류점 등 주요 지점에서의 유량 수문곡선을 구하여 비교하였다. 전반적으로 각 댐의 방류 능력이 낮아 일정률을 크게 할 경우 Rigid ROM에 따른 방류를 할 수 없는 경우가 발생하였다. 또한 각 댐의 배수유역 면적이 작은 관계로, 일정률의 변화에 따른 최대 방류량의 차이가 각 댐 하류 유역 유출량에 비하여 매우 작아 Rigid ROM을 적용할 경우에는 연계운영 효과를 기대하기 어려운 것으로 나타났다.

핵심용어 : 홍수, 댐, 연계운영, Rigid ROM, 영산강

1. 서론

우리나라는 여름철에 집중되는 강우로 인하여 막대한 홍수피해를 내고 있다. 따라서 하천 중상류에 댐을 건설하고 하천정비사업을 실시하여 홍수에 의한 피해를 막고 수자원을 효율적으로 이용하기 위한 노력들이 계속 이루어지고 있다. 이러한 구조적인 대책과 더불어 병행되어야 할 비구조적 대책으로서 댐의 적절한 운영에 의한 홍수 조절을 들 수 있다. 최근 이상기후의 영향으로 우리나라의 홍수에 대한 위험성은 커진 반면 홍수조절용량 확보를 위한 신규 댐 건설은 더욱 어려워져 기존 댐을 연계한 운영의 효율성 제고가 필요하다. 현재 국내 댐의 경우 기존 수력발전용 댐의 용수공급위주 운영을 위한 연계운영 시스템을 구축하여 운영하고 있으나, 홍수조절을 위한 연계운영 시스템의 부재로 홍수기 통합운영이 이루어지지 않고 있다. 따라서 홍수피해의 경감을 위한 홍수시 댐군의 연계운영 방법을 수립할 필요성이 제기되고 있다.

이러한 홍수시 댐의 연계운영방안 및 홍수류 추적모형에 대한 연구는 국내의 경우 전경수와 이길성(1986)이 홍수시 소양강댐 및 화천댐의 최적운영에 대해 모의한 이후 이재형 등(1992)이 동적계획법을 통한 홍수시 화천댐과 소양강댐의 연계운영방안을 모의하였고 김태순과 허준행(2001) 역시 동적계획법을 통한 한강수계 댐군의 최적 연계운영을 모의하였다. 하지만 대부분의 연구가 한강수계와 낙동강수계와 같은 국가 하천의 다목적 댐 군에 대해 한정되어 기타 하천의 소규모 댐군의 연계운영방안에 대한 연구는 미진하여 이에 대한 연구가 시급한 실정이다.

* 정회원·성균관대학교 대학원 토목환경공학과, 석사과정

** 정회원·성균관대학교 대학원 토목환경공학과, 석사과정 졸업

*** 정회원·성균관대학교 공과 대학 토목환경공학과 부교수

**** 정회원·현대엔지니어링 수자원부, 차장

본 연구에서는 영산강 수계에 위치한 장성, 담양, 광주 및 나주의 4개 댐 군의 연계운영에 의한 홍수 조절 효과를 분석하였다. 그 방법으로는 댐 유역 200년 빈도 홍수수문곡선을 유입량 자료로 하여 일정률-일정량 운영방안에 따른 저수지 추적 및 댐 하류 하도에 대한 하도 추적으로부터 합류점에서의 첨두유량을 모의하고, 첨두유량이 최소가 되도록 하는 각 댐의 일정률을 구하였다. 합류점의 첨두유량 산정을 위한 홍수류 추적 모형은 홍수류의 연속방정식과 운동방정식을 초기조건과 경계조건에 맞추어 수치해석적으로 푸는 수리학적 홍수추적방법을 사용하였다.

2. 홍수시 댐 운영방안

홍수시 댐 운영방안으로는 댐의 수문을 모두 개방하거나 일정한 개도로 고정한 채로 자연 방류시켜 홍수를 조절하는 자연조절 방법과 댐 수위를 일정하게 유지하는 Automatic ROM, 방류량을 일정하게 하는 Technical ROM 및 일정률-일정량 방류의 Rigid ROM 등이 있다. 여기서는 본 연구에서 적용된 Rigid ROM 및 그에 따른 저수지 추적 방법에 대하여 기술하기로 한다.

2.1 Rigid ROM

Rigid ROM은 댐 유입량이 첨두치에 도달할 때까지는 유입량의 일정 비율만큼 방류를 하고, 이후에는 그 때, 즉 유입량의 첨두치 발생시각(T_p)에서의 방류량으로 일정량 방류를 한다. 즉,

$$O = RI \quad (T \leq T_p) \quad (1a)$$

$$= RI_p \quad (T \geq T_p) \quad (1b)$$

여기서 O 는 방류량, I 는 유입량, I_p 는 최대 유입량이며, R 은 유입량에 대한 방류량의 비로서, 0에서 1 사이의 값을 갖는다.

2.2 저수지 홍수추적

일반적으로 저수지에서의 유입량(I), 방류량(O) 및 저수량(S) 간의 관계를 나타내는 연속방정식은 식 (2)와 같다.

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (2)$$

이를 유한차분 형태로 표시하면 아래의 식 (3)과 같이 된다.

$$\frac{I_i + I_{i+1}}{2} - \frac{O_i + O_{i+1}}{2} = \frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t} \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

여기서 Δt 는 추적기간(Routing Peroid)이다. I_i , I_{i+1} , O_i , 및 S_i 은 기지의 변수이므로, 이로부터 O_{i+1} 및 S_{i+1} 를 결정해야 한다. 식 (3)을 변형하면 아래 식 (4)와 같은 형태로 쓸 수 있다.

$$\frac{(I_i + I_{i+1})\Delta t}{2} + \left(S_i - \frac{O_i \Delta t}{2} \right) = \left(S_{i+1} + \frac{O_{i+1} \Delta t}{2} \right) \quad (4)$$

여기서 좌변은 기지의 값이므로 우변은 저류지시량(Storage Indication, SI)이다. Rigid ROM에 따라 결정된 방류량을 방류할 수 있는 경우에는, 이를 식 (4)의 O_{i+1} 에 대입하여, S_{i+1} 을 계산하는 것으로서 현 시간준위에서의 저수지 추적이 종료된다.

주어진 댐 수위 또는 저수량에서의 가능 최대 방류량은 수문을 모두 개방하였을 경우의 자연 방류량과 같다. 따라서, Rigid ROM에 의하여 결정된 방류량이 그 시각 댐 수위에서의 최대방류량을 초과할 경우 실제 방류량은 댐 수위에 따른 최대 방류량을 따른다. 댐 수위와 저수량 간에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$S = \int_0^H A_s(H)dH \quad (5)$$

여기서 $A_s(H)$ 는 댐수위에 따른 수표면적이다. 따라서 자연조절에 의하여 방류할 경우의, 댐수위(H)와 방류량 간의 관계식 및 식 (5)로부터 다음과 같이 저수량과 방류량 간의 관계를 얻을 수 있다.

$$S = g(O) \quad (6)$$

따라서, Rigid ROM에 의하여 결정된 방류량이 그 시각 댐 수위에서의 최대방류량을 초과할 경우에는 식 (4)와 (6)을 연립하여 풀어서 O_{i+1} 과 S_{i+1} 을 산정한다. 본 연구에서는 HEC-5 모형을 사용하여 이상과 같은 저수지 추적을 수행하였다.

2.3 저수지 홍수추적 결과

영산강 수계 4개 댐군의 연계운을 위해 각 댐 유역의 200년 빈도 홍수유입수문곡선을 댐 유입량으로 하고, 댐 운영방안으로는 Rigid ROM의 일정률-일정량 조절방법에 의해 각 댐에서의 방류량을 조절할 경우의 저수지 추적을 수행하였다. 현재 영산강 상류유역의 담양댐과 광주댐의 경우 홍수시 자연 월류 방식으로 댐을 운영하고 있으나 본 연구에서는 두 댐의 일류언 표고를 2 m 낮추고 조절용 수문을 설치하여 방류량을 조절할 수 있는 상태로 가정하였다. 우선 0.0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0의 다섯 가지 일정률에 대해서 각각의 일정률에 의해 댐에서 조절된 방류량을 사용하여 영산강 수계 4개 댐에서의 저수지 추적을 수행하였다. 홍수개시전 댐의 초기수위 및 초기저류량 조건은 각 댐의 단일댐 운영시 결정된 일정률에서의 수위와 저류량을 사용하였다. 또한 각 댐의 매 시간 방류량을 수위 및 저류량에 따라 설정된 한계방류량 이하가 되도록 하였다. 저수지 추적 결과 R=0.0(무방류)일 경우 담양댐을 제외한 3개 댐의 수위가 홍수위를 초과하였다. 나머지 네가지 경우의 일정률에 대해서는 댐 수위가 홍수위를 초과하지 않으므로 본 연구에서는 R=0.0일 경우를 제외한 네 가지 경우의 일정률을 채택하여 분석에 적용하였다.

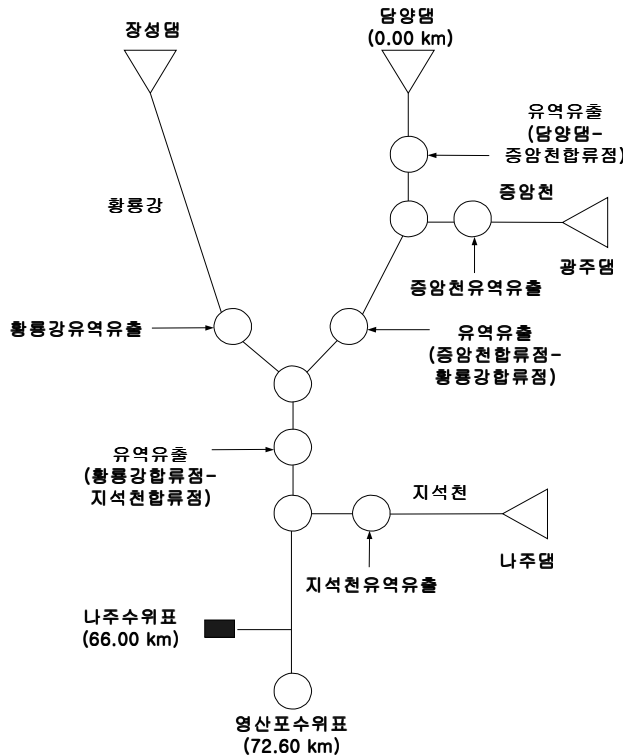


그림 1. 영산강 수계 부정류 모형 모식도

3. 부정류 계산모형의 구성

계산모형으로는 폐합형 수계에 관한 모형을 사용하였다. 계산모형의 지배방정식 및 수치해법에 관한 상세한 내용은 Holly 등(1990) 및 황의준과 전경수(1997)에 상세히 기술되어 있다. 담양댐에서부터 영산강 홍수피해의 영향을 가장 크게 받는 나주시 부근 나주수위표까지 66 km 구간을 대상으로 모형을 구성하였다. 모형의 구성은 상류단의 장성댐, 담양댐, 광주댐, 나주댐과 하류단인 나주수위표 지점과 광주댐 방류량이 합류되는 증암천 합류점, 장성댐 방류량이 합류되는 황룡강 합류점, 나주댐 방류량이 합류되는 지석천 합류점을 비롯하여 광주천, 평립천, 대초천 등 3개 지천의 유입 지점에 각각 절점이 위치하도록 하였다. 각 절점들은 인접 절점들과 각각 한 개의 수로로 연결된다. 따라서 전체 모형은 총 11개의 절점과 각 절점을 연결하는 10개의 수로로 구성되며 계산점간 평균 간격은 500 m이다. 모형을 구성을 나타내는 모식도는 그림 1과 같다.

4. 댐 연계운영 모의수행결과

대상구간 내 담양, 광주, 장성, 나주 4개 댐에서 일정률 $R=0.25, 0.50, 0.75, 1.0$ 을 각각의 댐에 적용하여 운영할 경우의 방류량을 유량자료로 부정류 계산 모형을 수행하여 각각의 일정률 조합에 따라 방류량 조절시 하류단인 나주수위표 지점에서의 첨두유량을 계산하였다. 모의 결과 일정률을 낮추어 방류량을 줄일수록 하류단의 첨두유량도 줄어드는 것으로 모의되었다.

영산강 수계 4개 댐의 방류량이 중요 지천 합류점의 유량에 미치는 영향을 판단하기 위하여 증암천 합류점, 황룡강 합류점, 지석천 합류점에서 합류전·후의 유량을 분석하였다. 증암천 합류점의 경우 일정률을 높여 방류량을 증가시키면 합류점의 유량이 증가하는 현상이 모의되었다. 증암천 합류전·후 유량 변화를 모의한 결과는 그림 2에 나타내었다. 합류전 유량은 영산강 구간에선 담양댐의 $R=0.75, 1.0$ 일 때, 증암천의 경우 $R=0.50, 0.75, 1.0$ 일 때 유사한 값을 나타내었다. 이는 2.3절에서 설명한 바와 같이 두 댐의 방류수문곡선 형태에 따른 영향으로 분석된다. 따라서 증암천 합류점의 경우 일정률을 낮추어 방류량을 줄임으로써 합류점의 첨두유량이 감소하였으나 담양댐의 일정률 $R=0.75, 1.0$ 이고 광주댐의 일정률 $R=0.50, 0.75, 1.0$ 일 경우에는 합류점의 첨두유량이 유사한 결과를 나타내는 것으로 모의되었다.

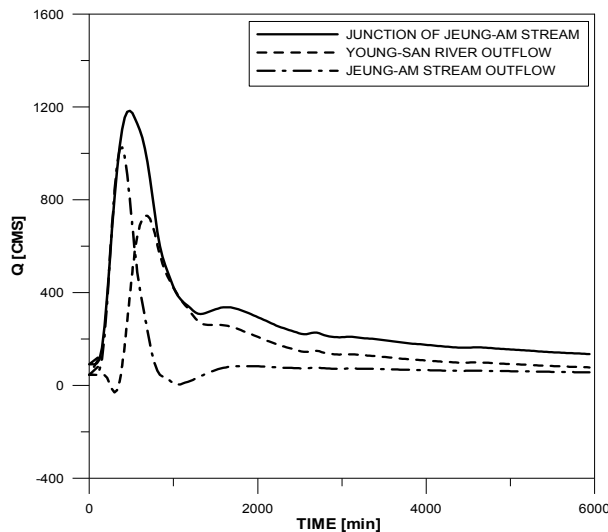


그림 2. 담양댐 $R=0.25$, 광주댐 $R=0.25$ 일 때 증암천 합류점에서의 유량변화

담양과 광주, 장성댐의 방류량이 합류되는 황룡강 합류점에서도 세 댐의 일정률 $R=0.25$ 일 때 가장 낮은 침투유량을 나타내었다. 또한 장성댐의 일정률 $R=0.75, 1.0$ 일 때 황룡강 합류점의 유량이 유사한 값을 가지는 것으로 나타났다. 이 역시 2.3절에서 설명한 바와 같이 방류수문곡선의 형태가 유사하기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 $R=0.75$ 일 때보다 $R=1.0$ 일 때 합류점의 침투유량이 감소되는 것으로 나타났다. 이는 담양댐과 광주댐의 일정률을 높일수록 침투유량 발생시간이 빨라져서 합류전 영산강 본류측 수문곡선의 침투부와 황룡강 수문곡선의 침투부 사이의 시간 간격이 커짐으로써 합류점의 침투유량은 낮아지는 현상이 발생하는 것으로 사료된다.

지석천 합류점에서는 나주댐의 일정률을 높여 방류량을 증가시키면 합류점의 침투유량이 증가하는 것으로 나타났으며 나주댐의 일정률 $R=0.75, 1.0$ 일 때 지석천 합류점의 유량이 유사한 값을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 지석천 합류점의 경우에도 황룡강 합류점의 경우와 유사하게 나주댐의 일정률 $R=0.75$ 일 때 보다 $R=1.0$ 일 때 합류점의 침투유량이 감소되는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 영산강 수계 내에 위치하고 있는 대규모 농업용 저수지인 담양, 광주, 장성, 나주호와 댐에 대한 연계운영을 통해 홍수조절 가능성을 검토하였다. 댐의 운영방안으로는 Rigid ROM을 사용하였으며 홍수류 예측을 위해 폐합형 하천수계에 대한 부정류 모형을 적용하였다. 즉, 하류단인 나주수위표 지점에서 최저의 침투유량을 발생시키는 일정률을 분석하여 댐 연계운영을 통한 홍수조절을 모의하였다.

모의 결과 담양댐과 광주댐의 경우 방류량을 조절하여도 하류단의 침투유량은 큰 변화를 나타내지 않았으나 장성댐과 나주댐의 경우 일정률을 낮추어 방류량을 감소시킬수록 하류단의 침투유량도 감소하였다. 하지만 4개 댐 모두 일정률 $R=0.75$ 과 $R=1.0$ 로 방류시 합류점 및 하류단의 침투유량에 큰 차이를 보이지 않았으며 이는 댐의 방류능력한계에 의해 방류수문곡선의 형태가 유사해짐으로써 발생한 것으로 판단된다.

지천유입량 및 댐 하류유역 유출량을 제외한 순수한 댐 방류량이 하류단의 침투유량에 미치는 영향을 알아보기 위해 지천유입량을 포함한 댐 하류유역 유출량을 제외하고 부정류 모형을 수행하였다. 수행 결과 하류단의 침투유량은 일정률의 조합에 따라 다양한 결과를 나타내었다. 일정률을 낮추어 방류량을 감소시켜도 하류단의 침투유량이 반드시 낮아지는 것은 없었다. 영산강 수계 댐군의 Rigid ROM에 의한 방류량은 하류단의 침투유량의 30%정도를 차지하며 지천유입량 및 댐 하류유역의 유출량이 댐 방류량에 비해 상대적으로 크기 때문에 하류단의 침투유량은 댐방류량보다 지천유입량 및 댐 하류유역의 유출량에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김태순, 허준행 (2001). “유입량 예측을 이용한 한강수계 댐군 최적 연계운영에 관한 연구.” 한국토목학회논문집, 제21권, 제5호, pp. 511-520.
2. 이재형, 이길성, 정동국 (1992). “Incremental DP에 의한 홍수시 댐군의 연계운영.” 한국수자원학회지, 제25권, 제2호, pp. 47-60.
3. 전경수, 이길성 (1986). “홍수시 소양강댐 및 화천댐의 최적운영을 위한 시뮬레이션.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제6권, 제1호, pp.13-24.
4. 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.