

미계측 결측 강수자료 보완 방법의 비교

A Comparison of the Methods for Estimating the Missing Precipitation Values Ungauged

유 주 환 * , 최 용 준 **, 정 관 수 ***
Ju-Hwan Yoo, Yong Joon Choi, Kwan Sue Jung

Abstract

The amount and the continuity of the precipitation data used in a hydrological analysis may exert a big influence on the reliability of the analysis. It is a fundamental process to estimate the missing data caused by such as a breakdown of the rainfall recording machine or to expand a short period of rainfall data. In this study the eight methods widely used as methods for estimating are compared. The data used in this research is the annual precipitation amount during 17 years at the Cheolwon station including an ungauged period of 15 years and its five surrounding stations. By use of this certified method the ungauged precipitation values at the Cheolwon station is estimated and the areal average of annual precipitation for 32 years at the Han River basin is calculated.

Key words : ungauged precipitation, missing data estimation method, Han River basin

1. 서론

하천에 흘러가는 홍수량이나 댐에 유입되는 홍수량 뿐 아니라 국지적으로 발생하는 계곡 또는 지천의 홍수량을 산출하여 홍수를 예측하는 것은 재해 예방을 위해서 항상 중요하다. 이를 위한 수문 분석(Hydrological Analysis) 방법에는 유출량을 산출하기 위해서 유량을 실측하는 직접 방법이나 강우-유출 모형에 의한 간접적인 방법이 있다. 이 중 직접 방법은 비용이 많이 소요되거나 계측에 위험성이 크기 때문에 간접 방법을 많이 이용한다. 이 간접 방법은 강수자료를 강우-유출 모형에 적용하여 홍수 수위나 유출량 등의 수문량을 산출한다. 특히 최근 편리하면서 다양한 강우-유출 모형이 개발되면서 실무적으로 많이 적용되고 있다. 그러나 이런 편리성의 이면에는 신뢰성 있는 강수자료가 동반되어야 한다.

본 연구에서는 결측 자료 보완법을 이용하여 미계측 기간의 자료를 보완하는데 연구의 주안점이 있다. 결측 자료를 보완하는 방법은 크게 3가지로 구분 지을 수 있다(Teegavarapu and Chandramonli, 2005). 첫 번째는 역거리(Inverse Distance)법과 같이 거리 또는 고도 등 공간적 요소를 고려한 공간 가중(Spatial Weighting) 방법이고 두 번째는 년정상비(Normal Ratio)법, 선형계

* 정회원·영동대학교 토목환경공학과 교수·E-mail : jhyoo@youngdong.ac.kr
** 정회원·충남대학교 대학원 박사과정·E-mail : ace_choi@hanmail.net
*** 정회원·충남대학교 토목공학과 교수·E-mail : ksjung@cnu.ac.kr

획(Linear Programming)법과 같이 자료의 통계적 특성을 고려한 자료구동(Data-driven) 방법이다. 그리고 세 번째는 수정년정상비(Modified Normal Ratio)법과 같이 공간 가중법과 자료 구동법을 합성한 방법이다.

결측 강수 보완법에 관한 연구로 국내외 다수가 있어왔다.(Wei and Mc Guinness, 1973; Simanton and Osborn, 1980; Tung, 1983; Teegavarapu and Chandramouli,2005; 김응석 등,1995; 김응석 등,1999; 안상진 등,2003; 김충수, 김형섭,2006; 이명우 등,2006). 이를 바탕으로 본 연구에서는 선형계획법을 중심으로 결측 강수량 보완법 8가지를 비교, 검토하였다. 8가지 방법은 선형계획법, 산술평균법, 년정상비법, 수정년정상비법, 역거리법, 수정역거리법, 선형회귀분석법, 크리깅 법 등이다. 적용 자료는 한국내 관측 전문기관인 한국기상청(Korea Meteorological Administration)이 관리하는 강수 자료이다. 이 적용 자료는 유역치수 계획에서 검토되어 보고된 한강 유역내 관측소별, 연도별 강수량 자료(국토해양부, 2008)이다. 강수 결측치의 시간 단위는 자료의 사용 목적에 따라 결정된다. 대개 시간(Hour), 일(Day), 월(Month), 년(Year) 단위의 강수량 자료이다. 본 연구에 적용한 강수량은 년 단위 강수량이다. 본 연구는 방법론적 비교, 평가에 초점을 두고 있기 때문에 실무적으로 필요한 소규모의 시간단위와 관측밀도의 강수량 보완에 대해서는 세심한 검토와 더불어 적용이 요구된다.

2. 적용 방법 : 8가지 방법 설명 중략 (포스터 발표 참조)

3. 방법 적용

3.1 적용 대상 및 자료

한강의 유역치수계획(국토해양부, 2008)에서 한강 유역내내 기상 관측소의 티센 강수 관측망은 그림 1과 같다. 이 관측소의 연도별 강수량(그림 2)을 살펴보면 철원 관측소의 앞부분에 누락 부분이 보인다. 이는 철원 관측소의 관측 개시가 다른 관측소보다 늦었기 때문에 미계측된 것이다. Fig. 2의 표를 보면 철원의 관측 개시 년도만 1988년이고 나머지는 모두 1973년이다. 이 때문에 철원의 관측 기간만은 17년이고 나머지는 32년이다. 본 연구에서는 철원의 미계측 강수 기간(1973년~1987년)의 자료를 보완하기 위해서 그 주변 5개 기상 관측소인 서울, 춘천, 홍천, 양평, 인제의 연평균 강수량 자료를 선택한다.

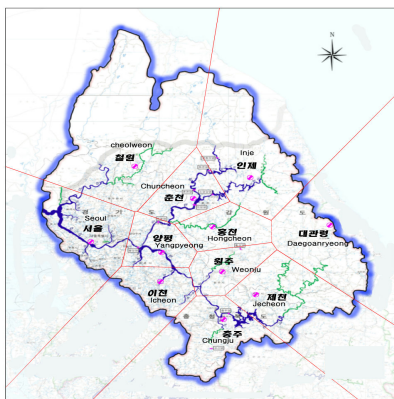


그림. 1. 강수관측소 티센망

단위 : mm												
연도	철원	서울	춘천	양평	양평	양평	양평	양평	양평	양평	양평	양평
연도	0.279	0.102	0.057	0.047	0.052	0.048	0.047	0.121	0.090	0.077	0.080	
1973	928.1	984.8	958.4	955.5	1,060.5	1,180.7	719.0	750.7	880.1	1,143.3	928.6	
1974	1,290.1	1,102.7	1,161.1	1,137.3	1,157.9	1,182.7	982.0	1,162.6	1,030.5	1,265.1	1,130.9	
1975	1,067.4	1,300.5	1,313.2	1,223.0	1,280.6	1,315.3	1,161.8	1,210.0	1,171.0	1,786.7	1,260.3	
1976	1,109.5	1,071.9	1,272.8	1,239.5	1,130.6	1,234.9	1,088.1	925.7	1,069.3	1,535.1	1,120.2	
1977	1,147.6	936.9	1,092.0	1,091.0	975.1	1,031.1	822.1	1,229.3	907.3	1,175.0	984.2	
1978	1,160.9	1,347.8	1,242.5	1,342.4	1,214.5	1,138.4	1,301.0	1,435.7	1,348.2	1,665.2	1,318.3	
1979	1,279.4	1,384.1	1,376.2	1,121.0	1,181.1	1,375.9	1,183.2	1,405.7	1,234.3	1,192.7	1,287.6	
1980	1,282.4	1,037.5	1,382.9	1,150.6	1,189.3	1,411.0	884.0	1,650.0	1,353.3	1,626.2	1,218.9	
1981	1,216.2	1,630.8	1,381.2	1,635.1	1,575.8	1,445.8	1,510.9	1,275.1	980.0	1,529.6	1,434.6	
1982	949.3	927.6	899.6	1,038.0	1,288.4	954.7	999.7	850.3	822.9	1,252.6	974.6	
1983	1,205.1	1,133.7	1,183.0	1,030.3	1,182.5	949.0	911.6	1,023.5	906.3	1,270.3	1,089.6	
1984	1,249.5	1,342.2	1,463.3	1,493.2	1,415.6	1,198.5	1,469.1	1,244.1	1,096.3	1,699.1	1,356.7	
1985	1,544.6	1,191.5	1,289.8	1,365.2	1,341.4	1,402.6	1,092.0	1,388.1	1,309.3	1,744.7	1,330.3	
1986	1,247.4	1,021.6	1,180.8	1,058.3	1,165.1	1,194.1	942.5	1,175.9	974.5	1,476.1	1,115.5	
1987	1,271.4	1,439.5	1,662.6	1,356.8	1,498.1	1,869.8	1,250.0	1,373.3	1,338.8	1,590.7	1,534.0	
1988	971.3	762.5	1,068.1	967.3	864.2	769.0	1,012.1	669.9	1,306.7	872.6	1,071.1	1,007.5
1989	1,283.4	1,437.1	1,219.2	1,274.3	1,305.1	1,446.7	1,452.2	1,048.2	1,574.6	1,399.1	1,193.9	1,390.9
1990	2,192.8	2,383.3	2,669.2	2,068.0	2,370.0	2,254.9	2,313.3	1,689.6	1,928.5	1,834.9	2,316.6	2,112.3
1991	994.6	1,158.2	1,298.0	1,303.5	1,523.0	1,286.8	1,379.1	751.7	1,343.1	1,412.7	1,461.5	1,243.3
1992	1,120.0	1,454.9	1,101.5	1,185.4	1,325.8	1,282.1	1,207.0	1,128.7	1,108.1	917.2	1,187.9	1,248.1
1993	1,094.1	1,271.4	1,191.1	1,261.5	1,293.1	1,194.1	1,250.0	1,053.7	1,497.4	1,145.9	1,251.0	1,281.8
1994	1,140.3	1,095.8	930.9	1,126.3	1,032.4	1,037.5	1,118.8	799.9	1,187.1	1,091.4	1,444.1	1,087.1
1995	1,534.4	1,598.6	1,593.1	1,317.5	1,598.0	1,630.3	1,423.9	1,402.3	1,447.9	1,223.1	1,337.8	1,473.4
1996	1,574.1	1,266.6	1,185.7	1,056.8	1,088.9	1,122.1	927.0	987.2	933.0	1,439.1	1,176.5	1,317.0
1997	1,632.8	1,210.2	1,154.9	1,457.8	1,252.1	1,456.9	1,282.9	1,420.5	1,584.8	1,219.7	1,760.5	1,317.0
1998	1,652.8	2,349.1	1,707.6	1,450.8	1,682.8	1,948.7	1,807.5	1,451.1	1,381.1	1,652.5	2,998.3	1,816.6
1999	1,679.6	1,733.1	1,586.9	1,614.9	1,624.8	1,499.3	1,675.3	1,537.1	1,433.4	1,298.3	2,199.2	1,639.3
2000	1,125.2	1,198.6	1,154.9	1,226.6	1,184.3	959.6	1,284.9	1,101.6	1,149.1	1,269.6	1,559.4	1,164.7
2001	1,277.6	1,186.0	1,108.0	775.7	1,135.9	1,034.1	884.9	860.5	849.3	798.1	1,551.7	1,113.6
2002	1,289.3	1,388.0	1,177.7	1,481.7	1,365.5	1,333.1	1,394.6	1,243.2	1,500.4	1,469.6	2,697.6	1,452.4
2003	1,249.6	2,012.0	1,865.8	1,740.0	1,974.2	1,825.8	1,715.1	1,705.9	1,876.6	1,661.2	2,685.4	1,729.4
2004	1,249.6	1,499.1	1,404.0	1,425.3	1,557.0	1,347.8	1,177.4	1,350.2	1,630.8	1,425.2	1,815.5	1,414.6
평균	1,319.5	1,358.3	1,270.6	1,299.2	1,317.8	1,311.3	1,324.8	1,135.8	1,318.1	1,186.8	1,777.4	1,323.3

비고) 자료수정 철원(2003) : 1249.6→1718.3

그림 2. 미계측 강수량

따라서 철원 관측소를 포함한 6개 관측소의 공간 정보는 표 1과 같고 공통 가용한 강수 자료는 그림 2에 있는 17년(1998년~2004년)간 자료이다. 이 정보는 선형계획법을 포함한 8개 방법에 의한 결측 보완 수행(Performance) 능력을 평가하는데 이용된다.

표 1. 관측소의 공간 정보

관측소	철원	서울	춘천	홍천	양평	인제
동경	127 18'0"	126 58'4"	127 44'16"	127 52'57"	127 29'48"	128 10'9"
북위	38 9'0"	37 34'7"	37 53'60"	37 40'51"	37 29'9"	38 3'26"
거리(Km)	기준	71.4	48.0	73.8	76.2	78.2
표고차(EL.M)	기준	85.5	76.8	140.6	49	198.6

3.2 적용 결과 검토

8개 결측 강수 보완법을 적용하여 산출한 철원 관측소의 계산치와 관측치는 표 2 및 그림 3과 같다. 그림 3은 전체적으로 계산치의 시계열이 관측치를 따라가고 있음을 보여준다. 이 방법들의 평가 지표로서 6가지 수행 척도(Performance Measure)를 적용하였다. 우선 방법을 적용한 계산 결과에 대하여 잘 알려진 3가지 통계치인 평균값(Average Value, AV), 표준편차(Standard Deviation, SD) 그리고 상관계수(Correlation Coefficient, CC)를 산출하여 관측치의 값과 비교하여 접근 정도를 평가하였다. 그리고 오차 평가 방법 3가지로서 식 (9)와 같은 평균제곱오차 제곱근(Root Mean Squared Error, RMSE), 식 (10)과 같은 평균절대오차(Mean Absolute Error, MAE), 식 (11)과 같은 평균상대오차(Mean Relative Error, MRE)를 적용하여 평가하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\hat{p}_{xj} - p_{xj})^2} \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \| \hat{p}_{xj} - p_{xj} \| \quad (10)$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left\| \frac{(\hat{p}_{xj} - p_{xj})}{p_{xj}} \right\| \quad (11)$$

표 2. 방법별 계산치와 관측치 비교(철원)

Year	관측치 (mm)	방법별 계산치(mm)							
		AA	NR	MNR	ID	MID	LRA	KM	LP
1988	971.3	826.7	822.5	877.5	881.9	801.0	944.7	867.6	970.6
1989	1283.4	1291.3	1279.2	1268.0	1279.9	1192.7	1233.9	1280.7	1282.1
1990	2192.8	2148.9	2126.9	2119.6	2140.8	2010.7	2055.4	2125.2	2135.5
1991	994.6	1163.5	1148.7	1185.7	1198.8	1047.0	1177.8	1181.7	1262.7
1992	1120.0	1258.6	1248.9	1218.1	1228.6	1210.0	1171.3	1227.6	1185.9
1993	1094.4	1194.3	1186.4	1181.4	1189.9	1157.9	1155.3	1182.3	1180.8
1994	1140.3	963.3	953.7	950.8	960.1	895.7	925.3	955.4	962.8
1995	1534.4	1564.5	1556.6	1564.1	1573.3	1511.0	1553.0	1567.9	1594.3
1996	1374.6	1103.0	1094.3	1117.1	1125.9	1042.5	1171.6	1122.6	1181.9
1997	1202.8	1291.5	1294.5	1256.4	1257.2	1306.8	1177.7	1267.1	1201.5
1998	1652.8	1827.9	1806.2	1792.0	1812.8	1657.7	1829.8	1822.7	1846.3
1999	1679.6	1596.2	1590.0	1589.4	1597.7	1586.2	1603.9	1591.7	1600.2
2000	1125.2	1117.4	1114.3	1123.3	1128.2	1136.1	1148.0	1118.1	1135.1
2001	1277.6	1104.9	1091.6	1101.0	1113.7	1030.3	1142.5	1107.0	1144.2
2002	1289.3	1301.5	1295.7	1268.7	1276.2	1279.2	1215.0	1274.9	1233.9
2003	1718.3	1876.7	1866.3	1867.3	1879.4	1835.2	1860.7	1868.8	1883.0
2004	1249.6	1431.6	1425.3	1420.7	1428.6	1426.2	1400.3	1417.6	1412.1
AV	1347.1	1356.6	1347.1	1347.1	1357.2	1301.5	1339.2	1351.7	1365.5
SD	317.0	347.5	344.2	336.2	339.6	330.2	327.5	339.6	333.9
CC	datum	0.914	0.913	0.918	0.919	0.897	0.924	0.918	0.921
RMSE	datum	137.3	136.5	129.4	130.5	149.8	122.4	130.5	127.7
MAE	datum	115.45	114.39	108.09	108.08	118.42	102.86	109.39	100.58
MRE	datum	0.0912	0.0901	0.0845	0.0848	0.0916	0.0778	0.0855	0.0775

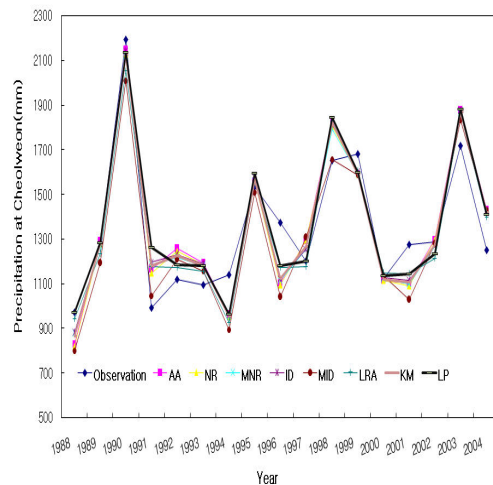


그림 3. 강수 기록과 계산 시계열 비교(철원)

결과와 수행 척도별로 가장 좋은 4가지(Best 4)를 순위별로 고르면 표 3과 같다. 보는 바와 같이 선형회귀분석법과 선형계획법이 우수함을 보인다. 한편 자료구동 방법중 선형회귀분석법, 크리깅법, 선형계획법에서는 주변관측소가 결측 관측소에 미치는 영향 계수가 산출되는데 정리하면 표 4와 같다. 여기서 특히 c_2 값이 가장 두드러진 값을 보인다. 이는 철원관측소에 가장 영향력 있는 관측소는 가장 가까운 춘천 관측소임을 보여 준다.

표 3. 방법별 수행능력 검토(Best 4 선택)

구분	Best 4				
	순위	1	2	3	4
방법 수행 능력 평가 기준	AV	AA	MNR	KM	LRA
	SD	LRA	MID	LP	MNR
	CC	LRA	LP	ID	KM
	RMSE	LRA	LP	MNR	KM
	MAE	LP	LRA	ID	KM
	MRE	LP	LRA	MNR	KM

표 4. 3개 방법(LRA, KM, LP)의 계수 비교

관측소	서울	춘천	홍천	양평	인제
기호	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
LRA	0.275	0.681	-0.063	-0.026	0.122
KM	0.253	0.707	-0.101	-0.014	0.155
LP	0.179	0.685	0.000	0.121	0.014

표 4에서 보는 바와 같이 선형계획법에 의해서 산출된 계수는 음수치가 발생하지 않았다. 이는 방법상 결정 변수의 제약 조건으로 음수가 되지 않도록 한 결과이다. 이 계수는 주변 관측소들의 강수가 결측 관측소에 주는 영향의 정도를 나타내므로 음수치의 의미는 주변 관측소의 강수가 증가하면 반대로 중심 관측소의 강수가 감소하는 것인데 특별한 경우가 아니면 동일 유역 내에 있는 관측소 간에 이와 같은 현상은 물리적으로 희소하다. 이런 음의 계수가 선형회귀분석법과 크리깅법에 의한 결과에서 발생되었으므로 선형계획법이 이런 측면에서 강점이 있다.

요컨대 Best 4를 선정한 결과에서 선형회귀분석법과 선형계획법이 가장 우수한 것으로 나타났는데 음수 계수 발생을 고려하면 선형계획법이 가장 권장할 수 있는 방법이다. 선형계획법을 적용하여 철원관측소의 1973년~1987년 동안 미계측 연간 강수량을 산출하였다. 이와 같이 철원의 미계측 강수량을 보완함으로써 자료 연한을 17년에서 32년(1973년~2004년)으로 연장하였다. 이를 바탕으로 Thiessen 법(ASCE, 1996)을 이용하면 32년간 한강 유역의 면적평균 강수량은 연평균치는 1,315 mm 가 된다(미계측 산출 내역, 포스터 발표 참조).

4. 결론

본 연구에서 결측 강수량을 보완법 8개를 비교한 주요 결과 및 결론은 다음과 같다. (1) 선형계획법, 산술평균법, 년정상비법, 수정년정상비법, 역거리법, 수정역거리법, 선형회귀분석법, 크리깅법 등을 비교하였다. 비교 방법은 6개의 평가 기준(performance measure)을 이용하였다. (2) 적용 자료로는 한강 유역내 기상청의 관측소로서 미계측 기간을 포함하는 철원 관측소와 그 주변 5개 관측소의 연간 강수 자료를 적용하였다. (3) 평가 기준별로 관측치에 접근한 결과를 내는 방법 중에 Best 4를 선정한 결과, 선형회귀분석법과 선형계획법이 가장 우수한 것으로 나타났다. 이중 주변관측소의 영향 계수에 음수가 발생하지 않는 선형계획법을 가장 권장할 수 있다. (4) 검토 과정에 적용된 자료가 대규모 유역과 시간 단위를 갖기 때문에 본 연구에서 산출된 강수 보완치는 대체적인 경향 파악 자료에는 사용할 수 있지만 정확성을 요하는 실무적 사용에는 제한한다.

참고문헌 : 지면상 생략(포스터 발표 참조)