

거리와 고도의 지수를 구분한 수정거리고도비율법의 분석

Analysis of Modified Distance-and-Elevation Ratio Method with Different Exponents of Distance and Elevation

유 주 환*
Yoo, Ju-Hwan

Abstract

Both exponents of distance and elevation into distance-and-elevation ratio method for estimating missing rainfall data are expressed as squares together but in this study the two exponents are differently separated and analyzed. We used 326 hourly rainfall events of precipitation data during 10 years of 2004 to 2013 observed at a base station of Pyeongchang and the five neighboring index stations-Bangrim, Suju, Cheongoksan, Jinbu, Yeongwoll-in Han River basin for a case study. As a result, exponent values of distance and elevation appropriate for a topography of the site appear as 3.7 and 0.57 respectively. The exponents of distance and elevation difference need to be applied according to topographical characteristics of site where estimating missing data or interpolation are required.

Keywords : precipitation data complement, modified inverse distance method, distance-and-elevation ratio method, exponents of distance and elevation, topography

요 지

결측 강수량을 보완하기 위한 방법으로 사용되고 있는 거리고도비율법에 포함되어 있는 거리와 고도차의 지수는 동일하게 제공으로 고정되어 있으나 본 연구에서는 이 두 개의 지수를 각각 분리하여 분석하였다. 적용 사례로 한강 유역에 있는 평창을 기준 관측소로 하고 주변에 있는 5개 지표 관측소(방립, 수주, 청옥산, 진부, 영월1)의 10년(2004~2013년) 간 326개 시우량에 적용한 결과 적합한 거리와 고도의 지수 값은 각각 3.7, 0.57로 나타났다. 수정거리고도비율법의 거리와 고도의 지수는 결측 보완 또는 보간을 필요로 하는 위치의 지형공간적인 특성에 따라 맞게 적용해야 한다.

핵심용어 : 강수량 보완, 수정역거리법, 거리고도비율법, 거리와 고도 지수, 지형

1. 서 론

치수 방재를 위해서 정확한 홍수량을 산출하는 데는 신뢰성 있는 강수 자료가 뒷받침되어야 한다. 그러나 강수 자료는 기기 고장 및 프로그램 오류 등으로 인하여 결측 되기도 하고 미계측 되는 경우도 많다. 이 때문에 강수 자료의 보완이 요구된다. 이와 같은 강수 자료를 보완하

기 위한 방법으로 국내외에서 다양한 방법들이 개발되고 적용되어 왔다.

초창기 Paulhus and Kohler (1952)는 결측 강수량의 값을 주변 관측소의 값들로 내삽 하여 구하는 정상비법 (Normal Ratio Method), 3 관측소 평균법 (3-Station-Average Method)과 같은 간편한 방법을 연구하였다. 이후 Wei and McGuinness (1973)는 강수량의 면적평균을 구하

* 영동대학교 토목환경공학과 부교수 (e-mail: jhyoo@yd.ac.kr, Tel: 82-43-740-1173)
Associate Pfor., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Youngdong Univ., Chungbuk, ROK 370-701

기 위한 전산기법으로 역거리제곱법(Reciprocal Distance Squared Method)을 도입하였고 Shearman and Salter (1975)는 강우 관측소로부터 일정한 격자 지점에 강우 자료를 보간(Interpolation) 하기 위해서 역거리제곱법을 적용하였고 Simanton and Osborn (1980)은 점강우량 산출에 역거리법을 적용하였다. Tung (1983)은 산술평균법(Arithmetic Average Method), 정상비법, 역거리법(Inverse Distance Method), 수정정상비법(Modified Normal Ratio Method), 선형계획법(Linear Programming Method) 등 강수 보완법 5가지를 비교하는 연구결과를 제시하였다. Tabios and Salas (1985)는 티센다각형법(Thiessen Polygon Method), 다항식보간법(Polynomial Interpolation Method), 역거리보간법(Inverse Distance Interpolation Method), 다중제곱보간법(Multiquadric Interpolation Method), 최적보간법(Optimal Interpolation Method), 크리깅법(Kriging Method) 등 6가지 방법을 비교하여 크리깅법, 최적보간법 그리고 역거리보간법이 우수함을 입증하였다. Kuligowski and Barros (1998)는 결측 강우자료를 산출하기 위해서 인공신경망(Artificial Neural Networks) 알고리즘을 적용하였고 Abebe et al. (2000)은 퍼지이론(Adaptive Fuzzy Rule)을 적용하여 결측 강수량을 보완하였다. Teegavarapu and Chandramouli (2005)는 인공신경망과 추계적 보간기법(Stochastic Interpolation Technique)을 이용하여 결측 강수량을 보완하였다. Yoo (2013)는 지형적 요소인 고도와 거리 차를 선택적으로 반영할 수 있는 새로운 선형계획법을 제시하였다. Berndt et al. (2014)은 강우 자료의 보간 성능을 향상시키기 위해서 강우자료와 레이더 자료를 지리 통계적(Geostatistical)으로 융합하는 연구를 수행하였다.

국내 연구에서 Kim et al. (1999)은 점 강수량을 보정하기 위해서 산술평균법, 정상비법, 역거리법, 선형계획법, 크리깅법(Kriging Method) 등 7개 방법을 적용하여 상대적으로 쉽고 오차가 적은 역거리법을 권장하였고 Ahn et al. (2003)은 미계측 지점의 강수량을 산정하기 위해서 역거리법과 크리깅법을 적용한 바 있다. 그리고 Kim and Kim (2006)은 강수량의 이상치와 결측치를 보정하기 위해서 산술평균법, 역거리법, 수정역거리법, 인근관측소와의 관계식 법, 크리깅 법 등을 적용하였고 Lee et al. (2006)은 선형회귀분석(Linear Regression Analysis)법을 적용하여 강수량의 결측치를 보완하였다. Oh et al. (2008)은 신경망 이론을 이용하여 소양강댐 지역의 결측 수문자료를 보완하였다. Han et al. (2009)은 한강권 실시간 우량자료의 결측치 보완에서 역거리가중법과 상관계수 가중법이 적용에 우수함을 보였다. Yoo (2010)은 한강유역의 강수

자료를 이용하여 산술평균법, 정상비법, 수정정상비법, 역거리법, 수정역거리법, 선형회귀분석법, 크리깅법과 선형계획법을 비교하였다. Kim et al. (2012)은 다중회귀선형 모형에 의한 미계측 강수량을 생성하여 제주도 지역의 수문량을 추정하였다. 현재 홍수예경보시스템이나 물관리정보유통시스템(www.wins.go.kr)에서 강수 자료의 보정에 역거리법을 이용하고 있다. 여기서 역거리법은 관측소 간의 거리 정보만으로 강수 자료를 보정하기 때문에 실무에서 적용이 편리한 장점을 갖는다.

본 연구에서 관심 대상은 역거리법의 수정 형으로서 수정역거리법 또는 거리고도비율법이다. 여기서 수정역거리법(Modified Inverse Distance Method)은 결측 강수량을 보완하는데 관측소간 거리만을 고려했던 역거리법에 고도를 추가함으로써 산악지형에서 적합하도록 수정했기 때문에 명명(Tung, 1983)된 것이고 거리고도비율법(Elevation-to-Distance Ratio Method)은 거리와 고도의 비율에 의하여 가중치를 결정하기 때문에 명칭(Kim and Kim, 2006)된 것이다. 여기서 역거리법은 역거리제곱법(Reciprocal Distance Squared Method)으로 도입되었기 때문에 거리고도비율법 역시 거리와 고도의 비율에 적용된 지수 값은 2, 즉 제곱을 적용한다. 본 연구에서는 거리고도비율법에 포함된 지형요소인 거리와 고도에 적용된 지수를 분리하여 수정거리고도비율법으로 정식화였고 거리와 고도의 지수 값의 변화에 따라 결측 강수의 가중치 계수에 미치는 민감도를 조사하고 분석하였다.

2. 적용 방법의 검토

본 연구에서는 수정한 거리고도비율법을 적용하는 과정에서 기존의 방법인 산술평균법, 역거리법, 거리고도비율법 등을 함께 비교한다. 이 때 일반적으로 결측되거나 보간이 필요한 기준 관측소(Base Station)의 강수량 (p_{xj} ; 이후 결측 강수량이라 함)은 기준 관측소의 주변에 있는 지표 관측소(Index Station; 이후 주변 관측소라 함)의 강수량 (p_{ij})으로부터 변환되어 Eq. (1)로 나타낼 수 있다 (Singh, 1989).

$$p_{xj} = \sum_{i=1}^m c_i p_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

여기서, c_i 는 i 번째 주변 강수 관측소가 결측 강수량에 기여하는 정도를 나타내는 가중치 계수를 의미한다. 그리고 m 은 관측소의 개수를 나타내고 n 은 결측 강수량의 개수이고 i, j 는 순서를 나타내는 기호이다.

2.1 기존 방법

기존의 방법인 산술평균법, 역거리법, 거리고도비율법은 다음과 같이 요약할 수 있다. 여기서 산술평균법은 결측치 주변의 관측 자료를 가중치로 하는 방법이고, 역거리법은 관측소간 거리 정보를 가중치로 하는 방법이고, 거리고도비율법은 관측소간 거리와 고도차 정보를 가중치로 하는 방법이다.

2.1.1 산술 평균법

산술평균 (Arithmetic Average, AA)법에 의한 결측 강수량 (p_{xj})은 Eq. (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$p_{xj} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m p_{ji} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

그리고 가중치 계수 c_i 는 $\frac{1}{m}$ 로 일정한 값이 된다.

이것은 기준 관측소와 주변 관측소 간 거리가 모두 같을 때 역거리법의 가중치 계수와 동일한 것이다.

2.1.2 역거리법

역거리 (Inverse Distance, ID)법에 의한 결측 강수량 (p_{xj})은 Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_{xj} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{p_{ji}}{D_i^b}}{\sum_{i=1}^m D_i^{-b}} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

D_i 는 기준 관측소와 i 번째 주변 관측소 간의 거리이다. 지수 b 값은 제곱에 해당되는 2를 적용한다. 이 때 가중치 계수 c_i 는 Eq. (4)로 나타낼 수 있다.

$$c_i = \frac{D_i^{-b}}{\sum_{i=1}^m D_i^{-b}} \quad (4)$$

2.1.3 거리고도비율법

거리고도비율(Elevation-to-Distance Ratio or Distance-and-Elevation Ratio Method, DER)법에 의한 결측 강수량 (p_{xj})은 Eq. (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$p_{xj} = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{D_i}{\Delta E_i}\right)^{-b} p_{ji}}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{D_i}{\Delta E_i}\right)^{-b}} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

D_i 와 ΔE_i 는 결측 관측소와 i 번째 주변 관측소 간 각각의 거리와 고도차이다. 지수 b 값은 지수로서 역거리법과 마찬가지로 2를 적용한다. 이 때 가중치 계수 c_i 는 Eq. (6)으로 나타낼 수 있다.

$$c_i = \frac{\left(\frac{D_i}{\Delta E_i}\right)^{-b}}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{D_i}{\Delta E_i}\right)^{-b}} \quad (6)$$

2.2 수정거리고도비율법

본 연구에서는 지형적인 특성에 적합하도록 거리고도비율법에 포함된 거리와 고도의 지수 값을 분리하여 정식화한다. 이 때 지수 역시 제곱으로 고정하지 않고 지형에 적합한 값을 결정하도록 한다.

본 연구에서 제시하는 수정거리고도비율(Modified Distance-and-Elevation Ratio, MDER)법의 결측 강수량 (p_{xj})은 Eq. (7)과 같이 정식화하였다.

$$p_{xj} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i^{-b} \Delta E_i^{-a} p_{ji}}{\sum_{i=1}^m D_i^{-b} \Delta E_i^{-a}} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

D_i 와 ΔE_i 는 기준 관측소와 i 번째 주변 관측소 간 각각의 거리와 고도차이다. a, b 는 2가 아니고 지형에 적합한 값을 적용한다. 이 때 가중치 계수 c_i 는 Eq. (8)과 같다.

$$c_i = \frac{D_i^{-b} \Delta E_i^{-a}}{\sum_{i=1}^m D_i^{-b} \Delta E_i^{-a}} \quad (8)$$

Eq. (8)의 c_i 는 i 번째 주변 강수 관측소가 결측 강수량에 기여하는 정도를 나타내는 가중치 계수를 의미한다. 따라서 i 번째 주변 강수 관측소의 가중치 계수 c_i 는 $D_i^{-b} \Delta E_i^{-a}$ 와 비례한다. 이 때 a, b 값은 고도차와 거리가 가중치 계수에 영향을 주는 정도를 결정한다. 예를 들어 a 와 b 값을 2로 고정하였다가 a 를 점점 감소시키면 고도차가 가중치 계수에 주는 영향력이 작아지고 a 값이 0이 되면 역거리법에 해당된다. 그리고 b 값을 감소시키면 거리의 영향력이 감소된다. a 와 b 값을 각각 -2, 2로 하면 기존의 거리고도비율법에 해당한다. 이 경우는 가중치 계수가 거리에 반비례하고 고도차에는 비례하는 것을 의미하므로 기준 관측소와 주변 관측소 간의 거리가 가깝고 고도차 역시 작을 경우에 물리적으로 가중치 계수가 커야 되는 실제 상황을 구현하지 못하는 약점이 있다.

3. 적용 및 결과 분석

수정거리고도비율법에 포함된 고도차 및 거리의 지수 a , b 값은 Eq. (8)에 있는 가중치 계수 c_i 를 결정하는 매개 변수이다. a 나 b 값이 모두가 영이 아니면 고도차나 거리가 동시에 영향을 준다. 이 때 a 가 b 보다 크면 거리보다는 고도차가 가중치 계수에 영향을 더 많이 주고 b 가 a 보다 크면 거리가 영향을 더 준다. 따라서 실제 상황에서 a , b 는 강수 관측소가 위치한 공간적 특성에 맞도록 결정되어야 한다. 본 장에서는 실제 강수자료와 관측소의 지형정보를 적용하여 적합한 a , b 값을 결정한다. 수정거리고도비율(MDER)법과 함께 산술평균(AA)법, 역거리(ID)법을 적용하여 산출된 강수 계산치와 실측치 사이의 평균제곱오차 제곱근(Root Mean Squared Error, RMSE)들을 구한 다음 비교분석하였다.

3.1 적용 대상

적용한 강수 자료는 Table 1과 같이 한강 유역에서 관측되는 8개 관측소의 최근 10년간(2004~2013년) 발생한

326개의 시우량(Water Management Information System, 2014)을 이용하였다. 수정하고자 하는 거리고도비율법은 산악지형에 적합한 것(Tung, 1983)으로 검토되어 왔기 때문에 이를 고려하여 적용 대상의 강수 관측소들을 선정하였다. 즉 산악지형에 위치하여 고저차가 크면서 거리 차이가 큰 그룹과 적은 그룹 2개로 나누었다. Table 2와 같이 기준 관측소를 평창으로 설정을 하였고 평창 관측소의 주변 관측소는 5개씩 2개 그룹으로 하였다. 그룹 I의 주변 관측소는 대화, 방림, 수주, 청옥산, 영덕 관측소 5개로 이뤄진다. 그룹 I은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 주변 관측소들이 평창 관측소와 거리 차이들이 크지 않고 상대적으로 고도차들은 크도록 구성하였다. 그리고 그룹 II의 기준 관측소는 그룹 I과 마찬가지로 평창으로 하고 주변 관측소는 방림, 수주, 청옥산, 진부, 영월1 관측소 5개로 이뤄진다. 그룹 II는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 기준 관측소가 주변 관측소와의 거리차와 고도차가 모두 크도록 구성하였다.

3.2 방법 적용

수정거리고도비율법의 적절한 a , b 값을 구하기 위해서

Table 1. 326 Hourly Rainfall Events of Precipitation Data at 8 Stations during Years of 2004 to 2013

Precipitation Station		Pyeong-chang	Dae-hwa	Bang-rim	Suju	Cheong-oksan	Yeon-deog	Jinbu	Yeong-woll
Average	mm	9.3	8.0	7.8	8.7	8.9	8.6	6.2	7.0
Standard Deviation	mm	8.6	7.0	7.5	8.3	7.8	8.2	5.6	7.6
Maximum	mm	75	52	79	53	53	51	39	68
Minimum	mm	1	1	1	1	1	1	1	1

Table 2. Precipitation Stations for Application in this Study

Precipitation Station		Pyeong-chang	Dae-hwa	Bang-rim	Suju	Cheong-oksan	Yeon-deog	Jinbu	Yeong-woll
Elevation above Sea Level	E.S.L.m	295	500	680	270	660	360	574	360
Elevation Difference, ΔE	m	datum	205	385	-25	365	65	279	65
East Longitude	degree	128	128	128	128	128	128	128	128
	minute	23	27	17	17	29	25	34	24
	second	21	27	54	21	14	28	41	41
North Latitude	degree	37	37	37	37	37	37	37	37
	minute	22	29	26	17	21	16	39	11
	second	30	25	37	7	51	47	32	29
Displacement in Longitude	km	Origin	6.094	-8.101	-8.919	8.745	3.146	16.846	1.982
Displacement in Latitude	km	Origin	12.870	7.660	-10.017	-1.209	-10.637	31.695	-20.499
Distance, D	km	datum	14.240	11.149	13.412	8.828	11.093	35.893	20.595
Group I (6 Stations)		1	2	3	4	5	6	-	-
Group II (6 Stations)		1	-	2	3	4	-	5	6

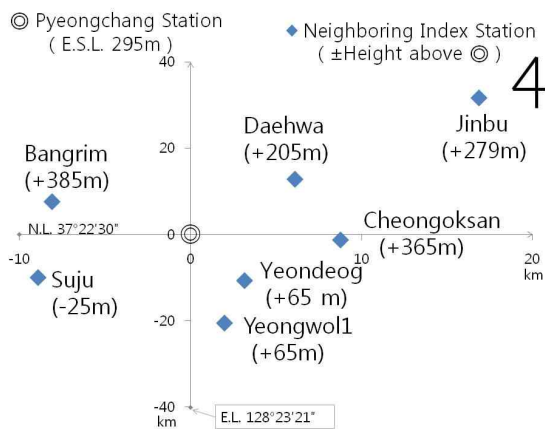


Fig. 1. Precipitation Stations for Application in this Study

a , b 값에 0.5, 1, 1.5, 2를 적용하여 관측치와 계산치의 평균제곱오차 제곱근(RMSE)이 더 적은 a , b 값을 구하였다. a , b 값의 범위는 기존 적용되고 있는 제곱인 지수값 2를 상한치로 하고 0.5씩 간격으로 두어 설정하였다. 두 개의 관측소 그룹별로 3개(AA, ID, MDER)의 방법에 대하여 얻은 평균제곱오차 제곱근은 Table 3과 같다.

3.3 결과 분석

Table 3을 바탕으로 관측소 그룹 2개의 적용 결과를 분석하면 다음과 같다. 우선 그룹 I의 적용 결과를 살펴보면 수정거리고도비율법(MDER)은 적용한 0.5~2의 a , b 값 중에 두 값 모두 0.5일 때 RMSE가 5.488 mm로 실측치와 편차가 가장 적었다. 그리고 역거리(ID)법은 0.5~2의 b 값

Table 3. Comparison of Root Mean Squared Errors (RMSE) Calculated by Modified Distance-and-Elevation Ratio (MDER) Method and those by the other Methods-Arithmetic Average (AA) Method and Inverse Distance (ID) Method Based on Precipitation Data of Two Groups

Two Exponents		RMSE (mm) in Group I			RMSE (mm) in Group II		
a	b	AA	ID	MDER	AA	ID	MDER
0.5	0.5	5.431	5.442	5.488	6.166	5.905	5.930
0.5	1	5.431	5.456	5.501	6.166	5.732	5.755
0.5	1.5	5.431	5.473	5.514	6.166	5.630	5.613
0.5	2	5.431	5.493	5.530	6.166	5.581	5.503
1	0.5	5.431	5.442	5.798	6.166	5.905	6.153
1	1	5.431	5.456	5.797	6.166	5.732	6.062
1	1.5	5.431	5.473	5.798	6.166	5.630	5.977
1	2	5.431	5.493	5.798	6.166	5.581	5.893
1.5	0.5	5.431	5.442	6.081	6.166	5.905	6.319
1.5	1	5.431	5.456	6.073	6.166	5.732	6.294
1.5	1.5	5.431	5.473	6.065	6.166	5.630	6.271
1.5	2	5.431	5.493	6.058	6.166	5.581	6.245
2	0.5	5.431	5.442	6.252	6.166	5.905	6.400
2	1	5.431	5.456	6.242	6.166	5.732	6.400
2	1.5	5.431	5.473	6.231	6.166	5.630	6.401
2	2	5.431	5.493	6.221	6.166	5.581	6.400
-0.5	0.5	5.431	5.442	5.654	6.166	5.905	6.075
-0.5	1	5.431	5.456	5.647	6.166	5.732	5.939
-0.5	1.5	5.431	5.473	5.644	6.166	5.630	5.871
-0.5	2	5.431	5.493	5.647	6.166	5.581	5.840
-1	0.5	5.431	5.442	5.859	6.166	5.905	6.200
-1	1	5.431	5.456	5.831	6.166	5.732	6.081
-1	1.5	5.431	5.473	5.809	6.166	5.630	6.015
-1	2	5.431	5.493	5.793	6.166	5.581	5.974
-1.5	0.5	5.431	5.442	5.989	6.166	5.905	6.253
-1.5	1	5.431	5.456	5.948	6.166	5.732	6.143
-1.5	1.5	5.431	5.473	5.913	6.166	5.630	6.074
-1.5	2	5.431	5.493	5.886	6.166	5.581	6.027
-2	0.5	5.431	5.442	6.072	6.166	5.905	6.274
-2	1	5.431	5.456	6.023	6.166	5.732	6.171
-2	1.5	5.431	5.473	5.980	6.166	5.630	6.102
-2	2	5.431	5.493	5.945	6.166	5.581	6.050

중에 0.5일 때 RMSE가 5.442mm로 실측치와 편차가 가장 적게 나타났다. 주목되는 것은 산술평균(AA)법에 의한 결과가 RMSE 값이 5.431mm로서 수정거리고도비율법이나 역거리법보다 실측치에 더 접근하였다는 것이다. 이는 주변 관측소(대화, 방림, 수주, 청옥산, 영덕)가 기준 관측소인 평창 관측소와의 거리가 비슷한 공간적 특성을 갖는 그룹 I에서는 주변 관측소의 강수량을 산술적으로 평균한 시우량이 역거리법이나 수정거리고도비율법으로 계산한 시우량보다 평창의 시우량에 접근했기 때문으로 분석된다. 역거리법이나 수정거리고도비율법의 경우에서도 거리의 지수 b 값이 가장 적은 0.5일 경우에 가장 접근된 결과를 보였다. 산술적으로 평균한 것이 가장 접근된 결과를 보였고 거리나 고도차를 반영하면 오히려 더 좋지 않은 결과를 보였다.

그리고 그룹 II의 적용 결과를 살펴보면 수정거리고도비율법의 경우 0.5~2의 a, b 값 중에 a 값은 0.5이고 b 값은 2일 때 RMSE가 5.503mm로 실측치와 편차가 가장 적게 나타났다. 그리고 a, b 값이 각각 -2, 2인 기존 거리고도비율법의 RMSE는 6.050mm로 상대적으로 좋지 않은 결과를 보였다. 그리고 역거리법은 0.5~2의 b 값 중에 2일 때 RMSE가 5.581mm로 실측치와 편차가 가장 적게 나타났다. 여기서 산술평균법은 RMSE 값이 6.166mm로서 수정거리고도비율법이나 역거리법보다 편차가 더 크게 나타났

다. 이는 주변 관측소(방림, 수주, 청옥산, 진부, 영월1)가 기준 관측소인 평창 관측소와의 거리 및 고도의 차가 큰 지형적 특성을 갖기 때문에 역거리법이나 수정거리고도비율법에 의한 계산치가 주변 관측소의 산술평균 계산치보다 더 좋은 결과를 보이는 것으로 분석된다. 결과적으로 주변 관측소들과 거리가 비슷한 관측소를 선택하면 산술평균 방법이 역거리법이나 수정거리고도비율법보다 오히려 좋은 결과를 얻었고 주변 관측소와 거리 및 고도의 차가 크면 역거리법이나 수정거리고도비율법이 더 좋은 결과를 보였다. 이 때 역거리법의 경우에는 거리의 지수 b 값은 적용치 중에 가장 큰 값 2일 때가 결과가 좋았고 수정거리고도비율법의 경우에는 거리의 지수 b 값은 마찬가지로 적용치 중에 가장 큰 2이고 고도차의 지수 a 값은 적용치 중에 가장 적은 0.5일 때 결과가 가장 좋았다. 그리고 수정거리고도비율법의 결과가 역거리법보다 더 좋게 나타났다. 그룹 II와 같은 지형적 특성을 갖는 강수 관측소 그룹의 경우에는 거리 차이가 많이 반영되고 동시에 고도차는 적게 반영되도록 지수 a, b 값이 적용될 경우에 최적의 결과를 가져왔다.

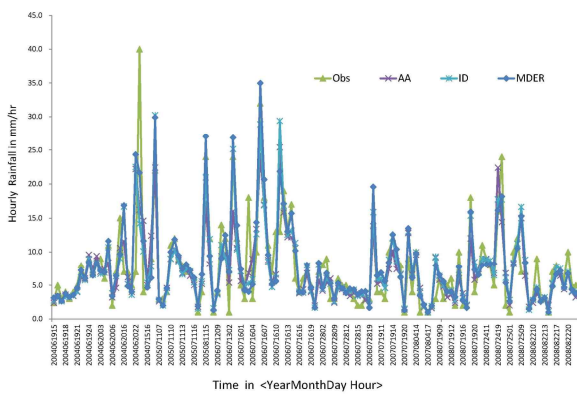
요컨대 수정거리고도비율법은 그룹 I의 경우보다는 그룹 II에 더 좋은 결과를 보였듯이 거리 및 고도차가 다양한 지형적 특성을 갖는 경우에 적합하다. 그리고 Table 4와 같이 수정거리고도비율법의 최적 a, b 값을 찾기 위해

Table 4. Searching Values of Exponents of a and b into Modified Distance-and-Elevation Ratio Method based on Data in Group II

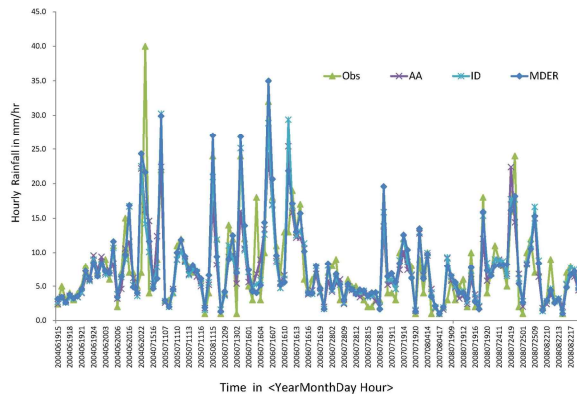
Search No.	a	b	RMSE in mm
1	0.5	2	5.50332
2	0.5	2.5	5.42401
3	0.5	3	5.37409
4	0.5	4	5.35330
5	0.5	5	5.41627
6	0.5	4.5	5.37621
7	0.5	4.2	5.44680
8	0.5	4.1	5.35632
9	0.5	3.5	5.35145
10	0.5	3.7	5.34943
11	0.5	3.8	5.34983
13	0.5	3.6	5.34983
14	0.4	3.7	5.38035
15	0.6	3.7	5.34481
16	0.7	3.7	5.37083
17	0.65	3.7	5.35388
18	0.55	3.7	5.34347
19	0.53	3.7	5.34501
20	0.57	3.7	5.34310
21	0.56	3.7	5.34314
22	0.58	3.7	5.34337

서 앞서 구한 a , b 값 0.5, 2에서부터 a 와 b 값을 일정량을 증감하여 RMSE 값이 감소하는 방향으로 순차적으로 a 와 b 값을 조사하였다. 이렇게 구한 a , b 값인 0.57, 3.7일 때의 수정거리고도비율법(MDER in Figs)과 b 값이 2일 때의 역거리법(ID in Figs) 그리고 산술평균법(AA in Figs)에 의해서 산출된 계산치와 관측치(Obs in Figs)를 비교하기 위해서 전체 기간(2004~2013년)을 두 기간(2004~2008년, 2009~2013년)으로 나누어 도시하면 Figs. 2(a) and 2(b)와 같다. 이 그림을 보면 관측치와 계산치 사이의 돌출적인 차이를 보이는 시우량이 보인다. 이것은 Table

5와 같이 주변 관측소들보다 돌발적으로 큰 강우가 평균에만 발생한 때문이다. 이와 같은 국지적으로 발생한 14개 강우 사상은 Table 5에서 보는 바와 같이 전체 RMSE의 상당량을 차지하기 때문에 이상치로 취급하여 제거하면 산술평균법, 역거리법, 수정거리고도비율법의 RMSE가 각각 30.4, 26.1, 24.8%가 감소된 4.288, 4.124, 4.017 mm가 된다. 이 때 제거한 이상치는 평균의 강수량(Obs in Table 5)이 주변 관측소 강수량의 평균값(AA in Table 5)보다 1.5배 이상되는 값으로 Fig. 2에서도 육안으로 확인할 수 있다.



(a) During Years of 2004 to 2008



(b) During Years of 2009 to 2013

Fig. 2. Comparisons of Observed Data to Calculated Data by Methods—AA, ID ($b=2$), MDER ($a=0.57$, $b=3.7$) at Pyeongchang Station

Table 5. 14 Rainfall Events Having Rainfall Amount at Pyeongchang Much Larger than Rainfall Amount at Neighboring Index Station

YearMonthDayHour	No	Obs	Obs/AA	AA	ID	MDER
2004062023	1	40	2.50	16	14	22
2006071603	2	18	2.57	7	5	4
2009071206	3	33	2.06	16	18	18
2009071207	4	35	1.94	18	21	20
2009071419	5	75	2.59	29	38	44
2009071423	6	39	1.77	22	23	20
2009081212	7	14	1.56	9	8	7
2009081213	8	18	2.25	8	10	9
2009081214	9	15	2.50	6	8	8
2009081215	10	12	2.40	5	5	5
2012070606	11	37	2.64	14	18	19
2013071510	12	45	4.09	11	18	15
2013072208	13	31	2.58	12	13	12
2013072209	14	45	2.37	19	26	32
RMSE in mm	No.14			21.801	18.610	17.469
RMSE in mm (N)	All			6.165	5.581	5.343
RMSE in mm (M)	Except No.14			4.288	4.124	4.017
Reduction (N-M)/N ×100	%			30.4	26.1	24.8

4. 주요 결과 및 결론

본 연구에서는 결측 강수량을 보완하기 위한 방법으로 사용되고 있는 기존의 거리고도비율법을 수정하였고 이 방법에 포함된 거리와 고도의 지수 값의 변화에 따라 결측 강수량을 보완하기 위한 가중치 계수에 미치는 민감도를 조사하였고, 실제 강수 자료에 적용하여 분석한 주요 결과와 결론은 다음과 같다.

- 1) 수정거리고도비율법에 포함되어 있는 고도차와 거리의 지수인 a 와 b 값을 기존 방법에서는 2로 고정되었지만, a 와 b 를 각각 다른 값으로 변화키면 고도차와 거리가 결측 강수량의 보완에 주는 영향력을 조절할 수 있다.
- 2) 결측 강수량을 보완하기 위한 방법으로 사용되고 있는 기존의 거리고도비율법에 포함된 지형 공간 요소인 거리와 고도의 지수를 각각 분리하도록 정식화한 수정거리고도비율법을 산술평균법, 역거리법과 함께 적용하여 비교분석하였다.
- 3) 적용 대상으로 주변 관측소들과 거리가 비슷한 관측소를 선택하면 산술평균 방법이 역거리법이나 수정거리고도비율법보다 오히려 좋은 결과를 얻을 수 있으나 주변 관측소와의 거리 및 고도의 차가 크면 역거리법이나 수정거리고도비율법이 더 좋은 결과를 보였다. 따라서 수정거리고도비율법은 거리와 고도차가 큰 지형적 특성을 갖는 경우에 적합하다.
- 4) 수정거리고도비율법의 고도차 및 거리의 지수 a 와 b 값은 결측 보완 또는 보간이 필요로 하는 위치의 지형 공간적 특성에 따라 다르다. 본 연구의 적용 사례로 한강 유역에 있는 기준 관측소를 평창으로 하고 고도차와 거리가 비교적 큰 5개 관측소(방림, 수주, 청옥산, 진부, 영월1)를 주변 관측소로 하여 10년(2004~2013년)간 326개의 시우량을 가지고 적용한 결과 a 와 b 값은 각각 0.57, 3.7로 나타났다.
- 5) 적합한 a , b 값을 찾는 과정에서 오차를 최소화하기 위해서 주변 관측소의 강수량보다 매우 큰 돌발적인 기준 관측소 강수량은 이상치로 제거하고 분석할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 영동대학교 산학협력단의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Abebe, A.J., Solomatine, D.P., and Venneker, R.G.W. (2000). "Application of adaptive fuzzy rule-based models for reconstruction of missing precipitation events." *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 45, No. 3, pp. 425-436.
- Ahn, S.J., Lee, J.H., Yoon, S.H., and Kwark, H.G. (2003). "Comparison of Rainfall Estimation Method at an Ungauged Point." *Proceedings of the Korean Water Resources Association Conference*, 2003, pp. 807-810. (in Korean)
- Berndt, C., Rabiei, E., Haberlandt, U. (2014). "Geostatistical merging of rain gauge and radar data for high temporal resolutions and various station density scenarios." *Journal of Hydrology*, Vol. 508, No. 16, pp. 88-101.
- Han, M.S., Kim, C.S., Kim, H.S., and Kim, H. (2009). "A Study on the Revised Methods of Missing Rainfall Data for Real-time Forecasting Systems." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 42, No. 2, pp. 131-139. (in Korean)
- Kim, C.S., and Kim, H.S. (2006). "Comparison of Estimation Methods for the Missing Rainfall data in a Urban Sub-drainage Area." *Proceedings of the Korean Water Resources Association Conference*, 2006, pp. 701-705. (in Korean)
- Kim, E.S., Kim, H.S., and Kim, J.H. (1999). "Comparative Study on Method Estimating Missing Point Rainfall." *Proceedings of the Korean Water Resources Association Conference*, 2009, pp. 374-381. (in Korean)
- Kim, N.W., Um, M.J., Chung, I.M., and Heo, J.H. (2012). "Estimating the Total Precipitation Amount with Simulated Precipitation for Ungauged Stations in Jeju Island." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 45, No. 9, pp. 875-885. (in Korean)
- Kuligowski, R.J., and Barros, A.P. (1998). "Using artificial neural networks to estimate missing rainfall data." *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 34, No. 6, pp. 1437-1447.
- Lee M.W., Lee B.H., Kim H.S., and Shim M.P. (2006). "Completion of the Missing Rainfall Data by a Multi-regression method." *Proceedings of the Korean Water*

- Resources Association Conference*, 2006, pp. 701–705. (in Korean)
- Oh, J.W., Park, J.H., and Kim, Y.K. (2008). “Missing Hydrological Data Estimation using Neural Network and Real Time Data Reconciliation.” *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 41, No. 10, pp. 1059–1065. (in Korean)
- Paulhus, J.L.H., and Kohler, M.A. (1952). “Interpolation of missing precipitation records.” *Monthly Weather Review* 80, pp. 129–133.
- Shearman, R.J., and Salter, P.M. (1975). “An objective rainfall interpolation and mapping technique.” *Hydrological Sciences Bulletin*, Vol. 20, No. 3, pp. 353–363.
- Simanton, J.R., and Osborn, H.B. (1980). “Reciprocal distance estimate of point rainfall.” *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 106, No. HY7, pp. 1242–1246.
- Singh, V.P. (1989). *Hydrologic Systems, Watershed Modeling*. Vol. II, Prentice-Hall, New Jersey.
- Tabios III, G.Q., and Salas, J.D. (1985). “A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation.” *Water Resources Bulletin*, Vol. 21, No. 3, pp. 365–380.
- Teegavarapu, Ramesh S.V., and Chandramouli, V. (2005). “Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records.” *Journal of Hydrology*, Vol. 312, pp. 191–206.
- Tung, Y.K. (1983). “Point rainfall estimation for a mountainous region.” *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 109, No. 10, pp. 1383–1393.
- Water Management Information System (2014). <http://www.wamis.go.kr/>, Han River Flood Control Office, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Republic of Korea.
- Wei, T.C., and McGuinness, J.L. (1973). “Reciprocal distance squared method, a computer technique for estimating area precipitation.” *Technical Report ARS-Nc-8* US Agricultural Research Service, North Central Region, Ohio.
- Yoo, J.H. (2013). “A Linear Programming Method Considering Topographical Factors Used For Estimating Missing Precipitation.” *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 15, No. 5, pp. 542–551.
- Yoo, J.H. (2010). “A Certification of Linear Programming Method for Estimating Missing Precipitation Values Ungauged.” *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 43, No. 3, pp. 257–264. (in Korean)

paper number : 14-116

Received : 26 November 2014

Revised : 25 March 2015 / 30 March 2015

Accepted : 30 March 2015