

PSCF 모형의 개발과 제어변수의 결정

Development of PSCF Model and Determination of Proper Values of Control Parameters

정 장 표* · 이 승 훈¹⁾

경성대학교 건설환경공학부, ¹⁾경성대학교 환경문제연구소
(2005년 11월 22일 접수, 2005년 12월 16일 채택)

Jang-Pyo Cheong* and Seung-Hoon Lee¹⁾

Division of Civil and Environmental Engineering, Kyung Sung University

¹⁾*Environmental Science and Technology Research Center, Kyung Sung University*

(Received 22 November 2005, accepted 16 December 2005)

Abstract

The objective of this study is to develop PSCF (potential source contribution function) program and determine the optimal values of control parameters to enhance the prediction of PSCF modeling. This study provides an important information and methodologies that can be used to get better results of locating influencing sources, especially unknown and fugitive sources. To determine proper values of control parameters in PSCF model, the diagnostic assessment on the results obtained by the various input conditions was carried out.

PSCF model has created and improved from version 1.0 to version 7.0 since 2001 and the measured data (at least > 100) of receptor, and the values of control input parameters should be arranged and determined to obtain reliable results in PSCF modeling.

The size of modeling domain must be determined to include enough trajectories to get reliable results. And the size of grid is recommended to be 2.5~5 degrees for global scale, 0.2~1 degrees for regional scale and 0.05 degree for local scale.

Key words : PSCF model, Potential sources, Optimal conditions, Control input parameters

1. 서 론

배출원과 수용점과의 관계 정립은 배출원의 효과적인 제어, 대기질 관리 계획 수립 등 정책적인 수단의 적용 이전에 반드시 선행되어야 하는 과제이다.

배출원과 수용점과의 정성적이고 정량적인 관계를 파악하기 위해서는 배출원배출목록(E.I.: emission inventory)을 구축하거나 적절한 모형을 사용하는 방법 등이 있는데, 전자는 후자에 비해 비용과 노력이 많이 요구될 뿐만 아니라 현실적으로 불가능한 부분이 많다.

따라서 배출원과 수용점과의 관계규명을 하기 위해 대부분의 연구자들이 수용점에서 측정된 자료를

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)51-620-4734, E-mail : jjjung@ks.ac.kr

이용하여 배출원에 대한 할당을 행하고 있으며, 일반적으로 FA (factor analysis), CMB (chemical mass balance) 모형등의 RM (receptor model)이 널리 활용되어지고 있다.

지금까지 배출원 할당에 주로 사용되어져 온 FA 나 CMB 모형등은 현재 수용점에 영향을 주는 배출원군이 어떠한 배출원군이며, 또 이런 배출원군들이 미치는 기여도를 정량 혹은 정성적으로 산정해 준다. 그렇지만 이 모형들은 배출원 규명시 국지적인 기상 자료를 토대로 바람장미, 오염장미 등을 이용하여 인근 배출원과 결합하여 배출원을 추정하고 있어, 장거리 이동에 대한 해석이 힘들고 오염물의 확산에 중요한 영향을 미치는 기상자료의 일부만을 고려하기 때문에 배출원의 위치 정보를 파악하기에는 많은 무리가 있다.

한편, 미국을 주축으로 한 일련의 연구에 이용되고 있는 PSCF (potential source contribution function) 모형은 수용점에서의 분석 자료와 역계적 자료를 결합하여 수용점에 영향을 주는 배출원에 대한 위치 정보를 알려주는 혼합 모형 (hybrid model)으로서, 점차 그 사용이 빈번해 지는 추세이다.

특히 PSCF 모형은 배출원의 이동경로 및 영향배출원의 분포특성을 가시적으로 규명해주며, 배출원 목록에 대한 검증 및 배출원 목록 구축시 참고자료로의 활용 등 다양한 분야에 있어서 활용이 기대되어지는 모형이나, 상용프로그램이 개발되어 있지 않은 관계로 인해 그 활용이 제한을 받고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 수용점에 대한 배출원의 위치 분포 특성을 확률적인 결과로 제공하는 PSCF 모형을 개발하였고, 배출원의 분포 특성 파악의 예측력을 향상시키기 위해 PSCF 모형의 제어변수에 대한 최적 조건을 결정하였다.

2. PSCF 모형

2.1 PSCF 모형의 원리 및 적용사례

PSCF 모형은 현재 수용점으로 이동하는 공기괴의 이동계적상에 배출원이 존재하면, 배출원에서 배출된 오염물질이 공기의 이동 궤적을 따라 수용점에 영향을 주게 되고, 이 때 측정농도는 배출원에서 배출된

오염물질이 포함되어 있으므로 고농도 값을 보일 것이라는 가정에서 시작된다. 수용점에서의 측정결과를 분석하여 고농도와 저농도로 구분할 수 있고, 해당 측정기간 동안의 역계적 자료도 고농도 기간의 역계적 자료와 저농도 기간의 역계적 자료로 구분할 수 있게 된다.

또한 측정 자료가 높게 나타났다는 것은 배출원이 어디 존재하는지 알 수 없지만 특정한 배출원을 거쳐서 측정 지점에 도달했다는 것을 의미하며, 이 고농도 기간의 역계적은 해당 기간의 고농도 값을 갖는 궤적이 된다. 고농도 값을 보인 기간의 역계적을 모두 합하여 도시하면 어떤 특정한 지점은 여러 궤적이 겹치게 되는 지점이 나타나게 되고, 이 지점들이 확률적으로 수용점에 영향을 미치는 배출원이 존재할 가능성이 높다. 따라서 PSCF 값은 수용점을 포함하는 격자화된 대상지역을 설정하고, 설정된 격자를 지나가는 궤적을 분석하여, 어떤 격자에 대한 고농도 궤적이 지나간 개수와 전체 궤적이 지나간 개수를 이용하여 PSCF 값을 계산할 수 있게 된다.

Ashbaugh 등 (1985)과 Malm 등 (1986)은 Grand Canyon에서 관측된 입자상 황성분의 배출원을 조사하던 중, 배출원에서 배출된 오염물질들이 기상의 흐름에 포함되어 수용점에 도달하였을 것이라고 가정하고, 배출원이 있을 것으로 추정되는 지역에 대해 수용점을 중심으로 하여 일정한 크기의 격자로 구분하여, 수용점에서의 역계적 분석자료와 농도자료를 이용하여 높은 농도를 갖는 궤적이 많이 지나가는 격자가 오염원이 존재하는 격자로 파악하였으며, 이 연구가 PSCF 모형의 이론적 시초라고 할 수 있다. 이후 PSCF 모형은 Zeng (1989), Gao 등 (1993) 및 Hopke 등 (1993)에 의해서 모형으로 활용되기 시작하였다.

Hopke (1995)는 미국내 발전소의 위치와 미국내 SO₂ 및 SO₄²⁻ 오염물질에 대한 PSCF 결과를 비교한 바 있으며, Poissant (1999)의 경우는 미국의 Lawrence 강의 계곡 지점에서의 수온에 대한 배출원의 위치를 확인한 바 있다. 또한 Hsu (2001, 2003)은 PCB (poly chlorinated biphenyl) 물질에 대해서 시카고 인근의 국지적인 규모에서 PSCF 및 RTWC (resident trajectory weighted concentration) 등의 모형결과와 인근 PCB 배출원을 기준으로 기상자료를 혼합한 가상의 PCB 배출원을 구축하여 비교한 사례가 있다.

국내에서는 이승훈(2002)이 국가배경농도인 거제도 측정소에서의 오염물질에 대한 PSCF결과와 중국에서 장거리 이송되어오는 오염물질과의 관계를 확인한 바 있고, 정장표 등(2003)은 부산, 경남 일대에 구축된 배출원 목록 자료와 자동측정망 자료에 대한 PSCF 결과를 상호 비교함으로써, 국지적인 규모에서의 PSCF 모형의 적합성을 검증한 사례가 있다. 이승목 등(2003)은 서울지역에서 측정된 중금속 대기건성침적 자료를 PSCF 모형에 적용시켜 중국의 영향배출원의 위치를 확인한 바 있으며, 장영환(2004)은 전라남도 송광면에 위치한 주암호에서의 대기건성침적물(질소산화물)에 대한 PSCF 결과와 중국에서 배출되는 배출량과 자료와 비교·평가한 바 있다. 이승목 등(2004)은 서울시에서 실측된 자료를 PSCF 및 RTWC 모형에 적용시켜 국지적 규모에서 영향배출원을 확인한 사례가 있고, 조효정(2005)은 부산광역시 및 국내 일부지역의 오존 자동측정망 자료를 PSCF 모형에 적용시켜 오존의 영향배출원의 공간분포를 확인한 바 있다.

2. 2 PSCF 모형의 계산방법

PSCF 값을 계산하는 방법은 다음과 같다. 대상지역을 격자화하여 행을 i, 열을 j라고 하고 격자의 이름을 G라고 하면 모든 격자는 G_{ij} 인 행렬로 표시할 수 있다. N을 분석된 역케적 모형의 전체 endpoint 개수라고 하면 i행 j열 격자를 지나는 확률 $P(A_{ij})$ 는 다음 식(1)과 같이 정의된다.

$$P(A_{ij}) = \frac{n_{ij}}{N} \tag{1}$$

여기서, n_{ij} 는 G_{ij} 격자를 지나는 총 역케적의 갯수

그리고, i행 j열을 지나는 역케적 분석자료 중에서 고농도 측정값을 보이는 endpoint가 i행 j열 격자를 지나갈 확률 $P(B_{ij})$ 는 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$P(B_{ij}) = \frac{m_{ij}}{N} \tag{2}$$

여기서, m_{ij} 는 G_{ij} 격자를 지나는 고농도 역케적의 갯수

결국 i행 j열 격자의 PSCF 값은 다음 식 (3)과 같이 정의 된다.

$$PSCF\ Value\ (P_{ij}) = \frac{P(B_{ij})}{P(A_{ij})} = \frac{m_{ij}}{n_{ij}} \tag{3}$$

식 (3)에서 산정되는 P_{ij} 값을 PSCF 값이라고 하며, PSCF 값이 1에 가까울수록 그 격자는 영향 배출원일 가능성이 높음을 의미한다.

2. 3 PSCF 모형의 가정과 한계

이상과 같이 PSCF 모형을 적용할 경우, 수용점에 영향을 미치는 영향배출원의 공간분포를 확인할 수 있다는 점이 큰 장점으로 부각되고 있으나 PSCF 모형 또한 모든 모형들이 갖고 있는 한계점과 문제점들이 존재하고 있다.

특히 각 모형에서 전제하고 있는 가정조건 들은 모형의 결과 해석에 중요한 정보를 제공하고 있기 때문에 모형을 활용하는 연구에 있어서는 가정으로 인한 모형의 한계점과 문제점을 검토하는 과정이 필수적이며, 이에 PSCF 모형의 가정으로 인한 한계점을 정리하여 표 1에 나타내었다.

표 1에 의하면 첫 번째 가정과 두 번째 가정은 모형에 있어 일반적인 가정으로 잘 알려져 있는 것으

Table 1. Assumptions and limitations of PSCF model.

No.	Assumptions	Limitations
1	Measurement errors are random, uncorrelated and normally distributed.	Measurement errors are not necessarily random, uncorrelated or normally distributed.
2	Emissions reach a uniform concentration throughout the airshed immediately into the atmosphere.	Emissions definitely do not instantaneously reach a uniform concentration throughout the atmosphere upon leaving a source.
3	Pollutant concentration in the trajectory passing pollution source is necessarily high.	It may not be always high.
4	High and low value trajectories are exactly classified by the criterion value.	Criterion value may cause some errors.

로, 측정오차에 대한 가정과 배출원에서 배출되는 오염물질의 확산에 대한 가정이다.

세 번째 가정은 배출원을 통과한 공기피는 배출원을 통과할 때 배출되는 오염물을 포함하여 수용점에 도달한다고 가정하므로 배출원을 지나는 궤적이 수용점에 도달할 때는 항상 고농도 값을 가져야 한다는 점이며, 네 번째 가정은 어떠한 임계기준이 정해지면 임계기준보다 크다/적다를 구분하여 이를 이용하여 PSCF 값을 도출하게 되는데, 이는 기준치에 근접한 값들에 대한 오차를 유발할 수 있다는 한계점이 있다.

PSCF 모형의 가정과 한계점으로 인해 PSCF 모형은 일반적인 수용모형과는 달리 수용점에서의 측정 결과가 많이 요구되는 특징을 갖는다. Hopke (1998)는 수용점에서의 측정결과가 최소 40개 이상이어야 PSCF 모형에 적용이 가능하다고 밝히고 있으며, 이승훈 (2005) 등에 의하면 PSCF 모형의 한계점을 극복할 정도로 측정자료가 많은 경우(최소 100개 이상)에 신뢰할만한 모형결과를 얻을 수 있음을 사례 분석을 통해 규명한 바 있다. 특히, 자동측정망과 같이 수용점에서의 자료가 해상도가 높고 자료수가 많은 경우에 PSCF 모형을 적용할 경우 유용한 결과를 도출하는 것으로 보고하고 있다.

또한 PSCF 값을 계산할 수 있는 독립적인 프로그램이 존재하지 않는다는 것이 PSCF 모형의 또 다른 문제점으로 알려졌으며, Cheng (1993)은 연구를 위해 PSCF 모형을 제작한 바 있으나, 이는 일반 사용자를 고려하지 않았고, 해당 연구를 위한 특정한 상황에서만 수행되도록 작성되어 다른 사용자의 경우에 적용하지 못하는 등 범용적이지 못하였다. Hsu (2001)는 C와 Fortran을 이용하여 PSCF 모형을 적용하였으며, 모형의 원리를 적합하게 반영하지 못하였고, 계산과정에 대해 몇 개의 프로그램을 나누었으며, 중간 처리 단계는 수작업으로 처리하도록 하여, 프로그램의 사용이 다소 복잡하고 사용상에 어려움이 있었다. Hopke의 연구실(Clarkson university)에서는 PSCF 모형의 적용을 위해 Matlab 프로그램을 이용한 스크립트로 모형을 제작한 바 있으나, 이는 모형 수행시 반드시 Matlab 이란 프로그램을 사용하여야 한다는 제약과 모형의 원리를 적합하게 반영하지 못한 부분이 일부 있는 등 독립적인 프로그램으로 개발되어 있지 않아 일반 사용자가 모형을 적용하기

어렵다는 것도 주요 단점으로 지적되어 왔었다.

이에 경성대학교 대기오염연구실에서는 PSCF 모형 수행을 위해 Compaq Visual Fortran Compiler를 이용하여, PSCF 모형을 독립된 모형으로 제작하였다. 제작된 PSCF 모형은 사용자의 편의성을 고려하여 개발하였으며, 현재까지 지속적으로 수정 및 보완작업을 거쳐 모형의 원리에 충실하고 보다 개량된 모형으로 발전시키고 있다.

3. PSCF 모형의 개발 및 개선

경성대학교 대기오염연구실에 의해 초기 PSCF 모형의 원리에 맞도록 제작된 버전 1.x부터 현재 7.0 버전까지 여러 번의 수정작업을 거치면서 많은 부분의 보완이 이루어져 오고 있으며, 수정 개선된 중요 내용을 요약하면 표 2와 같다.

초기 PSCF 모형은 제대로 된 프로그램이 아니었기 때문에, MS-Excel 등을 이용하여 수작업으로 계산되었으며, 수작업으로 계산할 경우 방대한 양의 자료를 처리해야 하기 때문에 작업중 발생할 수 있는 에러 등에 대한 검증이 상당히 어렵고, 인력과 시간이 많이 소요된다는 단점이 있었다. 또한 Hopke 연구실에서는 Matlab용 스크립트로 제작되어 사용되고 있으며, 이 경우에는 PSCF 모형의 수행을 위해서는 반드시 Matlab 소프트웨어가 필요하며, Matlab 소프트웨어의 구동범위안에서 수행되기 때문에 수행시간이 상당히 오래 걸리는 등의 근본적인 단점과 PSCF 모형의 원리를 적합하게 반영하지 못하였다.

또한 입력자료로 필요한 역계적 자료는 HYSPLIT (NOAA web site)의 결과로 주어지는데, 역계적 1개 경우에 대해 각 파일마다 파일의 헤더 부분과 역계적 정보가 같이 주어지기 때문에, 모형의 작업 이전에 일일이 계적분석자료를 다른 편집도구를 사용하여 역계적 정보만 추출하는 작업이 필요하였다. 이 작업 또한 수작업으로 이루어지기 때문에 사용자의 실수가 포함될 가능성이 있으며, 인력과 시간이 많이 소요되었으나, 개발된 PSCF 모형에서는 사용자의 편의를 위해 역계적 분석자료인 HYSPLIT 결과 파일을 PSCF 모형에 입력자료로 넣을 때, 궤적 결과만 분리하여 입력할 필요 없이 HYSPLIT 결과화일을 그대로 입력 받을 수 있도록 PSCF 모형을 수정하였

Table 2. Modification and improvement of PSCF model.

Version	Problems & improvements
1.x	The first PSCF model was not independent program : use MS-Excel etc. The early PSCF version was made with script of Matlab software : need Matlab software → making PSCF model program using Compaq Visual Fortran 6. *Adding function to combine input result files of HYSPLIT model directly.
2.x	User must input critical value manually in the early PSCF version → Adding subroutine to designate critical value automatically. Adding function to create “log file” to verify calculated process.
3.x	Adding subroutine to create coordination system automatically.
4.x	Adding function to extend possible fitting year to 2199 in combining trajectory data with concentration data.
5.x	Adding Julian day calculation algorithm. Adding algorithm to determine the best point filter number automatically.
6.x	Adding subroutine to reduce the deviation degree of PSCF value under the low wind speed conditions. Improving display function.
7.0	Adding subroutine to select one of critical values (median, mean, percentile value etc.).

Remaks) PSCF program has registered PDMC (program deliberation & mediation committee) since 2002.

다.

PSCF 1.x 버전에서는 측정된 자료를 고농도와 저농도 값으로 구분해주는 임계변수를 사용자가 입력하도록 제작되었으며, 사용자에 따라 중앙값을 입력하거나 평균값을 입력하는 등 혼용이 있어왔다. 이에, PSCF 2.x 버전에서는 임계변수를 PSCF 모형 내에서 자동적으로 중앙값으로 계산되도록 하였으며, PSCF 모형의 수행과정을 검증할 수 있는 “log file”을 생성하도록 수정하였다.

“log file”은 프로그램의 수행중의 에러나 모형의 처리과정을 일일이 검증할 수 있고, 에러 발생시 에러의 원인을 찾을 수 있는 등의 업무를 위해 꼭 필요한 기능이다.

PSCF 2.x 버전까지의 모형은 특정한 좌표값을 제어변수로 입력 받게되면 해당좌표값이 대상지역의 좌하단 원점이 되며, 이를 기준으로 하여 격자의 크기, 개수 등이 정해지게 된다. 그러나 많은 수용점에 대한 PSCF 모형의 적용시에는 원점을 좌측하단으로 고정하는 방법보다는 수용점을 대상지역의 중심점으로 설정하여 격자를 구분하는 방법이 더욱 편리하다. 이를 반영하기 위해 PSCF 3.x 버전에서는 PSCF 값을 얻기 위한 격자를 설정할 때, 대상지역의 좌측하단을 기준으로 하여, 격자의 크기와 개수로 구분하는 좌표계와 수용점을 중심으로 하는 좌표계로 구분하

고 사용자가 임의로 좌표계를 선택할 수 있도록 수정하였다.

PSCF 4.x 버전에서는 PSCF 모형의 계산을 위해 측정자료의 결과와 역계적 자료를 결합하는 과정이 있는데, 이 때, 정확성과 편리성을 제고시킬 수 있는 정렬방법에 관한 일부 수정이 가해졌다.

이 결합과정은 PSCF 값을 계산하기 위해 분석된 역계적 자료에 측정지점에서의 농도 자료를 대응시키는 과정으로 이를 대응시키기 위해 측정자료의 날짜와 시간 정보와 역계적의 날짜와 시간정보를 정렬시켜야 한다. 날짜와 시간 정보를 정확히 정렬시키기 위해 초기에는 단순한 날짜와 시간정보를 비교 하였으나, PSCF 5.x 버전부터는 날짜 계산방법중에서 Julian day 알고리즘을 채택하여 결합과정을 정확하게 수행할 수 있도록 수정을 하였으며, point filter를 프로그램내에서 자동으로 계산될 수 있도록 수정하였다.

PSCF 6.x 버전에서는 풍속이 현저히 낮을 때, PSCF 값의 편이가 생기는 것을 수정하였으며, PSCF 모형의 수행과정을 화면에 나타내어 현재 수행단계가 어디에 도달해 있는지를 사용자가 알 수 있도록 수정하였다.

PSCF 7.0 버전에서는 측정된 자료를 고농도와 저농도 값으로 구분해주는 임계변수를 중앙값, 평균값

이외에 백분위수 및 사용자가 지정하는 특정한 값 등 다양한 임계변수를 지정할 수 있도록 프로그램을 수정하였다.

추후 개선될 PSCF 8.0 이상의 버전에서는 개발이후 다양한 적용과정에서 보완이 필요했던 사항을 개선시킬 예정이며, 역궤적의 고도를 고려한 3차원적인 PSCF 결과를 얻기 위해 PSCF 모형을 개선할 계획에 있다.

4. PSCF 모형의 제어변수 결정

개발된 PSCF 프로그램은 수용점에서 측정자료와 역궤적 자료와 모든 제어변수를 입력 받아 수행할 수 있도록 모형을 개발하였다. 이는 제어변수의 설정에 따라 PSCF 결과는 다양하게 나타나게 되는 모형의 특성상 연구자의 다양한 의도에 따라 적절한 제어변수를 직접 선택하게 함으로써, 모형의 유용성과 가치를 높이고자 하였다.

따라서 유용한 PSCF 결과값의 획득을 위해 격자의 크기, 격자의 개수, point filter, 임계변수 등의 제어변수를 적절하게 설정하여야 하며, 최적의 제어변수 선정에 대해 대상지역과 격자의 크기결정 및 point filter를 설정하는 방법을 제시하였다.

먼저 PSCF 모형을 적용할 대상지역을 선정하여야 하며, 이 때 가장 중요한 것은 역궤적의 형태를 보고 90% 이상의 역궤적이 포함될 수 있도록 대상지역을 선정해야 한다는 것이다. 만약 대상지역이 궤적보다 월등히 크거나 적으면 PSCF 결과는 그만큼 유용한 결과를 도출하기 어렵다.

따라서 대상지역을 선정할 때는 궤적의 크기와 비교하여 궤적이 포함될 수 있도록 선정하는 것이 중요하며, 만약 대상지역이 정해져 있는 경우라고 하면 역궤적 분석시간을 조정하여 역궤적의 길이가 대상지역에 적절하게 포함되어야 한다.

대상지역이 결정되면, 대상지역을 격자화 해야 하는데, 격자의 크기만 결정되면 격자의 개수는 자동으로 정해지게 된다. 대상지역의 크기에 따라 격자의 크기는 달라지며, 역궤적 계산모형인 HYSPLIT의 오차범위를 포함할 수 있도록 격자의 크기가 적절해야 한다.

선행연구에서 수행된 대상지역의 범위와 격자의

Table 3. Grid, size and domain used in other studies.

Researcher	Published year	Domain	Grid size
Hopke <i>et al.</i>	1993	South Coast Air Basin	5 km
Gao <i>et al.</i>	1993	Sub regional Scale	5 km
Hopke <i>et al.</i>	1995	Northern Hemispher	5 degree
Poissant <i>et al.</i>	1999	North America	1 degree
Polissar <i>et al.</i>	1999	Northern Hemispher	2.5 degree
Polissar <i>et al.</i>	2001	Northern Hemispher	2.5 degree
Lin <i>et al.</i>	2001	Northern Hemispher	2.5 degree
Poirot <i>et al.</i>	2001	North America	1 degree
Hsu	2001	Southern Lake Michigan	0.05 degree
Lee	2002	East-North Asia South Korea	0.2 degree 0.05 degree
Cheong <i>et al.</i>	2003	South Korea (local scale)	0.05 degree
Jang	2004	East-North Asia South Korea	0.35 degree 0.05 degree
Yi <i>et al.</i>	2004	Seoul (local)	0.05 degree
Cho	2005	Several cities in South Korea (local)	0.05 degree
		East-North Asia	0.3 degree
Lee <i>et al.</i>	2005	Busan in South Korea (local)	0.05 degree

크기를 간략하게 정리하여 표 3에 나타내었다.

표 3을 보면 어떠한 국지적인 대상영역을 가지는 경우, 대체적으로 0.05 degree 정도의 격자 크기를 선택하고 있음을 알 수 있으며, 동북아시아 정도의 지역적인 크기에서는 1 degree 정도를 선택하고 있었으며, 지구규모적인 규모에서는 2.5 내지는 5 degree를 선택하여 적용하고 있었다.

격자의 크기는 제어변수를 통해 연구자가 지정해 줄 수 있으며, 국지적인 규모에서 1 km 이하의 격자에 대해서도 PSCF 모형의 적용이 가능하지만, 이런 경우 역궤적 모형을 수행하여주는 HYSPLIT 모형의 오차범위보다 격자의 크기가 작기 때문에 국지적인 규모에서 유용한 PSCF 값의 산출을 위해서는 0.05 degree 정도가 최소 격자 크기라고 판단된다.

또한 대상지역이 지역적인 규모나 지구적인 규모인 경우에 격자의 크기가 너무 작으면 그림 1과 같이 표시되어지는 영역이 협소해지게 되고, 역궤적 모형을 수행하여주는 HYSPLIT 모형의 오차범위보다 격자의 크기가 작기 때문에 대상지역의 크기가 커지면 격자의 크기 또한 대상지역에 맞게 설정되어야 한다.

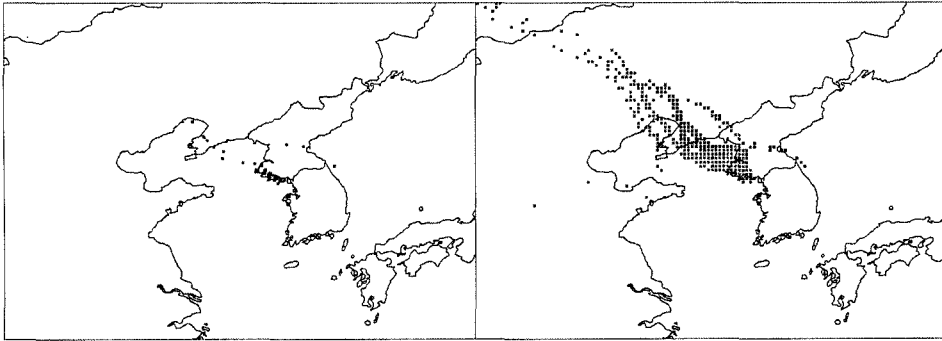


Fig. 1. PSCF results with the grid size of 0.05 degree (left) and 0.2 degree (right).

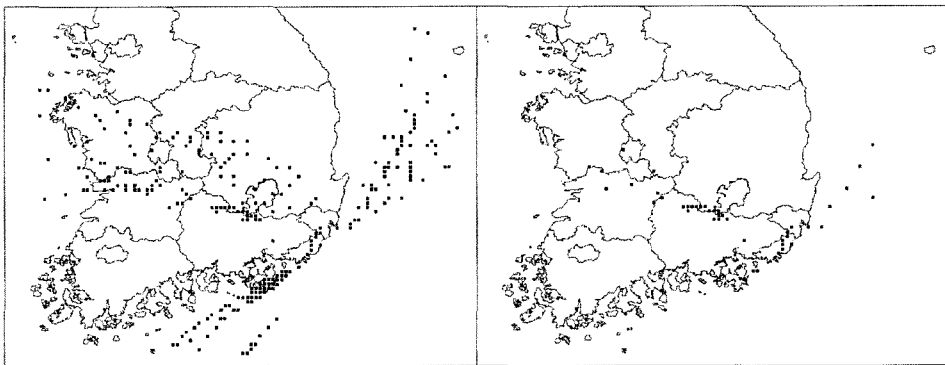


Fig. 2. PSCF results using deposition data by the number of point filter; 1 point filter (left) and 6 point filters (right).

따라서 격자의 크기는 선행연구와 PSCF 모형의 기본적인 원리, 역계적을 수행하는 HYSPLIT 모형의 오차범위 등을 종합적으로 고려할 때, 대상지역이 국지적인 경우는 0.05 degree 정도, 지역적인 규모는 0.2~1 degree 정도, 북반구 같은 지구규모적인 경우에는 2.5~5 degree 정도가 적절한 것으로 판단된다.

다음으로 모든 격자에 대해 PSCF 값이 산정되었지만, PSCF의 원리상 한 격자에 지나간 총역계적의 수가 적은 경우에는 해당 격자의 PSCF 값이 유효하다고 할 수 없으므로, 유효한 PSCF 값을 획득하기 위해 전체 계적과 격자개수의 관계에서 격자당 지나가야 하는 최소 계적수를 산정하고, 최소계적수를 넘는 격자의 PSCF 값만을 취하여야 하며, 이때의 최소 계적수를 point filter라 한다.

point filter는 역계적의 수와 대상지역의 격자 크기에 따라 제어되는 제어변수로 이 수가 너무 크면

PSCF 값들이 적용되는 격자의 수가 작아지고, 이 수가 적으면 PSCF 값이 적용되는 격자가 많아져 영향 배출원의 위치 정보 확인이 힘들게 되는 등, 대상지역과 격자의 크기가 결정되면 사용자는 대상지역과 격자의 크기에 맞는 point filter를 산정해야 한다.

만약 어떠한 대상지역내에서 분석된 역계적의 개수를 N_{traj} 라고 하고, 격자의 개수를 N_{grid} 라고 하자. 이 때 역계적의 개수가 모든 격자에 고루 분포한다고 가정하면, 각 Grid 마다 포함되어야할 평균 역계적 개수는 다음 식 (4)와 같이 정의된다.

$$\overline{N_{trajectory\ of\ grid}} = \frac{N_{traj}}{N_{grid}} \quad (4)$$

각 격자에 들어가야 하는 평균 역계적 개수는 분석된 역계적이 모든 격자에 고루 분포한다고 가정한 이론적 값이며, 실제 역계적은 모든 격자에 대해 등

일하게 분포하지 못하므로 각 격자는 서로 다른 역계적 개수를 갖게 된다.

point filter에 의한 PSCF 결과의 차이를 알아보기 위해, 부산광역시에서 측정되었던 Pb의 대기건성침적 자료에 대해 point filter를 1개로 적용시킨 결과와 평균 역계적 개수로 적용한 결과(point filter=6)를 그림 2에 도시하여 나타내 보았다.

그림 2에 나타난 바와 같이, 너무 낮게 설정한 경우(left)와 평균 역계적 개수를 산정하여 적정한 point filter를 설정한 경우(right)의 PSCF 결과는 판이하게 달리 나타남을 알 수 있었다.

이와 같이 사용자가 point filter를 조정함으로써 PSCF 결과값의 예측결과가 달리 나타날 수 있으므로, 표 2에 정리한 바와 같이 PSCF 5.x 버전 이상에서는 프로그램 내에서 자동으로 point filter를 적용시켜 평균 역계적 개수 이상의 격적이 지나간 격자에 대해서만 PSCF 값이 계산될 수 있도록 개선하였다.

5. 결론 및 모형 개선계획

수용점에서 측정된 오염물질의 영향배출원 분포를 규명하기 위해 영향배출원의 위치정보를 규명해줄 수 있는 모형인 PSCF 모형을 독립적인 프로그램으로 개발하고, 모형의 예측결과를 향상시키기 위해 제어변수의 최적 조건을 분석하여 보았으며, 주요한 결론은 다음과 같다.

1) 많은 노력과 시간이 요구되었던 이전 모형의 원리를 충실히 적용한 독립된 PSCF 모형을 개발 하였으며, 모형의 예측력 향상을 위한 다양한 알고리즘 추가하고, 사용자의 편의를 고려한 모형의 개선이 지속적으로 이루어져오고 있다.

2) PSCF 모형분석시 측정자료가 많을수록 모형결과의 신뢰성이 높아지며, 최소 100개 이상의 측정자료가 있어야 한다.

3) PSCF 모형을 적용할 때, 대상격자의 크기는 역계적 분석결과가 연구의 목적에 맞게 포함될 수 있도록 설정해야 하며, 대상지역이 국지적인 경우는 0.05 degree 정도, 지역적인 규모는 0.2~1 degree 정도, 북반구 같은 지구 규모적인 경우에는 2.5~5 degree 정도로 대상지역의 규모에 맞게 격자 크기를 설정하는 것이 적절한 것으로 나타났다.

4) point filter가 너무 크면 PSCF 값들이 적용되는 격자의 수가 작아지고, 이 수가 적으면 PSCF 값이 적용되는 격자가 많아져 오염원의 위치 정보 확인이 힘들게 되며, PSCF 모형 적용시 사용자의 편의를 위해 최적 조건의 point filter 설정과정을 모형에 추가하여 PSCF 결과값이 자동으로 계산될 수 있도록 개선하였다.

감사의 글

본 논문은 2004학년도 경성대학교 학술지원 연구비에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 이승훈(2002) 대기오염 위치확인을 위한 PSCF 모형의 적용, 경성대학교 대학원 박사학위논문, 7-37.
- 이승훈, 정장표, 장영환(2005) PSCF 모형의 개발과 적용, 2005년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 121-123.
- 이승묵, 허종배, 정장표(2003) 황사시 서울시 대기중 중금속 건식침적의 오염원 위치 파악을 위한 Hybrid Receptor Model의 적용, 2003년 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 273-276.
- 이승묵, 허종배, 이용미, 서용석, 김지현, 정장표(2004) Hybrid Receptor Model을 이용한 서울시 대기중 PM_{2.5} 이온성분 오염원의 위치파악, 2004년 한국대기환경학회 춘계학술대회 논문집, 371-374.
- 장영환(2004) 상수원에 대한 대기침적의 영향과 잠재적 오염원의 규명, 경성대학교 박사학위논문, 57-60.
- 정장표, 이승훈, 장영환, 조효정, 이승묵(2003) 국지적인 규모에서의 PSCF 모형의 적용, 2003년도 대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문집, 118-119.
- 조효정(2005) 부산광역시 오존농도의 시공간적 특성과 영향배출원 분포특성, 경성대학교 대학원 박사학위논문, 19-25.
- Ashbaugh, L.L., W.C. Malm, and W.Z. Sadeh(1985) Residence time probability analysis of sulfur concentrations at Grand Canyon National Park. Atmospheric Environment 19, 1263-1270.
- Cheng, M.D., P.K. Hopke, and Y. Zeng(1993) A Receptor Methodology for Determining Source Regions of Particle Sulfate Composition Observed at Dorset, Ontario, J. of Geophysical Research 98, 16, 16839-

- 16849.
- Gao, N., M.D. Cheng, and P.K. Hopke (1993) Potential Source Contribution Function Analysis and Source Apportionment of Sulfur Species Measured at Rubidoux, CA during the Southern California Air Quality Study, 1987, *Analytica. Chimica. Acta.* 277, 369–380.
- Hopke, P.K., N. Gao, and M.D. Cheng (1993) Combining Chemical and Meteorological Data to Infer Source Areas of Airborne Pollutants, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 19, 187–199.
- Hopke, P.K., N. Gao, and M.D. Cheng (1993) Combining Chemical and Meteorological Data to Infer Source Areas of Airborne Pollutants, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 19, 187–199.
- Hopke, P.K., L.A. Barrie, S.M. Li, M.D. Cheng, C. Li., and Y. Xie (1995) Possible sources and preferred pathways for biogenic and non-sea-salt sulphur for the high Arctic. *J. of Geophysical Research* 100, 16, 595–603.
- Hopke, P.K. (1998) Receptor Models for Particulate Matter Management, Unpublished internal information note.
- Hsu, Y.K. (2001) Ph. D. Thesis, The Use of Receptor Models to Locate Atmospheric Pollutant Sources : Polychlorinated Biphenyls in Chicago.
- Hsu, Y.K., T.M. Holsen, and P.K. Hopke (2003) Comparison of Hybrid receptor models to locate PCB sources in Chicago, *Atmospheric Environment*, 37, 545–562.
- Lin, C.Y.C., D.J. Jacob, and A.N. Fiore (2001) Trend in exceedances of the ozone air quality standard in the continental United States, 1980–1998, *Atmospheric Environment*, 35, 3217–3228.
- Malm, W.C., C.E. Johnson, and J.F. Bresh (1986) Application of Principal Component Analysis for Purposes of Identifying Source-receptor Relationships in Receptor Methods for Source Apportionment, Pace, T. G., ed., *Air Pollution Control Association*, Pittsburgh, PA, 127–148.
- Poirot, R.L., P.R. Wishinski, P.K. Hopke, and A.V. Polissar (2001) Comparative Application of Multiple Receptor Methods To Identify Aerosol Sources in Northern Vermont, *ES&T*, 35, 4622–4236.
- Poissant, L. (1999) Potential sources of atmospheric total gaseous mercury in the St. Lawrence River valley, *Atmospheric Environment*, 33, 2537–2547.
- Polissar, A.V., P.K. Hopke, P. Pattero, Y.J. Kaufmann, D.K. Hall, and B.A. Bodhanie, E.G. Dutton, and J.M. Harris (1999) The aerosol at Barrow, Alaska: long-term trends and source locations, *Atmospheric Environment*, 33, 2441–2458.
- Polissar, A.V., P.K. Hopke, and J.M. Harris (2001) Source Regions for Atmospheric Aerosol Measured at Barrow, Alaska, *ES&T*, 35, 4214–4226.
- Zeng, Y. and P.K. Hopke (1989) A study of sources of acid precipitation in Ontario, Canada. *Atmospheric Environment*, 23, 1499–1509.
- ARL NOAA <http://www.arl.noaa.gov>