

# 실시간 저수지 운영을 위한 양적강우예보 방안

강종수, 황만하, ○윤마병

## 1. 서론

최근 10년간 우리나라는 한해 평균 4,647억원의 재산과 246명의 생명을 홍수피해로 빼앗기고, 재해를 복구하는 데도 매년 5,222억원의 큰 돈이 들어가는 경제적 손실을 초래하고 있다(기상청, 1998). 홍수조절의 구조적인 대책으로 다목적댐은 가장 중요한 역할을 수행하고 있지만, 강우예측의 불확실성은 수문예측의 정확성을 저해하는 가장 큰 요인으로 지적돼 왔다(한일기술교류회의, 1995; 황만하, 1997). 현재 지상에 도달한 강우의 유출에 대해서는 실용상 문제가 없는 정도를 얻을 수 있는 유출모형이 있고, 이것을 PC 등으로 현업에서 쉽게 처리할 수 있다. 그러나 댐유역에 대한 정량적강우예측(QPF: quantitative precipitation forecast)에 대해서는 유효한 예보시스템이 없는 실정이다.

본 연구는 한국수자원공사(KOWACO)가 시도하는 기상예보자에 의한 다목적댐 유역의 QPF 생산과정을 소개하고, 유역별 QPF 생산을 위한 대청댐 유역의 국지예보 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 수문관리를 위한 기상예보

### 2.1 수문예측 과정에서의 기상예보

KOWACO의 댐수문조작에 의한 홍수관리는 댐 상·하류의 수문자료(수위, 우량)와 강우예측 정보로 유입량을 예상하고, 예측된 유입량에 따른 댐의 홍수조절능력을 분석, 최적 방류량을 결정하는 것이다(그림1).

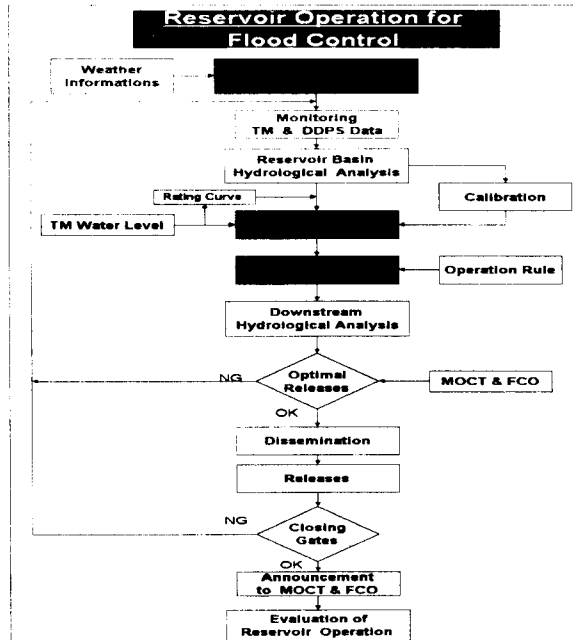


그림1. 홍수가 저수지운영 흐름도

한국수자원공사 관리본부 본부장/수자원연구소 선임연구원/댐관리처 물관리팀

수문조작에 관한 의사결정 내용은 홍수통제소로부터 승인을 득한 후, 수문 방류를 실시하고, 댐 방류량으로 인한 하류의 홍수조절 효과를 분석하는 흐름으로 구성된다. 여기서 댐유역의 강우예측 부문은 수문분석의 초기입력자료이며 가장 큰 변수로서 강우예측의 정확성은 곧바로 홍수예보의 정확도를 크게 좌우한다(Changnon, 1997; Charba, 1980; Georgakakos, 1984).

KOWACO에서는 댐운영 의사결정을 위한 자료수집 및 수문분석 시스템으로 PC급에서 운영되는 “실시간물관리시스템”이 사용되고 있다. 여기에는 강우예보 조회기능, 실시간수문상황모니터링 기능, 수문분석 기능, 이수현황 기능 그리고 수문자료 분석 및 검색하는 기능을 갖는 종합 물관리 시스템이다. 이 시스템에서 조회되는 강우예보는 각 댐유역평균 총예상강우량과 강우지속시간, 시간대별 강우강도이다. 수문분석에 입력되는 시간대별 강우강도는 7가지 유형으로 구분한다. 그림2는 '97년 7월 4-6일 대청댐에 202mm의 호우 발생시, 6일 14시에 분석한 수문분석 결과의 예이다.

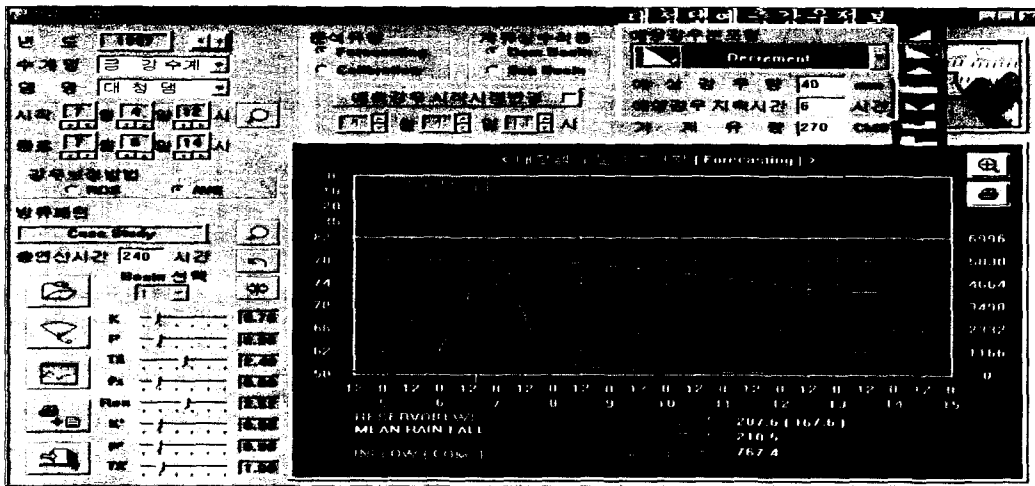


그림 2. 대청댐 호우시 실시간물관리시스템에서의 수문분석 자료('97년 7월 6일 14시 분석)

## 2.2 댐유역 QPF 생산 과정

최근까지 수문분석에 사용하는 기상정보는 기상청에서 제공하는 예상강우량과 강우지속시간을 이용하여 수문분석자의 주관적 판단으로 사용되었다. 그러나 기상청의 강우예보는 국민을 대상으로 하는 일반예보로서 행정구역으로 나누어진 예보구역과 큰 폭의 예상강우량 등으로 수계 또는 댐유역과 같은 국지지역에 대한 상세한 정보가 포함되어 있지 않다.

KOWACO에서는 '96년부터 자체 예보체계를 구축하여 각 댐유역별로 QPF를 생산하고 있다. On-line과 일기도수신기(PC)를 통해 일기도와 수치예보도를 실시간 수집하고, 구름사진과 레이더 에코를 활용하여 2인의 기상예보자에 의한 경험적 예보를 생산한다. 댐유역별 QPF는 선행시간과 활용목적에 따라 세단계로 이루어진다. 첫번째 단계는 호우가 발생할 가능성이 넓은 지역에 대해 예상하는 것으로, 이 단계에서는 종관규모의 일기장을 분석하여 열역학적으로 불안정한 지역과 상승류를 파악, 댐유역의 호우 가능성을 예측한다(일주일 이내). 두번째 단계는 예보선행시간이 1~3

일전으로 언제, 어느 지역에서, 어느 정도로 발생하는지, 정량적으로 예보(QPF)하게 된다. 세번째 단계는 호우 당일 레이더자료와 위성구름사진, 기상관측자료 등을 이용한 단시간예보(Nowcast) 방법으로 실시간 QPF를 생산함으로써 긴박한 수문조절 의사결정을 지원한다.

국지지역에 대한 경험적 예보를 위해서는 예보구역(댐유역)의 기상학적 특징과 지형적 강우효과, 기후특성 등의 분석이 필요하다. 특히 댐유역과 같은 산악지형에서는 호우시스템(Storm system)의 발달 또는 변질 경향이 크고, 지형적 효과가 커서 정확한 QPF 생산을 위해서는 대상 지역의 강우특성과 지형적 강우효과 분석이 중요하다.

### 3. 대청댐의 국지기상 특성

대청댐은 유역면적 대 저수용량의 비( $14.9 \times 10^8 \text{ m}^3 / 4,134 \text{ km}^2$ )가 작아서 중규모이상의 호우 발생시에도 저수지 수위가 급상승하는 경우가 많다. 또한 홍수시 저기압 이동에 따라 금강수계 서쪽, 즉 대청댐 하류부터 비가 오는 경우

가 많아서 대청댐 수위조절을 위해 방류를 개시할 때면, 이미 하류지역에서는 유출이 진행되어 수문조작에 상당히 어려운 지형적, 기후적 특성을 갖고 있다. 대청댐 유역의 지형적 위치는 유역의 서쪽으로는 운장산(1126m)이 있고, 동쪽으로는 덕유산(1614m)과 민주지산(1242m)을 잇는 소백산맥, 북으로는 속리산(1058m)으로 둘러싸여 전체적으로 분지형태를 보인다. 주로 유역의 상류인 남동부지방이 산악지형을 이루고, 유역의 하류인 북부지역은 상대적으로 낮은 지형이다(그림3).

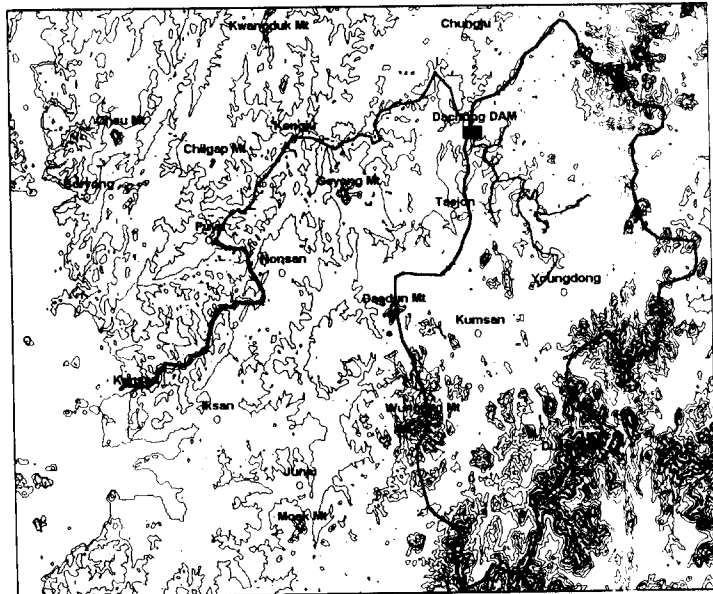


그림3. 대청댐유역 부근의 지형도

#### 3.1 대청댐 유역의 강우 특성

대청댐은 9개의 우량국을 운영하다가 92년 이후부터 15개로 증설하여 관측밀도는 208.9km/개이다. 유역면적 강우량 관측시 유역내에 수립되는 관측지점의 최적수는 다음 식으로 주어지는데,

$$N = \left( \frac{C_v}{P} \right)^2 \quad \text{여기서, } N = \text{유역내 최적 관측 지점수}$$

$$C_v = \text{우량 변동 계수} \quad P = \text{유역강우량 오차(오차확률 } P = \frac{C_v}{\sqrt{n}})$$

대청댐의 경우 우량변동( $C_v$ )은 9.6% 이고, 각 우량국의 년강우량 표준편차( $\sigma$ )는 101이다. 유역강우량의 확률오차(P)는 2.5% 로서 관측 정확률(Percentage accuracy: 97.5%)이 매우 우수한 편다.

년평균강우량 분포는 대청댐 건설 이후부터 지금까지 696~1627mm로서 평균강우량(1107mm)과 비교할 때 60~150%의 년교차가 나타나고 있다. 강우가 많은 해와 적은 해, 즉 편차가 크다는 것은 댐운영의 어려움과 대청댐 물관리의 중요성을 동시에 내포한다.

그림4는 홍수기 동안 일강우량 5mm 이상인 강우에 대한 시계열 분석이다('81-'97년). 호우사례가 많았던 시기는 7월과 9월초이며 7월 5일에서 20일 사이에 가장 비가 많이 온다. 두 번째 호우극대기는 8월 25일에서 9월 5일까지로서 2차장마(가을장마)와 태풍에 의한 호우가 빈번한 시기와 일치한다. 9월 25일 이후에는 호우사례가 급격히 줄어든다.

한편, 유역평균 일강우량이 0.1mm 이상인 경우를 강우일로 본다면 강우현상이 있었던 경우는 매우 빈번하였으나(41%), 30mm/day 이상의 많은 비가 온 경우는 3%에 불과했다. 즉 강우일은 많지만, 유역평균 30mm 이상의 비가 내린 경우는 년 10회 정도로 적다.

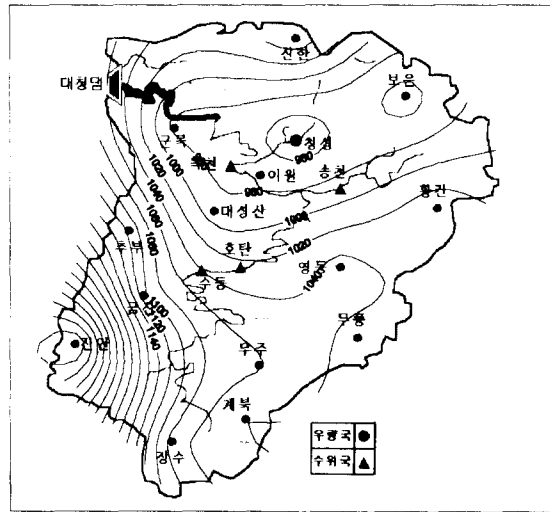
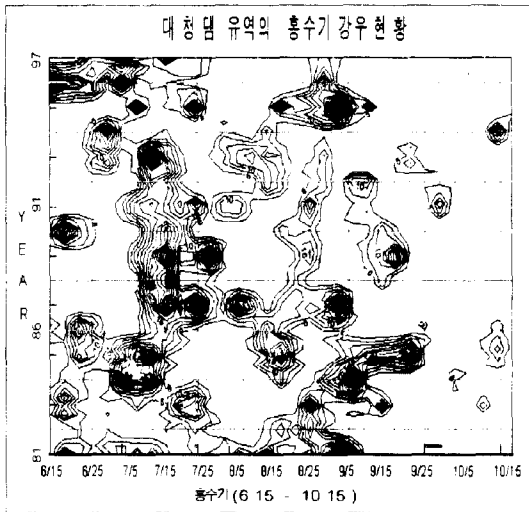


그림4. 대청댐의 일강우량( $\geq 5$ mm) 시계열 분석.      그림5. 대청댐 유역의 년평균강우량 분포

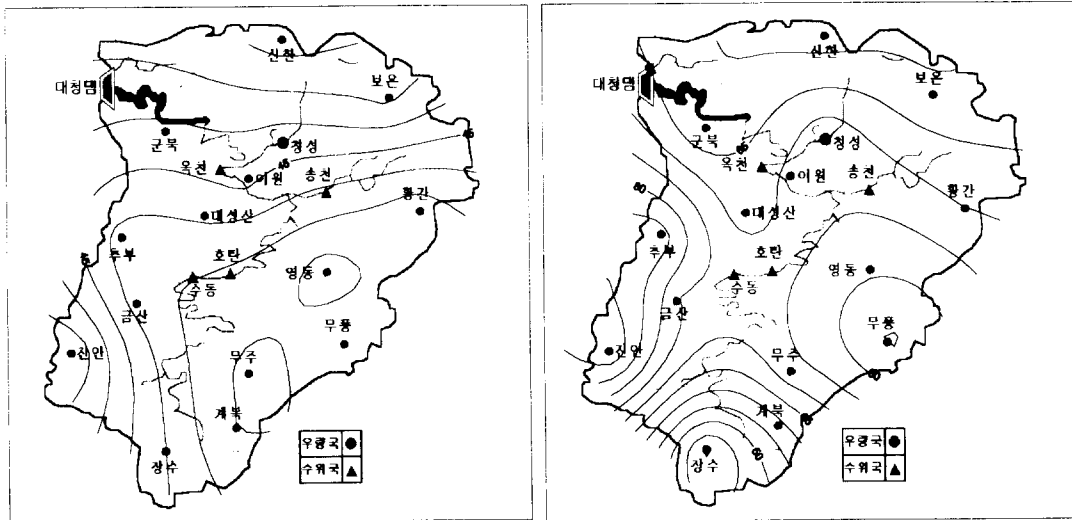
그림5는 대청댐 유역의 년평균강우량 분포이다. 지역적으로 940~1360mm 이며 남서쪽인 진안과 금산, 추부 지역의 강우량이 가장 많고, 무주와 무풍, 영동 등 소백산맥 풍상측인 남동부유역도 강우량이 많은 지역이다. 댐유역 하류, 즉 북쪽으로 갈수록 강우량은 적어져서 군북, 청성, 보은을 잇는 강우최소지역이 중북부유역에 나타난다. 대청댐유역(4,134km<sup>2</sup>)은 비슷한 기후지역에 속하면서 비교적 좁은 지역임에도 불구하고 년강우량의 지역적 차이가 400mm 이상 나타나는 것은 산악지형에서 나타나는 강우특성이거나, 또는 우량국 관측환경의 부적절, 관측장비의 보정상의 문제가 내재한 경우를 생각할 수 있다.

### 3.2 기압계 유형에 따른 대청댐 호우

중관규모의 호우가 예상되고 저기압의 진로가 예측될 때, 대청댐유역에는 어떤 강우패턴이 나타나는지 조사하기 위해 호우사례의 일기도 유형과 각 기압배치에 따른 악기상인자(상, 하층 Jet 출현, 남서 습윤기류 유입(습설) 여부, 기상위성 구름사진, 대기의 불안정성 등)를 조사하였다. 호우사례는 유역평균 30mm/day 이상인 경우로 하였고, 2~3일 지속된 경우는 하나의 사례 보아 91개 사례를 선정했다. 호우사례의 종관패턴은 5가지 유형으로 분류하였다. 호우사례의 49%가 저기압 영향(남서저기압 유입으로 29%, 북서저기압 영향 20%)이며, 특히 기록적인 호우는 남서저기압 유형에서 많이 발생했다. 장마전선상에서 발생한 호우도 22%로서 많은 경우를 차지하는데, 짧은 장마기간(평균 32일)에 비해 호우 빈도가 많다. 일기도 분석에서 다소 예측하기 어려운 북태평양 고기압 가장자리에서의 호우 발생빈도는 태풍과 비슷했다(12-13%).

### 3.3 남서, 북서저기압 유입에 따른 대청댐 강우 분포

저기압은 발생 장소에 따라 구름의 온도와 함유 수증기량의 차이가 있어서 강우량의 양적 차이가 크다. 고온 다습한 화남지방에서 발달한 남서저기압과 건조한 대륙에서 발생한 북서저기압보다 강우량이 많고, 해서상을 지나면서 발달하는 정도와 대청댐 유역의 지형적인 강우효과에도 차이가 있다.



(A) 북서저기압 영향

(B) 남서저기압 영향

그림6. 북서저기압(A)과 남서저기압(B) 유입시 강우의 공간적 분포.

그림6은 전형적인 남서저기압형과 북서저기압형을 보이는 사례(28개)에 대한 강우량 분포이다. 북서저기압 유입시 총강우량은 남서저기압형의 60% 정도이며 북서류 유입시 진안과 금산지역 등 남서부 지역에서는 산악의 풍상측에 위치하여 다우지역으로 나타났다. 이 지역은 북서류에서 대둔

산과 운장산등 산악의 풍상측 효과로 10~40%(5~15mm)의 증우효과가 나타난다. 남서저기압 유입시 유역의 중앙부근이 다우지역이며 남쪽과 북쪽은 과우지역이다. 특히 장수, 계북등 유역의 남쪽지역은 저기압 중심에서 가장 가까운 지역임에도 불구하고, 강우 최소지역으로 나타났다. 이 지역은 남서류와 같은 방향의 소백산맥과 서남서쪽에 위치한 남덕유산의 풍하측의 분지지형으로 강우의 5~40%(5~30mm) 감소효과가 있었다.

#### 4. 결 론

대청댐 유역의 양적강우예보(QPF) 정확성 향상을 목적으로 이 지역의 강우특성과 지형분석, 호우의 종관분석으로 다음 결과를 얻었다.

대청댐 유역의 강우관측은 97.5%의 관측정확률을 갖고 있으며 강우량 분포 특성에 의한 기후구분 결과, 대청댐 유역은 대성산과 영동, 황간을 경계로 남, 북간의 기후가 뚜렷이 구별된다. 남쪽유역은 우리나라 호우지역인 지리산 부근과 산청지역과 같은 기후대에 가깝고, 북쪽유역은 충청도 내륙의 과우기후대에 속한다. 대청댐 유역은 년 강우일은 41%로 빈번하지만, 30mm/day 이상인 경우는 년 10회 정도였고, 년강우량은 진안과 금산, 무주등 남부유역과 남서쪽에서 많았으며 군북, 청성, 보은등 유역 중앙부근이 적어서 지역적 편차가 420mm/yr 이상 크게 나타났다. 호우사례의 종관분석 결과 저기압 유입이 가장 많았으며 특히 북서저기압 유입시 대청댐에는 남서저기압 보다 강우량이 60% 정도 적으며, 남서저기압은 지형에 의한 증우효과가 크게 나타난다.

#### 5. 참고문헌

1. 기상청 (1998), 방재기상과정, 기상연수원, 266~267.
2. 한일기술교류회의 (1995), 12회 한일기술교류회의집. 한국수자원공사, 97~115.
3. 황만하 (1997), 다목적댐유역의 유출 특성 분석. 한국수자원공사, 연구보고서.
4. Changnon, S. A., and F. A. Huff (1997), Atmospheric sciences at the Illinois state water survey: Five decades of diverse activities and achievements. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, 229~237.
5. Charba J. P. and W. H. Kelvin (1980), Skill in Precipitation Forecasting in the National Weather Service. Bull. Amer. Meteor. Soc., 61-12.
6. Georgakakos K. P. and M. D. Hudlow (1984), Quantitative Precipitation Forecast Techniques for Use in Hydrologic Forecasting: Bull. Amer. Meteor. Soc., 65-11.
7. Glahn H. R. (1985), Yes, Precipitation Forecasts Have Improved. Bull. Amer. Meteor. Soc., 66-7, 820~830.