2009년 7월 22일 부분일식 발생 시 기상요소의 변화 특성

전 병 일*

신라대학교 환경공학과

(2011년 4월 12일 접수; 2011년 5월 18일 수정; 2011년 7월 21일 채택)

Effects on Meteorological Variables During the Partial Solar Eclipse Event of 22 July 2009 in Korea

Byung-Il Jeon*

Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

(Manuscript received 12 April, 2011; revised 18 May, 2011; accepted 21 July, 2011)

Abstract

The purpose of this study was to analyze the effects on meteorological variables in Seoul, Busan and Jeju during the partial solar eclipse event of 22 July 2009 in Korea. Solar irradiance decreased 16 and 19 minutes after eclipse in Seoul and Busan, and 6 minutes before eclipse in Jeju. Minimum solar irradiance occurred 7 and 3 minutes after maximum eclipse in Seoul and Busan, respectively, and 8 minutes before maximum eclipse in Jeju. Solar irradiance began to increase after maximum eclipse in Seoul and Busan, and recovered to the original state as eclipse ended. On the other hand, recovery of solar irradiance after maximum eclipse in Jeju was slower than those of two cities. Temperature drop due to partial solar eclipse were 0.7°C, 4.0°C, 1.5°C in Seoul, Busan, and Jeju, respectively, and time needed to arrive minimum temperature from maximum eclipse were each 12, 32, 30 minutes, respectively. Change of relative humidity during partial solar eclipse were 2.6%, 17.4%, 12.3% in Seoul, Busan, and Jeju, respectively. Temperature drop turned out to be sharper as altitude increases. Wind speed decreased by each about 1.1 m/s, 3.4 m/s, 1.4 m/s due to partial solar eclipse in Seoul, Busan, and Jeju. Soil temperature of 5 cm equally decreased by 0.2°C in Seoul and Busan, soil temperature of 10 cm maintained almost constant, and soil temperature of 20 cm was hardly affected by eclipse.

Key Words : Partial solar eclipse, Meteorological variable, Solar irradiance

1. 서 론

일식은 천문 현상임에도 불구하고 태양으로부터 입사하는 일사량의 급격한 변화, 지표대기층의 냉각, 대기난류의 감소 등의 변화를 일으킴으로서 기상학적으로 큰 관심을 끌고 있다(Anderson, 1999; Aplin과

Harrison, 2002; Founda 등, 2007; Hanna, 2000). 일식이 발생하면 지표면에서 태양복사량의 급격한 감쇄가 일어나고 이것은 대기에서 광화학적뿐만 아니라 역학적인 과정에 큰 영향을 미치며 초기에 국지규모로 작용하다가 지구규모로 확장할 수 있다(Dani와 Devara, 2002). 고대 중국이나 바빌론 문헌에 의하면 일식은 BC2500년부터 관측되었으며, 농업이나 사람의 건강 그리고 성공과 관련해서 일식을 예측하고 기록하였으며 현대에도 과학자들에게 관심의 대상이다(Gerasopoulos 등, 2008).

*Corresponding author : Byung-Il Jeon, Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea
Phone: +82-51-999-5056
E-mail: bijeon@silla.ac.kr

일식은 기상학적으로 일사량의 급격한 변화라는 특별한 조건에서 대기의 반응을 연구하는데 매우 매력적인 사건으로 기온, 지중온도, 일사량, 습도, 풍속, 풍향과 같은 기상학적 변수들에 대한 관측이 이루어졌고 이에 대한 연구 결과들이 보고되었다 (Anderson 등, 1972; Anderson 1999; Antonia 등, 1979; Fernandez 등, 1993, 1996; Hanna, 2000; Zanis 등, 2007). 또한 대기경계층에서 열과 운동량 flux의 변화에 대한 연구(Antonia 등, 1979; Szalowski, 2002)와 난류과정의 감소에 대한 증거도 제시되었다 (Eaton 등, 1997; Krishnan 등, 2004).

일식이 발생하면 즉각적으로 온도 반응을 보일 수도 있고 일식 말미에 반응을 보이기도 하나, 일반적으로 기온 하강은 태양이 반쯤 가려졌을 때 명백하게 나타난다. 기온하강의 패턴과 진폭은 지역에 따라 다르며 요인에 따라 1°C 이상 변하기도 한다. 일식동안 태양견폐율, 위도, 계절, 발생시각, 종관상태, 측정고도, 기후 및 지역조건(지형, 식생, 토양전도도)은 기온 변동의 형태를 결정한다(Anderson 등, 1972; Anderson 1999; Szalowski, 2002).

우리나라에서 부분일식이 발생했을 때 기상학적인 변화를 구체적으로 연구한 예는 아직 없는 실정이다. 본 연구에서는 2009년 7월 22일 발생한 부분일식이 기상요소(일사량, 기온, 상대습도, 풍속, 지중온도)에 어떠한 영향을 미치는지를 서울, 부산, 제주를 대상으로 조사하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 자료 및 방법

본 연구에서 사용한 기상자료는 서울, 부산, 제주에서 2009년 7월 22일에 AWS(Auto Weather Station)에서 관측된 1분 평균의 일사량, 기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 지중온도를 사용하였으며, 3시간 간격의 운량은 일기상통계표를 이용하였다(기상청, 2009). 서울, 부산, 제주는 우리나라 북쪽에서 남쪽으로 위치한 대도시로서 일식현상이 기상요소에 미치는 영향을 연구하는데 지리적으로 적합한 위치에 있으며, 일식과 관련된 기상요소를 관측하고 있는 지점이기도 하다.

2.2. 2009년 7월 22일 부분 일식의 개요

2009년 7월 22일의 부분 일식은 지구, 달, 태양이 일직선으로 있을 때, 달이 태양을 가리어 생기는 천문 현상으로 진행경로는 Fig. 1과 같이 인도에서 시작해 중국, 일본으로 진행하였다. Table 1과 같이 개기일식대와 가장 가까운 제주에서 0931 LST에 일식이 시작되었고 동쪽인 부산이 가장 늦은 0936 LST에 시작되었다. 우리나라에서 최대일식은 1048 LST(부산 1052 LST)경에 발생하였고 일식의 종료는 서울과 인천이 가장 빠른 1205 LST이었고 부산이 가장 늦은 1213 LST이었다. 태양이 달에 의해 최대로 가려지는 최대 식분은 남쪽인 제주가 92.4%로 가장 컸으며 가장 북쪽에 위치한 서울이 78.5%로 가장 작았다(한국천문연구원, 2009).

Fig. 1. The circumstances of solar eclipse of 22 July 2009 for Korea. The near-horizontal lines mark the degree of obscuration of the sun at maximum eclipse. The near-vertical curved lines mark the times of greatest eclipse(progressively later eastwards) at thirty-minute intervals.

Table 1. Summary of solar eclipse of 22 July 2009 for Korea

	Onset of eclipse	Maximum of eclipse	End of eclipse	Maximum solar coverage(%)
Seoul	09:34	10:48	12:05	78.5
Busan	09:36	10:52	12:13	85.3
Daejeon	09:35	10:49	12:08	82.3
Daegu	09:35	10:51	12:11	83.3
Gwangju	09:32	10:48	12:08	86.6
Incheon	09:34	10:48	12:05	79.0
Jeju	09:31	10:48	12:10	92.4

Fig. 2. Surface pressure analysis for 0900 LST 22 July 2009(left) and MTSAT infrared satellite picture of the Korea for 0933 LST 22 July 2009(right).

Fig. 2는 부분일식이 발생한 2009년 7월 22일 0900 LST의 지상일기도와 0933 LST의 위성에서 찍은 적외선 구름사진을 나타낸 것이다. 우리나라 주변의 기압배치는 1004 hPa의 고기압이 서해에 위치하고 우리나라와 일본의 남쪽에는 장마전선이 발생되어 있다. 이러한 기압배치 하에서 우리나라는 서해상에 위치한 이동성 고기압의 영향으로 대체로 맑은 날씨를 나타내고 있다. 구름사진에서 보듯이 장마전선의 영향으로 남쪽해상에 구름대가 형성되어 있고 우리나라 내륙에 뚜렷한 구름대는 보이지 않는다. 다만, 이날의 일기상통계표에 의하면, 서울은 총적운이 3/10 정도, 부산은 고적운과 권운이 5/10 정도, 제주 남쪽해상에 위치한 장마전선의 간접영향으로 총적운과 고적운이 6/10 정도 발생하였다(기상청, 2009). 따라서 일식이 기상요소에 미치는 영향을 연구하는데 크게 무리가 없는 날씨이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 일사량

일식이 발생하면 가장 먼저 영향을 받는 것이 태양으로부터 지구표면에 입사하는 일사량이다. Fig. 3(a)는 서울, 부산, 제주에서 1분 간격으로 측정한 수평면 일사량의 누적분포이고, Fig. 3(b)는 1분 간격의 수평

면 일사량을 5분간 합산하여 나타낸 것이다.

Fig. 3(a)를 보면, 일식 개시 후 수분 후부터 지표면으로 입사하는 일사량의 감소가 나타났고, 최대일식시(1050 LST 경)는 거의 일사량이 증가하지 않았다. 일식이 종료된 후(1210 LST 경) 일사량이 회복되었으며, 제주 두 도시에 비해 일사량의 증가가 뚜렷하지 않았다. 이는 우리나라 남해상에 걸쳐 발달한 장마전선의 간접적인 영향으로 발생한 구름에 의해 일사량이 감소한 것으로 판단된다.

Fig. 3(b)에서 서울의 일사량 변화는 일식 개시 16분 후인 0950 LST에 피크가 나타난 이후 감소하기 시작하여 최대일식 발생시각 7분 후인 1055 LST에 가장 낮은 일사량을 나타내었다. 부산의 일사량 변화는 일식 개시 19분 후인 0955 LST에 피크가 나타난 이후 감소하기 시작하여 최대일식 발생시각 3분 후인 1055 LST에 최저의 일사량을 나타내었다. 제주의 일사량 변화는 일식 개시 6분 전인 0925 LST에 피크가 나타난 후 지속적으로 감소하여 최대일식이 발생하기 8분 전인 1040 LST에 최저의 일사량을 기록하여 1100 LST까지 20분간 지속되었다. 서울과 부산은 일식 개시 후 각각 16분과 19분 후부터 일사량이 감소하기 시작하였으며 제주는 일식이 시작되기 6분 전부터 일사량의 감소가 발생되었다. 최저 일사량이 나타난 시각은 서울과 부산이 최대일식 후 각각 7분과 3분 후에

Fig. 3. Temporal variations of accumulative radiation(1-minute, left) and solar radiation(5-minute) at three cities during the eclipse day. Vertical lines denote the onset, maximum and end of eclipse at Seoul.

발생하였고 제주는 최대 일식 8분 전에 발생하였다. 따라서 일사량의 감소가 시작되는 시각과 최저 일사량이 나타난 시각은 지역에 따라 달랐다. 그리스 아테네는 개기일식 후에도 태양복사량의 증가가 1시간가량 지속되었다(Tzanis 등, 2008). 서울과 부산은 최대 일식이 끝나자 일사량이 증가하기 시작하였고 일식종료와 함께 원래의 복사로 회복되었으나, 제주에는 최대 일식 후 일사량이 회복되는 양상이 두 도시에 비해 느렸으며, 최대일식 발생 후 제주와 부산에서 일사량의 분포가 들쭉날쭉한 것은 구름의 영향으로 판단된다.

3.2. 기온과 상대습도

일식은 태양으로부터 지구표면에 도달하는 일사량의 감소를 가져오고 이에 따라 기온의 변화가 나타나며, 기온의 변화에 의해 상대습도의 변화가 나타난다. Fig. 4a는 부분일식이 발생한 2009년 7월 22일 서울, 부산, 제주에서 기온의 변화를 나타낸 것이다. 서울은 일식이 시작된 39분 후인 1013 LST에 25.9℃의 피크를 보였고 최대일식이 12분 지난 후인 1100 LST에 25.2℃의 최저기온을 나타내어 0.7℃의 기온하강을 나타내었다. 부산은 일식이 시작되기 4분 전인 0932 LST에 27.0℃의 피크를 보였고 최대일식이 32분 지난 후인 1124 LST에 23.0℃의 최저기온을 나타내어 4.0℃의 기온하강을 나타내었다. 제주에는 일식이 시작되기 6분 전인 0925 LST에 25.4℃의 피크를 보였고 최대일식이 30분 지난 후인 1118 LST에 23.9℃의 최

저기온을 나타내어 1.5℃의 기온하강을 나타내었다. 기온하강의 패턴과 진폭은 지역에 따라 다르며, 많은 요인에 따라 1℃이상 변하기도 하며, 일식동안 태양권 폐율, 위도, 계절, 시각, 종관상태, 측정고도, 기후 및 지역조건(지형, 식생, 토양전도도)은 기온 변동의 형태를 결정한다(Founda 등, 2007).

Table 2는 일식발생 시의 기온하강, 일식시작 후 최고기온이 나타날 때까지의 시간지연, 최대일식 후 최저기온이 나타날 때까지 걸린 시간, 기온의 평균하강을 그리고 상대습도 상승을 나타낸 것이다. 기온하강은 일식 시작 전·후의 최고기온에서 최대일식이 나타난 후의 최저기온을 뺀 값이며, 기온의 평균하강은 최고기온이 나타난 시각부터 최저기온이 나타난 시각사이의 변화이다.

서울은 일식 개시 39분 후부터 기온이 하강하기 시작하였고 부산과 제주에는 일식이 시작되기 각각 4분과 6분 전부터 기온이 하강하기 시작하였는데, 이는 구름의 영향으로 보인다. 일부 관측자들은 즉각적인 일식과 함께 바로 온도 반응을 보인다고 하거나(Anderson 등, 1972; Szalowski, 2002), 아니면 일식 말미에 반응(Narasimha 등, 1982)을 보인다고 하나, 일반적으로 기온하강은 태양이 반쯤 가려졌을 때 명백하게 나타난다고 하였다(Anderson, 1999). 최대일식 후 최저기온이 발생하기 까지 걸린 시간은 부산이 32분으로 가장 길었으며, 서울이 12분으로 가장 짧았다. 최저기온의 발생과 개기일식사이의 시간 지연은 지표와 공기

Fig. 4. Temporal variations(5-minute averaging mean) of surface temperature and relative humidity at three cities during the eclipse day. Vertical lines denote the onset, maximum and end of eclipse at Seoul.

의 열적관성의 결과이다(Aplin과 Harrison, 2003). 기온의 평균하강율은 부산이 $0.034^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 으로 가장 컸으며, 제주가 $0.013^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 으로 가장 작았다. 기온감소는 일식규모에 의해 결정되지 않고 주위환경이나 국지적인 조건에 의해 결정된다(Anderson, 1999). 영국의 해안남부지역은 일식의 효과를 제한하는 해양의 영향으로 낮은 지표기온 하강을 보였고, 특히 일부지역에서는 일식기간 중 두꺼운 구름의 형성은 뚜렷한 기온하강을 나타내었으며, 가장 낮은 기온은 최대일식 후 15분에 기록되었다(Aplin과 Harrison, 2002). 일식 기간 중 상대습도의 변화는 부산이 17%로 가장 높은 상승은 나타내었으며, 다음으로 제주가 12% 그리고 서울이 가장 낮은 3%의 상승을 나타내었다. 부산의 경우 0923 LST에 61%이었다가 1130 LST에 78%로 상승하였는데, 이는 기온이 하강함에 따라 상대습도가 증가한 것으로 판단된다. 그러나 서울은 일식기간 중 상대습도의 변화가 거의 나타나지 않았다.

그리스 Thessaloniki에서는 일식 기간 중 상대습도가 72%에서 96%까지 증가한 사례가 있으며, Kastelorozo에서는 63%에서 86%까지 증가하였다(Founda 등, 2007).

3.3. 풍속

Fig. 5는 부분일식이 발생한 2009년 7월 22일 서울, 부산, 제주에서 관측한 풍속의 변화를 나타낸 것이다. 서울은 일식기간 중 두 번의 풍속의 하강이 있었는데, 첫 번째는 일식 개시 8분 전인 0926 LST에 2.2 m/s 이었던 풍속이 0951 LST에 0.8 m/s 로 1.4 m/s 정도 감소되었고, 두 번째는 1020 LST에 3.1 m/s 이었던 풍속이 최대 일식 2분 전인 1046 LST에 2.0 m/s 로 1.1 m/s 정도 하강하였다. 첫 번째보다 두 번째의 경우가 보다 더 일식의 영향으로 볼 수 있겠다. 부산은 일식 개시 6분 전인 0930 LST에 0.8 m/s 의 풍속이 0950 LST에 3.8 m/s 로 급격히 증가하였다가 이후 급격히 하강하여 최대일식 1분 전인 1051 LST에 0.4 m/s 로 3.4 m/s 의 풍속감소가 나

Table 2. Surface temperature drop and rise of relative humidity at three cities of different obscuration during the eclipse. The mean temperature drop as well as the times lag from 1st contact and mid-eclipse are also shown

	Temperature drop($^{\circ}\text{C}$)	Time lag from 1st contact (min)	Time lag from mid-eclipse (min)	Mean rate of temperature drop ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	Rise of relative humidity(%)
Seoul	0.7	39	12	0.015	3
Busan	4.0	-4	32	0.034	17
Jeju	1.5	-6	30	0.013	12

타났다. 제주에는 일식이 시작되었을 때인 0931 LST에 2.3 m/s이었던 풍속이 1014 LST에 3.5 m/s로 1.2 m/s 증가하였다. 그러나 1033 LST에 3.4 m/s이었던 풍속이 최대일식 1분 후인 1049 LST에 2.0 m/s로 1.4 m/s의 하강을 나타내었다. 부산과 제주에는 일식이 시작된 후 일시적으로 풍속이 각각 3.0 m/s와 1.3 m/s 상승하였으며 최대일식이 되었을 때 세 지점 모두 풍속의 급격한 하강이 있었다. 서울은 1.1 m/s, 부산은 3.4 m/s, 제주는 1.4 m/s의 풍속 하강을 나타내었다.

그리스에서도 풍향변화에 의한 순간적인 감소가 아닌 일식에 의해 2 m/s 정도의 풍속감소가 있었는데, 이는 대기경계층의 냉각과 안정화와 관련이 있다고 하였으며 일몰 뒤에 풍속이 감소되는 형태와 비슷하다고 하였다(Amiridis 등, 2007). 바람은 일식이 기상 변수에 미치는 효과 중에서 가장 논란이 되고 있으나, 최근의 관측결과에 의하면 일식기간 평균바람장의 감소는 확실해졌다(Dolas 등, 2002; Fernandez 등, 1993, 1996; Krishnan 등, 2004; stoev 등, 2005; Tzanis 등, 2008).

Fig. 5. Temporal variations(5-minute averaging mean) of wind speed at three cities during the eclipse day. Vertical lines denote the onset, maximum and end of eclipse at Seoul.

3.4. 지중온도

일식기간 중 지중온도의 반응을 알아본다는 것은 일식효과에 대한 또 다른 재미있는 양상이다. 대기 중에서 열의 이동을 알기 위해서 지표면을 통과해 지중으로 들어가는 열이나, 지면에서 공기 중으로 흘러나

가는 열이 어느 정도인가를 측정하는 것은 일식에 의한 지중의 효과를 고찰한다는 측면에서 매우 의미가 있다.

Fig. 6은 일식이 발생한 2009년 7월 22일 서울과 부산에서 지중 5 cm, 10 cm, 20 cm에서 측정한 온도의 변화를 나타낸 것이다. 제주에는 지중온도 관측자료가 없어 비교할 수 없었다. 서울의 5 cm 지중온도는 1023 LST에서 1049 LST까지 25.8℃이었던 것이 1109 LST부터 1113 LST까지 25.6℃로 0.2℃ 하강하였다. 1113 LST 이후 지중온도는 급격히 상승하였다. 일식 시작 후 49분 만에 지중온도의 상승은 멈추었고 최대 일식 발생 21분 후에 최저온도를 나타내었다. 그리고 최대일식이 일어난 24분 후부터 지중온도는 급격히 상승하였다. 10 cm 지중온도는 1050 LST까지 약하게 상승하였지만, 1050 LST 부터 1146 LST까지 약 1시간 동안 24.5℃로 온도변화가 거의 없었다. 즉 일식이 지온의 상승을 방해하였다는 것을 명확하게 알 수 있으며, 1220 LST 이후 급격하게 상승하였다. 20 cm 지중온도는 일식에 의한 영향을 찾아볼 수 없었다.

부산의 5 cm 지중온도는 1052 LST부터 1056 LST까지 26.4℃를 나타내었고 이후 감소하기 시작하여 1129 LST부터 1153 LST 사이에 26.2℃로 0.2℃감소하였고 이후 급격하게 상승하였다. 즉 일식 시작 후 1시간 16분 만에 지온상승이 멈추었고 최대일식이 나타난 37분 후에 최저 지중온도를 나타내었다. 10 cm 지중온도는 1124 LST에 26.0℃가 나타난 후 상승폭이 다소 완만하게 나타났다. 서울과 마찬가지로 일식이 지온상승을 방해하고 있다는 것을 알 수 있다. 20 cm 지중온도는 일식에 의해 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 서울과 부산에서 관측한 지중온도를 보면 적어도 일식은 지중 10 cm까지 영향을 주었으며 영향을 가장 많이 받은 시간은 최대일식이 일어나고 난 다음이며 일식종료 이전에 급격한 온도상승을 나타내었다. Foken 등(2001)이 1999년 8월 11일 유럽을 통과한 일식시 독일에서 관측한 지중온도 측정 결과, 2 cm 지중온도는 0.2 K 감소하였고 5 cm 지중온도는 거의 변화가 없었으며 온도 변화는 개기 일식 35~40분 후에 나타났다. 그리고 10 cm와 20 cm 지중온도는 일식에 의해 전혀 영향이 없었다고 하였다.

Fig. 6. Temporal variations(5-minute averaging mean) of soil temperature at the depths of 5cm, 10cm, 20cm at Seoul and Busan during the eclipse day. Vertical lines denote the onset, maximum and end of eclipse at Seoul and Busan, respectively.

4. 결 론

우리나라에서 2009년 7월 22일에 발생한 부분 일식이 기상요소에 미치는 영향을 서울, 부산, 제주에서 관측한 자료를 통해 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 서울과 부산은 일식 개시 16분과 19분 후부터 일사량이 감소하였고, 제주는 일식이 시작되기 6분 전부터 일사량의 감소가 있었다. 서울과 부산에서 최저 일사량은 최대일식 후 각각 7분과 3분 후에 발생하였고 제주는 최대 일식 8분 전에 발생하였다. 서울과 부산은 최대일식이 끝나자 일사량이 증가하기 시작하였고 일식의 종료와 함께 원래로 회복되었으나, 제주는 최대일식 후 일사량이 회복되는 양상이 두 도시에 비해 느렸다.
2. 부분일식으로 인한 기온하강은 서울, 부산, 제주가 각각 0.7℃, 4.0℃, 1.5℃이었고, 최대일식에서 최저기온이 발생하기 까지 걸린 시간은 서울, 부산, 제주가 각각 12분, 32분, 30분이었다. 상대 습도의 변화는 서울, 부산, 제주가 각각 2.6%, 17.4%, 12.3%이었다.
3. 부분일식으로 인한 풍속의 변화는 서울, 부산, 제주가 각각 1.1 m/s, 3.4 m/s, 1.4 m/s 정도 감소하였다. 5 cm의 지중온도는 서울과 부산에서 0.2℃의 하강이 발생하였고, 10 cm의 지중온도는 일식기간 중 거의 일정한 온도를 유지하였으며, 20 cm

의 경우는 일식에 의한 영향을 거의 받지 않았다.

4. 이러한 세 도시에서의 부분일식에 의한 기상요소의 차이는 식분에 의한 것이라고 보다는 국지적인 구름에 의한 효과가 더 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 기상청, 2009, 일기상통계표, www.kma.go.kr.
- 한국천문연구원, 2009, 달, 태양을 삼키다, 보도자료, www.kasi.re.kr.
- Amiridis, V., Melas D., Balis, D. S., Papayannis, A., Founda, D., Katragkou, E., Giannakaki, E., Mamouri, R. E., Gerasopoulos, E., Zerefos, C., 2007, Aerosol lidar observations and model calculations of the planetary boundary layer evolution over Greece, during the March 2006 total solar eclipse, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 6181-6189.
- Anderson, J., 1999, Meteorological changes during a solar eclipse, *Weather*, 54(7), 207-215.
- Anderson, R. C., Keefer, D. R., Myers, O. E., 1972, Atmospheric pressure and temperature changes during the 7 March 1970 solar eclipse, *J. Atmos. Sci.*, 29, 583-587.
- Antonia, R. A., Chambers, A. J., Phong-Anant, D., Rajagopalan, S., Sreenivasan, K. R., 1979, Response of atmospheric surface layer turbulence to a partial solar eclipse, *J. Geophys. Res.*, 4, 1689-1692.
- Aplin, K. L., Harrison, R. G., 2002, Meteorological

- effects of the eclipse of 11 August 1999 in cloudy and clear conditions, *Proc. R. Soc. Lond. A*, 459, 353-372.
- Dani, K. K., Devara, P. C. S., 2002, Aerosol optical depth and ozone variations during the total solar eclipse of 24 October 1995, *Atmospheric Research*, 65, 1-15.
- Dolas, P. M., Ramchandran, R., Sen Gupta, K., Patil, S. M., Jadhav, P. N., 2002, Atmospheric surface-layer processes during the total solar eclipse of 11 August 1999, *Bound.-Lay. Meteorol.*, 104, 445-461.
- Eaton, F. D., Hines, J. R., Hatch, W. H., Cionco, R. M., Byers, J., Garvey, D., Miller, D. R., 1997, Solar eclipse effects observed in the planetary boundary layer over a desert, *Bound.-Lay. Meteorol.*, 83, 331-346.
- Fernandez, W., Castro, V., Hidalgo, H., 1993, Air temperature and wind changes in Costa Rica during the total solar eclipse of July 11, 1991, *Earth, Moon and Planets*, 63, 133-147.
- Fernandez, W., Hidalgo, H., Coronel, G., Morales, E., 1996, Changes in meteorological variables 15 in Coronel Oviedo, Paraguay, during the total solar eclipse of 3 November 1994, *Earth, Moon and Planets*, 74, 49-59.
- Foken, T., Wichura, B., Klemm, O., Gerchau, J., Winterhalter, M., Weidinger, T., 2001, Micrometeorological measurements during the total solar eclipse of August 11, 1999, *Meteorol. Z.*, 10(3), 171-178.
- Founda, D., Melas, D., Lykoudis, S., Lissaridis, I., Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Petrakis, M., Zerefos, C., 2007, The effect of the total solar eclipse of 29 March 2006 on meteorological variables in Greece, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5543-5553.
- Gerasopoulos, E., Zerefos, C. S., Tsagouri, I., Founda, D., Amiridis, V., Bais, A. F., Beleghaki, A., Christou, N., Economou, G., Kanakidou, M., Karamanos, A., Petrakis, M., Zanis, P., 2008, The total solar eclipse of March 2006: overview, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 5205-5220.
- Hanna, E., 2000, Meteorological effects of the solar eclipse of 11 August 1999, *Weather*, 55, 430-446.
- Krishnan, P., Kunhikrishnan, P. K., Muraleedharan Nair, S., Ravindran, S., Ramachandran, R., Subrahmanyam, D. B., Venkata Ramana, M., 2004, Observations of the atmospheric surface layer parameters over a semi arid region during the solar eclipse of August 11th, 1999, *Proc. Indian Acad. Sci. (Earth Planet. Sci.)*, 113, 353-363.
- Narasimha, R., Prabhu, A., Narahari Rao, K., Prasad, C. R., 1982, Atmospheric Boundary Layer Experiment, *Proc. INSA Bull*, 48, 175-186.
- Stoev, A., Stoeva, P., Valev, D., Kiskinova, N., Tasheva, T., 2005, Dynamics of the microclimatic parameters of the ground atmospheric layer during the total solar eclipse on August 11, 1999, *Geophys. Res. Abstr.*, 7, 10209.
- Szalowski, K., 2002, The effect of the solar eclipse on the air temperature near the ground, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 64, 1589-1600.
- Tzani, C., Varotsos, C., Viras, L., 2008, Impacts of the solar eclipse of 29 March 2006 on the surface ozone concentration, the solar ultraviolet radiation and the meteorological parameters at Athens, Greece, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 425-430.
- Zanis, P., Katragkou, E., Kanakidou, M., Psiloglou, B. E., Karathanasis, S., Vrekoussis, M., Gerasopoulos, E., Lysaridis, I., Markakis, K., Poupkou, A., Amiridis, V., Melas, D., Mihalopoulos, N., Zerefos, C., 2007, Effects on surface atmospheric photooxidants over Greece during the total solar eclipse event of 29 March 2006, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 6061-6073.