



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

이 학 석 사 학 위 논 문

한반도에서 발생하는
가뭄의 주기에 관한 연구



2008년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

환 경 대 기 과 학 과

이 순 주

이 학 석 사 학 위 논 문

한반도에서 발생하는
가뭄의 주기에 관한 연구

지도교수 변 희 룡

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함.



2008년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

환 경 대 기 과 학 과

이 순 주

이순주의 이학석사 학위논문을 인준함.

2008년 2월 26일



주	심	이학박사	이 동 인	인
위	원	이학박사	변 희 룡	인
위	원	이학박사	정 형 빈	인

목 차

List of Tables	ii
List of Figures	iii
Abstract	V
1. 서론	1
2. 자료 및 분석 방법	6
2. 1. EDI의 계산	6
2. 2. 기간 분류	8
2. 3. 가뭄일과 가뭄해의 정의	10
2. 4. 주기 분석	12
3. 기간별 강도 비교	13
4. 최근 가뭄의 주기성	15
4. 1. Y92로 본 가뭄 주기(1914-2005)	15
4. 2. Y32로 본 가뭄 주기(1974-2005)	26
5. Y228로 본 가뭄 주기(1778-2005)	37
6. 결론 및 토의	43
참고문헌	45

표 목차

Table 1. The ANDI and YDS of drought years for Y92.	20
Table 2. Same as Table 1, but for Y32 and damages at each year. 'Stations' means the number of drought stations with $EDI < -1.5$. '/' means that the informations are not found.	29
Table 3. Same as Table 1, but for Y228.	40



그림목차

Fig. 1. 5 precipitation clusters by Moon(1990).	9
Fig. 2. The time series of MNDIs of 3 periods for Jan. 1974- Dec. 2005. Y32 is from 57 stations in Fig. 1. Y92 is from the representatives of 5 clusters(large circles in Fig. 1). Y228 is Seoul.	14
Fig. 3. The time series of DNDI(solid line) from 5 stations for Y92 and the number of stations with EDI<-1.5(bar).	16
Fig. 4. The histograms of ANDI and YDS multiplied by '-1' for Y92(bars) and the time series of ANDI for Y32(solid line)	17
Fig. 5. The time series(upper panel) and real part of Morlet transform(bottom panel) of ANDI for 1914-1977 of Y92.	21
Fig. 6. The time series(upper panel) and power spectrum (bottom panel) of MNDI for Pre-Y92(1914 - 1950) and Mid-Y92(1951-1977). The lower dotted line is the mean red-noise spectrum(Gilman et al., 1963) assuming a lag-1 of auto covariance α . The upper dashed line is the 99% confidence spectrum. Abscissa	

is log-scaled frequency and the ordinate is variance expressed as the ratio to white-noise value.	24
Fig. 7. Same as Fig. 5, but for SNDIs of 4 seasons.	25
Fig. 8. Same as Fig. 3, but for Y32.	26
Fig. 9. EDI distributions of 10 events from table 2. The shaded areas denote $EDI < -0.7$	30
Fig. 10. Same as Fig. 6, but for Y32.	31
Fig. 11. The time series of SNDIs for Y32.	33
Fig. 12. Same as Fig. 6, but for 5 clusters of Y32.	36
Fig. 13. The histogram of annual precipitation(a) and ANDI and YDS multiplied by '-1'(b) for Y228. The dashed lines represent trend of these three factors respectively. The dotted lines indicate 1.5, 0.7, -1.5, -2.0 and -2.5.	38
Fig. 14. (a) The time series of ANDI. (b) and (c) are same as Fig.6 and Fig.5 respectively, but for ANDI of Y228.	42

Study on the periodicities of drought events in Korea

Sun-Ju Lee

Department of Environmental Atmospheric Science,
The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

The periodicities of droughts occurred in Korea have been investigated. Analysis periods are divided into 1974-2005(Y32; 57 stations), 1914-2005(Y92; 5 stations), and 1778- 2005(Y228; Seoul station) due to differs the data lengths of available daily precipitation at each station.

Seoul station only has the useful data for 1777-1907 measured by Korean traditional rain gauge that can informs about droughts before the 20th century.

6 years period have been appeared for 1870-1900, 1910-1950, 1960-2005 repeatedly. Of 4 seasons, summer drought have this periodicity. And all of the 5 clusters divided by characteristics of precipitation in Korea have this periodicity also. Moreover drought center trended to lean to the southward or westward of Tae-Back mountain. These mean that an unknown mechanism of precipitation in summer can induce droughts in Korea.

In Y228, The frequency have been more decreased, but strength have been stronger in 20th century than those in 19th century. two extreme droughts(EDI<3.0) of all events

for 228 years occurred in 1778 and 1900–1901 and have about 120 years interval. And when these occurred, drought years were maintained during some years continually. Therefore, the precaution is required to a recurrence probability of the extreme drought.

Key words : Drought, EDI, Wavelet and Spectrum analysis



1. 서론

가뭄 발생의 원인 및 예측인자로 ENSO가 주목되어 온 경향이 있었다. 그러나 미국, 캐나다 등 지역에서는 높은 상관성이 보였으나 (e.g., Atlas et al., 1993; Lyon and Dole, 1995; Montroy et al., 1997; Ting and Wang, 1997; Chen and Newman, 1998), 아시아 지역에서는 분명하지 않았다(Lau and Weng, 2002; Xu et al., 2004, Byun et al., 2001).

ENSO외에는 상층의 저지현상(Girardin et al., 2004; Knapp et al., 2004), 비정상적 수분 수송(Lyon and Dole, 1995; Chen and Newman, 1998)등도 제시되어 왔으나, 여전히 미국, 캐나다에 치중된 지역적 현상이거나, 일반적인 원칙이라고 보기는 어려운 사례분석들이 많았다.

발생 원인이 아닌, 발생 특성을 분석한 연구들로는, 20세기 후반에 가뭄의 발생이 빈번해지고 강해짐을 제시한 연구(e.g., Meshcherskaya and Blazhevich, 1997; Dai et al., 1998; Min et al., 2003; Piccarreta et al., 2004)와 지역에 따라 감소하고 있다는 결과를 제시한 연구(Pandey and Ramasastri, 2001)로 나뉜다. 이러한 상반된 결과가 나오고 있음은, 가뭄의 원인에 대한 연구와 마찬가지로 이 분야의 추가연구의 필요성이 남아 있음을 의미한다.

한편 Jung et al.(2001)은 서울(37.57°N, 126.97°E)의 220년

(1777-1996) 동안의 월강수량을 이용하여 27년에 걸친 강수량이 적은 기간 (1884년~1910년)이 지속된 적이 있었음을 확인했다. 그러나 그 원인에 관하여는 알려진 것이 없어 이 같은 장기 과우해가 언제 또 다시 발생할지 예측할 수 없는 상태이다.

발생 원인에 대한 원시적 접근 방법의 하나로 발생 주기에 관한 연구가 등장한다. 이 방법을 이용한 선행연구는 아주 희귀하다. 먼저 조선조 정조 대왕 시절에 가뭄이 12년 주기로 발생한다는 기록이 Chosun Wangjo Sillok (Annals of the Chosun Dynasty)에 있다. 근대적 연구로는 Min et al.(2003)이 있다. 이 연구는 1951-1996년의 분석기간 중 1980년대 이후부터 한반도에 가뭄 발생이 빈번해졌음과 가뭄 발생의 주기가 2-3년 또는 5-8년이 탁월함을 보였다. 그런데 이 연구결과는, 실제 주민의 체감 가뭄이나 가뭄피해와 비교해 보면 관련성을 찾기가 어렵다. 실제 가뭄 피해는 1982년, 1988년, 1994년, 2001년으로 이어졌음(Sin et al., 2004; The Ministry of Agriculture and Fisheries, 2001; Korea Water Resources Corporation(KWRC), 1995; Korea Rural community & Agriculture corporation, 1995)이 보고되어 있기 때문이다.

우선 Min et al.(2003)은 분석과정에서 12개월 동안 강수량을 단순 누적한 12-SPI를 주 가뭄지수로 사용함으로써 가뭄 진단의 신뢰성 문제에서 근본적인 문제점을 남겼다. 12-SPI는 12개월의 강수량을 단순 누적한 수치를 평년치와 비교한

수치이기 때문에, 365일 전에 내린 강수량과 하루 전에 내린 강수량을 같은 비중으로 합산한다. 따라서 극단적인 경우, 365일 전에 내린 호우 때문에, 그 후 364일 동안 비가 전혀 내리지 않아도 가뭄으로 계산되지 않을 수도 있는 불합리함을 가진다. 또 12-SPI로는 만 12개월보다 긴 기간에 생긴 가뭄은 진단하지 못하는 구조적 단점이 있다. 또 11개월 이내에 발생한 가뭄이 나머지 기간 동안의 강수량 때문에 발견되지 못할 경우도 생길 수 있다.

이 때문에 미국의 NDMC에서는 SPI를 1, 3, 6, 12, 48 개월 치의 다섯 가지로 나누어 계산하여 사용하는데 대개의 가뭄연구들은 이에 대한 고려를 생략한다. 또 Min et al.(2003)은 하나의 격자점(36.25°N, 127.75°E)만을 사용했기 때문에 한반도 전체의 대표치로서의 신뢰성에도 문제가 없지 않다.

Yoo et al.(2002)도 가뭄의 주기를 지적한 바 있는데 약한 가뭄은 거의 매년 봄철에 나타나고, 심한 가뭄은 5-10년에 한번 발생함을 지적했다. 우선, 거의 매년 봄 가뭄이 나타난다는 주장은 물이 부족한 현상과 가뭄을 구별하지 않는 오류에서 비롯된 것이다. Yoo et al.(2002)외에도 많은 연구가 범하고 있는 실정이다. 봄철에 비가 적어 갈수기를 겪는 것은 한반도의 기후 특성으로(Han and Byun, 2006), 이것은 어디까지나 계절적 물 부족현상이지 가뭄은 아니다. 사막에는 항상 물이 부족하나, 그 지역이 건조기후에 속하기 때문이지 가뭄이 발생한 것은 아닌 것과 같다.

가뭄이란 자연 수자원의 평균에 대한 현재의 결손 정도를 말하는 것으로, 정의를 분명히 하고 본 연구는 출발한다. 흔히 경제사회적 가뭄이란 이름으로 사용되는 가뭄, 즉 물의 사용이 급증하여 생기는 물 부족 현상도 가뭄으로 분류될 수 없다.

가뭄의 주기연구에서 고려해야 할 두 가지 문제점이 있다. 첫째는 위에 소개한 연구들은 가뭄을 진단하기 위해 월별 단순 누적 강수량을 이용하였거나 이를 이용한 가뭄지수였다는 점이다. 그리고 그 문제점은 Byun and Wilhite(1999)에서 여러 가지로 지적된 바 있다. 그 외에, 강수량의 계절별 차이를 고려하지 않은 가뭄주기의 분석은 다우기에 발생한 가뭄의 분석일 수밖에 없다는 문제도 있다. 한반도의 경우, 여름 가뭄만 분석되고 가을, 겨울, 봄에 발생하는 가뭄은 분석에서 제외되어 버릴 염려가 있는 것이다. 또 같은 가뭄이라도 계절별로 피해정도가 다르기 때문에 체감 피해가 달라진다는 사실도 고려되어야 한다. 물이 많이 필요한 식생기에 가뭄이 발생하면 피해도 커지고, 체감 정도도 커지나, 물이 별로 필요하지 않는 계절 (예를 들면 한반도의 10월)에는 가뭄이 발생해도 피해가 생기지 않으므로 체감정도도 아주 작아진다는 점이다.

본 연구는 일별 가뭄지수이며, 강수량의 시간별 차등 누적을 적용한 Effective Drought Index(EDI; Byun and Wilhite, 1999)를 사용하여 계절 기후조건을 감안하면서 가뭄주기를 조사한다. 이 지수는 Morid et al.(2005)이나 Pandey et al. (2007)이, 다른 가뭄 지수들(e.g., SPI, DI)보다, 개념적으로

우수하고 또 가뭄 강도의 진단과, 시종 날짜의 정의 등에 더
유용함을 증명해 보인 바 있다.



2. 자료 및 분석 방법

2.1. EDI의 계산

EDI 등의 계산은 아래의 식을 이용하였다.

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left(\frac{\sum_{m=1}^n P_m}{n} \right) \quad (1)$$

$$PRN_j = DEP_j / \sum_{N=1}^j (1/N) \quad (2)$$

$$EDI_j = PRN_j / ST(PRN_j) \text{ or} \quad (3)$$

$$EDI_j = DEP_j / ST(DEP_j) \quad (4)$$

식(1)에서 EP는 일 누적유효 강수량을 의미하고, P_m은 특정 일로부터 m일 전의 일 강수량을 의미한다. i는 365일로 고정했다. 따라서 EP는 특정일로부터 365일 동안의 누적 유효강수량이 되며, 일별로 다른 값을 가진다. 식(2)의 DEP는 30년 평균의 EP(MEP)로부터 EP의 편차를 의미하고, 본 연구에서는 MEP의 기간을 1976-2005년으로 하였다.

PRN은 음의 DEP가 평년으로 양으로 회복하기 위해 필요한 일 강수량이고, j는 DEP가 음인 날이 연속된 기간을 i에 추가한 후 1을 감한 기간이다. 그래서 강수 누적기간이 된다.

EDI는 (3) 또는 (4)로 계산될 수 있는데 본 연구에서는 (4)를 이용했다. 더욱 자세한 내용은 Byun and Wilhite(1999)에 있다.



2.2. 기간 분류

대한민국 기상청 산하 57개 관측소(Figure 1)의 일별 강수량을 이용하였다. 관측소별로 강수량 관측 시작일이 상이하어, 이용 가능한 강수 자료 기간에 따라 분석 기간을 Y32, Y92, Y228로 분류하였다.

Y32에는 figure 1의 57개 지점이 모두 포함되고 자료 기간은 최근 32년(1974-2005)이다. 울릉도와 제주 등 도서지역의 자료도 1974년 이후부터 존재하나, 이 지역들은 단 한 개 지점만으로도 하나의 강수구역으로 분류될 만큼 나머지 지역들과 강수 특성의 차이가 크다(Moon, 1990; Park and Lee, 1992). 따라서 본 연구에서는 울릉도와 제주지역의 관측소들은 분석 대상에서 제외했다.

Y92에는 figure 1의 5개 구역들(Moon, 1990)에서 각각 큰 원으로 표시되어있는 관측소 5개가 포함된다. 이 지점들은 각 구역에서 강수량 자료가 최장기간 동안 유효한 지점들이고 자료 기간은 1914-2005년이다.

한편, Y228은 서울 관측소 한 곳만 해당된다. 서울은 측우기(한국 전통우량계)로 관측한 1907년 이전의 강수자료가 존재하여 한반도에서 유일하게 228년의 분석이 가능했다. 총 228년 중 결측 기간은 전체 기간의 1.54%였다. 1894년 8월~12월 그리고 1950년 9월~1952년 12월은 이미 알려진바 있다(Jhun and Moon, 1997; Jung et al., 2000). 1800년 8월-12월, 1867년 5월

-12월은 결측 기간으로 지정되지는 않았지만, 장기간 무강수로 기록되어 있어 결측인 것으로 간주했다. 이 기간의 일 강수량 들은, 각 기간의 전 15 년과 후 15년, 총 30년의 해당 날짜의 평균 일강수량을 계산하여 대체하였다.

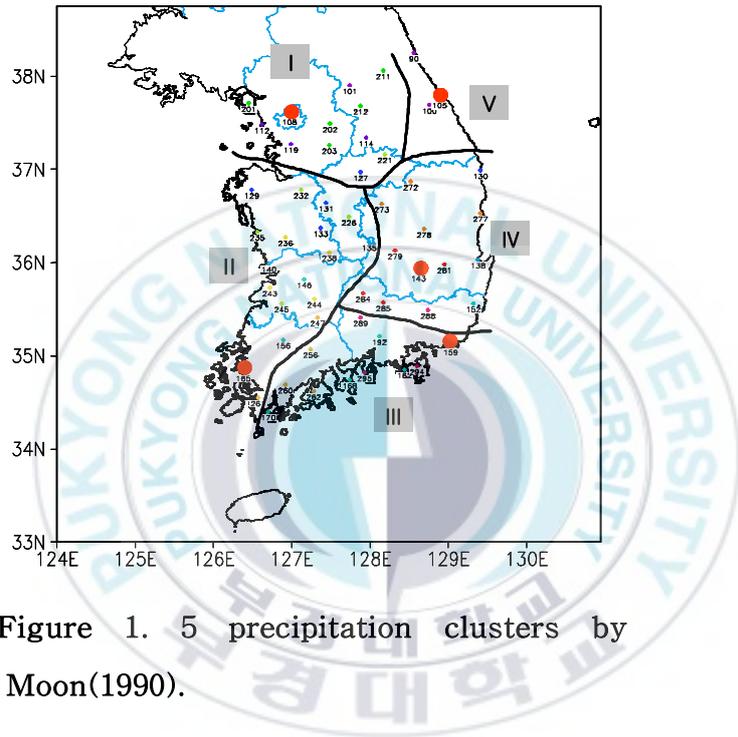


Figure 1. 5 precipitation clusters by Moon(1990).

2.3. 가뭄일과 가뭄해의 정의

분석 기간별로 전 관측소 중 연별, 계절별, 월별, 일별 최저 EDI값을 추출하고 이들을 각각 ANDI(Annual minimum EDI), SNDI(Seasonal minimum EDI), MNDI(Monthly minimum EDI), DNDI(Daily minimum EDI)라 명명하였다.

지점별로 계산되는 YDS(Yearly Drought Scale)는 연중 $EDI < -0.7$ 인 날의 EDI를 총합한 후 365로 나눈 것으로 연중 겪었던 가뭄의 규모를 표현하기 위한 것이다. 관측소가 여러 개인 경우는 당해 연도에서 최저 EDI가 발생한 지점의 YDS를 대표로 이용하였다.

가뭄일은 EDI가 -0.7 보다 낮은 경우로 정의된다(Byun and Wilhite, 1999). 따라서 가뭄해는 $ANDI < -1.5$ 이고 $YDS < -0.7$ 의 조건을 만족하는 해로 정의한다. 가뭄은 장기적인 재해이기 때문에 일별 가뭄강도를 정의하는 EDI가 단지 며칠 동안 낮았다고 가뭄해로 정의하기는 어렵기 때문이다. 그래서 그해 -0.7 이하로 내려간 날들의 EDI를 모두 더하여 일 평균한 YDS가 중요한 의미를 가진다.

특별히 다른 지점과 차별화 된 서울의 1907년 이전의 자료는 Lim and Jung(1992)에 의하여 복원된 것이다. 이것은 1778-1907년에는 강설량과 $2\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$ 미만의 강수량이 포함되어 있지 않은 단점이 있다(Jung et al., 2001; Yoo et al., 2002). 이로 인하여 본 연구팀은 본 연구를 시작하기 전에 최

근 30년(1976-2005년)에 대해 본래의 EDI와 강설과 2mm미만의 강수가 기록된 날들은 모두 무강수로 수정하여 계산한 EDI를 비교해 보았다. 그 결과 이 두 EDI의 위상 변동은 거의 동일하여 통계적 주기 분석에는 큰 영향을 끼치지 않았다. 다만 무강수로 수정된 것이 본래의 것보다, 평균적으로 ANDI는 0.21, YDS는 0.19만큼 과대평가하는 것으로 나타났다. 따라서 서울의 가뭄 분석 시 각 오류만큼 수정한 후 분석했음을 밝힌다.



2.4. 주기 분석

가뭄의 주기 분석은 ANDI와 YDS 정의에 의하여, ANDI와 SNDI를 이용한 파엽 변환, 그리고 MNDI를 이용한 파워 스펙트럼에 의하여 수행되었다(Morlet, 1982). 자료의 수는 Lau and Weng(1995)를 따라 $2n$ 개로 제한하였고, 모 파엽으로는 Morlet 파엽(Morlet et al., 1982a)을 택했다. Power spectrum은 Gilman et al.(1963)과 Min et al.(2003)을 참고하였다. ANDI를 이용한 분석은 경년변동을, MNDI를 이용한 분석은 연내 변동까지 포착한다.



3. 기간별 강도비교

Figure 2는 세 분석기간들의 공통 기간(Jan. 1974-DEC. 2005)에 대해 세 MNDI들을 나타낸 것이다. 이들은 각기 포함된 관측소 수가 크게 차이가 나지만 거의 동일한 위상변동을 보이고 있고, 특히 MNDI가 낮은 기간에는 세 요소가 거의 일치한다.

Y32과 Y92는 거의 동일한 위상변동을 보인다. 이는 57개 관측소 자료를 모두 사용할 수 없는 1914-1973년 동안 한반도에서 발생한 가뭄을 Y92가 대표할 수 있음을 의미한다.

서울의 자료는 Y92와 Y32의 것에 비해 가뭄 강도가 약하게 나타나는 경향이 있어 한반도 전체의 가뭄 상황을 표현하는 데는 부족함이 없지 않다. 그럼에도 불구하고 한반도 영역 내에서 100년 이상의 자료를 가지는 유일한 지점이고, 위상 변동이 나머지 둘과 거의 같으므로 한반도 가뭄기후의 변동성을 표현하는 자료로 활용해도 무방하리라고 간주한다. 또한, 봄에 강수량이 적고, 여름에 연강수량의 50%이상이 집중되는 전형적인 한반도 기후 특성을 띄는 지점(Moon, 1990; Ko et al., 2005)이라는 점에서 다른 관측소와 다를 바 없다고 판단된다.

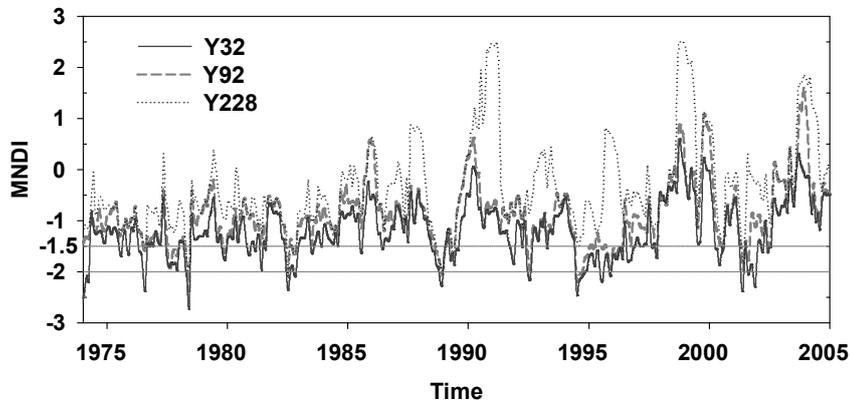
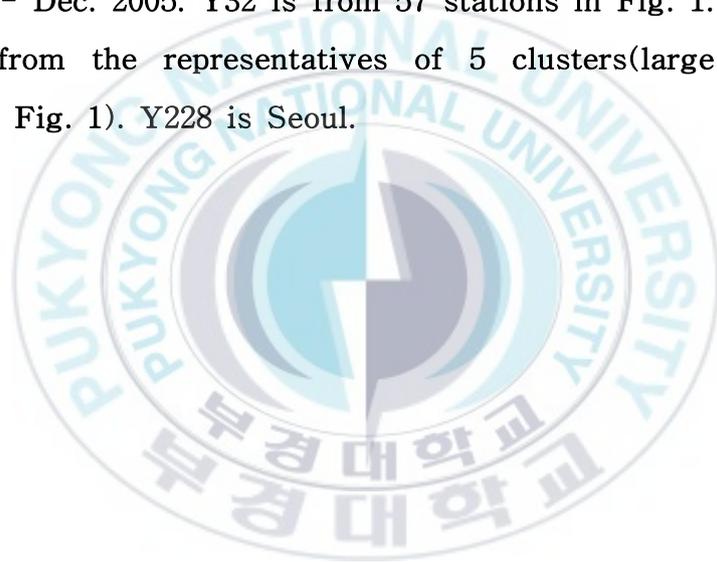


Figure 2. The time series of MNDIs of 3 periods for Jan. 1974- Dec. 2005. Y32 is from 57 stations in Fig. 1. Y92 is from the representatives of 5 clusters (large circles in Fig. 1). Y228 is Seoul.



4. 최근 가뭄의 주기성

4.1. Y92로 본 가뭄 주기(1914-2005)

Figure 3은 Y92(1914-2005년)로부터 추출된 DNDI의 시계열을 나타낸 것이다. 그림속의 막대는 일별로 EDI<-1.5인 지점수를 의미한다.

1951-1977년 동안에는 ANDI<-2.0의 강한 가뭄들이 한 번도 발생하지 않아 ANDI<-2.0해의 발생 유무에 따라 총 92년을 다시 Pre-Y92(1914- 1950), Mid-Y92(1951-1977), Aft-Y92(1978- 2005)로 삼분하였다.

20세기의 초에 해당하는 Pre-Y92에서는 1개 지점 이상에서 DNDI<-1.5가 빈번히 발생하고, 1939-1940년에는 3개 이상 지점에서 이것이 발생하여 2년 이상 연속되었다. 그러나 Mid-Y92에서는 3개의 지점에서 동시에 DNDI<-1.5가 발생하는 경우가 있었으나 수일 연속될 뿐이었다. DNDI<-2.0은 발생하지 않았고, Pre-Y92에 비해 지점 수도 줄었다. Aft-Y92에서 -1.5와 -2.0미만의 DNDI가 발견되나 Pre-Y92와 같이 3개 이상의 지점에서 발생하여 2년 이상 연속된 경우는 없다.

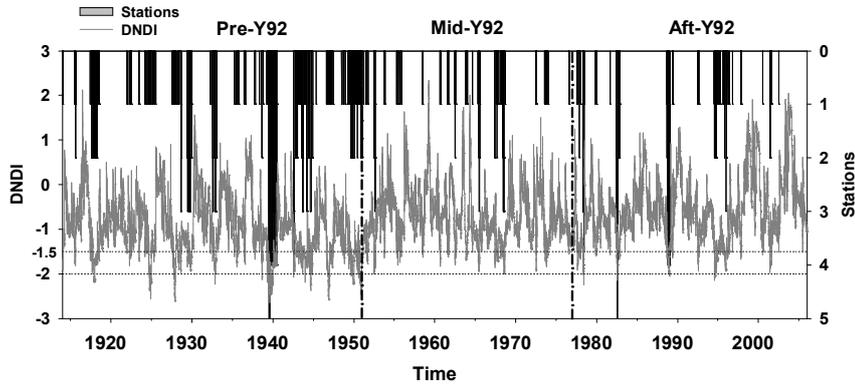


Figure 3. The time series of DNDI(solid line) from 5 stations for Y92 and the number of stations with $EDI < -1.5$ (bar)

Figure 4는 Y92의 YDS와 ANDI 그리고 57개 지점(Y32)의 ANDI를 나타낸 시계열이다. YDS에는 -1을 곱하여 ANDI와 비교를 용이하게 하였다. Figure 2의 MNDI를 통해 이미 보았듯이, 두 ANDI가 거의 일치한다.

Pre-Y92기간에 역시 ANDI도 낮고, $YDS < -0.7$ 인 경우도 Mid와 Aft보다 빈번하여 세 개 기간 중 가장 가뭄이 빈번했다. Aft-Y92에선 Mid-Y92에서보다 낮은 ANDI가 빈번하지만, 가뭄해의 -YDS는 이전 기간들 보다 작다. 이것은 최근에 다소 가뭄해의 강도는 다시 강해졌으나, 과거보다 가뭄의 지속기간은 감소되고 있음을 의미한다.

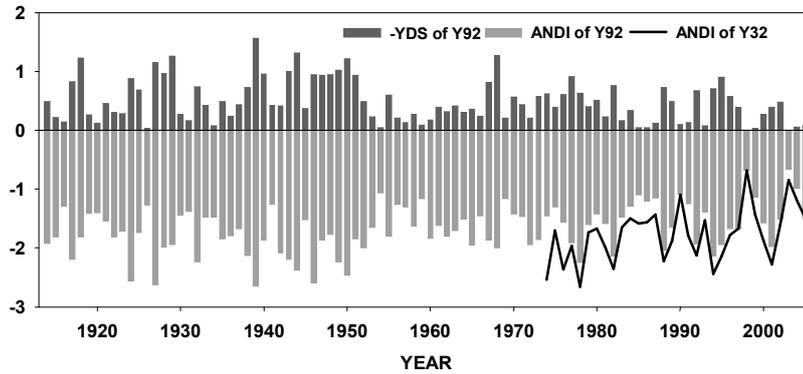


Figure 4. The histograms of ANDI and YDS multiplied by '-1' for Y92(bars) and the time series of ANDI for Y32(solid line).

Figure 4로부터 가뭄해들은 table 1에 다시 정리되었다. 기존의 각종 보고서(e.g., Sim, 1998; KWRC, 2002)들은 과우 해는 1927-1929, 1937-1939, 1942-1944, 1967-1968, 1977-1978, 1982-1983, 1987-1988, 1994-1995, 2001년이었음을 보고하였다. 본 연구의 결과에 따르면(Table 1) 위의 연도들 외에도 1917-1918, 1924, 1932, 1940, 1946-1951년도가 기상학적 가뭄해였음이 밝혀졌다. 반면 1937, 1942, 1978, 1983, 1987, 2001년은 과우해로 보고되었지만 가뭄해로 추출되지 않았다. 이것들은 두 가지로 해석가능하다. 첫 번째는 이 해들은 강수량이 비록 적기는 하였으나 적당히 분배되어 큰 가뭄이 나타나지 않은 것으로 추측된다. 장마철에 강수량이 적으면 과우해가 되긴 하지만 가뭄지수는 크게 낮아지지 않는다. 즉 물이 남는 시기에

비가 적게 온 경우로 해석될 수 있다. 두 번째는, 자료의 한계로 인해 정밀하게 가뭄해를 감지하지 못했을 가능성이 있다. 1970년 이전은 확인이 더 이상 될 수 없으나, 1970년 이후의 가뭄해들은 Y32의 분석을 통해(4.2장) 더 명확해질 수 있다.

가장 낮은 ANDI를 보이는 1939년은 IV구역에 있는 낙동강 유역에서 가장 극심한 물 부족을 겪었다(Sim, 1998). 더 자세한 피해의 기록은 찾기가 어렵다.

1968년의 경우, ANDI는 -2.0에 불과하나, YDS가 -1.26이다. 최근 30년 동안 체감했던 가뭄해들보다 낮고 전 기간의 YDS 중 3위를 기록한다. 이것은 이 가뭄의 중심이 5개 지점 외의 지역이어서 ANDI가 약하게 평가되었으나 가뭄의 중심 지역이 완전히 해결될 때까지 주변지역에 해당되는 Y92의 지점들도 가뭄을 겪었기 때문에 YDS가 낮게 나타난 것으로 사료된다. Sim(1998)의 보고서에 따르면, 1968년은 영산강(II 지역)과 낙동강(IV 지역) 유역에 심각한 물 부족을 초래하였는데, 특히 영산강 나주 지점의 지표수가 한 달 이상 고갈되었다고 전한다. 또한 I 지역을 중심으로 제한급수가 실시되고 이동사태도 발생했던 것으로 조사되었다(KWRC, 2002).

Pre-Y92기간 중 연속하여 가뭄이 발생한 경우는 가뭄 강도가 가장 강한 연도를 뽑아 그 주기를 알아본다. 1917(2)-1924-1927(3)-1932-1939(3)-1944(2)-1946(5)의 발생 간격은 7-3-5-7-5-2년이다. 1924-1927년, 1944-1946년의 경우 상대적으로 짧은 발생 간격을 보이나, 이를 제외한 나머지는 6년에서 1년씩 가감된 발생간격을 보인다. 예외적 발생 간격이 나타난 것은

figure 5의 파업 분석으로 설명하기로 한다.

Mid-Y92는 가뭄이 감소했던 시기여서 1951-1968-1977년 사이에서 Pre-Y32에서와 같은 일률적인 주기성을 찾기 어렵다. 그럼에도 불구하고 농업기반공사(2004)에 1955-1977년 중 단 4개해만 빼고 모두 피해 면적이 보고 되어있다. 이것은 수리시설의 부족에 의한 농업적 피해 상황이라 사료된다. 1977-2001년 중 15년도 가뭄피해가 보고 되어있지만, 이 역시 4.2장에서 모든 해가 기후학적 가뭄상태는 아니었음을 알 수 있다.

Aft-Y92기간에는 1977-1982-1988-1994년이 5-6-6-6으로 6년의 주기성을 띈다. 최근 겪었던 2001년의 가뭄이 여기서는 사용된 지점수의 한계로 인해 추출되지 못하였으나, 이 해까지 고려하면 6년의 주기성이 더욱 뚜렷해진다. 2001년의 존재는 Y32의 분석에서 확인할 수 있다.

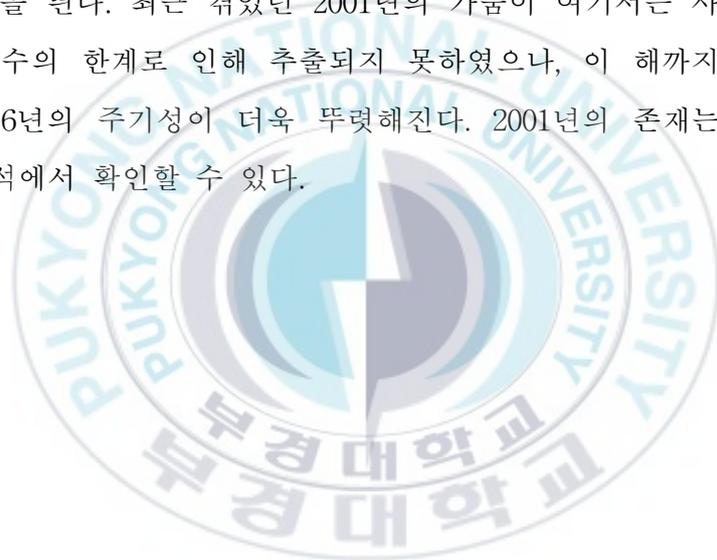


Table 1. The ANDI and YDS of drought years for Y92 .

Y92	Year	ANDI	YDS	Y92	Year	ANDI	YDS
Pre	1917	-2.19	-0.83	Mid	1951	-1.84	-0.93
	1918	-1.81	-1.22		1967	-1.86	-1.01
	1924	-2.56	-0.88		1968	-2.00	-1.26
	1927	-2.62	-1.15		1977	-1.91	-0.91
	1928	-1.98	-0.97	Aft	1982	-2.14	-0.76
	1929	-1.94	-1.26		1988	-2.04	-0.72
	1932	-2.23	-0.74		1994	-2.14	-0.70
	1938	-2.13	-0.72		1995	-1.94	-0.90
	1939	-2.65	-1.57				
	1940	-1.86	-0.96				
	1943	-2.19	-1.00				
	1944	-2.38	-1.31				
	1946	-2.59	-0.94				
	1947	-1.87	-0.93				
	1948	-1.77	-0.94				
	1949	-2.23	-1.02				
	1950	-2.46	-1.22				

Figure 5는 1914-1977(Pre-Y92, Mid-Y92)년의 ANDI를 이용한 파엽 분석 결과이다. Aft-Y92의 기간에 대한 분석은 더 정밀한 분석이 가능한 Y32의 분석으로 대체한다. 1920년에서 1950년까지 4년을 전후로 강한 파워들이 집중되어 있다. 그러나 일률적으로 가뭄의 주기성이 드러나지 않아 가장 주된 주기를 파악하기는 어렵다. 앞서 본 실제 가뭄해들 사이의 약 6년 발생 간격이 오히려 더 명확하다. 다만 6년에서 1년씩 가감된 주기를 띄거나, 변칙적인 발생 간격은 이 일률적이지 못한 파엽 파워들에 의한 것이라 판단된다. 1950년 이후에는 그 파워

가 점차 짧은 주기로 집중, 전이되면서 약해지는 현상이 나타난다. 1960년대 후반부터 다시 약 6년의 주기가 형성되나, 그 전보다 강한 파워를 보이지는 않는다.

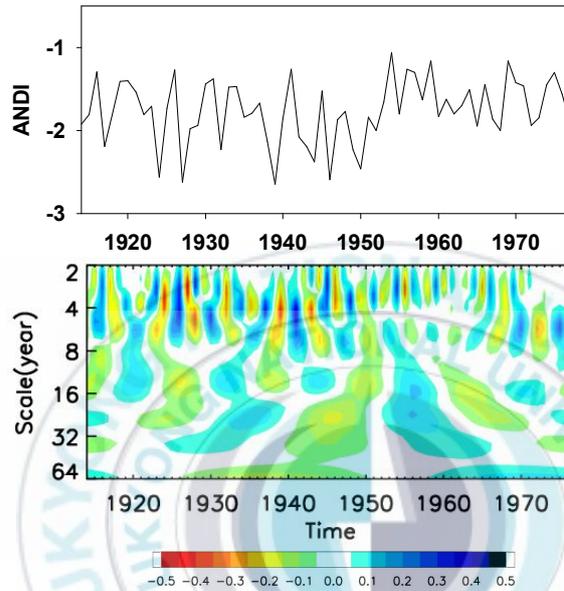


Figure 5. The time series (upper panel) and real part of Morlet transform(bottom panel) of ANDI for 1914-1977 of Y92.

Figure 6은 이 두 기간(Pre-Y92와 Mid-Y92)을 나누어 MNDI를 이용한 스펙트럼 분석이다. 파워 분석과 동일하게

Pre-Y92에서는 10년 이하의 3.7년, 5.2년, 4.8년이 우세하게 나타나고, Mid-Y92에서는 13.5년, 1년의 주기가 높게 나타난다. 전자는 실제 가뭄해보다 주기가 짧게 나타난 경향이 있다. 후자는 가뭄 감소에도 불구하고 1년의 주기가 있다. 이것은 가뭄의 주기가 아닌, 가뭄지수의 변동성이 큰 여름철 강수에 의한 단순 경년변동이라 판단된다.



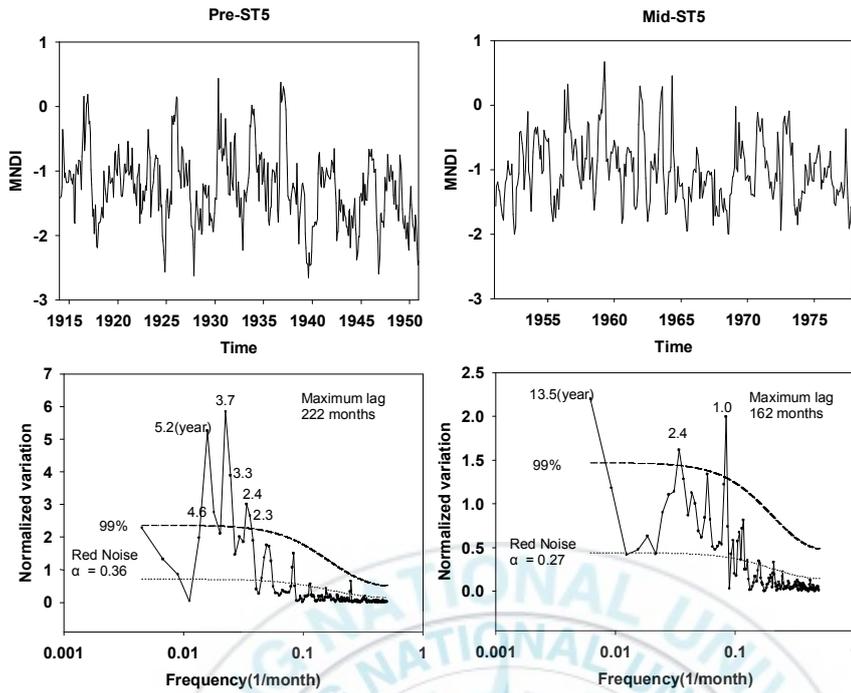


Figure 6. The time series(upper panel) and power spectrum(bottom panel) of MNDI for Pre-Y92(1914 - 1950) and Mid-Y92(1951-1977). The lower dotted line is the mean red-noise spectrum(Gilman et al., 1963) assuming a lag-1 of auto covariance α . The upper dashed line is the 99% confidence spectrum. Abscissa is log-scaled frequency and the ordinate is variance expressed as the ratio to white-noise value.

강수 원인은 계절별로 다르기 때문에 계절별 가뭄주기도 별도로 조사하였다. Figure 7은 4 계절의 SNDI를 이용한 파업 분석 결과를 나타낸 것이다. 봄은 Pre-Y92동안 4년의 주기에서

약 8년의 주기로 파엽 파워가 전이하는 현상이 보인다. 1960년 이후부터는 다시 4년보다 짧은 단주기로 전이하면서 일시적으로 파워가 강해지는 특징과 약하지만 8년으로 계속 이어지는 주기 특성이 동시에 존재한다. 여름은 1930년부터 4년에서 8년 이상의 주기로 파엽 파워가 급격하게 전이하는 특성을 보이다가 1950년부터 1970년까지 점차 8년 주기에서 지속되었다. 이와 동시에 일부 기간 동안 약 4년의 단주기들에서 파워가 강하게 나타난다. 가을과 겨울은 1950년까지 봄과 같은 형상을 띄나, 그 이후엔 파워가 급격히 약화되어 두드러진 특징을 보이지 않는다.

그러나 파엽분석과 스펙트럼 분석은 한 가지 한계점을 가짐을 감안해야한다. 실제 가뭄해가 약 6년의 주기로 발생함을 table 1에서 확인했으나, 이 두 가지 분석에서는 명확하게 나타나지 않는다. 오히려 짧은 주기에서 더 두드러지거나, 이보다 긴 장주기들이 나타났다. 즉, 이 결과들은 ANDI, MNDI, SNDI의 단순 시계열 변동성에 의존하므로 현실성이 조금 떨어짐을 고려해야한다.

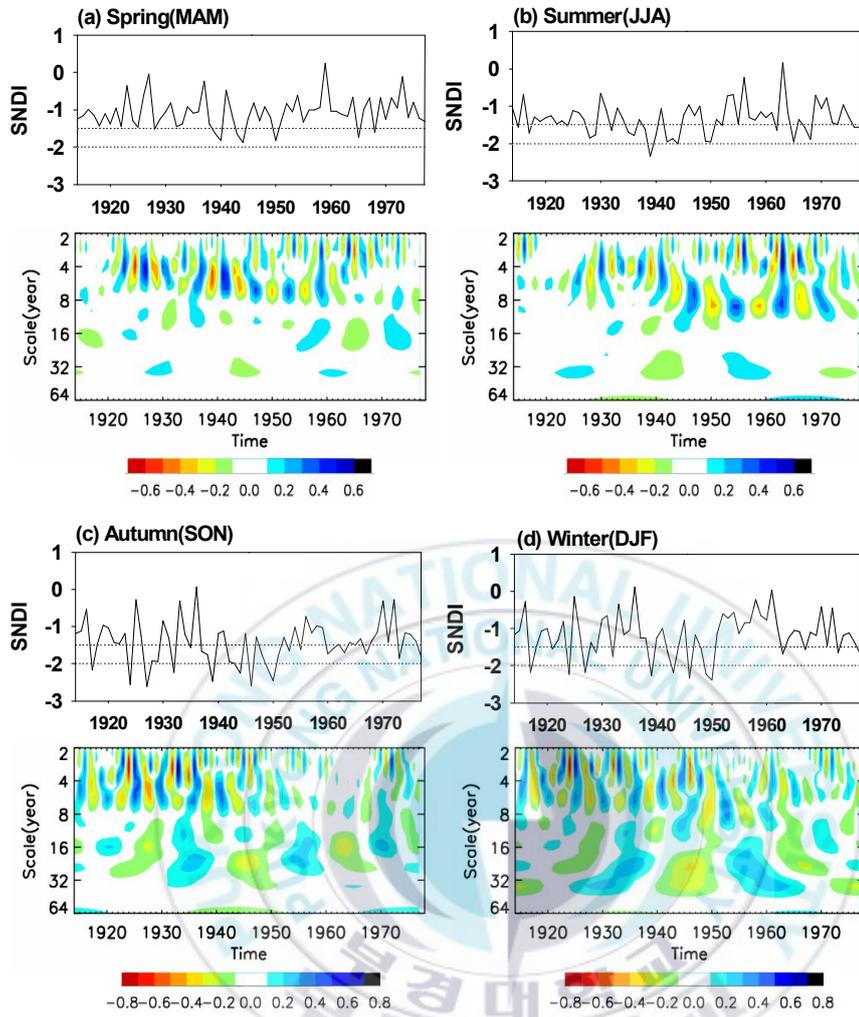


Figure 7. Same as Fig. 5, but for SNDIs of 4 seasons.

4.2. Y32로 본 가뭄 주기(1974-2005)

Figure 8은 figure 3과 같은 방법으로 Y32에 대해 나타낸 것이고, 57개 지점의 자료를 사용함으로써 Aft-Y92를 이용한 것보다 가뭄해들에 대해 더 정확히 알 수 있다. 1978년은 가장 많은 지점에서 가뭄이 발생했고, 1994-1995년은 Y32중 가장 장기간 가뭄이 감지되었다. 시간이 지남에 따라 가뭄 발생 지점 수는 감소하는, 가뭄 영역의 국지화가 보인다.

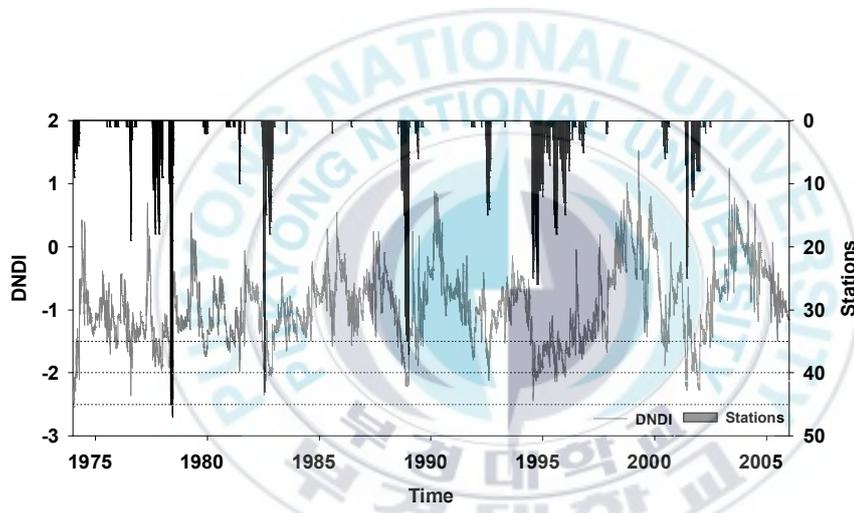


Figure 8. Same as Fig. 3, but for Y32.

Table 2는 Y32의 가뭄해들과 ANDI 발생일의 평년대비 저수율, 가뭄 피해 면적을 각각 나타내었다. 추가적으로 전체 지점 중 최저 YDS도 함께 나타내었다. 저수지의 저수율은 계절별

평균 수위가 다르므로 절대적 가뭄 현황이라 보기 어렵고, 단순 참고용이다. Figure 9는 table 2로부터 ANDI를 나타낸 가뭄 일을 지도로 묘화한 것이다. YDS의 기준에 부합하지 못하여 가뭄해로 추출되지 못한 해는 1976, 1978, 1992, 1994년이다. 그러나 이 해들은 57개 관측소 중 ANDI를 기록하진 못하였으나, $EDI < -1.5$, $YDS < -0.7$ 의 가뭄해 조건을 만족하는 관측소들이 존재하여 이들 역시 가뭄해로 인정하였다. 저수율은 KWRC에서 제공하는 수문자료로부터 얻어진 것이다. 댐들마다 설립된 연도가 다른데 가장 긴 자료를 보유하는 댐은 1975년대부터 자료가 존재하는 섬진강(Ⅱ구역) 댐이 유일하여 이 댐의 수문자료를 이용하였다. 단 2001년은 figure 9에서 확인할 수 있듯이, 가뭄 중심지역이 섬진강 댐과는 거리가 멀어, 이때는 이 가뭄 지역과 가장 가까운 안동(Ⅳ구역)댐 자료를 기입하였다. 피해 면적은 Sim(1998)의 보고서를 참고하였으며, 1978년과 2001년의 수치는 각각 Ministry of agriculture & forestry republic of Korea(2004)와 Lee and Maeng(2005)를 참고하였다.

1974년은 비록 9개 지점에서만 $ANDI < -1.5$ 가 나타나고, 가뭄 피해 보고를 찾을 수는 없었지만, 1974년은 태백산맥의 산간지방을 중심으로 심한 가뭄이 들었음을 알 수 있다. 1976-1978년은 점차 $ANDI < -1.5$ 의 지점수가 증가하고, 1978년은 50개 지점에 달하면서 최저 YDS 값도 3년 중 최저를 기록했다. Figure 9에서도 EDI가 -1.5미만인 지역이 전체의 절반이상이다. Sim(1998)에도 Ⅱ-Ⅳ의 지역에서 심한 가뭄 피해가 발생했고, 생활용수의 부족을 초래했음을 언급하고 있다.

두 번째로 $ANDI < -1.5$ 지점이 많았던 1982년은 YDS가 10개년 중 가장 낮고, IV지역에 있는 낙동강의 본류를 제외하고 모든 지류가 고갈되었던 사례이다(Sim, 1998).

1994-1995년은 2년 연속 가뭄이 발생하였으나 피해는 전해인 1994년에 더 컸다. 1994년에는 231,569ha의 면적이 가뭄 피해를 입었고, 저수지도 6,728개 이상이 고갈되었다. 또한 제한급수 인원이 약 78만 명에 달하는 큰 피해를 초래했다(KWRC, 1996). 1994년과 1995년의 ANDI 발생일의 예년 대비 저수율도 15.0%와 6.5%이어서 가뭄이 얼마나 심각했었는지 가늠해 볼 수 있다. 이 두해의 가뭄은 다목적 댐과 저수지, 관정, 지하수의 개발이 상당히 이루어진 시대에 발생한 점도 주목할 만하다.

한편 1988년은 가뭄강도는 다른 가뭄해들과 큰 차이가 없으나, 피해는 월등하게 적다. 그 이유는 가뭄이 물의 수요가 급감하는 가을에 발생했기 때문이다. 그리고 1992년은 7월에 가장 가뭄이 심했으나, 가장 물이 풍부한 여름철에 속하기 때문에 8월 이후의 강수로 해결되면서 피해는 크지 않았다. 이것은 뒤에 이어지는 계절별 가뭄 분석에서 알 수 있다.

이 열개 가뭄해들은 Y92에서 나타난 가뭄해들과 대부분 일치하고 주기성도 같은 맥락이다. 1974-1978-1982-1988-1994-2001년은 4-4-6-6-7년으로 점차 발생 간격이 길어지고 있다. Mid-Y92부터 고려하게 되면 1968년도 포함되어 6-4-4-6-6-7년이 되어 6년을 기준으로 가감된 주기성을 띠어 더욱 명확하다. Y92에서와 같이 연속되어 발생한 경우는 ANDI가 가장 낮은 해를 택하였다. 1992년만 유일하게 주기를 벗어난다.

Table 2. Same as Table 1, but for Y32 and damages at each year. 'Stations' means the number of drought stations with EDI<-1.5. '/' means that the informations are not found.

Year	ANDI	YDS	Stations (ANDI<-1.5)	Minimum YDS of total	Water storage rate(%)	Drought area(ha)
1974	-2.54	-0.80	9	-0.81	/	/
1976	-2.36	-0.22	21	-0.82	45.5	28,218
1977	-1.96	-1.02	32	-1.06	24.9	60,222
1978	-2.66	-0.53	50	-1.13	20.8	47,000
1982	-2.35	-1.08	46	-1.08	16.1	231,244
1988	-2.22	-0.71	39	-0.81	17.2	1,000
1992	-2.12	-0.57	31	-0.73	11.6	31,523
1994	-2.44	-0.65	43	-1.13	15.0	231,569
1995	-2.14	-0.78	38	-1.41	6.5	20,370
2001	-2.28	-0.90	36	-0.92	76.1	19,000

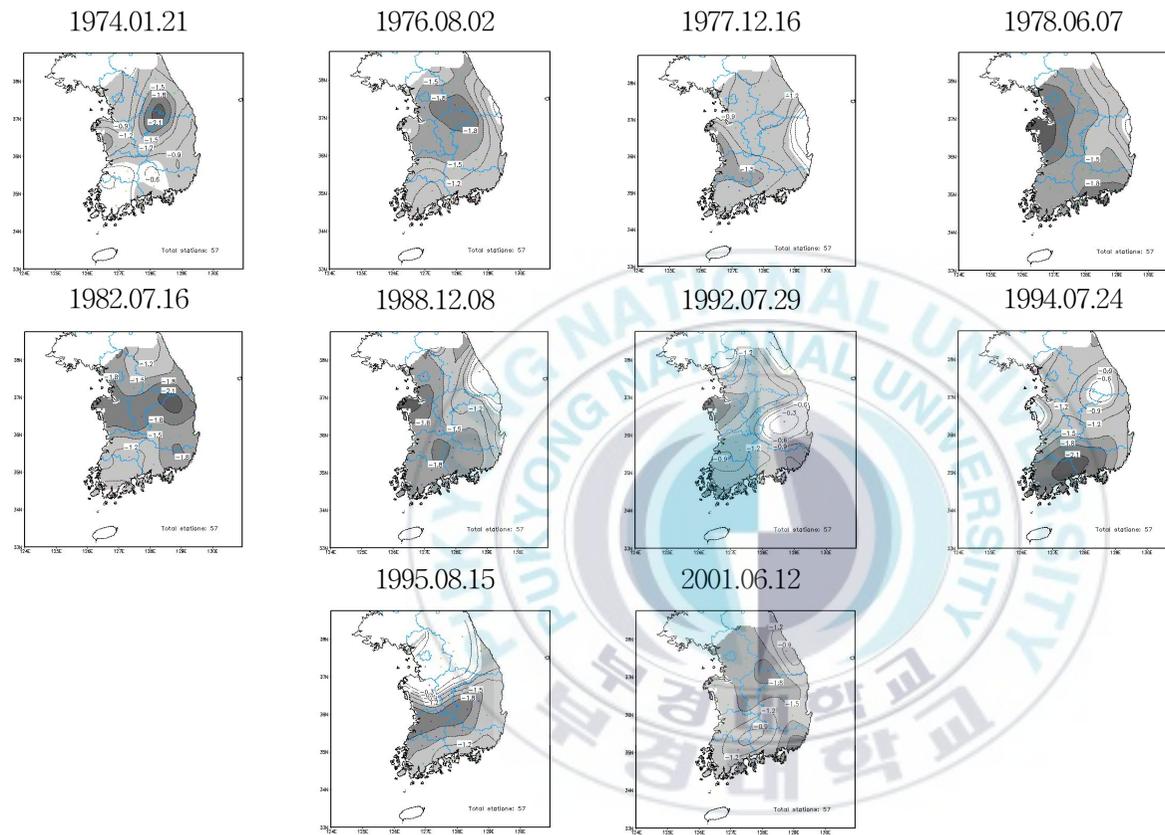


Figure 9. EDI distributions of 10 events from table 2. The shaded areas denote $EDI < -0.7$.

Figure 10은 Y32의 MNDI에 대한 스펙트럼 분석 결과이다. 가장 우세한 주기는 실제 가뭄 발생 주기(Table 2)와 거의 동일한 6.2, 5.3년이다. 6년 전후에서 가감되는 실제 가뭄해 주기와 비슷하다. 실제 가뭄해 주기와 통계적 기법에 의한 주기 결과가 Y92보다 잘 일치하는 것은 분석기간이 가장 짧고 사용 자료수가 많기 때문이다.

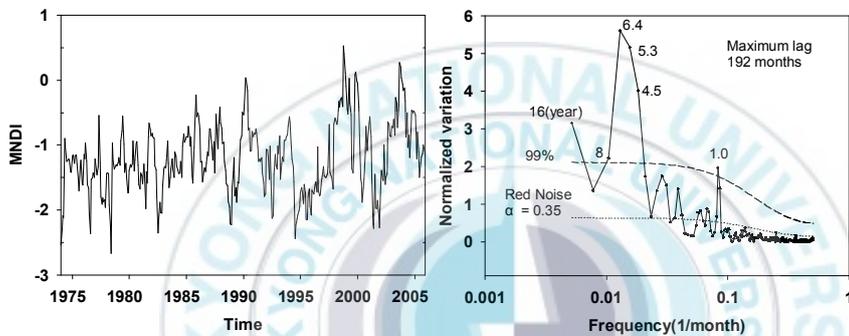


Figure 10. Same as Fig. 6, but for Y32.

계절별로 가뭄 강도가 강했던 해는(SNDI<-2.0) 다음과 같다. 봄은 1974, 1978년, 그리고 23년 만인 2001년이고, 여름은 1976, 1978, 1982, 1992, 1994, 1995, 2001년이 해당된다. 가을철에는 1982, 1988, 1994, 2001년, 겨울철에는 1988, 1995, 2001년이 해당된다. 가장 최근의 2001년 가뭄에 대한 여러 연구들과 보고서들(e.g., National Institute for Disaster Prevention(NIDP), 2003; Min et al., 2003)에서는 물의 수요가 많았던 봄 가뭄에

대한 실질적인 피해만 조사되어왔지만, 기상학적으로 4계절 모두 강한 가뭄을 겪었다. 특별히 2000년에도 6월의 MNDI가 -1.88이고 이시기에 각종 가뭄 피해와 관련된 보고들이 있어 실제로는 2000년과 2001년이 연속하여 가뭄이 발생한 것으로 확인된다. NIDP(2003)에 따르면 2000년의 가뭄은 4월까지 강수량이 평년대비 50%에도 미치지 못하고 6월말 몇몇 저수지의 저수율이 50%이하로 떨어졌으나 6월 말부터 시작된 장마로 인해 종료되었다. 그리고 이해 역시 한반도의 남서지역(Ⅱ, Ⅲ구역)이 가뭄을 겪었다.

4 계절 중 table 2의 가뭄해와 가장 일치하는 것은 여름 가뭄해이다. 그리고 가을, 겨울 순으로 일치하고 봄은 변칙적이다. 여기서 가뭄지수가 계산되는 과정을 다시 확인할 필요가 있다. EDI는 강수량을 시간함수를 이용하여 합산한 것이다. 최근의 강수일 일수록 큰 비중으로 계산된다. 즉 지난해 여름철 강수량의 영향을 가장 적게 받는 계절이 바로 봄철이다. 이로 인해 봄철 가뭄이 가장 변칙적이었던 것으로 판단된다. 반면 가을과 겨울의 강수는 연 강수량의 약 50% 이상이 여름에 집중되는데 비해 훨씬 적으므로 가뭄에 큰 영향을 미치지 못한다. 즉, 여름 강수에 의해 가을과 겨울 가뭄은 대체로 여름 가뭄에 영향을 받아 연속되어 발생했다. 따라서 봄을 제외한 3 계절은 6년의 주기성을 가지게 된다.

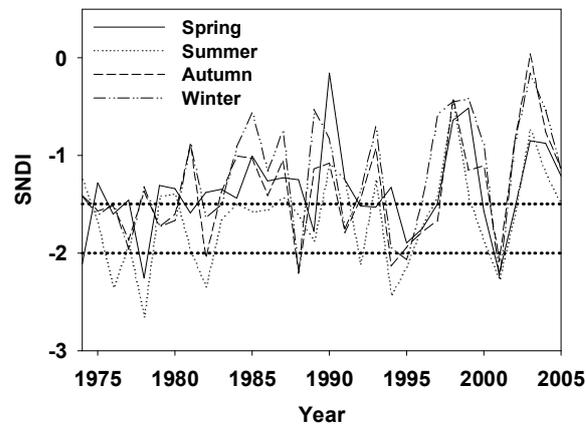


Figure 11. The time series of SNDIs for Y32.

Figure 12는 5개 지역에 대해 각 지역의 MNDI를 이용하여 스펙트럼 분석한 것이다. 같은 가뭄해라도 특정지역에서는 가뭄이 나타나지 않을 수 있다. 따라서 각 지역별로 다시 가뭄 주기를 계산해 볼 필요가 있다. 가장 우세한 주기는 지역별로 다르나, 4.5-6.4년 주기가 5개 지역에서 공통적으로 높게 나타난다. 6년의 주기와 가장 근접한 6.4년이 5개 지역에 모두 포함되어 높게 나타난 점이 돋보인다.

I-IV 구역은 연강수량 중 50% 이상이 여름에 집중되는 반면 태백산맥 동쪽에 위치하는 V 구역은 나머지 4개 구역보다 태풍과 강설량의 영향을 많이 받는다(Moon, 1990; Ko et al., 2005). 이러한 이유로 가을과 겨울의 강수량이 많아 타 지역과 차별되

는 지역임에도 불구하고 V구역에서도 동일한 주기가 우세한 것은, 봄을 제외한 나머지 3개 계절의 가뭄이 모두 6년 주기로 발생한 것을 보여준 figure 12의 결과와 부합한다. 상대적으로 타지역에 비해 여름철 외에 내리는 강수가 많긴 하나, 이곳 역시 연강수량의 약 50%에 근접한 강수량이 여름에 집중되기 때문에, 타 지역과 다르지 않은 결과를 보였다.

여름철의 강수는 양 자체가 크고 또 연 변동도 심하여 비가 1-2주일 동안만 적게 내려도 가뭄으로 포착된다. 다른 계절은 본래 강수량이 크지 않은 데다 연 변동도 심하지 않아 해당 계절의 강수량 부족만으로는 가뭄으로 발전하기가 쉽지 않음을 의미한다. 이런 점에서 한반도의 가뭄 주기는 여름철의 강수주기에 의해 좌우된다고 추론 할 수 있다. 한반도의 여름철은 1차 장마와 2차 장마가 존재하고(Byun and Lee, 2002) 두 장마 사이는 건기로 구분될 수 있다. 이 세 기간은 열대기단과 적도 기단의 내습 영향을 크게 받으며 이로 인한 기단 불안정이 주 강수원인으로 작용하는 계절이다. Figure 9에서 가뭄 중심이 대체로 태백산맥의 동쪽보다 서쪽 또는 북쪽보다 남쪽에 집중되어 있음을 볼 수 있다. 이 역시 남서류의 가장 큰 영향을 받는 여름철의 어떤 기후 메커니즘이 가뭄을 발생시킬 것이란 추측을 가능하게 한다. 일사에 의한 부등가열이 대류의 원인이 되기도 하지만, 일사량은 연 변동이 거의 없기 때문에 가뭄의 주기와는 상관이 없는 것으로 보아야 할 것이다. 실제로 본 연구팀은 태양활동과 가뭄의 연관성을 조사한 연구가 진행된 바 있으나 아무런 실마리를 찾지 못했다.

따라서 한반도의 가뭄 주기는 열대기단과 적도기단의 내습 주기에 크게 좌우된다는 추측이 가능하다. 열대기상의 내습 주기가 왜 6년인가 하는 문제는 본 연구의 범위를 벗어나므로 추후 연구를 기대한다. 그러나 이 결과는 열대 기상과 무관한 가뭄은 한반도에서 발생하지 않는다는 의미는 아니다. 실제로 초여름에 1차 장마가 시작되기 전에 가뭄 피해가 발생하는 경우는 빈번히 있다. 이 계절은 본래 갈수기이고, 물 수요가 큰 계절이기 때문에 가뭄 지수 상에는 큰 가뭄으로 나타나지 않은 채 피해가 나타나는 경우이다(Han and Byun, 2006). 이는 가뭄 피해와 가뭄지수의 연관성이 계절마다 다를 수 있음을 의미한다. 따라서 봄철 가뭄의 주거나 특성은 특별히 다른 계절과 구분하여 연구되어야 한다.



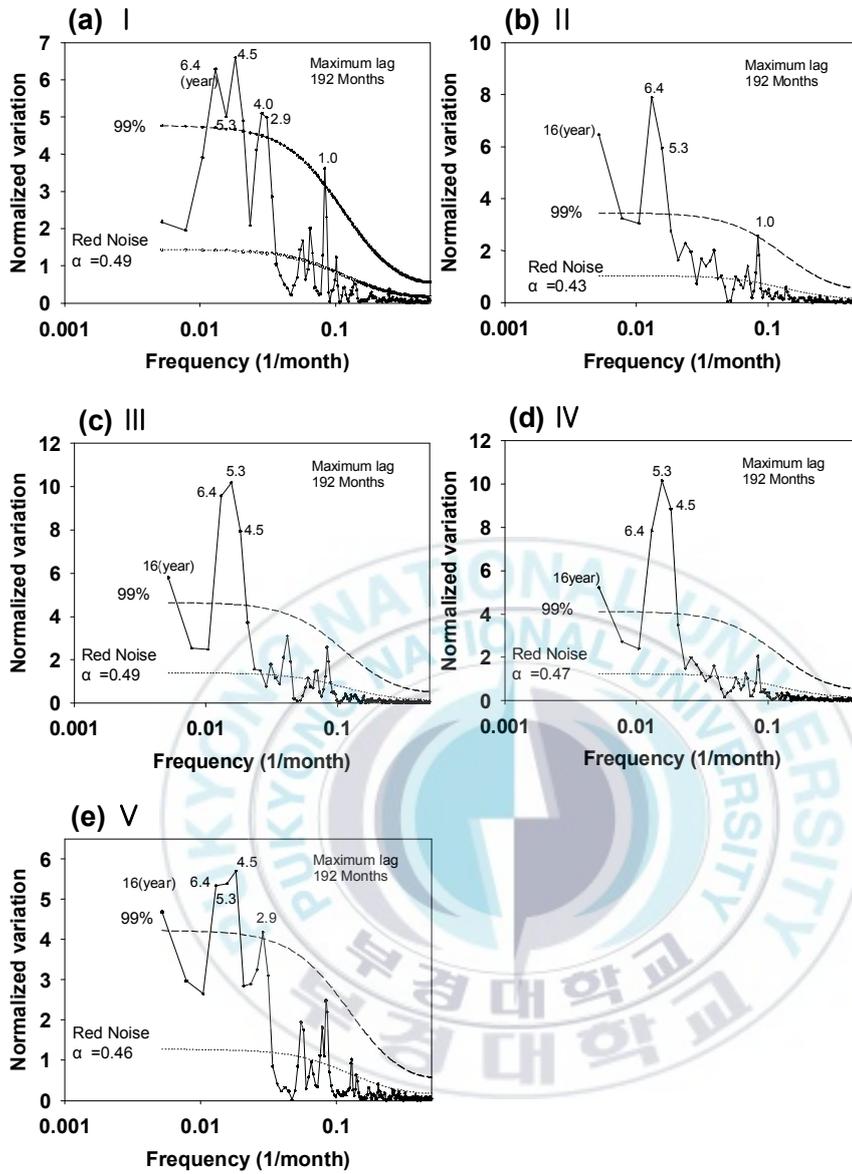


Figure 12. Same as Fig. 6, but for 5 clusters of Y32.

5. Y228로 본 가뭄의 주기(1778-2005)

한반도의 57개 관측소 중 서울은 유일하게 1900년대 이전의 강수량자료가 존재하여 19세기와 20세기의 가뭄을 비교할 수 있다.

Figure 13은 서울의 연강수량, ANDI, YDS를 나타낸 시계열이다. Figure 13(a)에서 현재와 같이 2,000mm이상의 다우해가 발생하기도 했지만 아주 낮은 강우량을 보여 최근보다 큰 편차를 보인다(Jung et al., 2000). 전체적으로는 강수와 ANDI가 증가하는 추세여서 가뭄의 발생은 감소하고 있다. ANDI가 -1.5미만을 나타내는 해들도 1900년을 기준으로 20세기보다 19세기에 탁월하게 빈번하다.

그림 안의 사각형 상자는 기존 연구들(e.g., Jung et al., 2001)로부터 건조기간이라 알려진 기간으로 1884-1910년이다. 이 기간의 연평균 강수량은 878.8mm로 최근 30년(1976-2005) 연평균 강수량 1384.7mm의 63.5%(878.8mm)에 그치고, 전체 기간 중 가뭄해들이 이 시기에 특히 집중되어 있다. 그중에서도 1900-1901년은 2년 모두 ANDI가 -3.0미만을 기록했고 1901년은 ANDI가 -3.32로 기록되어 총 228년 중 가장 극심한 가뭄해였다(Figure 13(b)). 이 시기의 연평균 강수량도 건조기간의 것보다 낮은 552.8mm(최근 연평균 강수량의 39.9%)이다. 측우기 강수 관측의 한계를 고려하더라도 최근 강수량보다 훨씬 적은

량이다.

또 다른 대 가뭄해(ANDI<-3.0)는 1778년이다. 1778년 전의 가뭄은 자료 부족으로 더 이상의 객관적인 분석을 할 수 없으나. 조선 왕조 실록을 통해 일부 짐작할 수 있다. 이 기록에 따르면 1776년에는 가뭄에 대한 언급이 없고, 정조1년(1777)에 가뭄 때문에 기우제를 수차례 가졌던 내용과, 그 이듬해 정조2년(1778)에는 5월까지 가뭄을 겪었고 6월에 수리 시설을 설립하도록 정조가 명하였다는 내용이 확인되었다. 1777년에 강수량 기록을 정규 사업으로 재개했다는 점도 이즈음에 가뭄이 심했음을 시사한다.

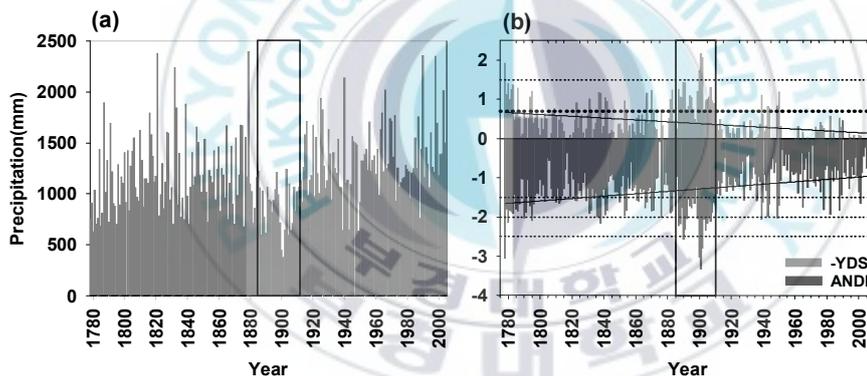


Figure 13. The histogram of annual precipitation(a) and ANDI and YDS multiplied by '-1'(b) for Y228. The dashed lines represent trend of these three factors respectively. The dotted lines indicate 1.5, 0.7, -1.5, -2.0 and -2.5.

Y228동안 가뭄해들의 ANDI와 YDS를 table 3에 나타냈다. 대가뭄들을 중심으로 19세기(1784-1898)와 20세기(1903-2005)의 두 기간으로 구분하였다. 19세기는 본 연구에서 정의한 가뭄해에 부합하는 해가 121년 중 28년(24%), 20세기에는 102년 중 15년(15%)이므로 가뭄해의 빈도는 감소했다. 이는 figure 13에서도 이미 확인했다. 그러나 두 기간의 가뭄해들의 평균 YDS는 19세기에 -1.03, 20세기에 -1.04로 거의 차이가 없다. 비록 Y92를 통해 20세기 초반보다 후반에 가뭄의 지속성이 감소하고 있음을 보았지만 평균적으로는 19세기와 비슷한 수준이다. 오히려 평균 ANDI는 19세기가 -1.88, 20세기가 -2.06으로 가뭄 강도가 20세기에 더 강하다.

가뭄해들의 발생 간격을 살펴보면 1778-1786-1795, (1808), 1823-1831-1838-1841-1853-1867-1870-1876-1882-1890-1895-1901-1904, 1939-1943-1949, 1982-1988년들은 8-9, (), 8-7-3-12-14-3-6-6-8-5-6-3, 4-6, 6년의 간격을 가진다. 초기에는 약 3년, 8년, 12년으로 다소 산발적이었으나, 1800년대 후반 이후는 대체로 약 6년의 주기들이 주를 이룬다. 발생 빈도수가 줄어들긴 했지만 20세기에든 6년의 발생간격은 여전히 있다.

대 가뭄들(EDI<3.0)은 123년(1778, 1901년)의 발생간격을 가지고 각각 1777-1783년(7년), 1899-1902년(4년) 동안 연속되어 발생하였다. 측우기 관측의 오류를 보정함에 따라 1903년은 ANDI가 -2.04, YDS가 -0.68여서 가뭄해에 들지는 못했으나, 1902년의 가뭄이 1903년까지 계속 되었던 사례이다. 이 가뭄은

해갈되는 듯 했으나, 그 이듬해 1904년에 다시 발생했다. 이 점을 감안한다면 1899- 1910년까지 무려 12년간 서울은 가뭄에 시달린 셈이다. 만약 이 추세가 과학적 근거를 가지는 것이라면 약 2020년경에 대 가뭄이 발생할 가능성이 있고 그것은 수년간 연속될 수 있다. 그러나 이에 대한 더욱 상세한 분석을 위해서는 본 자료보다 더 많은 자료가 요구된다.

Table 3. Same as Table 1, but for Y228.

Year	ANDI	YDS	Year	ANDI	YDS	Year	ANDI	YDS
1778	-3.04	-1.92	1854	-1.83	-0.71	1901	-3.32	-2.16
1779	-1.80	-1.11	1867	-1.62	-1.15	1902	-2.79	-2.06
1780	-2.14	-1.39	1870	-1.84	-1.21	1904	-2.34	-0.96
1781	-1.82	-0.99	1871	-1.82	-0.73	1905	-2.16	-0.99
1782	-1.86	-1.24	1876	-2.00	-0.73	1906	-2.02	-1.06
1783	-1.90	-1.37	1882	-1.89	-0.99	1907	-2.10	-1.30
1786	-1.84	-1.28	1883	-1.84	-1.24	1908	-2.09	-1.16
1794	-1.71	-1.06	1887	-2.21	-1.25	1909	-1.84	-1.09
1795	-2.09	-1.20	1888	-2.17	-1.06	1910	-1.91	-1.05
1808	-1.51	-0.71	1889	-1.74	-1.04	1939	-2.26	-1.30
1823	-1.58	-0.90	1890	-2.56	-1.43	1940	-1.82	-0.82
1831	-1.90	-1.01	1891	-2.31	-1.42	1943	-2.19	-1.00
1832	-1.82	-0.71	1893	-1.54	-0.81	1944	-1.88	-0.96
1837	-1.98	-1.17	1894	-1.71	-1.09	1949	-2.23	-1.02
1838	-2.16	-1.15	1895	-1.76	-1.04	1950	-1.91	-1.38
1841	-1.94	-1.04	1896	-1.45	-0.75	1982	-2.14	-0.76
1842	-1.82	-0.93	1899	-2.04	-1.21	1988	-2.04	-0.72
1853	-1.96	-0.96	1900	-3.02	-1.73			

Figure 14(a)는 228년의 ANDI 시계열을 나타내고 (b)와 (c)는 각각 ANDI의 스펙트럼과 파엽 분석의 결과이다. 단연 스펙트럼 분석의 결과에서 가장 두드러지는 가뭄의 주기는 114년이고 실제 123년 발생 간격과는 차이가 있다. 이것은 스펙트럼 분석 시 파수의 제한 때문에 더 긴 주기의 파악이 어렵다. 이를 위해서는 더 많은 자료가 요구된다. 한편, 정조 22년(1798)의 Annals of the Chosun Dynasty에, 가뭄이 12년마다 발생한다는 사실을 충청도 홍산현의 농부 김이원이 지적하였다는 기록을 고려하면, 실제 가뭄은 약 120년의 주기를 가짐이 더욱 신뢰된다.

(c)의 파엽분석 결과는 총 4-8년의 단주기와, 16년 전후의 중주기, 64년 전후의 장주기가 발견된다. 1780년부터 1830년까지는 파워들이 8-6-8-4년의 단주기에 집중되어 진동하고, 동시에 16년 주기가 6년의 주기로 점차 짧아지는 특징은 1850년까지 나타난다. 이후부터는 반대의 파워 전이 현상이 나타난다. 1860년부터 1910년까지 4년에서 10년 이상의 주기로 주기가 전이한다. 1920년부터 1950년까지, 1960년부터 현재까지 4년에서 8년으로 길어지는 특이현상이 나타난다. 64년 주기는 큰 특징 없이 꾸준히 존재한다. 1870년대 전까지 산발적인 가뭄 간격을 보인 것은 두 개 이상의 주기성이 동시에 존재하기 때문이다. 1870년대 이후에는 파엽 파워의 전이가 6년 주기 전후에서 일어나고 있지만, 파워가 약하고 전이현상까지 있어 6년 주기를 이 파엽 분석에서는 논하기가 어렵다.

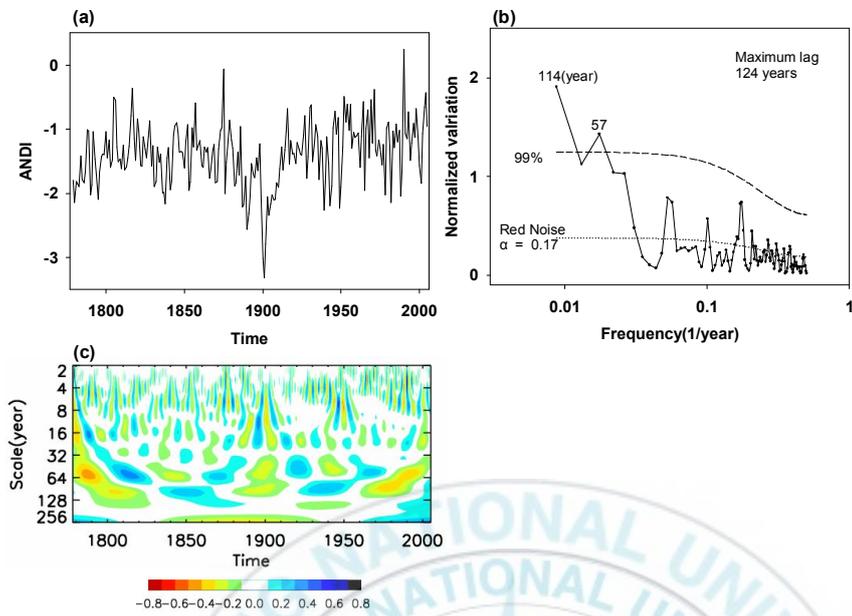


Figure 14. (a) The time series of ANDI. (b) and (c) are same as Fig.6 and Fig.5 respectively, but for ANDI of Y228.

6. 결론 및 토의

최대 이용 가능한 일 강수자료를 사용하여 한반도에서 발생하는 가뭄들의 주기성을 분석하고자 했다. 총 3개의 기간 - 92년(1914-2005, 5개 지점), 32년(1974-2005, 57개 지점), 228년(1778-2005, 서울관측소) -으로 나누어 연구를 수행했다. Y32와 Y92에서는 20세기의 한반도 가뭄 주기성을, Y228은 19세기와의 비교 및 주기성 분석이 가능했다.

대체로 통계적 방법에 의한 주기보다 실제 가뭄해를 고려한 발생 간격이 더 명확한 주기성을 보였다. 이에 대한 결과들은 아래와 같다.

1) 한반도의 가뭄은 6년 주기가 가장 두드러졌다. 이것은 1870년부터 존재했고, 약 30년간 존재하였다가, 10-20년간 소멸되는 특징이 현재까지 반복되었다.

2) 대 가뭄(EDI<-3.0)은 18세기(1778년)와 20세기 초(1900-1901년)에 발생했고 약 120년의 간격을 가진다. 이것이 발생한 경우는 단기간에 해결되지 못하고 수년 동안 가뭄이 연속되는 특징이 있었다.

3) 가뭄의 빈도가 19세기보다 20세기에 24%에서 15%로 감소하긴 하였으나 두 기간의 가뭄 지속성은 비슷하고, 오히려 강도가 강해져 주의가 요구된다.

4) 최근 여름의 가뭄이 발생한 해들이 가뭄해들과 가장 일치

하였고 봄 가뭄이 가장 불규칙했다. 이것은 여름 강수영향에 따라 가뭄이 발생하고, 가을 또는 겨울까지 영향을 미치나, 봄철엔 거의 영향을 가하지 않는다고 해석할 수 있다.

5) 한반도를 강수 특성에 따라 나눈 5개 구역에서도 6.4년이 공통적으로 우세하게 나타났고, 특히 태백산맥을 기준으로 동쪽보다는 서쪽, 또는 한반도의 북쪽보다는 남쪽에 집중되는 특징이 있었다. 이것은 지역적이 아닌 한반도 전체의 공통적 기후 메커니즘에 의한 것이라 유추가능하다.

위의 결과들로부터 몇 가지의 가능성과 추가 연구의 필요성이 제기된다.

첫 번째는 4)와 5)를 통해 한반도 가뭄은 대부분 여름의 강수 메커니즘과 관련 깊을 가능성이 제기되고 나아가 이로부터 열대기단과 적도기단의 내습 주기에 크게 좌우된다는 추측이 가능하다.

두 번째는, 약 120년 주기에 의해 대 가뭄이 2020년경에 재발할 가능성이 있다. 이것이 과학적 근거를 가진다면, 한반도에 큰 재앙을 야기할 것이므로 이를 밝히기 위한 별도의 연구가 요구된다.

본 연구의 결과들과 추가 가능성들에 대한 분석이 많은 가뭄 연구자들에 의해 추후에 충분히 이루어진다면, 한반도 가뭄의 발생원인 및 예측에 큰 도움이 될 것이다.

참고 문헌

- Atlas, R., N. Wolfson, and J. Terry, 1993: The Effect of SST and Soil Moisture Anomalies on GLA Model Simulations of the 1988 U. S. Summer Drought. *J. Climate*, **6**, 2034-2048.
- Bonsal, B. R., and R. G. Lawford, 1999: Teleconnections between El Nino and La Nona events and summer extended dry spells of th Canadian prairies. *Int. J. Climatol.*, **19**, 1445-1458.
- Byun, H.-R., and D. A. Wilhite, 1999: Objective quantification of drought severity and duration. *J. Climate*, **12**, 2747-2756.
- _____, K.-A. Kang, and K.-H. Kim, 2001: Correlations between Nino - 3 anomalies and Asian Drought , Flood. *J. Korean Meteor. Soc.*, **37**, 453-464(English abstract).
- _____, and D.-K. Lee, 2002: Defining three rainy seasons and the hydrological summer monsoon in Korea using Available Water Resources Index. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 33-44
- Chen, P., and M. Newman, 1998: Rossby wave propagation and the rapid development of upper-level anomalous anticyclones during the 1988 U.S. drought. *J. Climate*, **11**, 2491-2504.

- Cole, J. E., and E. R. Cook, 1998: The changing relationship between ENSO variability and moisture balance in the continental United States. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 4529-4532.
- Dai, A., and K. E. Trenberth, 1998: Global Variations in Droughts and Wet Spells: 1900-1995. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 3367-3370
- Gilman, D. L., F. J. Fuglister, and Jr J. M. Mitchell, 1963: On the power spectrum of "red noise". *J. Atmos. Sci.*, **20**, 182-184.
- Girardin, M.-P., J. Tardif, M. D. Flannigan, B. M. Wotton, and Y. Bergeron, 2004: Trends and periodicities in the Canadian Droughts Code and their relationship with atmospheric circulation for the southern Canadian boreal forest. *Can. J. For. Res.*, **34**, 103-119.
- Han, S.-U., and H.-R. Byun, 2006: The existence and The climatological characteristics of the spring rainy period in Korea. *Int. J. Climatol.*, **26**, 637-654.
- Jhun, J.-G. and B.-K. Moon, 1997: Restorations and analyses of rainfall amount observed by Chukwookee. *Journal of the Korean Meteorological Society*. **33**, 691-707.
- Jung, H.-S., S.-P. Park, K.-H. Lim, and J.-H. Oh, 2000: Trend analysis and wavelet transform of time series of precipitation including the chukwookee observations in

- Seoul. *The Korean Journal of Applied Statistics*, **13**, 525-540.
- _____, G.-H. Lim, and J.-H. Oh, 2001: Interpretation of the transient variation in the time series of precipitation amounts in Seoul, Korea. Part I: Diurnal Variation. *J. Climate*, **14**, 2989-3004.
- Kang, K.-A. and H.-R. Byun, 2004: On the developing processes of the climatological drought over the East Asia in 1982. *J. Korean Meteor. Soc.*, **40**, 467-483(in Korean).
- Knapp, P. A., P. T. Soule, and H. D. Grissino-Mayer, 2004: Occurrence of sustained droughts in the Interior Pacific Northwest(A.D. 1733-1980) inferred from tree-ring data. *J. Climate*, **17**, 140-150.
- Ko, J.-W., H.-J. Baek, and W.-T. Kwon, 2005: The characteristics of precipitation and regionalization during rainy season in Korea. *J. Korean Meteor. Soc.*, **41**, 103-114(English abstract).
- Korea institute of construction technology, 2002: *Construction of overall countermeasures for drought control*. Korea Water Resources Corporation, 71pp(In Korean).
- Korea Water Resources Corporation, 1995: *The investigation report of documentary drought*. Ministry Construction & Transportation, 785pp(In Korean).
- _____, 1996: *94~95 The report of*

- research on the actual condition of drought*. Korea Water Resources Corporation, 583pp(In Korean).
- Lau, K. M., and H. Weng, 1995: Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **76**, 2391-2402.
- _____, and _____, 2002: Recurrent teleconnection patterns linking summertime precipitation variability over East Asia and North America. *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 1309-1324.
- Lim G. H., and H. S. Jung, 1992: Interannual variation of the annual precipitation at Seoul, 1771-1991. *J. Korean Meteor. Soc.*, **28**, 125-132.
- Lyon, B., and R. N. Dole, 1995: A diagnostic comparison of the 1980 and 1988 U.S. summer heat wave-droughts. *J. Climate*, **8**, 1658-1675.
- Meshcherskaya A. V., and V. G. Blazhevich, 1997: The drought and excessive moisture indices in a historical perspective in the principal grain-producing regions of the Former Soviet Union. *J. Climate*, **10**, 2670-2682.
- Ministry of agriculture & forestry republic of Korea, 1995: *Drought conquest 1994-1995*. Korea Rural community & Agriculture corporation. 93pp(In Korean).
- _____, 2004: *Practical utilization of drought indices for agriculture (II)*.

- Ministry of agriculture & forestry republic of Korea, 118pp(In Korean).
- Min, S.-K., W.-T. Kwon, E.-H. Park, and Y. G. Choi, 2003: Spatial and Temporal Comparison of droughts over Korea with east Asia. *Int. J. Climatol.*, **23**, 223-233.
- Montroy, D. L., 1997: Linear relation of central and eastern North American precipitation to tropical Pacific sea surface temperature anomalies. *J. Climate*, **10**, 541-558.
- Moon, Y.-S., 1990: Division of precipitation regions in Korea through the cluster analysis. *J. Korean Meteor. Soc.*, **26**, 204-215(English abstract).
- Morid, S., S. Vladimir, and M. Mahnosh, 2006: Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *Int. J. Climatol.*, **26**, 971-985.
- Morlet, J., G. Arens, E. Fourgeau, and D. Giard, 1982a: Wave propagation and sampling theory, 1, Complex signal and scattering in multilayered media. *Geophysics*, **47**, 203-221.
- National institute for disaster prevention, 2003: *Ministry of agriculture & forestry republic of Korea*. National institute for disaster prevention, 392pp(In Korean).
- Olapido, E. O., 1985: A comparative performance analysis of three meteorological drought indexes. *J. Climatol.*, **5**, 655-664.
- Pandey, R. P., and K. S. Ramasastri, 2001: Relationship

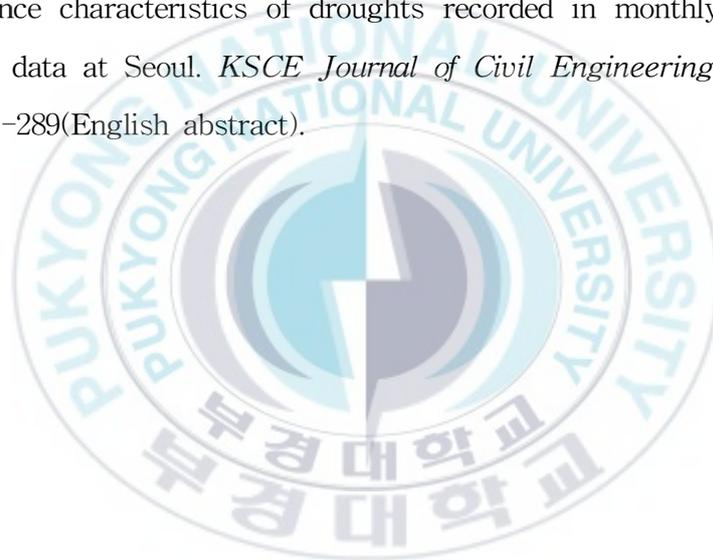
- between the common climatic parameters and average drought frequency. *Hydrological Processes*, **15**, 1019-1032.
- Park, J.-G., and S.-M. Lee, 1992: A regionalization of annual precipitation over South Korea. *J. Korean Meteor. Soc.*, **29**, 117-126(English abstract).
- Piccarreta, M., D. Capolongo, and R. Boenzi, 2004: Trend analysis of precipitation and drought in Basilicata. *Int. J. Climatol.*, **24**, 907-922.
- Rajagopalan, B., E. Cook, U. Lall, and B. K. Ray, 2000: Spatiotemporal variability of ENSO and SST teleconnections to summer drought over the United States during the twentieth century. *J. Climate.*, **13**, 4244-4255.
- Shabbar, A., and W. Skinner, 2004: Summer drought patterns in Canada and the relationship to Global Sea Surface Temperatures. *J. Climate*, **17**, 2866-2880.
- Sim, K. O, 1998: *The investigation and analysis of cause of drought damages*. National institute for disaster prevention, 95pp(In Korean).
- Sin, S.C., T. An, and M. Eoh, 2004 : Study on drought detection over a wide area using satellite data. *Journal of National Institute for Disaster Prevention* , **6**, 129-141(English abstract).
- The Ministry of Agriculture and Fisheries, 2001: *The white paper to overcome droughts*. The Ministry of Agriculture

and Fisheries, 185pp(In Korean).

Ting, M., and H. Wang, 1997: Summertime U. S. precipitation variability and its relation to Pacific sea surface temperature. *J. Climate*, **10**, 1853-1873.

Xu, Z. X., K. Takeuchi, and H. Ishidaira, 2004: Correlation between El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and precipitation in South-east Asia and the Pacific region. *Hydrol. Process.*, **18**, 107-123.

Yoo, Chulsang, S. Ryoo, and J.-H. Kim, 2002 : Long-term recurrence characteristics of droughts recorded in monthly rainfall data at Seoul. *KSCE Journal of Civil Engineering*, **22**, 281-289(English abstract).



감사의 글

막연한 꿈에 부풀어 시작되었던 석사 생활 2년이 어느덧 마침표를 향해 가고 있습니다. 처음의 생각과 달리 만만치 않았던 석사 과정 생활에 많이 당황하기도 했었지만, 많은 분들의 도움으로 현재에 이를 수 있었기에 서면으로나마 심심한 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저 여러모로 부족했던 저에게 많은 실망도 하셨지만 끝까지 믿어주신 변희룡 교수님께 깊이 감사드립니다. 끊임없는 연구에 대한 갈증으로 24시간도 부족하심에도 불구하고 애정 어린 격려와 충고를 아끼지 않고 해주셨기에 본 연구를 마무리 지을 수 있었습니다. 항상 교수님의 가르침과 그 열정을 기억하며 저 또한 열의를 가지고 앞으로 나아가겠습니다. 본 연구가 양질이 될 수 있게끔 따끔한 조언과 세심한 심사를 해주신 정형빈 교수님과 이동인 교수님께도 감사의 말씀드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 본 연구에 많은 관심을 가져주신 오재호 교수님께도 감사합니다. 그리고 지금의 제가 있기까지 많은 도움을 주신 환경대기과학과 권병혁, 김재진, 옥곤 교수님께도 감사의 말씀 전합니다.

물신양면으로 항상 옆에서 파이팅을 외쳐준 방재기상연구실 실 선후배님께 또한 제 기쁜 마음을 전하고 싶습니다. 우선 미국에서 왕성한 활동을 하고 계신 임병환 선배님, 귀중한 조언을 후배들에게 아끼지 않으시는 임장호 선배님 항상 감사하고

또한 존경합니다. 그리고 늘 낙관적인 사고를 할 수 있게 도와 주신 김기훈 선배님, 현실을 객관적으로 직시할 수 있게 도와 주신 최기선 선배님, 늘 당근과 채찍을 동시에 주셨던 한상은 선배님께도 깊이 감사드립니다. 비록 함께한 시간은 짧지만 후배들의 앞길에 서서 열심히 뛰고 계시는 서동일 선배님께도 감사드립니다.

지금 제 옆자리에서 열심히 연구하고 계시는 상민선배, 언제나 후배를 먼저 위해 주시고, 함께 나아가자 애써주셔서 감사했고, 저의 많은 불평, 불만에도 묵묵히 지켜보고 힘이 되어주신 도우선배, 우유부단한 저와는 달리 판단력 있는 모습을 보여주셨던 태희언니, 매사에 최선을 다하시어 후배들의 좋은 귀감이 되었던 유원언니, 많이 당황하고 힘들어할 때 늘 이해해주고 힘이 되어주신 갑영선배, 까칠한 후배임에도 불구하고 친자매처럼 애정으로 보살펴주신 영임언니, 멀리 계시면서도 격려를 마다하지 않으셨던 민선언니, 혜숙언니, 수정언니, 상성선배, 상훈선배께도 정말 감사합니다. 또한 후배라는 이유하나만으로 아껴주시고 많은 도움을 주셨던 호성선배, 기철선배, 아정언니께도 저의 마음을 전합니다. 지금까지 함께 고군분투하며 서로에게 힘이 되어준 장상민 선배께도 고마운 마음을 전합니다.

조용하지만 영특하고 때로는 엉뚱한 Tiger Choo 성호, 항상 재잘대고 주의가 산만하지만 선배들께 최선을 다하는 초딩 정은, 특이한 곳곳 걸음걸이와 개그맨 윤택처럼 한 박자 느린 것이 매력인 FM 지선에게도 고마운 마음을 전합니다.

멀리 고향에서 희로애락을 함께해준 막역지우 미혜, 민주, 다람, 타지 생활에 잘 적응할 수 있게 도와준 지혜, 미희, 시옥, 재영에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로, 항상 책임감과 객관적 판단력을 강조하시어 엄격하시기도 하지만 보이지 않는 이면에서 끈임없는 사랑과 지지를 보내주신 아버지, 항상 저를 위해 기도해주시고, 격려와 용기를 불어 넣어주신 어머니, 늘 본인으로 인해 많은 것을 받지 못했노라 미안해하며 아낌없는 사랑을 주는, 세상에서 가장 좋아하는 우리 오빠, 정말 사랑하고 감사합니다.

그 밖에 도움을 주신 모든 분들께 일일이 인사를 드리지 못한 점 양해를 바라며, 대신 제게 주신 지대한 관심과 기대에 부응하고자 더욱 열심히 뛰겠습니다. 다시 한 번 진심으로 감사의 말씀 전합니다.

