

기온과 강수특성을 고려한 남한의 기후지역구분*

박창용** · 최영은*** · 문자연**** · 윤원태*****

Classification of Climate Zones in South Korea Considering both Air Temperature and Rainfall*

Changyong Park** · Youngeun Choi*** · Ja-Yeon Moon**** · Won-Tae Yun*****

요약 : 본 연구에서는 기온과 강수특성을 함께 고려하여 남한의 기후지역을 구분하였다. 먼저 계절별 기온 및 강수량 분포를 살펴본 있는데, 기온은 모든 계절에서 지형 및 위도에 의해 영향을 받았다. 강수량은 여름철에 집중되고 지역적으로는 강원 영동, 남해안, 제주에서 많았고 경북 중부지역에서 적은 분포를 보였다. 기온 및 강수량의 경험적 직교함수(Empirical Orthogonal Function)분석을 통해서 산출된 주성분점수를 입력변수로 하여 평균연결법과 Ward법을 이용한 군집분석을 수행하였다. Ward법은 지형, 위도, 해양의 효과와 기압계 이동 방향에 따른 특성을 잘 반영하였으며 행정구역에도 잘 맞게 구분되어 가장 좋은 군집결과를 보여주었다.

주요어 : 기온, 강수량, 기후지역, EOF분석, 군집분석

Abstract : This study aims to classify climate zones using Empirical Orthogonal Function and clustering analyses considering both air temperature and rainfall features in South Korea. When examining climatic characteristics of air temperature and rainfall by seasons, the distribution of air temperature is affected by topography and latitude for all seasons in South Korea. The distribution of rainfall demonstrated that the Yeongdong area, the southern coastal area and Jeju island have higher rainfall while the central area in Gyeongsangbuk-do is the least rainfall area. Clustering analyses of average linkage method and Ward's method was carried out using input variables derived from principal component scores calculated through Empirical Orthogonal Function analysis for air temperature and rainfall. Ward's method showed the best result of classification of climate zones. It was well reflected effects of topography, latitude, sea, the movement of surface pressure systems, and an administrative district.

Key Words : air temperature, rainfall, climate zone, EOF analysis, clustering analysis

1. 서론

북반구 중위도 유라시아 대륙 동안에 위치한 우리나라는 동절기에는 북쪽에서 확장하는 대륙성 고기압과

하절기에는 남쪽의 해양성 기단의 영향이 탁월한 계절풍의 영향으로 인해 다양한 기후시스템의 영향을 받는다. 또한 국토면적에 비하여 상대적으로 복잡하고 다양한 지형의 영향으로 인해 기후의 지역적인 차이가

* 이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-313-2008-2-C00941).

** 건국대학교 지리학과 박사과정(Doctoral Student, Department of Geography, Konkuk University), kpotato@konkuk.ac.kr

*** 건국대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Konkuk University), yechoi@konkuk.ac.kr

**** 건국대학교 기후연구소 연구교수(Research Professor, Climate Research Institute, Konkuk University), mjy1011@gmail.com

***** 기상청 기후예측과장(Director, Climate Prediction Division, Korea Meteorological Administration), wtyun@kma.go.kr

뚜렷하게 나타난다. 예를 들어, 국토가 남북방향으로 길게 뻗어있고 대부분의 산맥방향이 북에서 남으로 뻗어 있어서 남북과 동서간의 기후차이가 크다(기상청 기상연구소, 2004).

이러한 원인으로 인해 나타나는 기후특성을 지역적으로 구분하고 분석하는 연구가 꾸준히 수행되어 왔다. 일반적으로 기후구분을 위해 크게 두 가지 기법이 이용되었는데 하나는 경험적인 기법이다. 작물의 분포 등을 기후구분의 지표로 선정하여 그것에 영향을 미치는 기온과 강수량을 이용하는 쾨펜(Köppen)의 방법, 강수량과 최대가능증발산량에서의 물수지를 기초로 하여 기후구분을 실시한 손스웨이트(Thornthwaite)의 방법 등이 이에 해당한다. 또 다른 하나는 주성분분석(Principal Component Analysis), 군집분석(Clustering Analysis), 인자분석(Factor Analysis) 등의 통계적인 기법을 이용하는 것이다. 경험적인 기법은 기후지역구분 연구 초기에 주로 이용되었는데, 이는 전 지구를 대상으로 한 대규모 지역구분에 적절한 방법으로 우리나라의 다양한 기후특성을 반영하기에 어려움이 있다. 그래서 최근 들어서는 이러한 경험적인 기법에 의한 기후지역구분 보다는 통계적인 기법들을 적용한 연구가 활발해졌다. 주성분분석법인 경험적 직교함수(Empirical Orthogonal Function)분석은 시·공간 변동성을 동시에 효과적으로 설명할 수 있어 지리학 및 기상학에서 널리 이용되는 방법으로서 박현욱(1986, 1987, 1991), 박정규·이승만(1993) 등이 이용하였다. 군집분석은 유사한 것끼리 개별적인 그룹으로 분류하는 기법으로서 문영수(1990), Puvaneswaran and Smithson(1993), Gong and Richman(1995), Coronato and Bisigato (1998), 이동규·박정균(1999), 허인혜(2006) 등이 이용하였다. 인자분석 후 군집분석을 적용한 연구로는 김성렬·양진석(1995), Ahmed(1997), 고정웅 등(2005, 2006)의 연구가 있으며 주성분분석 후 군집분석을 함께 적용한 연구로는 Bunkers *et al.*(1996), Baeriswyl and Rebetez(1997), 박현욱·문명채(1998)의 연구가 있다. 이 중에서 우리나라를 대상으로 한 기후지역구분 연구들은 적게는 세계부터 많게는 48개 지역까지 기후지역을 다양하게 구분하였다.

최근 들어 기상정보에 대한 사회의 수요가 증가하면서 보다 세분화된 지역에 대한 장기예보 서비스가 중요하게 인식되고 있다. 이에 따라 현재 지역구분 없이 우리나라를 단일지역으로 하여 생산되고 있는 장기예보구역의 세분화가 필요한 시점에 이르렀다. 이를 위해 먼저 기후지역구분이 수행되어야 하는데, 위에서 살펴보았던 기존의 통계적인 기법을 이용한 대부분의 국내 연구는 지역별로 나타나는 기온과 강수특성이 서로 다르기 때문에 이들을 함께 고려하지 않고 하나의 기후요소만을 이용하여 기후지역을 구분한 경우가 대부분이었다(박현욱, 1986, 1991; 문영수, 1990; 박정규·이승만, 1993; 김성렬·양진석, 1995; 이동규·박정균, 1999; 고정웅 등, 2005, 2006; 허인혜, 2006). 또한 여러 기후요소를 사용했어도 요소 간 시간 규모가 일치하지 않거나 특정 월의 자료만을 사용한 연구도 있었다(박현욱, 1987). 이렇게 기후지역구분에서 하나의 기후요소만을 이용하고 요소 간 시간 규모가 일치하지 않거나 특정 월의 자료만을 사용했던 기존의 연구들은 지역의 전반적인 기후특성을 충분히 반영하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 통계적인 기법을 이용하여 장기예보구역을 세분하기 위한 기초 연구로서 전반적인 기후특성을 반영하여 남한의 기후지역을 구분하고자 하였다. 이를 위하여 기후요소에서 연 및 월 변동성 보다 더 뚜렷하게 나타나는 계절 변동성을 반영한 EOF분석 후 군집분석을 수행하여 기온과 강수를 동시에 고려한 최적의 기후지역구분 결과를 제시하였다.

2. 연구자료 및 방법

본 연구에서는 기상청 기상대 및 지상 관측소의 월 평균기온 및 월 강수량을 사용하였다(1973~2007년). 기온과 강수량 관측이 연속적으로 이루어진 60개 지점을 선택하여 분석하였으며 울릉도는 자료보유기간이 본 연구기간에 속해있으나 육지에서 거리가 멀고 면적이 작아 제외하였다(그림 1). 본 연구에서 사용한 계절의 구분은 봄철(3, 4, 5월), 여름철(6, 7, 8월), 가을철

(9, 10, 11월), 겨울철(12, 1, 2월)이며 겨울철 12월은 1972년 자료가 존재하지 않는 지점이 많기 때문에 1973년부터 사용하여 겨울철은 다른 계절보다 연구기간이 한 해 짧았다.

기후지역구분 이전에 연구기간 동안 우리나라의 기후특성을 파악하고자 계절별 기온 및 강수량과 연 평균기온 및 연 강수량을 간략하게 살펴본 후, 경험적 직교함수(Empirical Orthogonal Function: EOF)분석과 군집분석을 이용하여 기후지역구분을 수행하였다. EOF분석은 여러 변수들의 변량을 “주성분”이라는 보다 적은 수의 변수로 요약하는 기법으로서 시·공간 변동성을 동시에 효과적으로 제시할 수 있는 방법 중 하나로서 EOF의 각 고유벡터가 갖는 물리적 의미를 정확하게 규명할 수는 없어도 단지 몇 개의 고유함수만으로 관측치를 재현할 수 있다는 장점을 갖고 있다(나정열 등, 1997). 이를 위하여 반응변수를 선형으로 변환시켜, 서로 상관되어 있지 않거나 독립적으로 새롭게 생성된 변수인 주성분을 유도한다. 이 때 각 주성분이 보유하는 변이의 크기를 기준으로 그 중요도의 순서를 판단할 수 있는데, 그들 중 일부 몇 개의 주성분이 원래 자료에 내재하는 전체 변이 중 가능한 많은 부분을 보유하도록 변환시킴으로서 정보의 손실을 최소화하는 차원의 축약을 기할 수 있게 된다(김광섭, 2007). EOF분석의 입력변수는 각 지점의 월 평균기온 및 월 강수량 시계열 자료에서 연구기간 동안 평균값을 뺀 아노말리(anomaly) 시계열로 변환하고 여기에서 자료 내에 존재하는 경향성을 제거하여 사용하였다. 그 이유는 자료의 변동성 분석 시, 경향성을 제거한다면 변동성을 더 뚜렷하게 표현할 수 있기 때문이다.

EOF분석을 통해 산출된 모드별 주성분점수(Principal Component Score)를 가지고 군집분석을 실시하였다. 군집분석은 입력변수의 수와 변동성을 동시에 고려하여 각 지점에 존재하는 고유치의 차이를 상호 간의 거리개념으로 변환시켜 거리의 원근에 의한 유사성이 높은 지점부터 결합하여 동질지역을 설정해 나가도록 고안된 방법이다. 기본개념은 한 군집내의 객체들 간의 유사성은 가능한 한 크게, 서로 다른 군집 간의 유사성은 가능한 작도록 군집들을 형성하는 것이다(김성렬·양진석, 1995; 전치혁, 2004; 구자용 등,

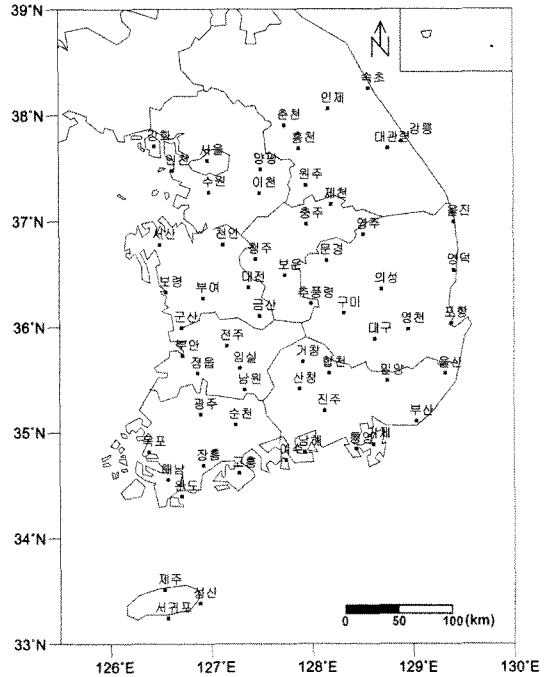


그림 1. 분석지점

2005).

군집분석에서는 대상의 여러 가지 특성들을 유사성 거리로 바꾸어 이것이 가까운 대상끼리 군집을 이루게 한다. 유사성 거리를 측정하는 방법으로는 식 1과 같은 유클리드 거리(Euclidean Distance)와 이를 제곱한 제곱 유클리드 거리(Squared Euclidean Distance)가 주로 사용되는데, 제곱 유클리드 거리는 Ward법에서 주로 적용되며 유클리드 거리는 Ward법을 제외한 계층법에서 가장 일반적으로 사용하는 측정 방법이다(김윤진, 2005). 따라서 본 연구에서 이용한 군집분석 방법인 평균연결법과 Ward법의 유사성 거리 측정 방법으로 각각 유클리드 거리와 제곱 유클리드 거리를 적용하였다.

$$D(O_i, O_j) = \sqrt{\sum_{p=1}^n (X_{ip} - X_{jp})^2} \quad (식 1)$$

O_i 와 O_j 는 각각 i 번째와 j 번째의 대상
 X_{ip} 와 X_{jp} 는 i 번째와 j 번째 대상의 변수 값

Kalkstein *et al.*(1987)은 위의 여러 가지 계층법 중 평균연결법이 기후지역구분 연구에서 가장 실제적인 결과를 나타냈다고 제시하였다. 평균연결법은 한 군집 안에 속해있는 모든 대상과 다른 군집에 속해 있는 모든 대상의 쌍집합에 대한 거리를 평균적으로 계산하는 방법이다. 즉, 가까운 거리에 있는 두 대상, 예를 들어 A 와 B 를 선발하여 한 군집(AB)에 편입시킨 후 군집(AB)와 다른 군집(K) 사이의 거리를 식 2와 같이 계산하여 이를 군집 간의 거리로 활용한다(강병서 · 김계수, 2005). 평균연결법은 군집 간과 군집 내 평균연결법으로 나눌 수 있는데 군집 간 평균연결법은 모든 개체 간 거리들의 평균을 군집 간 거리로 하여 이 평균 거리가 가장 가까운 집단을 연결하는 방법이다. 군집 내 평균연결법은 군집 간 평균연결법과 유사하나 다른 군집에 있는 개체 간의 거리뿐만 아니라 같은 집단에 속한 개체 간의 거리도 포함하여 평균을 구하는 방법이다(조정우, 2005).

$$d_{(AB)K} = \frac{\sum_j \sum_i d_{ij}}{N_{(AB)}N_K} \quad (\text{식 2})$$

i, j 는 군집 (AB)의 개체 i 와 군집 K 의 개체 j 사이의 거리, $N_{(AB)}$ 와 N_K 는 각각 군집 (AB)와 군집 (K)에 포함된 개체들의 수

이전에 수행된 많은 연구는 군집분석 중 Ward법을 이용하여 기후지역구분 연구를 수행하였으며 Ward법은 한국의 지형 특성을 잘 반영하는 방법이라고 제시하였다(이승호 등, 2005; 허인혜, 2006). 이에 따라 본 연구에서는 군집분석 중 위에서 제시한 평균연결법과 Ward법을 적용하였다. EOF분석을 통해 1차적으로 산출된 주요 모드의 주성분점수를 이용하여 2차적으로 기온 및 강수지역구분을 수행하고 최종적으로 이 두 요소를 함께 고려하여 남한의 기후지역을 구분하였다. 군집분석에서는 사용될 변수들의 측정 척도가 다른 경우에는 분석 전에 반드시 표준화 되어야 한다(김윤진, 2005; 조정우, 2005). 따라서 기온과 강수특성을 함께 고려한 남한의 기후지역구분 전에 EOF분석을 통해 계절별 및 모드별 기온과 강수량의 주성분점수를 Z값으로 표준화하여 군집분석의 입력 변수로 이용하였다. 기온과 강수에 대해 각각 지역구분을 수행한 후,

이들을 함께 고려한 군집분석을 실시하여 최적의 기후지역구분 결과를 제시하였다.

3. 최근 기온 및 강수량의 공간분포

1973년에서 2007년까지 최근 35년(겨울철: 34년)간 계절별 및 연 평균기온의 공간분포를 그림 2에 나타내었다. 계절별 및 연 평균기온 분포는 공통적으로 뚜렷하게 지형 및 위도의 효과를 보여준다. 위도에 따라 북쪽으로 갈수록 기온이 낮고 내륙 및 산간지역으로 갈수록 기온이 낮은 경향을 나타내어 강원 영동 산간지역의 기온이 가장 낮고 제주가 가장 높은 분포를 보였다. 또한 충북, 전북, 경북에서 소백산맥이 위치한 지역과 경북에서 태백산맥이 위치한 지역에서는 동위도의 다른 지역보다 고도가 높아서 기온이 낮은 분포를 보였다. 여름철은 강원지역을 제외하고 기온의 남북 차이가 다른 계절보다 크지 않았으며 제주, 대구 · 밀양 · 함천, 광주 · 전주 · 대전 · 청주를 잇는 곳에서 높게 나타났다. 연 평균기온은 제주와 남해안지역에서 높았으며 수도권은 주변지역보다 높은 특징도 보였다. 즉, 기후학적인 기온 분포는 지형 및 위도의 효과에 의해 모든 계절이 공통적으로 영향을 받았으며 고도와 위도가 높을수록 기온이 낮아지는 특성이 나타났다.

최근 35년(겨울철: 34년)간 계절별 및 연 강수량의 분포를 그림 3에 나타내었다. 우리나라 대부분의 지역은 연 강수량의 40% 이상이 여름철에 내리기 때문에 여름철 강수량의 특성 및 분포가 매우 중요한 의미를 가진다. 여름철은 사계절 중 강수량이 가장 많은 계절이며 발생 메커니즘은 저기압성 강수, 대류성 강수, 장마, 태풍 등으로 매우 다양하다. 지역적으로는 중북부 내륙, 강원 영동, 남해안지역에서 강수량이 많은 곳으로 나타났는데, 중북부 내륙은 장마와 저기압성 강수의 영향이, 강원 영동은 열대 저기압에 의한 강수의 영향이 큰 지역이고, 남해안은 장마와 열대 저기압의 영향이 모두 큰 지역으로서 여름철 강수를 지배하는 원인이 지역마다 차이가 있다. 여름을 제외한 다른 계절의 경우 공통적으로 강원 영동, 남해안, 제주를 중심으

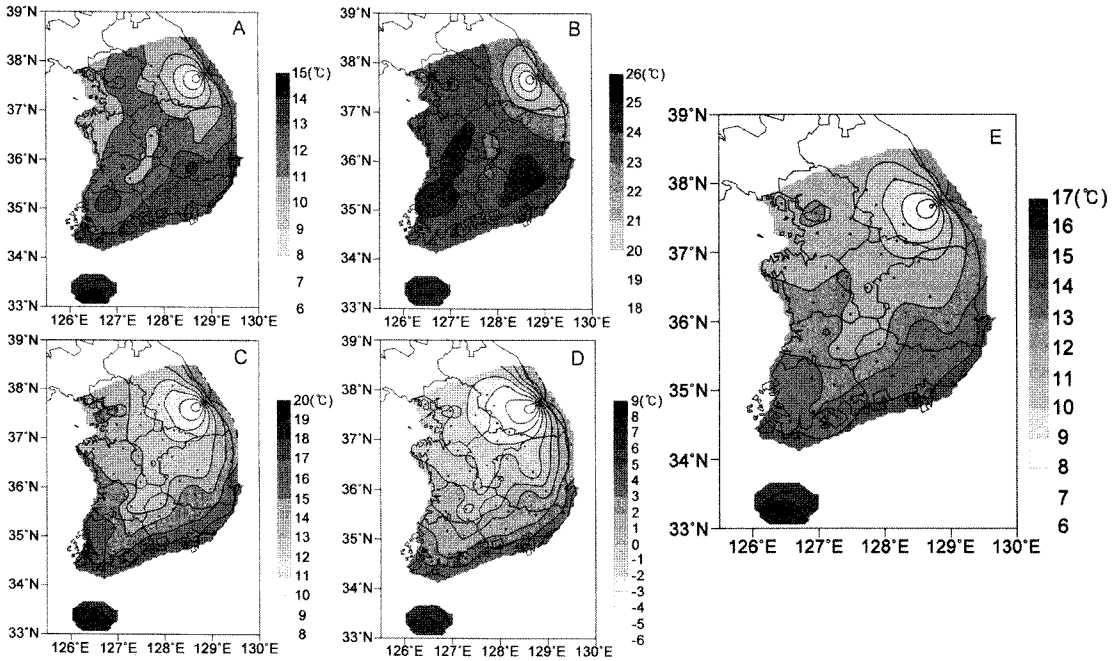


그림 2. 계절별 및 연 평균기온의 분포(1973~2007년, A: 봄철, B: 여름철, C: 가을철, D: 겨울철, E: 연 평균기온)
 ※ A~E 범례의 범위가 각각 다름.

로 강수량이 많았고 대구를 포함한 경북 중부지역이 적은 곳으로 나타났다. 봄철은 강수량의 남북 차이가 사계절 중 가장 명확하게 나타난 계절이다. 남해안지역에서는 강수량이 400mm를 넘는 지역이 많았으며 남부 이외 대부분 지역의 강수량은 200mm내외를 보였다. 여름철은 강수량의 지역적 차이가 가장 큰 계절이며 경기 북부와 강원 영동 산간을 잇는 지역과 남해안 및 제주에서 강수량이 많았고 경북이 적었다. 강원 영동 산간 및 해안지역은 여름철, 가을철, 겨울철에 많은 강수량이 나타났는데 이는 태풍의 주요 이동경로에 위치하여 장마 후 여름철과 가을철의 강수량이 많고, 겨울철에는 동풍계 기류의 영향으로 강수량이 많은 특징을 보이기 때문이다(기상청 기상연구소, 2004; Choi and Kim, 2007; 박창용 등, 2008). 전남, 전북의 해안 지역과 노령산맥 서서면 지역은 겨울철 시베리아 고기압의 확장으로 차가운 북서풍이 상대적으로 따뜻한 황해를 지나오면서 상층 대기와 해수 간의 온도차로 만들어진 구름에 의해 많은 눈이 내려 겨울철 강수량

이 많은 지역이다(이승호 · 천재호, 2003).

4. EOF분석

월 평균기온과 월 강수량 아노말리값에서 경향성을 제거한 후, 이를 EOF분석의 입력변수로 이용하였다. 각 변수가 나타내는 변동성을 가장 대표적으로 설명해주는 순서대로 세 번째 모드까지 선택하고 이 선택된 각 모드가 전체의 변동성에서 설명하는 비율을 백분율로 계산하여 그 기여도를 산출하였다(그림 4). 선택된 세 모드는 계절별과 요소별로 차이를 보였지만 기온의 경우 모든 계절에서 누적하여 전체의 80% 이상 기여도를 갖는 것으로 나타났다. 강수량의 경우 기온보다는 모드별, 계절별로 변동 폭이 컸지만 여름철(72.1%)을 제외한 나머지 계절도 누적하여 전체의 80% 이상의 비교적 높은 기여도를 보였다. 모든 계절의 기온과 강수량

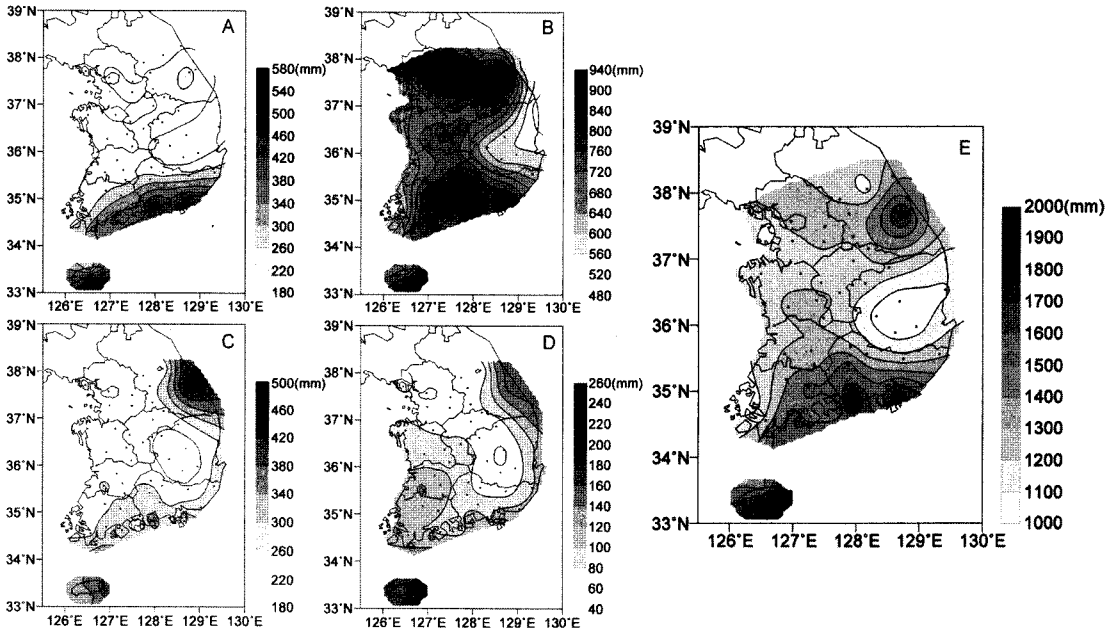


그림 3. 계절별 강수량 및 연 강수량 분포(1973~2007년, A: 봄철, B: 여름철, C: 가을철, D: 겨울철, E: 연 강수량)
 ※ A~E 범례의 범위가 각각 다름.

에서 제 4모드 이상은 기여도가 현저히 작게 나타났다.

월 평균기온 및 월 강수량의 상관관계 행렬에서 고유값과 고유벡터를 구한 후 각 지점에 대한 계절별 평균기온 및 계절별 강수량의 EOF 모드별 주성분점수의 공간 분포를 각각 나타내었다(그림 5, 6). EOF 모드별 주성분점수의 공간 분포에서는 값이 0을 기준으로 부호가 바뀌면 변수의 변화 경향이 달라지는데 제 2·3모드는 제 1모드 보다 전체 변동성에 대한 기여도가 작기 때문에 제 2·3모드에서는 변수가 가진 변화 경향을 파악하는 것만으로 충분하다고 판단하여 주성분점수 0을 기준으로 양의 값과 음의 값이 분포하는 지역을 나타내었다.

5. 기온 및 강수지역구분

서론에서 밝혔듯이 본 연구 결과의 적용 분야인 장기예보구역구분에 적합하려면 구분된 군집은 연속적

으로 분포하는 형태가 바람직하다. 따라서 군집이 연속적으로 분포하는 형태일수록 좋은 군집결과를 보였다고 판단하였다. 군집개수 결정에서는 분석을 통해 작성된 덴드로그램(dendrogram)에서 결합단계의 거리 분석이나 Ward법의 경우 군집개수에 대한 오차제 곱합의 증분을 검토하여 급격한 변화가 일어나는 위치에서 대응하는 군집의 개수를 결정하기도 하지만 군집의 개수 결정은 분석을 위해 주어진 데이터와 사전경험에 의해 연구자가 주관적으로 결정하는 것이 일반적이다(박민재 등, 2003). 여러 차례의 군집분석 결과, 다섯 개 이상의 군집으로 나누었을 때 구분된 군집분포의 연속성이 현저하게 떨어졌다. 이에 따라 군집개수는 두 개에서 네 개까지 선택했으며 이는 광역적 지역구분의 특성을 갖는 장기예보구역구분에 적합한 것으로 판단된다.

1) 기온지역구분

기온에 대한 지역구분의 결과를 그림 7에 나타내었

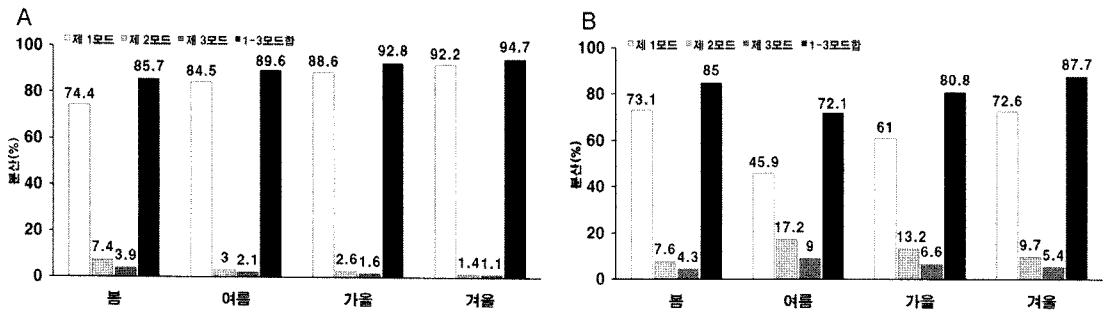


그림 4. 계절별 평균기온(A) 및 계절별 강수량(B)의 EOF 모드별 기여도(1973~2007)

다. 각 행은 군집분석 방법을 나타낸 것으로서 I행은 군집 간 평균연결법, II행은 군집 내 평균연결법, III행은 Ward법을 적용한 것이며, 각 열은 군집개수를 나타낸 것으로서 A열은 2군집, B열은 3군집, C열은 4군집을 나타낸 것이다. 동일한 숫자로 표기된 지점은 각각의 군집분석과 군집개수에서 기온에 대해 동일한 특성을 갖는 곳이다. 군집 간 평균연결법의 경우를 살펴보면, 2군집에서 강릉 및 속초의 영동 해안지역이 구분되었다. 3군집은 영동 해안지역(1지역), 경기 강화 및 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 제주(2지역)와 강원 영서 및 강화를 제외한 경기, 충북지역(3지역)으로 구분되었으며 구분된 군집들이 비교적 연속적으로 분포하는 패턴을 보였다. 4군집은 2지역에서 목포, 완도, 남해(4지역)가 구분되었다. 2군집에서는 해양성 기후가 나타나 연중 기온의 변화가 적고 따뜻하며 특히 겨울철에는 태백산맥이 북서 계절풍을 막아주어 비슷한 위도대의 황해안에 비하여 따뜻한 특징을 보이는 영동 해안지역이 잘 구분되었다(기상청 기상연구소, 2004). 3, 4군집에서는 같은 충남 해안지역에 비해 기온의 연교차가 커서 대륙성 기후가 나타나는 충북지역까지 경기·강원 영서지역과 동일한 군집으로 구분되었으며 충북과 경북지역이 뚜렷하게 구분되었다. 이에 따라 기온에 대하여 군집 간 평균연결법을 적용한 지역구분에서는 해륙의 영향과 산지의 영향이 비교적 잘 반영되었고 남부와 북부지역이 구분되어 위도의 영향도 반영되었으며 다른 군집방법들보다 군집 분포의 연속성이 잘 나타나서 기온지역구분에서 다른 군집방법들보다 좋은 결과를 보인 것으로 판단된다.

군집 내 평균연결법의 경우, 2군집은 전체적으로 남북 방향의 특징을 보였다. 남부의 특징이 영동 산간 및 해안지역까지 나타나 영동과 영서지역이 구분되었으며 강화와 천안은 주변의 2지역이 아닌 남부의 1지역으로 구분되었다. 3군집은 기존의 1지역이 동서 방향으로 구분되었으며 경북 구미와 의성이 남부지역에 속했다. 4군집은 3군집의 남부지역이 남부 해안지역과 그 이외로 구분된 특징을 보였다. 전체적으로 군집 간 평균연결법보다 군집 분포의 연속성이 잘 나타나지 않았다. 특히 4군집은 4지역이 산재한 분포를 보여 군집화가 곤란했으며 단지 영동과 영서지역이 구분된 특징을 보였다. Ward법의 경우, 2군집은 군집 내 평균연결법의 경우와 유사한 결과를 보였다. 남부의 특징이 영동 산간 및 해안지역과 홍천까지 나타났으며 강화와 천안이 주변과 다른 군집에 속했다. 3군집은 기존의 1지역에서 동해안을 따라 구분되었으며 4군집은 남부지역에서 남해안이 구분된 특징이 나타났다. 군집 간 평균연결법보다 군집 분포의 연속성이 잘 나타나지 않았지만 동해안 지역이 구분된 특징을 보였다. 모든 군집 분석 방법과 군집개수에서 영동지역과 영서지역이 구분되었다. 기온지역구분 군집방법 중에서는 군집 간 평균연결법을 이용한 방법이 가장 좋은 결과를 보였다.

2) 강수지역구분

강수에 대한 지역구분을 그림 8에 나타내었다. 기온 지역구분과 마찬가지로 행과 열은 각각 군집분석 방법

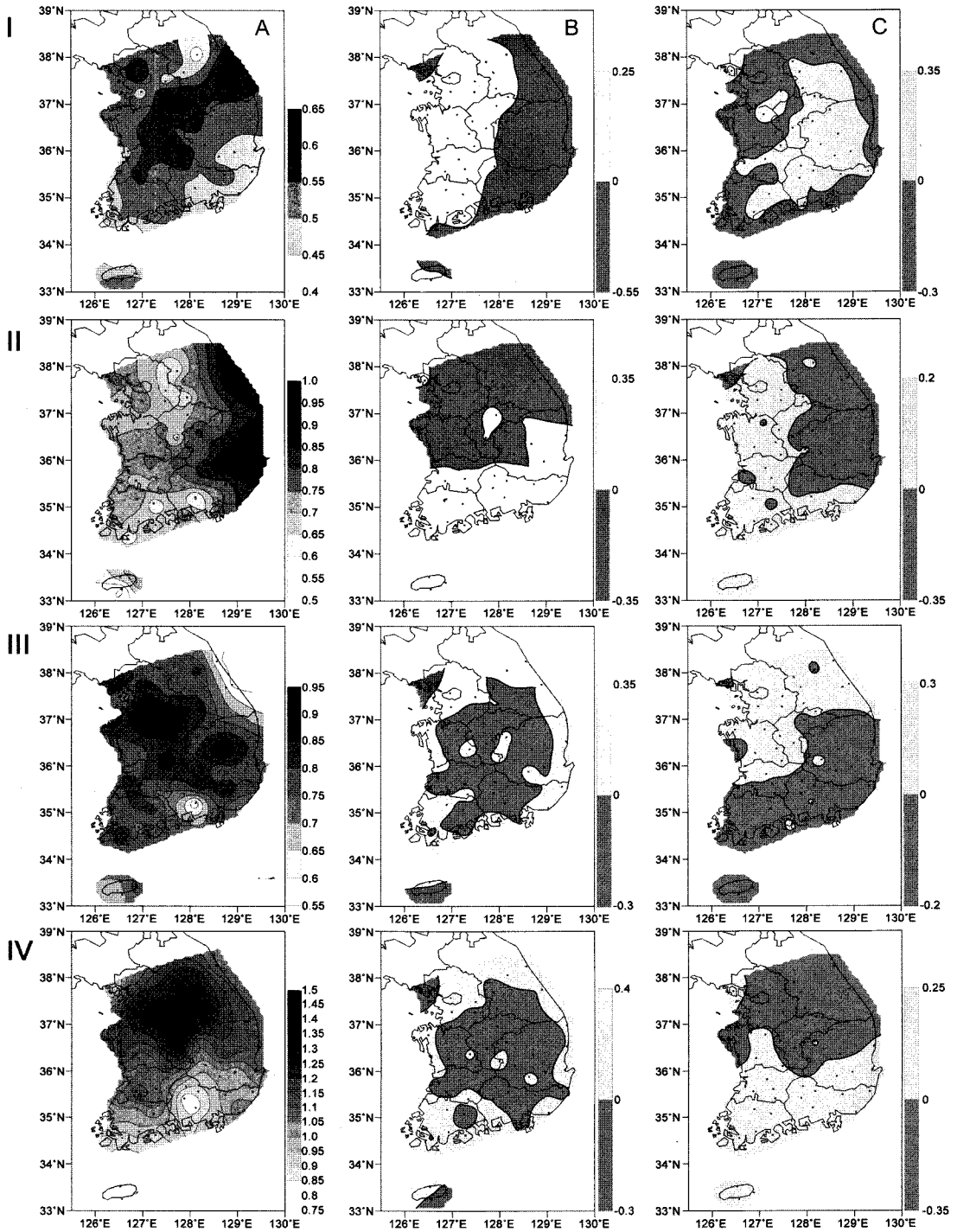


그림 5. 계절별 평균기온의 EOF 모드별 주성분점수의 공간 분포
 (I 행: 봄철, II행: 여름철, III행: 가을철, IV행: 겨울철, A열: 1모드, B열: 2모드, C열: 3모드)

※ 각 모드 범례의 범위가 계절별로 다름.

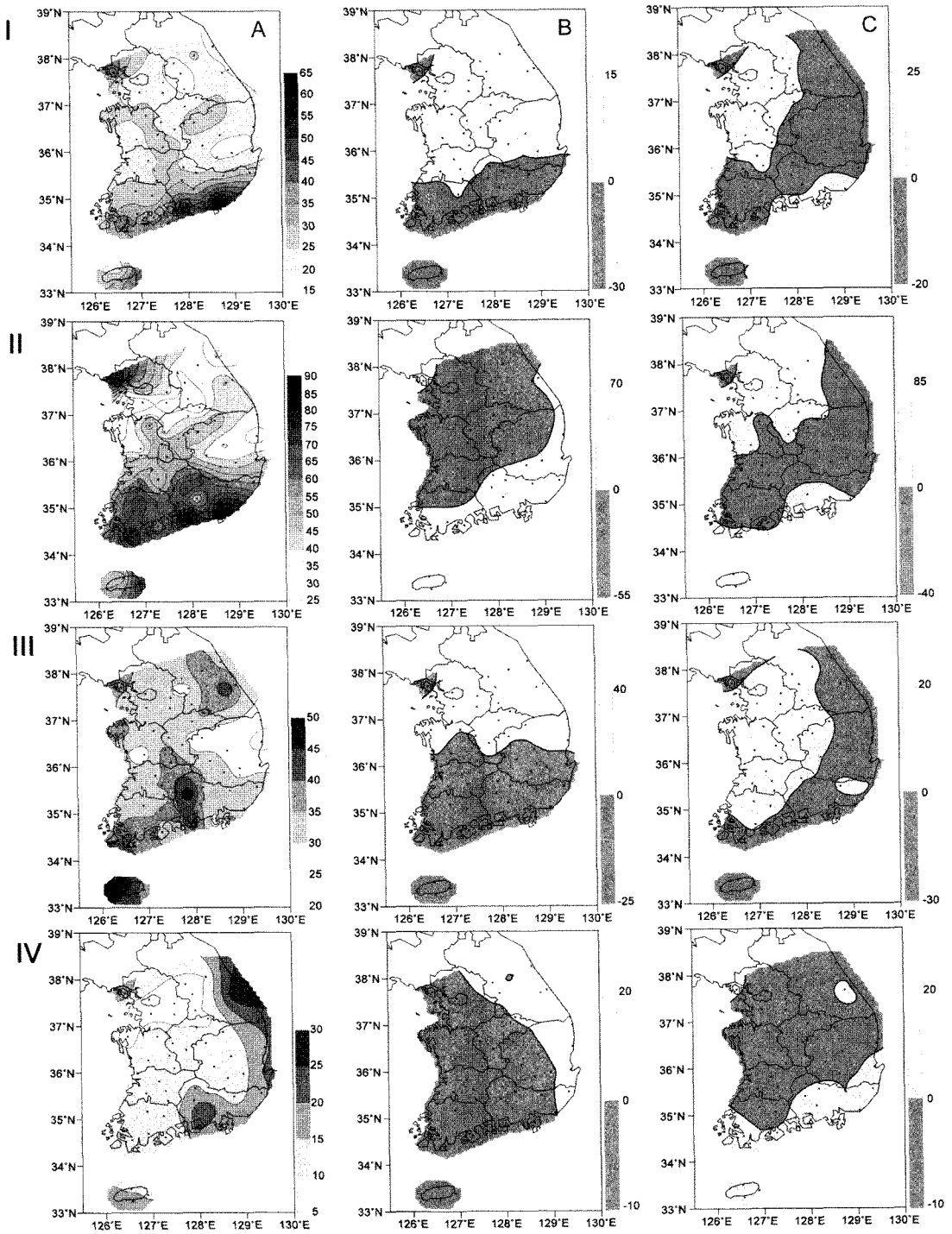


그림 6. 계절별 강수량의 EOF 모드별 주성분점수의 공간 분포
 (I 행: 봄철, II행: 여름철, III행: 가을철, IV행: 겨울철, A열: 1모드, B열: 2모드, C열: 3모드)

※ 각 모드 범례의 범위가 계절별로 다름.

과 군집개수를 나타낸 것이며 동일한 숫자로 표기된 지점은 강수에 대하여 동질한 특성을 갖는 지점이다. 모든 군집분석 방법에서 경기 강화와 경남 진주가 주변과는 다르게 이례 군집으로 분류되었고 Ward의 2군집을 제외한 모든 군집분석 방법 및 군집개수에서 제주도의 성산포가 다른 제주도내의 지점들과는 다른 군

집으로 구분되었다. 전체적으로 기온지역구분보다는 군집 분포의 연속성에서 더 좋은 결과를 보였다. 군집 간 평균연결법의 경우, 2군집은 제주, 서귀포, 진주의 세 지점만이 구분되었고 3군집은 전체적으로 남북 방향으로 구분되었으며 전남과 전북이 구분되고 경북은 동서로 구분된 특징을 보였다. 4군집은 영동 산간 및

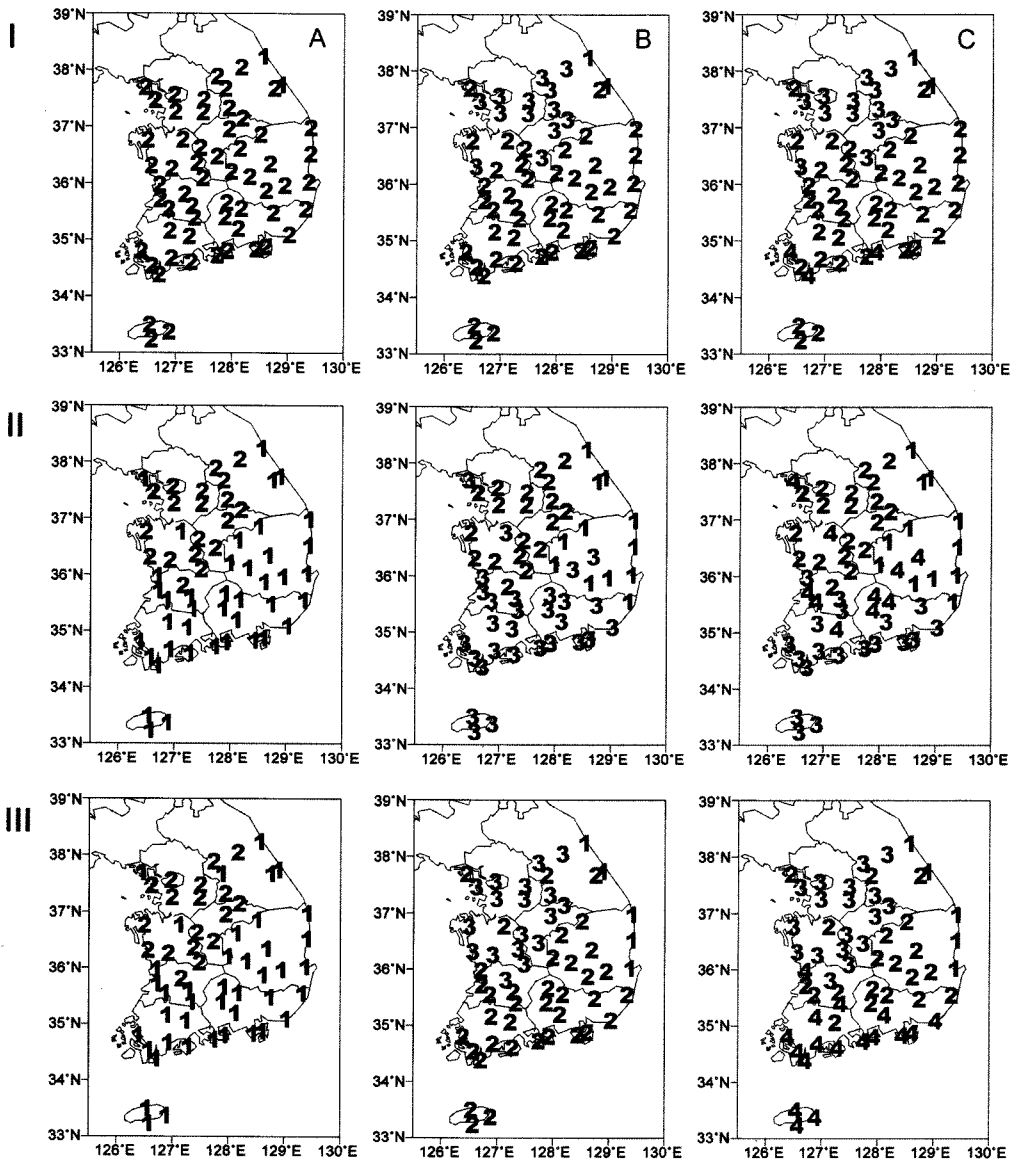


그림 7. 기온지역구분

(I 행: 군집 간 평균연결법, II행: 군집 내 평균연결법, III행: Ward법, A열: 2군집, B열: 3군집, C열: 4군집)

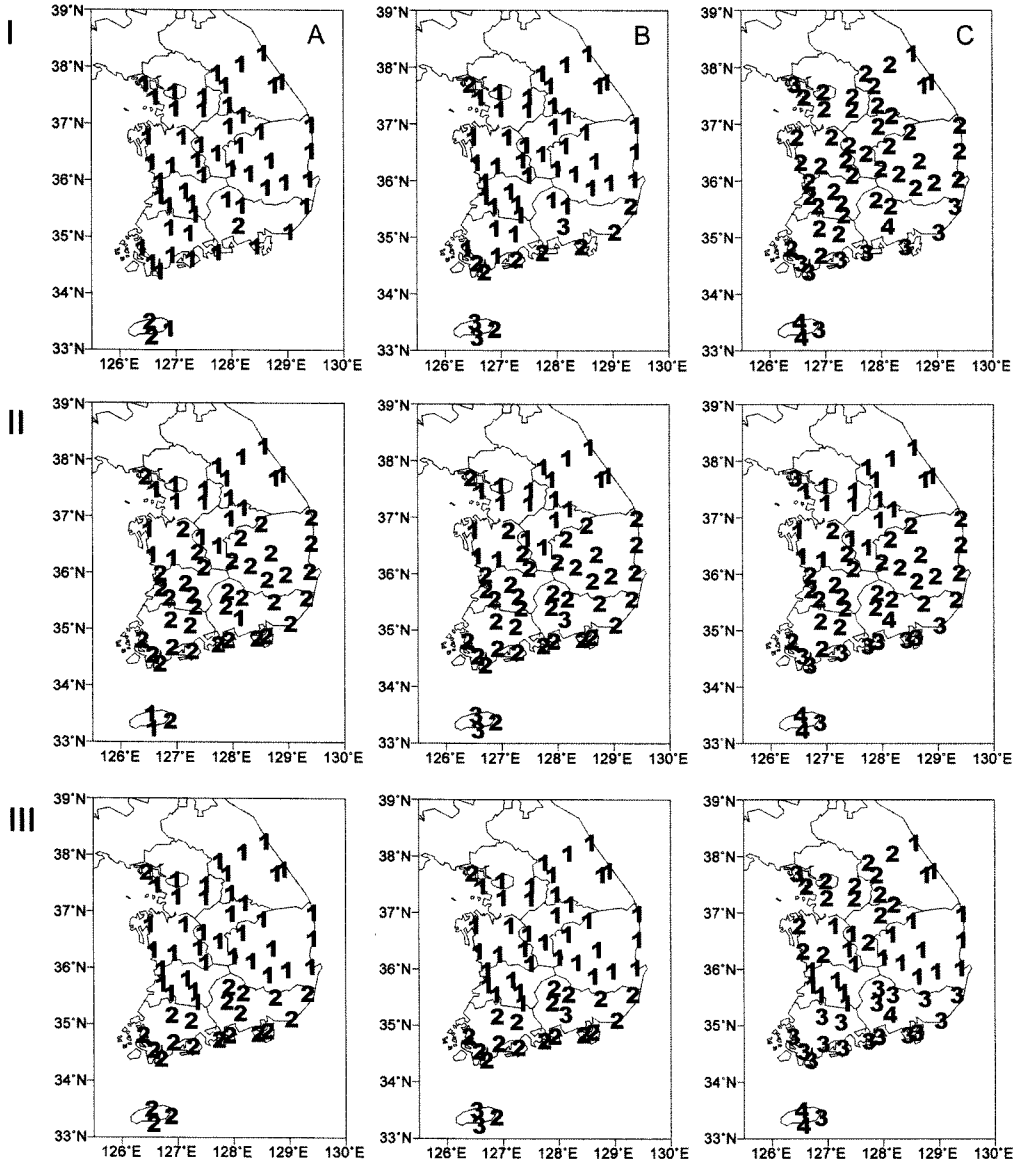


그림 8. 강수지역구분

(I행: 군집 간 평균연결법, II행: 군집 내 평균연결법, III행: Ward법, A열: 2군집, B열: 3군집, C열: 4군집)

해안지역이 구분되었다. 군집 간 평균연결법은 전체적으로 강수특성의 남북 차이를 잘 나타내었다. 3절에서도 밝혔듯이 영동 산간 및 해안지역은 여름철과 가을철은 태풍의 주요 이동경로에 위치하여 강수량이 많고, 겨울철에는 동풍계 기류의 영향으로 강수량이 많은 특징을 보이는 지역이다. 4군집에서는 이러한 영동

산간 및 해안지역이 구분되어 전체적으로 남북으로는 위도, 영동과 영서지역에서는 산지의 영향이 반영된 것으로 생각된다. 군집 내 평균연결법의 경우, 2군집은 남북 방향으로 구분된 형태를 보였으며 충북 및 충남 서해안까지 북부지역의 강수특성과 동일한 것으로 구분되었다. 3군집은 제주, 서귀포, 진주의 세 지점이 구

분되었으며 4군집은 남해안 지점들이 구분된 특징을 보였다. 군집 내 평균연결법은 군집 간 평균연결법과 같이 강수특성의 남북 차이를 비교적 잘 나타내었고 남부의 군집 분포가 군집 간 평균연결법보다 더 북쪽까지 치우친 특성을 보였다. 영동지역은 구분되지 않았지만 전 계절에 걸쳐 강수량이 많은 지역인 남부 해안지역이 구분되었고 충북과 경북지역이 구분된 분포를 보여 군집 간 평균연결법과 마찬가지로 위도 및 산지의 영향을 비교적 잘 반영한 것으로 생각된다.

Ward법의 경우, 2군집은 전남, 경남, 제주와 그 이북으로 행정구역에 따라 명확히 구분된 특징을 보였으며 3군집은 남부지역에서 제주, 서귀포, 진주가 구분된 특징을 보였다. 4군집은 북부와 중부지역으로 구분되었으며 영동 산간 및 해안지역과 영서지역이 구분된 특징을 보였다. Ward법도 위의 두 군집방법과 같이 강수특성의 남북 차이를 비교적 잘 나타내었고 4군집에서는 영동지역과 충북과 경북지역이 구분된 특징을 보임에 따라 위도 및 산지의 영향을 비교적 잘 반영한 결과를 보인 것으로 판단된다. 모든 군집방법에서 경기 강화와 경남 진주가 주변과는 다르게 이례 군집으로 구분되었지만 전체적으로는 기온지역구분보다 군집 분포의 연속성에서 좋은 결과를 보였다.

6. 기온과 강수특성을 함께 고려한 기후지역구분

전술한 바와 같이 군집분석에서는 사용될 변수들의 측정 척도가 다른 경우에는 적용 전에 반드시 표준화해야 한다(김윤진, 2005; 조정우, 2005). 따라서 기온과 강수량의 척도가 다르므로 군집분석 전에 EOF분석을 통해 산출된 기온과 강수량의 계절 및 모드별 주성분점수를 Z값으로 표준화시켜 군집분석 입력변수로 이용하였다. 기온과 강수특성을 함께 고려한 기후지역구분 결과를 그림 9에 나타내었다. 각각의 기후요소별 지역구분과 마찬가지로 행과 열은 각각 군집분석 방법과 군집개수를 나타내었고 동일한 숫자로 표기된 지점

은 기온과 강수특성에 대해 동일한 특성을 갖는 지점이다. 전체적으로 각각의 기후요소에 대한 지역구분보다 군집 분포의 연속성에서 좋은 결과를 보인 것으로 판단된다. 군집 간 평균연결법의 경우, 2군집은 영동 산간 및 해안지역이 구분되었고 3군집은 제주, 서귀포, 진주의 세 지점이 구분되었으며 4군집은 남부 해안지역이 구분된 특징을 보였다. 3, 4군집에서 경남 진주가 이례 지역으로 구분되었지만 비슷한 위도의 영서지역과 기온과 강수특성의 차이를 보이는 영동지역이 구분되었고 전남의 목포, 완도, 여수와 경남 남부 해안지역이 구분되어 산지 및 해양의 영향을 비교적 잘 반영한 것으로 보인다. 하지만 2지역이 북부와 남부지역까지 광범위하게 분포한 결과를 보여 위도의 영향이 잘 반영되지 않은 것으로 생각된다.

군집 내 평균연결법의 경우를 살펴보면, 2군집은 호남 남해안 및 경남과 경기 강화가 구분되었고 3군집은 영동 해안지역이 구분되었으며 4군집은 서귀포와 진주 두 지점이 구분되었다. 영동 해안지역이 구분되었고 호남 남해안 및 경남이 구분되었지만 군집 간 평균연결법과 마찬가지로 2지역이 위도의 영향이 잘 반영되지 않아 동일한 기후특성이 북부와 남부지역까지 광범위하게 분포한 것으로 판단된다. Ward법의 경우를 살펴보면, 모든 군집개수에서 경기 강화와 충남 천안이 이례 지역으로 구분되었다. 2군집은 충남과 전남, 충북과 경북이 구분되어 행정구역에 잘 맞게 구분된 특성을 보였으며 영동 산간 및 해안지역과 영서지역이 구분된 특징을 보였다. 3군집은 구분된 영동지역이 남부로 더 확장하여 동해안을 따라 구분되었고 4군집은 제주 및 서귀포와 남부 해안지역이 구분된 것으로 나타났다. Ward법은 영동 산간 및 해안지역과 영서가 구분되고 충북과 경북이 구분되었다. 특히 경북지역의 태백산맥 동해안지역이 잘 구분되어 산지의 영향이 잘 반영된 것으로 보인다. 또한 충남과 전남지역이 구분되어 행정구역에도 잘 맞게 구분된 특징도 보였다. 따라서 기온과 강수특성을 함께 고려한 기후지역구분의 군집방법 중 Ward법은 지형, 위도, 해양의 효과와 기압계 이동 방향에 따른 특성을 잘 반영하여 가장 좋은 군집결과를 나타낸 것으로 판단되며 행정구역에도 잘 맞게 구분되어 본 연구 결과의 적용 분야인 장기예보

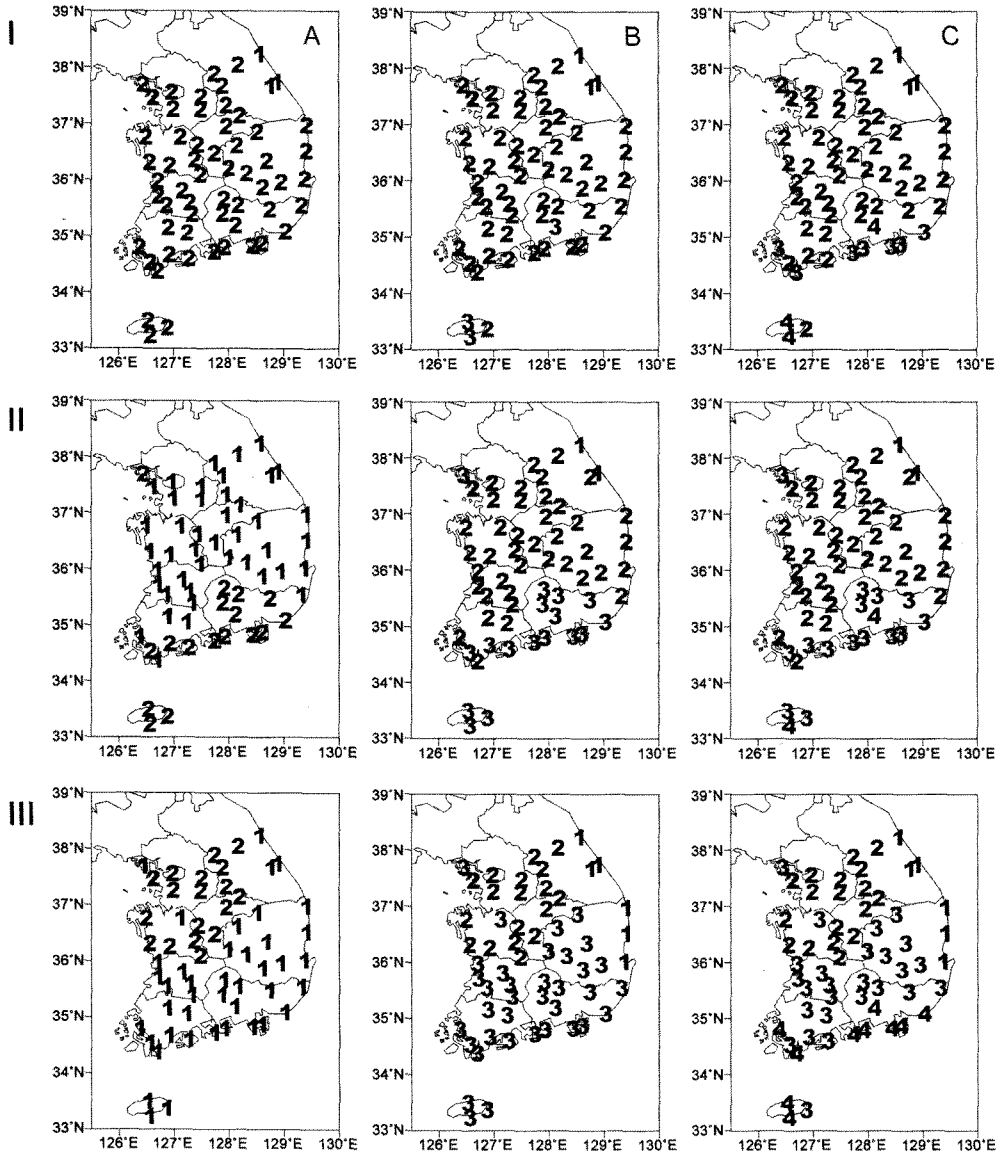


그림 9. 기온과 강수특성을 함께 고려한 기후지역구분
 (I 행: 군집 간 평균연결법, II행: 군집 내 평균연결법, III행: Ward법, A열: 2군집, B열: 3군집, C열: 4군집)

구역구분에 적합한 결과를 보였다. 그 중에서도 3군집 형태가 군집 분포의 연속성이 잘 나타나 기후지역구분에서 최적의 결과를 보인 것으로 판단된다. 장기예보구역 설정 시, Ward법의 3군집결과를 적용한다면 2지역 내에 경기 강화와 충남 천안의 두 지점의 이례 지점이 존재한다 하더라도 장기예보구역은 광역적인 성격

을 가지므로 이 두 지점을 고려하지 않거나 포함하여 2지역으로 구분해도 무방할 것으로 생각한다.

기온과 강수특성을 함께 고려한 기후지역구분에서 최적의 결과를 보인 Ward법의 3군집 형태에서 구분된 기후지역별 연 평균기온과 연 강수량을 표 1로 제시하였다. 1지역은 영동 산간 및 해안지역과 경북 동해안이

표 1. 선정된 기후지역별 관측지점과 지역별 연 평균기온 및 연 강수량

지역	관측지점	개수	연 평균기온	연 강수량
1	속초, 대관령, 강릉, 울진, 포항, 영덕	6	11.7℃	1286.6mm
2	춘천, 서울, 인천, 원주, 수원, 충주, 서산, 청주, 대전, 양평, 이천, 인제, 홍천, 제천, 보은, 보령, 부여, 금산	18	11.3℃	1263.4mm
3	추풍령, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 부산, 통영, 목포, 여수, 완도, 제주, 성산, 서귀포, 진주, 강화, 천안, 부안, 임실, 정읍, 남원, 순천, 장흥, 해남, 고흥, 영주, 문경, 의성, 구미, 영천, 거창, 함천, 밀양, 산청, 거제, 남해	36	13.0℃	1346.9mm

속했다. 2지역보다는 연 평균기온과 연 강수량이 각각 높고 많았으며 1지역보다는 낮고 적었다. 강원 영서 지역과 경기, 충남, 충북이 속한 2지역은 구분된 지역 중에서 연 평균기온과 연 강수량은 각각 가장 낮고 적은 지역으로 나타났다. 3지역은 2지역 남부와 1지역 서부에 위치하고 있으며 전남, 전북, 경남, 경북 서부 내륙 지역, 제주도가 속했다. 구분된 지역 중에서 연 평균기온과 연 강수량이 각각 가장 높고 많은 지역으로 나타났다.

7. 요약 및 결론

본 연구에서는 통계적인 기법을 이용하여 기온과 강수특성을 함께 고려하고 기후요소의 계절 변동성을 반영한 남한의 기후지역을 구분하고자 하였다. 이를 위해 시·공간 변동성을 효과적으로 제시할 수 있는 EOF분석법을 적용한 후 주관성을 배제하고 일정한 계산법에 따라 대상을 객관적으로 분류하는 기법인 군집 분석을 이용하였다. 먼저 각 계절별 기온 및 강수량 분포를 살펴보았는데 기온의 경우 지형 및 위도에 의해 모든 계절이 공통적으로 영향을 받았으며 고도와 위도가 높을수록 기온이 낮아지는 특성이 나타났다. 강수량은 여름철에 집중되고 지역적으로는 강원 영동, 남해안, 제주에서 많았고 경북 중부지역에서 적은 분포를 보였다.

1차로 EOF분석을 계절별 기온 및 강수량에 대해 실

시하였다. EOF분석 전에 기온과 강수량 아노말리값에서 경향성을 제거하여 입력변수로 이용하였고 세 번째 모드까지 선택하였다. 이후, 계절 및 모드별로 산출된 주성분점수를 입력변수로 하여 군집분석을 수행하였다. 군집분석 방법은 군집 간 및 군집 내 평균연결법과 Ward법을 이용하였으며 군집의 개수는 두 개에서 네 개까지 선택하고 분석하였다. 기온지역구분의 경우 모든 군집분석 방법과 군집개수에서 영동지역과 영서지역이 구분되었으며 강수지역구분은 기온지역구분보다 군집 분포의 연속성에서 더 좋은 결과를 보였다.

기온과 강수특성을 함께 고려한 기후지역구분에서는 기온과 강수량의 척도가 다르므로 EOF분석을 통해 산출된 기온과 강수량의 계절 및 모드별 주성분점수를 Z값으로 표준화시켜 군집분석 입력변수로 이용하였다. 전체적으로 각각의 기후요소에 대한 기후지역구분보다 군집 분포의 연속성에서 좋은 결과를 보였다. Ward법은 영동 산간 및 해안지역과 영서가 구분되고 충북과 경북이 구분되었으며 동해안지역이 잘 구분되었다. 따라서 기온과 강수특성을 함께 고려한 기후지역구분의 군집방법 중 Ward법은 지형, 위도, 해양의 효과와 기압계 이동 방향에 따른 특성을 잘 반영하였고 행정구역에도 잘 맞게 구분되어 장기에보구역구분에 가장 좋은 군집결과를 보인 것으로 생각된다. 그 중에서도 3군집 형태가 분포의 연속성이 잘 나타나 기후지역구분에서 최적의 결과를 보였다.

지역적으로 세분화된 기후예측 서비스에 대한 요구가 갈수록 높아짐에 따라 장기에보구역의 세분화가 필요하다. 따라서 본 연구를 통한 결과는 현재 지역구분

없이 우리나라를 단일지역으로 하여 생산되고 있는 장기에보구역의 세분화를 위한 기반 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- 강병서 · 김계수, 2005, 사회과학 통계분석, SPSS아카데미, 555pp.
- 고정웅 · 백희정 · 권원태, 2005, “한반도 우기의 강수 특성과 지역 구분,” 한국기상학회지, 41(1), 101-114.
- 고정웅 · 백희정 · 권원태 · 박종열, 2006, “한반도의 기온 분포 특성과 지역 구분,” 기후연구, 1(1), 3-14.
- 구자용 · 유명진 · 김신걸 · 심희희 · 小泉明, 2005, “주성분 분석과 군집분석을 이용한 장기 물수요예측과 활용,” 대한환경공학회지, 27(8), 870-876.
- 기상청 기상연구소, 2004, 한국의 기후, 415pp.
- 김광섭, 2007, 수문-기상자료 해석을 위한 통계 기법에 대한 고찰, 한국수자원학회 2007년도 분과위원회 연구과업보고서, 370-400.
- 김성렬 · 양진석, 1995, “한국의 온대저기압성 강수지역 구분,” 한국지역지리학회지, 1, 45-60.
- 김윤진, 2005, K-평균 군집분석 재현성 평가에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문.
- 나정열 · 한상규 · 서장원 · 노의근 · 강인식, 1997, “한국 동해에서의 해면기압, 해수면온도와 해상풍의 경험적 직교함수 분석,” 한국수산학회, 30(2), 188-202.
- 문영수, 1990, “클러스터분석에 의한 한국의 강수지역 구분,” 한국기상학회지, 26(4), 203-215.
- 박민재 · 전성해 · 오경환, 2003, “붓스트랩 기법과 유전자 알고리즘을 이용한 최적 군집 수 결정,” 한국 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, 13(1), 12-17.
- 박정규 · 이승만, 1993, “연 강수량에 의한 남한의 강수지역구분,” 한국기상학회지, 29(2), 117-126.
- 박창용 · 문자연 · 차은정 · 윤원태 · 최영은, 2008, “최근 한반도 여름철 강수특성의 변화,” 대한지리학회지, 43(3), 324-336.
- 박현욱, 1986, “남한의 강수량 연변화유형과 강수지역,” 지리학, 33, 26-36.
- 박현욱, 1987, “기후요소의 주성분분석에 의한 한국의 기후구분,” 지리학, 36, 13-25.
- 박현욱, 1991, “한국의 1월 강수량의 기후구분 해석,” 지리학, 26(1), 30-45.
- 박현욱 · 문병채, 1998, “GIS를 이용한 한국의 기후지역구분,” 대한지리학회지, 33(1), 17-40.
- 이동규 · 박정균, 1999, “군집분석을 이용한 남한의 여름철 강수 지역 구분,” 한국기상학회지, 35(4), 511-518.
- 이승호 · 천재호, 2003, “시베리아 고기압 확장시 호남 지방의 강설 분포 -노령 산맥 서사면을 중심으로-,” 대한지리학회지, 38(2), 173-183.
- 이승호 · 허인혜 · 이경미 · 권원태, 2005, “우리나라 상세 기후지역의 구분,” 한국기상학회지, 41(6), 983-995.
- 전치혁, 2004, 데이터마이닝 기법: 군집분석, 테크노경영연구정보센터 뉴스레터, 8(2).
- 조정우, 2005, K-평균 군집화를 이용한 분류분석, 중앙대학교 석사학위논문.
- 허인혜, 2006, “한국의 지역별 이상기온의 분포 특성과 그 지역구분,” 한국지역지리학회지, 12(4), 461-474.
- Ahmed, B. Y. M., 1997, Climatic classification of Saudi Arabia: an application of factor-cluster analysis, *Geojournal*, 41(1), 69-84.
- Baeriswyl, P. A. and Rebetez, M., 1997, Regionalization of precipitation in Switzerland by means of principal component analysis, *Theoretical and Applied Climatology*, 58, 31-41.
- Bunkers, M. J., Miller, J. R., and DeGaetano, A. T., 1996, Definition of climate regions in the northern plains modification technique, *Journal of Climate*, 9, 130-146.
- Choi, K. S. and Kim, B. J., 2007, Climatological characteristics of tropical cyclones making landfall over the Korean peninsula, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 43(2), 97-109.
- Coronato, F. and Bisigato, A., 1998, A temperature pattern classification in Patagonia, *International Journal of Climatology*, 18, 765-773.
- Gong, X. and Richman, M. B., 1995, On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in north America east of the Rockies, *Journal of Climate*, 8, 897-931.
- Kalkstein, L. S., Tan, G., and Skindlov, J. A., 1987, An

박창용 · 최영은 · 문자연 · 윤원태

evaluation of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26(6), 717-730.

Puvaneswaran, K. M. and Smithson, P. A., 1993, An objective classification of homogeneous rainfall regimes in Sri Lanka, *Theoretical and Applied Climatology*, 48, 133-145.

교신: 문자연, 143-701, 서울시 광진구 화양동 1번지 건국대학

교 기후연구소(이메일: mjy1011@gmail.com, 전화: 02-450-4145, 팩스: 02-3436-5433) ..

Correspondence: Ja-Yeon Moon, Climate Research Institute, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Gwangjin-Gu, Seoul, 143-701, Korea(e-mail: mjy1011@gmail.com, phone: +82-2-450-4145, fax: +82-2-3436-5433)

최초투고일 08. 09. 05

수정일 08. 12. 31

최종접수일 09. 03. 13