

우량계의 밀도 및 공간분포 검토: 남한강 유역을 중심으로

Evaluation of Raingauge Density and Spatial Distribution: A Case Study for Nam Han River Basin

유철상* / 김인배** / 류소라***
Yoo, Chulsang / Kim, Inbae / Ryoo Sora

Abstract

This study has evaluated the raingauge network of Nam-Han River Basin by assuming that the rainfall field is homogeneous in space and its spatial correlation structure is exponential. The results of the study was compared with the standard of WMO. Summarizing the results are as follows: (1) The Nam-Han River Basin is not the mountain area, nor the plain area of the WMO standard. However, the correlation length of the downstream part is longer than that of the upstream part, enough to differentiate the rainfall fields in both areas. (2) It seems that the standard for the evaluation of the raingauge network of Nam-Han River Basin should be decided to represent upper 50% of correlations derived, when the maximum intervals between neighboring gauges are estimated to be 18.2km for the upstream area and 21.1km for the downstream area. Simply evaluating the raingauge density, the Nam-Han River Basin has enough raingauges exceeding the WMO standard for the mountain area in the temperate region. (3) Evaluation of the spatial distribution of raingauges in the Nam-Han River Basin shows that its spatial distribution is not in a proper level, especially when applying the WMO standard for the mountain area in the temperate region. However, when applying the new standard proposed in this study, only five to six more raingauges are required to be added.

Keywords : Raingauge density, spatial distribution, correlation length

요 지

본 연구에서는 강우가 공간적으로 균질하며 아울러 그 공간상관구조도 지수함수를 따른다고 가정하여 남한강 유역의 강우관측망을 평가하였고 아울러 WMO의 기준과 비교하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) 남한강 유역은 WMO의 기준으로 볼 때 산지도 평지도 아닌 중간적 특성을 나타낸다. 그러나 남한강 상류부에서 관측된 강우의 공간상관거리는 남한강 하류부에서 관측된 강우의 공간상관거리에 비해 짧게 나타나며 따라서 상류부와 하류부는 그 강우특성이 구별된다. (2) 남한강 유역의 강우관측망을 평가하는 기준은 대략 상위 50% 정도를 대표하

* 고려대학교 토목환경공학과 부교수
Asso. Prof., Dept. of Civil and Env. Engr., Korea University, Seoul, 136-701, Korea
(E-mail : envchul@korea.ac.kr)

** 고려대학교 대학원 환경공학과 석사과정

*** 고려대학교 대학원 환경공학과 석사과정

는 상관거리 수준이 되어야 할 것으로 보이며 이 경우 적절한 우량계 사이의 거리는 상류부와 하류부 각각 18.2 km와 21.1km로 추정된다. 단순히 강우계의 밀도를 평가할 때 남한강의 경우는 WMO의 산지기준을 초과하는 수준이다. (3) 남한강 유역의 우량계 분포를 검토한 결과, 특히 WMO의 온대지역 산지기준을 적용한 결과 우량계의 공간분포가 적절하지 않음을 파악할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 제안하는 상위 50% 정도를 대표하는 상관거리를 이용하는 경우에는 대략 5 - 6 지점 정도의 우량계 신설이 필요한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 우량계 밀도, 공간분포, 상관거리

1. 서론

강우관측망의 중요성은 여러 측면에서 파악될 수 있다. 가장 먼저, 유역에 내리는 강수의 총량을 추정하는데 필요하다. 이는 정확한 홍수 유출의 계산과 가용한 수자원의 양을 정확히 파악하는데 필요하다. 강우관측망은 강우의 시-공간적 변동특성을 파악하는데도 필요하며, 특히 산지에서처럼 강우의 시-공간적인 변동성이 아주 큰 경우에는 더욱 조밀한 관측망이 필요하게 된다. 그러나 국내의 경우는 접근성의 이유로 산지의 강우계 밀도가 평지의 그것에 비해 오히려 작은 실정이다.

전통적으로 면적평균강우의 추정에는 몇 % 정도의 오차는 허용되는 분위기가 일반적이었다. 특히, 홍수 유출 해석에서 면적평균 강우에 포함된 단지 몇 %의 오차가 궁극적으로 하천의 수위에 별다른 영향을 주지는 못하는 것이 사실이기 때문이다. 그러나, 보다 엄밀히 말하면, 면적평균 강우의 추정에 포함된 오차의 정도가 어느 정도인지를 정확히 파악하는 것조차 어려웠었고, 아울러 이러한 부분에 큰 의미를 부여하지 않았던 것이 주된 이유이다. 따라서, 면적평균 강우에 포함된 오차를 정확히 파악하지 못한 상황에서 유출 해석의 정도를 높이는 노력이 큰 소득 없이 끝나곤 하는 것이 어찌 보면 당연한 것이었는지도 모른다.

그러나 최근에 들어, 특히 대규모 수자원의 개발이 쉽게 이루어 질 수 없는 상황에서 정확한 강수 총량의 파악은 효율적 수자원 관리 차원에서 특히 중요한 의미를 갖는다. 수자원 이용과 관련된 강수 총량의 파악은 특히 그 시간 규모 및 사용되는 시간 단위가 큼으로 해서 상대적으로 높은 정도를 나타낼 수 있기는 하다 (North and Nakamoto, 1989; Yoo, 2000). 주로 시간 단위를 사용하는 홍수 해석과는 달리 장기 유출해석에서는 일 단위의 해석이 최소단위이고 경우에 따라 월 단위 또는 년 단위의 해석이 수행되기 때문이다. 그러나 이러한 해석의 입력자료도 여전히 면적평균강우량이고 이 면적평균강우량은 주어진 강우관측망에서 수집된

점 강우량을 이용하여 추정된다. 면적평균 강우량의 추정과 관련된 오차의 추정과 관련된 연구는 유철상과 정광식(2001)에서 살펴볼 수 있으며 아울러 국외의 연구로는 North and Nakamoto (1989), Graves et al. (1993), Yoo et al. (1996), Yoo (2000; 2001) 등이 있다.

면적평균 강우량과 관련된 현실적인 문제의 하나는 면적평균 강우의 정도를 높이기 위해 강우계의 수를 무작정 늘릴 수는 없다는 것이다. 아울러 면적평균 강우를 추정할 때마다 거기에 포함된 오차를 계산해야 한다는 것도 여간 번거로운 일이 아니다. 이렇게 된다면, 강우 및 유출기록에 의존하는 강우-유출 모형의 매개변수 추정도 보다 복잡한 문제로 변하게 되어 궁극적으로는 유출 계산의 오차가 모형자체의 원인인지, 모형 매개변수의 문제인지, 아니면 면적평균강우량에 포함된 오차의 원인인지를 구별하고 평가해 주어야 하기 때문이다. 따라서, 주어진 강우관측망에 대해서 추정되는 면적평균강우량에 포함된 오차가 허용될 수 있는 정도로 작게 되는 것이 필요하다. 즉, 이러한 조건이 만족되도록 우량계의 밀도와 그 공간 분포가 보장된다면 굳이 면적평균 강우에 포함된 오차를 매번 파악할 필요는 없을 것이다. 이러한 기준으로 우리나라에서 통용되고 있는 것이 바로 세계기상기구(World Meteorological Organization; 이하 WMO라 칭함)에서 권장하는 강우계 밀도이다(윤용남, 1998). 우리나라가 포함된 온대기후 지역의 경우 평지에는 1개소/(600 ~ 900)km²가, 산지에는 1개소/(100 ~ 250)km²가 권장되고 있다. 최근의 문헌(WMO, 1994)에는 산지 250km², 평지 및 구릉지역은 575km²가 최소 밀도로 언급되고 있으나 과거의 기준과 대동소이한 것으로 여겨진다.

그러나 이러한 기준이 우리나라에 그대로 적용될 수 있는지가 검토된 예는 없다. 특히, 강우의 시-공간적인 변동성이 매우 크다고 여겨지고 있는 산악지역에서 WMO의 산지 기준이 그대로 적용될 수 있는지를 검토해 보는 것은 정도 있는 강우 관측을 위해서 뿐만 아니

라 강우 관측망의 경제적 운영 측면에서도 중요한 의미를 지닌다.

본 연구에서는 위와 같은 문제점에 주목하여 과연 WMO의 기준이 우리나라에 어떤 식으로 적용되어야 하는지를 평가해 보고자 하였다. 이러한 목적을 위해 본 연구에서는 상대적으로 그 개념이 간단한 Nyquist의 샘플링 이론을 적용하였다(Chatfield, 1989; Polyak and North, 1995). 아울러 강우의 공간 상관구조는 지수함수의 형태로 가정하였다. 관측자료의 분석을 통해 얻은 강우의 공간상관특성을 산악지역 및 평지로 구분하여 정량화 하였고 이를 이용하여 현재의 관측망이 적절한 수준인지를 판단하였다. 아울러, 강우장이 나타내는 상관거리를 이용하여 각 강우계가 대표하는 영역을 원형의 영향범위로 표시할 수 있도록 하였고 이러한 영향범위에 포함되어 있지 않은 지역을 구분하여 강우계의 추가 설치가 필요한 지점이 파악될 수 있도록 하였다. 본 연구는 남한강 유역을 대상으로 수행되었으며 시 강우자료를 이용하였다.

2. 남한강 유역의 강우관측망

본 연구에서 사용한 남한강 유역의 우량계는 총 90

개이다. 그림 1은 이들 우량계의 위치를 나타낸 것이다. 전체적으로 이들 우량계는 유역 전체에 고르게 분포되어 있는 것처럼 보이나 일부 집중되어 나타나기도 하며 일부 지역은 강우계의 밀도가 작아 보이기도 한다.

이들 우량계는 표 1에서 살펴볼 수 있는 것처럼 1960년대 이후 꾸준히 설치되어 왔으며, 특히 1970년대와 1990년대에 많은 우량계의 설치가 이루어 졌다. 따라서 30년 이상 강우기록을 가진 지점은 1960년대에 설치된 5개 지점자료와 1970년대 초에 설치된 몇 개의 지점을 포함하더라도 대략 10개미만으로 파악된다.

우량계의 밀도를 살펴보면 WMO에서 추천하는 온대기후의 평지의 강우계 밀도(즉, 약 1개소/(600 ~ 900)km²)는 1970년대에 이미 만족된 것으로 나타나며, 1990년대 이후에는 WMO의 산지 기준(즉, 약 1개소/(100 ~ 250)km²)도 만족되는 수준으로 향상되었다. 현재 남한강의 면적과 우량계의 수를 고려하면 유역전체에 대한 우량계 밀도는 약 136.7km²/1개소 정도가 된다.

3. 공간상관 특성을 이용한 우량계 밀도 평가

일반적으로 면적평균강우의 추정에는 유역의 크기에 따라 산술평균법, Thiessen 방법 및 등우선법이 사용

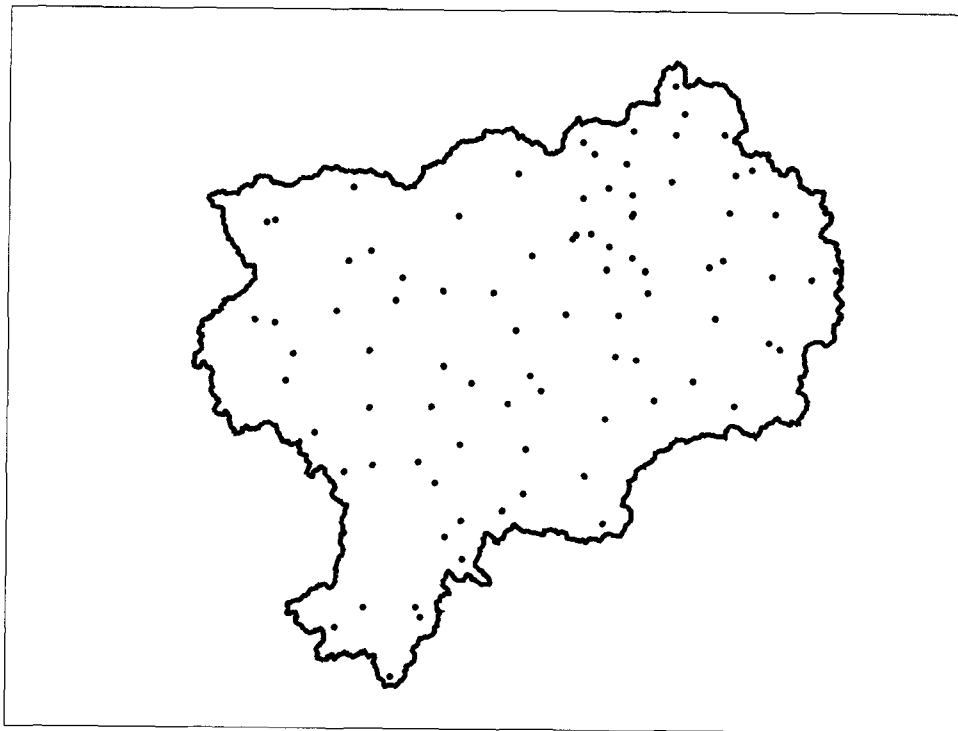


그림 1. 남한강 유역 강우관측소의 분포

표 1. 남한강 유역 강우관측망의 설치 연혁

년대	개수(누가)	추가 관측소명	방법	밀도 (km ² /1개소)
1960	5	횡성, 정선, 하동(이상 건설교통부), 괴산, 단양(이상 한국수자원공사)	T/M	2460
1970	23(28)	여주, 생곡, 청일, 부론, 영춘, 방림, 대화, 청천, 연풍, 속리산, 목계, 양동, 청운, 상모(이상 건설교통부), 백운, 청풍, 영춘, 상동, 수주, 봉평, 입계, 달천, 진부(이상 한국수자원공사)	자기, T/M	439.3
1980	7(35)	양평, 이천, 간현(이상 건설교통부), 양평, 이천, 충주, 제천(이상 기상청)	T/M	351.4
1990	37(72)	상원사, 대기, 번천, 고한, 가평, 홍정, 용전, 고길, 울산, 덕주사, 입석, 복전압, 미원, 양성, 태평, 삼죽, 계방, 유천, 등매, 신리, 수동, 개촌, 설성(이상 건설교통부), 정선, 충주댐, 제천, 안흥, 영월1, 방림, 대화, 미탄, 사북, 왕산, 횡계, 하장(이상 한국수자원공사), 원주(이상 기상청)	자기, T/M	170.8
2000	18(90)	송면, 음성, 서곡, 주암(이상 건설교통부), 수항, 유천, 덕암, 청옥산, 문곡, 신림, 운학, 연덕, 하동, 어상천, 덕산, 봉양, 장연, 주덕(이상 한국수자원공사)	자기, T/M	136.7

되고 있으며 각각 소규모 유역, 중규모 유역 및 대규모 유역에 적절한 것으로 평가되고 있다. 그러나, 산악지형과 같이 강우 자체의 변동성이 매우 큰 경우에는 이를 고려하지 않고 관측망의 특성만을 고려하는 산술평균법이나 Thiessen방법은 상대적으로 많은 오차를 유발하게 된다(유철상과 정광석, 2001). 즉, 강우의 변동성을 고려하는 등우선법을 사용하거나 아니면 산술평균법이나 Thiessen방법의 적용이 가능하도록 충분한 강우계 밀도가 보장되어야 한다. 당연히 산악지역의 우량계 밀도는 평지의 그것에 비해 월등히 높다.

주어진 관측망을 평가하고 보정하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있으나 가장 간단한 방법은 강우의 공간상관구조를 이용하는 것이다. 기본적으로 강우가 공간적으로 균질하다고(homogeneous) 가정할 수 있는 경우에 Nyquist의 이론을 사용할 수 있다(Chatfield, 1989; Polyak and North, 1995). 즉, 균질한 어떤 장(field; 여기서는 강우장(rainfall field))의 관측에는 상관거리(correlation length)의 매 1/2마다 자료를 관측함으로써 2차원 상관특성(분산 및 지체상관계수 등)을 모두 파악할 수 있다는 것이다. 예를 들어, 강우의 상관거리가 10km 정도로 나타난다면 매 5km마다 강우계를 설치하는 것이 필요하다. 이 경우 관측오차는 거의 0에 가깝게 된다(이론적으로는 0).

본 연구에서도 Nyquist의 이론을 적용하였다. 먼저, 관측된 시 강우자료(1997 - 99년 6 - 9월 강우기록)를 이용하여 강우계 사이의 공간상관 특성을 유도하였다. 강우계 사이의 공간상관 특성은 강우 자체가 가지는 변동 특성 때문에 뚜렷하게 찾아내기 쉽지 않다. 특

히, 고려되는 강우계의 수가 많고 강우의 방향이 일정하지 않음에 따라 상대적으로 짧은 거리에 위치하고도 아주 작은 공간상관을 보일 수도 있고 그 반대의 경우도 있을 수 있기 때문이다. 본 연구에서도 이러한 강우의 시-공간적인 변동성을 고려하여 공간상관 특성을 정량화 하였다. 먼저, 남한강 내의 강우관측소를 유역 상류부(전체의 33%)와 하류부(전체의 33%)로 나누어 각각의 경우에 대해 교차상관계수를 구하였다. 이렇게 구한 교차상관계수를 우량계사이의 거리의 함수로 도시하여 공간상관 특성을 살펴보았다. 공간상관특성은 상관거리로서 정량화하며 이는 유도된 상관함수가 나타내는 면적과 동일하다.

본 연구에서는 지수적으로 감소하는 함수형태를 가정했으며 이 경우 상관거리는 감소계수의 역수가 된다. 그림 2 와 3은 하류부와 상류부의 상관함수를 나타내고 있으며 본 연구에서는 전체의 99%, 95%, 90%, 75%, 50%, 25%, 10%, 5% 및 1%를 대표하는 경우에 대해 상관거리를 추정하였다. 추정한 상관거리를 정리하면 표 2와 같다.

표 2에서와 같이 강우의 변동성은 하류지역보다는 상류지역에서 약간 크게 나타난다. 주어진 자료 전체의 상위 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 95% 및 99%를 대표하는 경우에 대해 추정된 상관거리에서도 상류부와 하류부의 일관된 차이를 확인할 수 있었다. 아울러, 주어진 자료에 대한 최적 회귀식을 이용하는 경우 상관거리가 각각 44.3km와 47.4km로 나타났으며, 이는 대략 상위 60%정도를 대표하는 경우에 대한 상관거리와 유사하다.

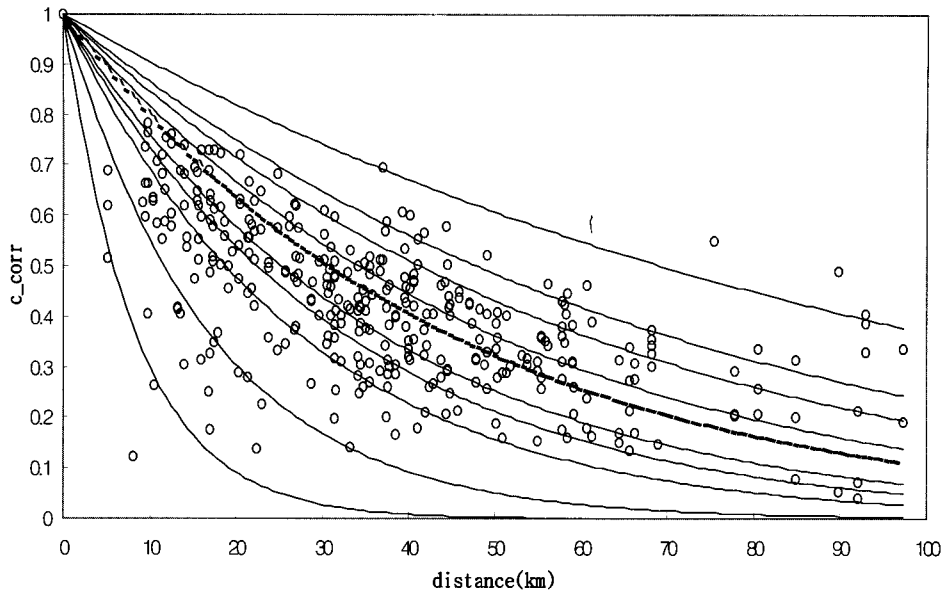


그림 2. 남한강 상류부의 상관 특성 (그림에서의 실선은 주어진 자료 전체의 상위 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 95% 및 99%를 대표하는 지수함수이고 점선은 최적 추세선이다)

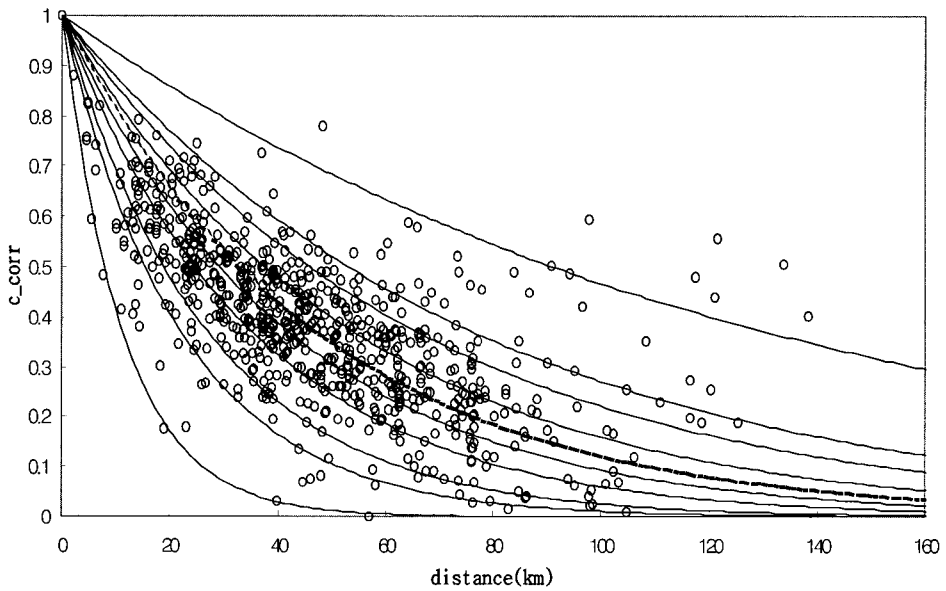


그림 3. 남한강 하류부의 상관 특성 (그림에서의 실선은 주어진 자료 전체의 상위 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 95% 및 99%를 대표하는 지수함수이고 점선은 최적 추세선이다)

표 2. 대표범위에 따른 상관거리 비교

대표범위(상위%)	상관거리 (km)	
	상류부	하류부
1	8.3	11.4
5	16.8	22.2
10	27.0	27.3
25	32.3	35.6
50	36.4	42.2
75	49.3	54.3
90	59.5	66.2
95	69.0	76.3
99	100.0	131.6
최적 회귀식	44.3	47.4

그러나 이렇게 높은 공간상관은 무 강우기간의 영향이 상당히 포함되었을 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 추정된 상관거리는 WMO에서 추천하는 온대기후의 평지의 경우와 유사하다. 즉, WMO에서 추천하는 온대기후 평지의 강우계 밀도는 약 1개소/(600 ~ 900) km²이므로 강우계 사이의 간격은 대략 25 ~ 30km 정도가 되고, 따라서 상관거리는 대략 50 ~ 60km 정도이다. 이는 본 연구에서 추정된 남한강 하류지역에 위치한 상위 75 - 90%를 대표하는 경우에 대한 상관거리와 유사하다. 반면에, WMO에서 추천하는 온대기후 산악지역의 강우계 밀도는 약 1개소/(100 ~ 250)km²이므로 강우계 사이의 간격은 대략 10 ~ 15km 정도가 되고, 따라서 상관거리는 대략 20 ~ 30km 정도가 된다. 이 값은 남한강 상류지역에 위치한 상위 10 - 25% 정도를 대표하는 경우에 대한 상관거리와 유사한 것이다. 두 경우 모두 남한강 유역의 강우 특성과는 상반된 결과이다.

위에서 살펴본 특성을 고려해 보면 남한강 유역은 기본적으로 WMO에서 구분하고 있는 평지도 아니며 또한 산지도 아니다. 대략 이 둘의 중간정도로 파악된다. 따라서 강우 관측망의 적정 밀도를 WMO의 기준을 가지고 판단하기는 어려우며 대상 유역의 특성을 반영한 기준이 필요함을 판단할 수 있다.

본 연구에서 추정한 상류 및 하류의 상관특성 및 WMO의 기준을 고려할 때 남한강 유역의 강우 관측망 평가를 위한 상관거리는 대략 대표범위 50%에 해당하는 경우가 적절함을 판단할 수 있다. 즉, 남한강 유역의 하류부도 WMO의 기준에 의한 평지로는 판단하기 어

려우며 상류부 또한 산지로 판단하기 어렵다는 결론이 된다. 최적 회귀식을 사용하는 경우에도 큰 무리는 없으리라 판단되나 대표범위 50%를 사용하는 경우에 비하면 느슨한 기준이 되고, 아울러 우리나라의 강우계 밀도가 WMO의 산지기준을 이미 만족시키고 있는 상황에서 느슨한 기준을 사용할 필요가 없다고 판단했기 때문이다. 이 기준을 적용할 경우 상류부의 상관거리는 약 36.4km, 하류부의 상관거리는 약 42.2km가 되고, 따라서 우량계는 각각의 경우 18.2km, 21.1km마다 1개씩 두어야 한다는 결론이 된다. 이때 강우계 밀도는 각각 1개소/331.2km², 1개소/445.2km²이다. 이러한 강우계 밀도는 현재 남한강 유역의 강우계 밀도보다 낮은 수준이다. 따라서 강우계 밀도만을 놓고 볼 때 남한강 유역은 충분한 수준의 강우계 밀도를 확보하고 있는 셈이다.

4. 우량계의 분포 평가

강우 관측망을 평가함에 있어 가장 중요하게 고려되는 사항은 대상 유역에 충분한 수의 우량계가 확보되어 있느냐 하는 것(즉, 우량계의 밀도 평가)과 각각의 우량계가 공간적으로 적절히 배치되어 있느냐 하는 것이다. 우량계의 밀도와 관련하여서는 이미 앞서 살펴본 내용과 같고, 여기서는 우량계의 공간 분포가 적절한지를 평가해 보고자 한다.

본 연구에서의 관측망 평가는 다음 4가지 경우로 한정하였다.

- (1) WMO의 평지 기준을 남한강 유역 전체에 적용하는 경우
- (2) WMO의 평지 및 산지 기준과 아울러 중간지역(산지와 평지 기준의 평균을 적용)을 각각 남한강 유역의 상류, 중류 및 하류로 구분하여 적용하는 경우
- (3) 대표범위 50%에 해당하는 하류부의 기준을 남한강 유역 전체에 적용하는 경우
- (4) 대표범위 50%에 해당하는 상류부 및 하류부의 기준과 이의 평균을 각각 남한강 유역의 상류부, 하류부 및 중류부에 구분하여 적용하는 경우

위 각각의 경우에 대한 상관거리, 관측소 밀도 및 관측소간 거리는 이미 앞에서 정리된 바와 같다. 그러나 우량계의 공간분포를 파악하기 위해서는 각 우량계의 영향범위를 나타내야 한다. 만일 유역 내 모든 강우계의 영향 범위가 유역 전체를 포함하는 경우는 강우계의 밀도나 그 공간분포에 문제가 없는 것으로 파악할 수 있다. 물론 강우계가 필요한 수보다 훨씬 많을 수도 있

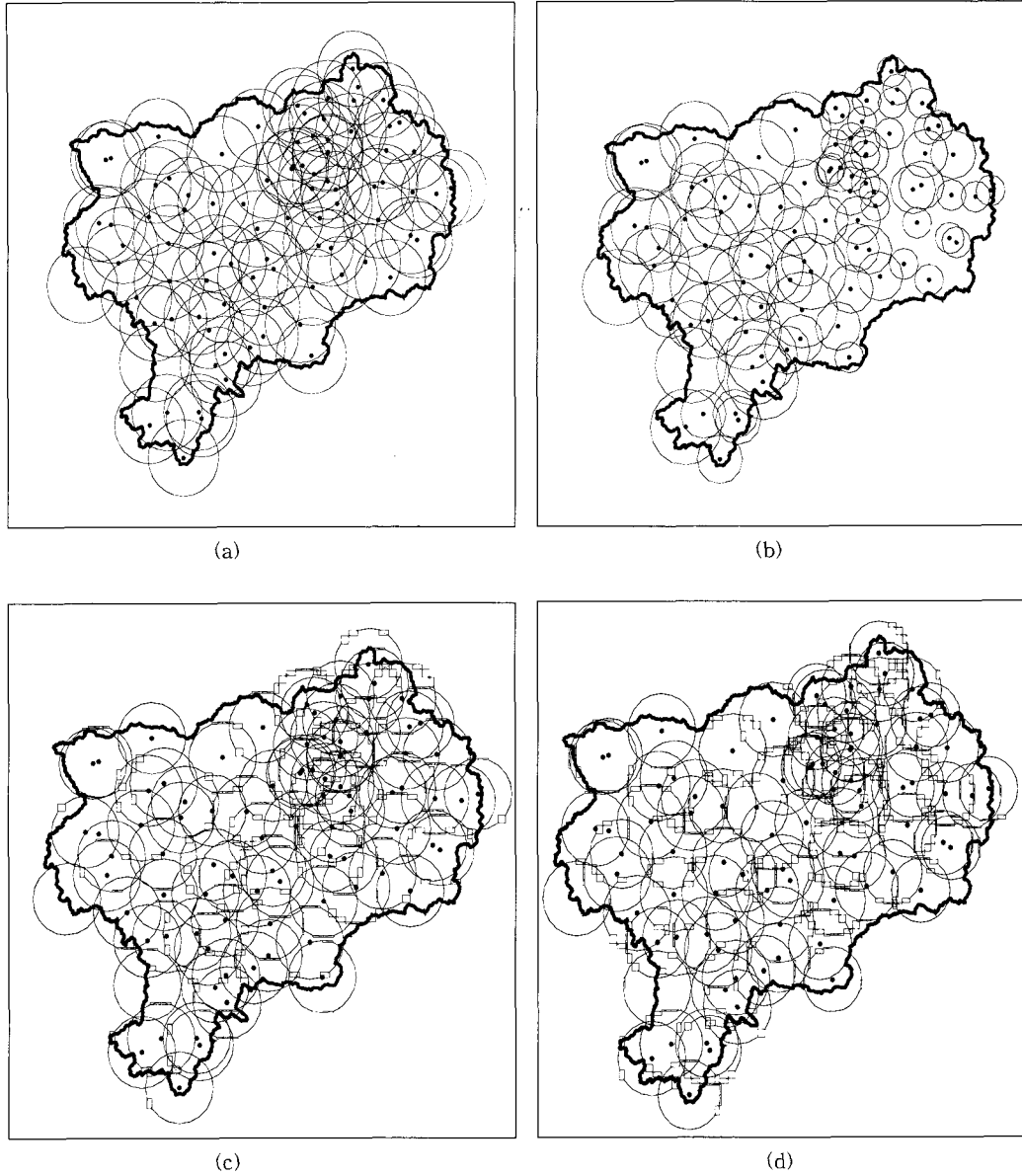


그림 4. 관측망 영역표시. (a) WMO의 평지 기준을 남한강 유역 전체에 적용하는 경우 (b) WMO의 평지 및 산지 기준과 아울러 중간지역(산지와 평지 기준의 평균을 적용)을 각각 남한강 유역의 상류, 중류 및 하류로 구분하여 적용하는 경우 (c) 대표범위 50%에 해당하는 하류부의 기준을 남한강 유역 전체에 적용하는 경우 (d) 대표범위 50%에 해당하는 상류부 및 하류부의 기준과 이의 평균을 각각 남한강 유역의 상류부, 하류부 및 중류부에 구분하여 적용하는 경우.

다. 그러나 이러한 경우는 강우 관측망의 최적화라는 또 다른 문제가 되므로 본 연구에서는 이를 고려하지 않기로 한다.

각 우량계의 영향범위는 원형으로 나타내는 것이 보편적이다. 물론 여기에는 강우가 공간적으로 등방향성(isotropic)이라는 가정을 포함한다. 각 강우계의 영향범위를 원형으로 하는 경우 그 반지름 R은 다음과 같이 추정하였다.

$$R = \sqrt{\frac{(L_c/2)^2}{\pi}} \quad (1)$$

위 식에서 L_c 는 상관거리를 나타낸다. 따라서 $(L_c/2)^2$ 는 각 강우계를 격자형태로 위치시키는 경우의 지배면적이 되고, 이 지배면적을 갖는 원의 반지름이 R이 된다. 이때 R은 $L_c/2$ 보다는 약간 작은 값이 된다. 이 값은 $L_c/2$ 를 바로 사용하는 경우에 비해서는 약간 엄격한 기준이 된다.

먼저, WMO의 온대기후 평지 기준을 남한강 유역 전체에 적용하는 경우는 그림 4(a)와 같다. 이 그림은 WMO의 온대기후 평지 기준(즉, 1개소/600 - 900km²)에서 최소의 기준인 1개소/600km²를 적용한 경우이다. 그림에서 살펴볼 수 있는 것처럼, WMO의 온대기후 평지 기준을 적용하는 경우는 남한강 유역전체가 우량계의 영향범위에 포함되어 있다. 즉, 이 기준을 적용하는 경우는 남한강 유역 내 우량계의 수도 충분할 뿐더러 그 공간분포도 적절하게 나타난다.

두 번째 경우는 WMO의 평지 및 산지 기준과 아울러 중간지역(산지와 평지 기준의 평균을 적용)을 각각 남한강 유역의 상류, 중류 및 하류로 구분하여 적용하는 경우이다. 즉, 남한강 유역을 해발고도를 고려하여 상류, 중류 및 하류 지역으로 나누고 여기에 포함되는 우량계에 각각의 기준을 적용하여 영향범위를 나타낸 경우이다 (그림 4(b)). 본 연구에서는 상류에 대해 WMO의 온대기후 산지기준(즉, 1개소/100 - 250km²)에서 최대의 기준인 1개소/250km²를, 하류에 대해서는 앞의 경우와 마찬가지로 1개소/600km²를 적용하였다. 중류부에 대해서는 이 둘의 평균을 적용하였다. 그림에서 살펴볼 수 있는 것처럼 특히 상류부의 경우에 우량계의 수가 절대적으로 부족할 뿐만 아니라 그 공간 분포도 적절하지 않음을 파악할 수 있다. 전체적인 강우계의 밀도는 WMO의 산지 기준보다 높은 편이나 그 분포를 고려하는 경우 아직도 우량계의 수가 부족하게 나타남을 파악할 수 있다.

세 번째의 경우는 대표범위 50%에 해당하는 하류부의 기준을 남한강 유역 전체에 적용하는 경우이다. 이 경우는 첫 번째 경우와 유사하며 단지 영향범위가 조금 작게 주어질 뿐이다. 그림 4(c)에서 살펴볼 수 있는 것처럼 현재의 강우관측망으로도 유역 전체를 포함할 수 있음을 알 수 있다.

그러나, 마지막의 경우인 대표범위 50%에 해당하는 상류부 및 하류부의 기준과 이의 평균을 각각 남한강 유역의 상류부, 하류부 및 중류부에 구분하여 적용하는 경우는 그 결과가 세 번째의 경우와는 약간의 차이를 나타낸다. 특히, 상류부의 짧은 상관거리는 일부 강우계의 영향범위를 축소시켰고 아울러 이로 인해 주어진 강우 관측망이 유역전체를 완전히 포함하지는 못한다는 결과를 나타내고 있다(그림 4(d)). 그림 4(d)에 의하면 대략 5 - 6곳에 우량계의 추가설치가 필요한 것으로 나타난다 (표 3).

표 3. 우량계의 추가 설치가 필요한 지점

위도	경도
37-22-35	127-33-49
36-50-51	127-49-19
36-45-20	127-48-52
37-27-45	128-35-12
37-14-22	128-34-17
37-10-41	128-43-04

이상의 결과로 판단할 때 현재 남한강 유역의 강우 관측망은 약간의 보완이 필요한 수준으로 나타나고 있다. 아울러 우량계 공간 분포의 적절성을 판단하는 기준도 WMO에서 제시하는 기준보다는 본 연구에서 제안하는 대표범위 50%정도가 보다 적절함을 판단할 수 있었다.

5. 결 론

강우관측망의 평가에 있어 우량계의 밀도뿐만 아니라 그 공간분포도 중요하게 다루어 져야 한다. 본 연구에서는 강우의 공간상관구조를 이용하여 남한강 유역의 강우관측망을 평가하였고 아울러 WMO의 기준과 비교 하였다. 본 연구에서는 강우가 공간적으로 균질하다고 가정하였으며 아울러 그 공간상관구조도 지수함수를 따른다고 가정하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 남한강 유역은 WMO의 기준으로 볼 때 산지도

평지도 아닌 중간적 특성을 나타낸다. 그러나 남한강 상류부에서 관측된 강우의 공간상관거리는 남한강 하류부에서 관측된 강우의 공간상관거리에 비해 짧게 나타나며 따라서 상류부와 하류부는 그 강우특성이 구별된다.

- (2) 남한강 지역의 강우관측망을 평가하는 기준은 대략 상위 50% 정도를 대표하는 상관거리 수준이 되어야 할 것으로 보이며 이 경우 적절한 우량계 사이의 거리는 상류부와 하류부 각각 18.2km와 21.1km로 추정된다. 단순히 강우계의 밀도만을 평가할 경우 남한강 지역의 강우계 밀도는 WMO의 산지기준을 초과하는 수준이다.
- (3) 남한강 지역의 우량계 분포를 검토한 결과, 특히 WMO의 온대지역 산지기준을 적용한 결과 우량계의 공간분포가 적절하지 않음을 파악할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 제안하는 상위 50% 정도를 대표하는 상관거리를 이용하는 경우에는 대략 5 - 6 지점 정도의 우량계 신설이 필요한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 유철상, 정광식(2001). 면적평균강우량의 추정 및 추정오차, **한국수자원학회논문집**, 제34권 제4호, pp. 317-326.
- 윤용남 (1998). **공업수문학**, 청문각.
- Chatfield (1989). *The analysis of Time Series: An Introduction*, Chapman and Hall.
- Graves, C. E., Valdes, J. B., Shen, S. S. P., and North, G. R. (1993). Evaluation of sampling errors of precipitation from spaceborne and Ground sensors, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 32, No. 2, pp. 374-385.
- North, G. R. and Nakamoto, S. (1989). Formalism for comparing rain estimation designs, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 6, pp. 985-992.
- Polyak, I. and North, G. R. (1995). The second-moment climatology of the GATE rain rate data, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 76, No. 4, pp. 535-550.
- Yoo, C., Valdes, J. B., and North, G. R. (1996). Stochastic modeling of multi-dimensional precipitation fields considering spectra structure, *Water Resources Research*, Vol. 32, No. 7, pp. 2175-2187.
- Yoo, C. (2000). On the Sampling of Rainrate Field Using Raingauges and Microwave Attenuation Measurements, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Vol. 14, No. 1, pp. 69-77.
- Yoo, C. (2001). Sampling of Soil Moisture Fields and Related Errors: Implications to the optimal sampling design, *Advances in Water Resources*, Vol. 24 No. 5, pp. 521-530.
- World Meteorological Organization (1994). *Guide to Hydrological Practices*, pp. 735.

(논문번호:02-74/접수:2002.09.16/심사완료:2003.02.17)