

연구논문

## 한국의 황사 발생 빈도 분포와 변화 분석

김선영 · 이승호

건국대학교 지리학과

(2006년 4월 13일 접수, 2006년 6월 9일 승인)

### The Spatial Distribution and Change of Frequency of the Yellow Sand Days in Korea

Sunyoung Kim · Seungho Lee

Dept. of Geography, Konkuk University

(Manuscript received 13 April 2006; accepted 9 June 2006)

#### Abstract

The purpose of this paper is to analyze the spatial distribution and change of the frequency of Yellow Sand days and to examine their relationship with atmospheric circular characteristics at the surroundings of the Korean peninsula. Yellow Sand days data are used by intensity, Siberian High Index and monthly mean temperature of the Northern Hemisphere.

In the Middle-western region, the occurrence frequency of Yellow Sand days was higher during the study period (1973-2004). Also, the occurrence frequency of Yellow Sand days increased to latter half 16 years compared with the first half 16 years, and be clearer in Middle-west regions.

Yellow Sand days frequency increased, and the trend was distinct in the Jungbu region during the study period. Increasing trend of Yellow Sand days frequency was significant for the recent 22 years. Yellow Sand days had a negative relationship with Siberian High Index in February and March. Therefore, Siberian High Index became weaker in the spring, and possibility for the occurrence of Yellow Sand days was generating larger. Yellow Sand days had a positive relationship in monthly mean temperature of the Northern Hemisphere. Especially, the case of the strong Yellow Sand days is significant. Recently, global warming might be affecting the occurrence of strong Yellow Sand days.

Key words : Yellow Sand days, Siberian High Index, monthly mean temperature of northern hemisphere, global warming

## 1. 서론

황사는 봄철에 발생하는 우리나라 계절 현상의 하나로 최근 그 빈도가 증가한다고 알려져 있다(全映信 외, 2002). 또한 매스컴에서의 잦은 보도로 황사에 대한 일반인의 관심도 커지고 있으며, 최근 서해안에 인접한 중국 황해 연안의 공업지대에서 방출되는 중금속 오염물질까지 황사에 실려와 심각한 국제 문제로 부각되고 있다. 황사는 발원지뿐만 아니라 탁월풍의 풍하 지역에 영향을 주기 때문에 관련 국가들이 공동으로 관심을 기울여야 하는 문제이기도 하다(정용승·윤마병, 1994).

황사는 생태계와 각종 산업 및 인간 생활에 미치는 영향이 크다. 황사 입자는 산성 토양을 중화시키며 토양 속 미생물의 무기염 흡수를 강화시킨다. 또한 해양 플랑크톤에 무기염류를 제공하여 생물학적 생산력을 증대시킬 수 있다(정예모, 2005). 반면, 황사는 반도체를 포함한 정밀 산업에 미치는 영향이 커서 관련 제품의 품질 저하 등의 원인이 되기도 한다. 또한 시정의 저하로 항공기의 이착륙에 영향을 미치기도 하고 미세한 황사 먼지가 엔진에 치명적인 손상을 줄 수 있어 비행 자체를 어렵게 하기도 한다(정용승·윤마병, 1994). 황사는 안과와 호흡기 질환 환자의 질병을 더욱 악화시킬 수도 있으며, 농작물을 포함한 식물의 성장에도 적지 않은 영향을 미친다(정용승 외, 2001).

황사는 발원지의 풍하 지역에 가까이 위치한 우리나라를 비롯한 동북아시아에 큰 영향을 주고 있고 이 지역을 중심으로 황사에 관한 연구가 다양한 측면에서 활발히 진행되어 왔다. 일기도를 이용한 종관 기상장을 분석한 연구(윤순창·박경선, 1991; 전종갑, 1991; 이재규, 1993; 정관영·박순웅, 1995; 전종갑 외, 1999; 전영신 외, 2003; Yoshino, 2002), 모델링을 통한 황사의 수송과 침적과정의 수치모의연구(정관영·박순웅, 1997), 고문헌에 기록된 황사 현상을 조사하여 다양한 기상현상과 관련지어 분석한 연구(전영신, 2000; 전영신 외, 2000; 전영신 외, 2001) 등이 있다. 이와 같이 현재까지 이루어진 황사에 관한 연구는 황사의 발원지, 이동경로, 수송과정

등을 이해하는데 도움을 주었다. 하지만 황사 발생 일수의 분포와 그 빈도의 변화 특성, 황사 발생일과 지구온난화와의 관련성에 관한 연구는 미비하다.

따라서 우리나라의 황사 발생 일수와 분포 특성을 파악하고, 그 발생의 원인을 규명하는 것은 기후학적으로는 물론 사회·경제적으로도 중요한 연구 과제이다. 본 연구에서는 우리나라의 황사 발생일의 분포와 그 빈도의 변화 및 한반도 주변의 대기 순환 특성과의 관련성을 파악하고자 한다.

## II. 연구자료 및 방법

본 연구에 이용된 주요 자료는 기상청에서 관측한 강도별 황사 발생일 자료와 월별 시베리아 고기압 강도 지수, 북반구 월별 평균 기온 자료이다. 기상청에서는 황사를 그 강도에 따라 0(시정이 다소 혼탁), 1(하늘이 혼탁하고 황색먼지가 물체표면에 쌓이는 정도), 2(하늘이 황갈색으로 되어 빛을 약화시키며 황색먼지가 쌓임)로 나누어 목측한다.

황사의 상세한 공간적 분포를 파악하기 위해서는 공간해상력을 확보하는 것이 필요하다. 따라서 황사를 관측하고 있는 29개 지점을 선정하여 최근 32년간(1973~2004년)의 황사 발생일 자료를 분석에 이용하였다(그림 1). 황사 발생 빈도 변화를 파악하기 위하여 장기간의 자료가 필요하므로 1961년부터 2004년까지 최근 44년간의 황사 발생일 자료를 가지고 있는 12개 관측 지점을 선정하였다. 시베리아 고기압 강도 지수(Siberian High Index, SHI)는 NCEP (National Center for Environmental Prediction)/NCAR (National Center for Atmospheric Research)의 재분석 자료 중 월평균 해면 기압으로부터 산출한 것으로 시베리아 고기압 영향역(70°E-120°E, 40°N-60°N)의 해면기압을 평균한 값이다. 북반구 평균 기온은 East Anglia대학의 CRU (Climatic Research Unit)가 산출하여 제공하고 있는 자료이다(<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>). 이와 같은 연구자료는 월 평균 외에도 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월),



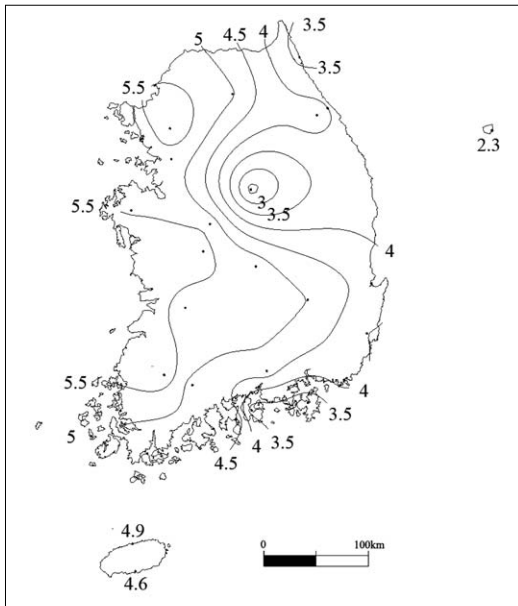


그림 2. 우리나라의 연평균 황사 발생일의 분포 (1973~2004년)

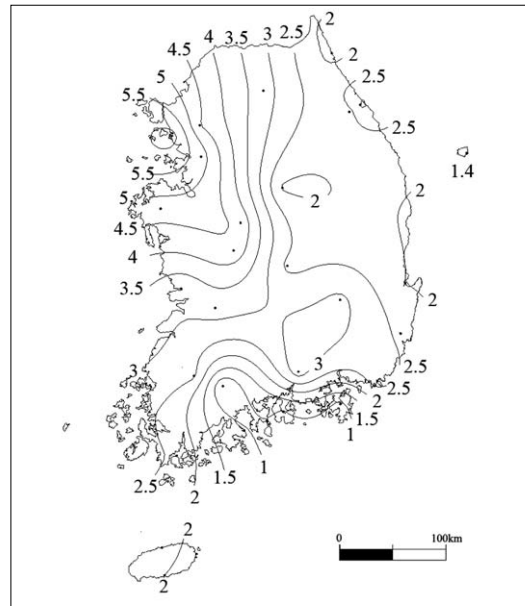


그림 3. 우리나라의 전·후반기 황사 발생일의 차이

#### IV. 황사의 빈도 변화

그림 4~6은 1961년부터 2004년까지 최근 44년간의 강도별 황사 발생일의 빈도 변화를 나타낸 것이다. 연구 기간 동안의 황사 발생일수와 함께 7년 이동 평균한 것을 함께 나타내어 그 변화 경향을 파악할 수 있게 하였다.

연구 기간 중 우리나라에서 황사의 빈도는 전반적으로 증가하는 경향이다. 그림 4는 우리나라에서 발생한 전체 황사 발생일의 빈도 변화를 나타낸 것이다. 황사 발생일의 7년 이동 평균 값의 경년 변화를 보면, 1960년대 후반까지는 증가하다가 1960년대 후반 이후 감소한다. 1970년대 중반까지는 큰 변동 없이 일정한 경향이지만, 1970년대 후반부터 1980년대 중반까지 감소한다. 1980년대 중반부터 1990년대 초반까지 증가하다가 1990년대 중반에는 일정한 경향을 보이고 1990년대 후반부터 최근까지 증가하는 경향이다. 1980년대 중반 이후로 증가 경향이 뚜렷하다. 최근 22년간(1983~2004년)의 전체 황사 빈도의 증가율은 연 0.580일로 전체 44년간 증가율(연 0.083일)의 약 7배로 최근 증가 경향이 뚜렷함을 보인다.

그림 5는 황사의 강도가 0인 약한 황사 발생일의 빈도 변화를 나타낸 것이다. 약한 황사도 전체 황사 발생일의 경우와 같이 1960년대 중반까지는 증가하다가 1960년대 중반 이후 감소한다. 1970년대 초반부터 1970년대 후반까지 증가하다가 1970년대 후반 이후부터 1980년대 중반까지 감소한다. 1980년대 중반부터 최근까지 증가하는 경향이 뚜렷하다. 1983년부터 2004년까지의 약한 황사 빈도의 증가율은 연 0.343일로 44년간의 증가율(연 0.017일)의 약 20배이다. 약한 황사 발생일의 빈도 변화는 전체 황사 발생일 빈도와 유사한 경향을 보인다.

그림 6은 황사의 강도가 1과 2인 경우, 즉 비교적 강한 황사가 발생한 경우의 빈도 변화를 나타낸 것이다. 강한 황사 발생일은 약한 황사 발생일과는 다른 경향이다. 1960년대부터 1990년대 중반까지는 큰 변동 없이 일정한 경향이지만 1990년대 중반부터 최근까지 황사 발생일의 빈도는 급격하게 증가한다. 1983년부터 2004년까지의 강한 황사 발생의 증가율은 연 0.238일로 전체 44년간의 증가율(연 0.065일)의 약 4배이다. 강한 황사 발생일의 빈도도 최근 22년간 증가 경향이 뚜렷함을 알 수 있다. 특히 1990년대 중반부터 최근까지 강한 황사 발생의 증가율은 연

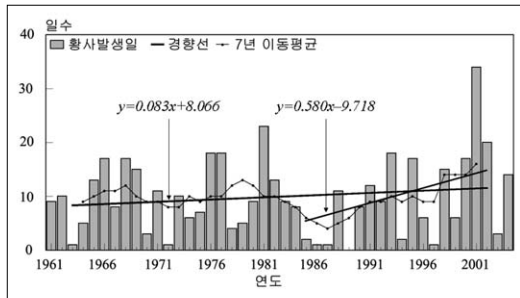


그림 4. 우리나라 황사 발생일의 빈도 변화

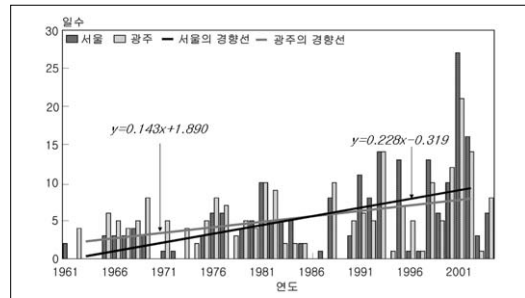


그림 7. 서울과 광주의 황사발생일의 빈도 변화

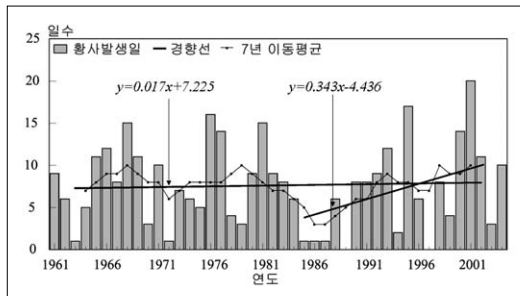


그림 5. 약한 황사 발생일의 빈도 변화

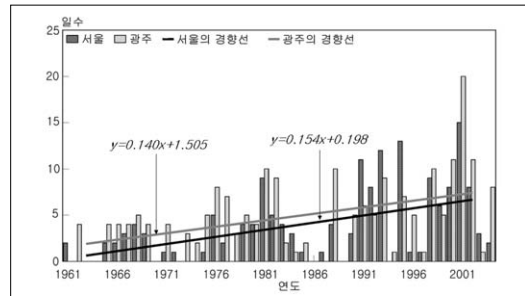


그림 8. 서울과 광주의 약한 황사 발생일의 빈도 변화

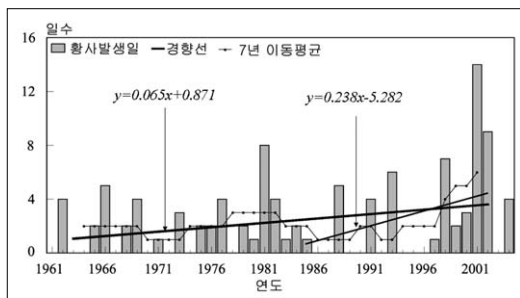


그림 6. 강한 황사 발생일의 빈도 변화

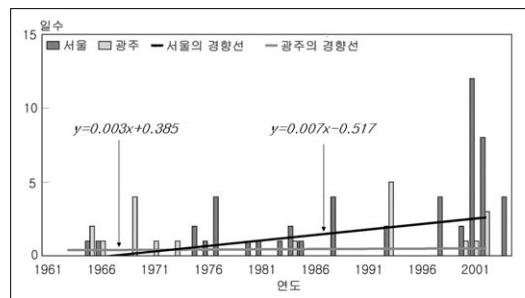


그림 9. 서울과 광주의 강한 황사 발생일의 빈도 변화

0.594일로 전체 44년간의 증가율의 9배 이상으로 최근 증가 경향이 뚜렷함을 알 수 있다.

황사 발생 빈도가 비교적 높은 서울과 광주를 사례로 선정하여 강도별 황사 발생 빈도 변화를 살펴보았다. 서울의 총 황사 발생일은 212일로 중부 지역에서 그 빈도가 가장 높고, 광주는 225일로 남부 지역에서 그 빈도가 가장 높다.

그림 7은 서울과 광주의 전체 황사 발생일의 빈도 변화를 나타낸 것이다. 1980년대 초반까지는 광주의 황사 발생 빈도는 85회이고 서울은 54회로 광주가 더 많다. 그러나 1980년대 초반 이후의 서울의 황사 발생 빈도는 158회이고 광주는 140회로 서울이 광주

보다 더 많다. 서울의 황사 발생 빈도의 증가율은 연 0.228일로 광주의 증가율(연 0.143일)의 약 1.6배로 서울에서의 황사 발생 빈도의 증가 경향이 더욱 확실하다.

그림 8은 서울과 광주의 약한 황사 발생일의 빈도 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 광주의 약한 황사 발생 빈도(205회)가 서울(161회)보다 많다. 서울의 약한 황사 발생 증가율은 연 0.154일이고 광주는 연 0.140일로 서울이 광주보다 증가율이 약간 더 크지만 그 차이는 크지 않다.

그림 9는 서울과 광주의 강한 황사 발생일의 빈도 변화를 나타낸 것이다. 강한 황사 발생일의 경우에는

서울의 빈도가 51일로 광주의 황사 발생 빈도(20일)보다 2배 이상 더 많다. 즉 서울의 황사는 광주에 비하여 강도가 강한 것을 보여준다. 서울의 강한 황사 발생 증가율은 연 0.007일이고 광주는 연 0.003일로 서울이 광주보다 약 2배 더 높다. 앞에서 분석한 바와 같이 중부 지방인 서울에서의 황사 빈도 증가가 남부 지방보다 뚜렷한 것을 볼 수 있다.

## V. 황사와 시베리아 고기압 강도 지수 및 북반구 평균 기온과의 관계

### 1. 황사 발생일과 시베리아 고기압 강도 지수와의 관계

시베리아 고기압의 강도 변동은 겨울철 유라시아 대륙의 기온 변화와 강수량 변화를 조절한다. 시베리아 고기압 강도가 강할수록 유라시아 대륙의 기온은 하강하고, 강수량은 감소하게 된다(Gong and Ho, 2002). 즉, 시베리아 고기압 강도 지수(SHI)의 편차가 강한 양(+)일 경우 유라시아 대륙은 춥고 건조하게 되므로, 시베리아 고기압의 강도와 황사 발생의 관계를 분석하였다.

황사 발생 일수와 그 해의 봄철과 겨울철의 시베리아 고기압 강도 지수(SHI)와는 부(-)적 상관관계가 있다. 이는 봄과 겨울에 시베리아 고기압 강도 지수가 약할 때는 황사 발생이 증가함을 의미한다. 시베리아 고기압 강도 지수가 강하면 하강기류가 형성될 가능성이 커질 수 있다. 황사의 부유를 결정하는 가장 중요한 조건은 강한 상승기류이다. 봄철에 시베리아 고기압 강도 지수가 약할수록 황사 발생에 필요한 상승기류가 발생할 가능성이 커진다고 할 수 있다.

황사 발생일과 봄, 겨울철 시베리아 고기압 강도 지수 사이의 상관관계는 각각  $r=-0.229$ ,  $r=-0.167$ 이다. 모두 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의하지 않으므로 그 값이 통계적으로 의미를 갖지 못한다. 따라서 봄, 겨울철의 월별 시베리아 고기압 강도 지수와 황사 발생 일수와의 상관관계를 분석하였다. 봄철(3, 4, 5월), 겨울철(12, 1, 2월)의 월별 시베리아 고기압 강도 지수와 강도별 황사 발생일과의 관계 중 봄철은 3월,

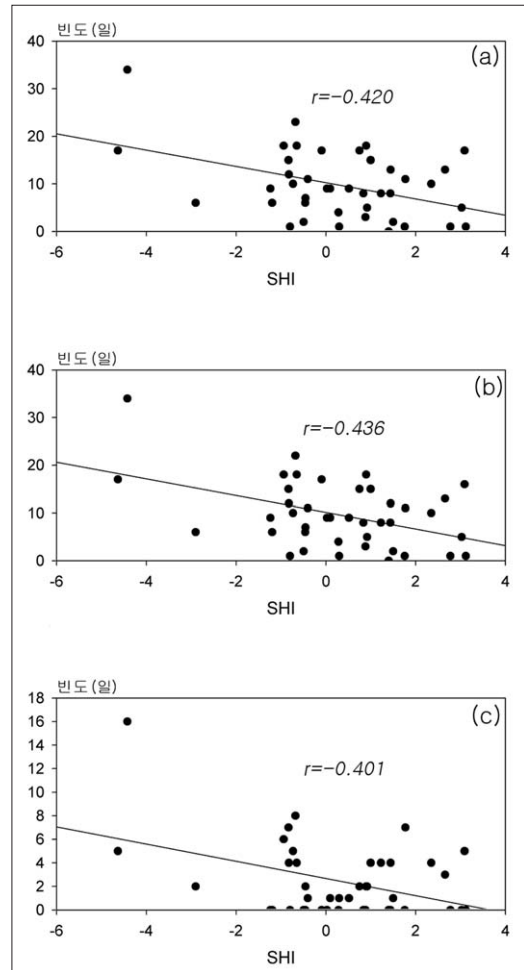


그림 10. 황사 강도와 2월 시베리아 고기압 강도 지수와의 관계 (a: 전체황사일, b: 약한황사일, c: 강한황사일)

겨울철은 2월의 상관관계가 가장 높았다.

그림 10과 11은 강도별 황사 발생일과 2월과 3월의 시베리아 고기압 강도 지수 사이의 상관관계를 나타낸 것이다. 황사 발생 일수는 2월과 3월의 시베리아 고기압 강도 지수와 부(-)적인 관계가 있다. 이는 2월, 3월의 시베리아 고기압 강도 지수가 약할수록 황사 발생이 증가함을 의미한다. 황사 발생 일수와 3월의 시베리아 고기압 강도 지수 사이에는  $r=-0.39$  이상의 비교적 높은 상관관계가 있으며, 그 값이 유의수준  $\alpha=0.01$ 에서 유의하다. 황사는 봄에 주로 발생하는 기후 현상으로 봄이 되기 전의 지표 상태가 중요하다. 황사 발생과 2월의 시베리아 고기압 강도

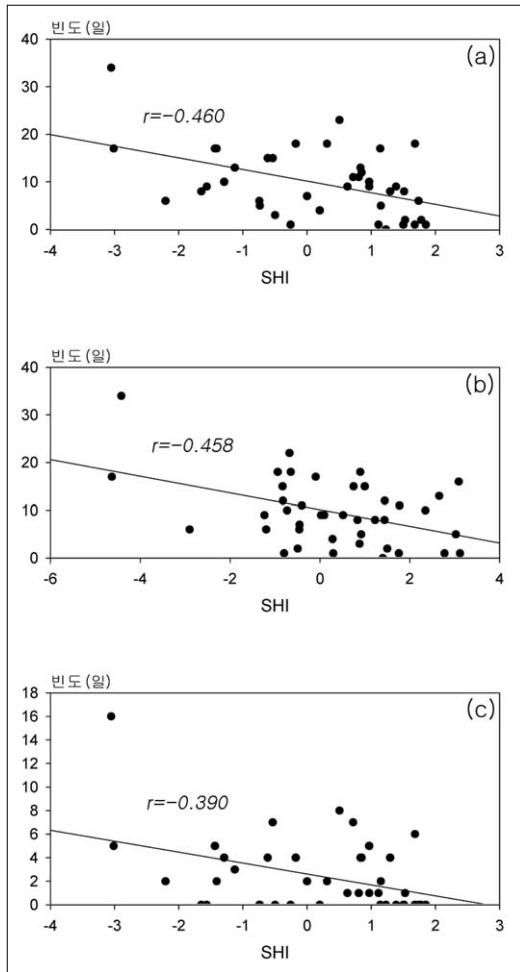


그림 11. 황사 강도와 3월 시베리아 고기압 강도 지수와의 관계 (a: 전체황사일, b: 약한황사일, c: 강한황사일)

지수와의 관계가 유의한 부(-)적 상관관계인 것은 얼어있던 지표가 녹아서 황사가 부유할 수 있는 조건이 되기 때문이라고 생각된다. 시베리아 고기압이 강해지면 발원지에 강한 하강기류가 발생하게 된다. 이는 황사가 부유하는데 가장 중요한 조건인 상승류의 발달을 방해하는 요인이 되기 때문이다. 따라서 황사 발생과 3월의 시베리아 고기압 강도 지수와의 관계가 부(-)적 상관관계이면 황사 발생 빈도가 낮아진다고 생각한다.

**2. 황사 발생일과 북반구 평균 기온과의 관계**

지구 온난화는 전 세계적인 관심의 대상으로 전 세계 곳곳에서 다양한 기후변동에 영향을 미치고 있다.

지구온난화에 따른 황사 발생 일수의 변동을 살펴보기 위해 북반구 평균 기온과의 상관관계를 분석하였다. 최근 100년간 전구 평균기온은 약 0.6℃ 상승했다(Houghton *et al.*, 2001). 지구 온난화는 사막화를 가속화함으로써 황사 발원지를 확대시킬 수 있다. 식생이 존재하지 않는 나지인 사막의 알베도가 증가하면 지표면의 냉각을 유발한다. 차가운 지표면으로 인해 건조한 하강기류가 형성되고, 강우량의 감소를 초래하여 지표면의 질적 저하를 유발한다(김연옥, 1998).

연구 기간 중 우리나라의 강도별 황사 발생 일수와 북반구 평균 기온 사이의 관계를 나타내며 두 변수 사이에는 정(+)적인 관계가 있다. 이는 북반구 평균 기온이 증가 할수록 황사 발생도 증가함을 의미한다. 그 중 강한 황사일 경우 북반구 평균 기온과의 상관관계는 유의하다. 즉, 강도가 강한 황사의 경우 최근의 지구 온난화와 관련성이 있음을 시사한다.

그림 12와 13은 강한 황사 발생일과 봄철, 겨울철의 월별 북반구 평균 기온과의 관계를 나타낸 것이다. 강한 황사와 봄철, 겨울철의 모든 달의 북반구 평

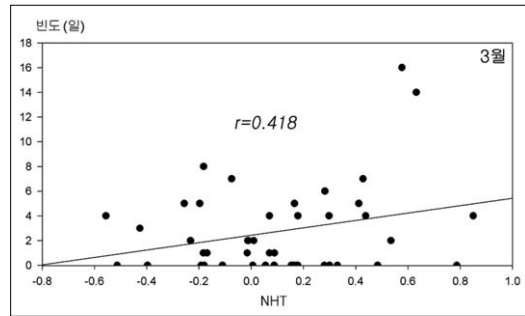


그림 12. 강한 황사일과 3월 북반구 평균기온과의 관계

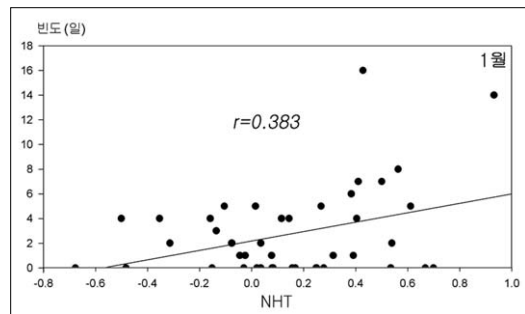


그림 13. 강한 황사일과 1월 북반구 평균기온과의 관계

균 기온과는 정(+)적인 관계가 있다. 특히 봄철은 3월의 상관계수가  $r=0.418$ 로 유의수준  $\alpha=0.01$ 에서 유의하고, 겨울철은 1월의 관계가  $r=0.383$ 으로 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의하다. 이는 북반구 평균 기온이 상승하면 황사 발생 빈도는 증가하고, 특히 북반구 평균 기온이 강도가 강한 황사 발생에 많은 영향을 준다는 것을 의미한다.

## VI. 요약 및 결론

본 연구에서는 우리나라의 황사 발생 분포와 그 빈도의 변화 특성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 연구 지역의 관측 지점별 황사 자료와 시베리아 고기압 강도 지수, 북반구 평균 기온 등을 이용하여, 황사 발생일의 분포와 강도별 황사 발생 빈도의 변화를 살펴보고 또한, 황사 발생 일수와 시베리아 고기압 강도 지수, 북반구 평균 기온과의 상관관계를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

지역별 황사의 분포를 보면 인천과 서울 등 중서부 지역에서 그 출현빈도가 높다. 또한 후반기(1989~2004년)에는 전반기(1973~1988년)에 비하여 황사 발생 빈도가 증가하였으며 중서부 지역에서 더욱 뚜렷하다. 연구 기간 동안 황사 발생 빈도가 증가하였으며 강도가 강한 황사의 발생 빈도가 더욱 증가하였다. 지역별로 보면 중부 지역에서 그 경향이 더욱 뚜렷하다고 할 수 있다. 황사 발생 빈도의 증가 경향은 최근 22년 동안에 더 분명하다.

황사 발생 일수와 2월과 3월의 시베리아 고기압 강도 지수와는 부(-)적인 관계이다. 시베리아 고기압 강도 지수가 강하면 강한 하강기류가 형성된다. 황사의 부유를 결정하는 가장 중요한 조건인 강한 상승기류가 없으므로 황사가 부유할 수 없게 된다. 따라서 봄철에 시베리아 고기압 강도 지수가 약할수록 황사가 발생할 가능성이 크다. 황사 발생 일수와 북반구 평균 기온 사이에는 정(+)적인 상관관계가 있다. 특히 강도가 강한 황사의 경우 그 관계가 더욱 분명하다. 즉, 최근의 전구적인 기온 상승이 강도가 강한 황사의 발생에 영향을 미치고 있음을 보여준다.

황사의 증가는 지역 주민의 생활에 적지 않은 영향을 미칠 것이다. 그런데 지구 온난화가 계속된다면 우리나라에서 황사의 발생 빈도가 더욱 증가할 것으로 판단되므로 주민의 건강뿐만 아니라 영향을 받는 산업적인 측면에서 우려되는 사항이다. 따라서 보다 장기적이고 체계적인 연구를 통하여 강한 황사의 출현 빈도 증가에 대한 대책을 강구할 필요가 있다. 또한 이후에 시베리아 고기압 강도 지수와 북반구의 기온 상승이 황사의 발생에 미치는 과정에 대한 연구가 필요하다.

## 감사의 글

이 논문은 2005년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

## 참고문헌

- 김연옥, 1998, 기후변화 -한국을 중심으로, 민음사, 370pp.
- 윤순창, 박경선, 1991, 등엔트로피 궤적에 의한 황사의 장거리 이동경로 분석, 한국대기보전학회지, 7(2), 89-95.
- 이재규, 1993, 1993년 4월 22-24일에 관측된 황사 현상에 대한 종관분석, 한국환경과학회지, 2(3), 161-177.
- 전영신, 2000, 조선왕조실록에 나타난 한국의 황사 현상, 한국기상학회지, 36(2), 285-292.
- \_\_\_\_\_, 오성남, 권원태, 2000, 고려사에 기록된 황사와 황무 현상, 제4기학회지, 14(1), 49-55.
- \_\_\_\_\_, 이영복, 조성묵, 2001, 동아시아 황사현상의 어원 고찰, 제4기학회지, 15(1), 21-28.
- \_\_\_\_\_, 최병철, 정효상, 임주연, 2002, 황사의 우리 옛 이름은?, 대기(한국기상학회보), 12(1), 177-180.
- \_\_\_\_\_, 조경숙, 김영화, 이종국, 2003, 만주에서 발원한 황사 현상, 한국기상학회지, 39(2), 251-263.



- 전종갑, 1991, 대기오염물질 수송과 관련된 동부 아시아 상층 대기 순환특성에 관한 연구, 한국기상학회지, 27(2), 180-196.
- \_\_\_\_\_, 예상욱, 권민호, 정용승, 1999, 황사의 장거리 수송과 관련된 대기 순환 유형 분류, 한국기상학회지, 35(4), 575-586.
- 정관영, 박순웅, 1995, 한반도에 황사 출현 시의 중관 기상 특징, 한국기상학회지, 30(1), 45-63.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, 1997, 한반도에서 관측된 황사의 수치모의: II. 황사의 상승 및 이동구조의 특징, 한국기상학회지, 33(1), 201-217.
- 정예모, 2005, 기상이변, 한국은 괜찮은가?(V) - 05년 황사 발생 전망과 대응 방안, 삼성지구환경연구소.
- 정용승, 김학성, 낫짜가도르지 엘, 적테어 디, 첸 수젠, 2001, 1997-2000년에 발생된 황사에 관한 연구, 한국기상학회지, 37(4), 305-316.
- \_\_\_\_\_, 윤마병, 1994, 황사의 사례분석과 한반도 유입량, 한국대기보전학회지, 10(4), 233-244.
- 全映信, 金相源, 趙慶美, 金正淑, 2002, 最近100年間の韓國における黃紗觀測日數, 地球環境, 7(2), 225-231.
- Gong, D. Y. and C. H. Ho, 2002, The Siberian High and climate change over middle to high latitude Asia, *Theor. Appl. Climatol.*, 72, 1-9.
- Houghton, J. T., Y. Ding, D. T. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson, 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press.
- Yoshino, M., 2002, Kosa(Asian dust) related to Asian Monsoon system, *Korean Journal of Atmospheric Sciences*, 5(5), 93-100.