

# 질량모멘트 개념을 이용한 시공간적 가뭄해석기법의 적용성 분석

## The Applicability of Analysis Scheme for Spatio-Temporal Droughts Using Mass Moment Concept

유지영\* / 소병진\*\* / 김태웅\*\*\* / 권현한\*\*\*\*

Yoo, Ji Young / So, Byung Jin / Kim, Tae Woong / Kwon, Hyun Han

### Abstract

In this study, to analyze travelling route and transition characteristics which is a spatial time interpretation method now actively progressed in domestic as well as abroad, it was intended to develop new drought interpretation technique which can decide the centroid and orbit of drought through assuming ellipse using Mass Moment concept. First of all, after estimating Standard Precipitation Index (SPI) per different precipitation observatory station to extract drought events, by selecting precipitation sites where drought starting and end point are same, these were categorized as CASE. As a results, with various CASE selections falling in specific duration for monthly drought analysis, it is possible to find out drought area that additionally occurred, and drought reliving process could be confirmed more definitely. Therefore, if the research methods adopted in this study for drought monitoring are utilized, not only accurate spatio-temporal drought analysis is possible, also pattern of drought centroid movement can be analyzed by establishing statistically significant spatial characteristics data after separating all the drought events that occurred sporadically in Korea Peninsula.

**Keywords** : drought, standardized precipitation index (SPI), mass moment, ellipse, spatio-temporal analysis

### 요 지

본 연구에서는 새로운 시공간적 가뭄해석 방법을 제안하기 위해, 강우관측지점별 가뭄사상을 추출하여 가뭄사상의 시작 시점이 동일한 강우관측지점을 선정하여 CASE를 구분하였다. 그 결과 SPI3에서는 36개, SPI6에서는 38개, SPI9에서는 40개, SPI12에서는 39개의 CASE가 분석대상으로 선정되었으며, 이를 이용한 연구방법의 적용성을 검토하기 위해, 과거 우리나라의 대표적 가뭄사상으로 알려진 장기가뭄과 단기가뭄에 대한 시공간적 가뭄발생특성을 재현하여 비교분석한 결과, 실제 과거가뭄사상에 잘 부합하는 것으로 확인되었다. 또한, 가뭄의 이동경로 및 전이특성을 분석하기 위한 방안으로 질량모멘트 개념을 이용하여 가뭄의 중심 및 영향권을 결정하는 새로운 가뭄해석 기법을 제안하였다. 그 결과 시간의 흐름에 따라 가뭄이 발생한 지역의 순서를 확인할 수 있었으며, 시공간적 가뭄패턴분석을 수행하기 위해서는 크게 두 가지로 구분되는 가뭄의 중심 및 영향권의 변화양상을 선행적으로 고려해야 함을 확인할 수 있었다.

**핵심용어** : 가뭄, 표준강수지수(SPI), 질량모멘트, 타원, 시공간적 분석

\* 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정 (e-mail: 7924pooh@hanyang.ac.kr)

Graduate Research Assistant, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

\*\* 전북대학교 대학원 토목공학과 석사과정 (e-mail: so.b.jin@jbnu.ac.kr)

Master Course, Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

\*\*\* 한양대학교 공학대학 건설환경공학과 부교수 (e-mail: twkim72@hanyang.ac.kr)

Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Ansan 426-791, Korea

\*\*\*\* 교신저자, 전북대학교 공과대학 토목공학과 조교수 (e-mail: hkwon@jbnu.ac.kr, Tel: 063-270-2426)

Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

## 1. 서론

현재 전 세계적으로 온실가스 농도 증가로 호우나 가뭄, 대설 등 지역에 따라서 서로 상반되는 변화를 가져올 수 있다고 경고하였으며(Easterling et al., 2000, Vera et al., 2006), 우리나라에서도 남해안지역과 경기북부지역에서 호우빈도가 증가하는 반면, 충청도 내륙지역과 경상북도에서는 호우빈도가 감소하고 5일 누적 강수량 또한 감소하여, 해당지역에서 가뭄이 발생할 경우 심화될 가능성이 높아진다고 보고된 바 있다(국립기상연구소, 2009). 또한 Boo et al. (2004)은 지역기후모델인 MM5 (27 km 해상도)를 이용한 A2시나리오 실험결과를 통해, 파머가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI)를 산정한 후 가뭄변화를 살펴보았다. 그 결과, 21세기말 우리나라 강수량의 증가에도 불구하고 기온상승에 따른 증발산량과 토양수분함량은 더욱 크게 증가하여 가뭄이 심해질 것으로 추정되었다.

일반적으로 가뭄은 다른 자연재해와 비교하여 복잡한 특성을 갖고 있다. 첫째, 가뭄은 기상학적, 수문학적, 농업적, 사회경제학적 가뭄을 각각 다르게 정의하고 가뭄을 해석한다. 이는 기상, 수자원, 농업 및 사회·경제 각 분야의 가뭄관리 담당자들이 서로 다른 방법을 이용하여 가뭄을 정의하기 때문에, 모든 학문분야나 현장에 적용될 수 있도록 보다 명확하고 일관된 가뭄을 정의하기는 어려운 실정이다. 둘째, 가뭄발생으로 인한 영향은 상당기간 동안 완만히 누적되어 나타나며, 가뭄이 해갈된 후에도 수년 동안 시공간적으로 파급효과가 나타나는 가뭄의 잠행(潛行)현상으로 인해, 가뭄의 시작과 종료시점을 결정하는 데에도 어려움이 발생한다. 하지만 가뭄의 특성상 기타 자연재해와는 달리 진행속도가 느리기 때문에, 비록 가뭄이 진행 중인 상태일지라도 그 진행상황을 초기에 감지할 수 있다면 가뭄에 대한 신속한 대처를 통해 피해를 줄일 수도 있다.

이와 같은 복잡한 가뭄 특성으로 인해, 과거에서 현재까지 다양한 가뭄연구가 선행되었다. 윤용남 등(1997)은 파머가뭄지수(PDSI)를 이용하여 가뭄을 정량화하고, 우리나라의 대표적인 가뭄사상을 대상으로 하여 지속기간에 따른 전국 가뭄지수도를 작성함으로써 가뭄의 공간적 특성을 연구한 바 있다. 또한 김상단 등(2004)과 김보경 등(2006)은 가뭄의 공간적인 분포특성을 고려하여 가뭄심도-면적-지속기간 곡선을 유도하여 가뭄분석을 수행하였고, 경민수 등(2007)은 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI)의 지점간 유사성을 기준으로 하여 군집분석을 실시한 후, 군집별 EOF 분석과 Kriging 기법을 적용하

여 가뭄심도가 가장 큰 지역을 구분하였다. 최근에는 기후변화의 영향에 따른 가뭄을 평가하기 위해, 수문학적 측면에서 가뭄을 정의하고, 현재 및 미래 기후에서의 가뭄심도-영향면적-지속기간 곡선에 대한 비교분석을 통해, 미래연도에는 가뭄심도가 현재보다 더 커질 가능성이 있다고 예측하였다(김호성 등, 2010). 또한 향후 미래의 가뭄을 예측하기 위한 선행연구로, 지역가뭄빈도해석을 수행하여 가뭄발생확률을 산정하였으며, 그 결과 가뭄 지속기간과 재현기간에 따른 가뭄심도를 지역별로 차별성 있게 추정하였다(유지영 등, 2010).

국외에서도 국내의 가뭄연구와 같이 연구목적에 따라 가뭄을 정의하고, 다양한 가뭄연구를 수행하고 있으며, 최근에는 가뭄을 시공간적으로 해석하는 새로운 방안으로 가뭄의 이동경로 및 전이특성을 분석하는 연구가 활발히 이루어지고 있는 실정이다. Peter et al. (2006)은 지하수 수위변화에 따른 가뭄의 시공간적인 전이특성을 분석하였고, Tallaksen et al. (2009)은 공간적으로 누적된 가뭄 특성을 분석하여, 시공간적으로 유역 내 가뭄이 전이되는 가뭄신호를 해석하였다. 또한 Perez et al. (2011)은 CDA (Contiguous Drought Area)와 NCDA(Non-Contiguous Drought Area)의 분석을 통해 공간적으로 발생한 최대가뭄사상을 발견하여, 가뭄의 중심 및 이동경로를 분석하였다.

본 연구에서는 국외에서 활발히 진행되고 있는 시공간적 가뭄해석 방법인 가뭄의 이동경로 및 전이특성을 분석하기 위해, 질량모멘트 개념을 이용하여 타원을 추정된 후 이를 통한 가뭄의 중심 및 영향권을 결정하는 새로운 가뭄해석 기법을 개발하고자 한다. 우선, 기상학적 가뭄지수인 표준강수지수(SPI)를 강우관측지점 별로 산정하여 가뭄사상을 추출한 후, 가뭄사상의 시작 시점이 동일한 강우관측지점을 선정하여 CASE를 구분하였다. 그 후, 월별 가뭄의 공간분포 특성을 분석하기 위해 질량모멘트 개념을 도입하였다. 이는 가뭄발생위치를 나타내어 주는 공간정보(경위도 좌표)와 가뭄크기를 나타내어 주는 SPI를 결합하여 가뭄중심 및 영향권을 결정하며, 그 결과 시간흐름에 따른 가뭄중심의 이동경로 및 영향범위 파악이 가능한 시공간적 가뭄분석을 수행하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 가뭄지수 산정

일반적으로 가뭄을 평가하기 위해 가뭄지수를 산정하며, 이를 산정하기 위해서는 강우, 용설, 하천유량, 지하수 등 물공급 관련 자료를 이용하여 가뭄 상황을 파악할 수 있

는 지표들이 활용되어 진다. 가뭄지수 중 비교적 가장 널리 활용되고 있는 가뭄지수로는 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI), 파머가뭄지수(Palmer Drought Severity Index, PDSI), 지표수공급지수(Surface Water Supply Index, SWSI) 등이 있으며, 본 연구에서는 다양한 가뭄지수 중 비교적 자료구축에 제약조건이 적은 월강수량을 이용하여, 누가 강수량을 표준 정규 확률밀도함수의 분위수로 전환한 값으로 계산되는 SPI를 이용하였다(McKee et al., 1993). SPI는 습윤 및 가뭄정도를 정의하기 위해 Table 1과 같은 SPI값으로 가뭄을 분류하며, 임의의 시간 규모에 적용될 수 있는 가뭄사상에 대한 기준을 명시하였다. 가뭄지수가 특정 평균수준(혹은 절단수준) 이하의 값이 지속적으로 나타날 때 가뭄이 발생한다. 그러므로 각 가뭄사상은 시작과 끝으로 확정되는 지속기간(Duration)을 가지며, 이때 지속되는 월에 대한 가뭄심도(Severity)를 갖게 된다.

## 2.2 분석대상 선정

본 연구에서는 강우관측지점별 월 강수량 자료를 이용하여 SPI 값을 산정하였다. 각 SPI 값에 대하여 Yevjevich (1967)에 의해 제안된 연속이론(Run Theory)과 McKee et al. (1993)의 제안에 의한 절단수준(SPI=-1)에 의해 가뭄사상을 정의한 후, 일반적으로는 추출된 가뭄사상을 이용

하여 가뭄의 지속기간(Duration)과 심도(Severity)를 결정하여 가뭄분석을 수행한다. 하지만 본 연구에서는 시간 흐름에 따른 가뭄사상의 공간적 변화를 분석하기 위해, 가뭄이 시작된 가뭄사상의 시작 월을 기준으로 하여 가뭄이 시작된 시점이 동일한 강우관측지점을 구분한 후 가뭄 분석을 수행하고자 한다. 예를 들어 1973년 9월~1974년 1월 기간의 7개 강우관측지점별 SPI 산정결과가 Table 2와 같다면, 가뭄 절단수준(SPI=-1)에 의해 Table 3과 같이 가뭄이 정의된다. 그 후 가뭄사상의 시작 월을 기준으로 하여 가뭄이 시작된 시점이 동일한 강우관측지점을 선정 하면, CASE 1 (Station1, Station2, Station3), CASE 2 (Station6, Station7), CASE 3 (Station4, Station5)과 같이 구분되어진다. 또한, 각 CASE내 소속된 강우관측지점별 가뭄 지속기간은 서로 상이할 수 있으며, CASE내 최대 가뭄지속기간을 갖는 강우관측지점에 의해 CASE의 분석 기간이 결정된다.

본 연구에서는 기상청 산하 55개 강우관측소(도서지역 제외)에 대한 1973년부터 2008년까지의 장·단기 가뭄특성을 정량화하기 위하여 3개월, 6개월, 9개월, 12개월의 이동평균강수량을 이용하여 표준강수지수(SPI3, SPI6, SPI9, SPI12)를 산정하였다(McKee et al., 1993). 그 후, 각 강우관측지점별 추출된 가뭄사상에 대하여 가뭄이 발생한 시점이 동일한 강우관측지점을 기준으로 각 CASE를 구분

Table 1. SPI and Moisture Categories

SPI Values	Drought Category
More than 2.00	Extreme wet
1.99 to 1.50	Severe wet
1.49 to 1.00	Moderate wet
0.99 to -0.99	Normal
-1.00 to -1.49	Moderate drought
-1.50 to -1.99	Severe drought
Less than -2.00	Extreme drought

Table 2. The SPI for 7 Weather Observation Stations

Year	Month	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1973	9	-1.11	-1.18	-1.54	-0.72	-0.48	0.49	-0.04
1973	10	-1.41	-1.72	-1.65	-0.98	-0.86	-1.13	-1.02
1973	11	-1.62	-1.72	-1.70	-1.23	-1.27	-1.12	-1.09
1973	12	-1.47	-0.46	-1.53	-1.15	-1.18	-0.07	-0.88
1974	1	-1.90	-0.23	-1.91	-1.43	-1.36	-0.94	-0.41

Table 3. The SPI Considering Threshold for 7 Weather Observation Stations

Year	Month	Station1	Station2	Station3	Station4	Station5	Station6	Station7
1973	9	-1.11	-1.18	-1.54	0	0	0	0
1973	10	-1.41	-1.72	-1.65	0	0	-1.13	-1.02
1973	11	-1.62	-1.72	-1.70	-1.23	-1.27	-1.12	-1.09
1973	12	-1.47	0	-1.53	-1.15	-1.18	0	0
1974	1	-1.90	0	-1.91	-1.43	-1.36	0	0

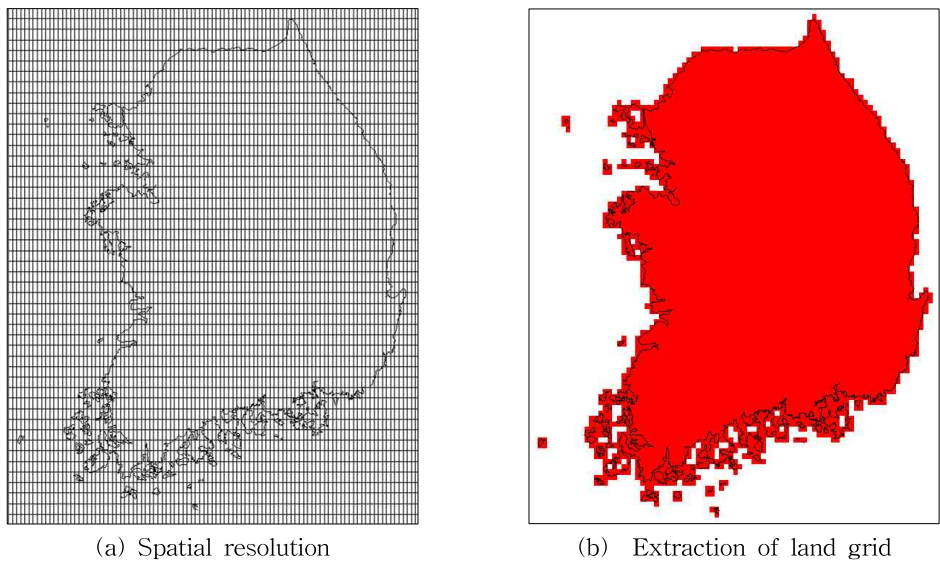


Fig. 1. The Space Grid Considering the Land Area of the Korea Peninsula

하였다. 그 결과 SPI3에서는 36개, SPI6에서는 38개, SPI9에서는 40개, SPI12에서는 39개의 CASE가 분석대상으로 선정되었다.

### 2.3 육지 면적을 고려한 공간격자 생성

앞 절에서 추출한 55개 강우관측 지점별 가뭄자료를 공간적으로 분포시킬 수 있도록 공간격자를 생성하였다. 도서지역을 제외한 위도  $33.9015^{\circ} \sim 38.7143^{\circ}$  와 경도  $125.2864^{\circ} \sim 139.6874^{\circ}$  를 경계로 하여 공간해상도를 설정하였다. 또한 설정된 공간해상도를  $0.05^{\circ}$  의 간격으로 위도와 경도를 분해하여  $97 \times 89$  격자를 Fig. 1(a)과 같이 생성하였으며, 생성된 격자 중 육지에 해당되는 격자만을 추출하여 각 격자에 번호를 부여하였다. Fig. 1(b)은 육지로 추출된 격자를 나타내며, 작은 점을 포함하여 우리나라의 형태를 잘 나타내고 있다. 육지별 격자를 지정해 줌으로써 보간 방법으로 얻어지는 불필요한 해양데이터의 제거 및 원하는 지역의 면적을 구할 수 있다.

### 2.4 타원을 이용한 가뭄의 중심과 영향권 설정

본 연구에서는 2.2절에서 결정한 CASE내 가뭄이 시작되어 끝날 때까지의 가뭄의 공간적 전파과정을 살펴보기 위한 방법으로 타원개념을 적용하였다. 먼저 2.3절에서 생성한  $97 \times 89$  격자의 행을  $j$ , 열을  $i$ 라 하고,  $j, i$ 에 해당되는 위도 값을  $X_{j,i}$ , 경도 값을  $Y_{j,i}$ 라 하면  $j, i$ 가 생성하는 격자는  $(X_{j,i}, Y_{j,i})$ 의 순서쌍으로 표현할 수 있다.  $(X_{j,i}, Y_{j,i})$ 에 대응되는 값을  $Z_{j,i}$ 라 하고  $Z_{j,i}$ 가 SPI 값이라 하면 3차원의  $X, Y, Z$  값에 대하여  $X$ 와  $Y$ 축에 대한  $Z$ 의 1차 모멘트를  $Z$ 의 함으로 나누어 주면 각 축에 대한  $Z$ 의 중심점을 구할 수 있다.  $Z$ 의 중심점을 구한다는 의미는 분석대상(절단수준에 의해 정의된 가뭄상태)에 대하여 공간적으로 분포시킨 SPI 값의 평균을 나타내며, 본 연구에서는 이를 가뭄의 중심으로 정의하였다. 가뭄의 중심을 구하는 방법은 Eqs. (1) and (2)와 같은 식으로 표현된다.

$$C_X = \frac{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} (Z_{j,i} \times X_{j,i})}{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} Z_{j,i}} \quad (1)$$

$$C_Y = \frac{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} (Z_{j,i} \times Y_{j,i})}{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} Z_{j,i}} \quad (2)$$

여기서,  $C_X$ ,  $C_Y$ 는  $X$ ,  $Y$ 축에 해당되는  $Z$ 의 중심점(Centroid)을 나타낸다. 타원의 방정식을 나타내기 위한 기초 값으로써  $C$ 점을 중심으로 하는  $Z$ 의 2차 모멘트를 이용하면 다음과 같은 식을 구할 수 있다. Eqs. (3) and (4)는 분산(Variance)을 나타내며, 공분산(Covariance)은 Eq. (5)과 같다.

$$V_X = \frac{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} \{(X_{j,i} - C_X)^2 \times Z_{j,i}\}}{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} Z_{j,i}} \quad (3)$$

$$V_Y = \frac{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} \{(Y_{j,i} - C_Y)^2 \times Z_{j,i}\}}{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} Z_{j,i}} \quad (4)$$

$$Cov_{XY} = \frac{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} \{(X_{j,i} - C_X) \times (Y_{j,i} - C_Y) \times Z_{j,i}\}}{\sum_{j=1i=1}^{89} \sum_{j=1i=1}^{97} Z_{j,i}} \quad (5)$$

Eqs. (3)~(5)를 이용하여  $X$ 축과 타원의 장축(major)이 이루는 각  $\theta$ 는 Eq. (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tan(2\theta) = \frac{2Cov_{XY}}{V_X - V_Y} \quad (6)$$

타원의 중심을 원점으로  $X, Y$ 축에 평행한 두 개 축  $X', Y'$ 을  $\theta$ 만큼 회전시킨 축  $X'', Y''$ 은 각각 타원의 장축(major) 및 단축(minor)과 일치하는 좌표축이 된다. 2차 모멘트를 이용하여 구한 Eqs. (3)~(5)는 일반적으로 관성 모멘트라 부른다. 최대 관성모멘트  $I_{\max}$ 와 최소 관성모멘트  $I_{\min}$ 을 이용하면 타원의 장반경(semi-major)  $a$ 와 단반경(semi-minor)  $b$ 의 길이를 구할 수 있다.

$$I_{\max} = a = \frac{V_X + V_Y}{2} + \left[ \left( \frac{V_X - V_Y}{2} \right)^2 + Cov_{XY}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$I_{\min} = b = \frac{V_X + V_Y}{2} - \left[ \left( \frac{V_X - V_Y}{2} \right)^2 + Cov_{XY}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

타원의 좌표에 대한  $X, Y$ 의 값은 다음의 Eqs. (9) and (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X(t) = C_X + a \cos t \cos \theta - b \sin t \sin \theta \quad (9)$$

$$Y(t) = C_Y + a \cos t \sin \theta + b \sin t \cos \theta \quad (10)$$

여기서,  $t$ 는 라디안 값으로 0에서  $2\pi$ 의 범위를 갖으며, Eqs. (9) and (10)으로 구한  $X, Y$ 값을 도시하면 타원의 형상을 얻을 수 있다. 이 결과는 가뭄중심의 위치 및 영향권을 설정을 통해서 한반도 내 가뭄이 발생하였을 경우, 시공간적인 관점에서는 어떠한 지역에서 일정 시간이 흐름과 동시에 어떤 크기의 강도로 가뭄이 전이되는지를 해석할 수 있을 것이다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 가뭄사상의 시작 및 해소시점별 공간분포 분석

본 연구에서는 가뭄이 시작된 시점을 기점으로 하여 가뭄이 지속되는 기간에 가뭄이 해소되는 과정을 공간적으로 구분하여 분석대상을 선정하였으며, 과거 1978년에 발생한 가뭄을 대상으로 하였다. 실제 1978년 가뭄은 농업용수의 부족뿐만 아니라 생활용수와 공업용수까지 큰 위협이 있었으며, 또한 생활용수의 부족을 제일 먼저 겪었던 지역은 여수였고, 다도해 도서지구, 광주, 목포, 부산 등지에서도 연쇄적으로 피해가 발생하였다고 보고된 바 있다(국립방재연구소, 2001).

Fig. 2는 9개월 이동평균강우량을 이용하여 산정한 SPI 값을 이용하여 하나의 CASE로 구분된 결과이며, 1978년 1월에 시작된 가뭄은 6개월이 지속(영산강권역), 1978년 2월에 시작된 가뭄은 5개월 지속(영산강권역 일부), 1978년 3월에 시작된 가뭄은 4개월 지속(낙동강권역), 1978년 4월에 시작된 가뭄은 3개월 지속(한강, 금강, 영동권역), 1978년 5월에 시작된 가뭄은 2개월 지속(낙동강권역 일부)되었음을 알 수 있다. 2001년 방재연구소에서 발간한 보고서에 따르면 1978년 6월 가뭄이 영산강유역과 목포지역에서 서해안 지역으로 확산되었다고 하였으며, 본 연구 결과인 Fig. 2를 살펴본 결과 1978년 1월 영산강 및 목포 인근지역에서 시작된 가뭄과 더불어 1978년 4월에 시작된 서해안 지역의 가뭄이 추가 발생하여 1978년 6월 가뭄이

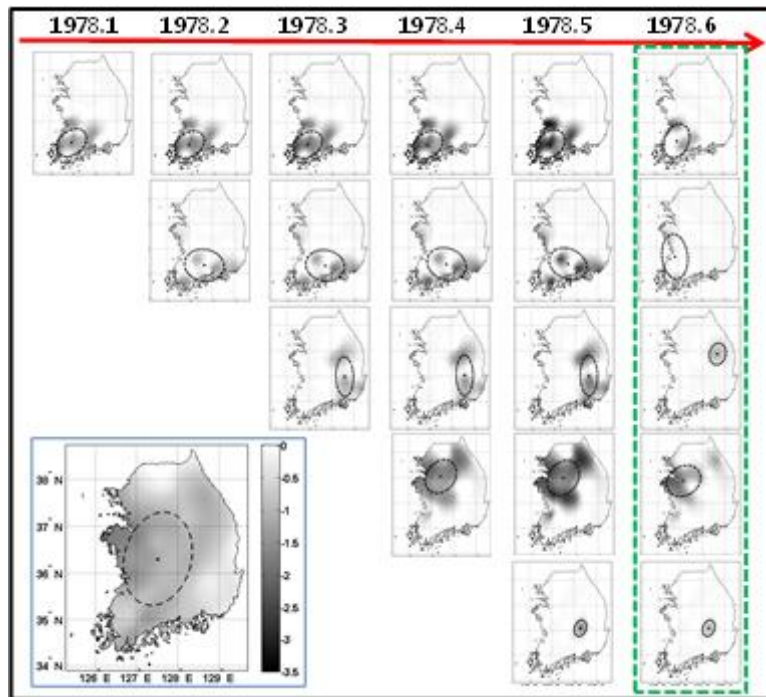


Fig. 2. Variation of Spatial and Temporal Drought Distribution according to Each Case

지역적으로 분포되었음을 확인할 수 있다.

또한, 일반적으로 가뭄지수를 이용하여 어느 특정 월의 가뭄상태를 파악할 경우, 공간적으로 서로 다르게 분포되어 있는 지역 내 가뭄의 발생특성은 파악하지 못하는 경우가 빈번하다. 예를 들어, 1978년 6월에 가뭄상태를 파악하기 위해 Fig. 2의 왼쪽 하단에 위치한 그림과 같이 1978년 6월의 강우관측지점의 SPI 값을 모두 공간 분포시켜 가뭄상태를 진단하지만, 여기서 보여주는 지역별 가뭄상태는 단순히 가뭄의 정도만을 보여주며, 보다 구체적인 가뭄의 발생특성 및 원인에 대한 파악은 쉽지 않다.

반면 Fig. 2의 오른쪽 마지막 열에 위치한 1978년 6월의 가뭄지도 5개를 살펴보면, 1978년 6월에 발생한 가뭄이 지역별로 시작시점 및 해소시점이 다르게 나타남을 확인할 수 있으며, 이를 통해 가뭄의 공간적 분포특성을 재확인할 수 있다. 이처럼 본 연구에서 제안한 CASE내 가뭄지속기간에 따른 월별 SPI 값을 공간적으로 분포시켜 가뭄분석을 수행하면, 시간이 흐름에 따라 어떤 지역의 순서로 가뭄이 발생하였으며, 또한 특정 지역 내 가뭄의 강도가 어떠한 크기변화를 나타내고 있는 지 확인이 가능하다.

### 3.2 과거 가뭄사상의 재현을 통한 검증

앞 절에서는 지역별 가뭄발생특성을 보다 구체적으로 분석하기 위한 방안으로 CASE 구분에 따른 시공간적 가뭄분석방안을 제시하였으며, 본 절에서는 과거 우리나라

의 대표적 가뭄사상으로 알려진 장기가뭄과 단기가뭄에 대한 시공간적 가뭄발생특성을 재현하여 연구방법의 적용성을 검토하고자 한다.

#### 3.2.1 장기가뭄의 재현

과거 우리나라에 발생한 가뭄 중 1994년 가뭄은 1996년 봄까지 지속되었던 장기가뭄의 대표사례로 알려져 있다. 실제로 1994년 봄 가뭄에 이어 장마기인 여름철 강수량이 평년의 50%에도 미치지 못하는 여름가뭄으로 계속되어 발생하였다. 특히, 울산, 경주 및 포항지역 등에서는 1995년에도 여름가뭄이 연속적으로 발생하여 1996년까지 3년 연속 장기가뭄이 지속되었다. 이와 같은 극심한 장기가뭄으로 인해 1995년의 가뭄기간에는 49개의 시군의 약 36만 명이 제한급수를 받아 급수대책으로 많은 비용이 지원되었고, 농업용수 확보를 위한 가뭄대책비로 4,827억원, 저수지 준설을 위해 922억원이 지원되어 경제적으로도 막대한 손실이 발생하였다(행정자치부, 1998).

본 연구에서는 1994년 6월부터 시작되어 1년 동안 지속된 장기가뭄을 재현하기 위해 12개월 이동평균강우량을 이용한 SPI2를 산정하였다. 또한 2.2절의 방법으로 분석대상을 구분하였으며, 그 결과 장기가뭄 기간에 해당하는 CASE는 6개로 Table 4와 같이 구분되었다. 이를 바탕으로 1994년 6월~1995년 5월 기간의 월별 SPI2 (Fig. 3의 1행 그림)와 가뭄발생 시작 시점(1994년 6월, 7월, 8월, 11



Table 4. Classification of Drought Cases During the Period from June 1994 to May 1995

	Starting Year/Month	Ending Year/Month	Duration (Months)
CASE 1	1994/06	1995/07	14
CASE 2	1994/07	1997/06	36
CASE 3	1994/08	1996/11	28
CASE 4	1994/11	1995/06	8
CASE 5	1995/03	1995/07	5
CASE 6	1995/05	1995/07	3

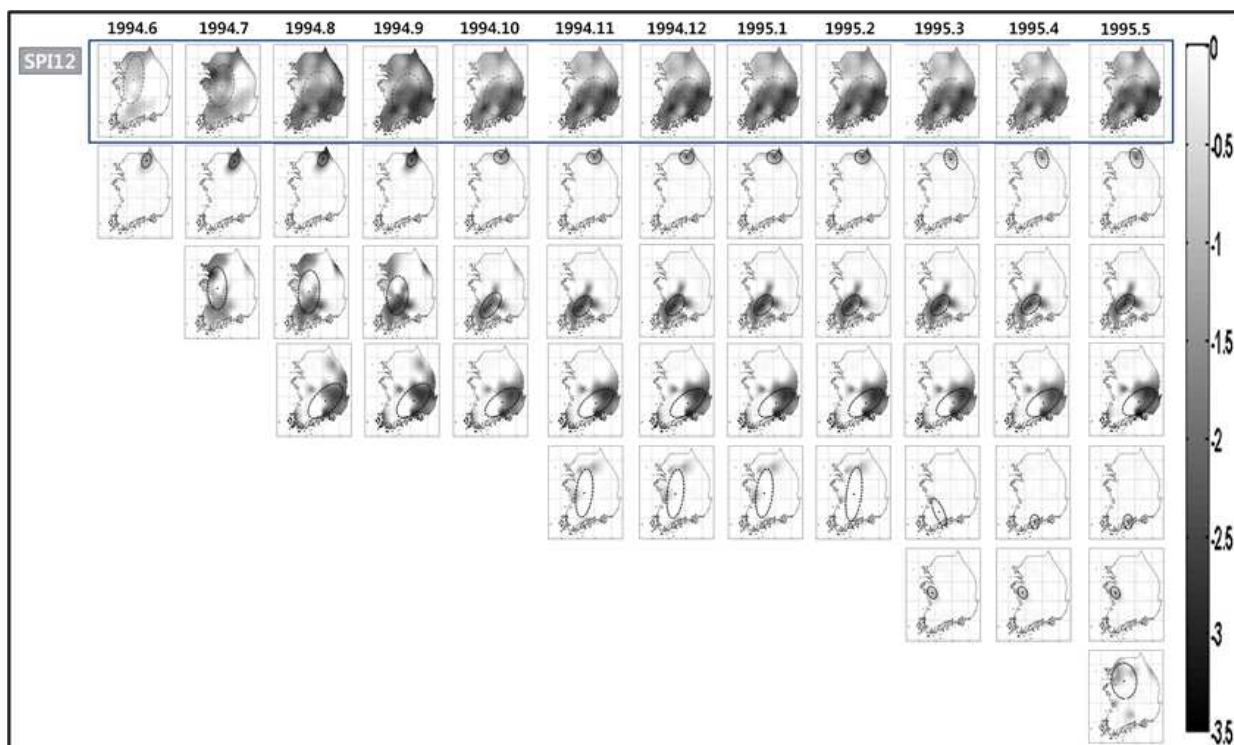


Fig. 3. Reproduction of the Long-term Drought During the Period from June 1994 to May 1995

월 및 1995년 3월, 5월)을 구분하여 도시한 SPI12 (Fig. 3의 2~7행 그림)를 Fig. 3과 같이 도시하였다.

그 결과 6개의 CASE 중 1994년 6월에 시작된 가뭄(CASE 1)은 강원도 일부에서 발생하였으며, 1994년 7월에 시작된 가뭄(CASE 2)은 경기도, 전라도, 충청도 일부에서 발생한 후 1994년 10월 경기도는 가뭄이 해소되어 전라도와 충청도 일부만 지속되었다. 1994년 8월에 시작된 가뭄(CASE 3)은 강원도, 경상도, 충청도 일부에서 발생하여 1994년 10월 강원도 가뭄이 해소되어 경상도와 충청도 일부만 지속되었고, 1994년 11월에 시작된 가뭄(CASE 4)은 춘천, 인제, 천안, 서산, 보령, 남해안 일부에서 발생하였다. 또한 1995년 3월에 시작된 가뭄(CASE 5)은 서산 및

보령에서, 1995년 5월에 시작된 가뭄(CASE 6)은 서울, 경기, 보령, 진주, 산청 등에서 발생하였다.

이처럼 1994년 6월~1995년 5월의 기간 동안 가뭄발생 시점 별 가뭄지역은 서로 상이하지만, 최종적으로 해당기간 내 한반도는 전역에서 가뭄이 심하게 발생하였음을 알 수 있다. 실제 수자원공사에서 보고한 수자원분야 기본통계자료에 따르면, 1994년 6월 1일부터 7월 20일까지 남부지방의 강우량은 평년대비 27%이며, 남부(전라도, 경상도, 제주도)내륙, 중남부에 가뭄이 심하게 발생하였다고 보고한 바 있다. 이는 Fig. 3과 같이 가뭄발생 시점별 가뭄지역을 확인하면, 어느 지역에 가뭄이 언제 시작되어, 어떠한 강도로 지속되고 있는지 보다 구체적인 가뭄 모니터

링이 가능함을 확인할 수 있다.

### 3.2.2 단기가뭄의 재현

기상청(2001)에 따르면 2001년 3~5월에 내린 강수량은 90년 만에 발생한 최악의 가뭄기록으로, 전국 72개의 기상 관측소의 기록에 의하면 48개 지점에서 관측 이래 가장 적은 강수량이 기록되었다고 보고하였다. 실제로 3월부터 5월까지 강수량은 전국으로 234.9(충주)~377.6mm(서귀포)의 분포로서 평년 강수량의 12~74% 수준을 보였으며, 제주도의 일부지역을 제외하고 한반도 내 대부분의 지역은 가뭄이 심한 상태였다.

본 연구에서는 2001년 3월부터 시작된 단기가뭄을 재현하기 위해 3개월 이동평균강우량을 이용한 SPI3을 산정하였으며, 2.2절의 방법으로 분석대상을 구분하여 Fig. 4와 같이 CASE는 3개를 구분하였다. CASE 1은 2000년 12월에 시작하여 6개월 지속, CASE 2는 2001년 2월에 시작하여 4개월 지속, CASE 3은 2001년 4월에 시작하여 2개월 지속되어, 위 3개의 CASE 모두 2001년 5월까지 동일하게 지속됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 4의 1행 그림은 일반적으로 나타내는 SPI3 값을 공간적으로 분포시킨 그림이며, 이 중 2001년 3월 가뭄은 2000년 12년에 시작하여 남해안 일대와 경상도 일부지역

에 4개월째 지속되는 가뭄(CASE 1)과 2001년 2월에 시작하여 강원도 일부 지역에 2개월째 지속되고 있는 가뭄(CASE 2)이 합쳐져 발생하였음을 확인할 수 있다. 또한 2001년 4월과 5월의 가뭄은 2001년 3월 가뭄에 이어 2001년 4월 서울, 경기, 충청, 경상도 북부지역에 추가적으로 가뭄(CASE 3)이 발생하여, 한반도 내 가뭄이 전반적으로 극심해 짐을 확인할 수 있다. 본 연구결과를 검증하기 위해 수자원분야 기본통계자료(수자원공사)와 비교 한 결과, 2001년에 발생한 봄가뭄 피해현황과 매우 유사함을 재확인하였다.

### 3.3 타원을 이용한 시공간적 가뭄특성분석

앞 절에서는 가뭄의 시작시점을 기점으로 하여 CASE를 구분한 후 공간적인 가뭄해석의 효율성을 확인하기 위해 실제 과거 가뭄을 재현하였으며, 본 절에서는 앞 절에서 분리한 CASE를 2.4절의 타원개념을 적용하여 가뭄의 중심과 영향권을 정량화 한 후 가뭄이동특성을 시공간적으로 분석하고자 한다.

본 연구에서는 가뭄의 중심과 영역의 평가를 위한 방안으로 질량모멘트 개념을 도입하였으며, 가뭄의 중심(centroid)은 1차모멘트를 이용하여 추정된 하나의 점으로 도시하였고, 가뭄의 영향권은 x방향의 분산, y방향의 분산,

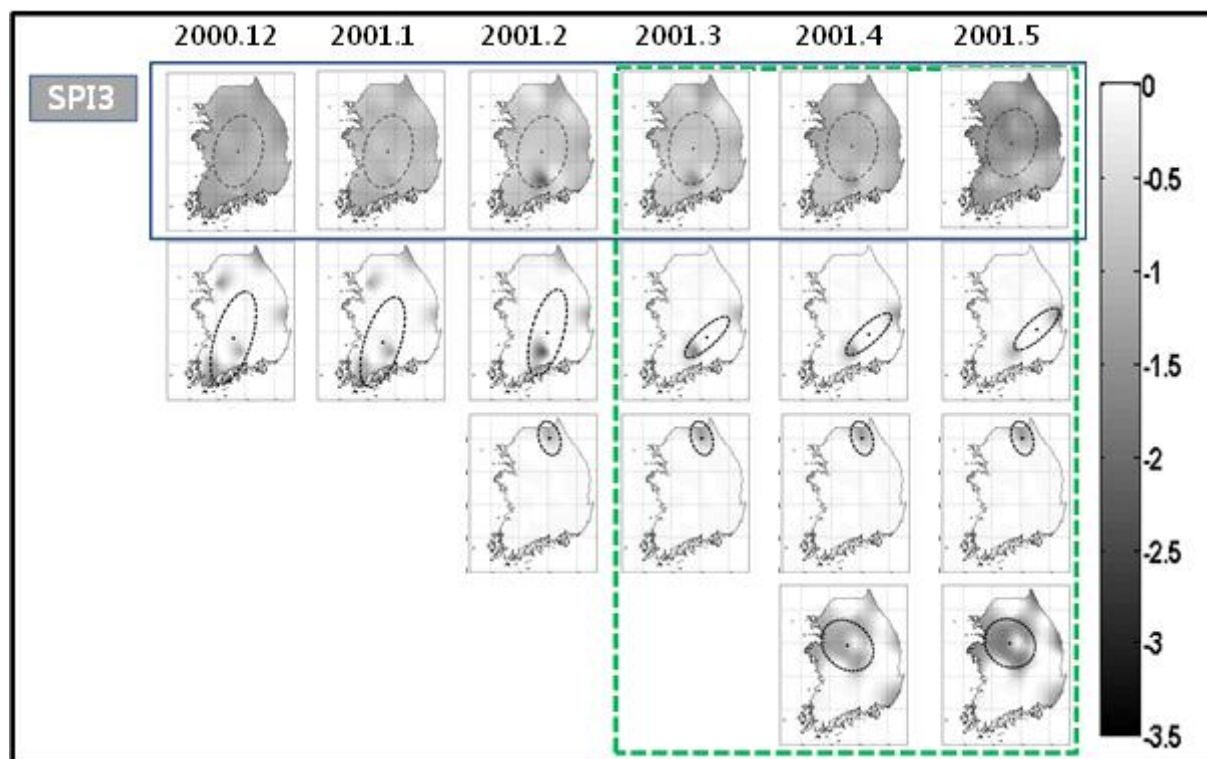


Fig. 4. Reproduction of the Short-term Drought During the Period from December 2000 to May 2001



xy의 공분산을 수치적으로 계산한 2차모멘트를 이용하여 타원(ellipse)형태로 도시하였다. 그 결과 가뭄의 중심이동 및 영향권의 변화양상을 분석하는 데 있어 두 가지의 가뭄분포형태가 발견되었다. 첫 번째로 Fig. 5와 같이 특정 지역 인근에 가뭄사상이 모여 있는 경우이며, 다른 하나는 Fig. 6과 같이 지역 내 가뭄사상이 연결되어 분포되어 있다가 시간이 지남에 따라 가뭄사상이 분리되는 경우이다. 본 연구에서는 첫 번째와 같은 경우를 CASE-a라 하며, 두 번째와 같은 경우를 CASE-b라고 구분하였다.

먼저, CASE-a에 해당되는 사상들에 대하여 타원의 방정식을 적용한 후 가뭄사상의 중심과 영향권을 파악하였다. 그 결과 가뭄사상이 일정 시간이 흐름과 동시에 가뭄 중심이 이동하며, 또한 가뭄 영향권은 타원이 확장되거나 축소되어짐을 통해 변화하고 있음을 Fig. 5를 통해 확인할 수 있다. Fig. 5는 1980년 1월부터 시작되어 5개월이 지속

된 후 가뭄이 해소된 가뭄사상이며, 이 가뭄의 중심과 타원의 정량적인 값은 Table 5의 좌측과 같이 계산되었다.

다음은 Fig. 6과 같이 지역 내 가뭄사상이 연결되어 분포되어 있다가 시간이 지남에 따라 가뭄사상이 분리되는 형태에 대하여 타원의 방정식을 적용한 결과, 가뭄의 중심과 영향권이 큰 수치로 변화함을 확인할 수 있었다. Fig. 6은 1976년 3월에 가뭄이 시작되어 4개월이 지속되다가 6월에 해소된 가뭄사상이며, 가뭄발생 초기단계를 살펴보면 강원도, 경기도, 충청도의 일부지역에서 가뭄이 동시다발적으로 시작되다가, 가뭄이 해소되기 직전인 6월의 가뭄을 살펴보면 강원도, 경기도, 충청도에 걸쳐져 있던 가뭄사상이 분리되어짐과 동시에 타원의 영향권 또한 큰 폭으로 줄어드는 변화양상을 확인할 수 있었다.

1976년 3~6월까지 지속된 가뭄의 중심과 타원의 정량적인 값은 Table 5의 우측과 같이 계산되었으며, 가뭄발생

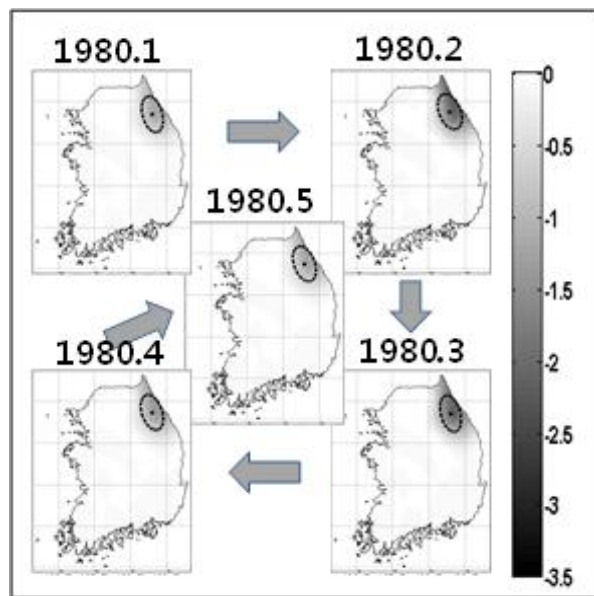


Fig. 5. CASE-a : The Drought were not Separated

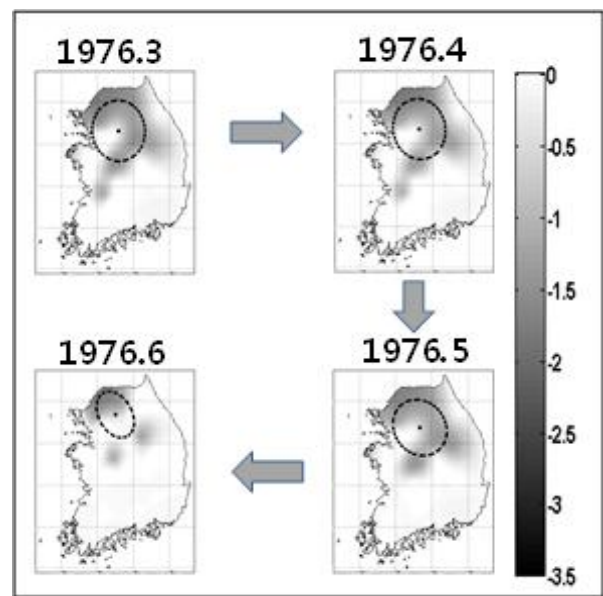


Fig. 6. CASE-b : The Drought were Separated

Table 5. Comparison of the Mass Moment for Each Drought Events

	CASE-a (1980년 1월 ~ 5월)					CASE-b (1976년 3월 ~ 6월)					
	Centroid		Variance			Centroid		Variance			
	$C_X$	$C_Y$	$V_X$	$V_Y$	$COV_{XY}$	$C_X$	$C_Y$	$V_X$	$V_Y$	$COV_{XY}$	
1980/1	37.75	128.78	0.02	0.01	0.00	1976/3	37.53	127.41	0.28	0.44	0.04
1980/2	37.81	128.69	0.11	0.04	-0.05	1976/4	37.60	127.44	0.26	0.43	0.02
1980/3	37.75	128.69	0.10	0.04	-0.04	1976/5	37.56	127.48	0.26	0.45	0.00
1980/4	37.81	128.74	0.05	0.02	-0.02	1976/6	37.99	127.32	0.09	0.10	-0.02
1980/5	37.81	128.77	0.03	0.01	-0.01						

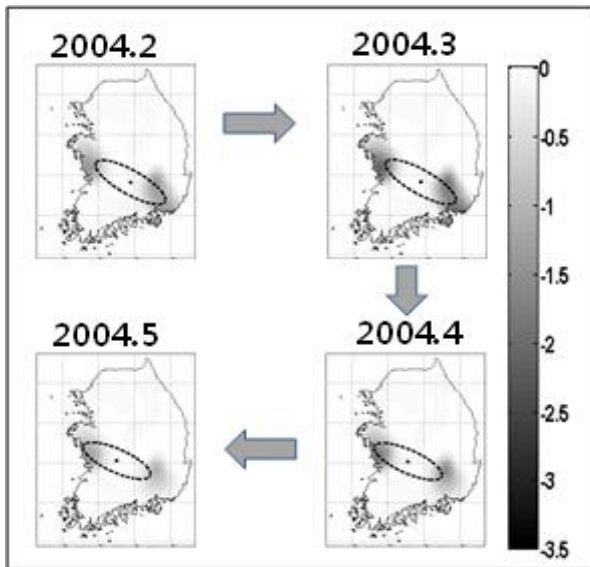


Fig. 7. It is Needed to Separate the Centroid and Influences Range of Drought Events

지역 내 가뭄의 강도가 비슷한 정도로 변화할 경우에는 가뭄중심이 크게 이동하는 현상을 볼 수 없지만, 반면 어느 한 지역의 가뭄이 먼저 해소되는 경우에는 가뭄강도(SPI)가 큰 쪽으로 가뭄중심이 이동하는 것을 확인할 수 있다.

위 CASE-a와 CASE-b를 비교해보면, 가뭄중심의 이동경로를 분석하고, 가뭄영향권의 변화양상을 파악하는데 있어서는 CASE-a와 같이 가뭄사상이 하나로 이루어져 있어야 보다 정확한 이동경로 해석이 가능함을 알 수 있다. CASE-b와 같은 경우에는 시간의 경과에 따라 분리되는 가뭄사상 별 각각의 가뭄중심을 산정한 후, 가뭄의 이동경로를 해석하여야 보다 정확도 높게 가뭄의 이동경로를 공간적으로 해석할 수 있을 것으로 판단된다.

예를 들어, 2004년 2월에 시작된 가뭄이 4개월이 지속되었을 경우, 한반도 내 Fig. 7과 같이 두 개의 가뭄사상이 나타났다. 하지만, 두 개의 가뭄사상 중 하나는 남동쪽 끝에 위치하고, 다른 하나는 서쪽에 위치하여 2004년 2~5월의 월별 가뭄의 중심은 오히려 가뭄이 발생하지 않은 지역에 나타났음을 확인할 수 있었다. 또한 가뭄의 영향권 역시 두 가뭄사상의 강도변화에 따라 타원의 모양이 변화하지만, 가뭄이 아닌 지역까지 가뭄의 영향권으로 나타나고 있다. 이에, 본 연구에서는 위 두 가지 가뭄사상에 대해 보다 정확한 가뭄의 중심 및 영향권을 해석하기 위해서는 가뭄사상 별 가뭄중심을 각각 구분하여 계산한 후, 공간적인 가뭄의 영향권을 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 가뭄의 시공간적인 분석을 수행하기 위해, 가뭄사상의 시작과 끝을 명확히 분류한 후 과거에 실제로 발생했던 장기가뭄과 단기가뭄을 재현하여 가뭄의 공간특성을 분석하였다. 또한 가뭄사상의 중심 및 영향권을 구분 짓기 위해, 타원의 개념을 적용하여 가뭄의 공간특성을 정량화하였으며 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 가뭄사상의 시작시점을 기준으로 하여 CASE를 구분한 후, 각 CASE 별 가뭄 지속기간 내 월별 가뭄상태를 공간적으로 해석한 결과, 일반적으로 가뭄지수를 일괄적으로 공간분포 시켰을 때 보다 지역적으로 가뭄발생 순서를 파악하는 데 있어 보다 효율적임을 확인할 수 있었다. 따라서 특정 기간에 해당되는 여러 가지 CASE를 선정한 후 월별 가뭄분석을 수행하면, 추가적으로 발생한 가뭄지역의 발견이 가능하며, 또한 지역별로 가뭄이 해소되는 과정을 보다 명확히 확인할 수 있어, 가뭄모니터링을 수행하는 데 있어 본 연구방법을 활용한다면 보다 정확한 시공간적인 가뭄진단이 가능할 것으로 판단된다.
- 2) 과거에 발생한 대표적인 가뭄기간인, 1994년, 1995년, 2001년의 가뭄을 본 연구방법을 적용하여 가뭄을 재현해본 결과 실제 특정기간에 특정지역의 가뭄이 극심했다고 보고된 사실을 본 연구에서도 정확히 재현하였음을 확인하여 연구의 적용성을 재검토할 수 있었다. 또한, 가뭄발생의 시작시점을 기점으로 하여 가뭄사상을 재분리 해본 결과, 가뭄이 가장 먼저 발생한 지역의 구분이 가능하였고, 어떠한 순서로 가뭄지역이 확대되었는지 파악이 가능하게 되었다.
- 3) 가뭄의 중심과 영향권을 정량화하는 데 있어 타원의 방정식을 적용해본 결과, 하나의 가뭄사상의 시공간적인 이동특성을 파악하기 위해서는 산발적으로 가뭄이 분포된 지역들은 우선적으로 분리하여 가뭄의 중심과 영향권을 결정해야 할 것으로 판단된다. 이처럼 가뭄발생특성을 반영하여 지역을 분리 한 후 각 가뭄사상별 가뭄의 중심과 영향권을 파악한다면, 시간에 따라 가뭄중심이 이동하는 패턴분석이 가능할 것이다.

향후 본 연구의 결과를 바탕으로 한반도 내 산발적으로 발생한 가뭄사상을 분리한 후 통계적으로 유의한 가뭄의 공간특성자료를 구축하여, 가뭄의 중심 및 영향권의 변화양상을 시공간적으로 해석하고자 한다. 또한 가뭄의 중심 및 영향권의 변화에 가뭄과 연관성이 큰 다양한 기후 인

자와의 상관성을 비교·분석을 실시할 예정이다. 이는 한반도 내 가뭄발생의 근본적인 원인으로 작용하는 기후인자의 발견이 가능할 것이며, 보다 활발한 지속적인 연구를 통해 가뭄예측에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

이 논문 또는 저서는 2010년 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(한국연구재단-2010-220-D00083)

## 참고문헌

경민수, 김상단, 김보경, 김형수 (2007). “군집분석을 통한 수문학적 가뭄의 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 곡선의 작성.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제3B호, pp. 267-276.

국립기상연구소 (2009). 기후변화 이해하기II 한반도 기후 변화: 현재와 미래.

국립방재연구소(2001), **방재연구**

김보경, 김상단, 이재수, 김형수 (2006). “가뭄의 시공간적 분포 특성 연구 : 가뭄심도-가뭄면적-가뭄지속기간 곡선의 작성.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권, 제1B호, pp. 69-78.

김상단, 장연규, 한현규 (2004). 경기북부 농업가뭄현황 감시기법 연구. 경기개발연구원 기본연구, 경기개발연구원, pp. 3-9.

김호성, 박진혁, 윤재영, 김상단 (2010). “극한가뭄의 시공간적 특성에 대한 기후변화의 영향을 평가하기 위한 SAD 곡선의 적용.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제30권, 제6B호, pp. 561-569.

유지영, 김태웅, 김상단 (2010). “군집분석과 이변량 확률 분포를 이용한 가뭄빈도해석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제30권, 제6B호, pp. 599-606.

윤용남, 안재현, 이동률 (1997). “Palmer의 방법을 이용한 가뭄의 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제30권, 제4호, pp. 317-326.

행정자치부 (1998). 가뭄피해원인의 조사 분석, 국립방재연구소.

Boo, K.O., Kwon, W.T., Oh, J.H., and Baek, H.J. (2004). “Response of global warming on regional climate change over Korea: An experiment with the MM5 model.” *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, No. 21, pp. L21206.

Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., and Mearns, L.O. (2000). “Climate extremes: observations, modeling, and impacts.” *Science*, Vol. 289, No. 5487, pp. 2068-2074.

McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. (1993). “The relationship of drought frequency and duration to time scales.” *Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Anaheim, California*, pp. 179-184.

Perez, G.A.C., van Huijgevoort, M.H.J., Voß, F., and van Lanen, H.A.J. (2011). “On the spatio-temporal analysis of hydrological droughts from global hydrological models.” *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 15, pp. 2963-2978.

Peters, E., Bier, G., van Lanen, H.A.J., and Torfs, P.J.J.F. (2006). “Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment.” *Journal of Hydrology*, Vol. 321, No. 1-4, pp. 257-275.

Tallaksen, L.M., Hisdal, H., and van Lanen, H.A.J. (2009). “Space-time modelling of catchment scale drought characteristics.” *Journal of Hydrology*, Vol. 375, No. 3-4, pp. 363-372.

Vera, C., Silvestri, G., Liebmann, B., and González, P. (2006). “Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models.” *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, No. 13:L13707, pp. 1-4.

Yevjevich, V. (1967). “On objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts.” *Hydrology Paper*, No. 23, Colorado State University, Fort Collins, pp. 4-18.

논문번호: 12-049	접수: 2012.05.14
수정일자: 2012.08.08/08.16	심사완료: 2012.08.16