

소양강댐 유역의 강우관측망 적정성 평가

Evaluation of Raingauge Networks in the Soyanggang Dam River Basin

김재복*, 배영대**, 박봉진***, 김재한****

Jae Bok Kim, Young Dae Bae, Bong Jin Park, Jae Han Kim

Abstract

In this study, we evaluated current raingauge network of Soyanggang dam region applying spatial-correlation analysis and Entropy theory to recommend an optimized raingauge network. In the process of analysis, correlation distance of raingauge stations is estimated and evaluated via spatial-correlation method and entropy method. From this correlation distances, respective influencing radii of each dataset and each methods is assessed. The result of correlation and entropy analysis has estimated correlation distance of 25.546km and influence radius of 7.206km, deducing a decrease of network density from 224.53km⁻² to 122.47km⁻² which satisfy the recommended minimum densities of 250km⁻² in mountainous regions(WMO, 1994) and an increase of basin coverage from 59.3% to 86.8%. As for the elevation analysis the relative evaluation ratio increased from 0.59(current) to 0.92(optimized) resulting an obvious improvement.

Key words: raingauge network, spatial-correlation, entropy, correlation-distance, influence-area, relative elevation ratio.

1. 서 론

최근 기후변화로 가뭄과 홍수가 빈번히 발생하고, 수질문제가 심각해지는 우리나라에서 효율적인 물관리를 위해 수문조사가 매우 중요하며, 적정한 강우관측망을 구축하여 정도 높은 강우자료 확보를 위해 관측망을 평가하고 계획하는 연구는 상당히 가치 있는 일이다. 국내외의 관측망 평가 및 최적관측망 설계에 관한 연구는 엔트로피의 개념이 주로 이용되어 왔으며 수문관측망 설계에 정보전달의 개념(Caselton and Husain, 1980)을 도입한 후 Krstanovic와 Singh(1992), Yang과 Burn(1994), Al-Zahrani와 Husain(1998) 등이 강우관측망의 적합성 검토 및 최적 관측망 설계에 엔트로피 개념을 이용하는 등 많은 연구가 이루어졌다. 국내의 경우, 유철상과 하은호 등(2006), 유철상과 정광식(2002)등이 공간상관 및 엔트로피 이론을 적용하여 강우관측망 평가에 관한 연구를 시행하였다. 강우의 공간변동이 심하고 국지성 집중호우가 빈번한 우리나라의 경우, 정확한 면적평균 강우량 산정을 위한 적정한 관측망 구성이 필요하며, 본 연구에서는 소양강댐 유역의 기존 강우관측망에 대한 공간분포 및 고도분포를 검토 후 적정한 강우관측망 구성방안을 제시 하였다.

* 한국수자원공사 수도기획처 수도계획팀장 · E-mail : kimb@kwater.or.kr

** 정회원 · 한국수자원공사 조사기획처 · E-mail : nept21@kwater.or.kr

*** 정회원 · 한국수자원공사 수자원관리처 하천관리팀장 수자원개발기술사 · E-mail : bongjinpark@kwater.or.kr

**** 정회원 · 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail : jhkim@hydro.cnu.ac.kr

2. 강우관측망 평가

2.1 대상유역 및 자료

본 연구 대상지역인 소양강댐 유역면적은 2,700km²으로 건설교통부 관할의 7개소, 기상청 1개소, 한국수자원공사 12개소의 강우관측소가 설치되어 운영되고 있으며 분석에 사용된 강우자료는 1999년부터 2005년 기간에 40mm이상의 일강우가 관측된 한국수자원공사 T/M 강우관측소 12개소의 시강우자료를 이용하였다. 또한 상관거리 추정시 무강우자료에 대한 영향을 검토하기 위해 강우관측소자료를 두 강우관측소간 관측치가 모두 양의 값(강우가 발생한 자료)을 가지는 경우(CASE A), 적어도 한 강우관측소의 관측치가 양의 값을 가지는 경우(CASE B), 그리고 두 강우관측소간의 모든 자료를 이용하는 경우(CASE C)의 3가지 유형으로 분류하여 분석하였다.

2.2 공간상관도를 이용한 분석

상관거리는 강우관측소간의 상관계수 및 이들 관측지점간 거리의 함수인 공간상관도 분석을 시행하였고, 분석대상기간 강우자료에 대한 유형별 소양감댐 유역의 상관계수를 산정하였다(Fig. 1).

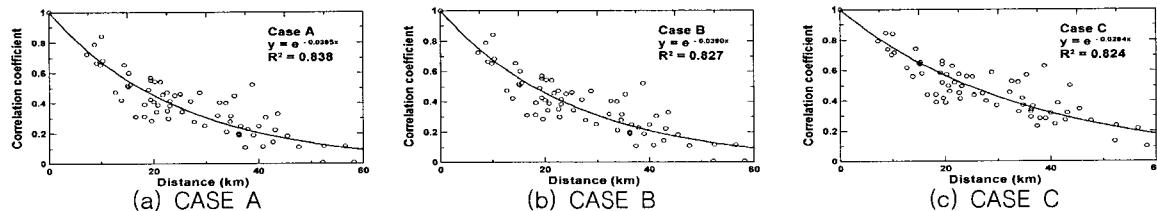


Fig 1. Spatial correlation of hourly rainfall data

공간상관도 분석을 통해 산정된 자료유형별 회귀식을 Nyquist의 샘플링 이론에 적용하여 y 가 e^{-1} 인 지점(유철상 등, 2003)의 상관거리를 산정하였으며, 그 결과 25~35km로 산정되었다(Table 1).

Table 1. Spatial correlation and correlation distance with each cases

Type	Regression equation	Coefficient	Correlation dis.(km)
CASE A	$y = e^{-0.0395x}$	0.838	25.316
CASE B	$y = e^{-0.0390x}$	0.827	25.641
CASE C	$y = e^{-0.0284x}$	0.824	35.211

2.3 엔트로피를 이용한 분석

공간상관도 분석에서 적용한 자료계열과 동일하게 엔트로피를 산정한 결과, 강우자료의 유형에 관계없이 거리에 따라 명확하게 상호 엔트로피가 감소하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있다(Fig. 2).

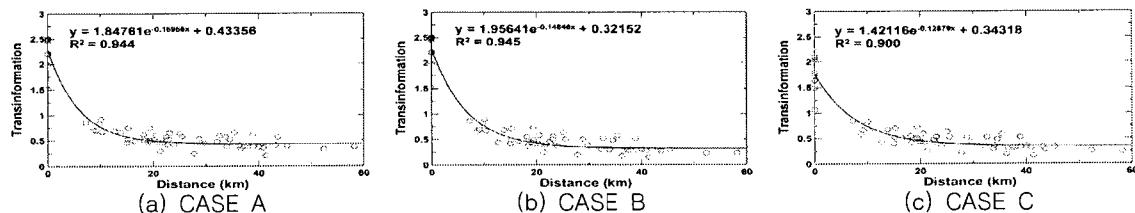


Fig 2. Estimation of entropy by hourly rainfall data

엔트로피를 이용한 상관거리는 상호 엔트로피가 일정한 값으로 수렴하는 시점으로부터 결정되며, Mogheir 등(2004)은 상관거리 도출을 위해 이동평균과 회귀식을 이용하였으나 본 연구는 산정된 회귀식 점근선의 5% 증加分에 해당하는 값을 상관거리로 산정하였다(Table 2).

Table 2. Regression equation and correlation distance with each case

	Regression equation	Coefficient	Correlation dis.(km)
CASE A	$y = 1.84761e^{-0.16956x} + 0.43356$	0.944	22.118
CASE B	$y = 1.95641e^{-0.14846x} + 0.32152$	0.945	27.584
CASE C	$y = 1.421161e^{-0.12879x} + 0.34318$	0.900	28.878

2.3 영향원 반경 결정

강우관측소의 영향범위는 강우가 공간적으로 등방성(isotropic)임을 가정, 보편적으로 원형이며, 그 반지름 R 은 $\sqrt{(L_c/2)^2/\pi}$ 과 같이 나타낼 수 있다(유철상 등, 2003). 여기서 L_c 는 상관거리를 나타내며, 공산상관도 및 엔트로피 분석으로 L_c 를 적용 후 영향원 반경(R)을 계산하였다(Table 3).

Table 3. Determination of influence radius by spatial correlation and entropy analysis

Method CASE	Correlation analysis			Entropy analysis		
	Correlation dis.(km)	Spatial correlation	Influence radius(km)	Correlation dis.(km)	Spatial correlation	Influence radius(km)
A	25.316	0.3678794	7.143	22.118	0.4769946	6.239
B	25.641	0.3678794	7.233	27.584	0.3541039	7.781
C	35.211	0.3678794	9.933	28.878	0.3776495	8.146

3. 강우관측망의 제안

3.1 유역 포괄 범위 산정

본 연구에서는 분석 대상유역을 대표하는 상관거리를 각 방법별 최소가 되는 자료유형에 대한 평균값으로 하나의 관측소가 대표할 수 있는 영향원의 반경을 결정하였다. 그 결과 소양강댐 유역의 경우 대표 상관거리가 25.546km이고, 영향원의 반경은 7.206km인 것으로 계산되었으며 산정된 영향원의 반경을 이용하여 다음 Fig. 3(a)와 같이 기존 강우관측소 영향원(대표)의 유역포괄범위를 도시하였다. 정량적인 분석을 위해 GIS 공간분석 Tool를 활용하여 영향원의 유역포괄면적을 산정한 결과 Table 4와 같이 약 60% 정도의 낮은 포괄율을 나타냄에 따라, 유역포괄율을 증가시킬 수 있도록 소양강댐 유역의 강우관측망 개선안을 Fig. 3(b)와 같이 제안하고자 하였다.



Fig 3. Influencing range of current and improvement plan(typical)

Table 4. Influence area of basin(typical)

Correlation dis.(km)	Influence radius(km)	Influence area(km ²)	Remaining area(km ²)	Coverage (%)
25.546	7.206	1,597.898	1,096.459	59.305

3.2 강우관측망의 적정성 평가

3.2.1 공간분포 적정성 평가

유역의 대표 상관거리(25.546km) 및 영향원의 반경(7.206km)자료를 이용하여 관측지점별 영향원을 도시하고 소양강댐 전체 유역면적에서 영향원이 차지하는 유역포괄범위를 산정함으로써, 소양강댐 유역의 제안한 강우관측망 대한 적정성 여부를 평가한 결과, 약 86.8% 유역포괄율을 보이며 기존 강우관측망의 대표 상관거리에 따른 영향원의 유역포괄율인 59.3%와 비교해 볼 때 강우관측망의 개선효과는 약 27.5%로 개선효과가 높은 것으로 나타났다. 개선된 강우관측망이 소양강댐 유역의 전체 면적을 완전히 포괄하지 못 하는 이유로는 지형적으로 소양강댐 전체 유역면적의 6.4%인 172.5km²의 면적이 북한에 위치하고 있어 강우관측망의 신설계획을 반영하지 못하였기 때문이다.

Table 5. Influence area(typical) of the improved raingauge networks

Correlation dis.(km)	Influence radius(km)	Influence area(km ²)	Remaining area(km ²)	Coverage(%)
25.546	7.206	2,338.843	355.514	86.805

3.2.2 고도분포 적정성 평가

일반적으로 강우는 관측지점의 고도가 높을수록 많아지는 경향성을 보이는 것으로 알려져 있어 강우관측망을 평가에 있어 공간분포 뿐만 아니라 고도 분포에 대한 적정성 평가도 중요하다 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 고도분포의 적정성 평가를 수행하였다.

소양강댐 유역의 기존 강우관측망 및 계획 강우관측망에 대한 표고별 관측소수에 대한 비율을 도시해본 결과 Fig. 4와 같이 나타났으며 유역 전반에 대한 고도 분포의 적정성 평가를 보다 상세하게 분석하기 위해 기존 및 제안 강우관측망에 대한 티센망도를 작성, 분석대상유역의 수치표고분포도(digital elevation model DEM)를 이용하여 기존 및 제안 강우관측망의 각 관측소 지점이 유역(티센망도)내 고도를 잘 반영하는지 여부를 분석함으로써 이를 평가 하였으며 수치적인 평가를 위해 티센망도의 평균고도에 대한 강우관측소의 지점고도비율 즉, 상대고도비를 평가지표로 사용하였다. 평가결과 다음 Fig. 5과 같다. 앞서의 유역전반에서 나타난 바와 같이 기존의 강우관측망에 비해 제안 강우관측망이 유역내 고도분포를 전반적으로 잘 반영하는 것으로 나타났다. 따라서 보다 정확한 면적강우량 산정을 위해서 평면적 위치이동이 크지 않는 범위 내에서 강우관측소의 고도가 유역(티센망도)의 고도를 대표할 수 있도록 개선의 여지가 있는 것으로 판단된다.

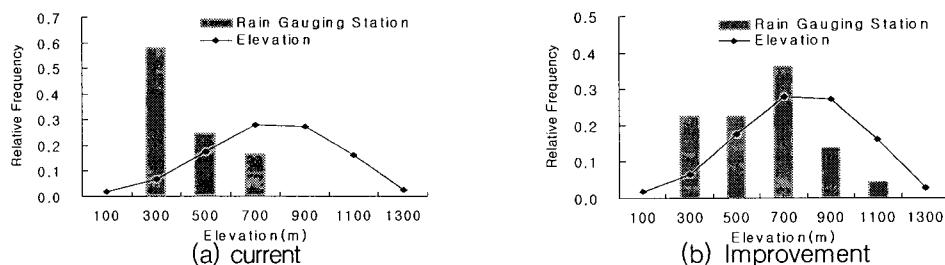


Fig 4. Elevation distribution of raingauge stations

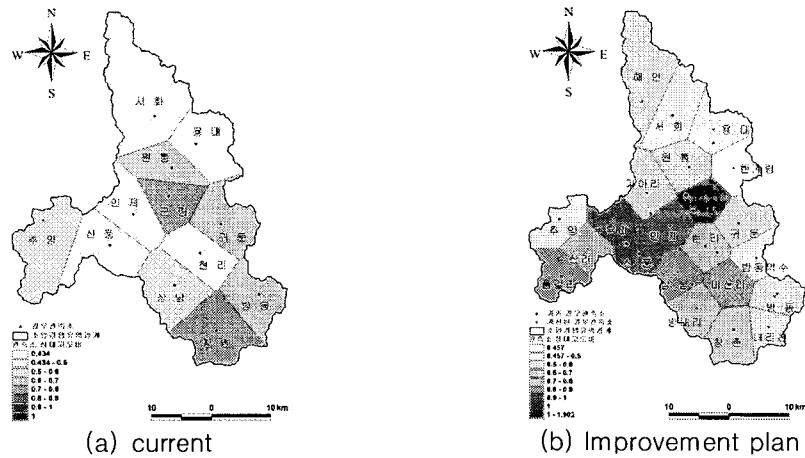


Fig 5. Elevation distribution of raingauge stations

4. 결 론

소양강댐 유역의 강우관측망 적정성 평가에 대한 연구결과를 정리하면 첫째, 기존 강우관측망을 대상으로 자료 유형별 상관분석 및 엔트로피를 분석을 통하여 유역의 대표 상관거리를 추정한 결과, 소양강댐 유역에서는 25.546km , 영향원의 반경은 7.206km 으로 추정되었다. 둘째, 분석대상 유역내 강우관측망의 공간적 분포에 대한 적정성 여부를 검토한 결과, 기존 및 개선된 강우관측망의 관측밀도는 224.53km^2 에서 122.47km^2 로 유역포괄율 기준으로는 59.3%에서 86.8%로 약 27.5%의 개선효과가 나타나는 것으로 분석되었으며, 관측밀도의 경우 WMO(1994)의 최소 관측밀도 기준(산지기준)인 $250\text{km}^2/\text{개소}$ 를 여유있게 만족하는 것으로 나타났다. 셋째, 고도분포의 적정성 평가에서는 기존 및 개선된 강우관측망의 유역(티센망도) 전체 평균 상대고도비가 0.59에서 0.92로 0.33정도의 개선 효과가 있는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. 유철상, 정광식 (2002). “엔트로피 이론을 이용한 강우관측망 평가 : 혼합분포와 연속분포의 적용 비교.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, Vol. 22(4-B), pp. 447-457.
2. 유철상, 하은호, 김경준 (2006). “강우의 공간상관구조에 대한 무강우자료의 영향.” 한국수자원학회논문집, 제39권 제2호, pp. 127-138.
3. Caselton, W. F. and Husain, T. (1980). "Hydologic networks: Information transmission". Journal of Water Resources Planning and Management Division, Vol. 106, pp. 503-529.
4. Krstanovic, P. F. and Singh, V. P. (1992). "Evaluation of rainfall networks using entropy: II. Applicatio", Water Resources Management, Vol. 6, pp. 295-314.
5. Yang, Y. and Burn, D. H. (1994). "An entropy approach to data collection network design", Journal of Hydrology, Vol. 157, pp. 307-324.
6. Al-Zahrani, M. and Husain, T. (1998). "An algorithm for designing a precipitation network in the south-western region of Saudi Arabia", Journal of Hydrology, Vol. 205, pp. 205-216.