

전국 도시대기 측정망의 2000~2005년 PM10 농도 군집분석

Cluster Analysis of PM10 Concentrations from Urban Air Monitoring Network in Korea during 2000 to 2005

한 지 현 · 이 미 혜 · 김 영 성^{1),*}

고려대학교 지구환경과학과, ¹⁾한국외국어대학교 환경학과
(2007년 8월 2일 접수, 2008년 5월 14일 채택)

Jihyun Han, Meehye Lee, and Young Sung Ghim^{1),*}

Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University

¹⁾*Department of Environmental Science, Hankuk University of Foreign Studies*

(Received 2 August 2007, accepted 14 May 2008)

Abstract

Variations in PM10 concentration between 2000 and 2005 from 84 urban air monitoring stations operated by the government were analyzed. The K-means cluster analysis was attempted using annual average and the 99th percentile of daily averages as parameters. The results obtained by excluding Asian dust episode days were compared with those obtained by using all available data. In any cases, the cluster with the highest mean concentration was mostly composed of stations in Seoul and Gyeonggi. Annual average of the cluster with the highest mean concentration showed a distinct decreasing trend, but that excluding Asian dust episode days did not show such a trend. Without Asian dust episode days high concentrations of monthly averages in March and April were also not observed. The effect of Asian dust was more pronounced in the 99th percentile of daily averages. The 99th percentile of daily averages of the cluster with the highest mean concentration was the highest in June following downs in April and May.

Key words : PM10, Cluster analysis, Asian dust, Urban air monitoring network

1. 서 론

대기오염 측정망은 대기오염의 경보체계를 구축하고 효과적인 대기오염 저감 대책 수립과 평가 및 개선을 위한 기초자료를 제공해 주며 오염물질의 환경기준 달성여부, 대기 오염 예측 모델의 자료제공, 대

기오염 배출원의 감시등 여러 가지 기능을 수행하고 있다(유은철과 박옥현, 2006; Yang, 2002). 또한 대기오염물질이 국경을 넘어가는 문제에 따른 국제협약의 배경자료를 산출할 수 있으며, 지구 온난화와 같은 전지구적 규모의 대기 오염현상 규명을 위한 국제 관측망의 일부가 될 수 있다(환경부, 1998).

우리나라에서는 2007년 현재, 전국 220개 관측지점에서 환경기준물질로서 기체상 4항목(O₃, NO₂, CO, SO₂)과 입자상 1항목(PM10)을 측정하고 있다.

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-330-4993, E-mail : ysghim@hufs.ac.kr

이 중 PM10은 대기 중에 부유하는 입경 10 μm 이하의 입자상 물질로, 환경기준 변화에 따라 1995년부터 TSP와 병행하여 측정되다가 2001년부터는 PM10만이 측정되고 있다. 황사와 같은 자연적 배출원과 산업시설, 자동차 등의 인위적 배출원으로 부터 기원하는 PM10은 피부질환, 호흡기 및 심혈관계 질환 등 인체에 대한 악영향을 비롯하여 산성비와 시정장애, 식물의 신진대사방해 등의 환경오염은 물론 지구 복사수지에 영향을 미친다(Lighty *et al.*, 2000; Seinfeld and Pandis, 1998; Preining, 1991).

유럽연합에서는 연평균 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 PM10 환경기준을 2005년부터 2010년까지 연평균 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 낮추는 것을 목표로 하고 있다(Rodriguez *et al.*, 2003). 우리나라는 향후 10년 이내에 수도권지역의 대기환경을 선진국 수준으로 개선하기 위한 '수도권 대기환경개선에 관한 특별법'을 2003년 12월에 제정하고, 2005년 1월부터 시행하고 있다(환경부, 2005). 이 특별법에 의거해 수립된 '수도권 대기환경관리 기본계획'의 목표는 서울시의 PM10 농도를 2014년까지 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 줄이는 것이다. 이러한 PM10 저감 대책들이 효과적으로 실행되기 위해서는 우선 기존 측정망 자료 분석을 통해서 PM10 농도변화 추이와 특성을 이해하고 그 주요원인을 파악하는 등 PM10 농도변화를 이해하기 위한 종합적인 연구가 뒷받침 되어야 한다(김용표, 2006).

외국의 측정망 자료에 대한 연구로 Yang (2002)는 1994년부터 1999년까지 대만 14개 측정소의 PM10 연평균 농도에 대한 지역적, 계절적 변화를 분석하였다. Gramsch *et al.* (2006)는 군집분석을 통해 칠레 산티아고에서 PM10의 농도변화 특징을 살펴보았다.

국내에서는 김영성(1999)이 1990년부터 1995년까지의 오존 자료에 대한 이상치를 점검하였으며, 유은철과 박옥현(2006)은 다양한 환경 요인의 변화에 따른 부산지역의 대기오염 측정망 자료를 평가하였다. 이와 같은 측정망과 그 자료에 대한 평가와 더불어, 오존의 변화 추이분석(김영성, 2000), 황사기간 동안의 PM10 농도 변화와 기상장 특성 연구(김유근 등, 2004), 2002년 고농도 사례에 대한 분석(김철희 등, 2004)과 같은 단기간 농도 변화에 대한 연구 또한 수행되었다. Jo *et al.* (2000)는 6년 동안 서울과 대구의 기체상 물질의 농도와 그 변화 추이에 대해 분석하였다. 그러나 많은 연구들이 대도시만을 대상으로

하거나 단기간 측정 자료 또는 가스상 자료들에 대한 분석이었다. 입자상 물질인 PM10에 대한 연구는 상대적으로 적은 편이며 전국적인 변화양상에 대한 이해도 부족하다.

이에 본 연구에서는 2000년 1월부터 2005년 12월 까지 환경부 도시대기 측정망에서 측정된 PM10 자료를 이용, 전국 PM10의 농도 변화 특성을 분석하였다. 전국은 범위가 방대하기 때문에 지역적으로 또는 군집으로 분류하여 그 특성을 분석할 수 있다. 지역적으로 분류하여 특성을 살펴볼 경우에는 지역의 농도변화는 알 수 있으나 지역 내의 측정소별 특성을 알기 어렵다. 군집분석의 경우, 농도 별로 군집을 분류하면 각 측정소의 농도변화를 통해 지역 내의 다른 특성을 가지는 측정소들을 분류할 수 있으며, 각 군집의 측정소에 대한 지역 비중을 통해 지역적인 특징도 파악할 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 군집분석을 이용하였다. 군집분석을 할 경우에는 개체별로 변수의 수가 동일하여야 한다. 만일 연평균을 이용하여 측정소를 분류하고자 한다면 대상 기간 동안 모든 측정소의 연평균이 유효하여야 한다. 전국의 PM10 농도변화 양상을 모든 측정 자료를 사용했을 경우와 황사 발생일을 제외했을 경우 2가지로 나누어 다음의 연구를 수행하였다. 각각의 경우에 대하여 첫째, PM10 농도의 연평균 군집분석을 통해 전국의 평균농도를 분석하였으며, 둘째, PM10 농도의 연도별 일평균 99백분위수 군집분석을 실행하여 고농도 변화 추세에 대해서 알아보았다. 그리고 모든 측정 자료를 사용했을 경우와 황사 발생일을 제외한 경우에 대하여 평균 농도 군집분석과 고농도 군집분석의 결과를 비교하였다.

2. 연구 방법

2.1 측정망 자료 선택

본 연구에서는 환경부 도시대기 측정망에서 2000년부터 2005년까지 측정된 PM10의 1시간 평균 자료를 사용하였다. 대기환경연보에 명시된 계산방법에 따라 측정소별로 2000년부터 2005년까지 6년간 계속, 연중 측정 자료 수의 75% 이상이 유효하여 연평균을 산출할 수 있었던 전국 84개 측정소를 선정하였다. 그림 1에서와 같이 전국에 걸쳐 서울 13개, 경

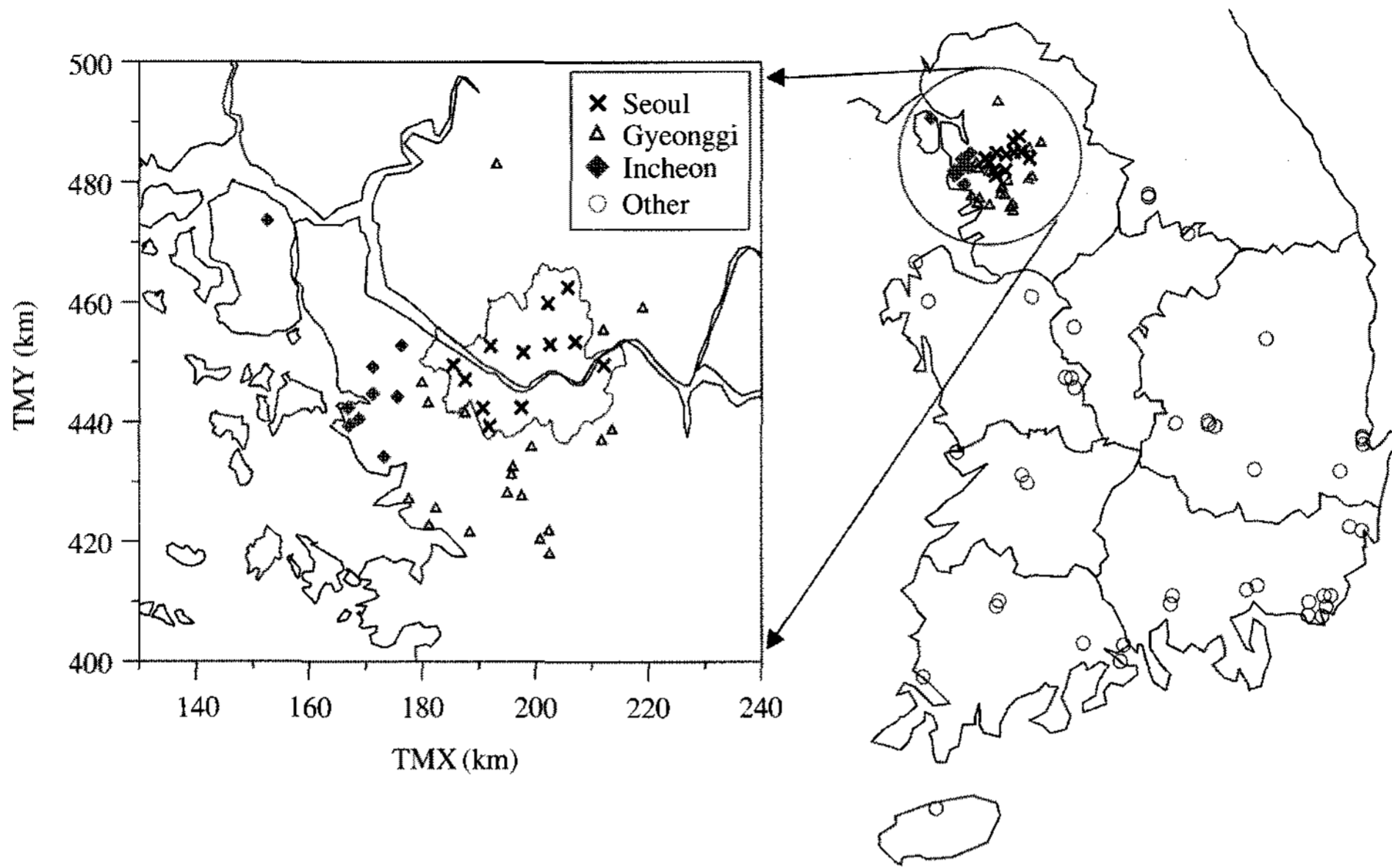


Fig. 1. The map showing urban air monitoring sites in Korea. Seoul and its vicinity is enlarged in the box.

기 20개, 인천 9개 그리고 서울, 경기, 인천을 제외한 기타지역에 42개가 위치하고 있다. PM10 무게 농도는 베타선 흡수법으로 측정되었으며, 검출한계는 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다(환경부와 국립환경연구원, 2005).

2.2 평균 농도 계산

측정소별 연평균 값을 이용하여 군집분석을 실행하였다. 군집별 연평균과 월평균은 군집 내 측정소별로 평균을 구한 후 군집평균을 계산하였다. 이는 군집내 측정소들의 비중을 동일하게 고려해 주기 위해서이다(USEPA, 1998).

2.3 고농도 기준 선택

광범위한 지역의 장기적인 변화를 분석할 때에는 연평균 농도를 이용하는데 급성 위해성 관점이나 단기적인 변동 요인을 파악하고자 할 때에는 고농도를 조사하는 것이 적합하다(김영성, 2005). 우리나라에서는 2001년에 일 평균값의 백분위수 또는 1시간 평균값의 천분위수를 고농도 환경기준 준수여부의 판정기준으로 설정하였다(환경부와 국립환경연구원, 2001). PM10은 일평균의 99백분위수를 기준으로 환경기준 준수여부를 판정한다.

전국의 PM10 평균과 각 백분위수 값의 연변화를 비교하면 그림 2와 같다. 90백분위수까지는 연평균과 거의 동일한 추세를 보여주고 있다. 95백분위수에서부터 평균변화와는 다른 양상이 나타났고 99백분위수에서는 평균값에서는 보이지 않는 상이한 변화 양상을 보여주고 있다.

따라서 본 연구에서는 일평균의 99백분위수를 고농도 분석에 사용하였다. 각각의 측정소에 대하여 24시간의 75%인 18시간 이상의 측정치가 있을 때 일평균을 계산한 후 측정소 별로 각 연도별 일평균값의 99백분위수를 산출하였다. 이렇게 산출된 값을 이용하여 군집분석을 실시하였고 각 군집의 99백분위수는 분류된 군집 내에서 다시 선정하였다.

2.4 군집분석

군집분석은 다변량 통계분석방법으로 n 개의 개체를 대상으로 p 개의 변수가 측정되었을 때, 측정된 p 개의 변수들을 이용하여 n 개의 개체들 사이의 유사성과 비유사성의 정도를 평가하여 개체들을 몇 개의 군집으로 분류하는 방법이다. 이 군집분석은 개별 자료의 내용, 구조등에 대한 구체적 정보가 없어도 의미있는 자료구조를 획득할 수 있어 구조가 복잡하고

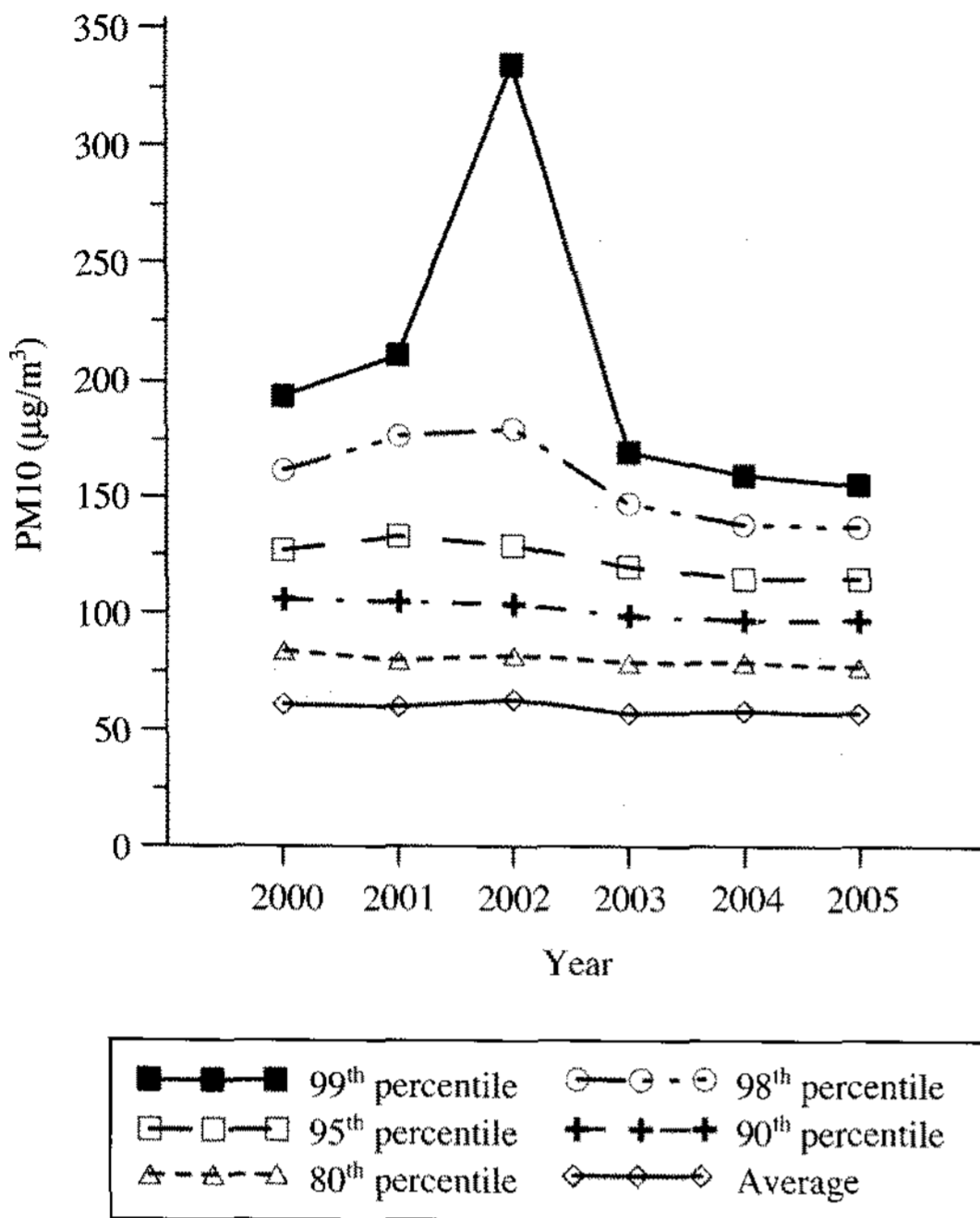


Fig. 2. Variations in selected percentiles of daily averages in comparison with that in annual average for the whole country.

변수가 많은 대용량의 자료를 분석하기에 적합하다 (유은철과 박옥현, 2006).

본 연구에서는 84개 측정소들의 평균 및 고농도의 연변화 추이에 대한 특징을 분석하기 위하여 군집수를 선택할 수 있는 SPSS의 K-평균 군집분석을 99% 유의수준에서 유클리디안 거리식을 사용하여 실행하였다. 전국 84개의 측정소는 4개의 군집으로 구분하였다. 이는 서울, 경기 및 인천을 포함한 수도권과 기타 지역의 측정소 사이에 차이가 있다면 이들을 대변할 군집이 각각 1개, 그리고 이들 사이에서, 수도권의 특성을 주로 지니고 있으나 기타 지역의 특성이 가미된 군집 1개와 반대로, 기타 지역의 특성을 주로 지니고 있으나 수도권의 특성이 가미된 군집 1개가 필요하다고 보았기 때문이다. 뿐만 아니라 통계적으로는 계층적 군집분석에서 pseudo F, pseudo t^2 , 결정계수(r^2)와 같은 통계치들의 군집수에 따른 변화양상을 통해 군집수를 정할 수 있다(Li, 2004; Keogh *et al.*, 2003). 계층적 군집분석을 실행한 결과 4개의 군집으로 분류하는 것이 적합한 것으로 나타났다.

2000년에서 2005년까지 84개 측정소별 연평균과 99백분위수를 변수로, 전체자료와 황사 발생일을 제외한 두가지 경우에 대해 4회 군집분석을 실행하였다. 측정소별 군집 분석 결과는 부록 A에 수록하였다. 황사발생일은 2000년부터 2004년까지는 대기환경연보(환경부와 국립환경연구원, 2005)에, 2005년은 기상청 황사관측일수에서 주어진 황사 관측결과를 이용하였다. 그러나 황사발생일이 주요 도시에 대해서만 주어졌기 때문에 경기도는 서울 자료를 이용하는 등, 자료가 주어지지 않은 도내 황사 발생은 주요 도시가 위치한 행정 구역상의 도 영역 내에서 같은 것으로 가정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전체자료를 이용한 군집분석

3.1.1 연평균 군집분석

4개 군집의 연도별, 월별 평균변화 양상을 그림 3에 나타내었다. 군집 1은 고농도 군집으로 연평균이 2000년 이후 감소하는 경향을 보이나 환경기준인 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하고 있다(2006년 12월에 PM10 환경기준이 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 변경되었으나 본 논문에서는 2005년까지의 자료를 바탕으로 하고 있으므로 이전 기준인 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 적용하였다). 군집 2는 연평균이 2002년까지는 증가하다가 그 이후로는 정체되어있다. 군집 3은 군집 1과 같이 연평균이 감소하고 있다. 2000년에는 당시 환경기준을 초과하였으나 6년 동안 감소하여 2005년에는 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준에 이르렀다. 농도가 가장 낮은 군집 4는 $45 \sim 55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 구간에서 큰 변화를 보이지 않았다.

월평균 변화에서는 모든 군집이 3~4월에 가장 높은 농도를 보였으며 8~9월이 가장 낮은 농도를 보였다. 이는 봄철 황사와 여름철 강우의 영향 때문인 것으로 생각되었다.

군집 1에는 서울 1개와 경기의 4개 측정소만 포함되었으며, 군집 2에는 서울과 경기, 인천 측정소가 70%를 차지하였다. 군집 3은 서울과 경기의 측정소가 56%를 차지하였으며 인천의 측정소는 포함되지 않았다. 군집 4에는 서울의 측정소가 속하지 않았으며 서울, 경기, 인천지역을 제외한 기타지역의 측정소

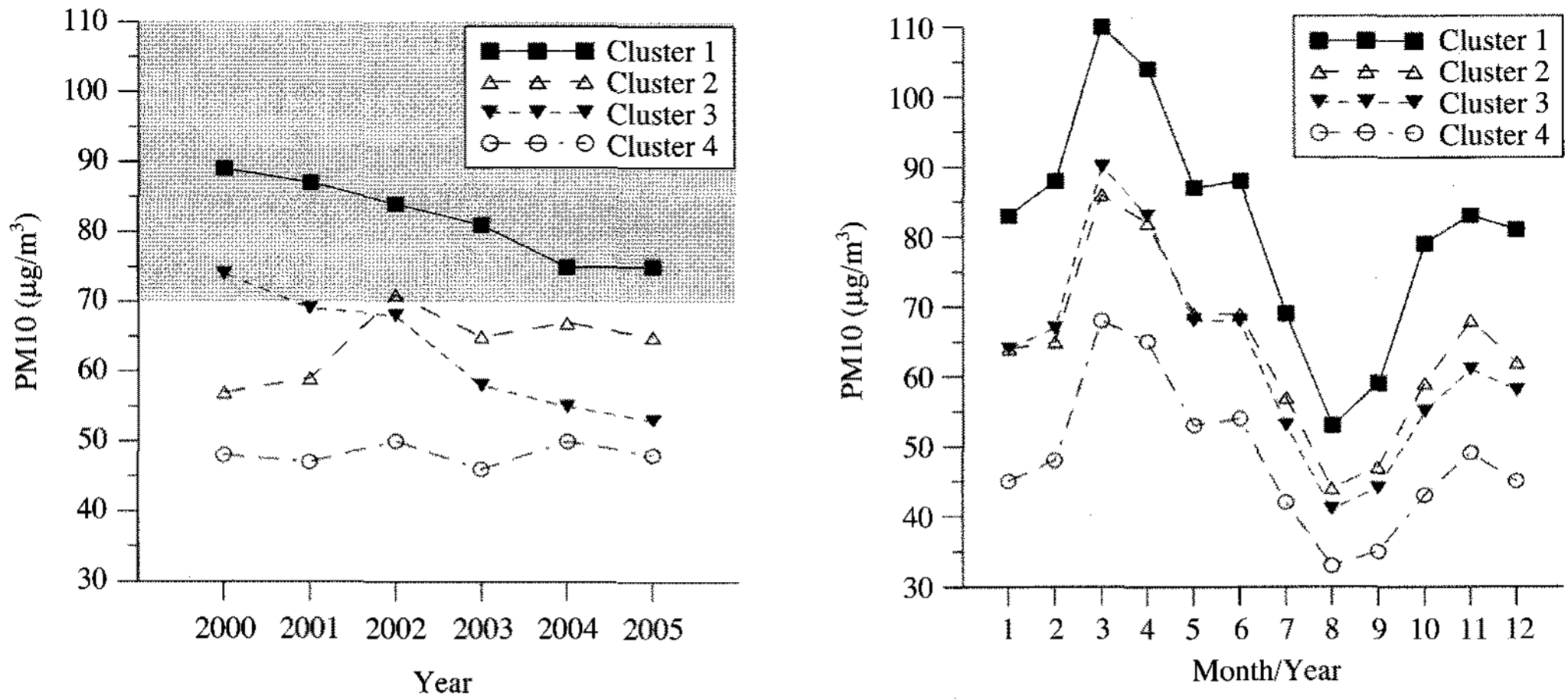


Fig. 3. Annual and monthly variations in average concentrations for the clusters obtained by using all available data.

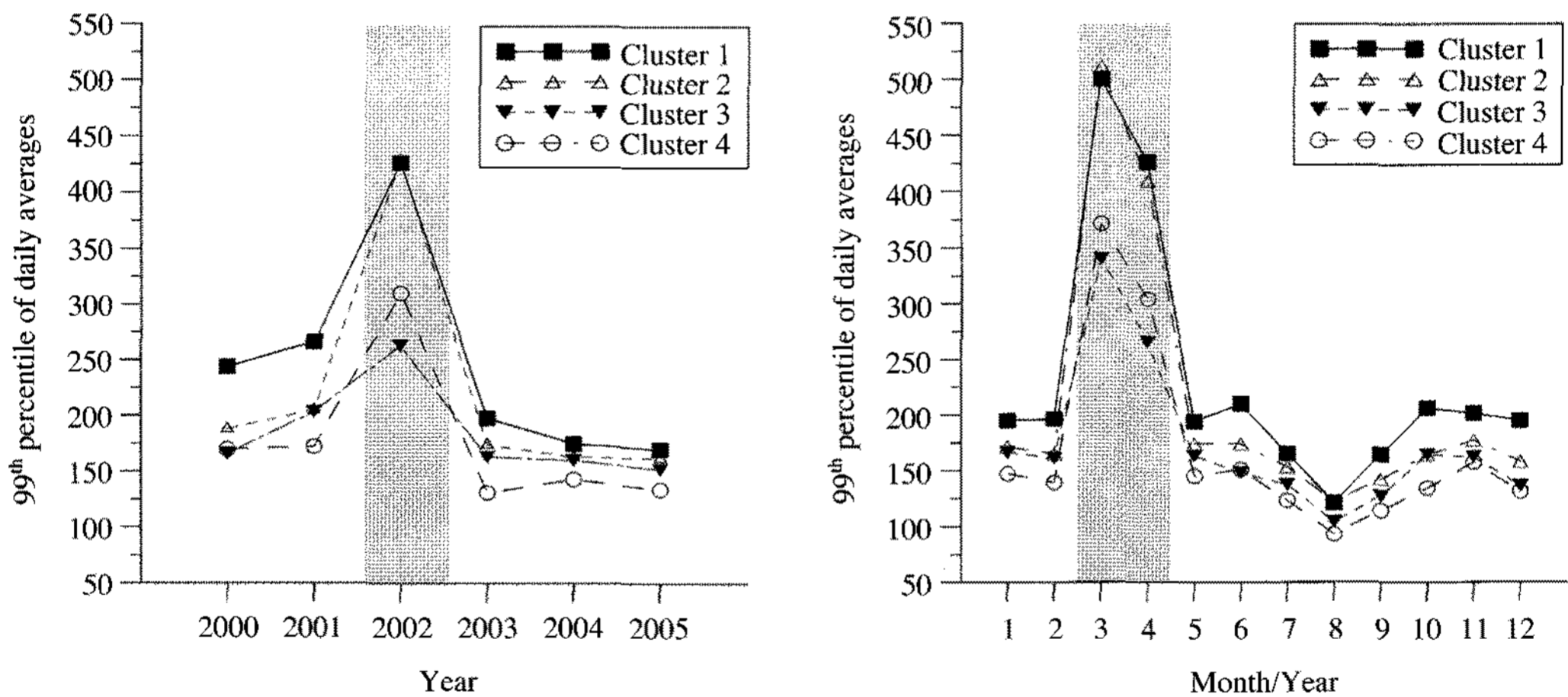


Fig. 4. Annual and monthly variations in the 99th percentile of daily averages for the clusters obtained by using all available data.

가 대부분으로 85%에 이르렀다(부록 A 참조).

3.1.2 99백분위수 군집분석

4개 군집의 연도별, 월별 99백분위수 농도 변화를 그림 4에 나타내었다. 연도별 변화에서는 모든 군집이 2002년에 최고 농도를 보이며, 군집 1과 2에서는 400 µg/m³ 이상으로 높아졌다. 월별 변화 역시 모든 군집에서 3, 4월에 최고 농도를 보이는데, 군집 1, 2에서는 2002년 연도별 99백분위수보다 높은 500 µg/m³ 이상의 농도가 나타났다. 4개 군집의 변화 양

상이 모두 비슷하며 2002년과 3~4월에 최고농도가 나타났는데 이는 99백분위수 농도에 황사의 영향이 지배적임을 보여주는 것이다. 2002년은 가장 극심한 황사가 발생한 해로 기록된다(김철희 등, 2004).

지역별로는 군집 1에 서울과 경기의 측정소가 92%를 차지하였다. 군집 2에는 모든 지역의 측정소가 고루 분포하였으며, 농도가 낮은 군집 3과 4는 서울 측정소가 포함되지 않았으며, 기타지역의 측정소 비중이 높았다. 군집 1에서 군집 4로 갈수록 서울, 경기지역의 측정소는 줄어드는 반면에 인천, 기타지역

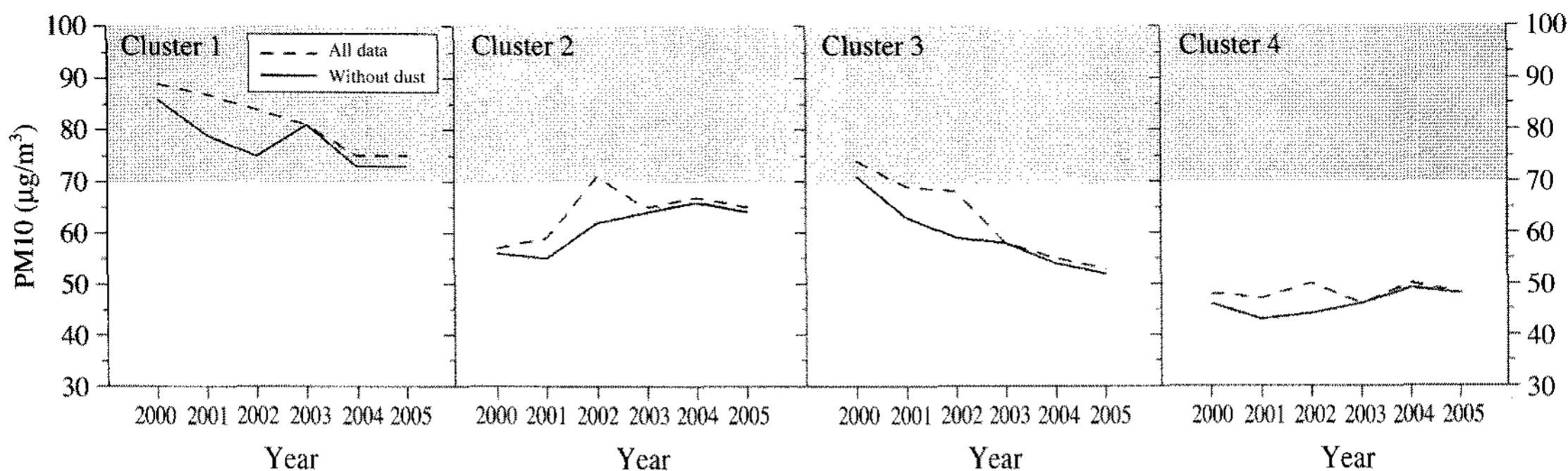


Fig. 5. Comparison of annual average between including and excluding Asian dust episode days for the clusters obtained by using all available data.

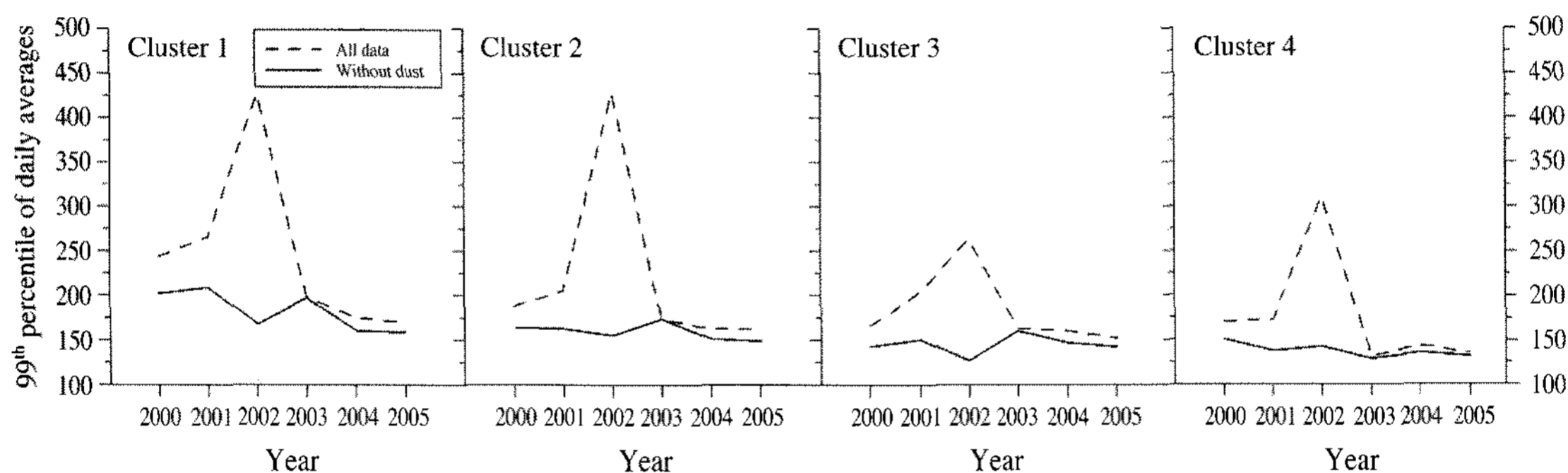


Fig. 6. Comparison of the 99th percentile of daily averages between including and excluding Asian dust episode days for the clusters obtained by using all available data.

의 측정소는 증가하였다.

3. 1. 3 전체자료 군집에서 황사 발생일을 제외하였을 때

그림 5는 전체 자료로 군집분석한 그림 3의 각각의 군집에 대하여 황사 발생일을 제거했을 때 연평균 변화를 비교한 것이다. 군집 1의 경우 전체자료로 했을 경우에는 2000년부터 2005년까지 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있으나 황사 발생일을 제거할 경우 2002년까지 감소하다가 2003년에 증가한 뒤 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 군집 2의 경우는 황사를 제외할 경우 지속적으로 증가하는 경향이 더 명백하다. 군집 3은 반대로 감소하는 경향이 더 뚜렷하다. 군집 4에서는 전체 자료의 경우 증가와 감소를 반복하던 양상에서 황사 발생일을 제외할 경우 2001년부터 2004년까지 조금씩 증가하다가 그

이후 정체하는 모습이다.

모든 군집에서 전체자료와 황사 발생일을 제외한 경우의 농도차가 2001년과 2002년에 가장 크게 나타났다. 2002년에 모든 군집에서 6~9 µg/m³의 농도차를 보였으며, 2001년에 4~8 µg/m³의 농도차를 보였다.

연평균에 비해 99백분위수는 황사 발생일을 제거하였을 경우 더 큰 농도차를 보인다. 모든 군집에서 2002년에 확인한 농도차를 확인할 수 있으며, 그 다음으로 2001년, 2000년 순으로 농도차가 크다(그림 6). 특히, 2002년의 경우 군집 2에서 최고 272 µg/m³의 농도차를 보였으며, 가장 농도차가 적은 군집 3도 136 µg/m³으로 다른 연도의 2배 이상의 농도차를 보인다. 2001년에는 2002년에 비해서는 적으나 57~35 µg/m³의 농도차를 보였으며, 2003년에는 거의 농도차가 나지 않았음을 알 수 있다.

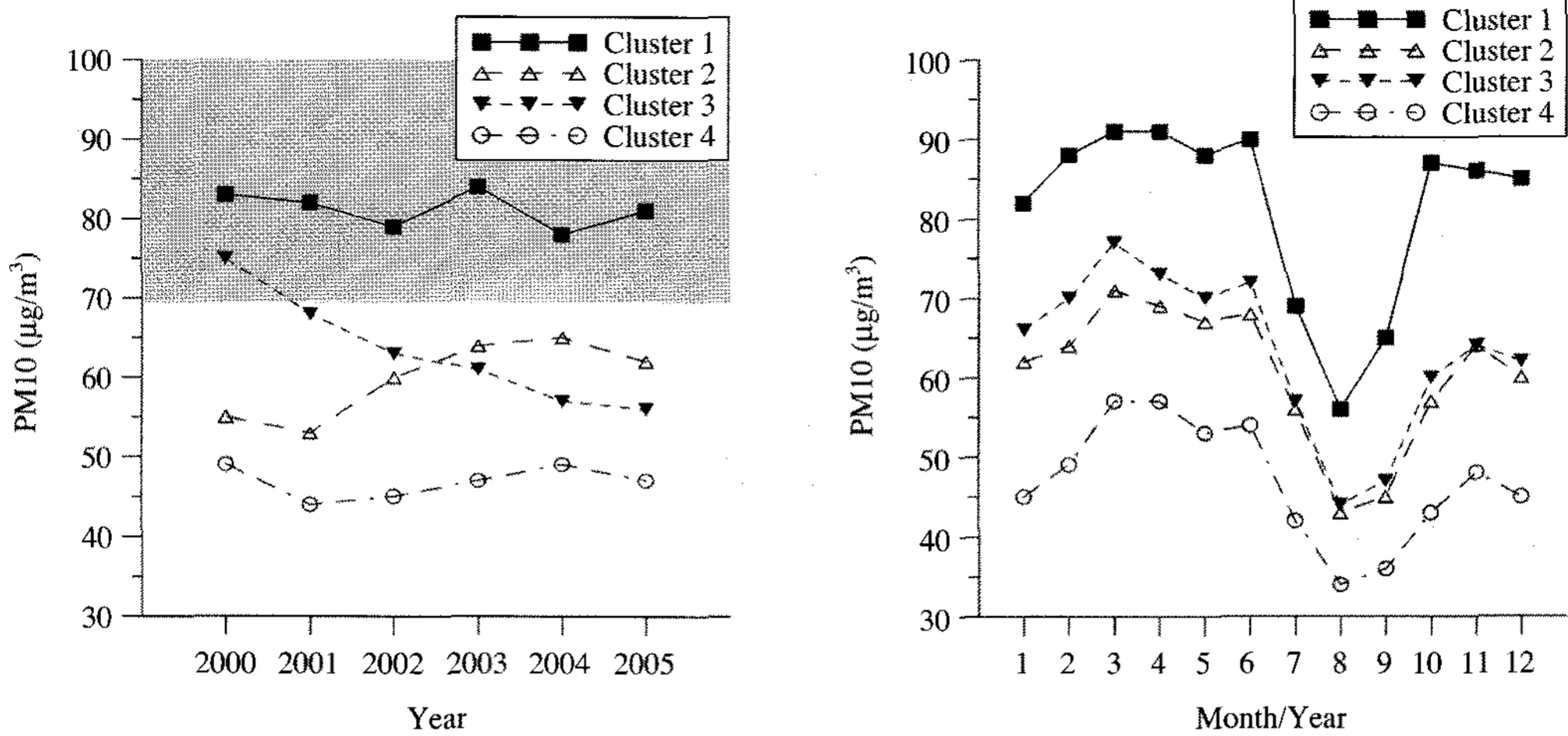


Fig. 7. Annual and monthly variations in average concentrations for the clusters obtained by excluding Asian dust episode days.

황사가 국지적이 아닌 우리나라 전체에 걸쳐 발생됨을 감안하여 서울의 자료를 토대로 연도별 황사 발생 특성을 살펴보았다. 2001년의 경우 황사 발생 횟수는 7회로 2002년과 동일하나 일수는 27일로 2002년의 16일에 비해 10일 이상 많다. 이에 반해 2002년은 황사 발생일수는 16일로 2001년보다 적으나 연평균과 99백분위수 농도차에서는 2001년에 비해 차이가 크다. 결국 2002년에는 단기간에 고농도의 황사가 발생했으며, 2001년에는 상대적으로 낮은 농도의 황사가 자주 발생하였다.

이와 같이 볼 때 2001년과 2002년에 많이 발생된 황사가 군집 형성에 영향을 주었음을 짐작할 수 있다. 특히 99백분위수로 군집분석 한 경우에는 2002년에 발생한 고농도의 황사가 군집 형성에 큰 영향을 미쳤음을 그림 4를 통해 알 수 있다. 이에 따라 황사 발생일을 제외하였을 때 농도 변화 특성을 보다 정확하게 알아보기 위하여 각 측정소의 측정자료에서 황사일을 배제한 후 군집분석을 재실행하였다.

3.2 황사 발생일을 제외한 군집분석

3.2.1 연평균 군집분석

황사 발생일을 제외한 경우에 대해 연평균을 이용하여 군집분석한 결과를 연평균과 월평균 변화로 나

타내었다(그림 7). 군집 1은 6년 동안 연평균이 환경기준인 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상에서 큰 변화를 보이지 않았다. 군집 2는 2001년을 기점으로 증가하는 양상을 보였다. 군집 3은 2000년 이후 연 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 씩 지속적으로 감소하였으며, 군집 4는 $50 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 이하에서 연변화가 거의 나타나지 않았다. 환경부와 국립환경연구원(2005)에 의하면 배경농도 측정망의 연평균이 $37 \sim 61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 저농도 군집인 군집 4의 농도와 유사하다.

월평균 변화에서는 3~4월의 최대값이 아주 크게 감소하여 모든 군집에서 3~6월에 비슷한 농도를 유지 하였다. 하지만 Sajaki and Sakamoto (2005)가 2002년 8월과 12월에 측정된 일본 오사카의 PM10 농도가 $17 \sim 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었음을 고려하면 황사일을 제외하여도 우리나라의 PM10 농도가 전체적으로 높음을 알 수 있다.

지역별로는 군집 1에는 경기의 측정소만 포함되었으며, 군집 2에는 서울, 경기 측정소가 52%, 인천, 기타의 측정소가 48%로 고루 분포하였다. 군집 3에는 서울, 경기의 측정소가 65%였으며 인천의 측정소는 포함되지 않았다. 군집 4에는 기타의 측정소의 비율이 87%로 가장 높다. 전체 자료의 군집분석과 비교할 때 황사를 제거한 경우 각 군집의 지역별 구분에서 고농도 군집에 서울과 경기의 측정소 비율이 더

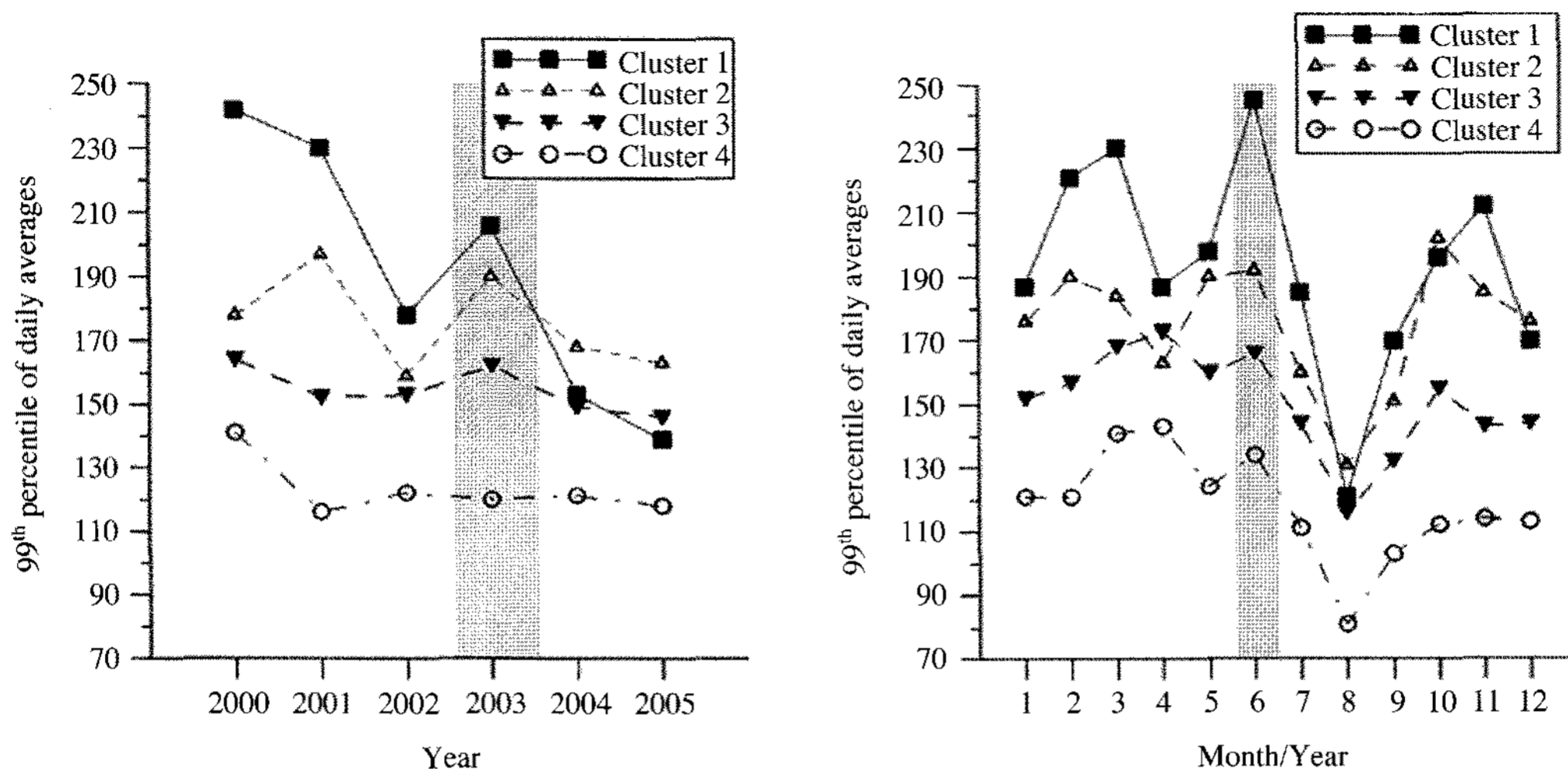


Fig. 8. Annual and monthly variations in the 99th percentile of daily averages for the clusters obtained by using the data excluding Asian dust episode days.

높게 나왔으며 저농도 군집에서는 기타지역의 측정소 비율이 더 높게 나와 지역별 차이가 뚜렷하였다.

3.2.2. 99백분위수 군집분석

황사 발생일을 제외한 경우 99백분위수 군집분석에서는 가장 농도가 높은 군집 1의 99백분위수가 5년 사이에 연 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 크게 감소한 현상이 두드러진다. 반면 다른 3개 군집들은 큰 변화를 보이지 않았다(그림 8).

군집 4를 제외한 모든 군집에서 황사가 강했던 2002년보다 2003년에 높은 농도를 보였다. 고농도인 군집 1은 다른 군집에 비해 감소 경향이 두드러졌다. 월변화에서는 농도가 가장 높은 군집 1의 경우 6월에 뚜렷한 최고값이 나타났으며 농도가 낮은 군집일수록 이 경향이 약화되어 군집 4에서는 3~4월의 농도가 6월보다 높았다. 최저 농도는 역시 모든 군집에서 8월에 나타났다. 황사 발생일을 제거한 경우 고농도 군집에서 6월에 최대값이 나타난 것은 광화학 반응에 의한 2차적 입자의 생성이 중요하였을 가능성이 있다. 군집 1에서 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 근접하는 높은 농도를 보였으며 다른 군집들 또한 6월에 높은 농도를 보였다. 지역적으로 고농도 군집은 서울의 측정소로 구성되었으며, 저농도 군집은 인천과 기타지역의 측정소로 구성되었다.

4. 결 론

전국 84개의 환경부 대기 자동 측정망의 2000년부터 2005년까지 6년 동안 PM10농도 변화 추세를 군집분석을 통해서 살펴보았다.

연평균 군집분석에서는, 전체 자료를 포함한 경우 농도가 가장 높은 군집의 감소 추세가 뚜렷한 반면 황사발생일을 제외한 경우 변화가 명확하지 않았다. 월평균 변화에서는, 전체 자료를 포함한 경우 모든 군집에서 3~4월에 농도가 가장 높았으나 황사발생일을 제외한 경우는 각 군집의 3~4월 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 감소하여 3~6월 농도가 비슷하였다.

99백분위수 군집분석에서는 전체자료를 포함한 경우 모든 군집에서 2002년에 높은 농도를 보인 반면 황사발생일을 제외한 경우에는 오히려 2003년이 2002년에 비해 농도가 높게 나타났다. 특히 농도가 가장 높은 군집에서 연 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 큰 감소가 나타났다.

월변화에서는 전체 자료의 경우 모든 군집에서 3~4월에 농도가 가장 높았으나 황사를 제외한 경우에는 6월에 높은 농도가 나타났다. 99백분위수 군집분석에서 가장 농도가 높은 군집의 6월 농도가 245 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높았는데 광화학적 2차 생성이 PM10 농도에 큰 영향을 미친 것으로 생각되었다.

모든 군집분석에서 고농도 군집일수록 서울과 경기 측정소의 비율이 높았으며, 저농도 군집으로 갈수록 인천과 기타지역의 측정소 비율이 높아지는 경향을 보였다.

참 고 문 헌

김영성(1999) 오존 자동 측정망 자료 중의 이상치 점검, 한국대기환경학회지, 15(2), 139-150.

김영성(2000) 우리나라의 오존농도 변화 추이와 주요 인자, 한국대기환경학회지, 16(6), 607-623.

김영성(2005) 수도권 대기질 관리의 쟁점과 과제, 환경정책연구, 4(1), 1-19.

김용표(2006) 서울의 미세먼지에 의한 대기오염, 한국대기환경학회지, 22(5), 535-553.

김유근, 송상근, 강재은(2004) 황사의 지속시간에 따른 대기 중 농도변동 및 종관기상장 특성, 한국대기환경학회지, 20(4), 465-481.

김철희, 박일수, 이석조, 김정수, 진형아, 성한규(2004) 지역 대기질 측정망에 나타난 국내 대기오염도의 최근 동향: 2002년 고농도 사례 및 그 기상 특징, 한국대기환경학회지, 20(2), 215-224.

유은철, 박옥현(2006) 부산지역의 다양한 환경적 요인의 변화에 따른 대기오염측정망 평가, 한국대기환경학회지, 22(4), 405-420.

환경부(1998) 2000년대 대기오염측정망 기본계획(안).

환경부(2005) 수도권 대기환경관리 기본계획, 서울.

환경부, 국립환경연구원(2001) 대기환경연보.

환경부, 국립환경연구원(2005) 대기환경연보.

Gramsch, E., F. Cereceda-Balic, P. Oyola, and D. von Baer (2006) Examination of pollution trends in Santiago de Chile with cluster analysis of PM10 and ozone data, Atmos. Environ., 40, 5464-5475.

Keogh, E., L. Jessica, and T. Wagner (2003) Clustering of time series subsequences is meaningless : Implica-

tions for previous and future research, Third International Conference, IEEE, 115-122.

Jo, W.K., I.H. Yoon, and C.W. Nam (2000) Analysis of air pollution in two major Korean cities: trends, seasonal variations, daily 1-hour maximum versus other hour-based concentrations, and standard exceedances, Environmental pollution, 110, 11-18.

Lighty, J.S., J.M. Veranth, and A.F. Sarofim (2000) Combustion aerosols: Factors governing their size and composition and implications to human health, J. Air & Waste Manag. Assoc., 50, 1565-1618.

Li, M.-X., C.-D. Wu, Z.-H. Han, and Y. Yue (2004) A hierarchical clustering method for attribute discretization in rough set theory, Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE, 3650-3654.

Preining, O. (1991) Aerosol and Climate-an Overview, Atmos. Environ., 25A, 2443-2444.

Rodriguez, S., X. Querol, A. Alastuey, and M.-M. Viana (2003) Events affecting levels and seasonal evolution of airborne particulate matter concentrations in the western mediterranean, Environ. Sci. Technol., 37, 216-222.

Sasaki, K. and K. Sakamoto (2005) Vertical differences in the composition of PM10 and PM2.5 in the urban atmosphere of Osaka, Japan, Atmos. Environ., 39, 7240-7250.

Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis (1998) Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change, Wiley, New York.

USEPA (US Environmental Protection Agency) (1998) National air quality and emissions trends report, 1997, EPA 454/R-98-016, Research Triangle Park, NC.

Yang, K.-L. (2002) Spatial and seasonal variation of PM10 mass concentrations in Taiwan, Atmos. Environ., 36, 3403-3411.

부록. 측정소별 군집 구분^a

측정소명		전체 자료		황사발생일 제외		측정소명		전체 자료		황사발생일 제외	
		연평균	99백분위수	연평균	99백분위수			연평균	99백분위수	연평균	99백분위수
서울시	정동	2	2	2	3	부산	동삼동	4	4	4	4
서울시	면목동	3	2	3	3	부산	전포동	2	2	2	3
서울시	용두동	3	1	3	2	부산	대연동	3	4	3	3
서울시	불광동	2	2	2	3	부산	감전동	2	4	3	3
서울시	남가좌동	2	2	2	2	부산	재송동	2	4	2	4
서울시	화곡동	2	1	2	1	부산	장림동	2	4	3	3
서울시	구로동	3	1	2	2	부산	연산동	3	4	4	4
서울시	사당동	3	1	2	3	경남 마산	회원동	3	4	3	4
서울시	천호동	3	1	3	1	울산	야음동	4	4	4	4
서울시	시흥동	3	2	3	3	울산	무거동	4	4	4	4
서울시	번동	1	1	3	1	경남 진주	상봉동동	4	4	4	4
서울시	신정동	3	1	3	2	경남 창원	명서동	4	4	4	4
서울시	상계동	3	1	3	1	광주시	충금동	4	3	4	4
경기도 수원	신흥동	3	1	3	2	광주시	두암동	4	3	4	4
경기도 수원	인계동	1	2	3	2	전남 여수	월래동	3	2	3	3
경기도 수원	우만동	4	2	4	3	전남 순천	장천동	4	4	4	4
경기도 성남	단대동	2	2	3	3	전남 광양	태인동	4	4	4	4
경기도 성남	성남동	2	3	2	2	전남 영암	나불리	4	4	4	4
경기도 안양	안양동	2	2	2	3	제주	이도동	4	3	4	4
경기도 안양	부림동	2	2	2	3	대구	만촌동	4	4	4	4
경기도 안양	호계동	2	2	2	2	경북 포항	장흥동	2	2	2	3
경기도 광명	철산동	3	3	3	3	경북 포항	죽도동	4	3	4	3
경기도 안산	원시동	1	1	1	2	경북 포항	대도동	2	3	2	4
경기도 안산	본오동	2	2	2	2	경북 경주	성건동	4	4	4	4
경기도 안산	원곡동	2	2	2	3	경북 김천	평화동	3	3	4	4
경기도 과천	별양동	3	2	3	2	경북 안동	남문동	4	3	4	4
경기도 구리	교문동	3	4	3	3	경북 구미	공단동	2	3	2	3
경기도 의왕	오전동	2	4	2	3	경북 구미	원평동	4	4	4	4
경기도 시흥	정왕동	1	1	1	2	경북 구미	형곡동	3	2	3	3
경기도 남양주시	금곡동	2	2	2	3	대전	읍내동	4	3	4	4
경기도 군포	당동	3	2	3	3	대전	문창동	4	4	4	4
경기도 부천	심곡동	1	1	1	2	대전	구성동	4	3	4	4
경기도 부천	내동	3	4	3	2	충북 청주	송정동	3	2	3	3
인천시	신흥동	2	3	2	2	충남 천안	원성동	4	2	4	4
인천시	만석동	2	3	2	3	충남 서산	독곶리	4	2	4	3
인천시	송의동	2	3	2	3	충남 서산	동문동	3	2	4	4
인천시	부평동	2	2	2	4	강원 원주	중앙동	3	4	2	3
인천시	연희동	4	3	4	2	강원 원주	명륜동	2	2	2	3
인천시	계양동	2	4	2	3	충북 제천	서부동	3	3	4	4
인천시	논현동	4	3	4	2	전북 전주	효자동	4	4	4	4
인천시	석남동	2	3	2	2	전북 전주	팔복동	4	4	4	4
인천시	송해면	4	3	4	4	전북 군산	소룡동	3	1	3	3

^a1-4의 군집 구분은 본문 참조