

한수원(주) 댐 운영을 위한 강우관측망 설계에 관한 연구

Study on the Network Design of Rainfall for Operation of KHNP Dam

이연길¹⁾, 장복진²⁾, 정성원³⁾, 김태순⁴⁾, 한기학⁵⁾

Yeon Kil, Lee / Bok Jin, Jang / Sung Won, Jung / Tae Soon, Kim / Ki Hak, Han

요 지

댐의 최적운영을 위해서는 강우량, 유량, 토양수분량, 증발산량과 같은 수문자료는 필수적이다. 이중 강우량과 유량자료는 치수 중심의 댐 운영에 가장 중요하게 이용되며, 국가 수자원계획, 이수 및 환경 계획 등에도 다목적으로 활용된다. 강우량은 면적 강우량을 대표할 수 있는 위치에서 관측되어야 점 강우량을 면적 강우량으로 환산하는데서 발생하는 오차를 최소화할 수 있다. 이는 실제 발생하는 연속형 강우량과 강우관측소에서 관측되는 이산형 강우량의 차가 최소화될 때 가능한 일이다. 최근 강우 특성은 급 점진적으로 변화하고 있다. 과거에 비해 매우 시공간적으로 불규칙해졌으며, 특히 짧은 지속시간 동안 많은 양의 강우가 집중되고 있다. 이와 같은 강우 특성 변화는 강우관측망에 반드시 반영되어야 한다. 강우 특성을 반영하여 댐을 효율적으로 운영하기 위해서는 기존 관측망에 대한 재평가가 선행되어야 하며, 재평가된 결과를 토대로 관측망을 개선해야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 최근 10개년(기상청)의 강우자료를 Kriging method로 공간 분포시켜 연속형 강우량과 강우관측소에서 관측되는 이산형 강우량의 차가 최소화될 수 있는 강우관측망을 구축하였다.

강우관측망을 구축한 결과, 최소 72개소의 강우관측소가 필요하였다. 기관별로는 한수원(주) 29개소(화천댐 유역, 신설 2개소 포함), 국토해양부 18개소, 한국수자원공사 4개소, 기상청(유인 및 무인) 21개소로 구축되었다.

본 연구에서 설계한 강우관측망은 대략 평균 100km²의 밀도로 구축되었으며, 팔당댐 유역에서 가장 크게 개선되었다.

핵심용어 : 면적강우량, 연속형 강우량, 이산형 강우량, 강우관측망, Kriging method

1. 서론

강우관측망을 최적으로 설계하기 위해서는 유역고도의 특성, 강우의 불규칙적인 특성, 기존 관측망의 분석, 기존의 수계 운영모델의 특성 등을 고려하여 관측소의 수량과 위치를 결정해야 한다. 유역고도의 공간적 특성은 무작위 성향을 갖는 강우량에 매우 크게 영향을 주기 때문에 강우관측망 설계 초기단계에서 검토되어야 한다. 우리나라에 건설되어 있는 수많은 댐 들은 각기 다양한 목적으로 운영되고 있기 때문에 유역고도의 특성 등은 서로 상이하다. 유역고도의 특성은 면적고도 곡선(hypsometric curve)을 작성하면 쉽게 정량적으로 분석이 가능하며 이는 고도별 면적을 구한 후 횡축에 상대면적을, 종축에 상대고도를 나타내면 작성될 수 있다. 강우관측망 설계 시에는 생성된 고도별 면적곡선으로부터 댐 유역의 고도가 공간적으로 어떻게 분포되어 있는가, 혹은 어느 정도의 불규칙성을 가지는 가 등에 대한 판단이 필요하다. 기존의 강우량 특성은 현재 운영 중인 댐 유역의 강우 특성을 정량적으로 나타낼 수 있는 지표가 되기 때문에 반드시 강우관측망 설계 시에는 반영되어야 한다. 강우가 시공간적으로 동일하게 일정량이 내린다면 적은 관측소로 대상 유역의 강우 특성을 나타낼 수 있지만 시공간적으로 매우 불규칙하게 내린다면 최적화의 개념이 적용되어야 한다.

대상유역에 설치되어 있는 기존 관측망을 재평가하여 이에 대한 특성을 관측망 최적화 시에 반영하여야

- 1) 유량조사사업단 유수량조사실 실장, 공학박사 · E-mail : sugawon@hsc.re.kr
- 2) 유량조사사업단 대외사업실 실장, 공학박사 · E-mail : bj@hsc.re.kr
- 3) 유량조사사업단 단장, 공학박사 · E-mail : swjung@hsc.re.kr
- 4) 한국수력원자력 한강수력본부, 공학박사 · E-mail : tskim9505@khnpp.co.kr
- 5) 한국수력원자력 한강수력본부 차장 · E-mail : seamars@khnpp.co.kr

한다. 최근의 강우특성 변화를 기존의 관측망이 반영하고 있는가에 대한 평가는 매우 중요하다. 만일 이와 같은 특성을 기존 관측망이 반영하고 있다면 관측망을 새롭게 다시 구축할 필요는 없다. 재평가된 결과에 별 문제가 없는 상태에서 기존의 관측소들을 이설한다면 기존 관측자료와의 연관성이 단절되어 자료의 이용성에 제약을 주게 될 것이다. 최적 설계에는 비용항이 고려되기 때문에 관측망 설계 시에는 기존 관측망을 포함하여야 하고 또한 대상유역에 타기관 관측망이 위치해 있다면 이도 함께 설계 시에 고려하여야 한다. 본 연구의 대상유역인 팔당댐 등 8개 댐 유역은 한수원(주)뿐만 아니라 기상청(유인, 무인), 국토해양부, 한국수자원공사 등에서도 많은 강우관측망을 운영하고 있다. 타기관에서 운영 중인 많은 관측망을 무시하고 관측망을 설계한다면 향후 많은 설치비용뿐만 아니라 유지관리 비용 등이 초래될 것이다.

본 연구의 대상유역에는 장·단기 유출모형이 운영 중에 있으며 단기 유출모형은 분포형 모형(distributed model)으로 구축되어 있다. 이 또한 강우관측망 설계 시에 고려되어야 하는 항목이다. 분포형 모형은 소유역을 대표할 수 있는 면적 강우량이 관측되어야 정확한 유출량을 모의할 수 있다. 강우관측망이 비용을 고려하지 않고 최대치의 개념으로 설계되면 이와 같은 특성은 자동적으로 다 고려되겠지만 보통 최적의 개념으로 강우관측망이 설계되기 때문에 수계 운영모형에 대한 검토는 매우 중요하다.

2. 연구대상 유역

본 연구에서는 기존의 수문관측소가 최근의 기상상황 등을 반영하고 있는지를 평가하기 위해서 팔당댐 등 8개 댐 유역을 연구 대상유역으로 선정하였다. 한수원(주)은 8개 댐 유역에 우량관측소 27개소, 수위-우량관측소 24개소의 총 51개소의 수문관측소를 운영하고 있으며, 국토해양부, 수자원공사, 기상청에서도 관련기관의 자료 이용목적에 따라 각기 수문관측소를 운영하고 있다. 한수원(주)에서 운영 중인 댐 유역별 수문관측소 현황은 표 1과 같으며, 그림 1~그림 2에 수문관측망도를 나타내었다.

표 1. 댐 유역별 수문관측소 현황(한국수력원자력(주))

댐 유역	순유역 면적(km ²)	종 별(개소)		합계
		우량	수위-우량	
화천댐	868.84	2	3	5
춘천댐	767.634	3	3	6
의암댐	291.383	3	1	4
청평댐	2,265.22	5	6	11
팔당댐	6,067.00	6	5	11
도암댐	149.419	2	2	4
괴산댐	684.203	4	2	6
보성강댐	273.547	2	2	4
소계		27	24	51

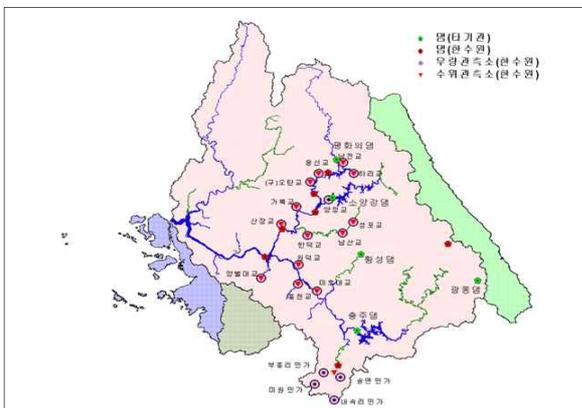


그림 1. 한강 권역 수문관측소 위치도

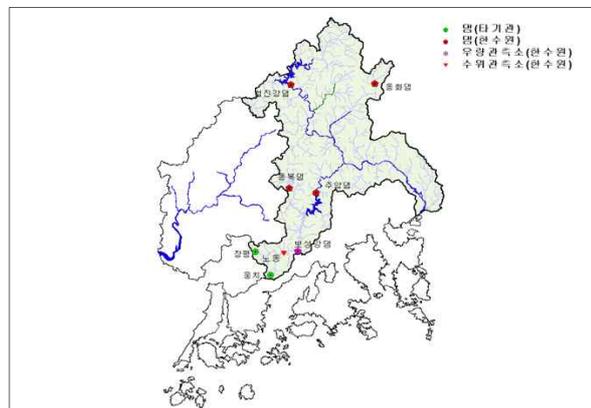


그림 2. 섬진강 권역 수문관측소 위치도

3. 강우관측망 설계

강우량은 공간 연속적인 추계학적 사상이므로 점 강우량으로부터 면적 강우량을 산정하게 되면 오차는 필연적으로 발생된다. 강우관측망 설계 방법은 비용을 고려하지 않고 최소 관측오차를 가지는 관측망을 결정하는 방법과 관측오차와 비용을 고려하여 관측망을 결정하는 방법으로 구분된다. 비용을 고려하지 않고 최소 관측오차를 가지는 관측망 구축방법은 관측망설계에서 정확도만을 반영하는 것이다. 대상구역 내에서 관측소 설치 가능한 지점의 수가 N 일 때 2차원 무작위장의 지점 $X_i = \{x_i, y_i\} \in R^2 \quad i = 1, \dots, N$ 에서 n 개 관측소로 구성된 관측망의 조합에 따른 관측망의 정확도는 오차항 $\delta(n, X_i)$ 으로 표현되며, 오차항은 관측소 수 n 과 공간위치 X_i 에 대한 함수로 정의된다. 이 방법은 식(3.1)과 같이 오차항의 목적함수(OF)를 최소화하는 관측망을 구현한다(Bras와 Rodriguez-Iturbe). 비용을 고려하여 최소 관측오차를 가지는 관측망을 구축하는 방법은 식(3.1)에 n 개의 관측소 비용을 반영함으로써 확장할 수 있다. 따라서 관측오차와 비용을 고려하는 관측망 설계는 식 (3.2)과 같이 오차와 비용항을 통합한 목적함수(OF)를 최소화함으로써 달성할 수 있다.

$$\min OF [n, X_i] = \min \delta(n, X_i) \tag{3.1}$$

$$\min OF [\delta(n, X_i) : C(n, X_i)] = \min \delta(n, X_i) + C_\beta \cdot C(n, X_i) \tag{3.2}$$

여기서, $\delta(n, X_i)$ 는 관측망의 정확도를 나타내는 오차항이고, $C(n, X_i)$ 는 X_i 에 위치한 n 개 관측소수에 대한 비용항, C_β 는 비용항을 오차항과 대등하게 하는 등치 매개변수이다. 관측오차와 비용을 고려하는 강우관측망 설계에서는 이들 두 변수의 기여도에 따라 다양한 구축안이 도출될 수 있다.

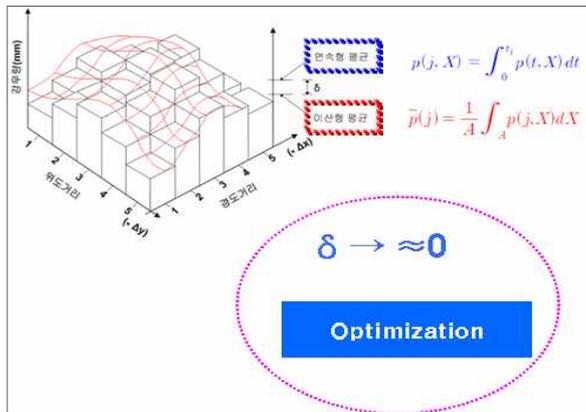


그림 3. 강우관측망 최적화 개념(I)

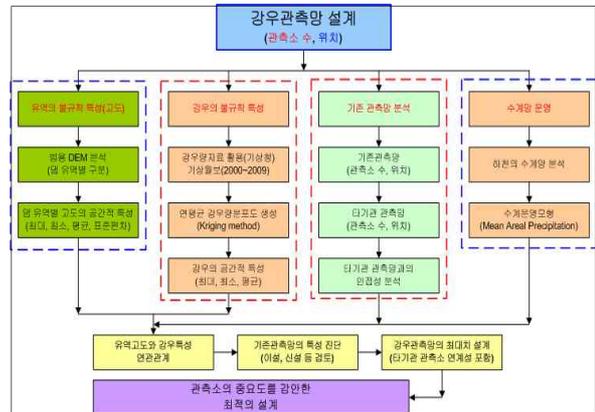


그림 4. 강우관측망 설계 방법 및 과정

본 연구에서 강우관측망을 구축하기 위해 구축한 주제도(Main map)는 강우관측소 위치도, 연평균 등우선도, 격자기반 연평균강우량 분포도(30m×30m), 격자기반 연평균강우량 분산 분포도(30m×30m) 등이며, 격자기반 연평균강우량 분포도는 Kriging method로 구현하였다. 8개 댐 유역별 강우량 공간분포 결과는 그림 10과 같다. 그림 10에 나타나 있는 바와 같이 평균은 대략 1,400mm 정도되며, 최대와 최소의 차이가 가장 큰 댐 유역은 팔당댐 유역에서 발생하였다. 또한 강우가 가장 많이 발생한 곳은 보성강댐 유역으로 분석되었다.

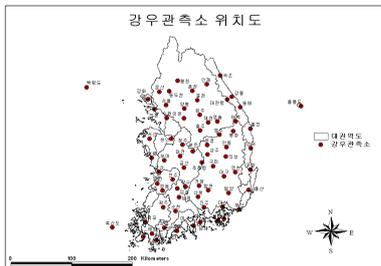


그림 5. 강우관측망 위치도

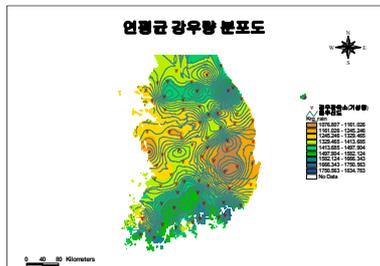


그림 6. 연평균강우량 분포도

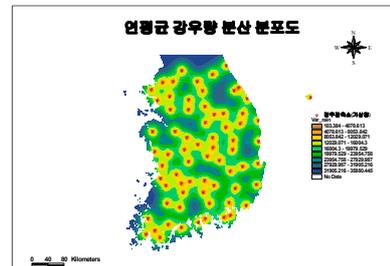


그림 7. 연평균강우량 분산도

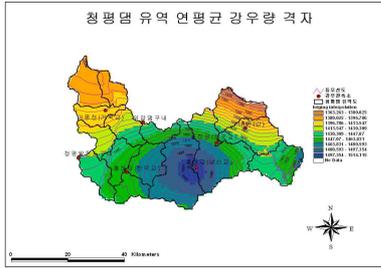


그림 8. 청평댐 연평균 강우량 격자

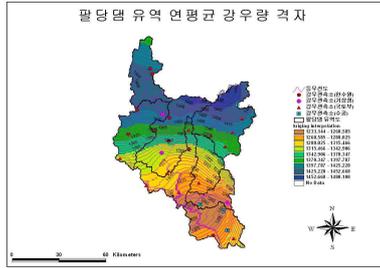


그림 9. 팔당댐 연평균 강우량 격자

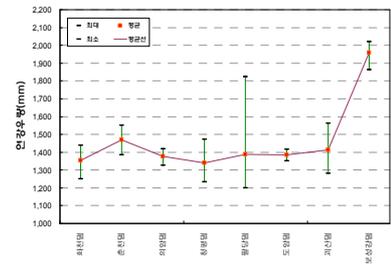


그림 10. 댐유역별 연강우량 특성

본 연구에서는 댐 유역별 고도 특성을 정량화하기 위해서 범용 수치표고모델(WAMIS, DEM 30m×30m)을 8개 댐 유역으로 분할하였다. 분할된 8개 댐 유역별 DEM으로부터 특정고도의 지배면적, 유역경사, 고도의 기본통계량 등을 산정하여 유역고도의 특성을 분석하였다. 본 과업에서 분할한 팔당댐 유역의 DEM은 그림 11과 같으며, 8개 댐 유역의 고도 분석결과와 그림 12~그림 13에 나타내었다. 그림 12에 나타나 있는 바와 같이 면적이 가장된 평균고도는 대부분 500m 이하로 산정되었으나, 도암댐 유역에서는 800m 이상의 고도를 나타내었다. 그림 13은 8개 댐 유역별 평균고도에 대한 표준편차를 나타내는 것으로, 화천댐 유역에서 가장 크고 보성강댐 유역에서 가장 적은 특성을 보였다. 이는 고도의 불규칙 특성이 화천댐 유역이 가장 크고 보성강 댐 유역이 가장 적음을 의미한다.

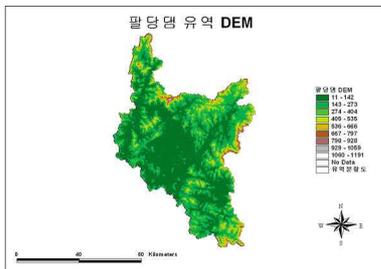


그림 11. 팔당댐 유역 DEM

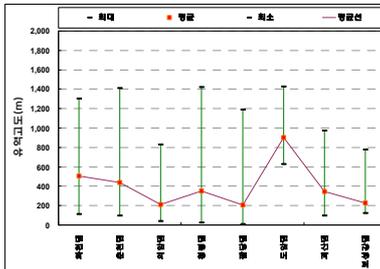


그림 12. 댐 유역별 유역고도 분석

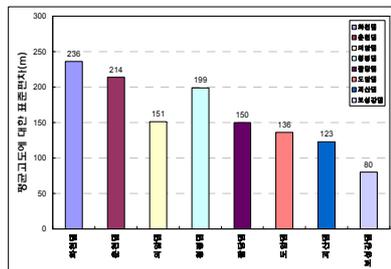


그림 13. 평균고도에 대한 표준편차

유역고도, 강우의 특성, 기존 관측망, 타기관 관측망, 기존 수계운영모형 등의 특성을 종합적으로 고려하여 강우관측망을 구축한 결과, 최소 72개소의 강우관측소가 필요한 것으로 분석되었다. 최종적으로 설계된 관측망에는 한수원 강우관측망 29개소(화천댐 유역, 신설 2개소 포함), 국토해양부 18개소, 한국수자원공사 4개소, 기상청(유인 및 무인) 21개소가 포함되었다. 댐 유역별로는 화천댐 유역 6개소, 춘천댐 유역 7개소, 의암댐 유역 4개소, 청평댐 유역 14개소, 팔당댐 유역 31개소, 도암댐 유역 2개소, 괴산댐 유역 5개소, 보성강댐 유역 3개소로 구축되었다. 본 연구에서는 댐 유역별로 구축된 강우관측망을 티센망도에 도시하여 그림 14~그림 16에 나타내었다.



그림 14. 화천댐 유역 티센망도



그림 15. 청평댐 유역 티센망도

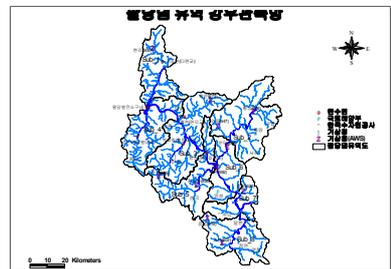


그림 16. 팔당댐 유역 티센망도

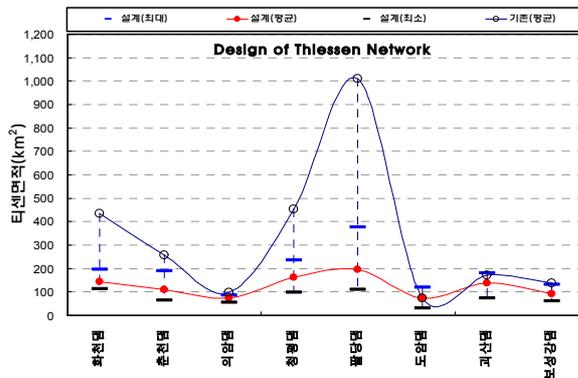


그림 17. 기존과 금회의 티센면적 비교

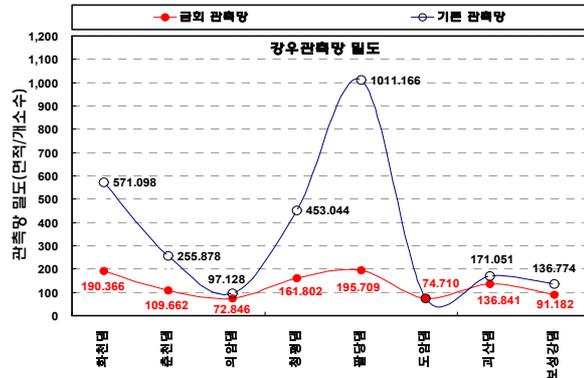


그림 18. 기존과의 강우관측망 밀도 비교

본 연구에서는 최종적으로 구축된 강우관측망이 기존 관측망에 비해 어느 정도의 개선효과를 보였는지를 티센면적과 관측밀도에 주안점을 두고 분석하였다. 그림 17은 티센면적에 대한 비교 결과로서, 그림 17에 나타나 있는 바와 같이 금회 설계된 강우관측망은 대략 평균 100km²의 정도를 가지며, 팔당댐 유역에서 가장 크게 향상되었다. 또한 그림 18은 관측 밀도에 대한 비교 결과로서, 1개의 강우관측소가 100km²의 면적을 지배하는 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구에서는 댐 운영에 필요한 최적의 강우관측망을 구축하기 위해서 기존의 관측망(타기관 포함)과 연계하여 관측망을 구축하였다. 강우의 불규칙 특성은 최근 10개년의 자료(기상청)를 Kriging method로 공간 분포시켜 분석하였으며, 유역고도는 DEM(Digital Elevation Model)을 통해 분석하였다. 유역고도, 강우의 불규칙 특성 등을 종합적으로 고려하여 최종적으로 구축한 강우관측망 구축 결과는 다음과 같다.

1) 강우관측망을 구축한 결과, 최소 72개소의 강우량 관측소가 필요한 것으로 분석되었다. 기관별로는 한수원 29개소(화천댐 유역, 신설 2개소 포함), 국토해양부 18개소, 한국수자원공사 4개소, 기상청(유인 및 무인) 21개소로 구축되었다. 댐 유역별로는 화천댐 유역 6개소, 춘천댐 유역 7개소, 의암댐 유역 4개소, 청평댐 유역 14개소, 팔당댐 유역 31개소, 도암댐 유역 2개소, 괴산댐 유역 5개소, 보성강댐 유역 3개소로 구축되었다.

2) 대략 평균 100.000km²의 관측밀도로 설계된 강우관측망은 기존과 타기관 관측망이 연계된 다목적(다기능) 관측망으로서, 타기관과의 자료 공유가 극대화될 때 기능이 최대화될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 전북대학교 대학원 박사학위 논문(2002), 면적강우량 산정을 위한 강우관측망 최적설계 연구
2. 건설교통부(2003). 수문관측업무규정, 건설교통부 훈령 제55호.
3. 건설교통부(2004). 수문관측매뉴얼
4. 건설교통부(2004). 수문관측매뉴얼.
5. 건설교통부(2005). 하천설계기준.
6. 건설교통부(2005). 수문조사 선진화 5개년 계획.
7. GUIDE to Hydrological Practices(1994)와 Operational Hydrology Report No.8(WMO, 1974), No.19(WMO, 1982), No.41(WMO, 1994)