

봄철 서해안 해무의 수치 예보

Numerical forecasting of sea fog at West sea in spring

김영철*, 한경근(한서대학교)

1. 서 론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸인 지형 조건으로 인해 수증기의 수송이 유리하고, 낮은 구름 지나 평야 지대인 서쪽 지방은 야간 복사 냉각이 잘 발생하여 복사무가 많이 형성되는데 특히 봄, 가을에 잦은 안개가 끼고 있다. 그러나 복사무는 해가 뜨면 잘 소산하기 때문에 안개의 지속 시간 때문에 생기는 어려움은 비교적 적다. 이에 반해 보통 3월에서 8월까지 발생하는 해무는 -우리나라의 해무는 온난 습윤한 남서 기류의 영향으로 발생되는 이류무가 대부분- 그 지속시간이 길어서 겪게 되는 어려움이 많다. '86~'95년간 통계 자료에 의하면 경기만을 중심으로 한 서해 중부 해상에서 연간 60일, 목포 서쪽을 중심으로 한 서해 남부 해상에서 45일 등으로 해무 다발 지역인 것으로 나타났다(이우진, 2006). 따라서 여러 날 지속되는 해무가 서해안 인근 비행장에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다.

우리나라 근해에서 발생하는 해무에 관한 연구는 그동안 많이 있었으나, 서해안 해무에 관한 연구는 박원선과 신기윤(1997)의 연구가 있을 뿐 그 중요성에 비해 연구가 많지 않다. 또한 대부분의 연구는 통계적인 분석이나 종관적 특성 연구이며 수치 예보에 관한 연구는 거의 시도되지 않았다.

본 연구는 봄철 서해상에서 발생하는 해무의 수치 예보 가능성을 판단하기 위하여 가장 전형적인 봄철 해무 사례라고 할 수 있는 2003년 3월 24~26일 사례를 바탕으로, 종관 일기도, 위성영상자료, 해수면 온도 자료를 사용하여 종관 특성을 알아보고 기상 수치예보 모델인 MM5를 사용하여 해무 발생과 소멸 예측을 위한 수치예보를 시도하였다.

2. 종관 분석

1. 종관 개요

본 사례는 우리 나라 북쪽으로 기압골이 통과하고 나서 3월 24일 오후부터 서해상에 해무가 발생하기 시작하여 3월 26일까지 지속되어 해안 및 인접 중서부 내륙 지방까지 시정장애와 저고도 실링 현상이 나타난, 가장 전형적인 봄철 서해안 해무 사례이다.

2. 종관 분석

Fig. 1의 왼쪽 패널은 24일~26일 15시 지상일기도를, 중간 패널은 같은 시각 850hPa 상층 일기도를, 오른쪽 패널은 같은 시각 위성 가시 영상을 보인 것이다.

지상일기도에서 24일부터 서해상으로 기압능이, 동한만으로 저기압 중심이 위치하여 우리나라 북동쪽으로 기압골이 확장하는 기압배치가 나타나고 있다. 25일에는 고기압이 확장하고 있으며, 서해상에 서 내지 남서 기류의 유입되면서 해무는 서해안 전역에 영향을 주었다. 26일 들어 이동성 고기압이 점차 동진하면서 서해상의 해무는 소멸되었다.

850hPa 상층 일기도를 보면, 24일부터 서해상으로 기압골과 Thermal Trough가 형성되었고, 기압골의 축이 동진하여 고기압의 전면에 놓였다가 26일 들어 벗어났다.

위성 가시 영상에서는 발해만 부근과 서해 5도 및 먼 바다에서 해무가 유입되어 25일은 서해 지방은 완전 차폐를, 인접 내륙지방은 1마일 이하의 시정과 낮은 층운이 형성되었다가 26일에 약화되었다.

또한, 25일 09시 오산 단열선도에서는 지상에서 상층까지 서풍이 불고 있으며, 지상에서부터 약 3,000ft까지 습윤층이 형성되어 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 2는 25일 우리나라 근해 해수온도(좌)와

해수면온도편차(우)를 각각 나타내 것이다. 해무 기간 동안 서해상의 해수면온도 분포는 큰 변화 없이 태안반도 부근에 5°C선이 지나고 있고, 서해는 4~7°C의 분포를 보이고 있으며, 이러한 해수면 온도 분포는 평년보다 0.5~1°C 정도 낮은 것이다. 이는 평년보다 낮은 해수면 위를 온난한 서풍 기류 계열이 통과할 때 더 큰 온도차가 발생하여 온난 이류성 해무 발생에 용이한 조건으로 작용하였다.

종합하면 이 해무 사례는 동중국해에 중심을 둔 이동성 고기압의 영향권에서, 온난한 서풍 기류가 평년에 비해 낮은 해수면 온도를 유지한 서해상으로 이류되면서 해무가 발생한, 가장 전형적인 봄철 해무 특성을 보인 것으로 분석되었다.

3. 수치예보 실험

1. 모델 개요 및 구성

이 연구를 위해 사용된 MM5는 Anthes와 Warner(1978)에 의하여 고안된 PSU/NCAR 모델에 기초를 두고 있으며, 우리나라 실정에 맞도록 지속적으로 개선 및 보완되었다.

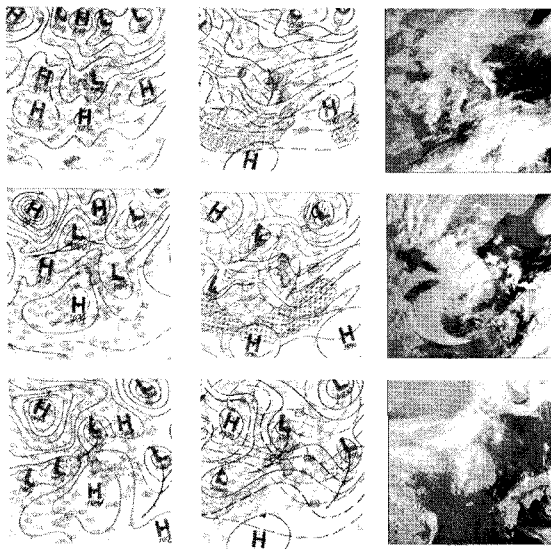


Fig. 1. The synoptic field from 24th March to 26th March 2005.

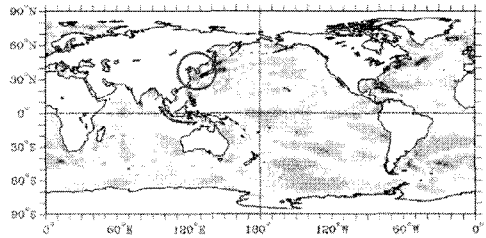


Fig. 2. Daily mean SST(up), weakly mean SST anomaly(down) 25th March 2005.

MM5는 3차원 원시 방정식 모델이며, 중관 규모에서 중간-규모의 대기 현상에 적합하도록 개발되었다. 모델의 수평 격자계는 Lambert-Conformal 도법에 의한 등거리 간격의 격자계를 사용하며, 격자 간격은 20km에서 200km까지 할 수 있다. 연직 좌표계는 23층의 좌표계를 사용하며, 수평 좌표계와 연직 좌표계 모두 차 격자계(staggered grid system)를 사용했다. 연변 경계 조건은 완화법(Relaxation method)을 사용하여 경계 자료로 사용되는 대규모 모델의 결과 값을 완화하여 사용되도록 구축했다.

이 실험을 위해서는 한반도 서해안에 대한 상세한 수치 예보 자료가 필요하여 수평 격자 거리가 60km인 성급 격자 모델과 수평 격자 거리가 20km인 상세 격자 모델을 각각 구성했으며, 그 두 모델을 등지 격자 체계로 구성하였다. 성급 격자 모델과 상세 격자 모델 간의 연속성 및 연계성을 고려하여 모두 비정역학 모드로 설정하였다.

이 해무 사례를 위해 구성된 MM5 모델 구성은, 성급 격자 모델(Domain 1)과 상세 격자 모델(Domain 2)에 대해 모델을 수행했다. 성급 격자 모델은 수평 격자 거리가 60km 간격으로 적운 모수화 과정은 Grell 방안을 사용했으며, 상세 격자 모델은 수평 격자 거리가 20km 간격으로 적

운 모수화 과정은 Kain-Fritsch 방안을 사용했다.

모델 수행을 위한 사용된 초기 자료는 기상청 전구 모델인 수평 격자가 1.875°인 GDAPS(Global Data Assimilation and Prediction System) 자료이며, 관측 자료는 GTS(Global Telecommunication Systems) 전문 자료를 사용하여, 중규모 대기 현상 모의에 가장 적합하도록 구성했다. 또한 가장 중요한 경계 자료인 해수면 온도 자료는 0.1° 수평 격자를 갖는 5일 평균 KMA SST(Korea Meteorology Administration Sea Surface Temperature)를 사용했다.

2. 시정 계산 과정

MM5에서 시정 계산은 아래 식 (1)과 같이 계산한다.

$$VIS (mile) = 6000 \cdot \frac{T - T_d}{RH^{1.75}} \quad (1)$$

(T:기온, Td:노점 온도, RH:상대습도)

이 식은 미국 FSL에서 Doran et al.(1999)에 의해서 개발되었다. 식에서 알 수 있는 것과 같이, 시정은 노점편차(T-Td)와 상대습도의 비로 계산이 되는데 노점편차와 상대습도 모두 공기중의 수증기량에 관련된 변수이므로 수증기 외의 시정 악화 요인은 배제하고 있다. 따라서 이 식은 내륙에서 국지적인 지형 등의 영향을 많이 받는 복사무 보다는 해무의 예측에 유리하다고 볼 수 있다.

노점온도(Td)는 현재의 수증기압(e)이 포화수증기압(es)과 같을 때의 기온이고 상대습도(RH)는 포화수증기압에 대한 현재 수증기압의 비이다. 이를 바탕으로 각각의 변수를 기온(T)과 기압(p) 그리고 혼합비(w)의 함수로 정리하면 아래와 같이된다.

$$T_d = 273 \frac{\ln e - \ln 6.1}{19.8 - (\ln e - \ln 6.1)} \quad (2)$$

$$e = \frac{8}{0.622} \quad (3)$$

$$e_s = 6.1 \exp(0.073 T) \quad (4)$$

$$RH = 100 \frac{e}{e_s} \quad (5)$$

위 식을 이용해 다시 정리하여 노점편차와 상대습도를 각각 표현하면,

$$T - T_d = T - 273 \frac{\ln\left(\frac{8}{0.622}\right) - \ln 6.1}{19.8 - \left(\ln\left(\frac{8}{0.622}\right) - \ln 6.1\right)} \quad (6)$$

$$RH = \frac{100 \frac{8}{0.622}}{6.1 e^{0.073 T}} \quad (7)$$

두 식 모두 혼합비와 기압, 기온의 함수로 표현되었다.

식 (1)은 습도와 온도, 기압의 함수이며 습도나 기온, 그리고 기압이 높을수록 낮은 시정을 모의하는 경향성을 나타내어 더욱 현실적인 시정 계산이 가능함을 알 수 있다.

3. 수치예보 모델 결과

Fig. 3은 성금 격자 모델 결과로 왼쪽 패널이 시정을, 오른쪽 패널이 지상 변수(기온, 상대습도, 바람)를 나타내며, 위에서부터 차례대로 24일 09시, 25일 09시, 25일 21시 자료이다. Fig. 3에서 왼쪽 패널에 보인 시정은 연한 회색은 3~7mile 사이 영역, 연한 초록은 1~3mile 사이 영역, 진한 초록은 1mile 이하 영역을 각각 나타낸다. 그리고 오른쪽 패널에서 빨간 대쉬선이 지상 기온을, 초록색은 바람을 각각 나타내며, 파란색은 상대습도 80% 이상인 영역을 나타낸다.

시정을 보면 24일에는 해무가 아직 중국 동해상에 머물고 있으나 25일 들어 한반도 서해안 및 인접 연안 지역을 완전히 뒤덮었으나, 25일 21시 들어 점차 해무가 약해지는 것을 볼 수 있다. 오른쪽 패널에서 지상 기온을 보면, 해무가 가장 강했던 25일에는 한반도 주변 기온이 많이 약해졌음을 볼 수 있고, 바람 또한 강한 서풍 계열을 보이다 25일 21시 들어 강한 남풍 내지 남서풍 계열로 바뀌었음을 알 수 있다. 상대습도 분포 또한 시정과 같이 25일 중국 동해를 완전히 뒤덮었으나, 25일 21시 들면서 한반도 서해 및 연안 지역으로 매우 약해졌음을 알 수 있다.

Fig. 4는 상세 격자 모델 결과를 보인 것으로, 그림 구성은 Fig. 3과 같다. 상세 격자 모델에서도 성금 격자 모델과 같이 25일 09시에 해무가 가장 강하고, 상대적으로 낮은 기온을 보이며, 25일 21시 들어 바람이 남풍 내지 남서풍으로 바뀐다는 것에서는 Fig. 3의 양상과 같다.

그러나, 전반적으로 24일 09시부터 서해 5도를 포함한 서해안 지역으로 해무의 영향이 나타나고 있으며, 전반적으로 성금 격자 모델 결과보다 더욱 강한 해무를 모사하고 있음을 알 수 있다. 또한 25일 09시에 상세 격자 모델이 태안반도 지역으로 강하게 모사하나, 성금 격자 모델은 충청도 지역 모두를 모사하는 등 전반적으로 내륙 지역을 과도 모사하는 경향을 보인다. 이러한 결과는 25일 09시 기온과 상대습도 모사 결과에서도 확

인할 수 있다.

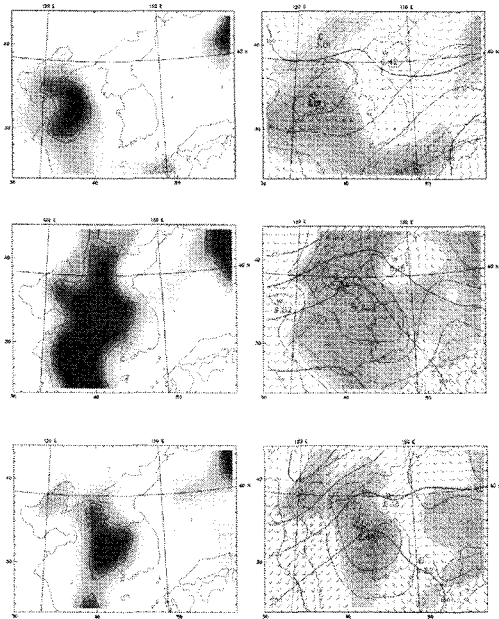


Fig. 3. The MM5 output using the coarse grid.

4. 결 론

본 연구는 봄철 서해상에서 주로 발생하는 해무의 수치 예보 가능성을 판단하기 위하여 '03년 3월 24~26일 사례를 바탕으로, 종관 일기도, 위성영상자료, 해수면 온도 자료를 사용하여 종관 특성을 알아보고 기상 수치예보 모델인 MM5를 사용하여 해무 발생과 소멸 예측을 위한 수치예보를 시도한 것이다.

서해안 해무 사례에 대한 종관장 분석 결과를 요약하면, 우리나라는 남서해상에 중심을 둔 이동성 고기압의 영향으로 따뜻한 서 내지 남서 계열의 기류가 지속적으로 유입되었다. 또한 우리나라 주변 해수면 온도가 평년보다 0.5~1℃ 정도 낮은 분포로 해기차(해양 대기 온도차)가 증가하면서 해수면 부근에서 수증기의 응결이 쉽게 이루어져 해무 발생이 더욱 용이해졌고, 또한 고기압의 영향으로 상층 역전 현상이 나타나 층운 소산을 어렵게 하여 2~3일간 한반도는 해무의 영향을 받았다.

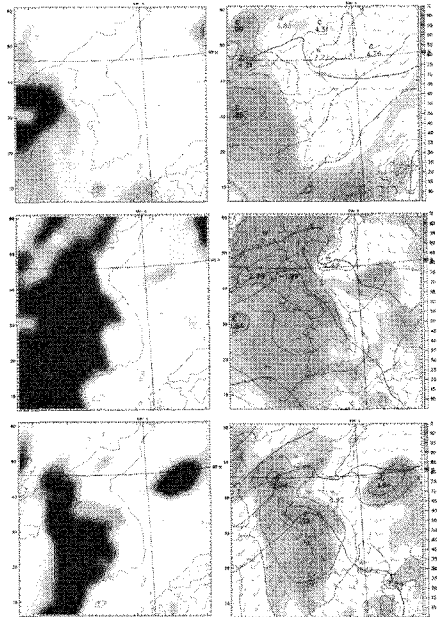


Fig. 4. The MM5 output using the fine grid.

종관장 분석 결과를 바탕으로 상급 격자 모델과 상세 격자 모델을 사용하여 사례를 검증한 결과 대체적으로 종관장의 특징을 잘 나타내고 있었으며, 특히 상세 격자 모델에서 더욱 정교하게 예보하고 있음을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 해무 발생과 소멸 예측에 있어 수치예보 모델 결과 적용 시 그 예측 가능성이 매우 높음을 의미하는 것으로, 해무 예보에 수치예보 모델을 적용할 수 있는 한 시발점이 될 수 있을 것이다. 따라서 이 연구를 바탕으로 수치예보 모델에 의한 해무의 특성 및 예보척에 대한 보다 많은 연구가 이루어지면 해무 예보의 정확성 향상을 기대 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이우진, "일기도와 날씨해석", 광교이텍스, 2006, p.146
- [2] 박원선, 신기윤, "황해상의 해무에 관한 연구", 한국기상학회 추계발표회, 1997.
- [3] Anthes, R. A., and T. T. Warner, 1978: Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. Mon. Wea. Rev., 106, 1045-1078.

[4] Doran, J. A., P. J. Roohr, D. J. Beberwyk, G. R. Brooks, G. A. Gayno, R. T. Williams, J. M. Lewis, and R. J. Lefevre, 1999: The MM5 at the Air Force Weather Agency - New products to support military operations, The 8th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Dallas, Texas, 10-15 January.