

## 시계열 모형을 이용한 측우기 자료의 분석

조 신 섭<sup>1)</sup>, 이 정 형<sup>2)</sup>, 김 병 수<sup>2)</sup>

### 요 약

기상과 관계된 많은 요인 중에서 가장 긴 기간의 관측기록을 갖고 있는 것이 강수량에 대한 자료이다. 세계 대부분의 지역에서는 기기로 측정된 강수량 자료를 이용할 수 있는 기간이 길지 않아 대용기후지수를 강수분석에 이용하고 있으나, 우리나라에서는 조선 세종때 측우기가 발명된 후로 근대우량계가 도입되기 전인 1907년경까지는 측우기로 강수를 측정하였고, 1908년 이후는 근대우량계로 강수를 측정하고 있다. 이러한 측정기기 및 측정방법에 따른 강수량 자료의 불연속성을 해결하기 위하여 와다(1917)에 의해 경정된 강수량 자료가 이용되었다. 본 논문에서는 intervention 모형을 이용하여 와다의 경정방법에 문제점이 있음을 확인하고 새로운 경정방법을 제안하였다. 측우기 자료 및 와다방법에 의해 경정된 자료와 근대우량계로 관측한 자료사이에는 연속성이 없는 것으로 나타났으며, 본 논문에서 제안한 경정법은 측우기의 강수량과 근대우량계의 강수량 사이에 어느 정도 연속성이 있는 것으로 나타났다.

본 논문의 연구결과, 측우기에 의해 관측된 강수량은 신뢰성이 매우 높음을 확인할 수 있었고, 현대적 관점으로 경정할 수 있었으나, 여전히 많은 오차를 가지고 있는 것으로 보인다. 앞으로 오차를 줄이는 연구가 계속되어야 할 것이며, 많은 문헌들로부터 측우기 자료를 실제 강수에 근접하게 복원하고 건기와 우기의 존재여부에 대한 증명을 할 수 있다면 측우기 자료의 신뢰성을 높이고 작은 오차범위내에서 과거 서울의 강수를 복원할 수 있을 것이다.

### 1. 서 론

기상과 관계된 많은 요인 중에서 가장 긴 기간의 관측기록을 갖고 있는 것이 강수량에 대한 자료이다. 전통적 농업국가였던 우리나라에서는 강수에 대한 정보의 필요에 의해 조선 세종때 측우기가 발명(1441)된 후로 현재에 이르기까지 관측기기로 강수를 정량적으로 측정하고 있다. 그 동안 자료의 많은 손실에도 불구하고 220여년이란 세계에서 가장 긴 강수량 측정자료와 1626년부터의 강수일수 기록을 가지고 있다.

그러나 세계 대부분의 지역에서는 기기로 측정된 강수량 자료를 갖고 있는 기간이 길지 않아 빙하의 핵이나 나무의 나이테를 이용하여 과거의 강수를 재구성한 대용기후지수(proxy climate indices)를 강수분석에 이용하고 있다. 이러한 지수의 정확성을 고려할 때, 장기간 동안 정량적으로 측정된 서울지역 강수량 자료는 매우 귀중한 자료이므로, 측우기로 측정된 강수량 자료의 신뢰성을 확보하고 보완하는 것이 우리 나라의 기후변동과 세계의 기후변동을 이해하고자 하는데 많은 도움을 줄 것이다.

1) (151-742) 서울특별시 관악구 신림동 산 56-1, 서울대학교 자연과학대학 통계학과 교수.

2) (151-742) 서울특별시 관악구 신림동 산 56-1, 서울대학교 자연과학대학 통계학과 박사과정.

근대우량계가 도입되기 전인 1907년경(서울의 경우 1907년)까지는 측우기로 강수를 관측하였고, 1908년경(서울의 경우 1908년) 이후는 근대우량계로 강수를 관측하였다. 이러한 측정기기 및 측정방법의 변화는 강수자료에 불연속성을 초래할 수 있다. 따라서 와다(1917)는 측우기와 근대우량계에 의해 동시에 관측된 5개년도(1888, 1890, 1902, 1903, 1907)의 월평균강수량 비율로 월별계수를 산출하여, 측우기 관측에 의한 강수량 자료를 근대우량계 관측에 상응하는 강수량으로 경정하였다. 그러나 정현숙(1993)은 와다(1917)에 의해 산출된 월별계수에 모순이 있으며 일관적이지 못하다는 것을 보였는데, 이는 Lim(1992)에서 주장하는 우기(1771-1883), 건기(1884-1910), 우기(1911-1990)에서 건기(1884-1910)에 속하는 연도만을 사용하여 산출된 월별계수를 우기(1771-1883)에 해당하는 시기에 적용하면 강수량을 과대추정하게 되는 것을 의미함으로, 와다에 의해서 경정된 자료보다는 측우기 강수자료를 단위환산하여 사용하는 것이 타당하다고 주장하고 있다. 또한, 정현숙은 단위환산만 실시한 측우기 관측자료와 와다에 의해 경정된 강수자료가 동시에 1771년-1907년의 서울지역의 강수량을 대표한다고 볼 수 없으므로, 월별상수에 의한 측우기 자료의 보정을 제안하고 있다. 정현숙은 와다가 월별계수를 산출하는데 사용한 5개년도(1888, 1890, 1902, 1903, 1907)의 월평균강수량 차이로 월별상수를 정의하였다.

이외에도 측우기의 관측과 관련하여 Arakawa(1956)는 경정되지 않은 측우기 자료가 상당히 신뢰성을 가지고 있으며, Lim과 Jung(1992)은 서울지역의 최근 연강수량은 측우기에 의해 관측된 조선시대의 연강수량과 동일하다는 것을 보이고 있다. 조희구와 나일성(1979)은 측우기가 크기와 설치, 그리고 관측방법과 보고 등에 이르기까지 창의적, 과학적 그리고 체계적이었다는 것을 보이고 있다.

본 논문에서는 와다의 방법에 의해 경정된 강수량(1771-1907) 및 측우기로 관측된 강수량(1771-1907)과 근대우량계로 관측된 강수량(1908-1994)사이 존재하는 시계열상의 불연속성을 intervention 모형을 이용하여 분석해 보고자 한다. 또한, 와다의 월별계수를 이용한 방법과 정현숙의 월별상수를 이용한 방법에 의한 측우기 자료의 경정법의 문제점 및 측우기에 의한 관측이 소량의 강수(1分 미만)와 고체성 강수(강설 등)를 무시한 점 등을 고려하여 측우기 자료의 경정법을 제안하고자 한다. 마지막으로 경정된 측우기 자료와 근대우량계에 의해 관측된 자료와의 연속성과 동질성에 대해 살펴 보고자 한다.

## 2. 자료

강수량과 강수일수에 대한 자료는 측정 기기와 방법의 차이에 따라 크게 세 종류로 구분할 수 있다. 첫째, 서울의 경복궁에서 측우기로 관측된 1770년부터 1907년까지의 강수량과 1626년부터 1907년까지의 강수일수에 대한 자료, 둘째, 측우기에 의한 강수량 자료를 와다의 방법에 의해 경정된 자료 및 1908년부터 근대우량계로 측정된 강수량과 강수일수 자료이다.

측우기 자료와 와다에 의해 경정된 자료(1771-1907)는 朝鮮古代觀測記錄調查報告(와다, 1917)에 수록되어 있는 第1表(雨量), 第2表(更正雨量)와 第3表(雨日數)를 이용하였다. 第1表(雨量)는 와다가 측우기 관측자료를 단위환산만을 실시한 후 정리한 자료이고, 第2表(更正雨量)는 월별계수를 이용하여 第1表(雨量)를 경정한 자료이다. 와다에 의해 경정된 第2表(更正雨量)는 월별

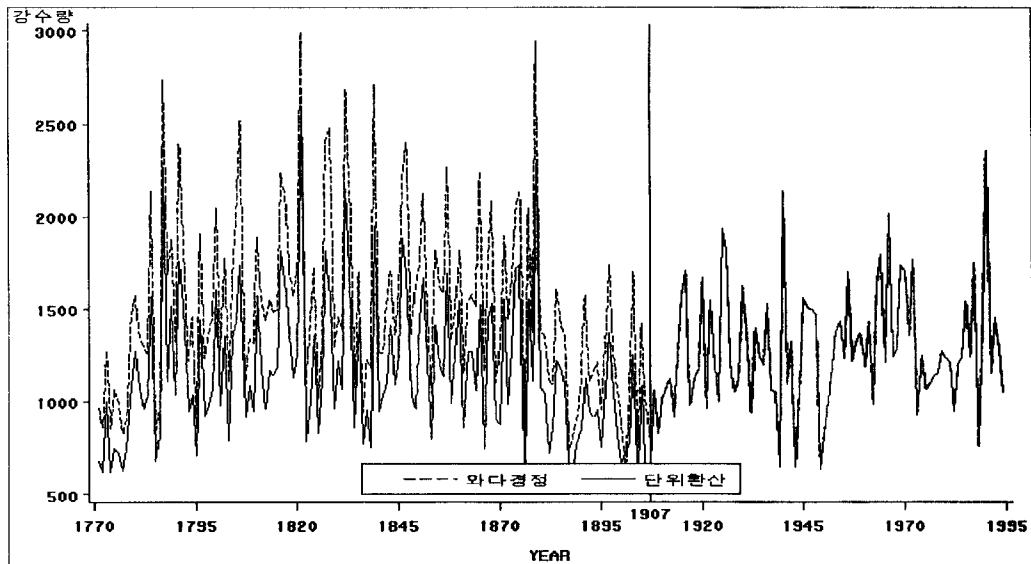
계수 산출과정에서 계산상의 착오와 소수점이하 유효숫자를 적게 사용하여 많은 오차를 포함하고 있으므로, 본 논문에서는 이를 수정한 자료를 사용하였다.

근대우량계에 의한 관측자료(1908-1994)는 서울지방 월강수량표(1770-1960)(중앙관상대, 1961)와 기상월보(기상청, 1943- 1994)를 이용하였다. 측우기 관측단위는 寸(치), 分(푼)이었으며 이를 미터법으로 단위환산하면 1分은 대략 2mm이다. 1770년부터 1942년까지는 월강수 자료이고, 1943년 이후는 일강수 자료이다. 1770년, 1772년, 1775년, 1894년 그리고 1950년에 일부의 결측값이 있으며, 1951년과 1952년에는 모든 값이 결측되어 있다. 본 논문에서는 1771년부터 1994년까지의 강수량과 강수일수 자료를 사용하였으며, 결측값은 월별로 선형보간법(linear interpolation method)에 의해 추정된 값을 사용하였다.

### 3. 분석

동일시기에 대해 두 가지의 강수량자료가 존재할 수 없으므로 본 논문에서는 단위 환산된 측우기자료의 신뢰성 확보를 위해 1771년-1994년의 측우기 관측자료와 와다에 의해 경정된 연강수량 자료의 ARIMA모형과 intervention 모형에 의한 적합 결과의 비교를 통하여, 측정기기와 측정방법의 차이에 따른 자료의 불연속성이 존재하는지 확인하고자 한다.

<그림 1>은 와다에 의해 경정된 강수량(1771-1907), 단위환산된 강수량(1771-1907) 그리고 근대우량계에 의한 강수량(1908-1994)의 시계열 도표이다. <그림 1>에서 보는 것처럼 와다(1917)에 의해 경정된 강수량은 단위환산된 강수량과 근대우량계에 의한 강수량보다 많게 나타

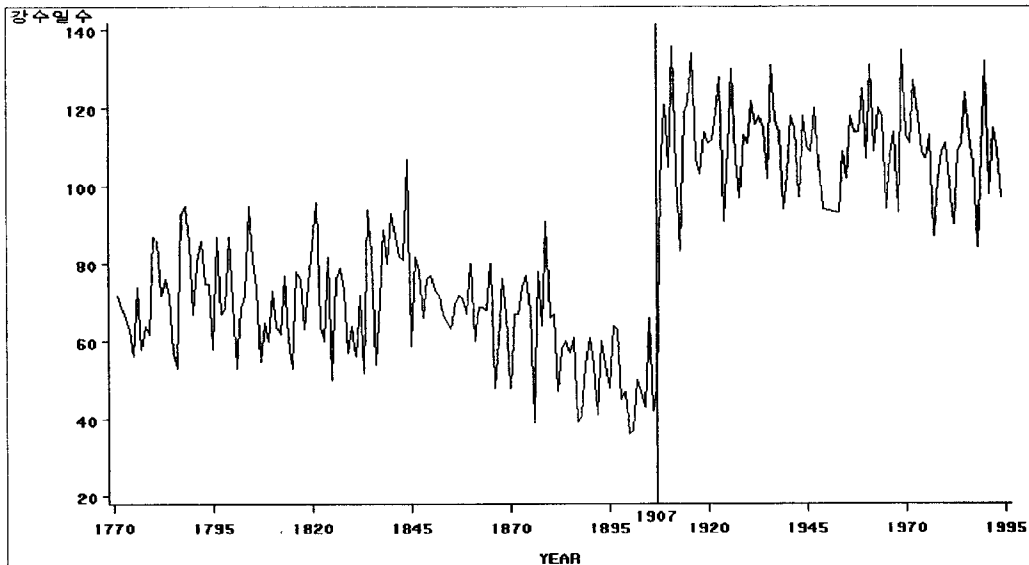


<그림 1> 강수량의 시계열도표

났다. 반면 단위환산된 강수량은 근대우량계에 의한 강수량보다 적게 나타났다, <표 1> 참조.

<그림 2>는 측우기에 의해 관측된 기간의 강수일수(1771-1907)와 근대우량계에 의해 관측된 기간의 강수일수(1908-1994)의 시계열 도표이다. 근대우량계에 의한 경우 강수량이 0.0mm로 관측되는 강수일수는 제외하였다. <그림 2>에서 보는 것처럼 측우기에 의해 관측된 기간의 강수일수가 근대우량계에 의해 관측된 기간의 강수일수보다 적게 나타났다. 이러한 강수일수의 차이는 앞에서 언급한 바와 같이 측우기에 의한 관측이 소량의 강수와 고체성 강수를 무시한 결과인 것으로 생각되며, 따라서 무시된 강수량에 대한 보정이 필요하다는 것을 시사해 준다.

t 시점에서 어떤사건(intervention)이 발생한 사실을 알고 있다면, 우리는 '시계열에서 수준 변화의 뚜렷한 증거가 있는가'하는 것과, 있다면 '그 크기는 얼마인가'라는 문제에 관심이 있을 것이다. 이러한 문제는 수준변화 이전과 이후를 비교하는 전통적인 2 표본 t-검정으로 접근할 수도 있을 것이다. 그러나 2 표본 t-검정은 두개의 표본이 각각 정규성(normality) 가정과 독립성(independence) 가정을 만족해야만 한다. Box와 Tiao(1965)는 이러한 2 표본 t-검정이 정규성 가정에 대해서는 로버스트(robust)한 성질을 가지나 독립성 가정에 대해서는 매우 민감함을 지적하고 있다. 즉, 자기상관이 있는 시계열자료에 대하여 2 표본 t-검정으로 수준의 변화를 검정하는 것은 타당하지 못하다는 사실을 지적하고 있다. 또한 Box와 Tiao(1975)는 시계열자료에서 수준이 변할 때, 2 표본 t-검정이 가지고 있는 문제점을 해결하기 위해 intervention 모형을 제안하였다. intervention 변수의 일반적인 형태로는 특정 시점 이전과 이후의 수준이 서로 다른 step 함수와 특정 시점에서만 수준이 다른 pulse 함수가 있다. 따라서 본 논문에서는 측정기기의 변화를 하나의 사건으로 보아 이 사건의 효과가 강수량 측정에 미치는 영향을 intervention 모형을 이용하여 분석해 보고자 한다.



<그림 2> 측우기와 근대우량계의 강수일수의 시계열도표

이후의 분석에서, '와다에 의해 경정된 강수량(1771-1994)'은 실제 와다에 의해 경정된 강수량(1771-1907)과 근대우량계로 관측된 강수량(1908-1994)을 연결한 자료이고, '단위환산된 강수량(1771-1994)'은 단위환산된 강수량(1771-1907)과 근대우량계로 관측된 강수량(1908-1994)을 연결한 자료이다.

(1) Intervention 적용이전의 ARIMA 모형

와다에 의해 경정된 강수량(1771-1994)과 단위환산된 강수량(1771-1994)에 intervention 모형을 적합시키지 않더라도 강수량 자료가 어느 정도 설명되는지를 알아보기 위하여 두 경우의 강수량에 대해 ARIMA 모형을 적합시켜 보았으며, 마찬가지로 강수일수에 대해서도 ARIMA 모형을 적합시켜 보았다.

각 기간별 강수량에 대한 ARIMA 모형 및 평균과 표준편차가 <표 1>에 나타나 있다. 여기서 강수량의 평균은 와다에 의해 경정된 강수량(1771-1907)이 단위환산된 강수량(1771-1907)과 근대우량계에 의해 관측된 강수량(1908-1994)에 비해 각각 348.8mm, 197.3mm 많게 나타났으며, 단위환산된 강수량(1771-1907)은 근대우량계에 의해 관측된 강수량(1908-1994)보다 151.5mm 적게 나타났다.

<표 1> 각 기간별 강수량에 대한 ARIMA 모형 및 평균과 표준편차

시 계 열	모 형	평 균	표준편차
단위환산 (1771-1907)	$(1 - 0.2559B^{11})(Z_t - 1140.5) = a_t$	1140.5	378.90
와다경정 (1771-1907)	$(1 - 0.2445B^{11})(Z_t - 1489.3) = a_t$	1489.3	479.51
근대우량계 (1908-1994)	$Z_t - 1292.0 = a_t$	1292.0	326.86
단위환산 (1771-1994)	$(1 - 0.1815B^5 - 0.1643B^6)(1 - 0.1905B^{11})(Z_t - 1204.3) = a_t$	1204.3	354.38
와다경정 (1771-1994)	$(1 - 0.1893B^5 - 0.1557B^6)(1 - 0.2160B^{11})(Z_t - 1414.9) = a_t$	1414.9	419.42

<표 1>에서 근대우량계에 의해 관측된 시계열(1908-1994)은 백색잡음으로 나타났으며, 단위환산된 강수량(1771-1907)과 와다에 의해 경정된 강수량(1771-1907)은 동일한 모형에 의해 적합되고 있으며 자기회귀 모수는 거의 비슷하게 추정되었다. 와다에 의해 경정된 강수량(1771-1994)과 단위환산된 강수량(1771-1994)은 보다 복잡한 동일한 모형에 적합되었으며 자기회귀 모수는 거의 비슷하게 추정되었다. 이러한 사실은 단위환산된 강수량(1771-1907)과 와다에 의해 경정된 강수량(1771-1907)을 근대우량계에 의해 관측된 강수량(1908-1994)과 측정기기 및 측정방법이 달라짐을 고려하지 않고 연결하는 데에는 무리가 있음을 보여준다.

<표 2>는 각 기간별 강수일수에 대한 ARIMA 모형 및 평균과 표준편차이다. 각 기간별 강수일수의 평균을 보면, 측우기 관측에 의한 평균은 64.38일이었으며 근대우량계 관측에 의한 평균은 110.18일로, 근대우량계 관측에 의한 강수일수가 45.80일 많게 나타났다. 그러므로 측정기

기의 변화가 강수일수 자료에 대한 연속성에도 영향을 주고 있어 intervention 효과가 있음을 의미하며, 이러한 효과가 강수량 측정에도 영향을 미치고 있는 것으로 보여진다.

강수량과 강수일수에 대한 모든 ARIMA 모형에서 잔차의 자기상관함수(ACF), 부분자기상관함수(PACF)와 Q-통계량은 백색잡음(white noise)으로 나타나 잔차에 특별한 경향이 없는 것으로 판단된다.

<표 2> 각 기간별 강수일수에 대한 ARIMA 모형 및 평균과 표준편차

시 계 열	모 형	평 균	표준편차
측우기 강수일수 (1771-1907)	$(1 - 0.9756B)(Z_t - 64.38) = (1 - 0.8243)a_t$	64.38	12.1530
근대우량계 강수일수 (1908-1994)	$Z_t - 110.18 = a_t$	110.18	11.8560

(2) Intervention 모형

와다에 의해 경정된 강수량(1771-1994)과 단위환산된 강수량(1771-1994) 각각에 대하여 측정 기기 및 측정방법이 달라짐에 따라 강수량에 연속성이 존재하는지를 (3.1)과 같은 step 함수를 사용하여 intervention 효과를 확인해 보았다.

$$I(t) = \begin{cases} 1, & 1771 - 1907 \\ 0, & 1908 - 1994 \end{cases} \quad (3.1)$$

와다에 의해 경정된 강수량(1771-1994) :

$$Z_t = \mu + w_0 I(t) + \frac{1}{(1 - \phi_{11} B^{11})} a_t, \quad \hat{\sigma} = 426.34 \quad (3.2)$$

$$\hat{\mu} = 1305.0 (56.676)$$

$$\hat{w}_0 = 188.63 (71.862)$$

$$\hat{\phi}_{11} = 0.2169 (0.0682)$$

( ) 속의 숫자는 표준편차임.

단위환산된 강수량(1771-1994) :

$$Z_t = \mu + w_0 I(t) + \frac{1}{(1 - \phi_{11} B^{11})} a_t, \quad \hat{\sigma} = 359.24 \quad (3.3)$$

$$\hat{\mu} = 1302.0 (47.630)$$

$$\hat{w}_0 = -156.09 (60.384)$$

$$\hat{\phi}_{11} = 0.2169 (0.0682)$$

모형 (3.2)와 (3.3)은 와다에 의해 경정된 강수량과 단위환산된 강수량의 intervention 모형적

합 결과이다. (3.2)에서  $\hat{\mu}=1305.0$ ,  $\hat{w}_0=188.63$ 으로 이는 연평균 강수량 1305.0mm에 비해 와다의 경정된 강수량이 근대우량계에 의한 강수량보다 188.63mm 많은 것으로 나타난 반면, (3.3)에서는  $\hat{\mu}=1302.0$ ,  $\hat{w}_0=-156.09$ 로 이는 연평균 강수량 1302.0mm 보다 단위환산된 강수량이 근대우량계에 의한 강수량보다 156.09mm 적은 것으로 나타났다. 또한, 단위환산된 강수량(1771-1994)과 와다에 의해 경정된 강수량(1771-1994)의 표준편차는 각각 359.24, 426.34로 와다에 의해 경정된 강수량의 표준편차가 단위환산된 강수량의 표준편차보다 67.10mm 많게 나타났다.

모형 (3.3)에서 단위환산된 강수량의 평균이 근대우량계에 의한 강수량보다 적게 나타나고 있는 원인으로는, 첫째, 1分 미만의 강수량에 대한 관측기록이 없으며, 둘째, 강설에 대해서는 강수일수에 대한 기록은 있으나 강설량은 관측하지 않는 등의 오차에 기인하는 것으로 보인다. 이러한 고대 강수측정의 오차로부터 단위환산된 강수량이 근대우량계로 관측된 강수량에 비해 156.09mm 적게 나타나는 것으로 판단된다. 오히려 와다에 의해 경정된 강수량은 근대우량계에 의한 강수량보다 188.63mm 많게 나타나 이는 강수량의 자연변동성만으로 설명하기에는 무리가 있다.

강수일수의 측면에서 살펴보면, 정현숙(1993)은 근대우량계에 의한 1943년-1991년의 강수일수에서 2mm 미만의 강수일수를 제외하면 측우기에 의한 1771년-1907년의 강수일수와 거의 유사함을 시계열도표를 이용하여 보였다. 1954년-1994년의 강수일수에서 2mm 미만의 강수일수와 강설일수를 제외한 후 ARIMA 모형에 적합시키면 식(3.4)와 같다.

$$Z_t - 62.44 = a_t, \quad \hat{\sigma} = 8.8842 \quad (3.4)$$

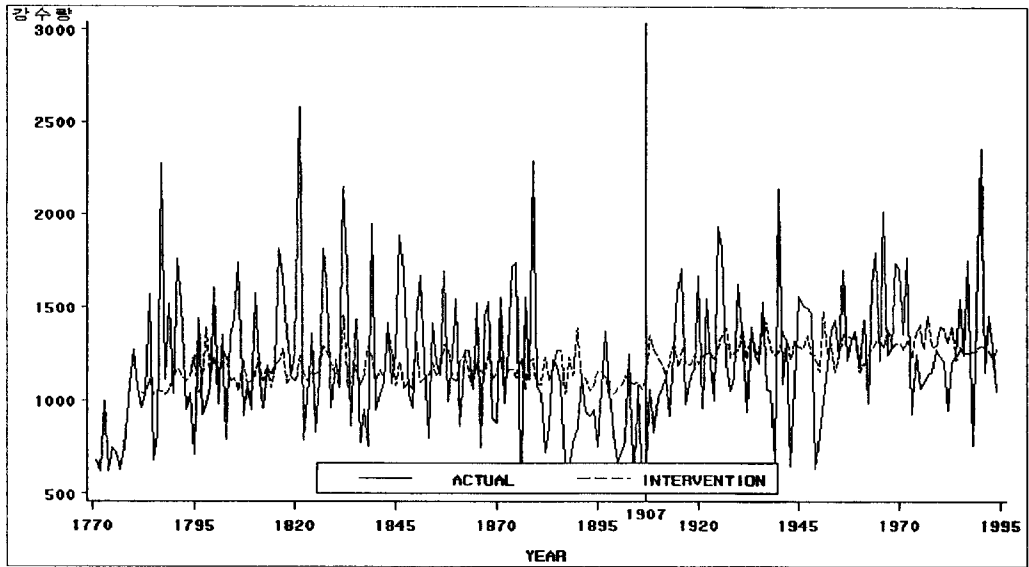
모형 (3.4)와 <표 2>의 측우기 강수일수의 평균을 비교해 보면 각각 62.44일과 64.38일로 거의 비슷함을 알 수 있다.

<그림 3>과 <그림 4>는 각각 단위환산된 강수량(1771-1994) 및 와다에 의해 경정된 강수량(1771-1994)과 intervention 모형에 의한 예측값의 시계열 도표이다. <그림 3>을 보면 측정기기가 달라진 1908년 주위에서 예측값이 조금 상승하는 것을 알 수 있고, <그림 4>를 보면 1908년 주위에서 예측값이 큰 폭으로 하락하는 것을 알 수 있다.

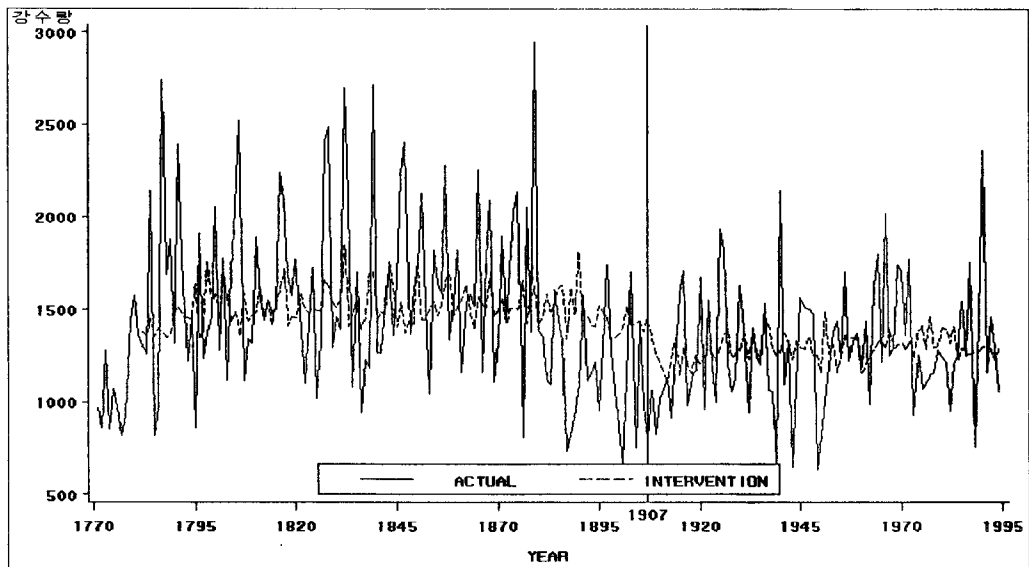
이상의 결과를 종합하면, <표 1>과 <표 2>, 모형 (3.2)와 (3.3), <그림 3>과 <그림 4>는 와다에 의해 경정된 강수량(1771-1994)보다는 단위환산된 강수량(1771-1994)이, ARIMA 모형보다는 intervention 모형이 강수량을 더 잘 설명해 주고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 측우기에 의해 관측된 강수량의 경정

와다(1917)가 월별계수 산출에 이용한 자료는 측우기와 근대우량계에 의해 동시에 관측된 5개년도(1888, 1890, 1902, 1903, 1907), 60개월 중 5개월의 결측값을 제외한 55개월에 대한 월강수량 자료이며, 월별계수는 각 월별로 측우기로 관측된 강수량의 산술평균(y)에 대한 근대우량계에 의해 관측된 강수량의 산술평균(x)의 비(x/y)로 산출하였다. 와다가 산출한 5월의 월별계



<그림 3> 단위환산된 강수량과 예측값의 시계열도표



<그림 4> 와다경정 강수량과 예측값의 시계열도표



수는 1.1을 1.4로 잘못 계산하였으며, 3월의 월별계수는 2.5이나 경정과정에서 4.1를 곱하였으며, 그리고 단순착오가 21회 있었다. 이외에도 5개 기준년도 55개월에 대하여는 근대우량계에 의해 관측된 강수량을 그대로 사용하였으며, 유효숫자를 소수점이하 첫째자리까지만 사용하였다. 따라서 많은 오류를 가지고 있는 와다의 第2表(更正雨量)를 그대로 사용하는 것은 전혀 바람직하지 않다.

정현숙(1993)은 1943년-1991년의 근대우량계 관측에 의한 일강수량 자료를 2mm미만을 제외하고 그 이상은 반올림하는 방법으로 측우기 관측에 상응하는 강수량으로 환산하였다. 그리고 다우월(多雨月)과 과우월(寡雨月)에 대해 와다방법으로 월별계수를 구하여, 와다의 월별계수가 일관성이 없음을 지적하고 있다. 정현숙은 1943년-1991년의 근대우량계 관측에 의한 월평균 강수량과 표준편차(SD)를 이용해서 과우월은 월강수량이 평균보다  $0.5 \times SD$  이하인 달로 다우월은 월강수량이 평균보다  $0.5 \times SD$  이상인 달로 정의하였다. 그러나 어느 해의 연강수량이 예년에 비해 적다고 해서 모든 달의 월강수량이 예년보다 적다고 할 수 없으며, 또한 월별계수산출시 소수점이하 둘째자리에서 반올림하여 와다의 월별계수 산출과정과 마찬가지로 많은 오차를 내포하고 있다.

본 논문에서는 1954년-1994년의 근대우량계 관측에 의한 일강수량 자료를 2mm미만과 강설량을 제외하여 측우기 관측에 상응하는 강수량으로 환산한 다음 다우년(多雨年)과 과우년(寡雨年)에 대해 와다방법에 의해 월별계수를 구하여 <표 3>에 제시하였다. 과우년은 연강수량이 하위 10%이하인 해로, 다우년은 연강수량이 상위 10%이상인 해로 정의하였다. <표 3>에 나타난 바와 같이 와다방법에 의한 월별계수가 다우년과 과우년에 대해 일관성이 없으며, 과우년의 월별계수가 다우년의 경우보다 1월, 10월, 11월, 12월을 제외한 나머지 달에 대하여는 높게 나타났다. 다우년의 실제 연평균 강수량은 1937.84mm였으나, 과우년의 월별계수를 다우년에 적용하였을 경우 연평균 강수량은 2018.95mm로 평균 81.11mm 과대 추정하고 있다. 이것은 정현숙(1993)이 지적한 바와 같이 와다의 월별계수가 일관성이 없음을 의미한다.

<표 3> 다우년과 과우년의 월별계수

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
와다 계수	7.213	3.259	2.488	1.375	1.135	1.099	1.066	1.193	1.479	1.100	1.709	3.212
과우년 계수	1.469	4.778	1.163	1.027	1.025	1.035	1.011	1.009	1.018	1.033	1.093	2.165
다우년 계수	1.523	1.668	1.104	1.017	1.020	1.013	1.005	1.004	1.011	1.058	1.142	2.426

정현숙(1993)은 와다의 월별계수에 대응하는 월별상수를 도입하여 측우기에 의해 관측된 강수량을 경정하는 방법을 제안하였다. 월별상수는 측우기와 근대우량계 관측에 의한 월평균 강수량 차로 정의하였으며, 와다가 사용한 기준 5개년 55개월의 월강수량 자료를 사용하여 산출하였다(<표 4>). 산출된 월별상수의 합은 236.7mm이고, 기준 5개년 55개월에 대해서는 와다의 월별계수와 정현숙의 월별상수의 경정효과는 같다. 그러나 정현숙에 의해 산출된 월별상수를 측우기에 의해 관측된 강수량에 적용했을 경우 근대우량계에 의해 관측된 강수량보다 100mm 정도 많게 추정하고 있으며, 이것은 기준 5개년 55개월의 적은 자료만을 이용함으로 해서 생겨난 오차와 측정장소의 상이함에 따른 오차에 기인한 것으로 판단된다.

이와 같이 와다의 월별계수와 정현숙의 월별상수에 의한 방법들이 문제점들을 가지고 있다. 따라서 그것들에 대응하는 새로운 경정법을 필요로 하게 된다. 모형 (3.4)에서 보는 바와 같이 1954년-1994년의 강수일수에서 2mm 미만의 강수일수와 강설일수를 제외하면 측우기 강수일수와 거의 비슷해짐을 알 수 있다. 이것은 근대우량계 관측에 비해 측우기 관측의 오차가 주로 2mm미만과 강설량을 관측하지 않은 데서 기인하는 것임을 보여준다. 본 논문에서는 Lim(1992)에서 주장하는 건기와 우기를 고려하지 않고, 다만 1771년-1994년 동안 강수량의 변화가 자연 변동성에 따른 것으로 간주하여 측우기에 의한 강수량 관측 시에 수반되었을 오차들에 대하여 1954년-1994년 동안의 월별 강수량과 강설량을 이용하여 측우기에 의해 관측된 강수량을 근대우량계에 준하는 강수량으로 경정하였다.

<표 4> 정현숙의 월별상수와 2mm미만의 강수와 강설을 고려한 월별상수

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	합 계
월별상수 (정현숙)	24.9	16.6	20.8	25.5	16.3	9.2	16.6	28.0	31.1	2.6	15.9	29.2	236.7
월별상수	15.449	9.878	5.551	2.259	1.824	2.749	3.649	2.434	2.156	1.900	4.617	9.498	61.963

<표 4>는 1954년-1994년 동안의 월별 2mm 미만의 강수량과 강설량의 평균이며, 이를 월별상수로 정의한다. 강설량을 강수량으로의 환산은 눈의 종류에 따라 달라 정확한 기준이 없으며 눈의 종류에 대한 측정은 이루어지지 않으므로, 본 연구에서는 기상학의 통설인 10:1의 비율로 강설량을 강수량으로 환산하였다. 예를 들어 100mm의 강설은 10mm의 강수에 해당된다. <표 4>에 나타난 두 종류의 월별상수의 합은 174.7mm의 차이를 보이고 있다.

월별상수를 측우기에 의해 관측된 강수량에 더해 경정한 연강수량(1771-1907)과 근대우량계에 의해 관측된 연강수량(1908-1994) 사이의 연속성을 확인하기 위하여 (3.1)과 같은 step 함수를 사용하여 intervention 모형에 적합시킨 결과는 다음과 같다.

$$Z_t = \mu + w_0 I(t) + \frac{1}{(1 - \phi_{11} B^{11})} a_t, \quad \hat{\sigma} = 359.24 \quad (4.1)$$

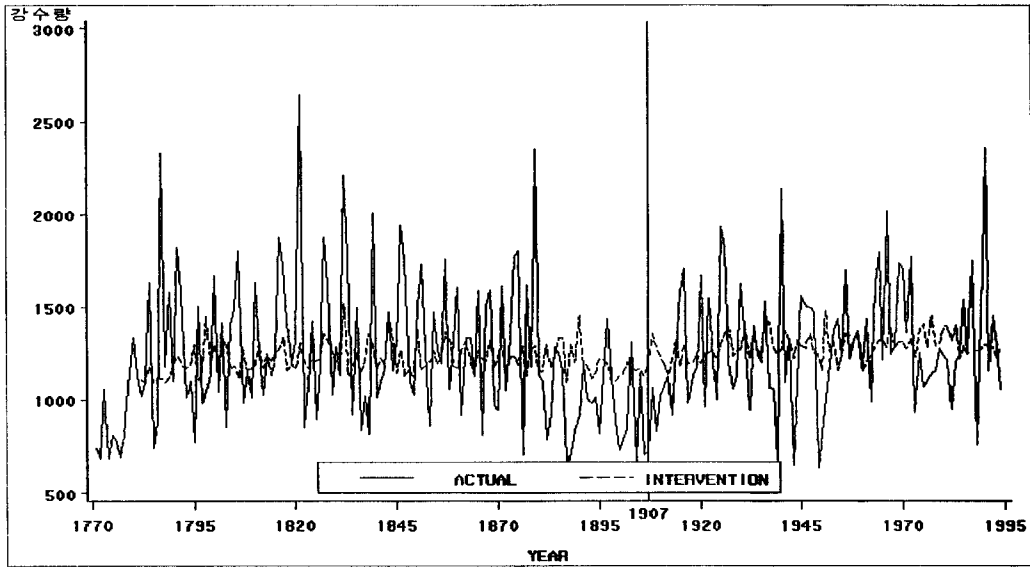
$$\hat{\mu} = 1302.0 \quad (47.630)$$

$$\hat{w}_0 = -94.13 \quad (60.384)$$

$$\hat{\phi}_{11} = 0.2169 \quad (0.0682)$$

( ) 속의 숫자는 표준편차임.

식 (4.1)은 월별상수에 의해 경정된 연강수량과 근대우량계 연강수량이 어느 정도 연속적임을 보여주며, 경정된 강수량(1771-1994)과 intervention 모형에 의한 예측값의 시계열 도표인 <그림 5>에서는 측정기기가 달라진 1908년 주위에서 예측값이 조금 상승하고 있으나, <그림 3>에 비하여 측정기기의 변화에 따른 상승폭이 적음을 확인할 수 있다. 그러나 월별상수에 의해 경정된 연강수량이 근대우량계에 의해 관측된 연강수량보다 평균 94.13mm 적게 나타나고 있다. 이것은, 조희구와 나일성(1979)이 지적하고 있듯이 측우기 자료 복원에서 누락 및 월별상수에



<그림 5> 경정된 강수량과 예측값의 시계열도표

의해 경정하는 방법에 내재된 오차에서 생기고 있다고 보여진다. 그리고 Lim(1992)이 주장하는 것처럼 건기와 우기의 존재를 인정한다면 두 시계열의 연속성을 확인할 수 있을 것이다.

## 5. 결론

과거 서울지역의 강수기후를 정확히 이해하려면 고대의 강수기록을 면밀히 검토해 보아야 할 것이다. 이러한 점에서 측우기에 의해 관측된 강수자료는 매우 귀중한 자료이다. 따라서 측우기에 의해 관측된 강수자료의 정확한 이해와 현대적 관점으로 자료를 보완하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다.

본 논문에서는 측우기 자료를 통계적 관점에서 분석하였고, 월별상수를 사용한 새로운 경정법을 제안하였다. 측정기기 및 측정방법이 달라짐에 따라 연강수량 변화에 연속성의 존재유무를 intervention 모형을 통하여 분석해 본 결과, 측우기 자료 및 와다방법에 의해 경정된 자료와 근대우량계로 관측한 자료사이에는 연속성이 없는 것으로 나타났다. 와다에 의해 경정된 강수량은 근대우량계로 관측된 강수량보다 많게 나타났으며, 측우기에 의해 관측된 강수량은 근대우량계로 관측된 강수량보다 적게 나타났다. 이에 대한 원인으로서는 1分 미만의 강수량에 대한 관측기록이 없으며, 강설량은 관측하지 않는 등의 오차에 기인하는 것으로 보인다. 1954년-1994년의 강수일수에서 2mm 미만의 강수일수와 강설일수를 제외하면 측우기에 의해 관측된 강수일수와 매우 유사하게 나타났다. 1954년-1994년의 근대우량계로 관측한 일강수량 자료에서

2mm미만의 강수량과 강설량을 제외한 후, 측우기 관측에 상응하는 강수량으로 환산한 다음 다우년과 과우년에 대해 와다방법으로 월별계수를 구하였다. 와다계수와 비교해 볼 때 다우년과 과우년에 대해 일관성이 없음을 알 수 있었다. 또한, 정현숙(1993)이 제안한 월별상수에 의해 경정된 강수량은 근대우량계에 의해 관측된 강수량보다 100mm 정도 많게 추정하고 있는데, 이것은 월별상수 산출에 사용된 자료가 적고 측정장소의 상이함—측우기에 의한 관측은 경복궁, 근대우량계에 의한 관측은 서울 서쪽에 있던 러시아 공사관(1888,1890,1902,1903)과 서울 남쪽에 있던 일본인 관저(1907)—에 기인하는 것으로 보인다.

측우기에 의해 관측된 강수량의 경정과 관련하여, 본 논문에서는 1771년-1994년의 강수량의 변화가 기상장의 자연변동에 기인하는 것으로 간주하여 1954년-1994년의 월강수량에서 2mm 미만의 강수량과 강설량의 평균으로 월별상수를 산출하여 측우기에 의해 관측된 강수량을 근대우량계에 준하는 강수량으로 경정하였다. 측우기에 의해 측정된 강수량을 월별상수로 경정한 결과, 측우기로 관측된 강수량과 근대우량계로 관측된 강수량을 intervention 모형으로 적합해 보았다. 이 결과 경정된 측우기의 강수량은 근대우량계의 강수량과 어느 정도 연속성이 있었다. 그러나 경정된 강수량은 근대우량계로 관측된 강수량에 비해 94mm 가량 적게 나타났다.

본 논문의 연구결과, 측우기에 의해 관측된 강수량은 신뢰성이 매우 높음을 확인할 수 있었고, 현대적 관점으로 경정할 수 있었으나, 여전히 많은 오차를 가지고 있는 것으로 보인다. 앞으로 오차를 줄이는 연구가 계속되어야 할 것이며, 많은 문헌들로부터 측우기 자료를 실제 강수에 근접하게 복원하고 건기와 우기의 존재여부에 대한 증명을 할 수 있다면 측우기 자료의 신뢰성을 높이고 작은 오차를 가지고 과거 서울의 강수를 복원할 수 있을 것이다.

## 감사의 말

자료를 제공해 주고 여러모로 조언해 주신 서울대학교 대기과학과의 임규호 교수, 정현숙씨와 두분의 논문심사위원들께 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 정현숙 (1993). 서울 지역 강수 특성에 근거한 측우기 자료의 신뢰성, 석사논문, 서울대학교.
- [2] 조희구, 나일성 (1979). 18세기 한국의 기후변동-강우량을 중심으로-, 「동방학지」, 22, 83-103.
- [3] 和田雄治 (1917). 朝鮮古代觀測記錄調查報告, 日韓印刷株式會社.
- [4] Arakawa, H. (1956). On the secular variation of annual total of rainfall at Seoul from 1770 to 1944, *Arch. Met. Geophys. Biol.*, Vol. 7, 205-211.
- [5] Box G. E. P. and Jenkins, G. M. (1976). *Time Series Analysis-Forecasting and Control*, 2nd ed. Holden-Day, San Francisco.

- [6] Box G. E. P. and Tiao, G. C. (1965). A change in level of a non-stationary time series, *Biometrika*, Vol. 64, 355-365.
- [7] Box G. E. P. and Tiao, G. C. (1975). Intervention analysis with applications to economic and environmental problems, *Journal of American Statistical Association*, Vol. 70, 70-79.
- [8] Murry, J. P. JR., Stam, A., and Lastoricka, J. L. (1993). Evaluating an anti-drinking and advertising campaign with a sample survey and time series intervention analysis, *Journal of American Statistical Association*, Vol. 88, 50-56.
- [9] Kim, J. W. and Ha, K. J. (1987). Climate changes and international fluctuations in the monthly amounts of precipitation at Seoul, *Journal of Korean Meteorological Society*, Vol. 23, 54-69.
- [10] Lim, G. H. and Jung, H. S. (1992). Interannual variation of the annual precipitations at Seoul, 1771-1990, *Journal of Korean Meteorological Society*, Vol. 28, 125-132.
- [11] Lim, G. H. (1992). Statistical nature of the dry and wet periods defined in the time series of annual precipitations(1771-1990) of Seoul, *The Korean Journal of Applied Statistics*, Vol. 5, 123-137.
- [12] Wei, W. W. S. (1990). *Time Series Analysis-Univariate and Multivariate Methods*, Addison-Wesley, New York.

## 부 록 1

## 1771년-1907년 강수량

연도	단위환산	와다경정	월별상수	연도	단위환산	와다경정	월별상수
1771	680	970.51	741.96	1806	1742	2517.04	1803.96
1772	(623)	(858.54)	(684.96)	1807	918	1115.58	979.96
1773	998	1280.30	1059.96	1808	1090	1342.04	1151.96
1774	622	852.48	683.96	1809	950	1316.81	1011.96
1775	(749)	(1071.82)	(810.9)	1810	1572	1888.34	1633.96
1776	720	975.76	781.96				
1777	628	825.34	689.96	1811	1188	1554.71	1249.96
1778	750	933.55	811.96	1812	962	1440.56	1023.96
1779	1088	1441.78	1149.96	1813	1170	1551.88	1231.96
1780	1271	1573.23	1332.96	1814	1148	1488.30	1209.96
				1815	1192	1499.31	1253.96
1781	1070	1358.63	1131.96	1816	1818	2235.83	1879.96
1782	960	1304.64	1021.96	1817	1662	2096.01	1723.96
1783	1032	1261.37	1093.96	1818	1364	1687.00	1425.96
1784	1568	2138.04	1629.96	1819	1130	1572.56	1191.96
1785	678	823.12	739.96	1820	1256	1768.66	1317.96
1786	816	976.86	877.96				
1787	2270	2735.49	2331.96	1821	2582	3089.19	2643.96
1788	1114	1690.28	1175.96	1822	784	1100.75	845.96
1789	1520	1881.18	1581.96	1823	1022	1432.26	1083.96
1790	1038	1316.98	1099.96	1824	1360	1725.02	1421.96
				1825	832	1020.72	893.96
1791	1760	2391.95	1821.96	1826	1122	1330.88	1183.96
1792	1520	1769.91	1581.96	1827	1814	2409.92	1875.96
1793	948	1218.80	1009.96	1828	1560	2482.12	1621.96
1794	1038	1463.19	1099.96	1829	964	1292.17	1025.96
1795	712	860.40	773.96	1830	1224	1460.74	1285.96
1796	1442	1908.94	1503.96				
1797	922	1234.12	983.96	1831	1072	1392.07	1133.96
1798	980	1373.31	1041.96	1832	2152	2693.26	2213.96
1799	1074	1460.72	1135.96	1833	1706	2100.93	1767.96
1800	1608	2051.73	1669.96	1834	858	1079.24	919.96
				1835	1436	1698.80	1497.96
1801	980	1277.22	1041.96	1836	772	944.84	833.96
1802	1352	1778.58	1413.96	1837	956	1228.85	1017.96
1803	792	1112.39	853.96	1838	754	1183.30	815.96
1804	1344	1708.96	1405.96	1839	1946	2714.72	2007.96
1805	1434	2041.76	1495.96	1840	952	1262.47	1013.96

\* ( )는 결측치를 추정된 값임

부 록 1 (계속)

연도	단위 환산	와다경정	월별상수	연도	단위 환산	와다경정	월별상수
1841	1036	1265.44	1097.96	1876	638	812.64	699.96
1842	1102	1536.95	1155.96	1877	1556	2048.39	1617.96
1843	1414	1717.88	1475.96	1878	1114	1377.90	1175.96
1844	1094	1360.42	1155.96	1879	2288	2944.05	2349.96
1845	1252	1649.60	1313.96	1880	1080	1393.14	1141.96
1846	1882	2231.71	1943.96				
1847	1696	2405.42	1757.96	1881	1042	1351.33	1103.96
1848	1034	1368.81	1095.96	1882	722	1122.19	783.96
1849	964	1612.37	1025.96	1883	862	1096.96	923.96
1850	1450	1743.24	1511.96	1884	1222	1607.72	1283.96
				1885	1188	1444.20	1249.96
1851	1672	2123.08	1733.96	1886	1094	1336.75	1155.96
1852	1210	1523.04	1271.96	1887	594	734.72	655.96
1853	796	1043.39	857.96	1888	656	820.23	717.96
1854	1414	1822.96	1475.96	1889	774	917.20	835.96
1855	1202	1635.45	1263.96	1890	854	1095.63	915.96
1856	1136	1586.13	1197.96				
1857	1698	2274.53	1759.96	1891	1126	1574.01	1187.96
1858	996	1336.76	1057.96	1892	942	1114.42	1003.96
1859	1258	1528.96	1319.96	1893	916	1158.69	977.96
1860	1542	1822.66	1603.96	1894	(953)	(1216.51)	(1014.96)
				1895	756	958.60	817.96
1861	858	1156.12	919.96	1896	1068	1287.82	1129.96
1862	1274	1535.40	1335.96	1897	1374	1741.68	1435.96
1863	1270	1579.22	1331.96	1898	1058	1273.48	1119.96
1864	1062	1515.09	1123.96	1899	824	1061.71	885.96
1865	1524	2248.48	1585.96	1900	668	865.57	729.96
1866	750	1160.29	811.96				
1867	1446	1769.11	1507.96	1901	370	632.98	431.96
1868	1532	2084.88	1593.96	1902	780	1132.50	841.96
1869	906	1105.17	967.96	1903	1250	1698.48	1311.96
1870	882	1322.26	943.96	1904	602	756.04	663.96
				1905	1086	1422.99	1147.96
1871	1554	1897.64	1615.96	1906	638	981.86	699.96
1872	988	1448.00	1049.96	1907	658	801.38	719.96
1873	1282	1712.76	1343.96				
1874	1718	2029.02	1779.96				
1875	1740	2130.30	1801.96				

\* ( )는 결측치를 추정 한 값임

## 부 록 2

## 1908년-1994년 강수량

연도	근대우량계	연도	근대우량계	연도	근대우량계
1908	1066.3	1941	1093.7	1974	1250.7
1909	827.0	1942	1331.0	1975	1067.4
1910	1020.9	1943	646.6	1976	1109.5
		1944	1089.1	1977	1145.7
1911	1067.0	1945	1561.7	1978	1160.9
1912	1129.3	1946	1507.0	1979	1279.4
1913	917.6	1947	1496.9	1980	1242.4
1914	1262.6	1948	1475.5		
1915	1578.3	1949	633.7	1981	1216.2
1916	1710.3	1950	(820.8)	1982	949.3
1917	981.7			1983	1205.1
1918	1132.3	1951	(1008.0)	1984	1249.5
1919	1176.3	1952	(1195.1)	1985	1544.6
1920	1669.4	1953	(1382.2)	1986	1247.4
		1954	1435.8	1987	1751.4
1921	962.9	1955	1230.9	1988	760.8
1922	1552.8	1956	1701.1	1989	1437.1
1923	1193.7	1957	1220.3	1990	2355.5
1924	1001.0	1958	1325.0		
1925	1934.1	1959	1371.5	1991	1158.2
1926	1822.5	1960	1188.3	1992	1454.9
1927	1209.7			1993	1292.7
1928	1054.3	1961	1437.4	1994	1055.8
1929	1130.2	1962	986.3		
1930	1626.6	1963	1626.6		
		1964	1793.9		
1931	1388.3	1965	1216.3		
1932	941.2	1966	2018.8		
1933	1400.8	1967	1248.9		
1934	1244.6	1968	1288.8		
1935	1202.2	1969	1736.8		
1936	1531.6	1970	1708.2		
1937	1063.0				
1938	1058.8	1971	1359.6		
1939	646.7	1972	1769.6		
1940	2135.1	1973	928.1		

\* ( )는 결측치를 추정 한 값임



부 록 3

1771년-1994년 강수일수

연도	강수일수	연도	강수일수	연도	강수일수	연도	강수일수
1771	72	1801	53	1831	56	1861	60
1772	.	1802	69	1832	72	1862	69
1773	66	1803	72	1833	52	1863	69
1774	63	1804	95	1834	94	1864	68
1775	56	1805	81	1835	83	1865	80
1776	74	1806	74	1836	54	1866	48
1777	58	1807	55	1837	71	1867	60
1778	64	1808	65	1838	89	1868	76
1779	62	1809	60	1839	80	1869	67
1780	87	1810	73	1840	93	1870	48
1781	86	1811	64	1841	87	1871	67
1782	72	1812	62	1842	82	1872	67
1783	76	1813	77	1843	81	1873	74
1784	72	1814	61	1844	10	1874	77
1785	57	1815	53	1845	59	1875	68
1786	53	1816	78	1846	82	1876	39
1787	93	1817	76	1847	78	1877	78
1788	95	1818	63	1848	66	1878	64
1789	86	1819	75	1849	76	1879	91
1790	67	1820	85	1850	77	1880	66
1791	80	1821	96	1851	73	1881	67
1792	86	1822	64	1852	72	1882	47
1793	75	1823	60	1853	67	1883	58
1794	75	1824	82	1854	65	1884	60
1795	58	1825	50	1855	63	1885	57
1796	87	1826	76	1856	70	1886	61
1797	67	1827	79	1857	72	1887	39
1798	69	1828	73	1858	71	1888	41
1799	87	1829	57	1859	67	1889	54
1800	70	1830	64	1860	80	1890	61

· 는 결측치

## 부 록 3 (계속)

연도	강수일수	연도	강수일수	연도	강수일수	연도	강수일수
1891	54	1921	112	1951	.	1981	101
1892	41	1922	119	1952	.	1982	90
1893	60	1923	128	1953	93	1983	109
1894	54	1924	91	1954	109	1984	111
1895	48	1925	110	1955	102	1985	124
1896	64	1926	130	1956	118	1986	113
1897	63	1927	107	1957	114	1987	106
1898	45	1928	97	1958	114	1988	84
1899	47	1929	113	1959	125	1989	109
1900	36	1930	111	1960	107	1990	132
1901	37	1931	122	1961	131	1991	98
1902	50	1932	116	1962	109	1992	115
1903	47	1933	118	1963	120	1993	109
1904	43	1934	115	1964	118	1994	97
1905	66	1935	102	1965	94		
1906	42	1936	131	1966	108		
1907	48	1937	117	1967	114		
1908	101	1938	114	1968	93		
1909	121	1939	94	1969	135		
1910	105	1940	103	1970	113		
1911	136	1941	118	1971	111		
1912	103	1942	115	1972	127		
1913	83	1943	97	1973	118		
1914	119	1944	118	1974	109		
1915	122	1945	110	1975	107		
1916	134	1946	109	1976	113		
1917	107	1947	120	1977	87		
1918	103	1948	106	1978	102		
1919	114	1949	94	1979	109		
1920	111	1950	.	1980	111		

· 는 결측치

## Analysis of the 'Chukwookee' data using time series model

Sinsup Cho<sup>3)</sup>, Jeong Hyeong Lee<sup>4)</sup>, Byung Soo Kim<sup>4)</sup>

### Abstract

One of the main issues related to the precipitation amounts measured by the Korean raingage, Chukwookee, invented by King Sejong is the discontinuity in the time series around 1907 when the modern raingage was first used in Korea. To solve this discontinuity problem Wada(1917) reproduced the Chukwookee data but many authors questioned the validity of Wada's method. In this paper we analyze the precipitation amounts in Seoul from 1771 to 1994 using the intervention model and show that Wada's method results in the overestimation of the precipitation amounts. We also propose a reproduction method by considering monthly constant and including the rainfall of less than 2mm and the snowfall which were ignored previously.

---

3) Professor, Department of Statistics, Seoul National University, San 56-1, Shinrim-Dong, Kwanak-Ku, Seoul, Korea ,151-742

4) Ph. D. Candidate, Department of Statistics, Seoul National University, San 56-1, Shinrim-Dong, Kwanak-Ku, Seoul, Korea ,151-742