creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000235988

2008년 2월
석사학위논문

군산지방의 황사특성 분석 : 2005-2007

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

崔 敬 淑

2008년 2월 석사학위논문 군산지방의 황사특성 분석 2005-2007 崔敬淑

군산지방의 황사특성 분석 : 2005-2007년

Study of the Characteristics of Asian Dust Events over Gunsan, Jeollabuk Prov., Korea for 2005-2007

2007년 10월 15일

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

崔 敬 淑

군산지방의 황사특성 분석 : 2005-2007년

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함.

2007년 10월 15 일

조 선 대 학 교 대 학 원

대 기 과 학 과

崔 敬 淑

최경숙의 석사학위 논문을 인준함

위원장　　조선대학교 겸임교수　오 완 탁　인

위　원　　조선대학교 교　수　류 찬 수　인

위　원　　조선대학교 겸임교수　정 효 상　인

2007년　10월　15 일

조 선 대 학 교　대 학 원

목 차

ABSTRACT ····· vi
제1장 서 론 ····· 1
제2장 자료 및 분석방법 ····· 2
제1절 PM10 농도에 따른 유형 구분 ····· 2
1. 기상청의 황사특보 기준 ····· 2
2. 최근 황사발생현황 ····· 2
3. 자료 분류방법 ····· 3
제2절 국내・외 황사관측망 ····· 5
1. 국내 황사관측망 ····· 5
2. 국외 황사관측망 ····· 6
제3절 관측장비의 원리 ····· 7
1. PM10 ····· 7
2. 황사라이다 ····· 8
3. 윈드프로파일러 ····· 9
제3장 군산지방의 황사특성 분석 ····· 10
제1절 PM10농도 800㎍/㎥이상 ····· 10
1. 황사사례 1 : 2006년 4월 8～9일 ····· 10
가. 일반 현황 ····· 10
나. 군산지방의 황사특성 분석 ····· 16
2. 황사사례 2 : 2007년 3월 31일～4월 2일 ····· 20
가. 일반 현황 ····· 20
나. 군산지방의 황사특성 분석 ····· 27

제2절 PM10농도 400㎍/㎥～800㎍/㎥이하 ····· 31
1. 황사사례 1 : 2005. 11. 6～7 ····· 31
가. 일반현황 ····· 31
나. 군산지방의 황사특성 분석 ····· 36
2. 황사사례 2 : 2006. 3. 28 ····· 40
가. 일반현황 ····· 40
나. 군산지방의 황사특성 분석 ····· 46
제3절 PM10 400㎍/㎥미만 ····· 50
1. 황사사례 1 : 2006. 3. 11 ····· 50
가. 일반현황 ····· 50
나. 군산지방의 황사특성 분석 ····· 56
2. 황사사례 2 : 2006. 4 24～25 ····· 60
가. 일반현황 ····· 60
나. 군산지방의 황사특성 분석 ····· 66
3. 황사사례 3 : 2005. 4. 7～8 ····· 70
가. 일반현황 ····· 70
나. 군산지방의 황사특성 분석 ····· 75
제4장 결론 ····· 78
참고문헌 ····· 81

List of Tables

Table 2.1The standards of Asian Dust advisories and waring. ····· 2
Table 2.2 The Asian Dust events observed in Gunsan (2005 ~ 2007) ····· 4
Table 2.3 The Asian Dust observing systems in China. ····· 6

List of Figures

Fig 2.1 The number of days observed Asian Dust in Seoul and Gunsan Korea(1982～2007). ····· 3
Fig 2.2 The monitoring systems of Asian Dust in Domestic(right) and Foreign(left) sites. ····· 5
Fig 2.3 Andersen's FH62C14 Online Dust Monitor ····· 7
Fig 2.4 Depolarization Attributes ····· 8
Fig 2.5 The schematic principle of Wind Profiler observation. ····· 9
Fig 3.1 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 5 to 11 Apr 2006. ····· 10
Fig 3.2 The Asian Dust trace charts on the isentropic level of 295k. ····· 11
Fig 3.3 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure. ····· 12
Fig 3.4 The composite charts of streamline at 850 hPa. ····· 13
Fig 3.5 Asian Dust satellite images of NOAA. ····· 14
Fig 3.6 Asian Dust concentration model's products. ····· 15
Fig 3.7 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations. ····· 16
Fig 3.8 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan. ····· 17
Fig 3.9 The Depolarization Ratios data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 8 to 9 Apr 2006. ····· 18
Fig 3.10 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 30 Mar to 1 Apr 2006. ····· 20
Fig 3.11 The Asian Dust trace charts on the isentropic level of 295k. ····· 21
Fig 3.12 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure. ····· 22
Fig 3.13 The composite charts of streamline at 850 hPa. ····· 23
Fig 3.14 Asian Dust satellite images of MTSAT-1R DCD. ····· 24
Fig 3.15 Asian Dust satellite images of MTSAT-1R. ····· 25
Fig 3.16 Asian Dust concentration model's products. ····· 26
Fig 3.17 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations. ····· 27
Fig 3.18 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan. ····· 28

Fig 3.19 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and WindProfiler data from 30 MAR to 3 APR 2007. ····· 29
Fig 3.20 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 6 to 7 Nov 2005 ····· 31
Fig 3.21 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure. ····· 32
Fig 3.22 The composite charts of streamline at 850 hPa. ····· 33
Fig 3.23 Asian Dust satellite images of NOAA. ····· 34
Fig 3.24 Asian Dust concentration model's products. ····· 35
Fig 3.25 The Asian Dust PM10 concentration in korea observation station. ····· 36
Fig 3.26 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan. ····· 37
Fig 3.27 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and WindProfiler data from 6 to 7 Nov 2005. ····· 38
Fig 3.28 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 24 to 30 Mar 2006. ····· 40
Fig 3.29 The Asian Dust trace charts on the isentropic level of 295k. ····· 41
Fig 3.30 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure. ····· 42
Fig 3.31 The composite charts of streamline at 850 hPa. ····· 43
Fig 3.32 Asian Dust satellite images of NOAA. ····· 44
Fig 3.33 Asian Dust concentration model's products. ····· 45
Fig 3.34 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations. ····· 46
Fig 3.35 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan. ····· 47
Fig 3.36 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 27 to 28 Mar 2006. ····· 48
Fig 3.37 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 9 to 15 Mar 2006. ····· 50
Fig 3.38 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure. ····· 51
Fig 3.39 The composite charts of streamline at 850 hPa. ····· 52
Fig 3.40 The composite charts of streamline at 850 hPa. ····· 53
Fig 3.41 Asian Dust satellite images of NOAA. ····· 54
Fig 3.42 Asian Dust concentration model's products. ····· 55
Fig 3.43 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations. ····· 56

Fig 3.44 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan. ····· 57
Fig 3.45 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 10 to 11 Mar 2006. ····· 58
Fig 3.46 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 20 to 26 Apr 2006. ····· 60
Fig 3.47 The Asian Dust trace charts on the isentropic level of 295k. ····· 61
Fig 3.48 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure. ····· 62
Fig 3.49 The composite charts of streamline at 850 hPa. ····· 63
Fig 3.50 Asian Dust satellite images of NOAA. ····· 64
Fig 3.51 Asian Dust concentration model's products. ····· 65
Fig 3.52 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations. ····· 66
Fig 3.53 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan. ····· 67
Fig 3.54 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 10 to 11 Mar 2006. ····· 68
Fig 3.55 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 3 to 9 Apr 2006. ····· 70
Fig 3.56 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure. ····· 71
Fig 3.57 The composite charts of streamline at 850 hPa. ····· 72
Fig 3.58 Asian Dust satellite images of NOAA. ····· 73
Fig 3.59 Asian Dust concentration model's products. ····· 74
Fig 3.60 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations. ····· 75
Fig 3.61 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 7 to 8 Apr 2005. ····· 76

ABSTRACT

Study of the Characteristics of Asian Dust Events over Gunsan, Jeollabuk Prov., Korea for 2005-2007

Choe, Gyung-Suk
Advisor : Prof. Ryu, Chan-su Ph.D.
Department of Atmosphere Science,
Graduate School of Chosun University

The annually spring asian dusts are increasingly coming from China and Mongolia to South Korea as the invasion of a natural phenomenon, but recently two or three times attacks of severe asian dust events seriously affected the awareness of public health and huge industrial damages over the Korean peninsula. In this study, the characteristics of asian dust events was analyzed and classified over Gunsan, Jeollabuk Prov., korea for 2005-2007.

World Meteorological Organization recommends the way of the phenomenon of dust and sandstorms, as there exists any distinction between the reports. There is no quantitative criteria and observations of the asian dust phenomenon, but in the East Asian region, the strength of a variety of asian dusts uses and reports, with the intensity of asian dusts in the country in accordance with 0, 1 and 2 separated sky status and visibility, yes or no, except for the yellow sand phenomenon.

However, the results are of visual observation asian dusts largely dependent on the subjectivity by observer, and it also applies for a prediction even though this is very difficult observations by measuring equipment and materials linked to the quantification desperately needs. Accordingly, quantitative observations of the asian dusts to Gunsan in the last three years to the day of PM10 concentrations observed by the three types of cases which form by selecting observer. Climate

data, weather chart, the PM10, asian dust Lidar, wind profiler using materials use to derive a result of the investigation and some conclusions.

First, the asian dusts origin of Gobi Desert, Mongolia, barren plateau etc, are located on the path one or more of observation points, that were observed the PM10 concentrations extremes 9,000㎍/㎥ more than the seven cases of the six cases, and 3,000㎍/㎥ more than seven case except for case. That is one point of the asian dusts originates PM10 concentrations extremes 9000㎍/㎥ or more, when duststorm symptoms appeared in Gunsan.

Second, the PM10 concentrations extremes observed only 400㎍/㎥ more than 2-7 km from the lidar's depolarization ratio of 0.15 or more has been destroyed, and in case 400㎍/㎥ below if the upper-level depolarization ratio not appear, one kilometer or less was increased depolarization ratio, that you know already Aerosol during the wait patiently on the ground. That is depolarization ratio appeared 0.15 and later the lidar's near of the 2-7 km , which will appear the PM10 concentration of 400㎍/㎥ more than in Gunsan, we are likely to have asian dust special advisor to the announcement should be polite watchlist.

Third, the PM10 concentrations extremes the 800㎍/㎥ for more than two cases of depolarization ratio by 2-7 km near 0.15 or more observations after 1km below the ground after 2 hours on pm10 extremes is found to 3 hours, 400-800㎍/㎥ two cases of depolarization ratio by 2-7 km from the 0.3 and later observed in a relatively short period of time is 2 hours or less.

Fourth, the current Asian dusts of his observations are subjective depending on visual observation is determined, but the wind profiler's character winds of fall (-) Airstream to the Asian dusts at the start time of 6 cases and 7 cases match, and PM10 concentrations are extremes 800㎍/㎥ If more than 30 to 60kts, it is also the movement of Asian dusts at the start observers can determine the time when the wind profiler is difficult to determine the character of the horizontal wind, wind + viewed deserve consideration.

Fifth, the depolarization ratio by 1km below ground patiently increasing value is

0.2 or later when the wind profilers noise ratio is 30dB or more observations, and depolarization ratio increases also increase tends to noise ratio. Asian dusts are also asymmetric spectrum observations (+) value of 1 to 5 km near the extensive observations and the PM10 extremes visual observations of the 3 cases and 7 cases match.

We should have to collect and analyze more severe asian dust events with PM10 and Lidar, wind profilers, including optical particle counter(OPC), ceilometer observation equipment, etc. using a variety of Asian dusts with improving the ability of analysis and conditions of asian dusts and also collect direct information from the origin of asian dust events with the emission of dust concentration and weather condition on the near real time basis. We also should improve the accuracy of prediction model for asian dusts further.

제1장 서 론

우리나라에 해마다 나타나는 황사는 발원지인 중국의 산업화와 이에 따른 삼림과 초목의 벌채면적 증가와 기후변화로 인한 중국 및 몽골지역의 사막화가 급속히 진행됨에 따라 황사 발원지에서 비산되는 모래먼지의 양이 증가하고, 우리나라에서 관측되는 황사의 빈도와 강도도 증가하고 있다. 과거 황사는 매년 봄철 중국·몽골로부터 우리나라에 내습되는 자연현상의 하나였으나, 2000년대에 들어서는 2~3차례 극심한 황사의 내습으로 국민건강과 사회전반에 심각한 영향을 초래하고 있다.

황사는 통상적으로 겨울철 동안 얼어있던 건조한 토양이 봄철에 녹으면서 강한 바람과 함께 한반도로 유입되는 패턴을 띠고 있으나, 최근에는 겨울철 고온 현상이 지속되면서 11월, 12월에도 황사현상이 관측되는 등 기후변화와 함께 황사의 발생시기도 변화하는 경향을 보이고 있다. 세계기상기구[1)]가 정한 황사관측 방법에는 황사를 별도의 기상현상이 아닌 먼지현상의 하나로 간주하여 정량적인 관측기준도 없이 현상의 유무만을 식별, 보고하도록 규정하고 있으나 동아시아 지역에서 황사현상의 강도도 다양하게 나타나고 있어 우리나라에서는 황사현상의 유무이외에 그 강도를 구분하고 있다. 황사현상의 강도는 시정과 하늘상태에 따라 시정이 다소 혼탁할 경우 0, 하늘이 혼탁하고 황색먼지가 물체표면에 약간 쌓이는 정도 1, 그리고 하늘이 황갈색으로 되어 빛을 약화시키며 황색 먼지가 쌓이는 경우는 2로 구분하고 있다.

기상청 황사관측장비는 지상에서 10㎛ 이하의 에어로솔을 실시간으로 관측하는 장비인 PM10[2)]과 에어로솔의 연직분포를 측정하는 장비인 라이다[3)], 에어로솔 입자 측정장치인 APS[4)]가 있으며, 상공의 바람을 연속적으로 관측하여 에어로솔의 이동을 추정할 수 있는 고층관측장비인 윈드프로파일러가 있다.

본 연구에서는 군산지방에서 발생한 2005~2007년의 황사사례를 PM10농도를 기준으로 하여 3가지 사례로 분류하여 2km 이상 자유 대기층에서 시간별 편광소멸도의 변화로 추정하는 상층대기의 황사 강도와 윈드프로파일러의 고도별 풍속 자료, 스펙트럼 비대칭도를 이용해 군산지방의 황사특성을 분석해보고자 한다.

---

1) WMO: World Meteorological Organization

2) PM10 : Particulate Matter 10 ㎛

3) LIDAR: LIght Detecting And Ranging

4) APS : Aerodynamic Particle Sizer

제2장 자료 및 분석방법

제1절 PM10 농도에 따른 유형 구분

1. 기상청의 황사특보 기준

기상청의 황사특보는 PM10농도를 기준으로 하여 Table 2.1(참조; http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp) 에서와 같이 황사정보, 황사주의보, 황사경보의 3단계로 나누어 발표하고 있다. 위 특보기준은 2007년 2월 10일 변경된 기준으로 최근 황사발생빈도가 증가하고 황사발생 시 미세먼지농도는 낮으나 지속시간이 길 경우가 농도는 높으나 지속시간이 짧은 경우보다 인체에 미치는 영향이 크다는 의견과 황사피해 저감을 위해 특보기준 강화의 필요성이 제기되어 황사전문위원회를 통한 전문가 의견 등을 종합 검토하고 청내·외 의견을 수렴하여 황사특보기준을 변경하게 되었다. 변경된 황사주의보의 기준은 1시간평균 미세먼지 농도를 500 ㎍/㎥에서 400 ㎍/㎥으로, 황사경보의 기준은 1시간평균 미세먼지 농도를 1,000 ㎍/㎥에서 800 ㎍/㎥으로 하향 조종하였다.

Table 2.1The standards of Asian Dust advisories and waring.

특보종류	특보발표 기준
황사정보	1시간평균 미세먼지농도 300㎍/㎥ 이상이 2시간 이상 지속될 때 단, 300㎍/㎥이하이나 황사에 대한 정보를 알려서 대비할 필요가 있을 때
황사주의보	황사로 인해 1시간 평균 미세먼지 농도가 400㎍/㎥ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때
황사경보	황사로 인해 1시간 평균 미세먼지 농도가 800㎍/㎥ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때

2. 최근 황사발생현황

Fig 2.1은 군산과 서울의 1982년부터 2007년까지 황사 발생일수를 조사한 것으로 1980년대에는 연평균 3~5일, 1990년대에 들어서는 연평균 7~9일, 2000년대에 들어서는 연평균 11~12일로 점차 증가추세에 있음을 알 수 있다. 그러나 측정치의 증가가 황사 유무 판정의 절대적인 기준은 아니며, PM10의 갑작스런 증가 추세 시 황사관측에 유의하고 있으나, 대도시의 경우에는 국지적인 오염으로 인해서 황사현상과 연무, 또는 스모그를 구분하기가 매우 어렵다.

우리나라에서 관측된 황사 현상에 관한 연구는 20년간(1970~1989)의 종관기상의 특징을 분석하여 황사 현상이 발생한 경우 종관기상 특징이 만주지역에 중심을 둔 한랭전선을 동반한 지상 저기압이 통과할 때 500hPa면에서 강한 서북서풍이 불고 한랭핵의 남하가 뚜렷함을 제시한 연구(윤용황, 1990)부터 시작되었다. 정관영과 박순웅(1995)은 1983년~1993년까지 황사시 한반도의 종관기상특징을 분석하여 황사 출현시 시정은 8km, 황사 출현율은 4월에 65%를 차지하며, 황사 발원지의 한랭한 고기압 전면의 강한 지상 바람의 특성을 강조한 바 있다.

본 과제에서는 기상청의 종관관측에 의한 관측자의 주관에 따라 목측으로 관측하고 있는 황사현상을 광학적 측정기기에 의한 측정량에 따라 분류하여 이를 종관관측에 이용하고, 관측자에게 황사관측의 정량적인 방법을 제공하고자 함이 그 목적이다.

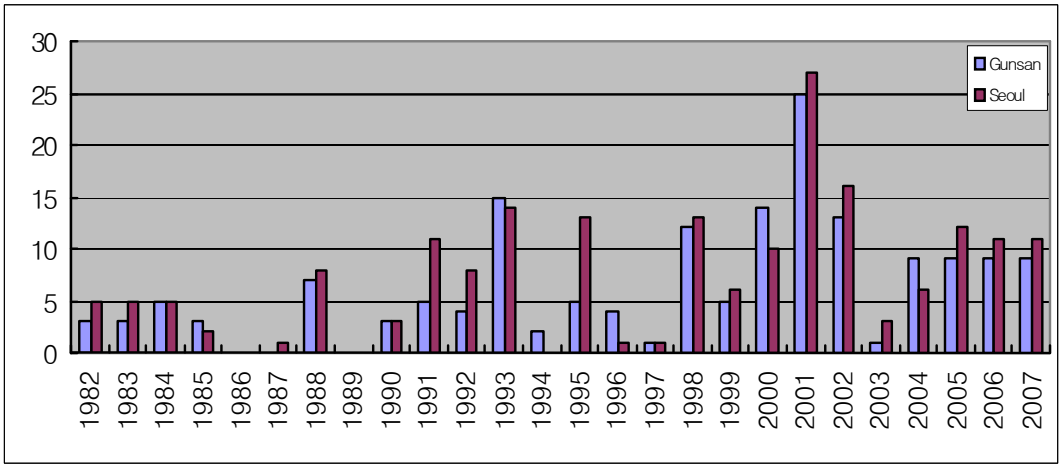


Fig 2.1 The number of days observed Asian Dust in Seoul and Gunsan Korea(1982~2007).

3. 자료 분류방법

2005년에서 2007년까지 군산에서 황사가 관측된 횟수는 Table 2.2에서와 같이 2005년 5회, 2006년 7회, 2007년 5회이며, 황사가 2일 이상 지속된 횟수는 2005년 3회, 2006년 2회, 2007년 3회이다. 특히 2006년 4월 7일~9일과 2007년 3월 31일~4월 2일에 관측된 매우 강한 황사로 인하여 유치원과 초등학교가 휴교하는 등 보건, 환경, 산업부분에 막대한 피해를 유발하였다.

본 연구는 군산에 황사가 발생한 날을 중심으로 기상청 황사특보기준인 PM10의 미세먼지농도를 기준으로 하여 1시간 평균 미세먼지 농도가 800 ㎍/㎥ 이상인 경우 2사례, 1시간 평균 미세먼지 농도가 400~800 ㎍/㎥인 경우 2사례, 1시간 평균 미세먼지 농도가 400 ㎍/㎥ 이하인 3사례로 유형을 분류하였다. 분석기법은 유형별 PM10의 농도값과 라이다를 이용한 고도별 편광소멸도를 분석하였으며, PM10 농도와 시간별 윈드프로파일러의 수평(+)연직바람에 의한 군산지방의 황사 유입 시기를 비교하였으며, 윈드프로파일러의 수평바람(+)신호대 잡음비와 라이다의 편광소멸도의 특성을 비교하여 보았다. 마지막으로 PM10과 라이다의 편광소멸도와 윈드프로파일러의 스펙트럼 비대칭도를 분석하여 군산지방의 황사발생 시 특성을 분석하고자 한다.

군산에 설치된 황사관측장비는 PM10과 라이다이며, PM10의 경우 2006년까지 관측지점이 오성산이었으나 S밴드 레이더도입으로 인해 관측지점을 군산으로 이전하였으며, 라이다는 2003년 12월에 도입하여 2004년부터 시험운영에 들어갔으나 자료표출 문제와 우천 시 가동중단으로 인하여 2005년에는 자료값이 충분치 않았다. 황사의 이동경로를 파악하기 위해 이용하는 고층 관측장비인 윈드프로파일러의 관측개시일은 2005년 1월이다.

Table 2.2 The Asian Dust events observed in Gunsan (2005~2007)

구분	황사관측일	PM10	PM10극값	라이다	윈드프로파일러
2005	3.29	○		×	○
	4.7~8	○	213(4.8.01:30)	×	○
	4.10~11	○		×	○
	4.20	○		×	○
	11.6~8	○	783(11.6.20:10)	○	○
2006	3.11	○	317(3.11.16:40)	○	○
	3.13	○		×	○
	3.28	○	484(3.28.10:15)	○	○
	4.8~9	○	1,624(4.8.19:30)	○	○
	4.18	○		○	○
	4.24~25	○	379(4.24.10:10)	○	○
	5.1	○		○	○
2007	3.6	○		○	○
	3.27~28	○		○	○
	3.31~4.2	○	1,375(4.1.17:20)	○	○
	5.25~27	○		○	○

제2절 국내·외 황사관측망

1. 국내 황사관측망

2002년 안면도의 지구대기감시관측소에 PM10 및 라이다가 각 1대씩 설치되었으며, 2003년에 한반도 서쪽지역의 고산지대나 도서 등 청정지역인 백령도, 강화, 관악산, 군산, 흑산도, 제주 고산에 PM10 6대와 황사라이다 2대를 설치하여 선도관측망을 구축한 것을 시작으로, 2004년에는 내륙에 위치한 광덕산, 천안, 추풍령, 광주 및 서해종합기지(북격렬비도)에 PM10 5대와 백령도에 황사라이다 1대를 설치하였다. 2005년에는 동쪽지방을 중심으로 대관령, 구덕산, 영덕, 울릉도에 PM10 4대를 확충하였다. 2006년에는 청원에 위치한 한·중대기과학연구센터를 황사위탁관측소로 지정하고, 강화에 설치되었던 라이다의 문산 이전 및 속초, 춘천에 PM10 2대를 설치하였으며, 2007년에는 대구, 진주, 안동, 영월에 설치하여 전국적인 황사 실시간 입체감시망을 구축하여 PM10 23개, 라이다 4개 지점을 Fig 2.2(참조; http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp)와 같이 설치하였다. 추후 국내 황사관측공백지역에 PM10과 황사라이다를 추가 확충하여 전국적인 황사분포를 실시간 감시 할 예정이다.

Fig 2.2 The monitoring systems of Asian Dust in Domestic(right) and Foreign(left) sites.

2. 국외 황사관측망

중국의 황사 발원지와 이동경로상의 황사 실시간 모니터링을 위해 2003년부터 한국국제협력단(KOICA)의 재정 지원으로 「한·중 황사 공동관측망 구축사업」을 추진하여 Table 2.3(참조; http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp)과 같이 중국 내 5개 지점(쥬리허, 통랴오, 유스, 다롄, 후이민)에 PM10 등 황사 관측장비를 설치하고 2005년 3월부터 실시간 관측자료를 입수하여 황사예보에 활용하고 있다. 또한 2006년 4월의 강한 황사 이후 「황사예보능력 향상 종합대책」의 일환으로 한·중 공동황사관측망 추가 확충사업을 추진하여 중국 내 추가 5개 지점(얼렌하오터, 단둥, 칭다오, 스핑, 츠펑)에 황사관측장비를 설치 완료하여 자료를 수신 활용하고 있다. 이 외에도 중국 기상국이 운영하는 5개 지점(우라터중치, 둥성, 옌안, 하미, 둔황)에서의 자료를 수신하고 있으며, 황사발원지에 3개 지점(유린, 장예, 뚜어런)에 설치된 황사감시 기상탑에서도 '07년 1월부터 자료를 수신하고 있다. '07년 9월에는 만주와 몽골에 황사감시 기상탑이 추가로 설치될 예정이어서 총 20개 지점의 황사관측 자료를 예보에 활용할 수 있게 된다.

Table 2.3 The Asian Dust observing systems in China.

지점명	위도	경도	지점명	위도	경도	지점명	위도	경도
쥬리허	42.40	112.90	얼렌하오터	43.39	112.00	옌안	36.36	109.30
유스	37.07	112.98	츠펑	42.16	118.58	둔황	40.09	94.41
후이민	37.48	117.53	스펑	43.11	124.20	하미	42.49	93.31
통랴오	43.60	122.37	단둥	40.03	124.20	둥성	39.50	109.59
다롄	38.90	121.63	칭다오	36.04	120.20	우라터중치	41.34	108.31

제3절 관측장비의 원리

1. PM10

PM10은 대기 중에 부유하는 에어로솔 중 직경 10 ㎛이하인 입자의 농도(㎍/m3)를 베타 게이지[5]를 사용하여 자동으로 연속 측정하는 장비로 분진 채취 동안에도 연속 측정이 가능하다. 기상청에서 운영 중인 PM10은 Thermoandersen 회사에서 제작한 것으로 Fig 2.4에서처럼 모델명은 FH62C14이며, 분리기를 통하여 TSP[6], PM10, PM2.5, PM1.0으로 에어로솔의 크기별로 분리하여 검출하는데도 사용된다. 기상청에서는 황사를 관측하기 위해 황사 입자의 크기로 널리 알려진 2~6 ㎛ 사이의 분진 입자의 농도를 측정하기 위해 PM10만을 사용한다.

PM10의 관측주기는 5분이며, 관측 즉시 초고속 통신망을 통해 기상정보통신망에 자동으로 전송이 되고 실시간으로 표출되어 정량적인 황사예보에 적극 활용되고 있다.

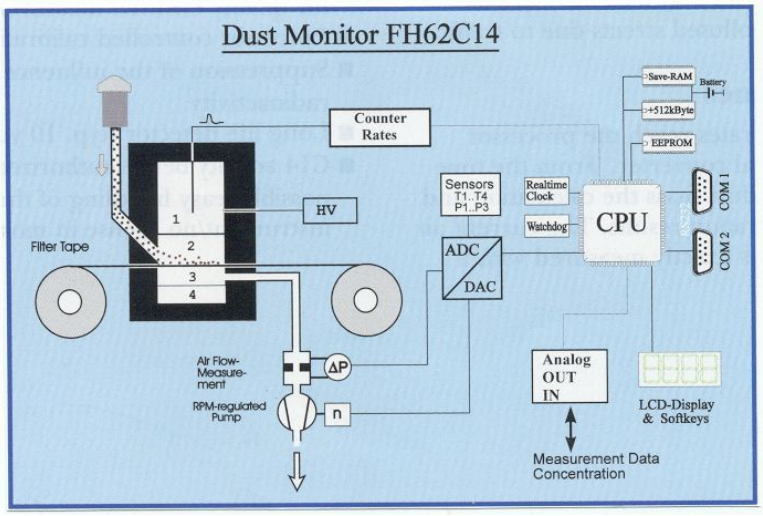


Fig 2.3 Andersen's FH62C14 Online Dust Monitor

5) β gauge : C-14에서 방출되는 베타선을 측정하는 계기

6) TSP : Total Suspended Particulate

2. 황사라이다

높은 고도까지 광범위하게 존재하는 황사의 광학적 특성을 분석하는 기술은 그 비용면이나 실시간 분석의 시간분해능 측면에서 레이저를 이용하는 방법이 가장 많이 활용되는데, 기상청 황사관측용 라이다는 대류권의 에어로솔, 특히 황사의 분포를 측정하기 위해 532 nm의 레이저 빛을 대기 중으로 조사, Klett 방법[7]을 이용하여 소산계수[8]를 산출하고 편광신호를 수집하여 편광소멸도[9]를 측정함으로서 대기 중 비구형 에어로솔 관측에 효과적인 편광분석기를 포함한 이중편광 라이다 시스템이다.

이중편광 라이다 시스템은 대기 중으로 특정 편광을 가진 레이저 펄스를 조사하여 에어로솔에서 산란되는 신호 중 원래의 고유한 편광을 유지하고 있는 신호와 편광이 깨어진 신호를 편광분석기를 통해 분리 수집하여 편광이 깨어진 비율, 즉 비편광도를 계산함으로써 에어로솔 입자의 모양이 구형이 아닌 것이 얼마나 많이 분포되어 있는가를 알 수 있는 장비로 Fig 2.5와 같이 특히 황사와 같은 에어로솔은 비구형의 모양을 갖기 때문에 비편광도를 분석함으로써 황사를 관측하는데 아주 효과적인 정보를 제공한다.

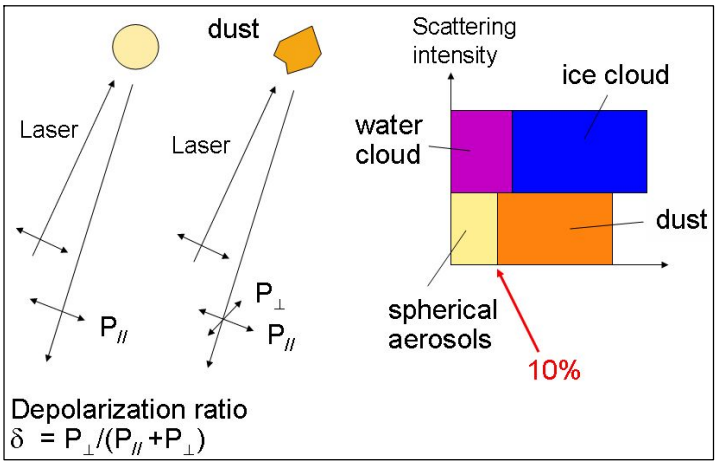


Fig 2.4 Depolarization Attributes

7) Klett, 1981; Klett, 1985

8) 소산계수 : Extinction coefficient

9) 편광소멸도 : Depolarization ratio

3. 윈드프로파일러

윈드프로파일러란 지상에서 3방향으로 전파를 발사하여 거기에서 상공으로 어떤 대기의 난류(대기의 굴절율의 불연속)에서 반사되어 되돌아 올 때의 주파수의 도플러[10] 편이를 본래 상태로 각 beam 방향에서 대기의 속도(시선속도)를 측정하고 이것을 이용하여 그 지점의 상공의 바람을 연속적으로 관측하는 system이다.

대기 중에는 여러 가지 크기의 대기난류·와 등이 존재하고 이것에 따라서 대기 중에 있어서 전파의 굴절률에 불연속이 발생한다. 지상에서 상공으로 향하여 발사된 전파는 이 굴절률의 불연속에 의해 산란된다.

윈드프로파일러는 pulse 변조된 전파를 상공의 3방향(연직에서 동으로 15° 기운 방향(VE)·연직에서 북으로 15° 기운 방향(VN)·연직방향(VV)으로 순차적으로 발사하여(Fig 2.6), 대기의 난류 등의 target에서의 반사파(후방 산란파)를 수신한다. 시간적으로 위상을 보존 유지된 송신파에서 위상을 복조하여 얻은 주파수의 도플러 편이를 토대로 각 beam 방향에서 target의 속도(시선속도)를 구한다.

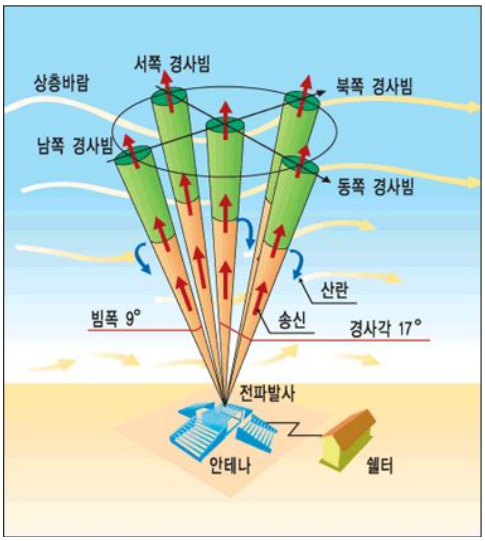


Fig 2.5 The schematic principle of Wind Profiler observation.

10) Doppler : 움직이는 목표물에 전파가 부딪히면 반사전파주파수가 목표물의 속도에 따라 변동하는 것

제3장 군산지방의 황사특성 분석

제1절 PM10농도 800㎍/㎥이상

1. 황사사례 1 : 2006년 4월 8~9일

가. 일반 현황

4월 5일에 고비사막, 내몽골, 오르도스에서 황사가 관측되기 시작하였으며, 넓은 지역에 걸쳐 나타난 황사층은 남동쪽으로 계속 이동하여 저기압에 동반된 전선의 영향을 받았다. 6일 함경도 해안지방에 위치한 이동성고기압의 영향을 받다가 동해상에 중심을 둔 저기압이 동해로 빠져나가면서 전선을 동반하여 일본본토까지 이동하였다. 또한 그 후면에는 만주북서쪽에서 제주도남쪽으로 좁게 형성된 고기압이 동진하면서 북서기류에 의해 황사가 유입되었다. 우리나라는 이동성고기압의 중심에 들어 대기가 안정한 가운데 상층의 황사가 하강하여 매우 강한 황사를 나타내다가 이후 10일에 비가 오면서 황사의 영향이 완전히 사라졌다.

(1) 중국 황사관측소별 PM10 농도

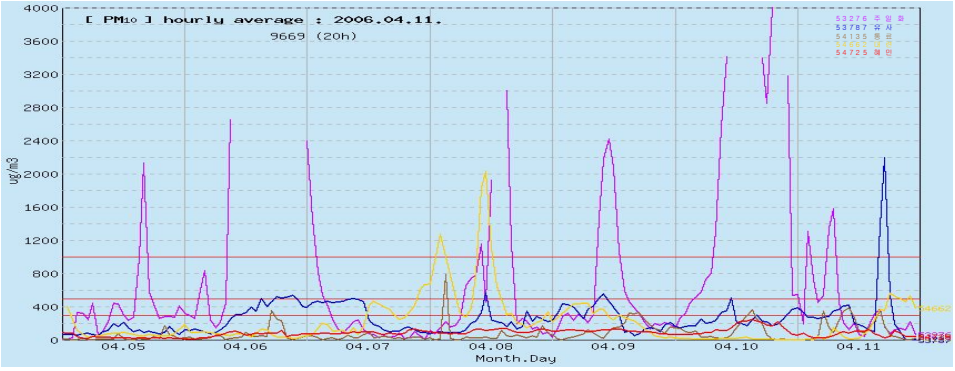
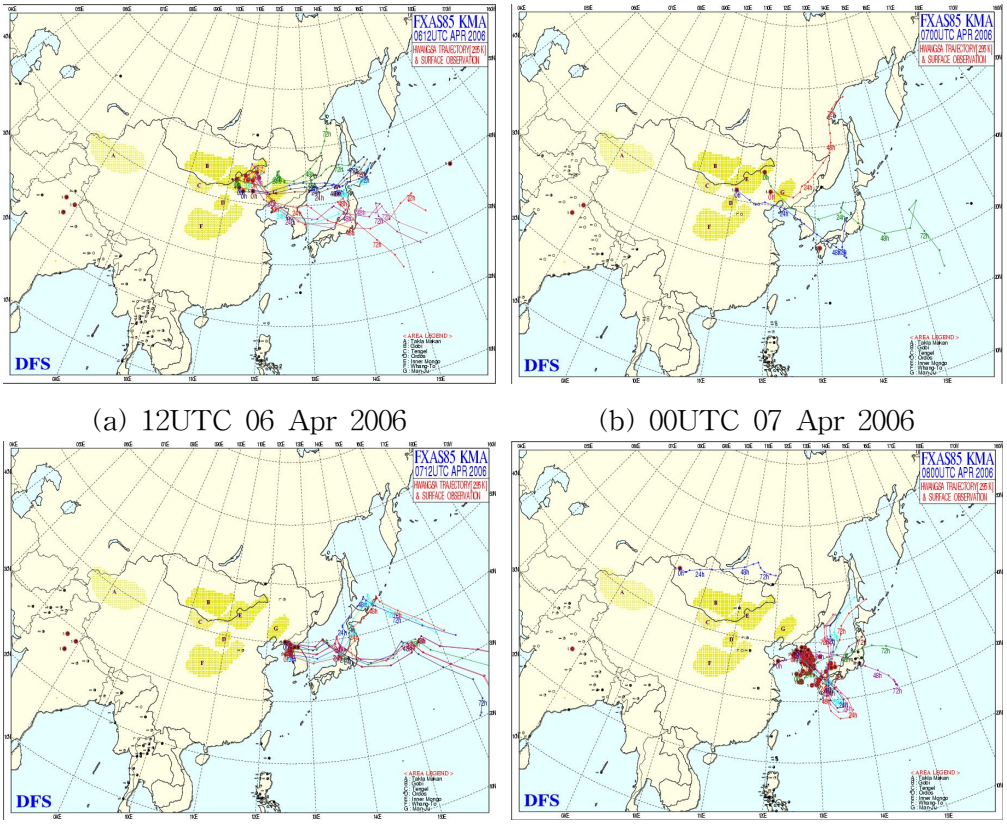


Fig 3.1. The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 5 to 11 Apr 2006.

4월 5일~11일까지의 중국황사관측소의 PM10 농도는 Fig 3.1(참조;http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp)과 같으며, 내몽골의 관측지점인 쥬리허는 6일 16시에 PM10 농도값이 9,993 ㎍/㎥로 최고값을 기록했다. 만주 황사발원지의 관측지점 중 하나인 통랴오는 7일 03시에 3,631 ㎍/㎥, 유스에서 7일 17시에 107 ㎍/㎥, 발해만 부근 관측지점인 다롄에서는 8일 05시에 510 ㎍/㎥을 기록했다.

(2) 황사 추적도



(a) 12UTC 06 Apr 2006 (b) 00UTC 07 Apr 2006

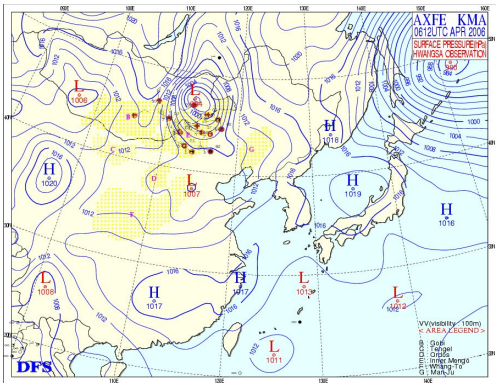
(c) 12UTC 07 Apr 2006 (d) 00UTC 08 Apr 2006

Fig 3.2 The Asian Dust trace charts on the isentropic level of 295k.

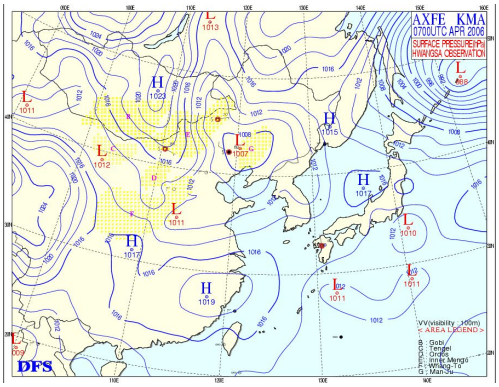
발원지인 고비사막, 내몽골, 오르도스에서 황사가 관측되었던 Fig 3.2(참조; http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp)의 (a) 황사 추적도를 보면 동해상에 중심을 둔 저기압이 동진하여 24시간 이내에 백령도 부근을 통과하여 48시간 이후에는 일본으로 빠져나갈 것으로 예상하였다. 이 후 만주북서쪽에서 제주도 남쪽으로 좁게 형성된 고기압이 동진하고 북서기류에 의해 8일 00UTC에 전국적으로 황사가 관측되면서 2시간 내에 일본으로 이동하는 것으로 예상하였다.

(3) 일기도 분석

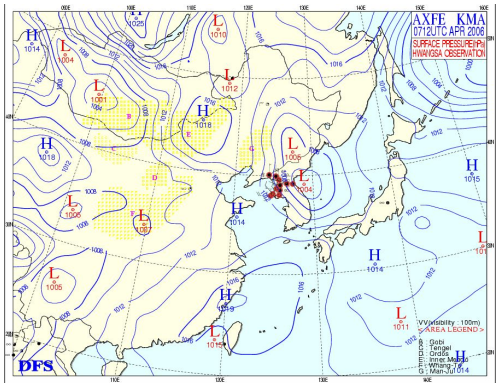
① 황사일기도 분석



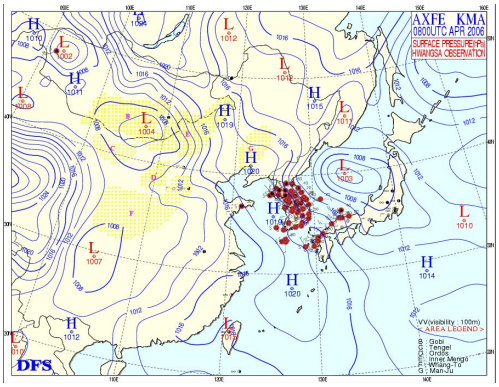
(a) 12UTC 06 Apr 2006



(b) 00UTC 07 Apr 2006



(c) 12UTC 07 Apr 2006

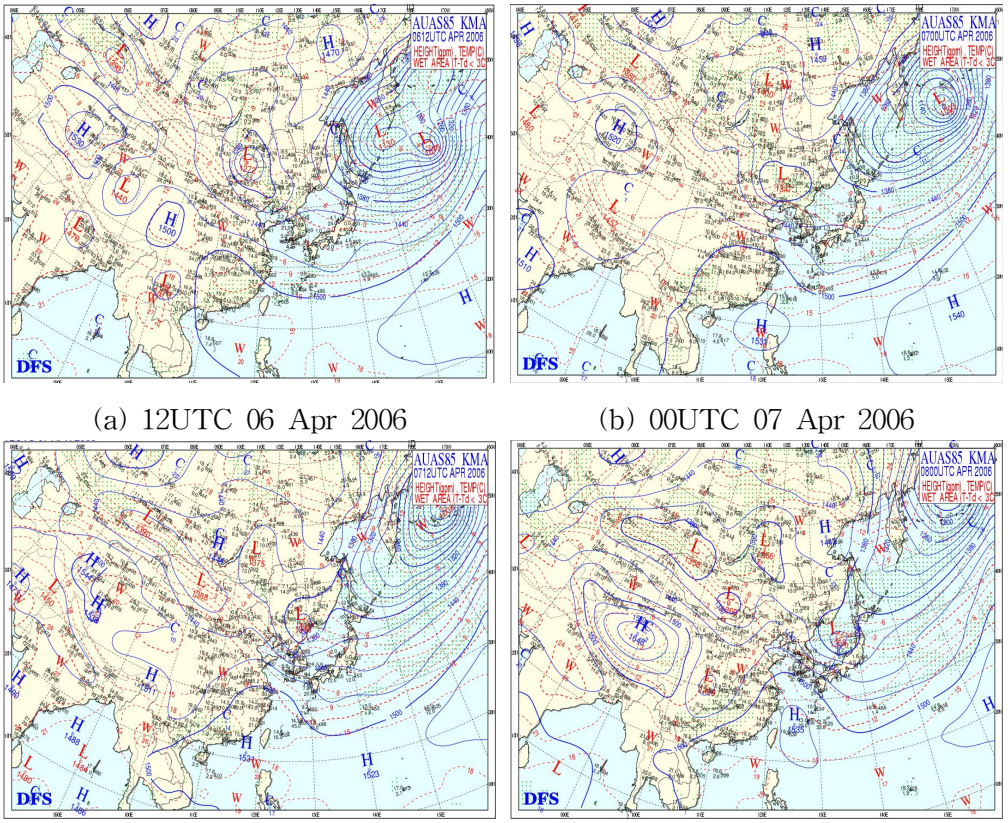


(d) 00UTC 08 Apr 2006

Fig 3.3 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure.

황사발생 하루 전에 몽골지역의 강화된 저기압이 동남쪽으로 이동하였으며, 경도 110~120°E, 위도 40~50°N 사이에 기압경도력이 강화되었다. 또한 연해주에서 동해상으로 고압대가 길게 자리잡고 있다. Fig 3.3과 같이 우리나라에 황사가 유입되기 전 2일에서 하루 전에 저기압이 남동진하면서 고비사막과 내몽골 등의 황사발원지를 통과하면서 황사물질을 부유시켰다. 이 때 서해중부해상에 위치한 고기압이 기압경도가 약하여 9일까지 황사대가 우리나라에 장시간 정체하고 고기압이 동해상으로 서서히 물러가고, 남서쪽에서 저기압이 접근함에 따라 황사관측이 종료되었다.

② 850hPa 유선 분석일기도



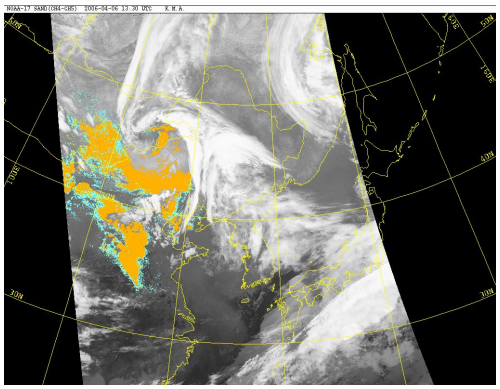
(a) 12UTC 06 Apr 2006 (b) 00UTC 07 Apr 2006

(c) 12UTC 7 Apr 2006 (d) 00UTC 8 Apr 2006

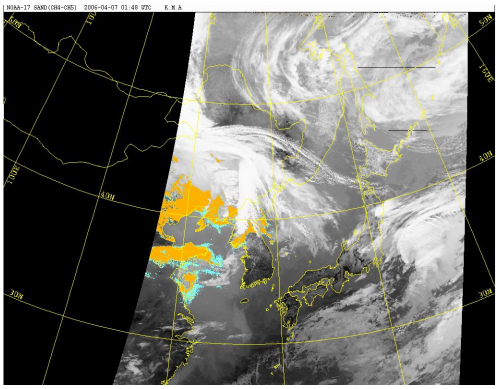
Fig 3.4 The composite charts of streamline at 850 hPa.

Fig 3.4의 (a)에서는 황사발원지 부근에서는 남서류가 유입되고 25kts의 강풍역이 고비사막동편에서 남쪽과 서쪽으로 확대되고, 내몽골쪽에 강한 수렴역(53×10E-6/s)이 형성되어 있어 황사발원지들에서 상승운동을 유발하기에 좋은 조건임을 보여주고 있다. 4월 7일 12UTC에는 강풍대가 한반도 전역을 감싸고 있으며 중부지방에서 특히 강하게 나타나고 있다. 4월 8일 00UTC에서 한반도 서해상에 강한 하강기류(54×10E-6/s)가 나타나고, 12UTC에는 한반도 내륙에 하강기류(33×10E-6/s)를 나타나고 있어 황사가 우리나라에 체류시간과 농도에 큰 영향을 준 것으로 분석된다.

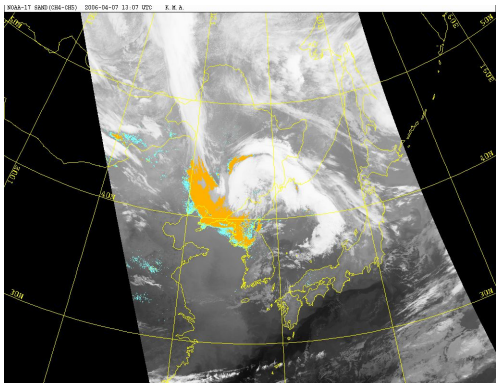
(4) NOAA 위성영상 분석



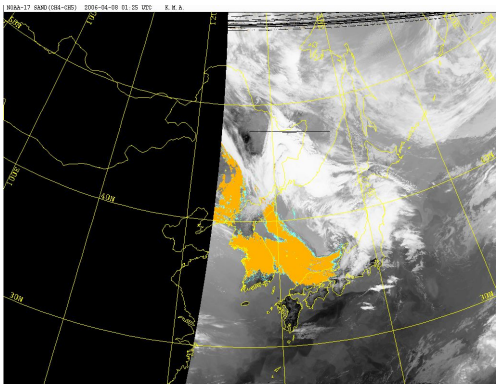
(a) 13:30 UTC 06 Apr 2006



(b) 01:48UTC 7 Apr 2006



(c) 13:07UTC 7 Apr 2006

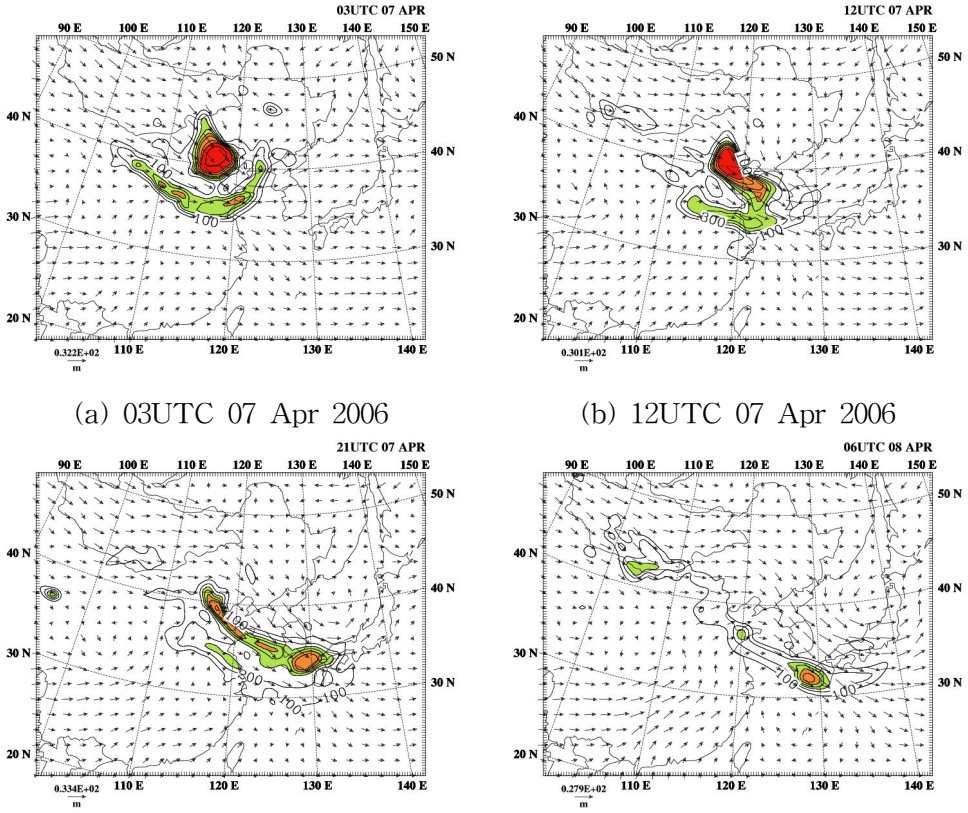


(d) 01:25UTC 8 Apr 2006

Fig 3.5 Asian Dust satellite images of NOAA.

고비사막에서 처음으로 황사현상이 관측되었던 4월 5일 분석영상을 보면 몽고내륙과 고비사막 부근은 기압골의 영향으로 구름이 끼어 있어 황사영역이 식별하기가 곤란하지만 Fig 3.5(참조;http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp)의 (a)에서는 뚜렷하게 한만국경부근과 중국내륙에 황사띠가 위치하고 있음을 알 수 있다. 4월 7일 13UTC에는 강한 황사띠가 발해만에서 북한지방으로 유입되고 있음을 알수 있고, 4월 8일 01UTC에는 중부지방과 남부지방을 통과하여 일본으로 이동함을 알 수 있다. 이후 한반도에서 점차 사라져 4월 8일 12UTC에는 구름만 관측됨을 알 수 있다.

(5) 황사모델 자료 분석



(a) 03UTC 07 Apr 2006 (b) 12UTC 07 Apr 2006

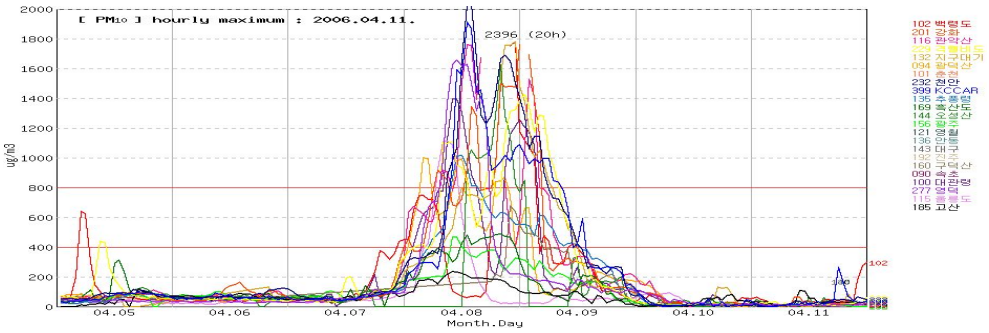
(c) 21UTC 07 Apr 2006 (d) 06UTC 08 Apr 2006

Fig 3.6 Asian Dust concentration model's products.

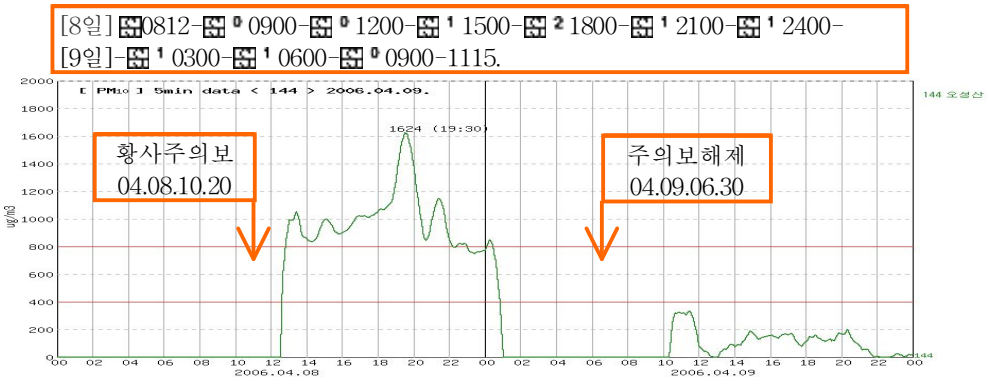
4월 6~7일에 걸쳐 황사 발원지의 경로상에 있는 내몽골 쥬리허에서 8,000~9,000 ㎍/㎥ 의 PM10농도를 보이는 강한 황사가 발생하였다. 4월 8일 새벽 백령도에서 300~700 ㎍/㎥ 수준의 PM10 농도가 관측될 때 황사농도모델 자료 Fig 3.6(참조; http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp)의 (c)에서는 한반도로 유입되는 황사를 모의하였다. 그러나 4월 8일 저녁에 평균농도가 2,300 ㎍/㎥에 도달하는 등 한반도 전역에서 2차 고농도 황사가 관측되었지만, 황사농도모델자료에서 모의된 PM10 농도에서는 40~100 ㎍/㎥으로 이 부분을 적절히 모의하지는 못하였다.

나. 군산지방의 황사특성 분석

(1) PM10 농도 분석



(a) The Distributions of daily mean concentrations of PM10 in Korea from 5 to 11 Apr 2006.

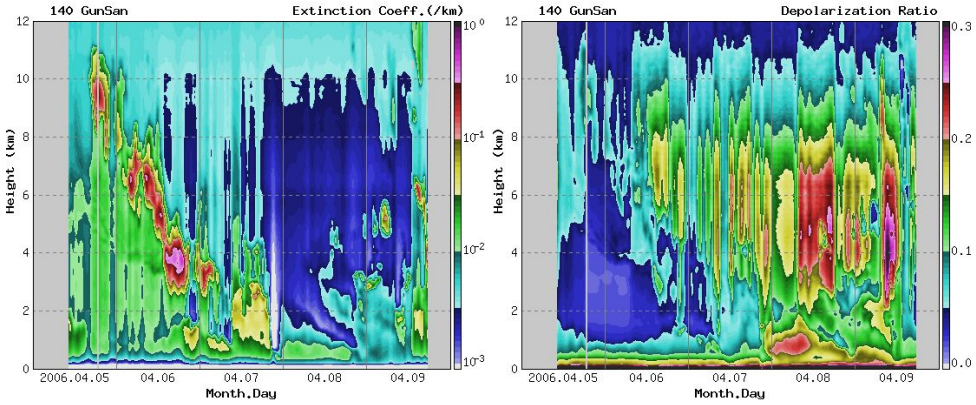


(b) The Distributions of hourly mean concentrations of PM10 at Gunsan from 8 to 9 Apr 2006.

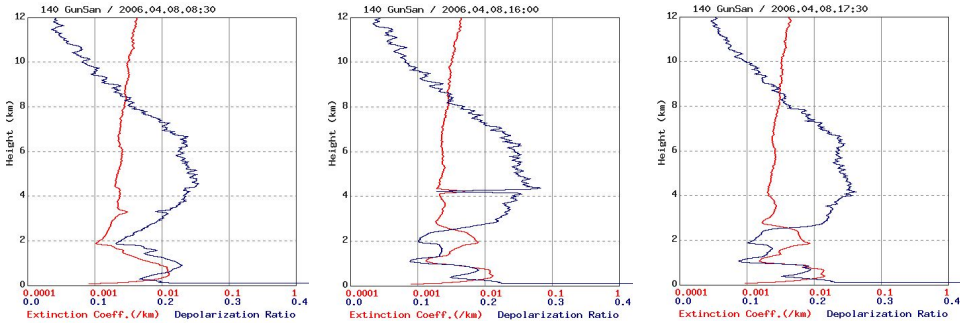
Fig 3.7 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations.

Fig 3.7의 (a)처럼 한반도에서는 4월 7일 18시 무렵에 백령도에 PM10 농도가 305㎍/㎥로 황사현상이 최초로 관측되었으나, 고기압이 정체하고 1.5 km 상공에 남서류가 강하게 불면서 남하가 저지되었고 정체되다가 8일 18시부터 농도가 다시 높아졌다. 군산은 8일 8시 12분에 지상에 황사가 관측되기 시작하였으나 PM10 흡입펌프 불량으로 펌프교체 후 관측되기 시작하였으며, 8일 10시 20분에 황사주의보가 발표되었다. 이후 12시부터 PM10농도는 계속 상승하여 19시 30분에 최고값 1,624 ㎍/㎥를 기록하였다.

(2) 라이다 분석



(a) The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan from 5 to 9 Apr 2006.



(b) 08:30 08 Apr 2006 (c) 16:00 08 Apr 2006 (d) 17:30 08 Apr 2006

Fig 3.8 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan.

4월 7일 08시~18시에 3~7km에서 에어러솔 층이 나타나고, 18시 이후에는 1km 이하 지면에서 편광소멸도가 0.2 이상 관측되고 있어 상층의 에어러솔이 지면으로 하강하고 있음을 Fig 3.8(참조;http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp)의 (a)와 같이 알 수 있다. Fig 3.8의 (b)~(d)는 황사관측시각별 편광소멸도를 나타내고 있으며, 9일 01시 이후에는 에어러솔 층이 약해지기 시작하고 황사관측도 11시30분을 기해 종료되었다.

(3) PM10과 라이다, 윈드프로파일러의 자료 분석

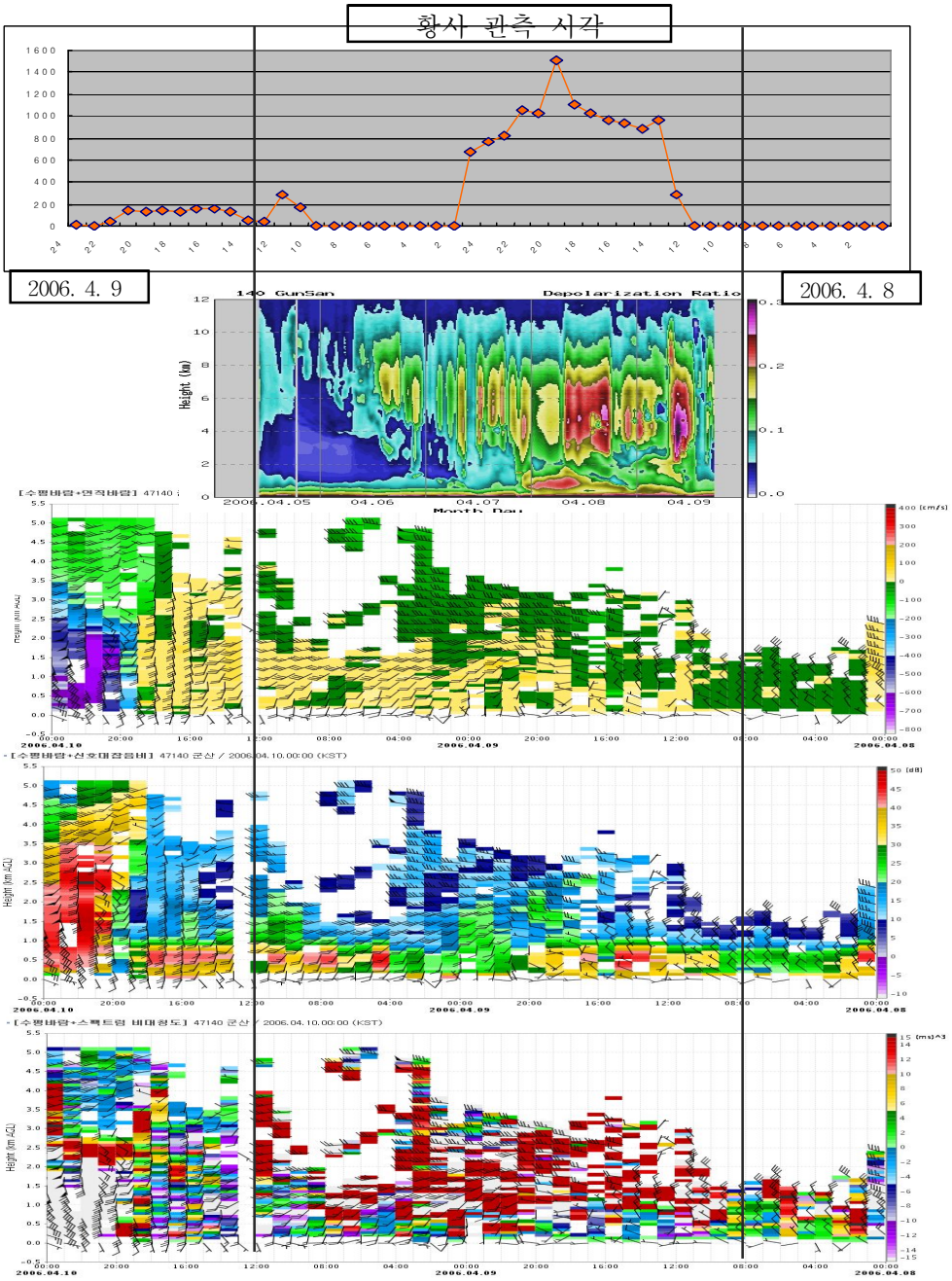


Fig 3.9 The Depolarization Ratios data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 8 to 9 Apr 2006.

고비사막, 내몽골, 오르도스 등에서 4월 5일 발원한 이번 황사는 발원지 경로상에 있는 내몽골의 관측지점인 쥬리허에서 4월 6일 PM10 농도 최고값이 9,993 ㎍/㎥ 관측되었으며, 넓은 지역에 걸쳐 나타난 황사층은 남동쪽으로 계속 이동하여 북서기류에 의해 우리나라로 황사가 유입되었다.

군산은 4월 8일 08시 12분에 지상에 황사가 관측되기 시작하였으나 PM10 흡입펌프 불량으로 펌프교체 후 12시경부터 관측되기 시작하였으며, PM10 농도 극값은 19시 30분에 1,624 ㎍/㎥를 기록했다.

라이다는 4월 8일 0시~8시까지 1km 이하에 편광소멸도가 0.2, 8일 08시~18시까지는 3~7km 부근에 편광소멸도가 0.2 이상 나타난 후 다시 1km 이하에서 편광소멸도가 증가하면서 지상에 PM10 농도가 급격히 증가하고 있어 상층의 에어로솔이 지상으로 침착되어야 지상의 PM10농도가 증가하면서 극값이 나타남을 알 수 있었다.

Fig 3.9(참조; http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp)와 같이 윈드프로파일러는 8일 08시 부근에 2km이하에서 NW풍 20~30kts의 하강(-)기류로 군산에 황사가 관측되기 시작하였으며, 8일 19시 부근에 2.5km 기준으로 상승(+)기류와 하강(-)기류가 나타나고 있으며, 풍계도 NW-W-SW-S풍으로 변화하고 있음을 알 수 있었다. 신호대 잡음비는 8일 08시~9일 12시까지 1km 이하에서 30dB 이상 관측되고 있으며, 대기 중의 에어로솔이 침착되어 지면에서 라이다의 편광소멸도가 0.2이상 관측되고 있는 시간대와 대체적으로 일치하고 있다. 스펙트럼 비대칭도는 스펙트럼 평균분포로부터 치우침 정도를 표시하는 것으로 비정상정도를 나타내고 있는데, 8일 08시~9일 12시까지 1~3km 부근에 +10 이상이 폭넓게 나타나고 있다.

2. 황사사례 2 : 2007년 3월 31일～4월 2일

가. 일반 현황

3월 30일 내몽골과 고비사막에서 발생한 황사는 발달한 저기압의 접근으로 먼저 한반도 북쪽을 통과하면서 영향을 주기 시작하였고, 중북부지방과 동해안을 따라 남진하면서 호남지역을 제외한 영남지역에서 황사가 관측되는 특징을 보였으며, 1일 오전에 또 다른 황사가 산둥반도에서 남동진하여 접근하면서 호남지방과 충청지방을 중심으로 영향을 주어 황사 지속시간이 길어지는 원인이 되었다.

(1) 중국 황사관측소별 PM10 농도 분석

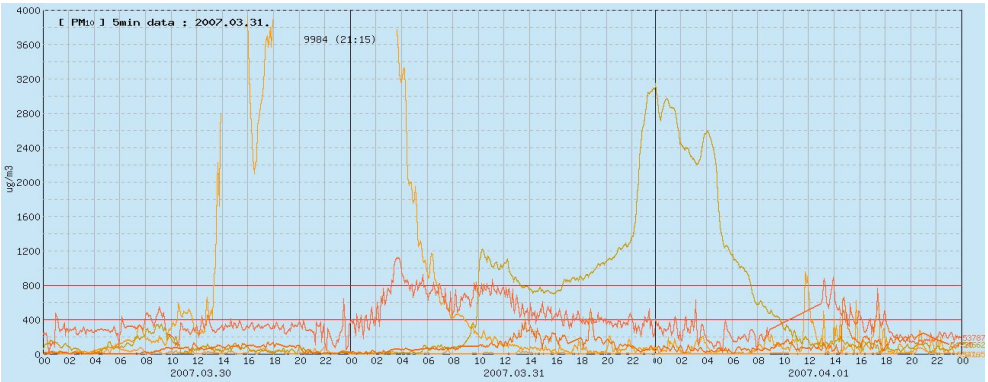
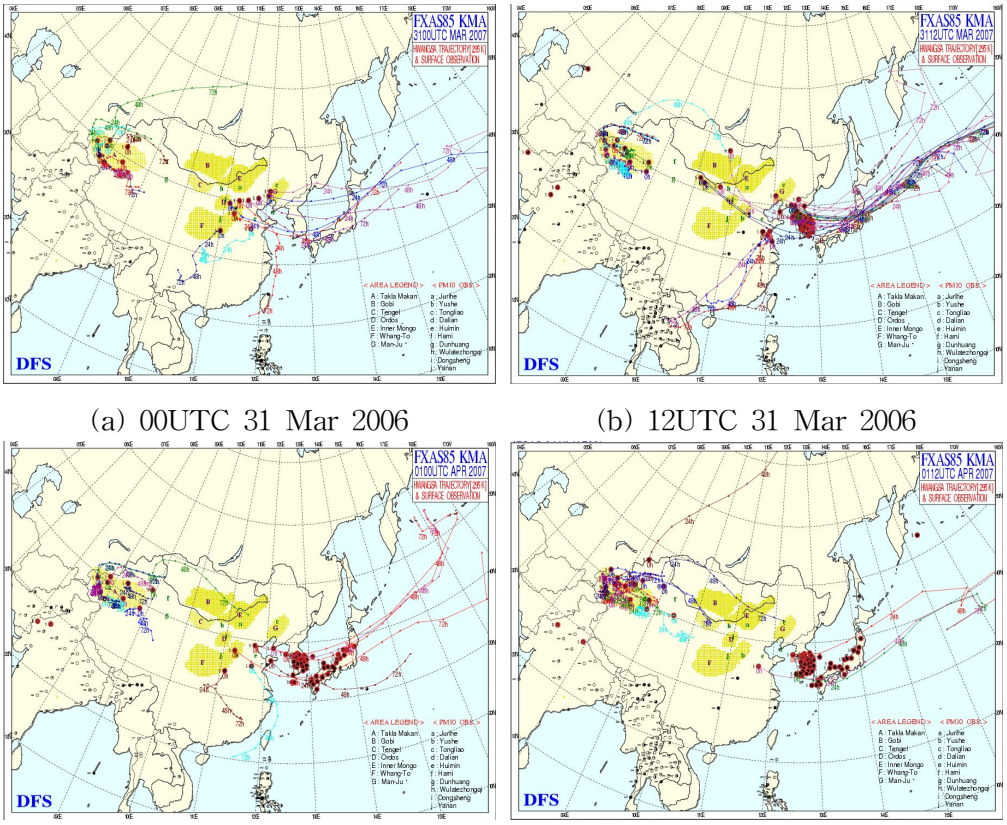


Fig 3.10 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 30 Mar to 1 Apr 2006.

내몽골의 황사 발원지 경로상에 위치한 쥬리허의 PM10 농도는 Fig 3.10과 같이 3월 30일 13시경부터 급격히 상승하기 시작해 21시 15분에서는 최고 9,984 ㎍/㎥을 기록하였다. 4월 1일 2시경부터 PM10 농도가 점차 하강하기 시작하여 6시 30분경 1,000 ㎍/㎥ 이하로 떨어진 후 점차 약화되었다. 발원지인 황토고원의 관측지점 중 하나인 유스의 경우 31일 PM10 농도가 점차 상승하여 3시 40분에 1,121 ㎍/㎥을 나타낸 후 점차 하강하였다. 발원지인 요동반도의 관측지점 중 하나인 다롄의 경우는 31일 23시 55분에 3,154 ㎍/㎥을 기록한 후 4월 1일 점차 약화되어 10시경 400㎍/㎥ 이하로 떨어졌다. 중국관측지점 중 하나인 퉁랴오와 후이민의 PM10 자료는 수집률이 낮았으며, 미세먼지 농도도 낮았다.

(2) 황사 추적도



(a) 00UTC 31 Mar 2006 (b) 12UTC 31 Mar 2006

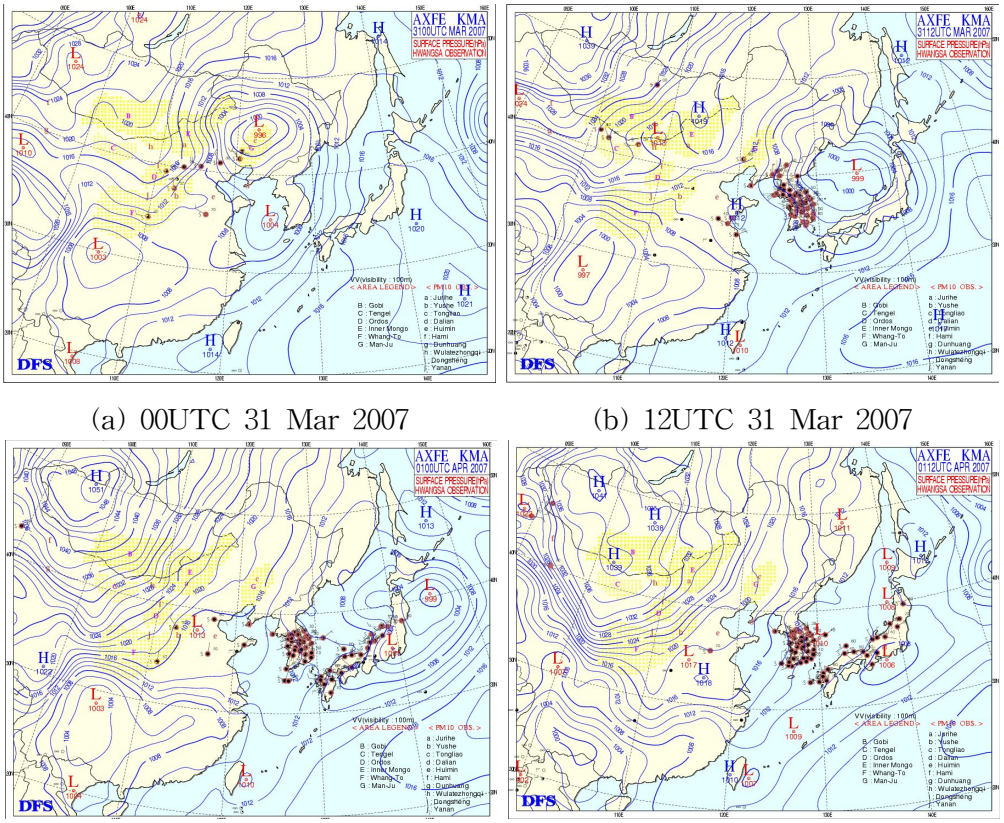
(c) 00UTC 1 Apr 2006 (d) 12UTC 1 Apr 2006

Fig 3.11 The Asian Dust trace charts on the isentropic level of 295k.

발원지에서 황사가 관측되었던 31일 00UTC의 황사 추적도 Fig. 3.11을 보면 황사 전면으로 저기압이 발생되어 있으며, 고비사막 가장 북쪽에 생성된 황사는 약간 남동진하여 몽골 동쪽과 만주를 지나 36시간 이후에 백두산 북쪽을 통과, 48시간 이후에는 일본으로 빠져나갈 것으로 예상하였다. 고비사막 남쪽에서 발생한 황사는 다소 북진한 후 120°E에서 남동진하여 36시간 이후 북한지방을 통과할 것으로 예상되었다. 시간이 지나면서 황사가 넓은 지역으로 분포되면서 황사가 나타나는 지역이 광범위해지고, 몽골 동쪽에서 발생한 황사가 호남지역까지 남하하는 것으로 모의하였다.

(3) 일기도 분석

① 황사일기도 분석



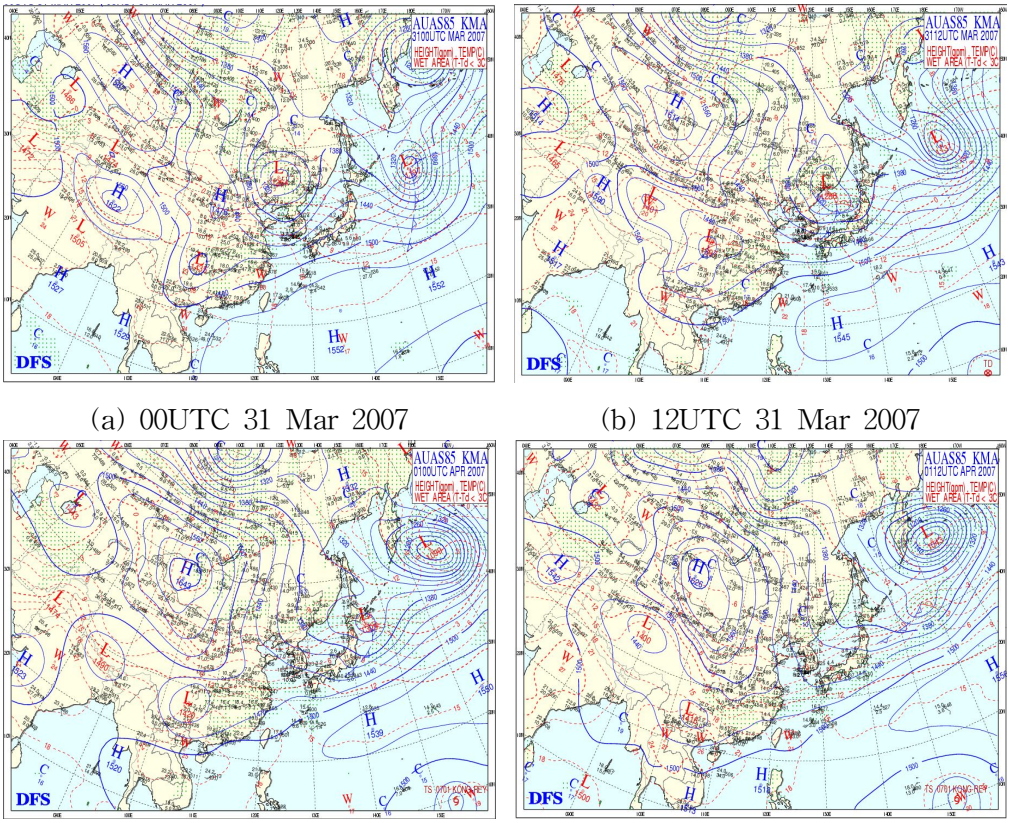
(a) 00UTC 31 Mar 2007 (b) 12UTC 31 Mar 2007

(c) 00UTC 1 Apr 2007 (d) 12UTC 1 Apr 2007

Fig 3.12 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure.

동해상에 저기압, 산동반도 동쪽해상에 고기압이 위치하여 서고동저형의 기압배치에서 지상 저기압과 거의 비슷하게 몽골 동쪽으로 한핵을 동반한 저압부가 Fig 3.12의 (a)와 같이 위치해 있다. 이 저압부는 빠르게 이동하여 Fig 3.12의 (b)와 같이 동해상에 위치해 있으며, 남부지방까지 남하하지 못하고 통과하였다. 남부지방은 기압계가 대체로 zonal하고 중부지방과 다르게 서풍계열의 바람이 유입되어 황사가 타 지역보다 늦게 관측되기 시작하였다. 그러나 4월 1일 황사의 농도가 강해지면서 전국적으로 황사경보까지 발표되었다.

② 850hPa 유선분석 일기도



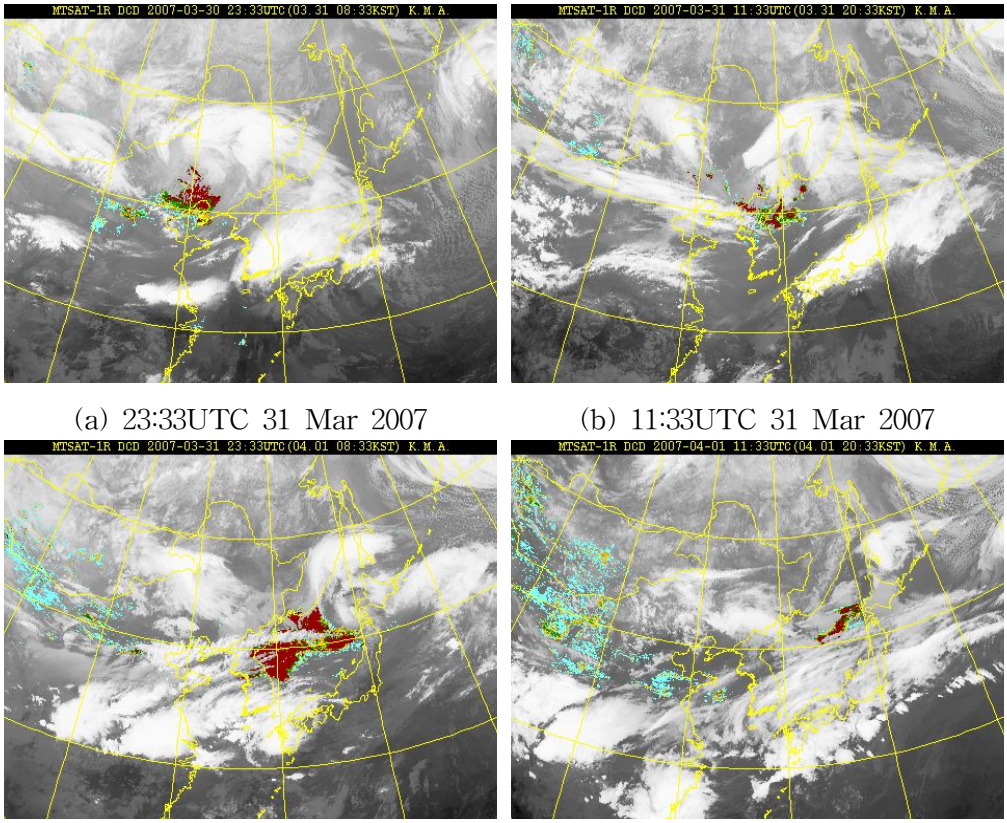
(a) 00UTC 31 Mar 2007 (b) 12UTC 31 Mar 2007

(c) 00UTC 1 Apr 2007 (d) 12UTC 1 Apr 2007

Fig 3.13 The composite charts of streamline at 850 hPa.

Fig 3.13의 (a)와 같이 몽골 동쪽으로 한핵을 동반한 저압부가 위치해 있으며, Jet기류는 동해상과 일본에 걸쳐 있어 상층에 북서계열의 강한 바람이 유입되고 있다. 3월 31일 12UTC에는 Jet 기류가 약해지는 듯하다가 4월 1일 00UTC에는 다시 강한 북서풍의 유입으로 그 후면에서 황사 이류가 강하게 유입되면서 우리나라 전역에 걸쳐 황사가 관측되었다.

(4) MTSAT-1R 적외차 황사지수



(a) 23:33UTC 31 Mar 2007 (b) 11:33UTC 31 Mar 2007

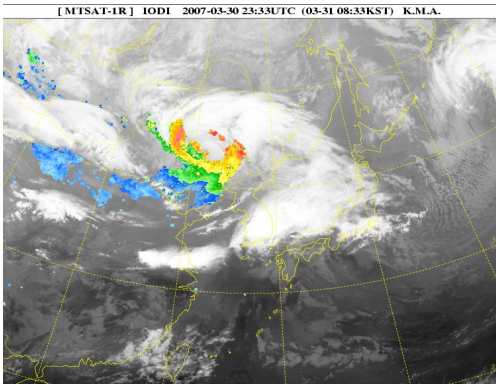
(c) 23:33UTC 31 Mar 2007 (d) 11:33UTC 1 Apr 2007

Fig 3.14 Asian Dust satellite images of MTSAT-1R DCD.

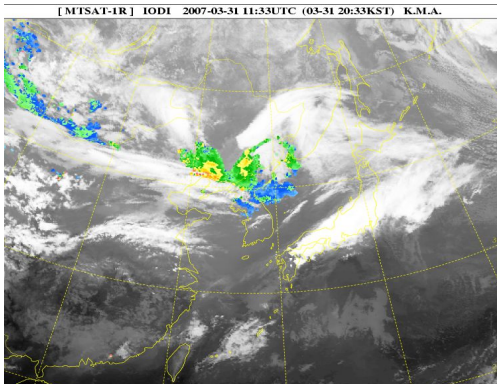
MTSAT-1R 적외차 황사지수[11]는 Fig 3.14의 (a)와 같이 화북지방과 발해만으로 강한 황사대가 접근해 있으며, 발해만의 황사대는 40°N 선을 따라 원산만으로 이동하였고, 또 다른 황사대가 산둥반도에 형성되었다가 소멸하였다. 이때 백령도에 처음으로 황사가 관측되었으며, 점차 전국으로 확대되었다. 또한 남쪽으로 저기압이 통과하면서 이 황사대는 동진하였으나, 저기압이 통과한 4월 1일 00UTC 이후에는 강원 동해안을 따라 남하하여 경상도 지역으로 먼저 황사가 관측되었다. 북쪽의 황사대가 통과한 후에도 산둥반도에서 또 다른 황사대가 남부지방을 중심으로 유입되면서 황사의 지속시간이 길어지고 강화되는 경향을 보였다.

11) IDDI : Infrared Difference Dust Index

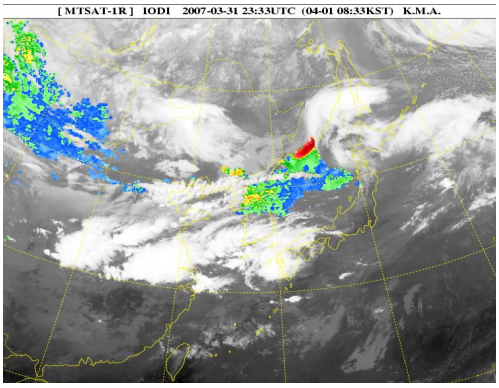
(5) MTSAT-1R 황사지수



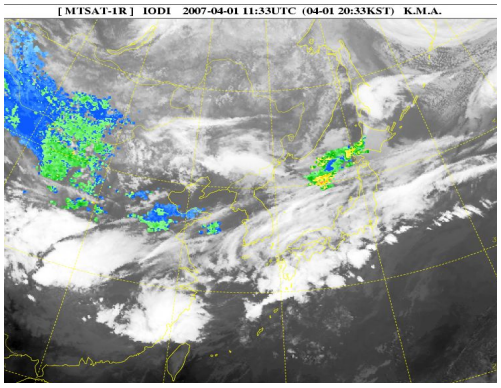
(a) 23:33UTC 31 Mar 2007



(b) 11:33UTC 31 Mar 2007



(c) 23:33UTC 31 Mar 2007



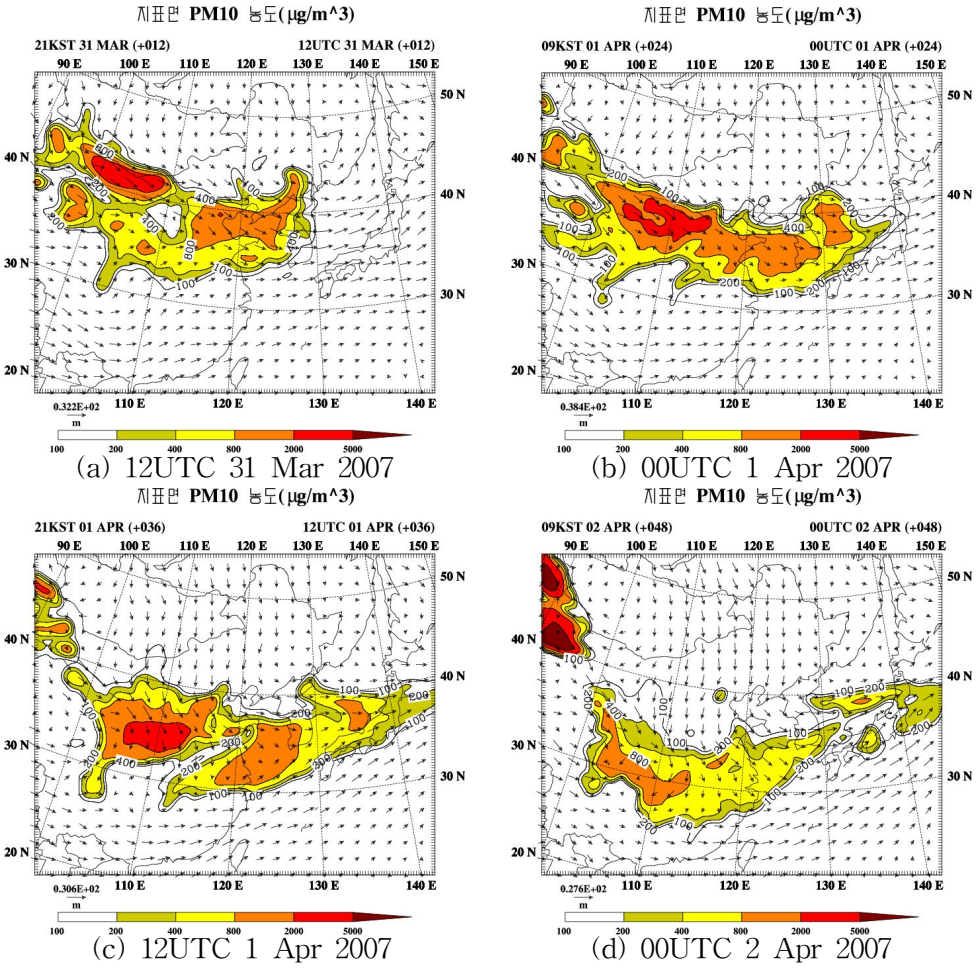
(d) 11:33UTC 1 Apr 2007

Fig 3.15 Asian Dust satellite images of MTSAT-1R.

MTSAT-1R 황사지수 IODI[12]자료는 Fig. 3.15의 (a)와 같이 3월 30일 08시33분에는 발해만과 만주지방으로 황사 이미지가 형성되어 있으며, 특히 만주지방으로 강한 강도를 보이고 있다. 12시간 이후인 4월 1일 8시 33분에는 중북부지방으로 이미지가 형성되어 있어 전국이 황사 영향권에 들어 있으며, 황사가 남동진해서 접근하기 보다는 서진하여 북한지방까지 이동한 후 남하하는 것으로 예상된다. 4월 1일 20시 33분에서는 영동지방에 머물러 있던 이미지는 해소되었지만 또 다른 황사대가 산둥반도에서 남동진하면서 호남지방으로 접근하고 있다.

12) IODI : Infrared Optical Depth Index

(6) 황사모델 자료 분석



(a) 12UTC 31 Mar 2007 (b) 00UTC 1 Apr 2007

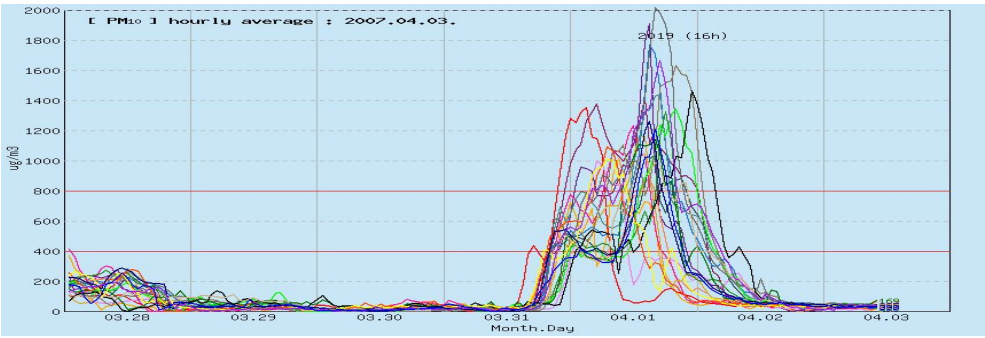
(c) 12UTC 1 Apr 2007 (d) 00UTC 2 Apr 2007

Fig 3.16 Asian Dust concentration model's products.

Fig 3.16의 (a)에서 모의한 자료는 400 ㎍/㎥ 이상역이 북한지방에서 서해남부해상으로 분포한 가운데 북서풍의 영향으로 남동진하여 접근할 것으로 예상하고 있다. Fig 3.16의 (b)에서는 서울, 경기도와 남부지방으로 800 ㎍/㎥ 이상역이 존재하고, (c)에서는 화중 상해부터 화남지역으로 800 ㎍/㎥ 이상역이 존재하면서 북한지역은 점차 해소되는 것으로 예상된다. (d)에서는 200 ㎍/㎥ 이상역은 남부지방으로만 걸쳐 있고, 남해안으로 400 ㎍/㎥ 이상이 남아 있어 황사의 완전 해소는 2일 후반에나 될 것으로 예상되었다.

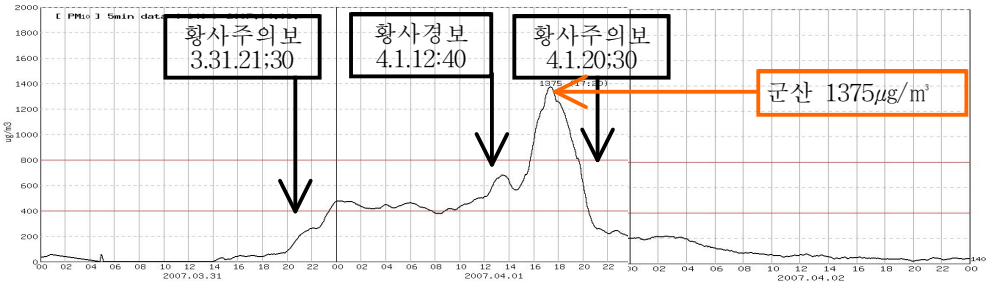
나. 군산지방의 황사특성 분석

(1) PM10 농도 분석



(a) The Distributions of daily mean concentrations of PM10 in Korea from 28 Mar to 3 Apr 2007.

[31일]□2044-□0 2100-□1 2400-[1일]□1 0300-□1 0600-□1 0900-□1 1200-□2 1500-□2 1800-□1 2100-□1 2400-[2일]-□0 0300-0430.



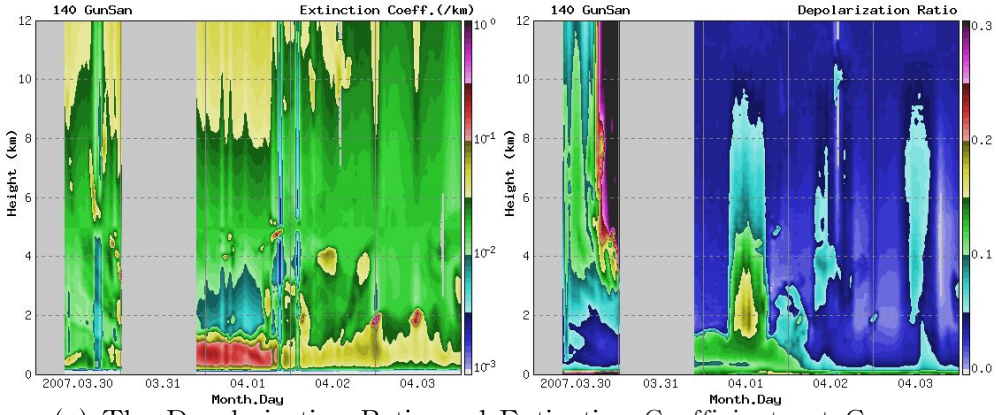
(b) The Distributions of hourly mean concentrations of PM10 at Gunsan from 31 Mar to 1 Apr 2007.

Fig 3.17 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations.

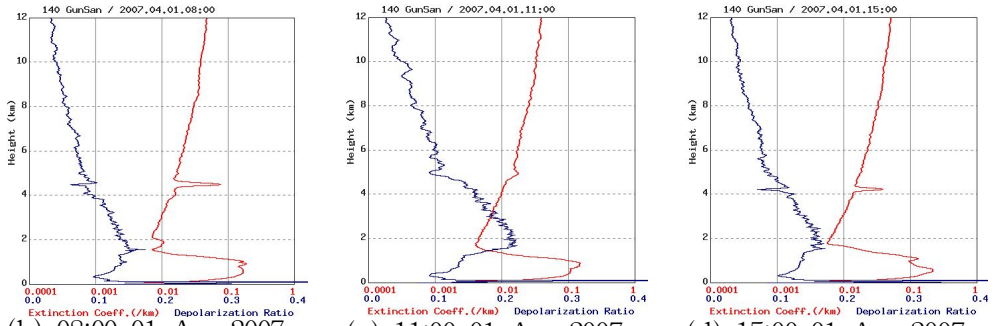
3월 31일 13시에 백령도를 시작으로 전국적으로 황사현상이 관측되기 시작하였으며, Fig 3.17의 (a)와 같이 PM10 농도 최고치는 대관령에서 2,095 ㎍/㎥을 기록했다. 31일 오후 3시부터 서해 5도를 시작으로 황사특보가 발표되기 시작하였다.

군산은 3월 31일 20시 15분부터 PM10 농도가 100 ㎍/㎥을 넘기 시작하면서 황사가 육안으로 관측되기 시작하였다. 이후 PM10 농도가 급격히 상승하면서 31일 21시 30분에 황사주의보, 4월 1일 12시 40분에는 황사경보가 발표되었다. 4월 1일 17시 20분에 극값 1,375 ㎍/㎥를 기록한 후 농도는 점차 약해지기 시작하였고, 4월 2일 4시 30분에 황사관측이 종료되었다.

(2) 라이다 분석



(a) The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan from 30 Mar to 3 Apr 2007.



(b) 08:00 01 Apr 2007 (c) 11:00 01 Apr 2007 (d) 15:00 01 Apr 2007

Fig 3.18 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan.

Fig 3.18의 (a)와 같이 황사시작시간 부근인 3월 31일 21시 무렵에 라이다 편광소멸도는 1.5km 이하에서 0.1 이상 나타나고 있다.

4월 1일 08시~14시에 1.5~3km 고도 부근에 편광소멸도가 0.15 이상 관측되다가 이후 1km 이하로 에어로솔이 침착되면서 PM10 농도가 증가하기 시작하여 에어로솔 침착 후 3~4시간 후인 17시 20분에 PM10 농도 극값이 관측되었다.

(3) PM10과 라이다, 윈드프로파일러의 자료 분석

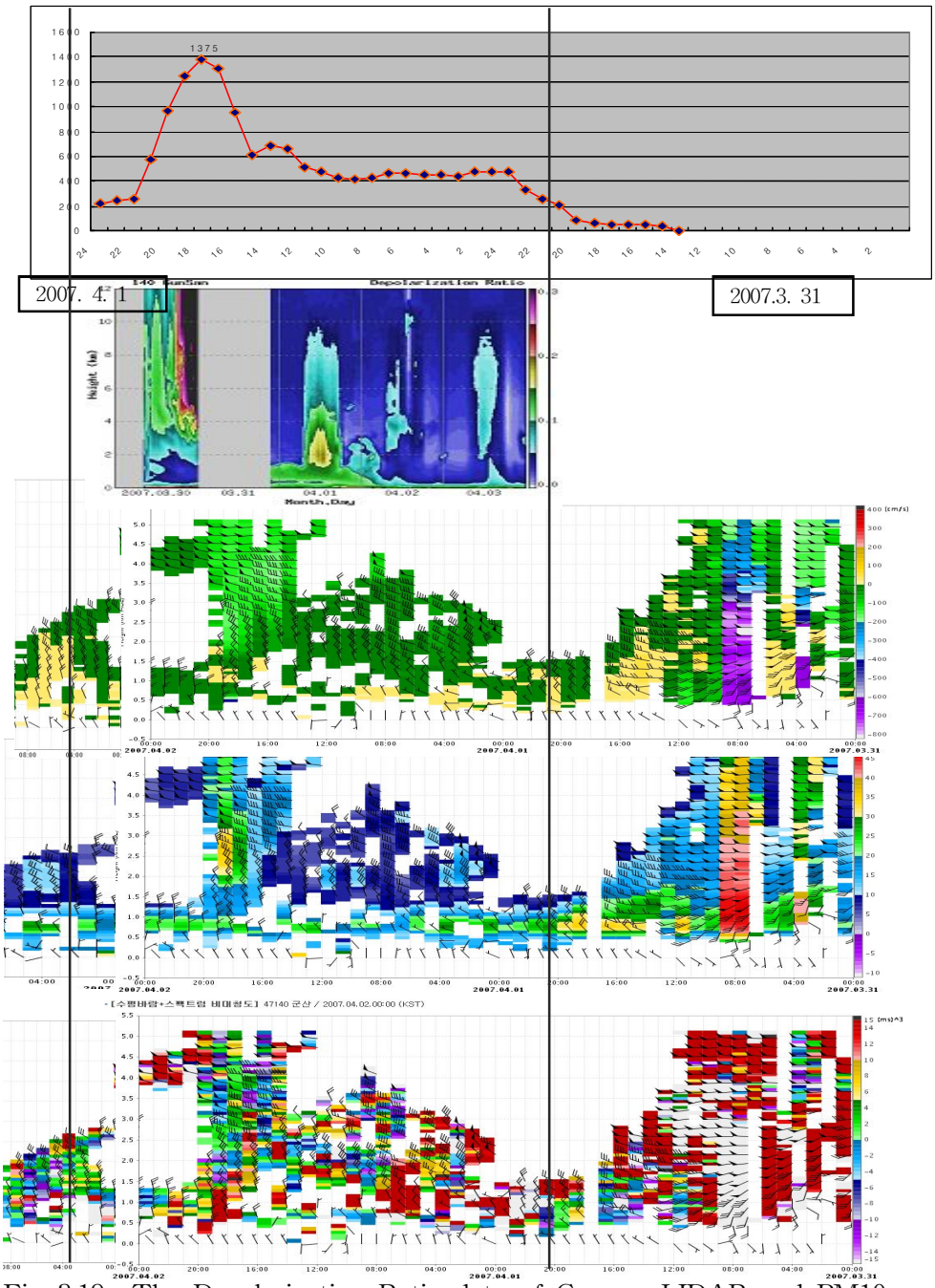


Fig 3.19 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and WindProfiler data from 30 MAR to 3 APR 2007.

3월 30일 내몽골과 고비사막에서 발생한 이번 황사는 내몽골의 관측지점인 쥬리허에서 PM10 농도 최고값이 9,984 ㎍/㎥를 기록했으며, 발달한 저기압의 접근으로 먼저 한반도 북쪽을 통과하면서 영향을 주기 시작하였고, 중북부지방과 동해안을 따라 남진하면서 영남지역에서 먼저 황사가 관측되는 특징을 보였다. 4월 1일 오전에 또 다른 황사가 산동반도에서 남동진하여 접근하면서 호남지방과 충청지방을 중심으로 영향을 주어 황사 지속시간이 길어지는 원인이 되었다.

군산은 3월 31일 20시 44분부터 지상에 황사가 관측(Fig 3.19 참조)되기 시작하였으며, PM10 농도 극값은 4월 1일 17시 20분에 1,375 ㎍/㎥을 기록했다.

라이다는 강수로 인해 관측이 중단되다가 31일 21시부터 관측이 시작되었으며, 이 시간대에는 이미 대기 중의 에어로솔이 1km 이하에 침착되어 있음을 알 수 있었다. 이후 4월 1일 08시～14시에 라이다의 편광소멸도가 일시적으로 0.15 이상 관측된 후 약 3～4시간 후에 PM10 농도 극값이 나타났다.

윈드프로파일러 연직바람은 31일 20시부터 NW풍의 하강(-)기류로 지상에 황사가 관측되기 시작하였으며, 4월 1일 12시～20시 2.5km～5km까지 40kts 이상의 W풍으로 황사가 이류되고 있음을 알 수 있다. 신호대 잡음비는 31일 20시～4월 2일 04시까지 1.5km이하에서 10dB 이상의 값이 관측되었고, 4월 1일 17시～19시까지 약 2시간동안 2km～3.5 km부근에서 신호대 잡음비가 30dB이상인 것을 발견할 수 있는데, 이는 PM10 극값 시간과 일치하고 있다. 스펙트럼 비대칭도는 +10 이상이 지상에서 5 km부근까지 산발적으로 나타나고 있어 비편광입자 분포가 폭넓게 위치하고 있음을 알 수 있다.

제2절 PM10농도 400㎍/㎥～800㎍/㎥이하

1. 황사사례 1 : 2005. 11. 6～7

가. 일반현황

11월 6일에서 7일 사이에 전국적으로 나타난 황사는 중국 북부지역에 한달 동안 비가 내리지 않아 건조현상이 지속된 가운데 몽골 남부 고비사막에서 발원한 것으로 고비사막 쪽에서 생겨난 한랭전선에 동반된 강한 바람에 의해 하층부 공기를 상공으로 빨아올리는 상승기류가 형성되어 한반도까지 황사를 유입시켰다. 이 황사는 6일 오전 발해만을 지나 서해와 북한에 도달하여 오후엔 경기·충청을 거쳐 호남지역까지 도달하였다.

(1) 중국 황사관측소별 PM10 농도 자료 분석

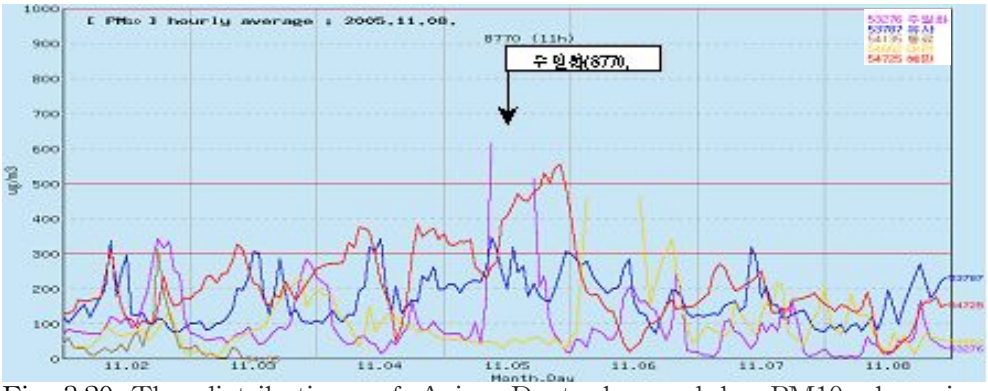
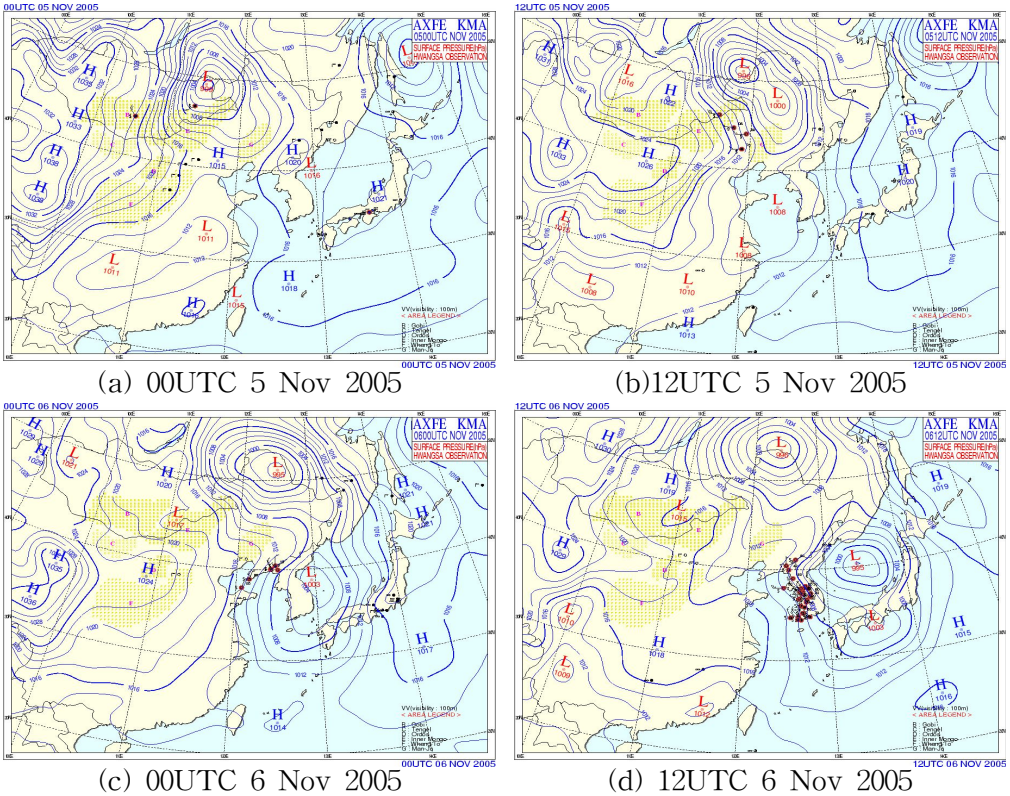


Fig 3.20 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 6 to 7 Nov 2005

Fig 3.20은 황사발원지 경로상에 있는 관측지점의 PM10 농도로 내몽골의 관측지점인 쥬리허의 PM10 농도는 11월 5일 12시에 9,357 ㎍/㎥의 최대값을 기록한 후 17시에 514 ㎍/㎥로 급격히 낮아졌다. 황토고원에 위치한 관측지점 중 하나인 유스에서는 5일 09시에 347 ㎍/㎥의 최고값을 기록한 후 농도의 별다른 변화는 없었다. 발해만의 관측지점 중 하나인 다롄에서는 6일 06시에 1,418㎍/㎥을 기록 후 이내 낮아졌다.

(2) 일기도 분석

① 황사일기도 분석



(a) 00UTC 5 Nov 2005 (b)12UTC 5 Nov 2005

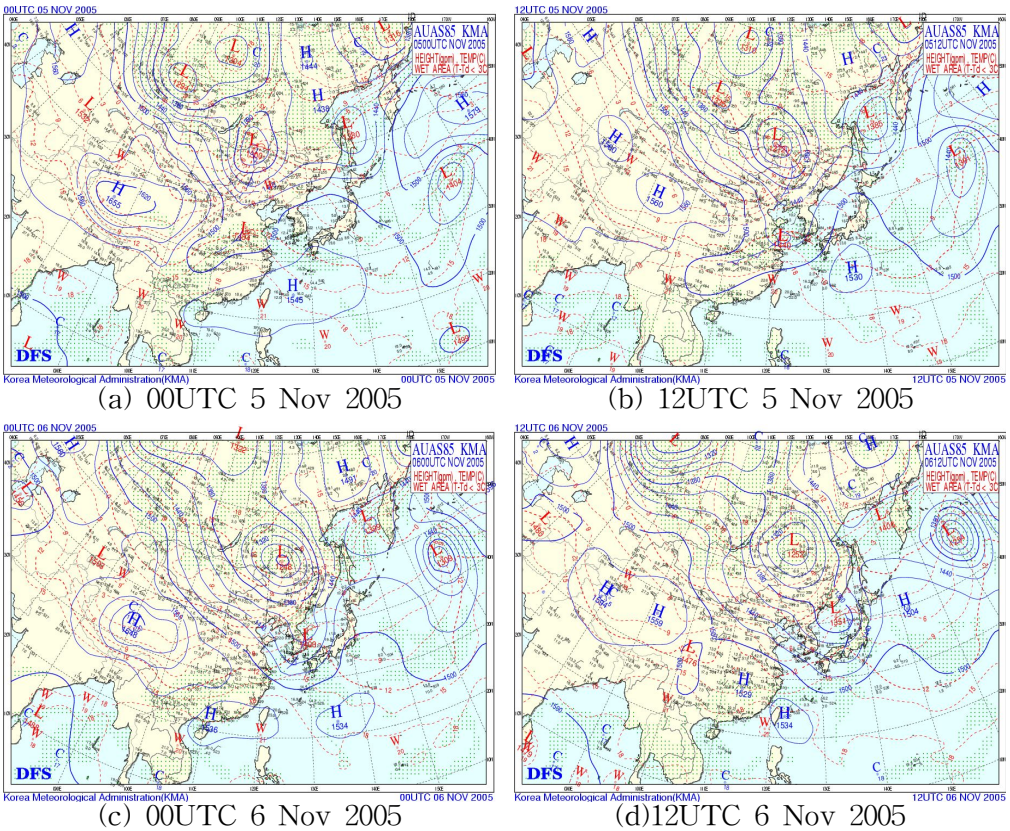
(c) 00UTC 6 Nov 2005 (d) 12UTC 6 Nov 2005

Fig 3.21 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure.

11월 4일 고비사막 북쪽 몽골지역에서 강한 저기압이 동진하면서 동반된 한랭전선이 고비사막과 내몽골지역을 통과한 후 그 후면에서 황사가 상공으로 부유하여 Fig 3.21의 (b)와 같이 내몽골과 만주 여러 곳에서 황사가 관측되고 있다.

Fig 3.21의 (c)에서는 한랭전선이 만주쪽으로 이동하면서 후면에 강한 북서계열의 바람이 불어 다량의 황사가 북한을 경유하여 우리나라로 유입되기 시작하였으며, Fig 3.21의 (d)에서는 전국에서 황사가 관측됨을 알 수 있다.

② 850hPa 유선 분석일기도



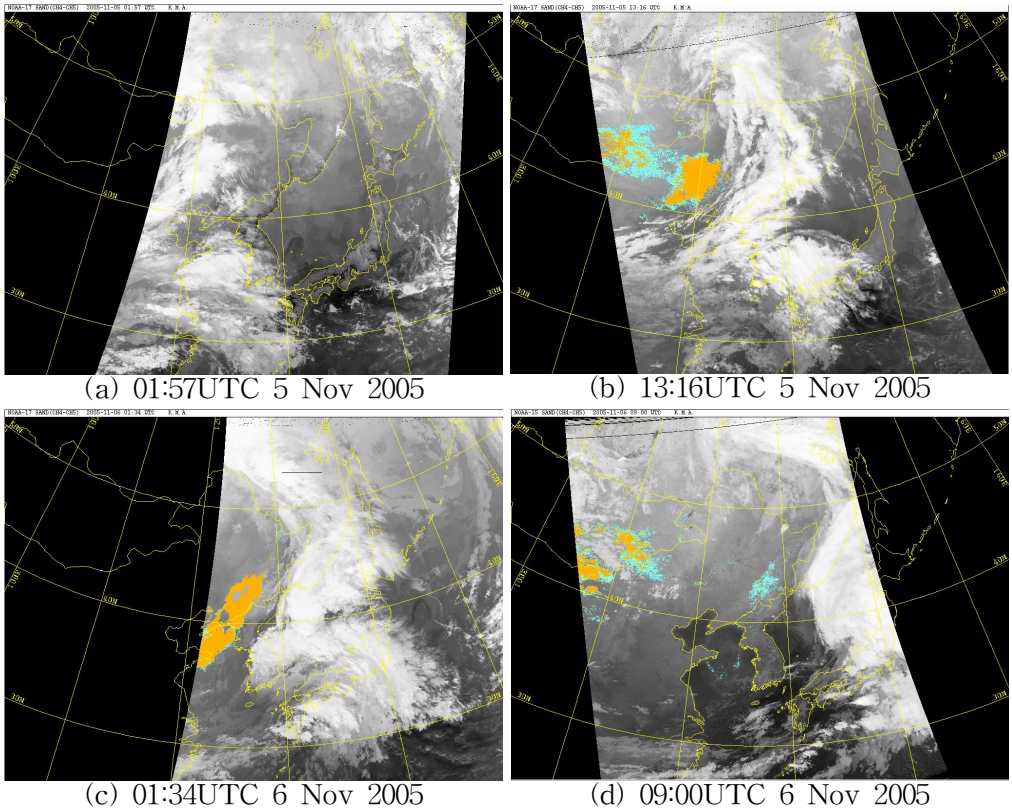
(a) 00UTC 5 Nov 2005 (b) 12UTC 5 Nov 2005

(c) 00UTC 6 Nov 2005 (d)12UTC 6 Nov 2005

Fig 3.22 The composite charts of streamline at 850 hPa.

11월 4일 12UTC에 몽골북쪽에 강한 저기압이 발생하여 이동하면서 동반된 한랭전선이 Fig 3.22의 (b)와 같이 발해만과 서해중부해상까지 영향을 미치고 있다. 이 기압골이 만주를 통과하면서 50 kts 가량의 강한 북서계열의 바람이 발해만과 서해중부지방으로 불면서 우리나라로 황사가 유입되었다.

(3) NOAA 위성영상 분석



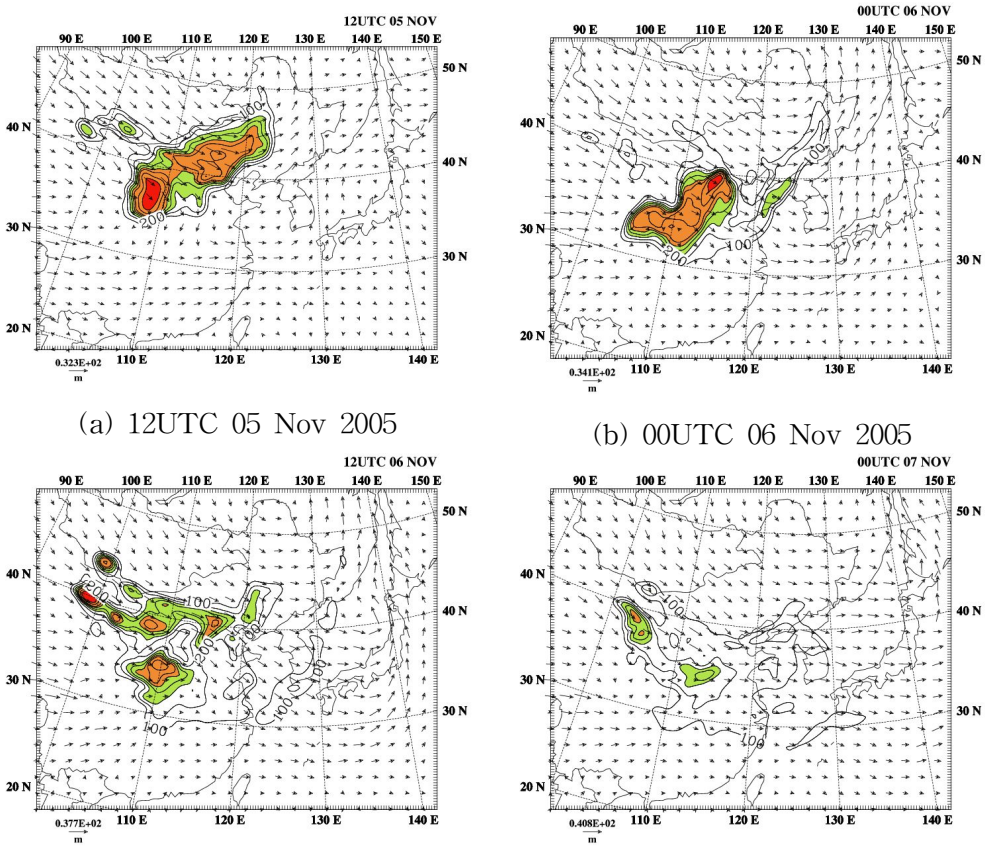
(a) 01:57UTC 5 Nov 2005 (b) 13:16UTC 5 Nov 2005

(c) 01:34UTC 6 Nov 2005 (d) 09:00UTC 6 Nov 2005

Fig 3.23 Asian Dust satellite images of NOAA.

Fig 3.23의 (b)에서 고비사막과 내몽골지역으로 황사가 관측되고 있으며, Fig 3.23의 (c)에는 발해만을 거쳐 북한에 영향을 주고 있는 모습이 관측되고 있다. 이 후 점차 남동진하면서 9일 09UTC에서는 서해안지방과 남부지방에 도달하여 일본남쪽으로 이동하는 모습이 관측되고 있다.

(4) 황사모델 자료 분석



(a) 12UTC 05 Nov 2005 (b) 00UTC 06 Nov 2005

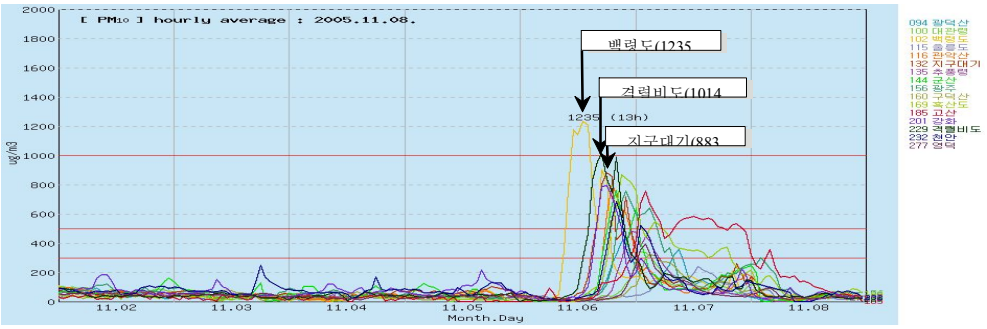
(c) 12UTC 06 Nov 2005 (d) 00UTC 07 Nov 2005

Fig 3.24 Asian Dust concentration model's products.

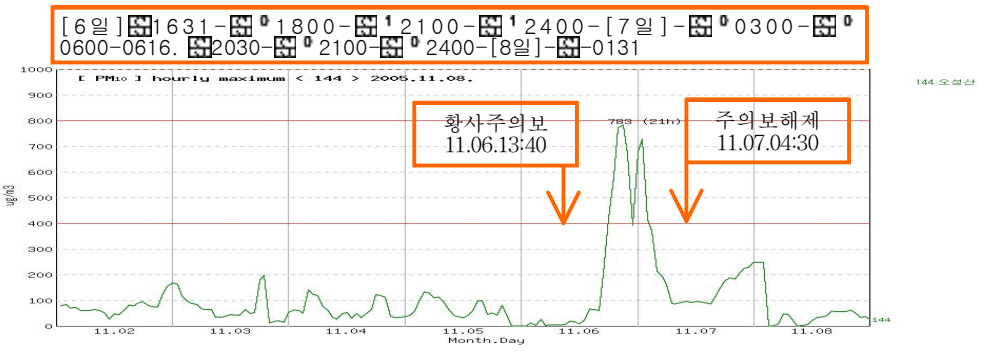
11월 5일 중국내륙의 고비사막과 내몽골지역에서 황사가 발원하여 남하하면서 일부는 북서계열 바람의 영향을 받아 Fig 3.24의 (b)와 같이 북한 일부지역에 영향을 주고 있고, Fig 3.24의 (c)에는 약한 황사가 중부지방과 남부지방으로 이동하여 우리나라에 영향을 주는 것으로 모의하고 있다. 실제 관측값과 대체로 일치하고 있으며, 6일과 7일에도 계속 우리나라에 영향을 미치고 있으며, 7일에는 상층에 부유하는 것으로 모의하고 있다.

나. 군산지방의 황사특성 분석

(1) PM10 농도 분석



(a) The Distributions of daily mean concentrations of PM10 in Korea from 2 to 8 Nov 2005



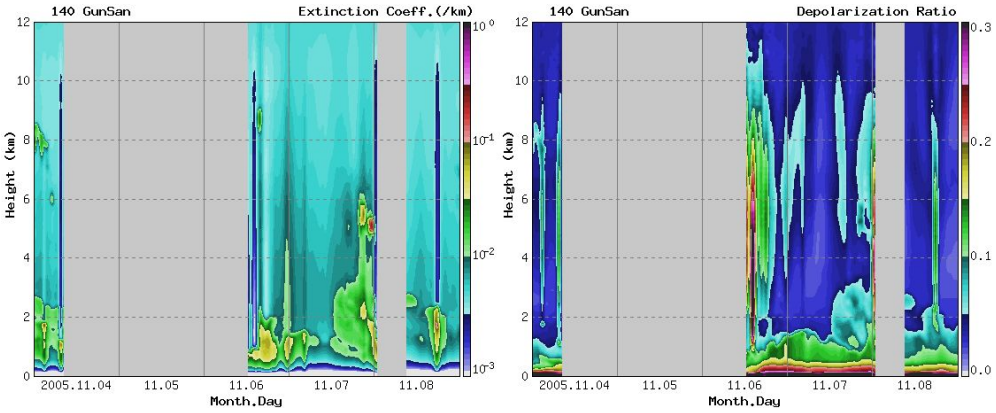
(b) The Distributions of hourly mean concentrations of PM10 at Gunsan from 2 to 8 Nov 2005.

Fig 3.25 The Asian Dust PM10 concentration in korea observation station.

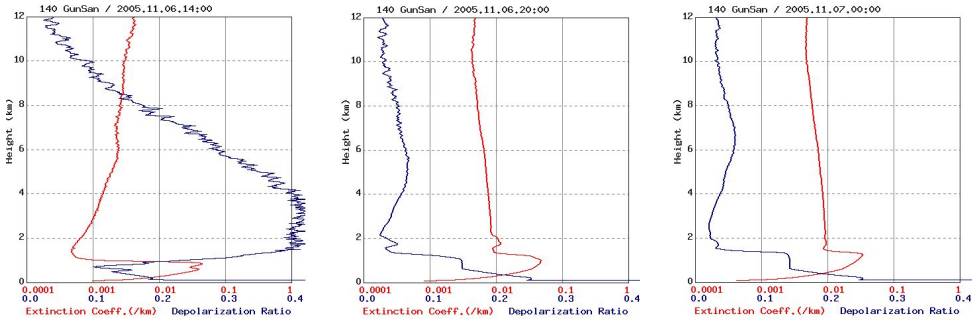
11월 6일 오전 9시경 백령도에서부터 황사가 관측되기 시작하였으며, 지점별 PM10 농도는 Fig 3.25의 (a)와 같이 백령도 1,275㎍/㎥, 강화도 811㎍/㎥, 군산 783 ㎍/㎥의 값을 기록해 서해상의 섬지방과 중부지방 북부 내륙지방을 중심으로 높은 값을 기록했다.

강수가 종료된 후 6일 13시 40분을 기해 황사주의보가 발표되었으며, 군산은 6일 16시 31분부터 황사현상이 관측되기 시작하였다. 황사주의보는 7일 4시 30분을 기해 해제되었다.

(2) 라이다 분석



(a) The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan from 4 to 8 Nov 2005.



(b) 14:00 06 Nov 2005 (c) 20:00 06 Nov 2005 (d) 00:00 07 Nov 2005

Fig 3.26 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan.

11월 6일 강수 종료 후 12시부터 라이다 관측이 시작되었으며, Fig 3.26의 (a)에서와 같이 2~6km 부근에 12시~15시에 편광소멸도가 0.4 이상 관측되어 대기 상층에 에어로솔이 존재함을 알 수 있었다. 이 후 황사관측 기간동안 1km 이하에서 편광소멸도가 0.2 이상 관측되어 대기중의 에어로솔이 지상에 침착되면서 PM10 농도는 증가하기 시작해 6일 21시 부근에 극값이 관측되었다.

(3) PM10과 라이다, 윈드프로파일러의 자료 분석

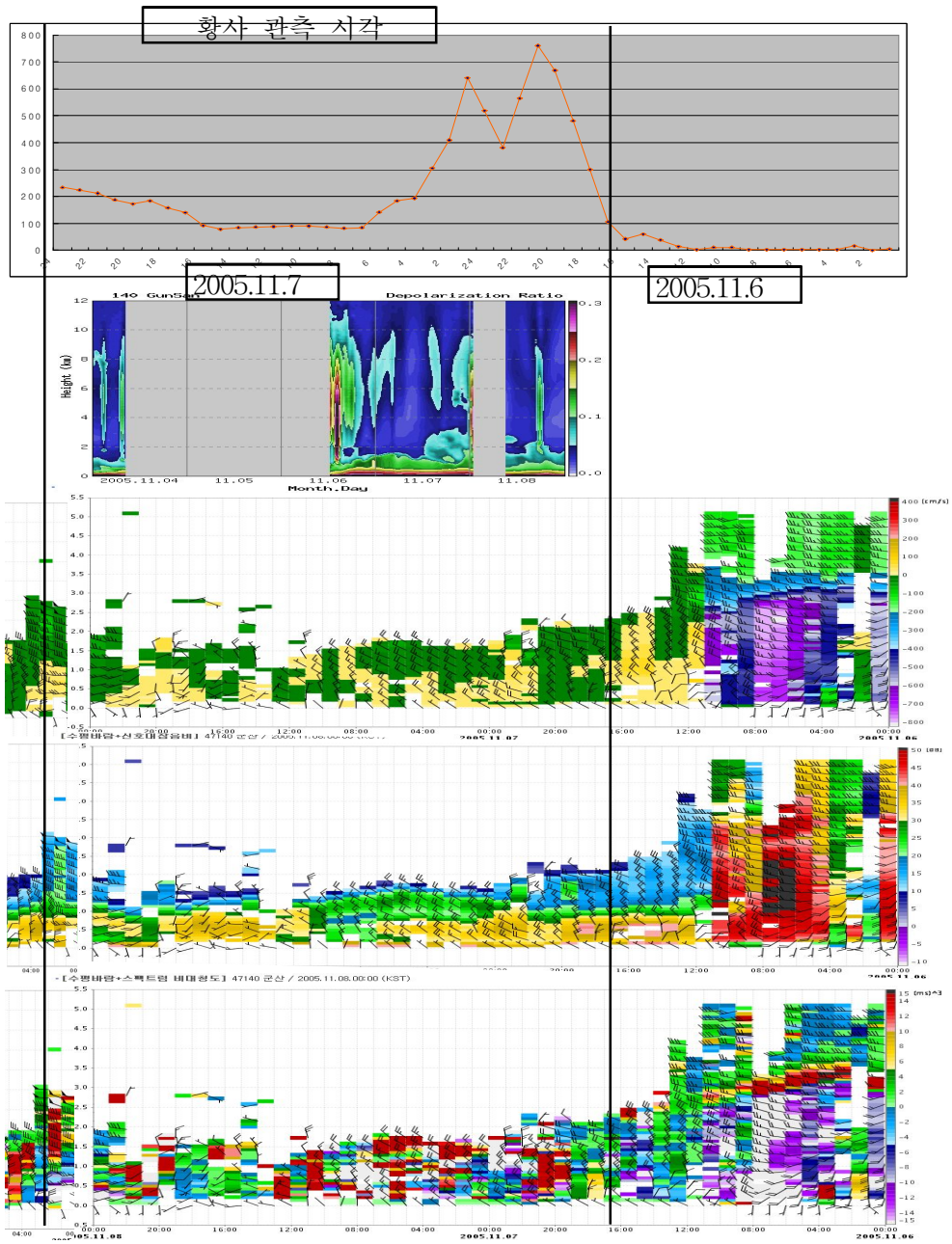


Fig 3.27 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and WindProfiler data from 6 to 7 Nov 2005.

중국 북부지역에 한달 동안 비가 내리지 않아 건조현상이 지속된 가운데 몽골 남부 고비사막에서 발원한 이번 황사는 고비사막 쪽에서 생겨난 한랭전선에 동반된 강한 바람에 의해 하층부 공기를 상공으로 빨아올리는 상승기류가 형성되어 한반도까지 황사를 유입시켰다. 내몽골의 황사관측지점중 하나인 쥬리허에서 11월 5일 12시 PM10 농도값이 9,357 ㎍/㎥로 최고값이 관측되었으며, 발해만의 관측지점인 다롄에서는 6일 07시에 PM10 농도 1,691 ㎍/㎥을 기록하였다.

군산은 11월 6일 16시 31분부터 지상에 황사현상이 관측되기 시작하였으며, 21시 10분의 PM10농도는 783 ㎍/㎥으로 최고값을 기록했다. 6일 강수가 종료된 후 12시부터 라이다 관측을 시작하였으며, 6일 12시~14시에 1~7 km부근에 편광소멸도가 0.4를 넘어 대기중의 에어로솔 농도가 강함을 알 수 있었으며, 이 후 1 km이하에 편광소멸도가 0.2 이상 관측되어 대기중의 에어로솔이 지상에 침착됨을 알 수 있었다.

Fig 3.27(http://www.kma.go.kr)과 같이 윈드프로파일러의 수평바람은 6일 16시~8일 01시까지 NW풍이 탁월하게 나타났으며, 7일 21시 부근에 일시적으로 남서풍이 관측되었다. 6일 16시 연직바람의 하강(-)기류로 지상에 황사현상이 관측되기 시작하였으며, 신호대 잡음비는 6일 16시~8일 01시까지 1km 이하에서 30dB 이상이 지속적으로 나타나고 있다. 이는 라이다의 편광소멸도가 1km 이하에서 0.2 이상 관측 될 때와 일치함을 알 수 있는데, 이는 지면에 침착된 에어로솔의 농도가 강할수록 신호대 잡음비가 증가하는 것으로 판단된다. 스펙트럼 비대칭도는 황사 관측기간 동안 +값이 지배적임을 알 수 있었다.

2. 황사사례 2 : 2006. 3. 28

가. 일반현황

3월 26일 고비사막과 내몽골에서 황사가 발원하였으며, 내몽골에 위치한 저기압이 만주를 거쳐 계속 동진해서 동해상으로 이동하였다. 발원한 황사는 이 저기압 후면에서 우리나라로 유입되었다. 27일 오후 백령도를 시작으로 황사의 영향이 나타나기 시작하였으며, 북한 서부지역을 거쳐 점차 우리나라 전역에 영향을 나타냈다. 화중과 황토고원의 일부 황사는 남쪽으로 이동하면서 약화되어 소멸하였다.

(1) 중국 황사관측소별 PM10 농도 및 분석

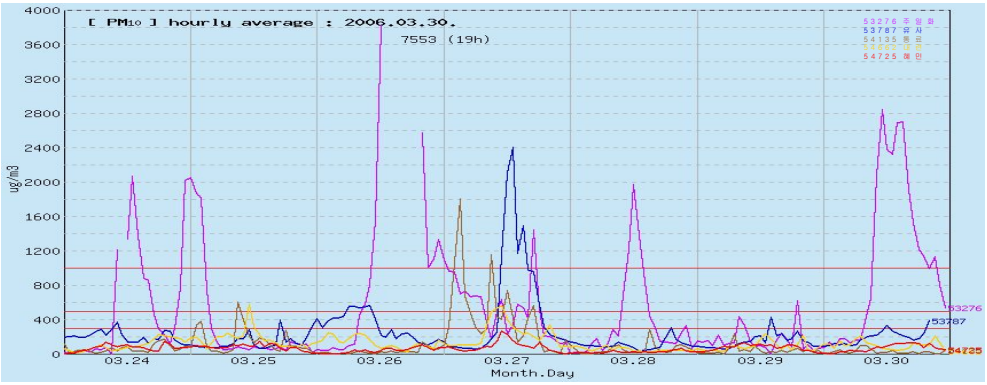
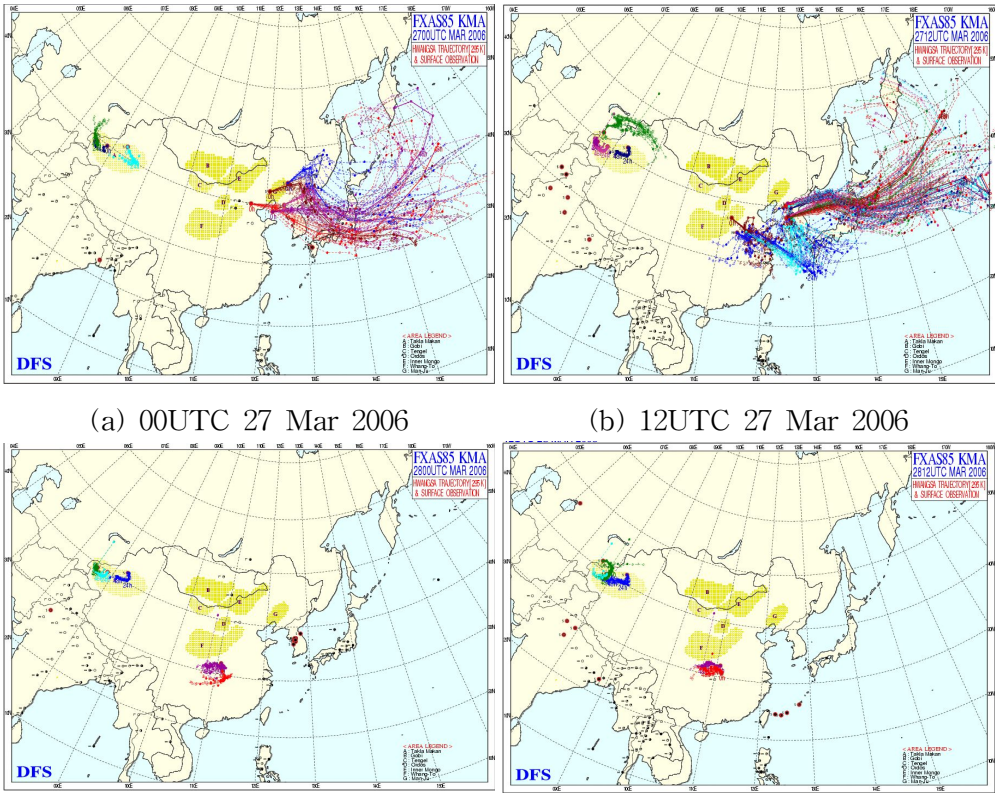


Fig 3.28 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 24 to 30 Mar 2006.

내몽골의 황사발원지 경로상에 있는 쥬리허의 PM10 농도는 Fig 3.28과 같이 3월 26일 08시 455 ㎍/㎥로 점차 증가하기 시작하여 20시에 최고치 9,435㎍/㎥를 기록하여 다량의 황사가 발생되었음을 알 수 있었다. 이후 점차 약화되어 27일 17시에 1,446 ㎍/㎥를 기록한 후 100 ㎍/㎥로 약화되었다. 황토고원의 관측지점 중 하나인 유스에서는 27일 13시에 2,406 ㎍/㎥를 기록하였다. 만주황사발원지의 지점 중 하나인 통랴오에서는 27일 03시에 1,801 ㎍/㎥, 09시에 1,159 ㎍/㎥의 PM10 농도를 기록하였으나, 발해만부근의 다롄지역에서는 100~500 ㎍/㎥ 약한 황사를 기록하였다.

(2) 황사 추적도



(a) 00UTC 27 Mar 2006 (b) 12UTC 27 Mar 2006

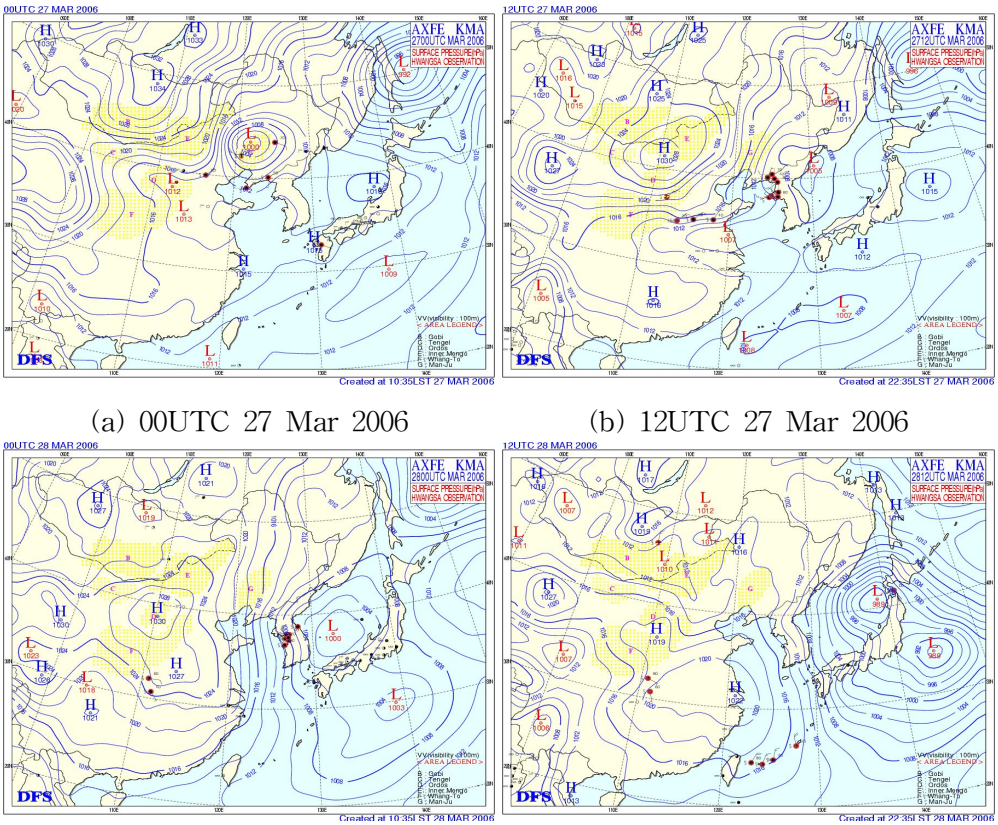
(c) 00UTC 28 Mar 2006 (d) 12UTC 28 Mar 2006

Fig 3.29 The Asian Dust trace charts on the isentropic level of 295k.

Fig 3.29의 (a)에서는 만주지역에서 발생한 황사와 황토고원에서 발생한 황사가 24시간 이내에 우리나라 전역을 뒤덮는 강한 황사로 유입되고 있음을 예상하고 있다. Fig 3.29의 (b)에서는 황사의 진로가 동해상과 서해상을 통과하여 남해상으로 진출하는 것으로 예상하였다. Fig 3.29의 (c)에서는 우리나라 중부지방에 황사가 이미 관측되고 있으며, Fig 3.29의 (d)에서는 우리나라 전역에 황사현상이 종료되었음을 알 수 있다.

(3) 일기도 분석

① 황사일기도



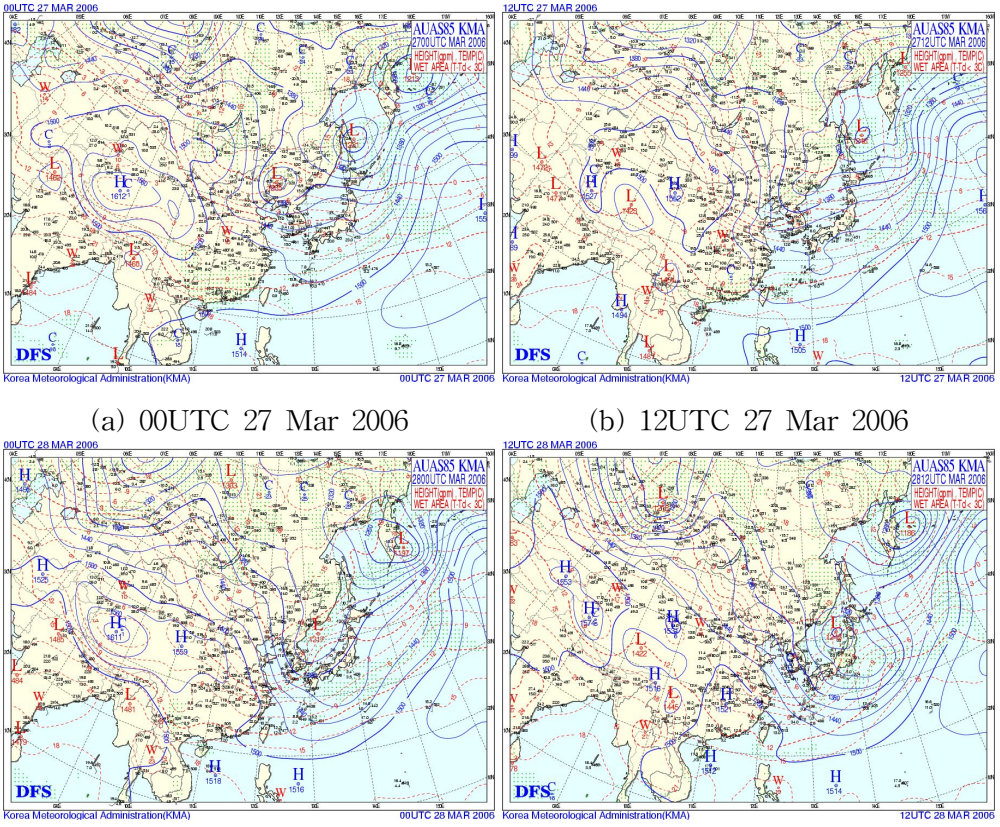
(a) 00UTC 27 Mar 2006 (b) 12UTC 27 Mar 2006

(c) 00UTC 28 Mar 2006 (d) 12UTC 28 Mar 2006

Fig 3.30 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure.

3월 25일 몽골에 1014 hPa 저기압이 점차 발달하면서 고비사막의 미세먼지를 불려 올려 동남동쪽으로 이동하면서 998hPa까지 발달하여 발원지로부터의 황사가 저기압 후면에 동반되어 이동하였다. Fig 3.30의 (a)에서는 화북지방과 산동반도까지 황사현상이 나타났고, 백령도지방에서는 16시 이후부터 PM10 값이 급격히 높아지기 시작하여 400$\mu g/m^3$을 기록했으나 이후 약해졌다. 일본 동쪽 해상의 고기압이 버티고 있어 발달한 저기압이 느리게 동해상으로 빠져나가면서 예상보다 느리게 움직여 28일 후반까지 전국적으로 황사가 나타났다.

② 850hPa 유선 분석일기도



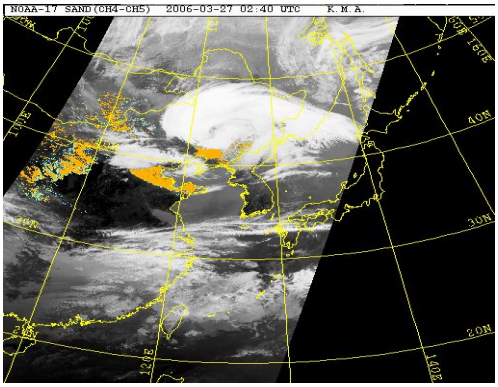
(a) 00UTC 27 Mar 2006 (b) 12UTC 27 Mar 2006

(c) 00UTC 28 Mar 2006 (d) 12UTC 28 Mar 2006

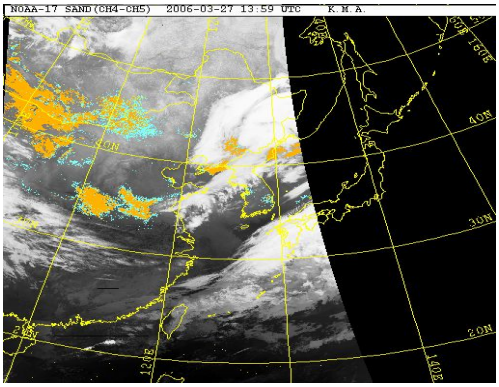
Fig 3.31 The composite charts of streamline at 850 hPa.

Fig 3.31의 (a) 일기도에서 수분속은 지속적으로 북쪽의 차고 건조한 바람이 불어들고, 850 hPa 유선은 북서쪽에서는 북북서 내지 북서 계열의 바람이 불어 들어오고, 한반도에 들어서면서는 서풍계열의 바람으로 바뀌면서 이동 속도가 조금 느리게 진행되고 있었다. 따라서 예상했던 것보다 황사의 진행시간이 약간 늦어지면서 강도도 주의보의 단계는 아니지만 예상보다 강하게 나타났다.

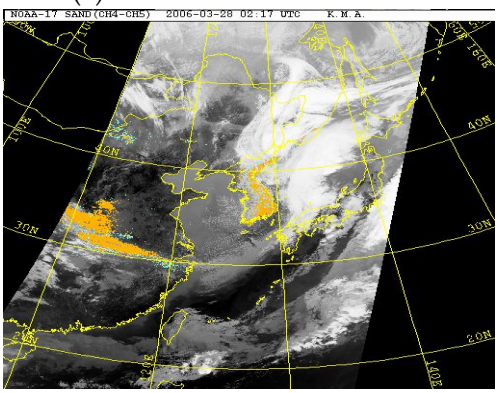
(4) NOAA 위성영상



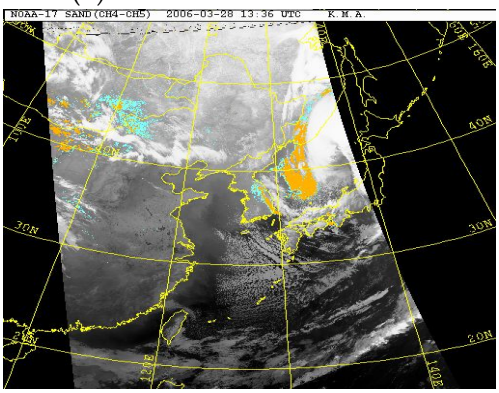
(a) 02:40UTC 27 Mar 2006



(b) 13:59UTC 27 Mar 2006



(c) 02:17UTC 28 Mar 2006

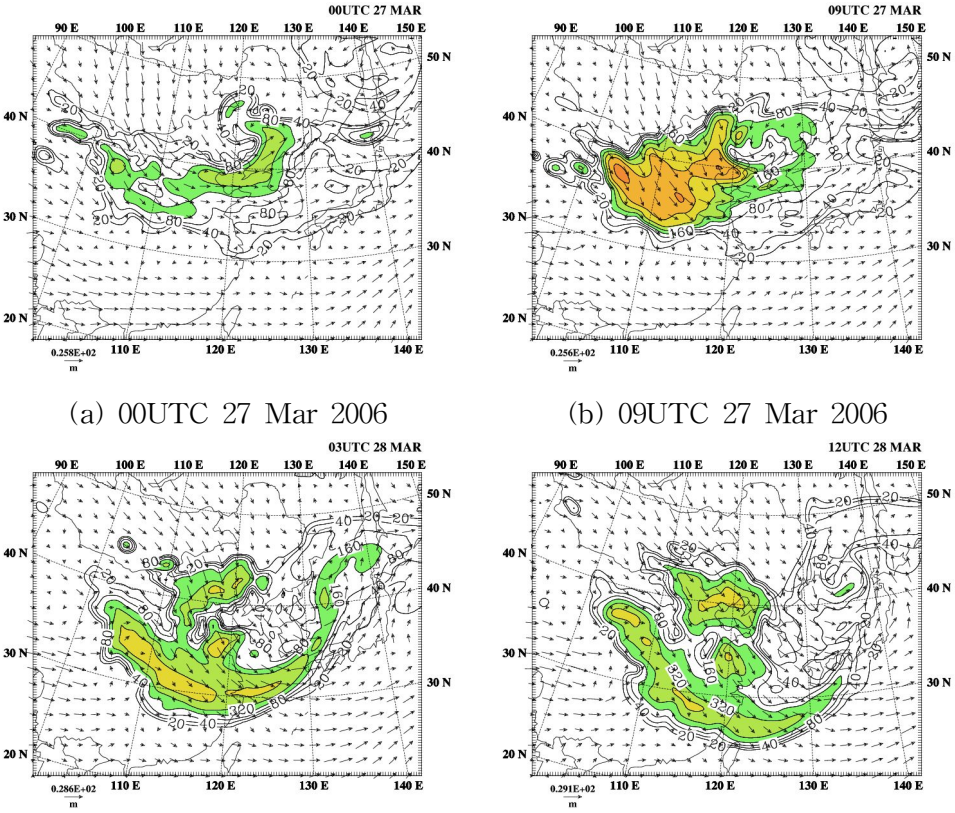


(d) 13:36UTC 28 Mar 2006

Fig 3.32 Asian Dust satellite images of NOAA.

Fig 3.32의 (a)에서 기압골을 따라 발해만에서 우리나라로 접근하고 있는 황사대가 보이며, (b)에서는 기압골이 우리나라를 통과하면서 그 후면에서 황사가 관측되고 있다. (c)에서는 기압골이 우리나라를 완전히 통과한 후 한반도 전지역에서 황사영상이 관측되고 있다. 이 황사는 28일 자정쯤 동해안으로 이동하여 동해안 일부지역에서 황사가 관측되고 있다.

(5) 황사모델 자료 분석



(a) 00UTC 27 Mar 2006 (b) 09UTC 27 Mar 2006

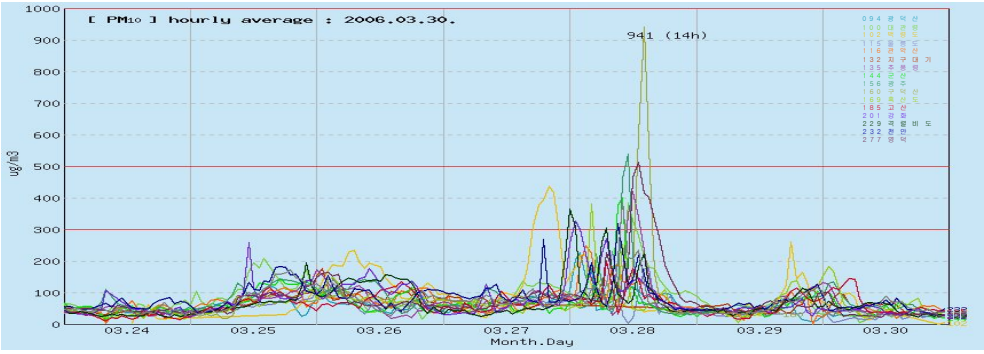
(c) 03UTC 28 Mar 2006 (d) 09UTC 28 Mar 2006

Fig 3.33 Asian Dust concentration model's products.

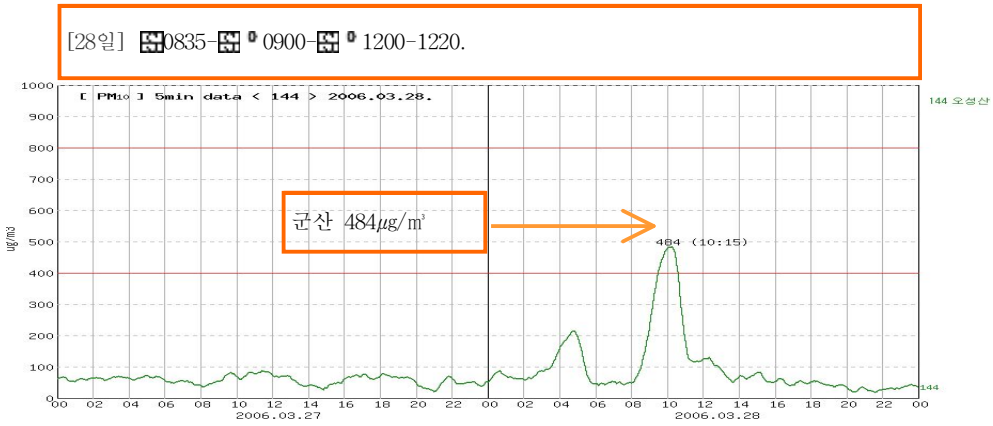
중국 황사발원지의 경로상에 있는 관측지점인 쥬리허, 유스, 다롄 및 통랴오 지역에서 Fig 3.33의 (b)와 같이 1,000~4,000 ㎍/㎥의 PM10 농도가 관측되었으며, 한반도 전역에는 3월 27일~28일 PM10 농도는 100~300 ㎍/㎥의 약한 황사가 관측되었다. 이때 황사모델자료는 Fig 3.33의 (b)에서 쥬리허, 유스 지역에 최고 PM10 농도 2,000 ㎍/㎥의 강한 황사 발생을 예측했다. 또한 이들이 한반도로 수송되어 Fig 3.33의 (d)에는 PM10 농도가 100~200 ㎍/㎥ 관측될 것으로 예상하였다.

나. 군산지방의 황사특성 분석

(1) PM10 농도 분석



(a) The Distributions of daily mean concentrations of PM10 in Korea from 24 to 30 Mar 2006.

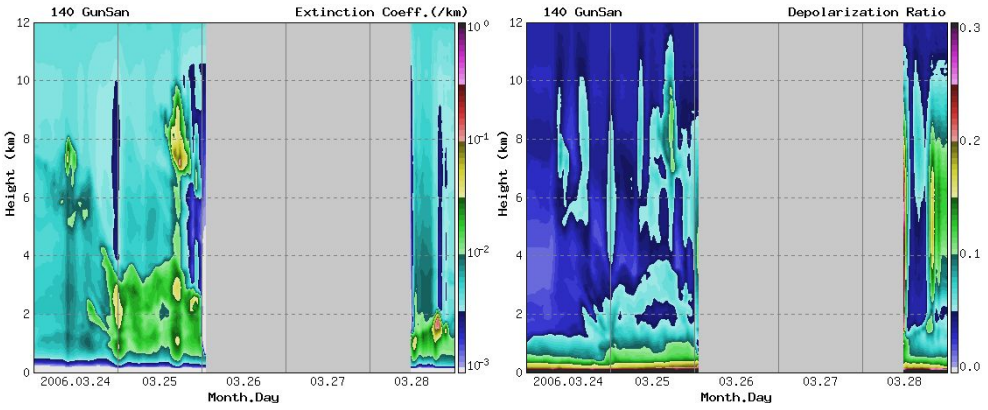


(b) The Distributions of hourly mean concentrations of PM10 at Gunsan from 27 to 28 Mar 2006.

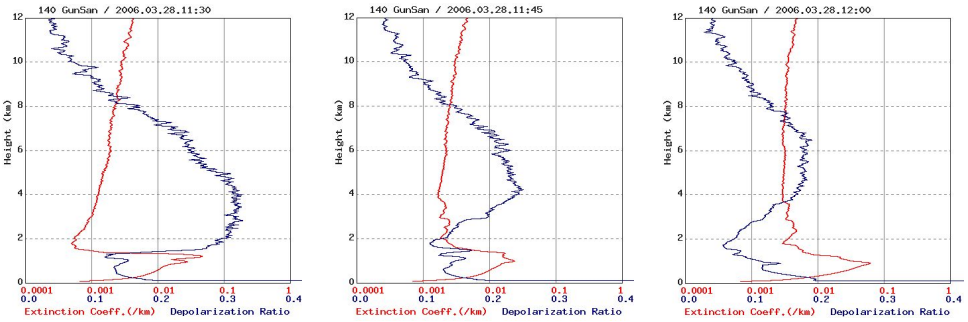
Fig 3.34 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations.

Fig 3.34의 (a)에서 3월 27일 오후에 백령도에서부터 황사가 관측되기 시작하였으며, 28일에는 전국적으로 황사가 관측되었다. Fig 3.34의 (b)에서 군산은 28일 08시~12시 경까지 황사가 관측되었으나 지속시간은 4시간 정도로 아주 짧게 나타났으며, PM10 농도 극값은 484㎍/㎥를 기록했다.

(2) 라이다 분석



(a) The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan from 24 to 28 Mar 2006.



(b) 11:30 28 Mar 2006 (c) 11:45 28 Mar 2006 (d) 12:00 28 Mar 2006

Fig 3.35 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan.

Fig 3.35의 (a)에서 라이다는 3월 27일 10시부터 28일 11시 30분까지 관측이 중단되었는데, 자동개폐장치를 새로운 장치로 교체 설치하고 자동개폐장치 주변부 실리콘이 굳을 때까지 가동이 중단되어 아쉽게도 황사가 끝나가는 시점인 11시부터 12시까지의 관측자료만 있다. Fig 3.35의 (b)에는 2~4 km부근에 편광소멸도가 0.3 이상이 관측되어 상층에 에어로솔의 존재여부를 확실히 알 수 있으나, 점차 고도가 높아지고 편광소멸도 값도 감소하여 지상에 황사가 점차 끝나감을 알 수 있다.

(3) PM10과 라이다, 윈드프로파일러의 자료 분석

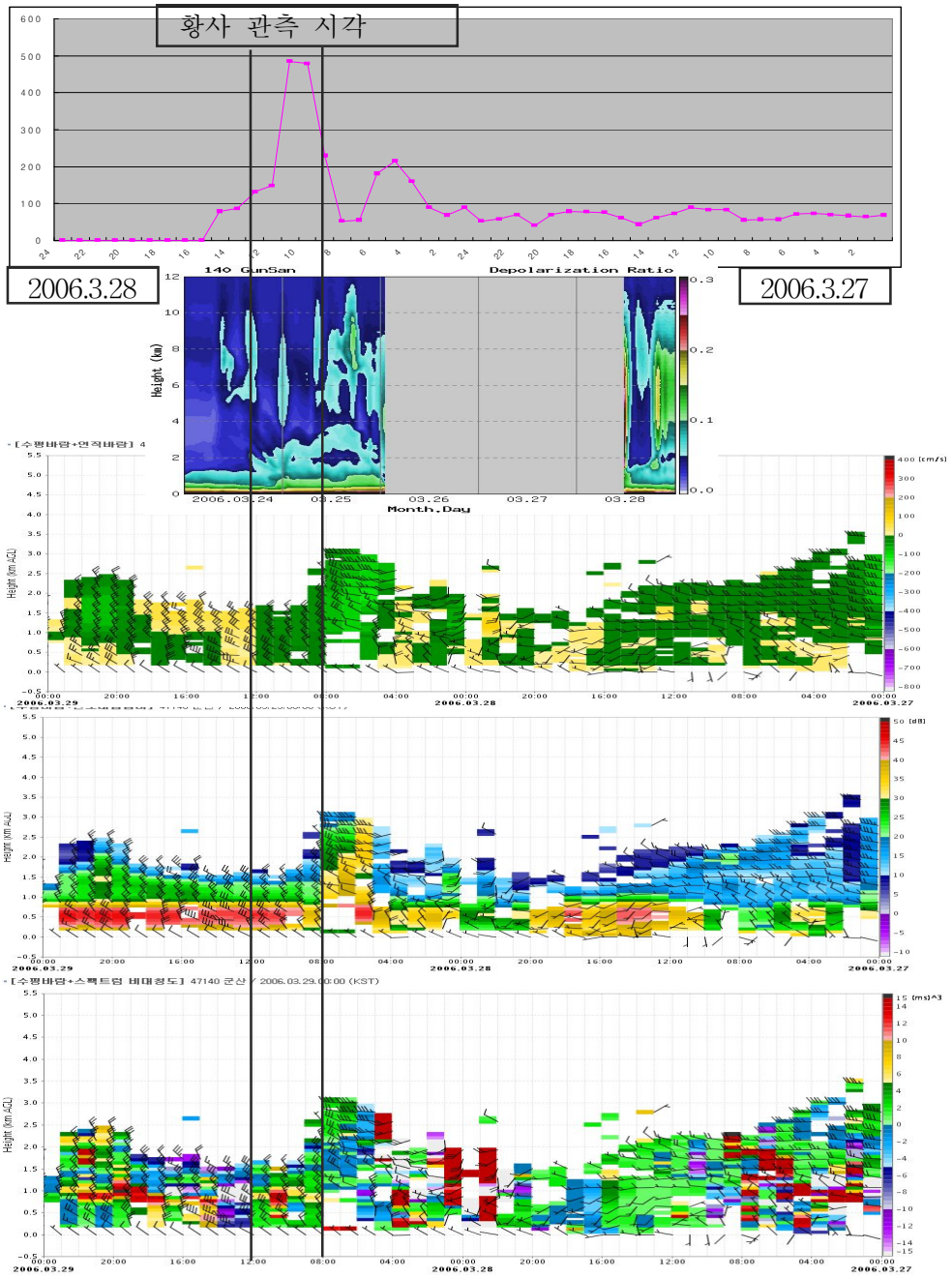


Fig 3.36 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 27 to 28 Mar 2006.

3월 26일 고비사막과 내몽골에서 황사가 발원하였으며, 내몽골의 경로상에 있는 관측지점 중 하나인 쥬리허에서 26일 08시경에 PM10농도 455 ㎍/㎥를 시작으로 점차 증가하기 시작하여 20시에 9,435 ㎍/㎥를 기록하여 다량의 황사가 발생되었음을 알 수 있었다. 황토고원의 관측지점인 유스와 발해만의 관측지점인 다롄도 27일 3,000 ㎍/㎥ 이상의 PM10 농도를 기록했다.

Fig 3.36에서 군산은 28일 08시 35분부터 지상에 황사현상이 관측되기 시작하였으나 지속시간은 4시간 정도로 짧았으며, PM10농도 최대극값은 484 ㎍/㎥를 기록했다.

라이다의 자동개폐장치 교체로 관측자료는 작으나 28일 11시 30분에 2~4km 부근에 편광소멸도가 0.3 이상을 나타내어 상층에 에어로솔의 존재여부를 알 수 있었으며, 이후 1km 이하에 편광소멸도가 0.2 이상 나타나고 있어 에어로솔이 지상에 침착되었음을 알 수 있었다.

윈드프로파일러의 수평바람은 28일 08시~12시까지 NW풍이 탁월하게 나타났으며, 하강(-)기류가 지배적임을 알 수 있었다. 신호대 잡음비는 28일 09~24시까지 1 km 이하에서 40 dB이상 관측되고 있으며, 이는 같은 시간대에 라이다의 편광소멸도가 1 km 이하에 0.2 이상 관측되고 있어 지상에 침착된 라이다의 편광소멸도가 강할수록 신호대 잡음비도 증가함을 알 수 있다. 스펙트럼 비대칭도는 황사관측기간동안 +값이 지배적이나 PM10 극값 관측시각인 10시부근에 +10 이상 관측되었음을 알 수 있었다.

제3절 PM10 400㎍/㎥ 미만

1. 황사사례 1 : 2006. 3. 11

가. 일반현황

황사발원지인 고비사막에서 발생한 이번 황사는 9일에 몽골과 황토고원으로 확대되었으며, 남고북저형 기압배치 하에서 북쪽 저기압의 영향을 받았으며, 이 저기압이 계속 발달하면서 발원지의 황사를 부유하게 하였다. 10일에는 만주지방에 중심을 둔 한랭전선을 동반한 기압골이 점차 이동하면서, 중국 황사발원지를 비롯해 발해만과 만주지역에 걸쳐 대규모로 황사현상이 관측되었고, 북한지방과 서해중북부 해상을 지나 중부지방으로 이동하였다. 북한지방에서는 Cold front가 지나가면서 강수가 지속되었고, 국지적으로 황사가 관측되었으며, 이후 저기압이 대륙성 기단의 영향으로 점차 약화되면서 황사현상 관측은 종료되었다.

(1) 중국 황사관측소별 PM10 농도 분석

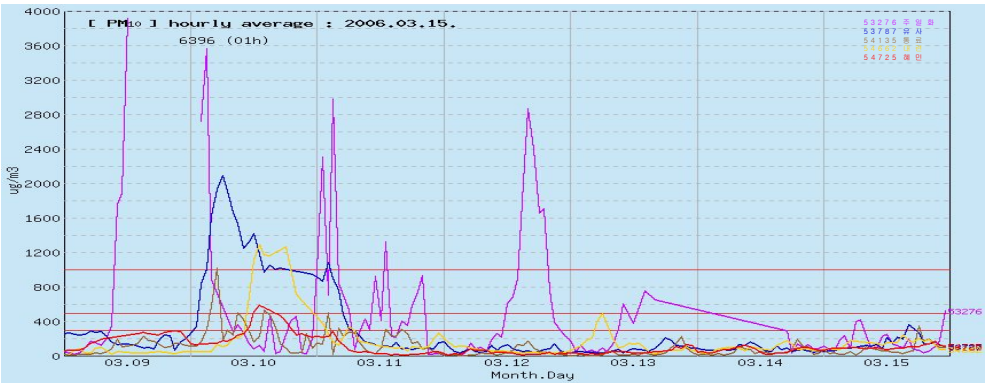
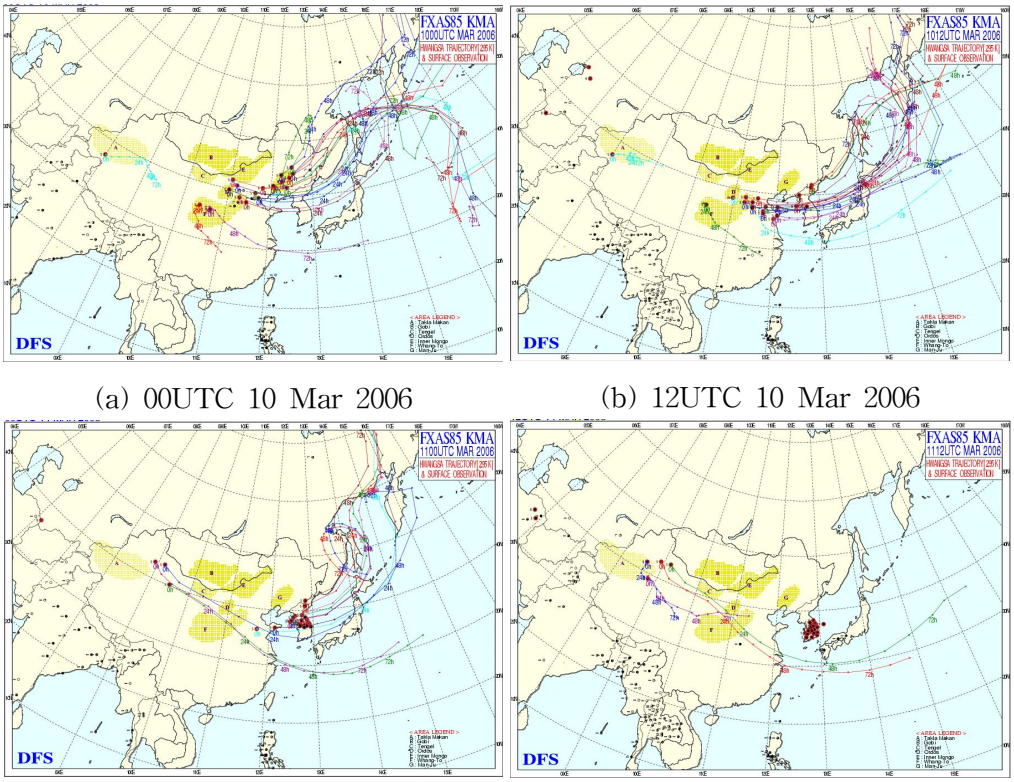


Fig 3.37 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 9 to 15 Mar 2006.

Fig 3.37에서 내몽골의 황사관측지점 중 하나인 쥬리허에서 3월 10일 02시에 9,637 ㎍/㎥로 최고값이 관측되었으며, 황토고원에 위치한 관측지점인 유스에서는 06시에 2,095 ㎍/㎥로 최고값을 기록하였다. 만주지방의 황사관측지점 중 하나인 통랴오는 05시에 1,020 ㎍/㎥, 발해만의 관측지점인 다롄은 13시에 1,289 ㎍/㎥, 후이민은 13시에 587 ㎍/㎥값을 기록하였다.

(2) 황사 추적도



(a) 00UTC 10 Mar 2006 (b) 12UTC 10 Mar 2006

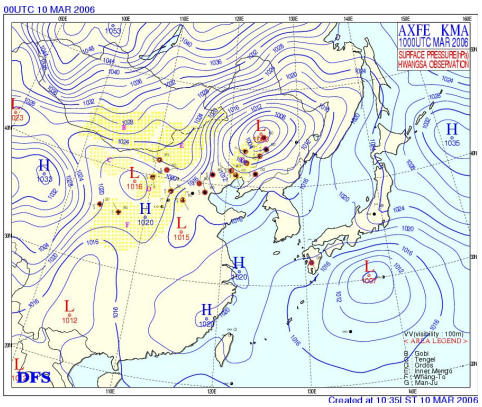
(c) 00UTC 11 Mar 2006 (d) 12UTC 11 Ma 2006

Fig 3.38 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure.

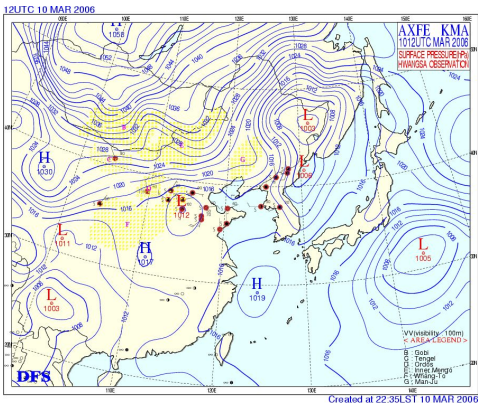
Fig 3.38의 (a)에서는 황토고원지대에서 발생한 황사가 북한지방으로 진출하는 경로와 24시간 이내에 서해상-남부지방-동해상을 관통하는 2가지 경로가 같이 예상되고 있다. Fig 3.38의 (c)에서는 우리나라 중부이북지방에 황사가 관측되고 있고, 동해상을 거쳐 사할린까지 진출하는 것으로 예상하고 있다.

(3) 일기도 분석

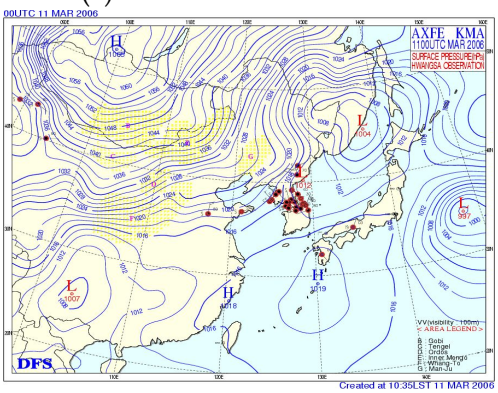
① 황사(지상)일기도 분석



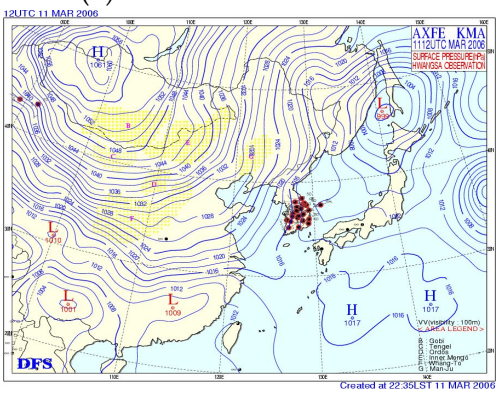
(a) 00UTC 10 Mar 2006



(b) 12UTC 10 Mar 2006



(c) 00UTC 11 Mar 2006

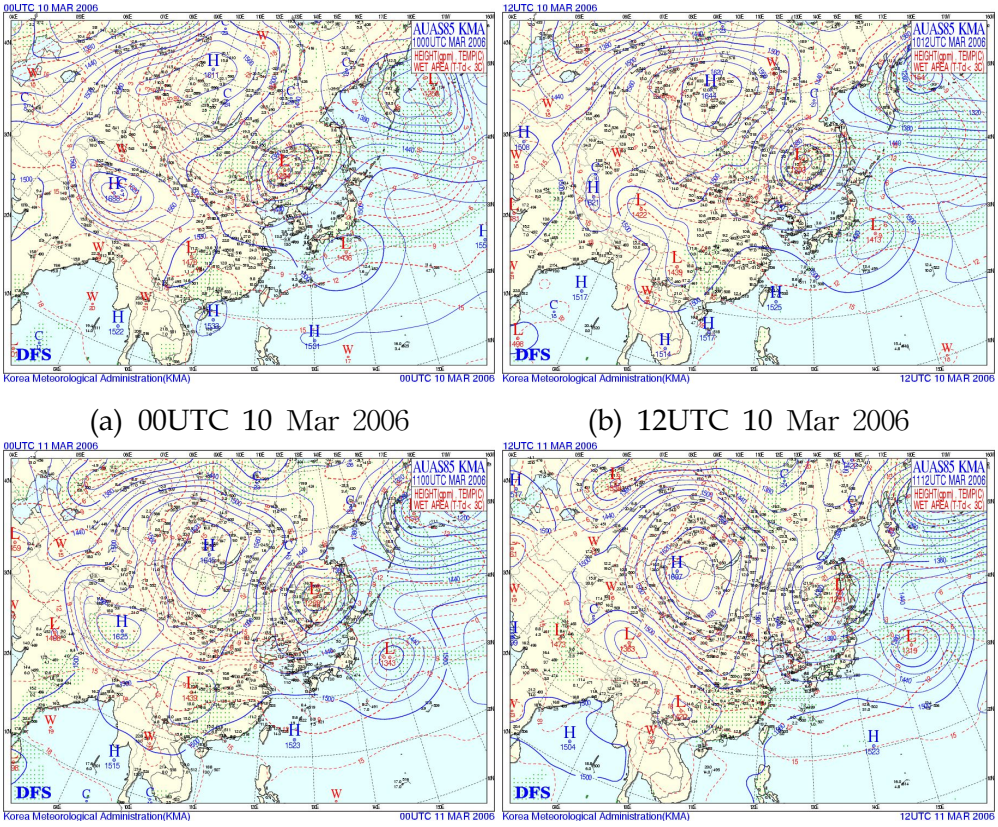


(d) 12UTC 11 Mar 2006

Fig 3.39 The composite charts of streamline at 850 hPa.

Fig 3.39의 (a)에서는 발달한 저기압의 후면에서 상승기류로 인해 불려 올려진 미세먼지를 관측할 수 있으며, Fig 3.39의 (b)에서는 이 저기압이 일본 홋카이도 북쪽 사할린으로 빠져나가고 대륙으로부터 확장해오는 고기압의 가장자리에서 불려 나간 미세먼지 농도가 북서류를 타고 이동하면서 북한지방으로 황사가 관측됨을 알 수 있다. Fig 3.39의 (c)에서는 중부지방으로 황사가 관측되고 있고, Fig 3.39의 (d)에서는 전국적으로 황사가 발생하고 있음을 알 수 있다.

② 850hPa 유선일기도 분석



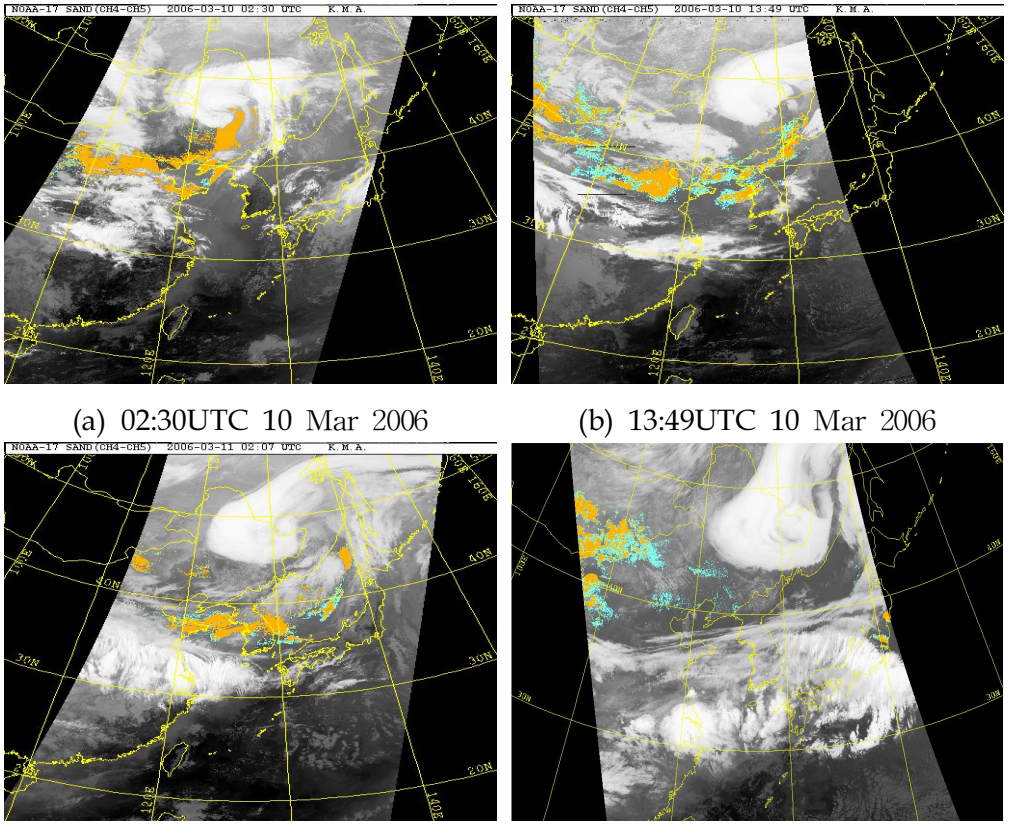
(a) 00UTC 10 Mar 2006 (b) 12UTC 10 Mar 2006

(c) 00UTC 11 Mar 2006 (d) 12UTC 11 Mar 2006

Fig 3.40 The composite charts of streamline at 850 hPa.

Fig 3.40의 (a)에서 남서쪽으로부터 비교적 습윤한 공기가 서해상으로부터 유입이 되다가 Fig 3.40의 (b)에서 북서쪽의 건조역과 남서쪽의 습윤역이 합쳐지면서 백령도 지방부터 서서히 황사가 약하게 들어오기 시작하였다. 이때 북한지방과 중국 동쪽인 산동반도 지방에서도 황사가 관측되고 찬 대륙 고기압이 확장하면서 북서류에 의해 한반도 전역으로 미세먼지가 퍼져나갈 것으로 예상되었다. 이러한 흐름은 유선에서 예상한 대로 10일 전반은 서남서류, 후반은 서풍류, 그리고 11일 전반에는 서북서류, 후반에는 북서류에 의해 이류되면서 남부지방까지 확산되었다.

(4) NOAA 위성영상



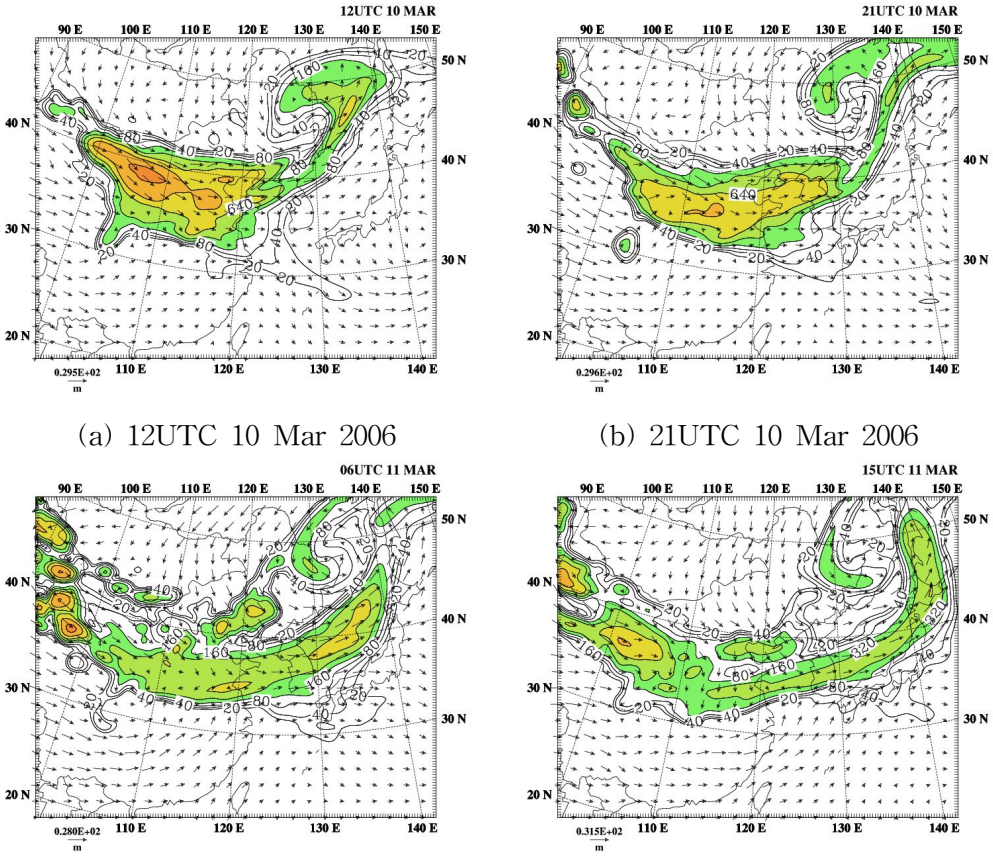
(a) 02:30UTC 10 Mar 2006 (b) 13:49UTC 10 Mar 2006

(c) 02:07UTC 11 Mar 2006 (d) 13:26UTC 11 Mar 2006

Fig 3.41 Asian Dust satellite images of NOAA.

Fig 3.41의 (a)에서 만주와 발해만 부근에서 관측된 황사가 Fig 3.41의 (b)에서는 서해앞바다와 북한지방에 광범위하게 분포하고 있고, 점차 남하하여 Fig 3.41의 (c)에서는 우리나라 중부지방과 강원도지방에 걸쳐 황사가 관측되고 있다. 이 황사띠는 점차 동진하면서 약해져서 12일 새벽까지 지상에서 관측되었다.

(5) 황사모델 자료 분석



(a) 12UTC 10 Mar 2006 (b) 21UTC 10 Mar 2006

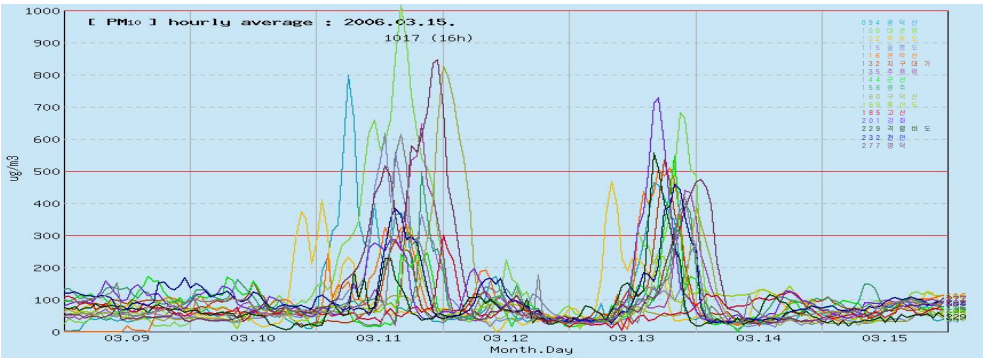
(c) 06UTC 11 Mar 2006 (d) 15UTC 11 Mar 2006

Fig 3.42 Asian Dust concentration model's products.

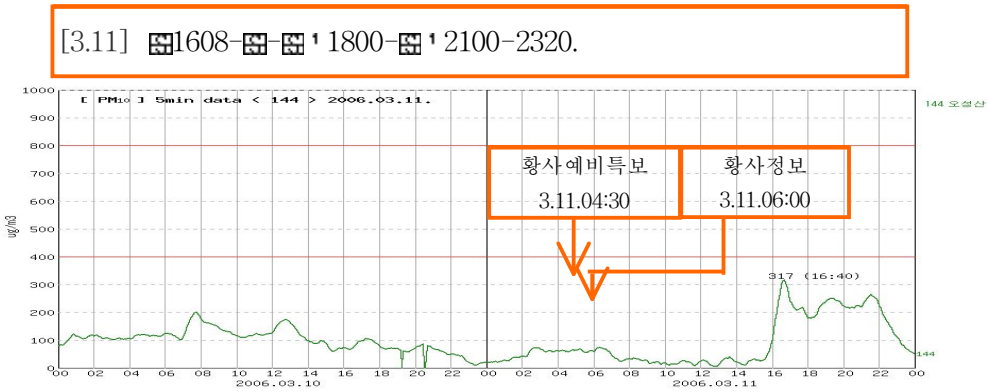
3월 10일 02시경 황사발원지인 황토고원의 관측지점 중 하나인 유스에서 3,378 ㎍/㎥의 PM10 농도가 관측되었다. Fig 3.42의 (a)와 (b)에서 유스 및 북서 유린 지역에 대해 황사 발생을 모의했고, 모의된 황사 강도는 600~800 ㎍/㎥로서 실제 관측 값보다 낮은 수준이었다. 또한 Fig 3.42의 (c)에서는 황사가 한반도로 유입되어 서울, 백령도, 안면도 등 한반도 서해안 지역의 700~850 hPa 고도면에 강한 황사층이 형성될 것으로 예상했으나 실제 한반도에서는 PM10 농도 200~800 ㎍/㎥의 황사가 지표면 부근에서 관측되었다.

나. 군산지방의 황사특성 분석

(1) PM10 농도 분석



(a) The Distributions of daily mean concentrations of PM10 in Korea from 9 to 15 Mar 2006.



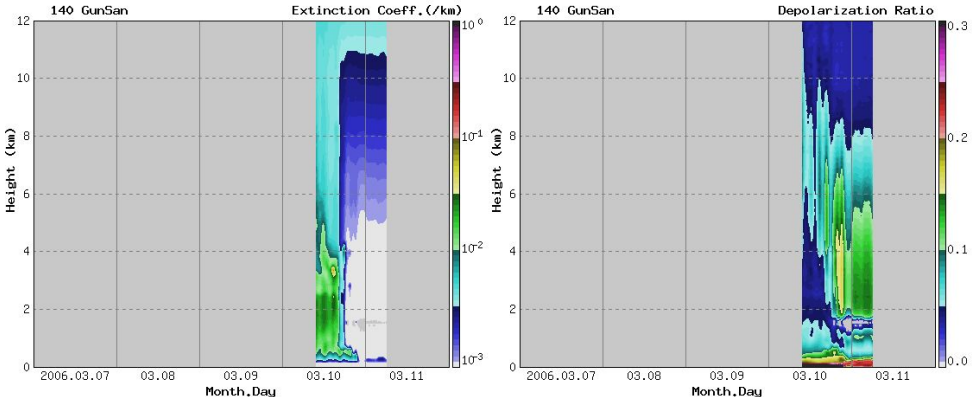
(b) The Distributions of hourly mean concentrations of PM10 at Gunsan from 10 to 11 Mar 2006.

Fig 3.43 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations.

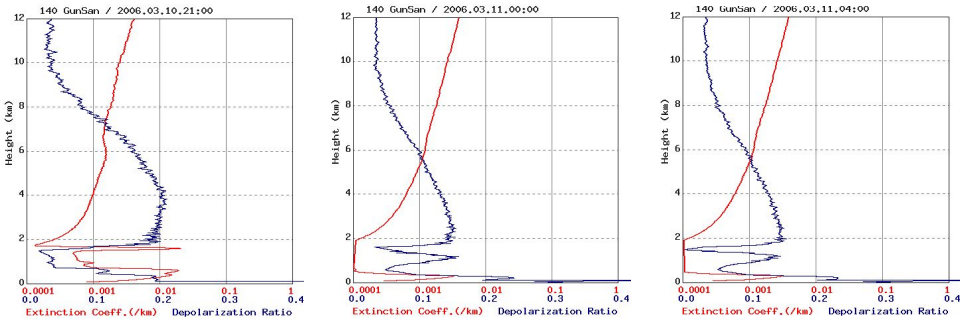
Fig 3.43의 (a)에서 황사현상이 관측되기 시작한 것은 11일 새벽부터이며, PM10 농도는 광덕산에서 900 ㎍/㎥, 대관령에서 1,000 ㎍/㎥, 영덕에서 870 ㎍/㎥ 의 값을 기록한 후 12일 새벽에는 약화되었다.

Fig 3.43의 (b)에서 군산은 11일 16시 8분부터 지상에 황사현상이 관측되기 시작하였으며, 16시 40분에 317 ㎍/㎥의 최고값을 기록하였다. 황사예비특보는 10일 15시, 11일 04시 30분에 2차례 발표되었으며, 11일 06시에 황사정보를 발표하였다.

(2) 라이다 분석



(a) The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan from 7 to 11 Mar 2006.



(b) 21:00 10 Mar 2006 (c) 00:00 11 Mar 2006 (d) 04:00 11 Mar 2006

Fig 3.44 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan.

Fig 3.44의 (a)에서 3월 10일 18시~20시에 2~5 km 부근에서 편광소멸도가 0.15를 넘는 값이 관측되다가 11일에는 1 km이하의 하층에 황사가 침착되고 있음을 보여준다. 그러나 11일 오전에 저기압의 영향으로 7시 19분터 비가 내리기 시작해 라이다관측이 중지되었다. 이후 15시 8분에 강수가 종료되면서 16시 8분부터 황사가 관측되기 시작하였다.

(3) PM10과 라이다, 윈드프로파일러의 자료 분석

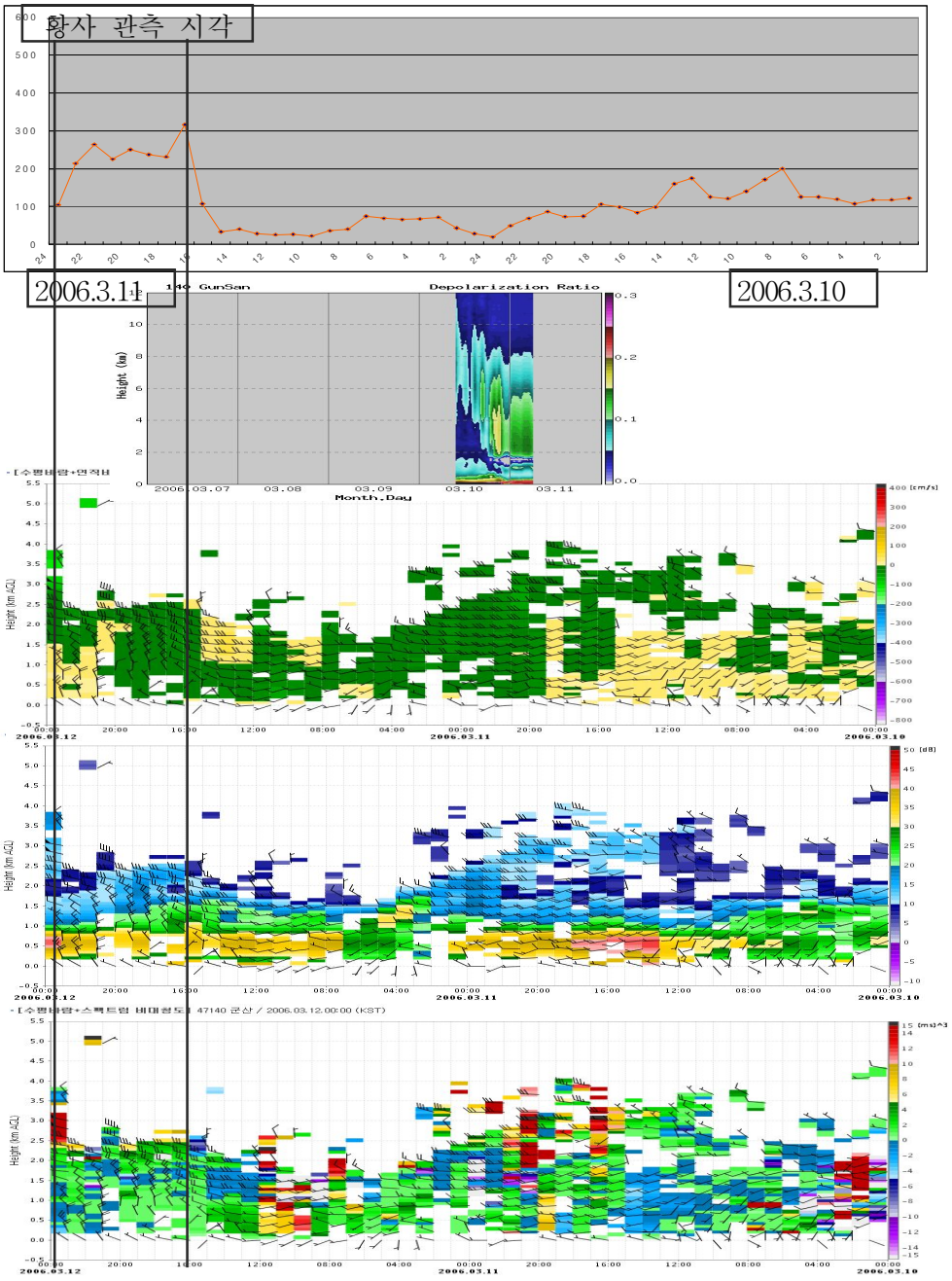


Fig 3.45 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 10 to 11 Mar 2006.

3월 8일 고비사막에서 발생한 이번 황사는 9일에 몽골과 황토고원으로 확대되었으며, 발해만을 거쳐 우리나라에 황사가 관측되기 시작하였다. 내몽골의 황사관측지점 중 하나인 쥬리허의 PM10 농도는 10일 02시경에 9,637 ㎍/㎥ 로 최고값을 기록했다.

Fig 3.45에서 군산은 3월11일 오전에 저기압의 영향으로 7시 19분부터 비가 내리기 시작해 15시 8분에 강수가 종료되었으며, 약 1시간 후인 16시 8분부터 황사현상이 관측되기 시작하였다. 황사지속시간은 4시간 정도로 짧았고, PM10 농도 최대극값은 16시 40분에 317 ㎍/㎥를 기록했다.

강수로 인해 라이다가동이 중지되었으나 가동 중지 전에 라이다의 편광소멸도는 1km 이하 지면에서 0.2 이상이 관측되고 있어 에어로솔이 지면에 이미 침착되어 있음을 알 수 있었다.

윈드프로파일러의 수평바람은 11일 16시~23시까지 NW풍이 탁월하며, 연직바람은 16시경 하강(-)기류로 시작하여 황사관측 종료 무렵인 23시경 상승(+)기류가 나타남을 알 수 있다. 신호대 잡음비 11일 16시~23시까지 1km 이하에서 30dB 이상인 것을 발견할 수 있었으며, 스펙트럼 비대칭도는 황사 관측 기간 동안 + 값이 나타나고 있다.

2. 황사사례 2 : 2006. 4 24~25

가. 일반현황

4월 21일 고비사막과 내몽골에서 발원한 이번 황사는 22일 몽골 동쪽에 위치한 저기압이 베링해에 중심을 둔 고기압에 의해 Blocking-high로 인하여 제자리에서 맴돌며 조금씩 남하하면서 동반된 황사층이 남쪽으로 이동하였다. 22일에는 몽골 북동부에서 황사현상이 관측되었고, 23일에는 서울과 남부지방에 황사현상이 관측되었으며, 24일에는 전국에서 황사현상이 관측되었다.

이번 황사는 중국동안에서 발생한 에어러솔에 의한 것과 합쳐지면서 황사의 농도가 증가하였다.

(1) 중국 황사관측소별 PM10 농도 및 분석

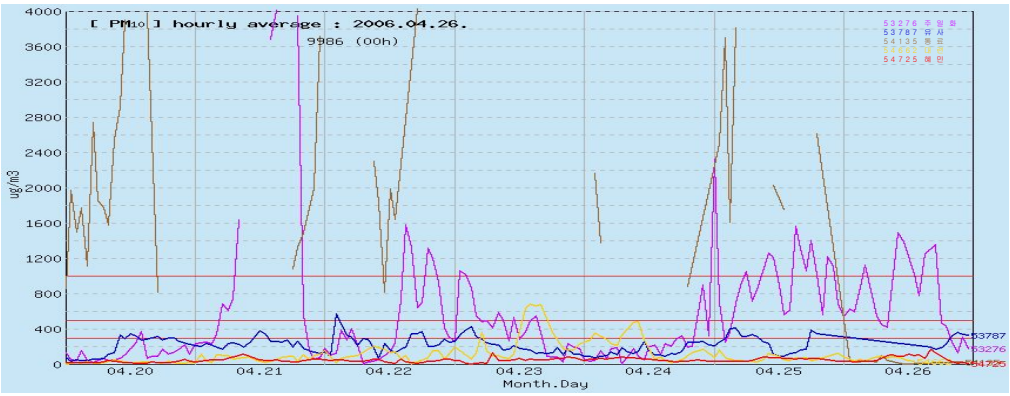
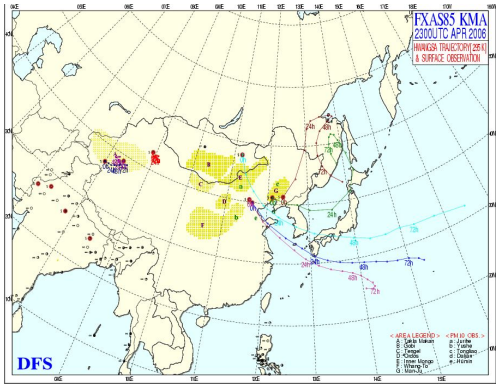


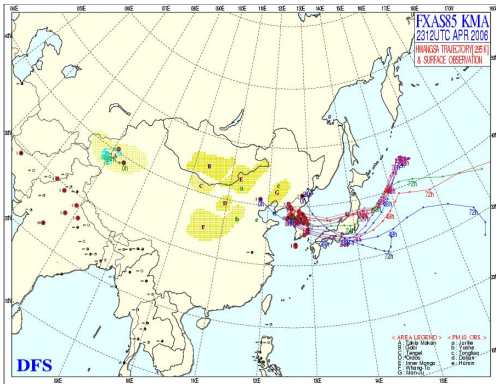
Fig 3.46 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 20 to 26 Apr 2006.

Fig 3.46에서 황사발원지 내몽골 경로상의 관측지점인 쥬리허의 PM10 농도 최고치는 4월 21일 12시에 9,619 ㎍/㎥이며, 만주지역의 황사관측지점 중 하나인 통랴오에서는 21일 07시에 7,488 ㎍/㎥, 22일 0시에 9,986 ㎍/㎥의 PM10 농도 최고치를 기록하였다. 발해만의 관측지점 중 하나인 다롄과 후이민의 PM10 농도는 20~100 ㎍/㎥으로 낮은 관측값을 나타냈다.

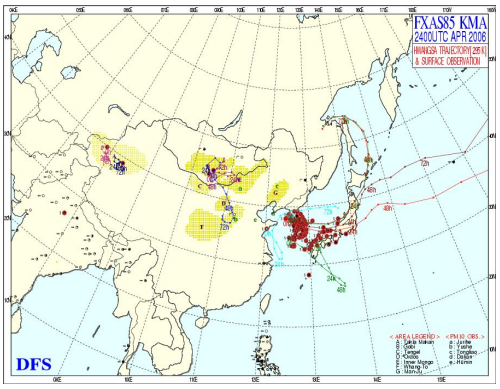
(2) 황사 추적도



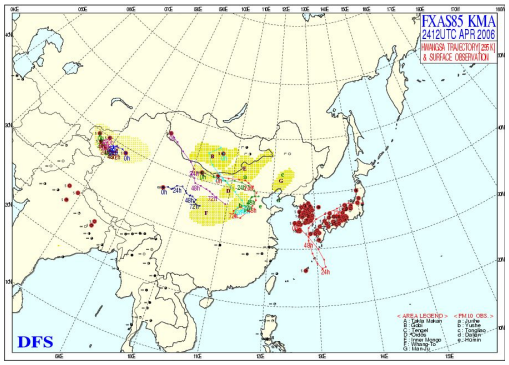
(a) 00UTC 23 Apr 2006



(b) 12UTC 23 Apr 2006



(c) 00UTC 24 Apr 2006



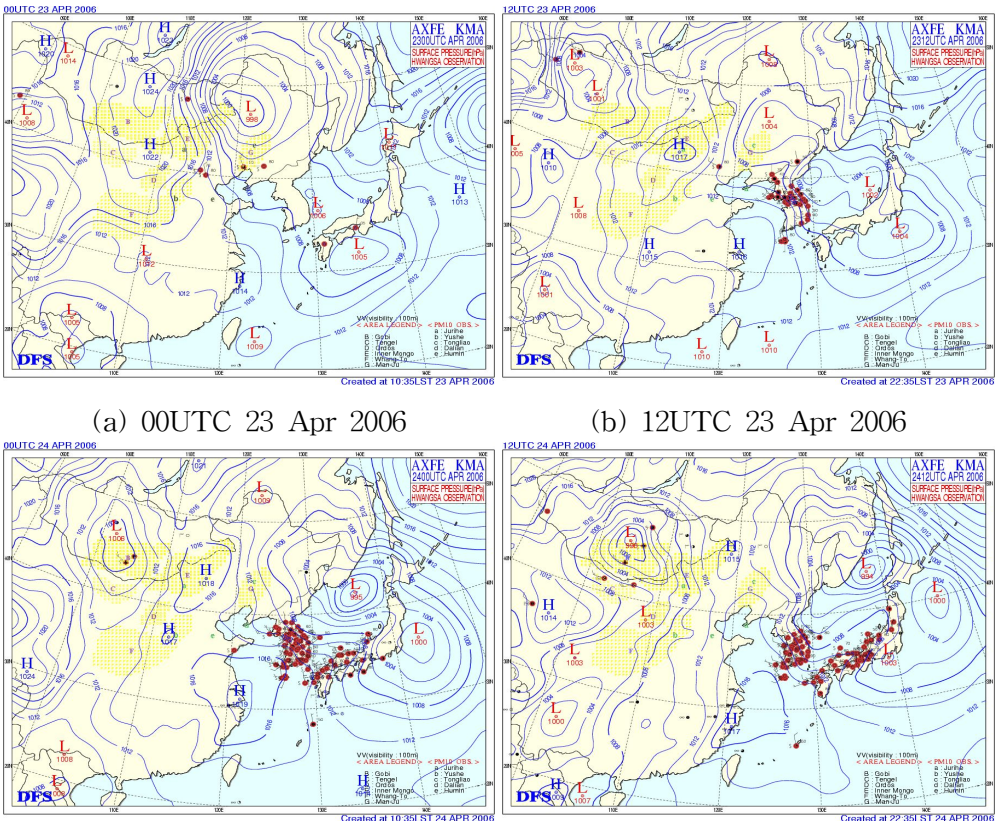
(d) 00UTC 24 Apr 2006

Fig 3.47 The Asian Dust trace charts on the isentropic level of 295k.

22일 12UTC에 발원지인 내몽골, 고비사막에서 관측된 황사가 Fig 3.47의 (a)에서는 24시간 이내에 서해상까지 진출하여 남해상을 지나는 것으로 예상하였다. Fig 3.47의 (b)에서는 중부이북지방에 이미 황사가 발생하여 24시간 내에 일본지방까지 진출하고, Fig 3.47의 (c)에서는 우리나라 전역과 일본까지도 황사권에 드는 것으로 예상하였다.

(3) 일기도 분석

① 황사(지상)일기도 분석



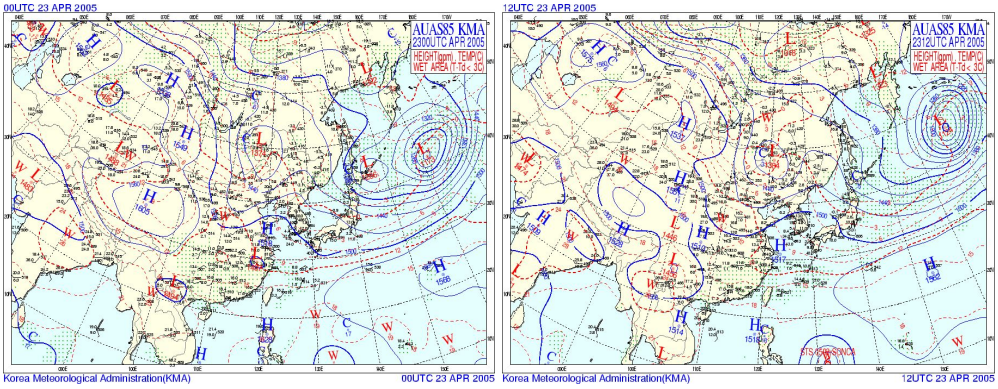
(a) 00UTC 23 Apr 2006 (b) 12UTC 23 Apr 2006

(c) 00UTC 24 Apr 2006 (d) 12UTC 24 Apr 2006

Fig 3.48 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure.

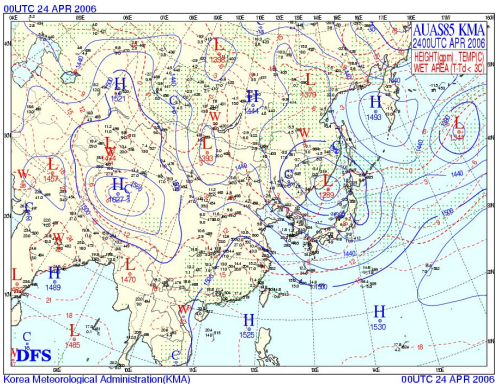
22일 몽골 동쪽에 위치하여 발원지의 황사를 발생시킨 저기압은 베링해에 중심을 둔 고기압에 의한 Blocking-high로 인하여 제자리에서 맴돌며 약간씩 남하하여, 동반된 황사층이 남쪽으로 이동하면서 영향을 주었다. 이때 이동해 온 황사대는 중국동안에서 발생한 에어러솔에 의한 것과 합쳐지면서 Fig 3.48의 (b)에서 북한지방에 황사현상이 관측되고 있음을 알 수 있다. Fig 3.48의 (d)에서는 서고동저형의 기압배치에서 동쪽의 저기압이 빠져나가지 못하고, 서쪽의 고기압은 기압경도력이 약해 황사의 이동을 느리게 하고, 상층의 농도를 하층으로 끌어내리는 역할을 하였다.

② 850hPa 유선 분석일기도

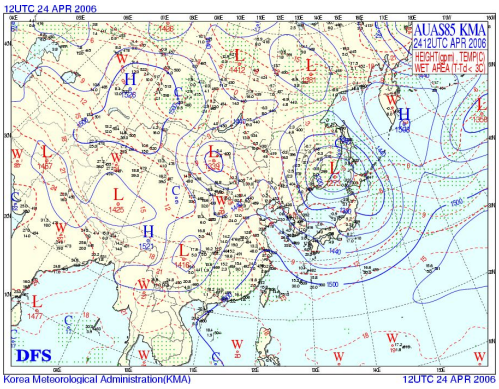


(a) 00UTC 23 Apr 2006

(b) 12UTC 23 Apr 2006



(c) 00UTC 24 Apr 2006

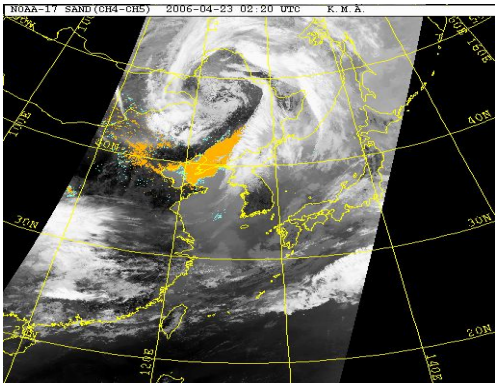


(d) 12UTC 24 Apr 2006

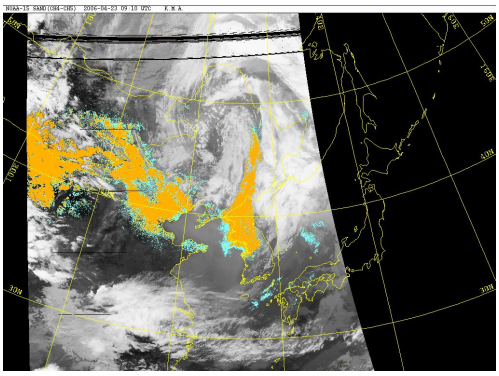
Fig 3.49 The composite charts of streamline at 850 hPa.

Fig 3.49의 (a)에서 유선축은 만주에서 발해만으로 점차 내려와 Fig 3.49의 (b)에서는 한반도까지 내려오고, 그 이후에는 점차 동쪽으로 이동할 것으로 예상되었다. Fig 3.49의 (d)에서는 점차 서쪽의 고기압이 동쪽으로 이동하면서 황사층이 점차 동해안쪽으로 빠져나가고 있음을 알 수 있다.

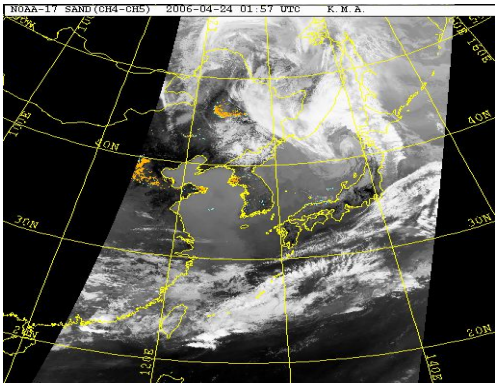
(4) NOAA 위성영상 분석



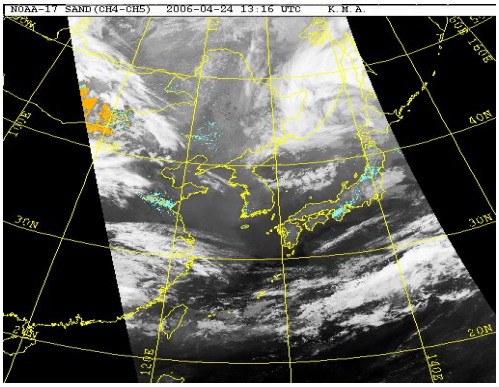
(a) 02:20UTC 23 Apr 2006



(b) 09:10UTC 23 Apr 2006



(c) 01:57UTC 24 Apr 2006

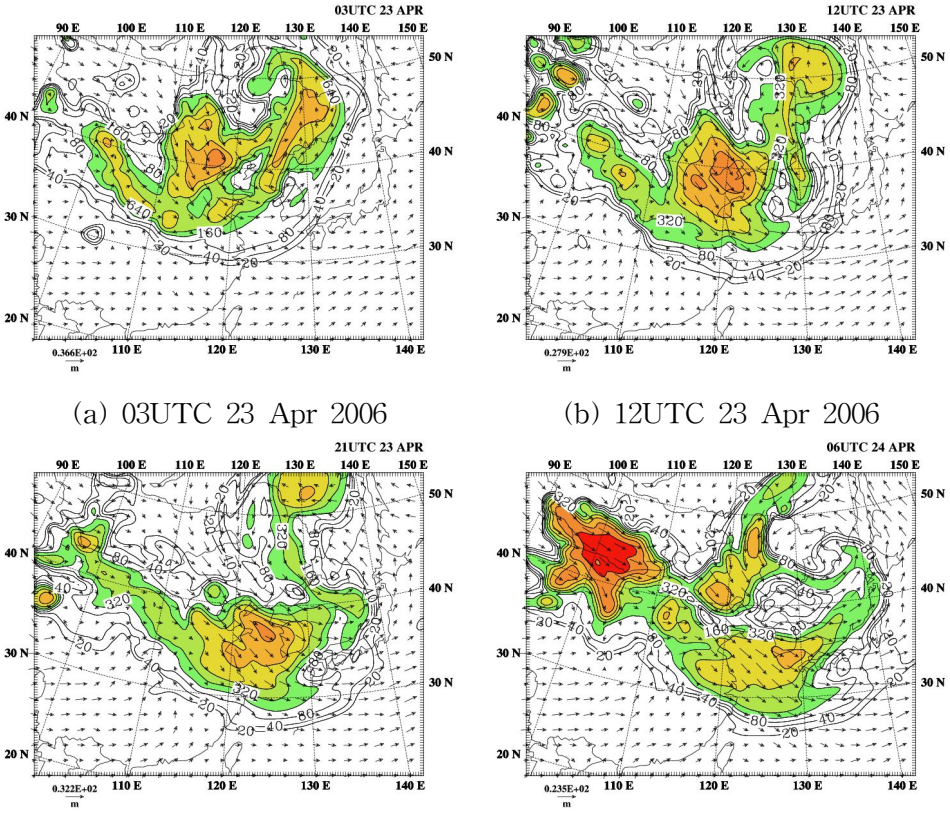


(d) 13:16UTC 24 Apr 2006

Fig 3.50 Asian Dust satellite images of NOAA.

Fig 3.50의 (a)는 만주지역에서 발달한 저기압의 기압골 후면에 강한 황사가 우리나라에 접근하는 모습이 보이고 있으며, Fig 3.50의 (b)에서는 발해만과 북한지방과 중부지방에 황사대가 관측되고 있음을 알 수 있다. 서서히 저기압이 동진하면서 Fig 3.50의 (c)에서는 우리나라 일부 도서지역에서만 황사대가 관측되고 있고, 기압골이 완전히 동해로 빠져나간 Fig 3.50의 (d)에서는 일부 동해안과 일본지역에 황사가 관측되고 있다.

(5) 황사모델 자료 분석



(a) 03UTC 23 Apr 2006 (b) 12UTC 23 Apr 2006

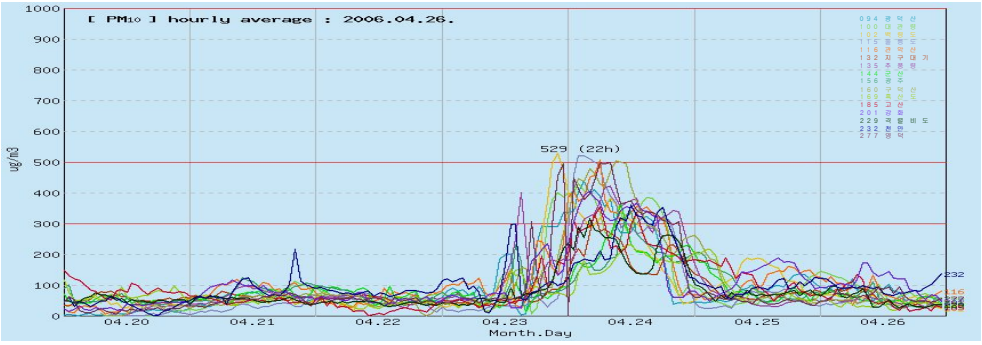
(c) 21UTC 23 Apr 2006 (d) 06UTC 24 Apr 2006

Fig 3.51 Asian Dust concentration model's products.

황사발원지인 내몽골의 관측지점 중 하나인 쥬리허에서 4월 22일~23일 PM10 농도 1,600 ㎍/㎥을 모의하고 있으며, 한반도 전역에서 50~400 ㎍/㎥의 황사가 관측되었다. Fig 3.51에서는 23일 03UTC에서 24일 06UTC까지 내몽골 지역에서의 강한 황사 발생을 모의했다. 또한 만주를 거쳐 한반도로 수송될 것을 예상했는데, PM10 농도는 100~300 ㎍/㎥에 도달 할 것으로 예상했다.

나. 군산지방의 황사특성 분석

(1) PM10 농도 분석



(a) The Distributions of daily mean concentrations of PM10 in Korea from 20 to 26 Apr 2006.

[24일] ▦0308-▦ ▫0600-▦ ▫0900-▦ ▫1200-▦ ▫1500-▦ ▫1800-▦ ▫2100-▦ ▫2400-[25일]-▦ ▫0300-0524.

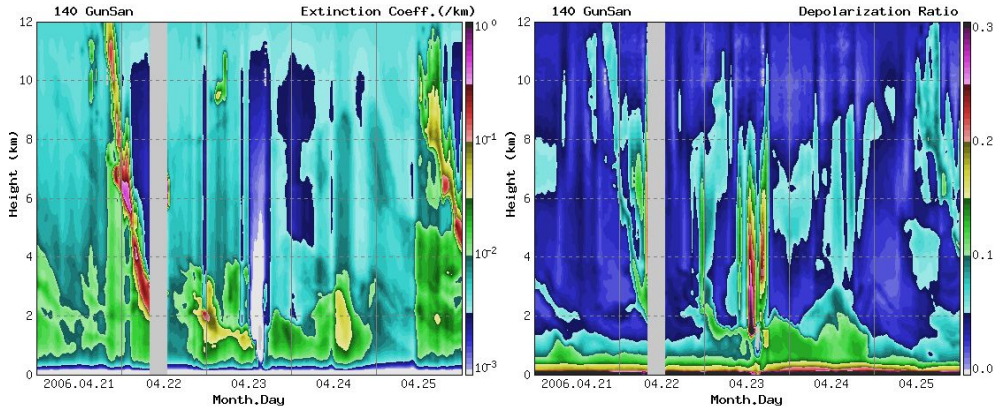
(b) The Distributions of hourly mean concentrations of PM10 at Gunsan from 23 to 24 Apr 2006.

Fig 3.52 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations.

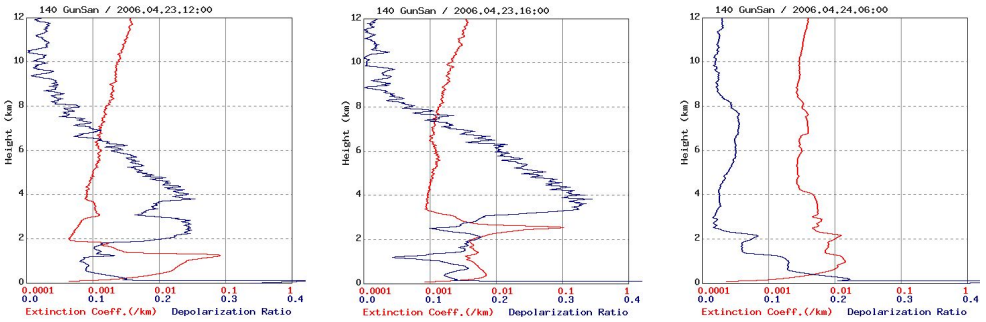
Fig 3.52의 (a)에서 4월 23일 13시경부터 흑산도를 시작으로 전국에 황사가 관측되기 시작되었으며, PM10 농도는 300~500 ㎍/㎥ 이다.

Fig 3.52의 (b)와 같이 군산은 저기압의 영향으로 23일 14시~15시까지 약 40여분간 강수를 기록한 후 24일 3시 8분부터 황사가 관측되기 시작하였으며, PM10 농도는 10시 10분에 379 ㎍/㎥로 최고값을 나타냈다. 23일~24일에 걸쳐 황사예비특보가 2차례 발표되었으나 황사주의보 기준에는 미달하였고, 24일 5시 30분에 황사정보가 발표되었다.

(2) 라이다 분석



(a) The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan from 21 to 25 Apr 2006.



(b) 12:00 23 Apr 2006 (c) 16:00 23 Apr 2006 (d) 06:00 24 Apr 2006

Fig 3.53 The Depolarization Ratio and Extinction Coefficients at Gunsan.

Fig 3.53의 (a)에서 4월 23일 12시부터 16시까지 1~5 km에서 편광소멸도가 0.3을 넘는 값을 관측되기 시작하여 상층에 에어로솔이 존재하고 있음을 알 수 있으며, 이후 1km 이하에서 편광소멸도가 0.2 이상 관측되고 있어 에어로솔 층이 하강하여 지상에 침착되어 있음을 알 수 있다. 25일에는 지상에 황사가 침착된 양이 적어지면서 5시 24분에 황사현상 관측이 종료되었다.

(3) PM10과 라이다, 윈드프로파일러의 자료 분석

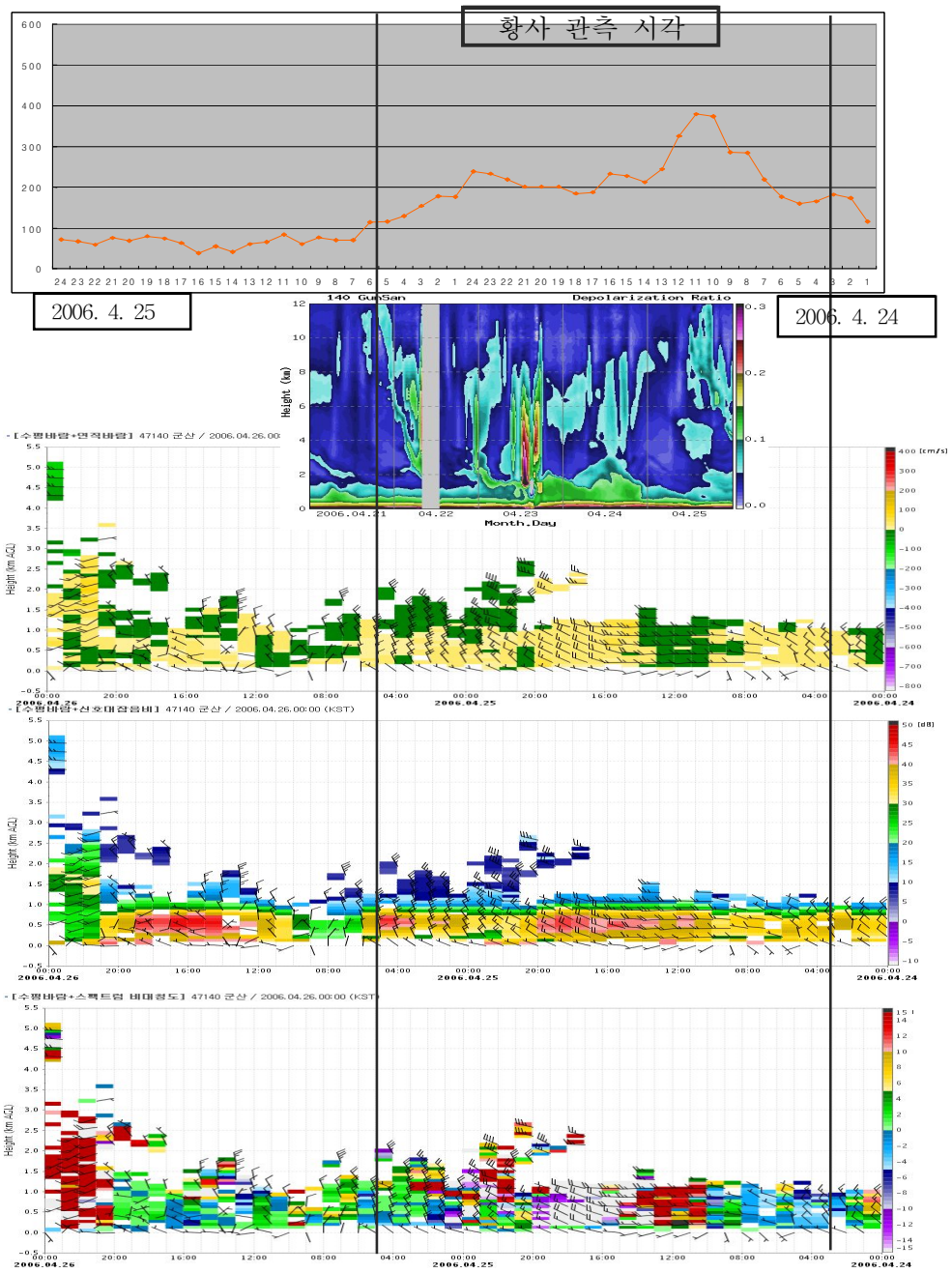


Fig 3.54 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 10 to 11 Mar 2006.

4월 21일에 고비사막과 내몽골에서 황사가 관측되었으며, 22일에는 몽골 북동부를 거쳐 24일에 전국에 황사현상이 관측되었다. 내몽골의 관측지점인 쥬리허의 PM10 농도는 21일 12시에 9,619 ㎍/㎥로 최고값을 기록하였으며, 또 다른 관측지점인 통랴오에서도 23일 PM10 농도 9,986 ㎍/㎥로 최고값을 기록하여 인근지역으로 확산할 수 있는 조건을 갖추고 있다.

Fig 3.54와 같이 군산은 24일 03시 8분부터 지상에 황사가 관측되기 시작하였으며, 10시 10분에 PM10 농도 최대값은 379 ㎍/㎥를 기록했다.

라이다의 편광소멸도는 24일 03시경부터 1 km 이하에 0.2 이상 나타나고 있어 이미 지상에 황사가 침착되어 있음을 알 수 있었다.

윈드프로파일러의 수평바람은 24일 03시~25일 05시까지 NW풍이 관측되었으며, 연직바람은 24일 03~08시 상승(+)기류, 09~14시에 하강(-)기류가 나타나고 있다. 신호대 잡음비는 24일 03시~25일 05시까지 1km 이하에서 30dB 이상이 관측되고 있다. 스펙트럼 비대칭도는 24일 10~13시에 +10 이상 나타나고 있는데 이는 PM10 농도 극값이 나타나는 시간과 대체로 일치함을 알 수 있었다.

3. 황사사례 3 : 2005. 4. 7~8

가. 일반현황

4월 5일 오후에 내몽골에 강한 대규모 저기압이 위치하여 광역에서 강한 황사가 발생하여 우리나라로 이동하였으나, 우리나라 남쪽에 위치한 고압대의 영향으로 대부분의 강한 황사가 중국 중부와 남부 내륙지방을 거쳐 이동하였다. 그리고 일부 서해안으로 이동한 황사에 의해 우리나라에는 약한 황사가 발생하였다. 백령도에서 7일 오전 10시에 397 ㎍/㎥를 기록하여 가장 높은 관측값을 나타냈으며, 대부분의 관측지점의 PM10농도는 200 ㎍/㎥ 내외를 기록하고, 지속시간도 5~11시간 정도로 비교적 짧았다.

(1) 중국 황사관측소별 PM10 농도 분석

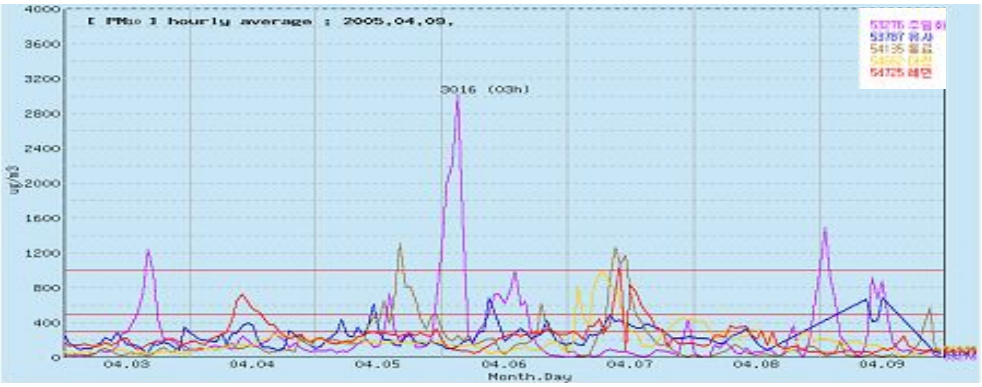
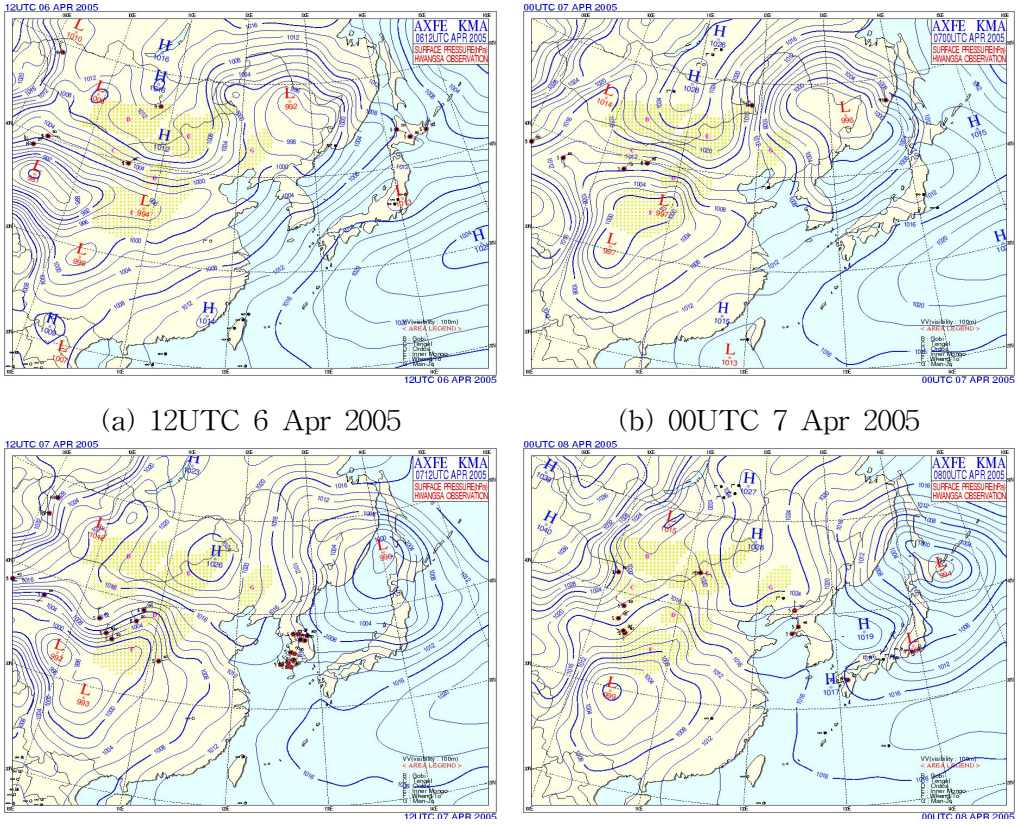


Fig 3.55 The distributions of Asian Dust observed by PM10 observing stations in China from 3 to 9 Apr 2006.

Fig 3.55에서 내몽골의 황사관측지점 중 하나인 쥬리허의 PM10 농도는 4월 6일 03시경 3,583 ㎍/㎥의 최대값을 기록한 후 점차 약해졌다. 황토고원의 관측지점 중 하나인 유스는 487 ㎍/㎥, 통랴오에서는 7일 9시에 1,271 ㎍/㎥, 후이민에서는 7일 10시에 1,063 ㎍/㎥의 최고값을 기록했다. 발해만의 관측지점인 다롄에서도 최고치가 974 ㎍/㎥ 로 황사발원지의 경로상에 있는 관측지점들의 PM10 농도는 비교적 낮게 나타났다.

(2) 일기도 분석

① 황사일기도



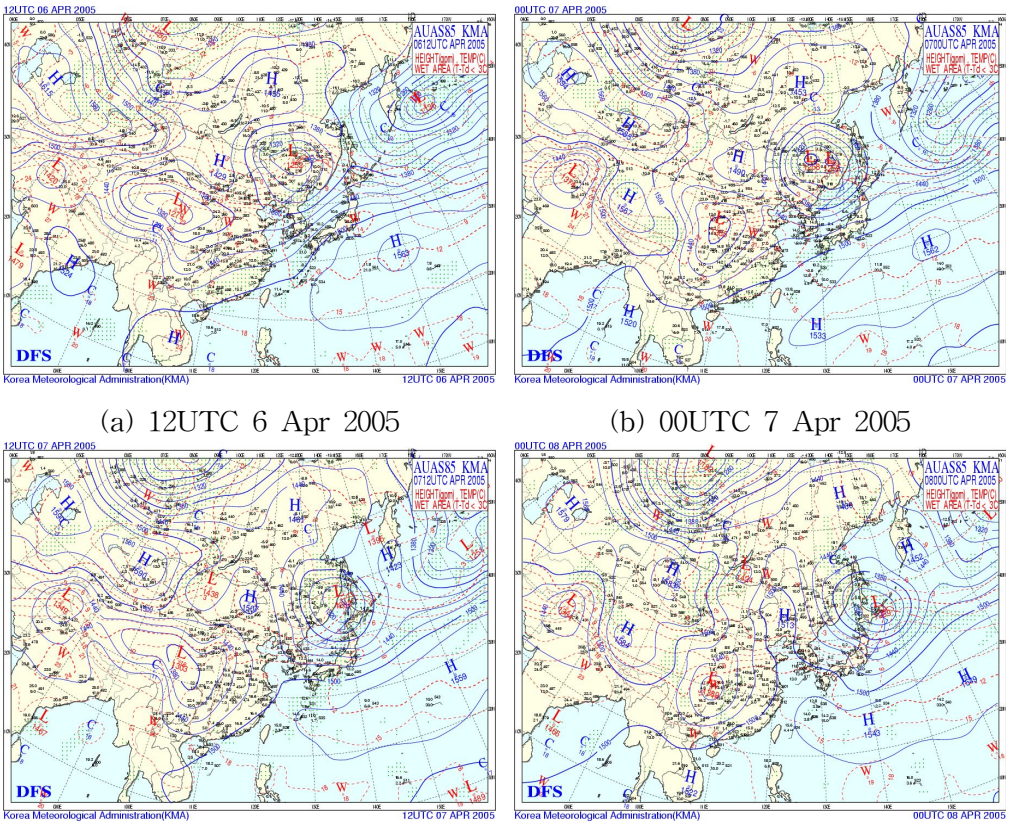
(a) 12UTC 6 Apr 2005 (b) 00UTC 7 Apr 2005

(c) 12UTC 7 Apr 2005 (d) 00UTC 8 Apr 2005

Fig 3.56 The composite charts of Asian Dust at the surface pressure.

4월 4일에 고비사막에서 발원한 이번 황사는 5일 12UTC에 몽골 동쪽에 위치한 강한 저기압에 동반된 기압골의 한랭전선이 통과한 후 강한 북서풍의 영향으로 황사가 유입된 경우이다. 이동경로가 4일 고비사막-5일 내몽골-7일 북한과 중부 및 남부지방-8일 남부지방과 백령도에서 약하게 관측되었다. 이후 서해남부 해상에 형성된 고압대가 확장함에 따라 황사관측은 종료되었다.

② 850hPa 유선 분석일기도



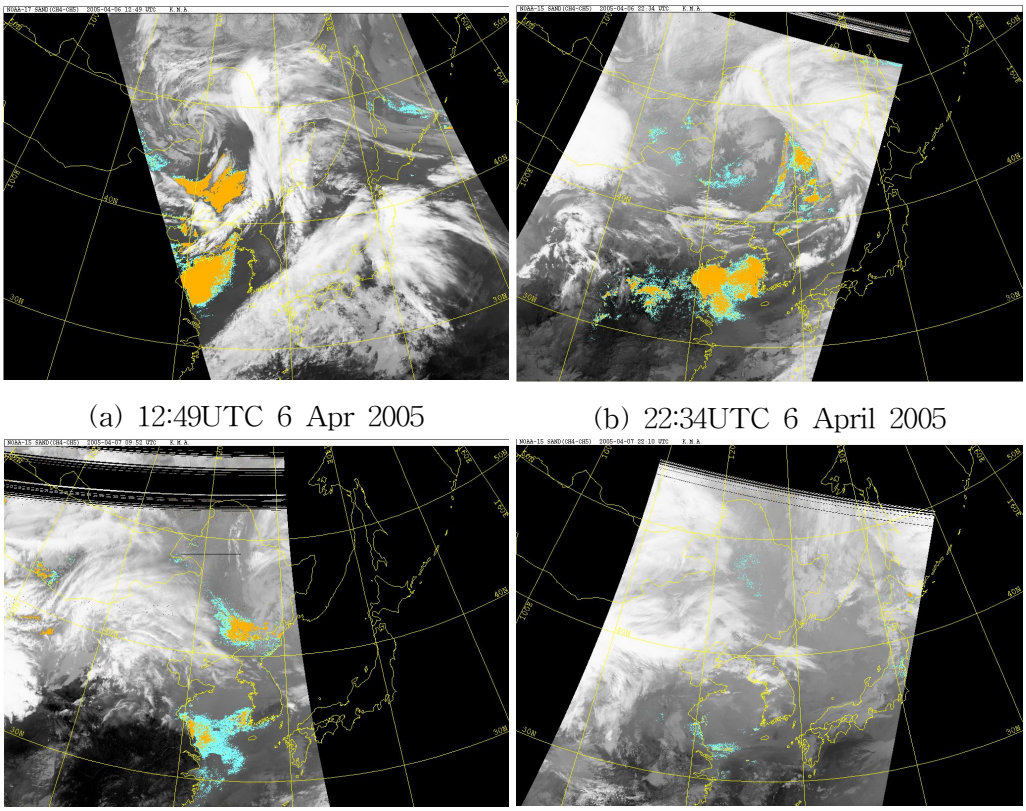
(a) 12UTC 6 Apr 2005 (b) 00UTC 7 Apr 2005

(c) 12UTC 7 Apr 2005 (d) 00UTC 8 Apr 2005

Fig 3.57 The composite charts of streamline at 850 hPa.

4월 5일과 6일에 거쳐 몽골동쪽에 발달한 저기압이 만주로 동진하고, 동반된 한랭전선도 우리나라로 접근하였다. Fig 3.57의 (b)에서 화남지방으로부터 저기압이 접근함에 따라 남서계열의 바람이 강하게 유입되었다. 충청이북지방으로 기압골이 통과한 후 강하게 형성된 기압경도력에 의한 북서계열의 강풍이 불면서 우리나라로 황사가 유입되었다.

(3) NOAA 위성영상분석



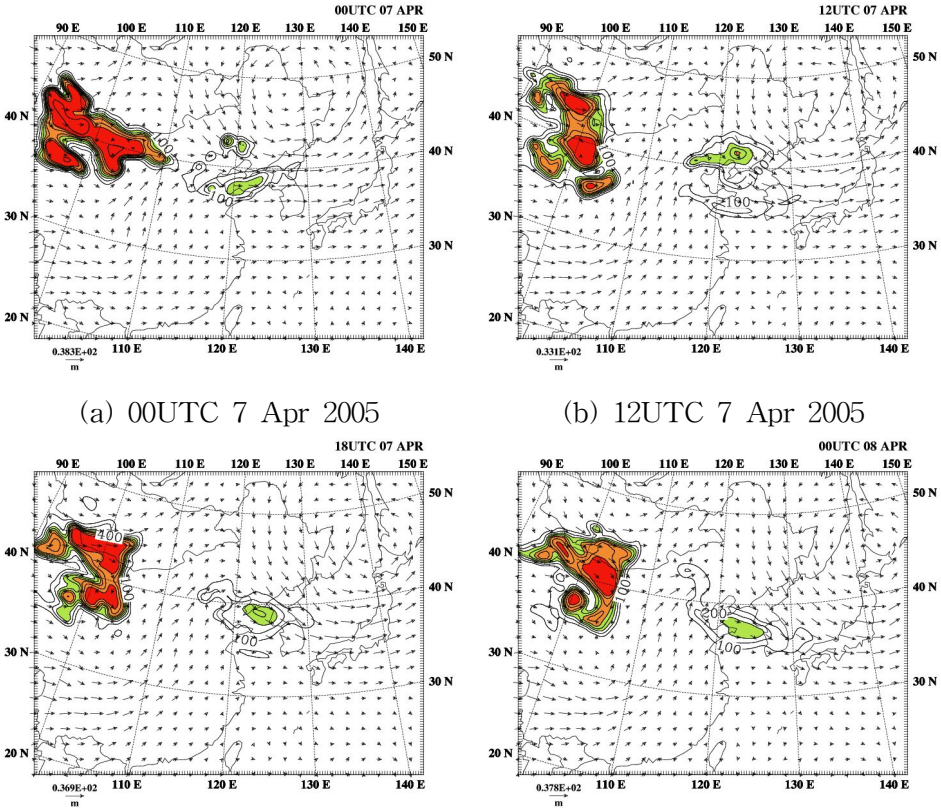
(a) 12:49UTC 6 Apr 2005 (b) 22:34UTC 6 April 2005

(c) 09:52UTC 7 Apr 2005 (d) 22:10UTC 7 Apr 2005

Fig 3.58 Asian Dust satellite images of NOAA.

Fig 3.58의 (a)에는 만주지방과 발해만 부근의 저기압 후면에서 황사띠가 나타나고 있음을 알 수 있다. Fig 3.58의 (b)에서는 중국 내륙지방과 서해상으로 강한 황사대가 우리나라로 접근하는 모습을 볼 수 있으며, Fig 3.58의 (c)에서는 우리나라 서해안지방과 일부 남부지방에 황사가 관측되고 있음을 알 수 있으며, Fig 3.58의 (d)에서는 남부지방을 통과하여 강도가 약해지면서 동해상으로 이동하고 있음을 알 수 있다.

(4) 황사모델 자료 분석



(a) 00UTC 7 Apr 2005 (b) 12UTC 7 Apr 2005

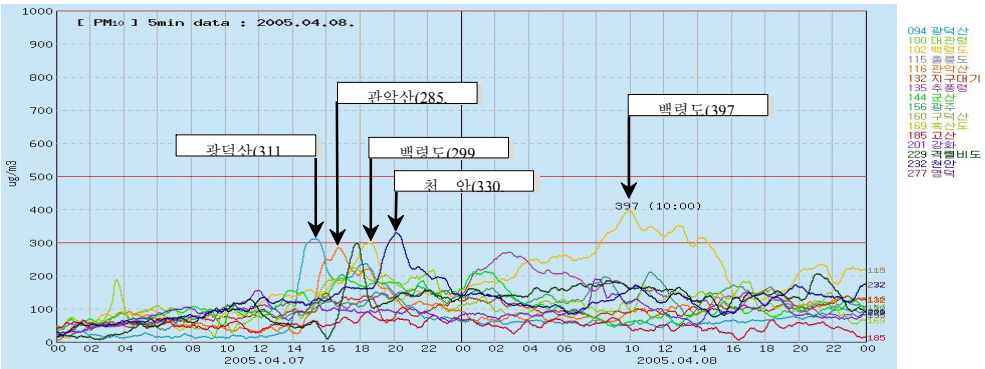
(c) 18UTC 7 Apr 2005 (d) 00UTC 8 Apr 2005

Fig 3.59 Asian Dust concentration model's products.

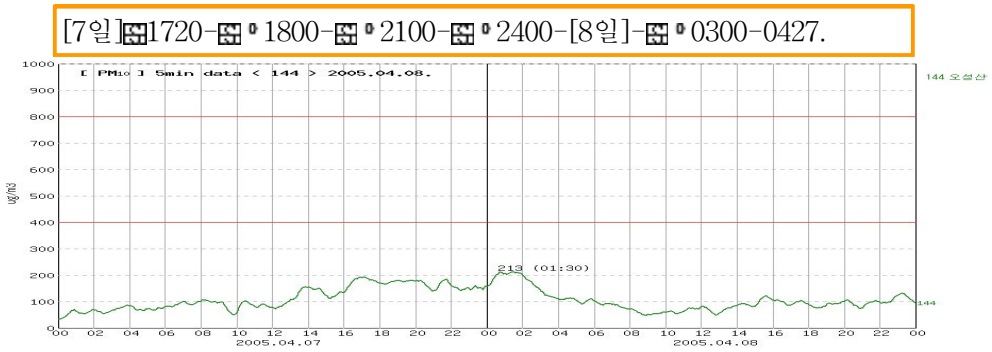
Fig 3.59의 황사모델에서는 만주에서 발원한 황사가 미세먼지 농도가 100~300 ㎍/㎥로 7일에는 발해만을 거쳐 서해로 남하하여 북한과 우리나라에 영향을 주고 동해로 이동하는 것으로 모의하였다. 시간이 지남에 따라 Fig 3.59의 (a)에서는 서해안으로 오전부터 황사가 나타나는 것으로 모의하고 있으나, 실제 오전에는 황사가 관측되지 않고 7일 오후 5시경부터 백령도에서부터 황사현상이 관측되기 시작하였다.

나. 군산지방의 황사특성 분석

(1) PM10 농도 분석



(a) The Distributions of daily mean concentrations of PM10 in Korea from 7 to 8 Apr 2005.



(b) The Distributions of hourly mean concentrations of PM10 at Gunsan from 7 to 8 Apr 2005.

Fig 3.60 The distributions of Asian Dust PM10 concentrations in korean observing stations.

Fig 3.60의 (a)에서 4월 7일 오후 3시경부터 전국적으로 PM10 농도 200~300 ㎍/㎥의 약한 황사현상이 나타났으며, 지속시간도 비교적 짧았다. Fig 3.60의 (b)에서 군산은 7일 17시 20분부터 황사현상이 관측되기 시작하였으며, 황사 관측값은 이후 큰 변화를 보이지 않다가 8일 01시 30분에 213 ㎍/㎥으로 최고치를 기록한 후 점차 약해진 후 종료되었다.

(2) PM10과 윈드프로파일러의 자료 분석

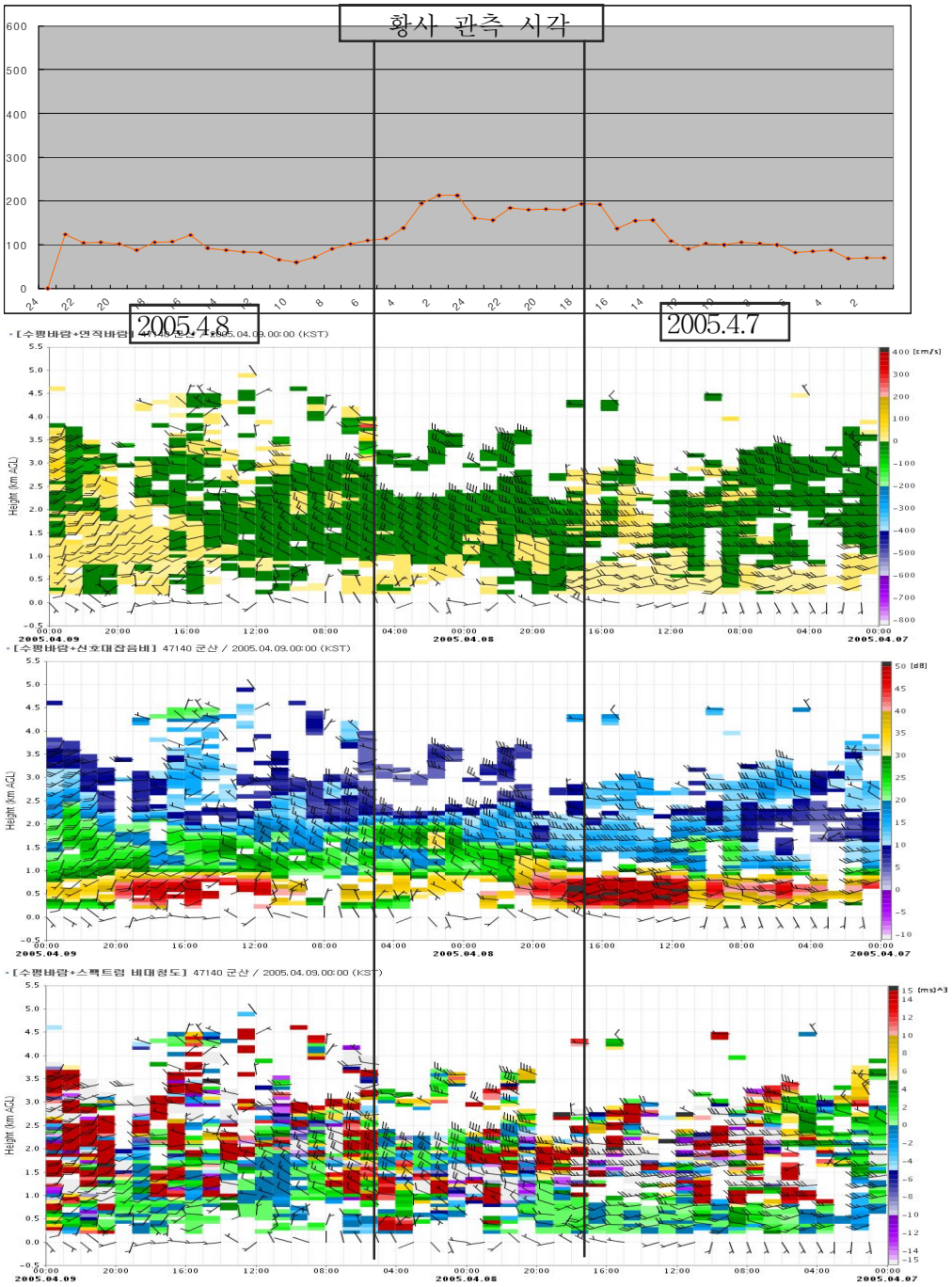


Fig 3.61 The Depolarization Ratio data of Gunsan LIDAR and PM10 and Wind Profiler data from 7 to 8 Apr 2005.

4월 5일 오후에 내몽골에 강한 대규모 저기압이 위치하여 광역에서 강한 황사가 발생하여 우리나라로 이동하였으나, 우리나라 남쪽에 위치한 고압대의 영향으로 대부분의 강한 황사는 중국 중부와 남부 내륙지방을 거쳐 이동하고, 일부 서해안으로 이동한 황사에 의해 우리나라에는 약한 황사가 발생하였다. 내몽골의 황사관측지점 중 하나인 쥬리허에서 3,583 ㎍/㎥ 의 최대값을 기록했을 뿐 발원지의 농도값은 강하지 않았다.

Fig 3.61에서 군산은 4월 7일 17시 20분부터 지상에 황사현상이 관측되기 시작하였으며, PM10 농도 최대극값은 213 ㎍/㎥으로 황사특보기준에는 미달하였으며, 라이다는 고장으로 관측이 중단되었다.

윈드프로파일러의 수평바람은 7일 17시~8일 04시경까지 W~NW풍이 탁월하며, 연직바람은 황사관측시간동안 하강(-)기류가 지배적이었다. 신호대 잡음비는 황사관측기간동안 30dB 이상 관측되고 있으며, 황사관측 전 40dB 이상의 신호대 잡음비는 안개현상으로 신호대 잡음비는 강수현상뿐 아니라 안개, 황사현상에도 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 스펙트럼 비대칭도는 황사관측 기간동안 +10 이상이 전 고도에서 산발적으로 나타나고 있다.

제4장 결론

우리나라에 매년 봄철이면 아시아 대륙의 건조지역으로부터 장거리 수송되는 황사현상을 관측하게 된다. 세계기상기구가 정한 기상관측 방법에는 황사현상의 유무만을 식별, 보고토록 규정하고 있으나, 우리나라에서는 황사현상의 유무 이외에 그 강도를 구분하고 있다.

그러나 황사의 목측 결과가 관측자의 주관성에 크게 의존되어 있고 또 이를 황사 예측에 적용하기 어려워 관측기기에 의한 측정 자료와 연계한 정량화가 절실히 요구되고 있다. 이에 따라 황사의 정량적 관측을 위하여 군산지방에 최근 3년(2005~2007년)간 황사 현상이 관측된 날 중 PM10 농도값을 기준으로 3가지 유형으로 형태별로 사례를 선정하여 기사란, 지상 및 상층일기도, PM10, 황사라이다, 윈드프로파일러 자료 등을 이용하여 조사·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) PM10 농도 극값이 800㎍/㎥ 이상인 2 사례의 경우, 황사발원지인 내몽골의 황사이동경로 상의 관측지점 중 하나인 쥬리허에서 PM10 농도 극값이 9,000 ㎍/㎥ 이상 관측된 뒤, 군산에 황사현상이 관측된 시간은 27시간~32시간 후이었다. 황사라이다의 편광소멸도가 3~7km 부근에 0.15 이상 관측 된 후, 1km 이하 지상으로 침착되며 2시간~3시간 이내에 PM10 극값이 나타났다. 관측자가 육안으로 작성한 기사란의 황사관측 시작시간과 윈드프로파일러의 연직바람의 하강(-)기류의 시작시간과 일치했으며, 주풍계는 서~북서풍이 탁월하게 나타났다. 2km 이상에서 30~60kts의 서풍으로 빠른 황사입자의 이동을 추정할 수 있었으며, 스펙트럼 비대칭도는 (+)10 이상이 1~5km에서 폭넓게 나타났다.

2) PM10 농도 극값이 400~800㎍/㎥ 이하인 2사례의 경우, 1)과 유사하게 쥬리허에서 PM10 농도 극값이 9,000 ㎍/㎥ 이상 관측된 뒤, 군산에 황사현상이 관측된 시간은 4시간~19시간 후이었다. 황사라이다의 편광소멸도가 2~7km 부근에 0.3이상 관측되었으며, 이 후 1km 이하 지상으로 침착된 뒤에도 편광소멸도가 0.2이상 관측되었다. 관측자가 육안으로 작성한 황사 기사란의 황사 관측시작 시간과 윈드프로파일러의 연직바람의 하강(-)기류의 시작시간이 일치했으며, 주풍계는 서~북서풍이 탁월하게 나타났다. 신호대 잡음비는 1km 이하에서 30dB이상 나타났으며, 스펙트럼 비대칭도는 (+) 값

이 지배적이었다.

3) PM10 농도 극값이 400㎍/㎥ 미만인 3사례의 경우, 쥬리허에서 PM10 농도 극값이 9,000 ㎍/㎥ 이상 관측된 경우가 2사례, 3,000㎍/㎥이상이 관측된 경우가 1사례였으며, 황사발원지의 황사이동경로 상의 관측지점중 하나인 통랴오에서도 PM10 농도 극값이 9,000 ㎍/㎥ 이상 관측된 경우가 1사례 관측되었다. 군산에 황사현상이 관측된 시간은 7시간~26시간 후이었다. 황사라이다의 편광소멸도의 경우 상층에서는 나타나지 않았고, 1km 이하 지상에 침착되어 0.2 이상 관측되었다. 서~북서풍이 탁월하게 나타났으며, 신호대 잡음비가 1km 이하에서 30dB이상 관측된 시각과 라이다의 편광소멸도가 1km 이하에 침착된 시각과 일치하였으며, PM10 극값이 나타난 시간과 스펙트럼 비대칭도의 (+)10 이상 관측된 시각과 대체로 일치하였다.

4) 고비사막, 내몽골, 황토고원 등 황사발원지의 황사이동경로 상의 관측지점 중 한 곳 이상에서 PM10 농도 극값이 9,000㎍/㎥ 이상 관측된 경우는 7사례 중 6사례, 3,000㎍/㎥ 이상 관측된 경우는 7사례 중 1사례로 관측되었다. 즉 황사이동경로 상의 관측지점 중 한 곳에서 PM10 농도 극값이 9,000㎍/㎥ 이상 관측되면, 군산에 황사현상이 나타날 가능성이 높음을 알 수 있었다.

5) PM10 농도 극값이 400㎍/㎥ 이상인 경우에만 2~7km에서 황사라이다의 편광소멸도가 0.15 이상 관측되었으며, 400㎍/㎥ 이하인 경우에는 상층에 편광소멸도가 나타나지 않고 1km 이하 지상에서 편광소멸도가 증가하여 대기 중의 황사는 이미 지상에 침착되어 있음을 알 수 있었다. 즉 2~7km 부근에 황사라이다의 편광소멸도가 0.15이상 나타날 경우 군산에 PM10 농도가 400㎍/㎥ 이상 나타날 가능성이 있으므로 황사특보 발표 가능성을 예의 주시해야 한다.

6) PM10 농도 극값이 800㎍/㎥ 이상인 2사례의 경우 황사라이다의 편광소멸도가 2~7km 부근에 0.15이상 관측된 후 1km 이하 지상으로 침착되어 2시간~3시간 이내에 PM10 극값이 나타났으며, 400~800㎍/㎥의 2사례의 경우에는 황사라이다의 편광소멸도가 2~7km에서 0.3 이상 관측된 시간은 2시간 이내로 비교적 짧게 나타났다.

7) 현재 황사의 시정관측은 관측자가 목측으로 결정하고 있으나, 윈드프로파일러의 연

직바람의 하강(-)기류가 황사의 시작시간과 7사례 중 6사례가 일치하고 있으며, PM10 농도 극값이 800㎍/㎥ 이상인 경우 30~60kts로 황사의 이동모습도 파악할 수 있으므로 관측자가 황사의 시작시간을 결정하기 어려울 때, 윈드프로파일러의 연직바람의 수평분포를 참조해 볼 만하다.

8) 라이다의 편광소멸도가 1km 이하 지상에 침착되어 0.2 이상 값이 증가할 때 윈드프로파일러의 신호대 잡음비가 30dB 이상 관측되었으며, 편광소멸도 값이 증가할수록 신호대 잡음비도 증가하는 경향을 나타냈다. 스펙트럼 비대칭도는 황사관측 시 ((+)) 값이 1~5km 부근에서 폭넓게 관측되고 있으며, PM10 극값 관측시각과 7사례 중 3사례가 일치하였다.

앞으로도 PM10과 황사라이다, 윈드프로파일러를 비롯하여 광학입자계수기(OPC), 운고계 등의 다양한 관측기기를 이용하여 더 많은 황사사례분석을 통하여 황사의 이동과 농도의 특성분석능력을 향상시키면, 황사예보정확도를 더욱 높여 나갈 수 있을 것으로 생각된다.

이희훈, 김영화, 김영섭. GMS 위성의 적외차 영상을 이용한 황사역 탐지/한국기상학회, 가을 학술발표회 | 1998 권 38 ~ 39, 총 2 pages
윤순창, 원재광. LIDAR 를 이용한 황사 측정//한국기상학회, 가을 학술발표회 | 1998 권 235 ~ 237, 총 3 pages
전영신, 김지영, 최재천, 신도식. 황사시 서울과 안면도의 대기 중 에어러솔 수농도 비교/한국기상학회, 가을 학술발표회 | 1998 권 38 ~ 39, 총 2 pages
김영준, 이권호, 손은하. 2001년도 봄 초청강연 및 학술발표회 발표논문 / 포스터 발표 : GMS-5 위성자료를 이용한 황사 에어로졸의 모니터링/한국기상학회, 대기 (Atmosphere) | 11권 1호 434 ~ 436, 총 3 pages
김유근, 송상근, 문윤섭, 오인보, 배주현, 임윤규. 2001 년도 봄 초청강연 및 학술발표회 발표논문 / 포스터 발표 : 봄철 황사현상에 대한 기상장 분석 및 수치모의/한국기상학회, 대기 (Atmosphere) | 11권 1호 452 ~ 453, 총 2 pages
윤용훈, 최재천, 김정식, 차주완, 방소영. 2001 년도 봄 초청강연 및 학술발표회 발표논문 / 포스터발표 : 2001년 3월에 관측된 황사의 물리적 특성/한국기상학회, 대기 (Atmosphere) | 11권 1호 458 ~ 460, 총 3 pages
김유근, 송상근, 오인보. 2002 년도 봄 초청강연 및 학술발표회 / 제 3 분과 (A) 환경 및 응용기상 : 종관기상장 및 지형의 특성에 따른 황사의 수송경로 추정/한국기상학회, 대기 (Atmosphere) | 12권 1호 261 ~ 263, 총 3 pages
곽용문, 전종갑. 포스터 논문발표 : 한반도에 수송되는 심한 황사와 기상장/한국기상학회 , 대기 (Atmosphere) | 12권 3호 546 ~ 549, 총 4 pages
이은희, 인희진, 박순웅. 환경 및 응용기상 분과 : 환경 및 응용기상 2 ; 2002년 봄철 황사 발원지에서의 먼지 발생과 기상 조건 관련성/한국기상학회, 대기 (Atmosphere) | 13권 1호 246 ~ 247, 총 2 pages
차주완, 조경숙, 최병철, 포스터 발표 : 황사 발생기간 서해안지역에서의 해양성 에어러솔 광학 두께 분석 연구/한국기상학회, 대기 (Atmosphere) | 13권 1호 554 ~ 557, 총 4 pages
윤용황. 연구논문 : 한반도에 수송되는 황사의 특징에 관한 연구/한국기상학회, Journal of the Korean Meteorological Society | 26권 2호 111 ~ 120, 총 10 pages
정관영, 박순웅. 연구논문 : 한반도에 황사 출현시의 종관 기상 특징/ARTICLES :

Characteristic Synoptic Features Associated with the Transport of Yellow Sand to Korea/한국기상학회, Journal of the Korean Meteorological Society | 31권 1호 45 ~ 63, 총 19 pages
이동규, 김영아. 연구논문 : 1980 - 1989 년 북동아시아의 봄철 일기 유형 및 황사 현상과의 관계/ARTICLES : Springtime Weather Types over Northeast Asia and Relationship with Yellow Sand Events during 1980 - 1989/ 한국기상학회, Journal of the Korean Meteorological Society | 33권 1호 17 ~ 40, 총 24 pages
2005년 봄철 황사보고서 / 한국기상학회
2006년 봄철 황사보고서 / 한국기상학회

감사의 글

오월의 신록이 무르익던 2년 전 초여름 교수님의 추천을 받아 대학원에 입학한지가 엊그제 같은데 어느덧 학업을 마치고 영광스러운 졸업하게 되니 만감이 교차하고 이 기쁜 마음을 어떻게 표현해야 할지 망설여집니다.

아이와 남편의 전폭적인 지지를 받으며 대학원 진학을 결정하고 수업을 받으러 광주를 오가면 지금이 내 인생에서 가장 열정적인 때가 아닌가 생각합니다.

그동안 수업을 받으면서 현장에서 습득한 경험이 체계적인 지식으로 환류 될 때에는 늦었으나 시작하길 잘했다는 마음이 가득했으며 그만큼 큰 보람도 느꼈습니다. 돌이켜보면, 직장을 다니며 학업을 수강하다보니 남들보다 두 세배의 노력을 해야 했고, 직장일 때문에 수강에 어려움이 있을 때마다 교수님들과 학우님들의 격려와 따듯한 배려가 있었기에 오늘의 이 영광을 누리게 되었습니다.

무엇보다도 오늘의 이 기쁨을 누릴 수 있었던 것은 공부할 수 있는 길을 열어주시고, 부족한 학문에 기틀을 채워주시며, 논문이 완성 될 수 있도록 지도해주신 류찬수 교수님의 보살핌이 있었기에 가능한 일이었습니다, 또한 힘들 때마다 따듯한 마음으로 보살펴주시고 학문을 전수해 주시고 논문심사에 정성을 아끼지 않으신 정효상 교수님, 오완탁 교수님, 이종호 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

아울러 그동안 학업을 충실히 할 수 있도록 격려해주신 대기과학과 선후배 동료님들 그리고 논문이 완성 될 수 있도록 격려를 아끼지 않았던 전주기상대 직원 여러분들께도 감사를 드리며, 특히 저의 정신적 지주인 권정주씨와 권준원님에게 깊은 감사를 드립니다.

이 논문을 마칠 수 있도록 저를 아끼고 도움을 주셨던 모든 분들께 항상 건강하시고 가정에 행복이 충만하시기를 기원 드리며 감사의 글을 올립니다.

감사합니다.

2008년 2월

최 경 숙 배상

저작물 이용 허락서

학 과	대기과학과	학 번	20067211	과 정	석사
성 명	한글: 최경숙 한문 : 崔 敬 淑 영문 : Choe Gyung Suk				
주 소	전주시 완산구 효자동 엘드수목토1차아파트 102-1201				
연락처	E-MAIL : kyungsuk@kma.go.kr				
논문제목	한글 : 군산지방의 황사특성 분석 : 2005-2007 영어 : Study of the Characteristics of Asian Dust Events over Gunsan, Jeollabuk Prov., Korea for 2005-2007				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만,
   저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대( )

2008년 2월 일

저작자: 최경숙 (인)

조선대학교 총장 귀하