

# 북한 혜산시 50년간 가뭄과 홍수변화\*

金石柱\*\* · 이민부\*\*\* · 김남신\*\*\*\* · 金愛芬\*\* · 朱哲\*\*\*\*\*

## A Study on the Flood and Drought During 50 year in Hyesan City of North Korea\*

Jin, Shizhu\*\*, Lee, Min-Boo\*\*\*, Kim, Nam-Sin\*\*\*\*, Kim, Aifen\*\*, Zhu, Zhe\*\*\*\*\*

**요약**: 본 연구는 북한 혜산시의 1957년에서 2006년 사이의 강수량 데이터를 이용하여 Z지수를 지표로 가뭄과 홍수의 변화 과정을 분석하였다. 50년 동안 혜산시 지역의 가뭄과 홍수 출현 빈도를 연도별 및 사계절별로 구분하여 소과형 기법으로 분석하였다. 분석 결과 혜산시의 연도별 및 사계절별 가뭄과 홍수의 발생빈도는 24% 이상으로서 가뭄과 홍수 재해가 빈번하였다. 다항식적합(Polynomial Fit)과 주기분석 결과, 가을철의 가뭄과 홍수는 수십년간(inter-decadal) 특징이 뚜렷하고 연도별 및 봄, 여름 및 겨울에는 수년간(inter-annual) 특징이 잘 나타난다. 최근에는 가을에 가뭄이 많고 연도별과 봄, 여름 및 겨울에는 홍수가 많았다.

**주요어**: 혜산시, Z지수, 가뭄과 홍수, 변화특징

**Abstract**: The study deals with classification of drought-flood intensity using Z index based on the precipitation data in Hyesan of the past 50 years(1957~2006). The frequencies of years and four seasons of flood drought and their change features have also been analyzed based on tendency analysis and MESA and wavelet methods. Results show that the annual and seasonal frequencies of flood-drought exceed 24% in Hyesan and flood-drought disasters have been high frequency. Inter-decadal variability seems to be clear in autumn but those of inter-annual variability are obvious in other three seasons and years. Recently the probability of drought disaster become higher in autumn. The flood disaster in other three seasons and years are estimated to become higher in the future.

**Key Words**: Hyesan, Z index, wavelet method, flood and drought, characteristics of variability

### 1. 서론

기후변화는 가뭄과 홍수와 같은 기상재해를 유발하기 때문에 여러 나라의 수자원과 식량생산 및 에너지 문제에 대해 커다란 영향을 주고 있다. 북한 함경남도 혜산시는 동아시아 하계 계절풍의 북부 변두리에 위치해 있기 때문에 기후환경 변화에 비교적 민감하게 반응하는 지역의 하나이고 가뭄과 홍수가 빈번히 발생하는 지역의 하나이다(鄧自旻 등, 1997). 따라서 가뭄과 홍수의 발생에 대해 객관적으로 분석하고 예측하는 것은 이 지역에서 기상재해에 대처함에 있어 매우 중요한 근거가 된

다. 물론 가뭄과 홍수에 대한 기준은 분석 부문에 다소 차이가 있다.

일반적으로 수문 부문에서는 하천 유출량으로, 농업부문에서는 토양습도를, 기상부문에서는 강수량의 정도를 가뭄과 홍수의 기준으로 한다. 비록 여러 부문에서 가뭄과 홍수를 가늠하는 기준이 서로 다르지만 이들 기준 사이에는 밀접한 관계가 있다. 물론 각 부문의 기준들은 그 사용에 한계가 있으므로 그 한계점에 대한 고려가 있어야 한다.

선행연구들에서 보면 기상 부문에서 강수량을 이용한 Z지수를 한 지역의 가뭄과 홍수 등급을 구분하는 기준으로 이용하는 것이 많다(鞠笑生 등,

\* 이 논문은 2007년도 정부(교육인적자원부 기초연구과제 인문사회)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-B00197).

\*\* 연변대학 지리학과 부교수(Associate professor, Department of Geography, Yanbian University, China)(jinsz@hanmail.net)

\*\*\* 한국교원대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, KNUE), 교신(minblee@knue.ac.kr)

\*\*\*\* 전남대학교 지리교육과 강사(Lecturer, Department of Geography Education, CNU)(kns9027@dreamwiz.com)

\*\*\*\*\* 한국교원대학교 지리교육과 박사과정(Graduate Student, Department of Geography Education, KNUE)

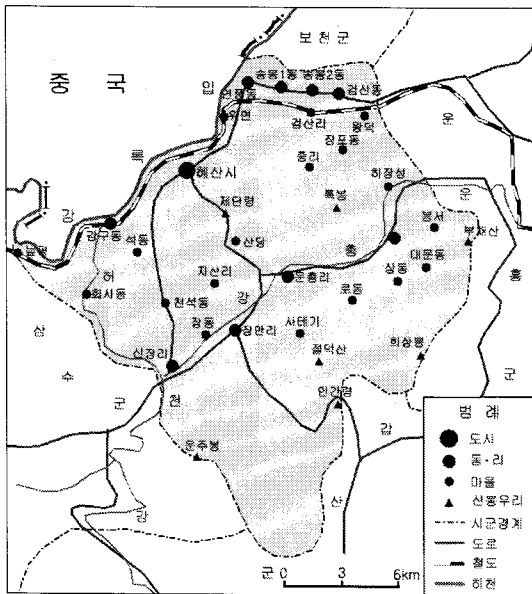


그림 1. 헤산시 행정구역도

1997; 朱業玉 등, 2006; 李永華 등, 2008). 본 연구에서도 Z지수를 이용한다. 연구에 사용된 기상 자료들은 북한의 헤산시와 인접한 중국 장백현 (Chang Bai Xian) 기상관측소의 1957~2006년간의 강수량 측정 데이터이다. 이 두 지역은 압록강을 사이 두고 인접하여 기후 특징과 지형이 비슷하기 때문에 장백현 자료를 이용해도 분석에 큰 무리가 없을 것으로 본다(그림 1).

## 2. 연구 데이터와 가뭄-홍수 지표

본 연구에서는 1957~2006년간 장백현의 강수

량 자료를 이용하고 연구의 편의를 위해 이 자료들을 다시 연도(1~12월), 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~이듬해 2월)로 나누었다. 각 지역의 해당 기간 내의 강수량은 표준분포보다는 퍼슨 III형(Person-III형)의 분포에 가깝다. 따라서 강수량을 표준화 처리하고 이를 다시 Z지수를 변수로 하는 표준정규분포(Standard Normal Distribution)로 전환했다. 그 공식은 다음과 같다.

$$Z_i = \frac{6}{c_s} \left( \frac{c_s}{2} \phi_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{c_s} + \frac{c_s}{6} \quad (1)$$

위의 공식에서  $c_s$ 는 왜도계수(Coefficient of Skewness)이고  $\phi_i$ 는 표준변량이며  $c_s$ 와  $\phi_i$ 는 강수량 데이터를 이용하여 계산한 것이다. 그 계산 공식은 다음과 같다.

$$c_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^3}{n\sigma^3} \quad (2)$$

$$\phi_i = \frac{R_i - \bar{R}}{\sigma} \quad (3)$$

그 중  $\bar{R}$ 는 50년간 강수량의 평균치이고  $\sigma$ 는 표준차이다. 그 계산 공식은 다음과 같다.

표 1. Z지수에 따른 가뭄과 홍수 등급 지표

등급	유형	Z지수 범위	누적 빈도 Accumulative frequency
1	심한 홍수	$Z \geq 1.645$	$95\% < P(Z)$
2	큰 홍수	$1.0367 < Z \leq 1.645$	$85\% < P(Z) \leq 95\%$
3	작은 홍수	$0.5244 < Z \leq 1.0367$	$70\% < P(Z) \leq 85\%$
4	정상	$-0.5244 \leq Z \leq 0.5244$	$30\% \leq P(Z) \leq 70\%$
5	작은 가뭄	$-1.0367 \leq Z < -0.5244$	$15\% \leq P(Z) < 30\%$
6	큰 가뭄	$-1.645 \leq Z < -1.0367$	$5\% \leq P(Z) < 15\%$
7	심한 가뭄	$Z < -1.645$	$P(Z) < 5\%$

출처: 鞠笑生·楊賢章·陳麗娟·王有民, 我國單站旱澇指標確定和區域旱澇級別劃分研究, 應用氣象學報, 8(1), 1997, 26-33.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2} \quad (4)$$

위의 4개 공식을 이용하여 해산시 연도별 및 사계절 Z지수를 얻을 수 있다. 이 지수를 이용하여 아래의 <표 1>과 같이 해산시의 연별 및 사계절 가뭄과 홍수의 등급을 정한다. 보다 합리적인 가뭄과 홍수가 나타나는 비율 분포를 얻기 위하여 Z지수에 따른 가뭄과 홍수의 등급 구분의 한계수치는 표준정규분포로 결정한다(鞠笑生 등, 1997).

### 3. 해산시의 홍수와 가뭄 분석

#### 1) 50년간 홍수와 가뭄 빈도 분석

1957~2005년 사이의 강수량을 이용하여 각 연도별 및 사계절의 Z지수를 계산하여 <표 2>와 같이 가뭄과 홍수 등급이 나타나는 비율을 계산하였다.

<표 2>에서와 같이 연도별에서 심한 홍수가 나타나는 비율은 전체 50년 중 6.1%이고, 큰 홍수와 작은 홍수가 나타나는 비율은 20.4%이며 모든 홍수(심한 홍수, 큰 홍수, 작은 홍수)가 발생하는 비율은 26.5%이다. 심한 가뭄이 나타나는 비율은 4.1%이고 큰 가뭄과 작은 가뭄이 나타나는 비율은 22.4%이며 모든 가뭄(심한 가뭄, 큰 가뭄, 작은 가뭄)이 나타나는 비율은 26.5%이다. 봄철에 홍수가 나타나는 비율은 약 26.4%이고 가뭄은 24.5%이다. 여름에 홍수가 나타나는 비율은 24.5%

이고 가뭄은 26.5%이다. 가을에 홍수가 나타나는 비율은 28.6%이고 가뭄은 30.6%이다. 겨울에 홍수가 나타나는 비율은 34.7%이고 가뭄은 26.5%이다. 이를 토대로한 일반적인 경향을 보면 해산시는 연도별과 계절별에 상관없이 가뭄과 홍수가 나타나는 비율이 비교적 크며 가뭄과 홍수피해는 해산시의 주요한 기상재해의 하나임을 알 수 있다.

#### 2) 가뭄과 홍수 변화 추세와 평균주기 분석

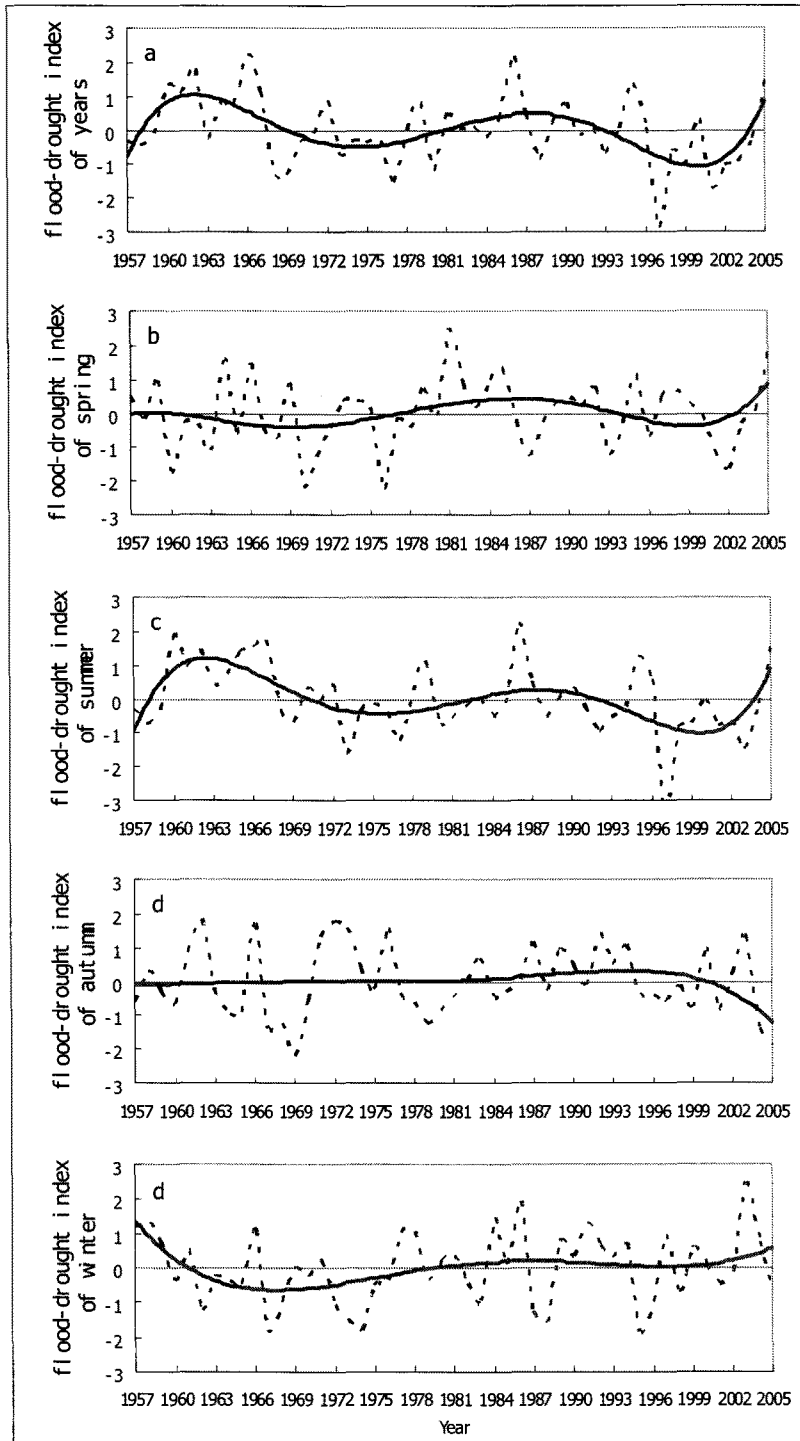
해산시 가뭄과 홍수의 연도별 변화 특징을 살펴보기 위하여 다항식접합(Polynomial fitting) 방법을 사용하였다. <그림 2~5>는 1957~2006년간 해산시 연도별 및 사계절 가뭄과 홍수 지수의 변화 및 5개 등급의 5번째 곡선접합(Fifths Order Polynomial Fit Curve)이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 1957년 이래, 해산시의 가뭄과 홍수 변화는 6개의 단계를 거쳤다. 1958년 이전에는 가뭄이 우세하였고, 1958~1969년은 홍수가 우세하였으며, 1970~1981년은 다시 가뭄이, 1982~1992년 사이는 홍수가 우세하였으며, 1993~2004년은 가뭄이, 2005년 이후는 홍수가 우세하였다.

봄철의 해산시 가뭄과 홍수 변화는 4개 단계를 거쳤다. 1960~70년대 중반까지는 가뭄이 우세하였고, 1970대 후반부터 1980년대 초반까지는 홍수가 우세하였고 1990년대 중반부터 2000년대 초반까지는 가뭄이 우세하였으며 그 이후 시기는 홍수가 우세하였다.

여름철에 해산시 가뭄과 홍수 변화는 6개 단계

표 2. 해산시 50년간 연별과 사계절별 가뭄과 홍수 등급이 나타나는 연도수와 비율 단위: 년(%)

등급	1급	2급	3급	4급	5급	6급	7급
연별	3 6.1	5 10.2	5 10.2	23 46.9	6 12.2	5 10.2	2 4.1
봄	2 4.1	4 8.2	7 14.3	24 49.0	3 6.1	5 10.2	4 8.2
여름	3 6.1	6 12.2	3 6.1	24 49.0	9 18.4	3 6.1	1 2.0
가을	3 6.1	7 14.3	4 8.2	20 40.8	9 18.4	4 8.2	2 4.1
겨울	2 4.1	6 12.2	9 18.4	19 38.8	5 10.2	5 10.2	3 6.1



(a, b, c, d, e는 각각 연별, 봄, 여름, 가을, 겨울철의 가뭄-홍수 지수 변화 곡선이다. 그림에서 굵은 선은 5개 등급의 다항식곡선적합(Polynomial Fit Curve)이고 점선은 원시 데이터)

그림 2. 헤산시 연별 및 사계절 가뭄-홍수지수의 변화

를 거쳤다. 1958년 이전에는 가뭄이, 1958~1970년 사이는 홍수가 우세하였다. 1971년부터 1982년까지는 다시 가뭄이, 1983~1991년 사이는 홍수가 우세하였으며, 1992~2004년 사이는 가뭄이 우세하였고, 그 이후는 홍수가 우세하여 연도별 변화와 비슷함을 알 수 있다.

가을철에는 주로 3단계의 변화를 보여준다. 1980년대 이전까지는 가뭄과 홍수가 뚜렷하지 않았지만, 1980년대 초반부터 1990년대 말까지는 홍수가 우세하였으며 2000년대에 들어서서는 가뭄이 우세하였다.

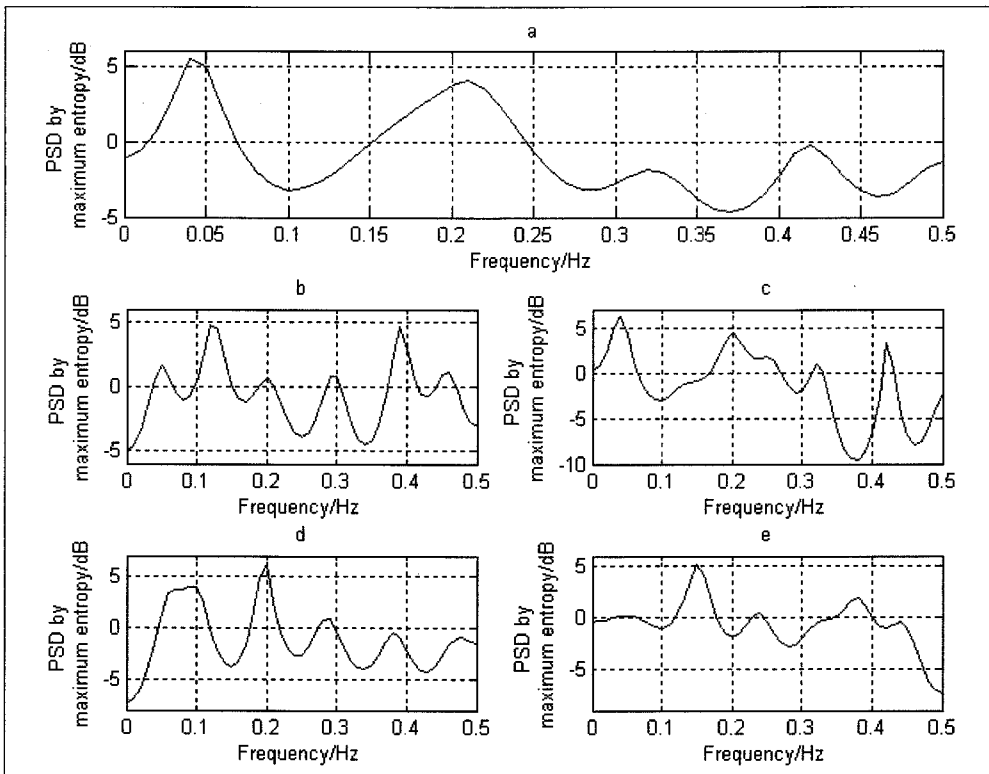
겨울철도 역시 3단계의 변화를 거쳤다. 1960년대 이전까지는 홍수가 우세하였고, 1960년대에서 1970년대 후기까지는 가뭄이 우세하다가, 다시 1980년대 이후에는 홍수가 우세하였다. 특히 2000년대에 들어서서 홍수가 더욱 심해졌음을 알 수 있다.

결론적으로 해산시의 연도별 및 사계절 가뭄과

홍수 변화는 단계적 변화 특징이 있음을 알 수 있다. 가을철에는 가뭄이 우세하고 연도별과 봄, 여름, 겨울철은 모두 홍수가 우세함을 알 수 있다.

가뭄과 홍수 변화의 평균우세주기(Mean Distinct Period)는 최대 엔트로피 과장분석(MESA, Maximum Entropy Spectrum Analysis) 방법을 이용하였다. 이 방법은 일반 과장분석보다 변별력이 높고 최고치 편차가 적어 많이 사용하는 방법이다(丁裕國·江志紅, 1998; 馬開玉 등, 1993).

〈그림 3〉은 해산시의 연도별 및 사계절의 가뭄과 홍수 지수를 MESA 방법을 이용하여 분석한 결과이다. 이 그림은 14차 필터(Filter Order 14)를 이용하여 예측한 과장(Power Spectrum)이다. 그림 중의 최대 엔트로피 과장(Maximum Entropy Power Spectrum)에서 최대치가 나타나는 데 이에 대응하는 주기가 곧 서열이 존재하는 평균우세주기(Mean Distinct Period)이다. 따라서 주기는 빈도의 역이 된다. 그림 3a에서 알 수 있듯이, 해산시의 연도별



(a, b, c, d, e에서 종좌표는 각각 연별, 봄, 여름, 가을, 겨울철의 MESA곡선이고 횡좌표는 비율)

그림 3. 해산시 연별 및 사계절 가뭄-홍수 지수의 MESA분석

가뭄-홍수 지수는 25년 과 4.8년이라는 뚜렷한 주기를 나타내고 봄철<그림 3b>은 8.3년과 2.6년, 여름철<그림 3c>은 25년과 5년, 가을철<그림 3d>은 5년과 11.1년, 겨울철<그림 3e>은 6.7년이라는 뚜렷한 주기를 나타내고 있다. 즉, 평균 주기 분석에서 알 수 있듯이, 연도별과 여름철의 가뭄-홍수는 수십년간(Inter-Decadal) 특징이 뚜렷하고 기타 3개 계절은 수년간(Inter-Annual) 특징이 뚜렷하다.

### 3) 가뭄-홍수의 시계열 분석

MESA 분석은 많은 장점이 있지만 그 단점으로는 주기에 한해서만 변별력이 높고 시간에 대해서는 변별력이 낮다는 것이다. 따라서 그 보완으로 계산상의 장기간에 걸친 가뭄-홍수 특징을 분석하기 위하여 소파장분석(Wavelet Analysis)을 이용하였다. 소파장분석은 최근 응용수학 영역에서 이용되고 있는 비교적 새로운 방법이다. 이 분석에서 플렉스(Flex) 방법과 병렬이동(Parallel Moving) 계산을 이용하면 자료의 신호에 대해 다중규모 세분화 분석(Multi-Scale Classification Analysis)을 할 수 있어 한정된 시간과 공간 영역에서 다중규모, 비정상상태 과정까지도 분석할 수 있어 MESA 방법의 단점을 보완할 수 있다. 본 연구에서 사용한 기본 웨이브렛함수는 복소수 형태이며, 연속 소파장(Continuous Wavelet)인 모아렛 소파장(Morlet Wavelet)을 사용하였다(吳洪·吳蕾, 2005). 계산의 편의를 위하여 먼저 데이터의 서열에서 바로 앞과 뒤의 것을 하나의 샘플 길이로 연장하고 변환한 후에 다시 연장한 부분을 삭제하였다. 그 래프의 최대 주기는 15년으로 잡았다.

모아렛 소파장은 복합 소파장(Complex Wavelet)으로서 소파장 계수의 모델 크기는 각 주기 성분 강도의 시간에 따른 변화를 나타낼 수 있다. 다만 짧은 주기의 분산(Variance) 기여 백분율은 긴 주기에 비해 크다(吳洪·吳蕾, 2005).

<그림 4>는 연도별, 계절별(봄, 여름, 가을, 겨울철) 가뭄-홍수 지수의 소파장별 영역(Wavelet Power Spectrum)를 보여주고 있다. <그림 4a1>을 보면, 연별 가뭄-홍수 지수의 소파장 변형(Wavelet Transform)은 두 개의 가장 큰 진동 중심이 존재하는데 하나는 1957년부터 1970년대 초반까지이고 다른

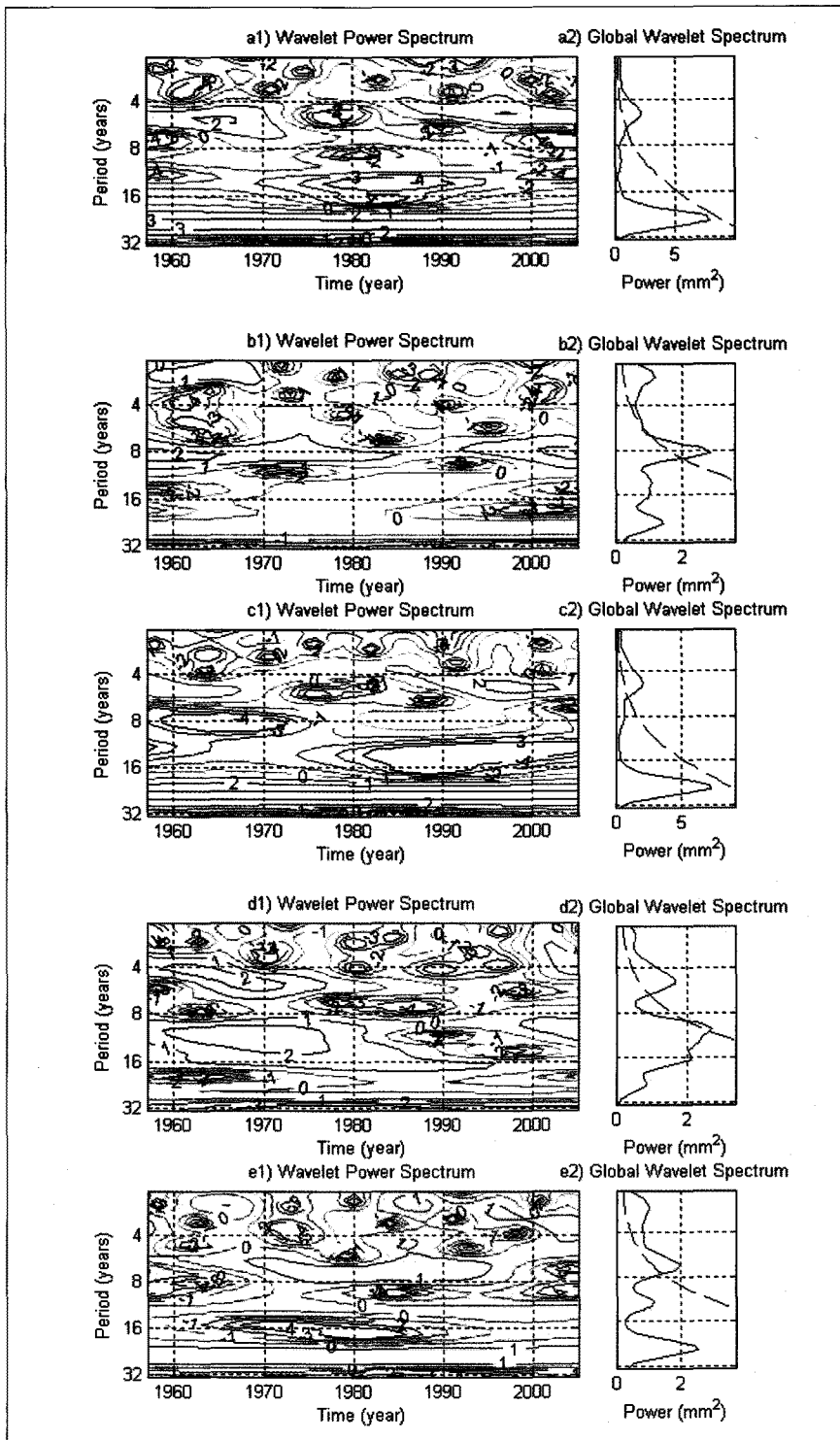
하나는 1980년대 중반부터 2005년까지이다. 그 주기는 대체적으로 4~6년으로 이는 주기가 4~6년인 진동이 가장 뚜렷함을 의미한다. 1957~2006년 사이에 비록 25년의 주기가 존재하지만 유의성검정(Significance Test)에는 미치지 못하였다. 봄철에는 주로 4개의 가장 큰 진동중심이 존재한다(그림 4b1). 그 중 1957~1980년대 중반과 1990년대 초반부터 2005년까지는 8년 내외의 주기가 뚜렷하고 1957~1960년대 말까지는 2년 내외의 주기가 나타났다. 1980년대 중반 이전에는 또한 3년 내외의 주기도 나타났다. <그림 4c1>에서 알 수 있듯이 여름철에는 5년 내외의 주기가 나타났는데 각각 1957~1960년대 중반과 1980년대 중반에서 2005년 사이이다. 1957~2005년까지 비록 25년 주기가 나타났지만 유의성검정을 통과하지 못하였다. 가을철에는 4개의 주요한 진동중심이 존재한다. 즉, 1957~1970년대 중반에 4~6년의 주기와 1957~1980년대 중반에 있어서의 8~16년의 주기가 나타났고, 2000년 이후 잠시 3년 내외의 주기도 나타났다. 겨울철<그림 4e1>에는 1960년대 말에서 1990년대 중반 사이에 6~8년의 주기가 뚜렷하다.

## 4. 결론

해산시 가뭄과 홍수 지표의 변화특징에 대해 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 해산시의 연도별과 사계절 가뭄-홍수 발생 빈도는 24%이상으로서 가뭄-홍수피해가 비교적 빈번하였다

둘째, 1957년 이래 해산시의 연도별 가뭄-홍수 변화는 6 단계를 거쳤다. 1958년 이전에는 가뭄시기, 1958년에서 1969년 사이는 홍수시기, 이후부터 1981년까지는 가뭄시기, 1982년에서 1992년 사이는 홍수시기, 1993년에서 2004년까지는 가뭄시기, 그 후부터는 홍수가 우세하였다. 그리고 여름철의 가뭄-홍수도 6 단계를 거쳤다. 1958년 이전에는 가뭄시기, 1958년에서 1970년 사이는 홍수시기, 그 후부터 1982년까지는 가뭄시기, 1983년에서 1991년 사이는 홍수시기, 1992년에서 2004년 사이는 가뭄시기, 그 이후부터는 홍수가 우세하였는데 이는 연중 가뭄-홍수변화와 유사하다.



(a, b, c, d, e는 각각 연별, 봄, 여름, 가을, 겨울철의 상황)

그림 4. 혜산시 가뭄-홍수지수의 Wavelet power spectrum

셋째, 평균주기로 볼 때, 가을철의 가뭄-홍수의 연대별 수십년간(Inter-Decadal) 특징이 뚜렷하고 그 외 다른 연별 및 봄, 여름, 겨울철의 수년간 특징도 뚜렷하다.

넷째, 최근의 연도별 가뭄-홍수의 변화 추세를 살펴보면 전반적으로 홍수가 우세하다. 보다 세부적으로 살펴보면 가을철은 가뭄이 우세하여 가뭄이 나타날 확률이 비교적 높다. 그러나 겨울을 제외한 나머지 3개 계절은 홍수가 우세하다.

해산시의 연도별 및 사계절 가뭄-홍수는 단계적으로 변화하는 특성을 갖고 있으며 어떤 단계의 수년간(Inter-Annual) 특징도 뚜렷하여 홍수-가뭄의 변화는 상당히 복잡하여 분석상의 오차는 어느 정도 인정이 된다. 분석 방법과 분석 기준에 따라서도 어느 정도 변이는 있음을 인정한다. 본 논문에서 사용한 기상 자료는 중국에서 관측된 것이며, 참고로 인용된 문헌들도 중국이 많아, 우리나라의 자료와 문헌을 이용하지 못한 한계점이 있다. 그러나 이러한 한계점은 중국의 연구와 분석 경향을 알 수 있는 계기도 된다는 점은 인정할 수 있을 것으로 본다.

## 문헌

- 鄧自旺·林振山·周曉蘭, 1997, 西安市近50a來氣候變化多時間尺度分析, 高原氣象, 16(1), 81-93.
- 丁裕國·江志紅, 1998, 氣象數據時間序列信號處理, 氣象出版社.
- 鞠笑生·楊賢章·陳麗娟·王有民, 1997, 我國單站旱澇指標確定和區域旱澇級別劃分研究, 應用氣象學報, 8(1), 26-33.
- 李永華·高陽華·唐雲輝, 2008, 重慶城區近百余年旱澇變化, 高原氣象, 27(1), 162-168.
- 李永華·劉德·向波, 2003, 重慶市近50a來高溫變化多時間尺度分析, 氣象科學, 23(2), 325-331.
- 劉德·李永華·何卷雄, 2003, 重慶市夏季氣溫及降水變化的小波分析, 高原氣象, 22(2), 173-178.
- 馬開玉·丁玉國·屠其璞·么枕生, 1993, 氣候統計原理與方法, 氣象出版社.
- 謝庄·曹鴻興·李慧, 2000, 近百余年北京氣候變化的小波特徵, 氣象學報, 58(3), 362-369.
- 薛宇峰, 2000, 近50年來湛江, 韶關氣候變化的小波分析, 廣東氣象, 29(1), 29-32.
- 尤衛紅·段長春·趙寧坤, 2006, 夏季南疆高壓年際變化的特徵和時間尺度及其時空演變, 高原氣象, 25(4), 601-608.
- 朱業玉·王記芳·武鵬, 2006, 降水乙指數在河南旱澇監測中的應用, 河南氣象, (4), 20-22.
- 吳洪寶·吳蕾, 2005, 候變率診斷和豫測方法, 氣象出版社.
- Torrence, C. and Compo, G.P., 1998, Practical guide to wavelet analysis, Bulletin of the American Meteorological Society, 79(1), 61-78.
- Wu, S. and Liu, Q., 2005, Some problems on the global wavelet spectrum, Journal of Ocean University of China, 4(4), 398-402.
- Le, G and Wang, J., 2003, Wavelet analysis of several important periodic properties in the relative sunspot numbers, Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, 3(5), 391-39.
- 교신 : 이민부, 363-791, 충북 청원군 강내면 다락리 산 7번지 한국교원대학교 지리교육과, minblee@knue.ac.kr, 전화: 043-230-3630, 팩스: 043-231-4948  
Correspondence: Min-Boo Lee, 363-791, Cheongwon, Chungbuk, Korea. Department of Geography Education, Korea National University of Education, Phone: 043-230-3630, Fax: 043-231-4948

(접수: 2010.3.4, 수정: 2010.3.31, 채택: 2010.4.20)