

기상 입력 자료가 연안지역 고농도 오존 수치 모의에 미치는 영향

Numerical Study on the Impact of Meteorological Input Data on Air Quality Modeling on High Ozone Episode at Coastal Region

전원배 · 이화운* · 이순환¹⁾ · 최현정 · 김동혁 · 박순영
부산대학교 지구환경시스템학부, ¹⁾부산대학교 환경문제연구소
(2010년 6월 28일 접수, 2010년 9월 8일 수정, 2010년 11월 22일 채택)

Won-Bae Jeon, Hwa Woon Lee*, Soon-Hwan Lee¹⁾, Hyun-Jung Choi,
Dong Hyuk Kim and Soon Young Park
Division of Earth Environmental System, Pusan National University, Busan, Korea
¹⁾*Institute of Environment Studies, Pusan National University, Busan, Korea*
(Received 28 June 2010, revised 8 September 2010, accepted 22 November 2010)

Abstract

Numerical simulations were carried out to investigate the impact of SST spatial distribution on the result of air quality modeling. Eulerian photochemical dispersion model CAMx (Comprehensive Air quality Model with eXtensions, version 4.50) was applied in this study and meteorological fields were prepared by RAMS (Regional Atmospheric Modeling System). Three different meteorological fields, due to different SST spatial distributions were used for air quality modeling to assess the sensitivity of CAMx modeling to the different meteorological input data. The horizontal distributions of surface ozone concentrations were analyzed and compared. In each case, the simulated ozone concentrations were different due to the discrepancies of horizontal SST distributions. The discrepancies of land-sea breeze velocity caused the difference of daytime and nighttime ozone concentrations. The result of statistic analysis also showed differences for each case. Case NG, which used meteorological fields with high resolution SST data was most successfully estimated correlation coefficient, root mean squared error and index of agreement value for ground level ozone concentration. The prediction accuracy was also improved clearly for case NG. In conclusion, the results suggest that SST spatial distribution plays an important role in the results of air quality modeling on high ozone episode at coastal region.

Key words : SST, Air quality modeling, High ozone, Coastal region

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)51-510-2291, E-mail : hwlee@pusan.ac.kr

1. 서 론

최근 대기오염현상이 심각한 사회적 문제로 대두되면서 대기오염물질의 예측과 저감방안에 관한 관심이 날로 증대되고 있다. 이러한 시대적 흐름에 발맞추어 대기질 분석과 예측에 관한 다양한 연구들이 진행되고 있는데 특히, 수치모형을 이용한 대기질 연구가 활발히 진행되고 있다(Taha 2008; Choi *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 2007).

수치모의를 통한 대기질 연구는 오염현상의 진단 및 분석뿐만이 아니라 예측까지도 가능하다는 측면에서 매우 큰 장점을 가지지만, 대기질 모델의 수행 능력과 모의결과의 정확성이 충분히 신뢰할 수 있는 수준이라는 사실의 검증이 반드시 선행되어야 한다. 대기질 모의결과는 다양한 요소들에 의해 결정되는데, 대상지역의 배출량이나 모델에 적용된 광화학 메커니즘 그리고 기상 입력장과 같은 요소들은 모델의 예측 정확성과 매우 밀접한 관련을 가진다. 특히, 대기질 수치모의에 있어서 기상 입력장의 중요성을 역설한 연구는 다양하게 보고된 바 있는데, Lee *et al.* (2005)은 복잡한 해안지역에서의 기상장 개선이 대기질 모델의 결과향상에 미치는 영향에 관해 연구한 바 있으며, Pirovano *et al.* (2007)은 연안지역을 대상으로 기상장의 차이가 광화학 수치모의 결과에 미치는 영향에 관해 살펴보았다. 또한 Stauffer *et al.* (2000), Umeda *et al.* (2002) 그리고 Lee *et al.* (2005)은 자료동화에 의한 기상장 개선이 대기질 모의결과향상에 미치는 영향에 대해서 연구한 바 있다. 이러한 선행연구들에서 밝혀진 바와 같이 대기질 모의결과의 개선을 위해서는 정확한 기상 입력장의 표출이 선행되어야 하는데, 우리나라의 경우 산악의 면적이 넓고 해안선의 형태가 매우 복잡한 지형적 특성을 가지고 있기 때문에 정확한 기상장의 표출이 쉽지 않다. 이러한 복잡 지형에서의 정확한 기상장 모의를 위해 Jeon *et al.* (2009)은 고해상도의 해수면 온도자료를 적용하여 상세한 바람장 및 온도장을 모의하였다. 하지만 해수면 온도 자료의 차이에 따른 기상장의 차이가 대기질 모의 결과에 미치는 영향까지는 살펴보지 못했다. 따라서 본 연구에서는 해수면 온도 분포의 차이에 따른 국지순환계의 변화특성을 비교 분석해 보았던 Jeon *et al.* (2009)의 연구에 이어서 기상장의

차이가 대기질 모의 결과 특히, 고농도 오존의 모의 결과에 미치는 영향을 알아보기 위해 대기질 모델을 이용하여 기상 입력장 차이에 따른 오존농도의 시공간적 분포 특성을 살펴보고자 한다.

2. 연구방법 및 실험설계

2.1 연구 대상 지역 및 사례기간

본 연구의 대상지역인 광양만 권역은 그림 1에 나타난 바와 같이 전라남도 동부 연안에 위치하고 있으며 산지 및 강과 바다를 포함하는 매우 복합적인 지형을 가지고 있다. 또한 이 지역에는 광양제철소를 비롯하여 여수 국가산업단지 그리고 크고 작은 화력 발전소 등의 대형 오염원들이 집중적으로 위치해 있는데, 이에 따른 대기오염 문제가 빈번히 발생한다. 미세먼지와 VOC 및 유해가스에 의한 오염현상 뿐만 아니라, 광화학반응에 의한 고농도 오존 발생의 빈도도 상당히 높게 나타난다. 특히, 이 지역의 오염현상은 복잡한 풍계와 결합하여 매우 특수하고 광범위하게 나타나는 특징을 가지는데, 주요오염원에서 배출된 오염물질이 광화학 반응에 의해 2차 오염물질을 생성시키고 해륙풍 및 산곡풍에 의해 이류, 확산되면서 오염의 양상이 매우 복잡하게 나타난다. 그림 2(a)는 대상지역인 광양만 권역과 수도권 및 주요 광역시의 2007년 연평균 및 8월 평균 오존농도를 나타낸 것이며, 그림 2(b)는 지역별 환경기준 초과일수를 나타낸 것이다. 광양만 권역은 서울, 부산, 대구와 같은 대도시들에 비해 연평균 및 8월 평균 오존농도가 높게 나타나며, 오존농도가 1시간 및 8시간 환경 기준치를 초과한 고농도 오존발생 횟수 역시 가장 높게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다(Ministry of Environment, 2008).

기상 입력장의 차이에 따른 대기질 모의 결과의 뚜렷한 차이를 살펴보기 위해 중관장의 영향을 크게 받지 않고 고농도 오존이 발생했던 2007년 8월 24일 0900LST부터 26일 0900LST까지를 수치모의 사례기간으로 선정하였다. 사례일 동안의 기온변화를 살펴보면 대상지역 내에 위치한 여수, 남해, 진주 기상대에서 관측된 평균 일 최고기온이 33°C 이상으로 나타나서 8월 중 최고를 기록했다. 이러한 강한 일사는 광화학 반응을 활성화 시켜 오존이 생성되기 쉬운 기

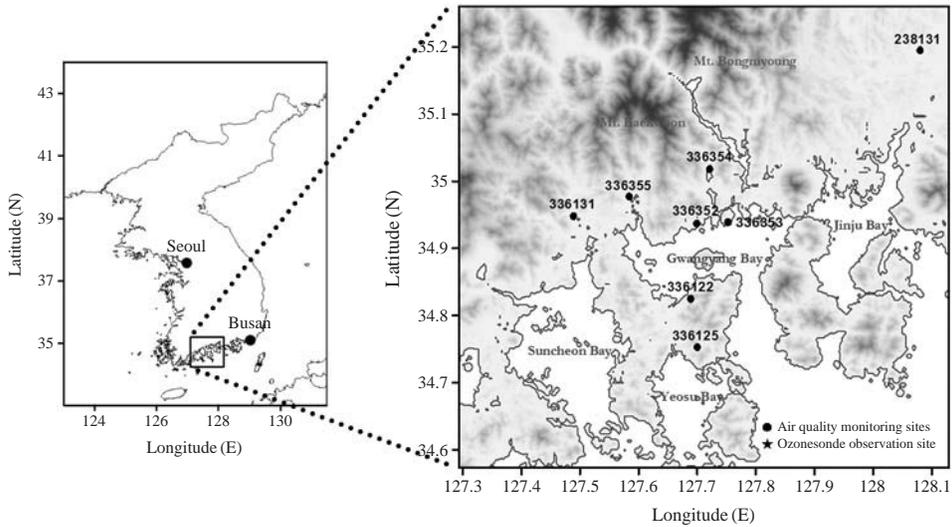


Fig. 1. The location map of domain used in this study: The inset figure in the right panel shows the air quality monitoring sites (●). (238131: Sangbongdong, 336122: Samildong, 336125: Munsudong, 336131: Jangcheondong, 336352: Jungdong, 336353: Taeindong, 336354: Jinsang, 336355: chilsungli).

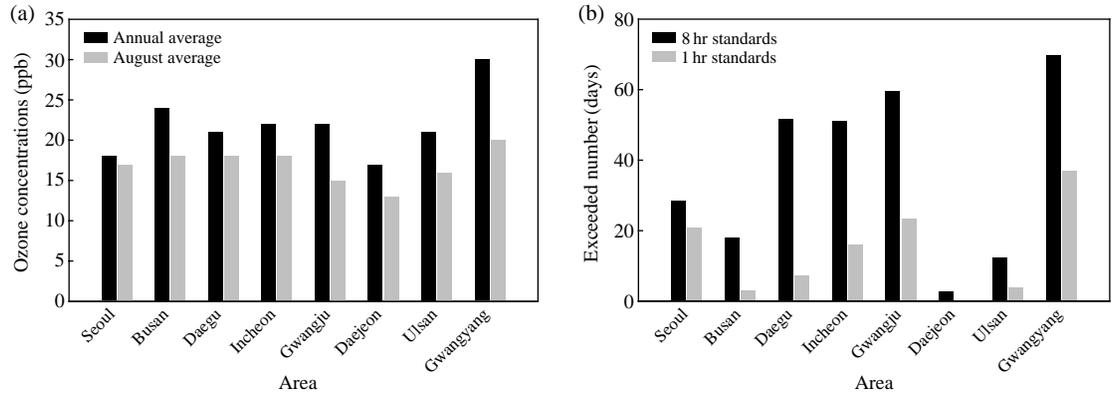


Fig. 2. (a) Comparison of annually and monthly averaged ozone concentrations in 2007. (b) The number of day exceeded to 1-hour and 8-hour ambient air quality standards for ozone in 2007.

상환경을 제공했으며, 약한 풍속에 의해 오존의 수송과 확산이 제한되어 오존농도 수준의 급격한 증가가 용이한 기상조건이었다. 그림 3은 사례기간 동안 대상지역 내에 분포하고 있는 대기오염 자동측정망에서 관측된 오존농도를 나타낸 것이다. 월래동, 진상, 태인동 지점을 제외한 모든 지점에서 100ppb 이상의 고농도 오존이 관측되었다. 따라서 본 연구에서는 국지풍계가 잘 드러나 기상장의 차이를 살펴보기 쉽

고, 고농도 오존현상이 광역적으로 나타난 2007년 8월 25일을 대표 사례일로 선정하였다.

2.2 대기질 모델

본 연구에서 사용된 모델은 CAMx(The Comprehensive Air quality Model with Extension, Ver. 4.50)이다. CAMx는 도시 또는 그 이하의 규모에서부터 대륙규모에 이르는 광범위한 오염 현상의 수치모의

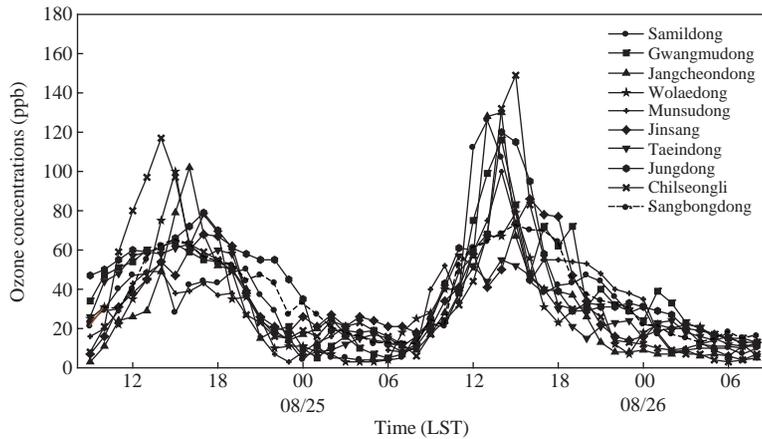


Fig. 3. Diurnal variations of ozone concentrations for modeling days at 10 air quality monitoring sites in Gwangyang area.

에 사용되는 광화학 확산 모델이며 (ENVIRON, 2008), 연속방정식에 기반 하여 오염물질의 배출량, 확산, 화학반응에 의한 생성 및 소멸과정을 계산한다. 이 모델은 Universal Transverse Mercator, Rotated Polar Stereographic, Lambert Conic Conformal과 같은 다양한 좌표계를 지원하고 수평 좌표는 Arakawa-C 격자 구조를 따른다. 또한 RAMS, WRF (Weather Research and Forecasting Model), MM5 (The Fifth-Generation Mesoscale Model)와 같은 기상모델과 SMOKE (Sparse Matrix Operator Kernel Emissions), CONCEPT (Consolidated Community Emissions Processing Tool), EPS (Emission Performance Standard), EMS (Emissions Modeling System)와 같은 다양한 배출량 생성 모델의 결과값을 입력 자료로 사용할 수 있다.

2.3 자료 및 실험설계

본 연구에서 적용된 CAMx 모델링 수행 조건을 표 1에 나타내었다. RAMS의 기상장 모의 결과를 기상 입력 자료로 사용하였으며, 세 가지 경우의 기상장에 대한 대기질 모의결과 차이를 살펴보았다. NGSST 해수면 온도 자료를 이용한 경우 (Case NG, 이하 NG), RAMS의 기본 월평균 자료를 사용한 경우 (Case RM, 이하 RM), RAMS의 여름철 (6~8월) 평균자료를 사용한 경우 (Case RS, 이하 RS)에 대한 세 가지 기상 입력장을 이용하였다. 각 기상장에 대한 개요 및 특징은 Jeon *et al.* (2009)에서 자세하게 논의 되었으므로 이에 대한 논의는 생략하였다. 대상지역은 남쪽으

Table 1. Description of three different experiments for air quality modeling.

Air quality model	CAMx Ver. 4.50
Horizontal resolution	1 km
Horizontal grids	77 × 77
Vertical layers	16 layers
Emission data	CAPSS
Simulation time	48 hours
Chemical mechanism	CB-IV
Meteorological input data	Case NG Case RM Case RS

로 바다를 끼고 있기 때문에 해풍 풍계인 남풍 계열의 바람이 주풍이 된다. 따라서 풍상측인 남쪽의 경우 바다가 위치하고 있어 대규모 배출원이 존재하지 않기 때문에 다중 동지격자 사용을 통한 외부 물질 수송의 고려는 이루어지지 않았다. 기상장의 최종 도메인과 동일한 영역에 대해 수평 격자간격 1 km로 대기질을 수치모의 하였으며, 대상영역에 대한 물질별 초기치 및 경계치는 CAMx에서 기본적으로 제공되는 물질별 기본 농도 값을 사용하였다. 또한 상층 오존의 유입에 대한 고려를 위해 성층권 오존농도 자료인 TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)를 사용하였다. 연직 격자의 수는 16개로 설정하였으며, 광화학 메커니즘으로는 CB-IV를 사용하였다. CB-IV 메커니즘은 UAM (Urban Airshed Model)과 ROM (Regional Oxidant Model) 등과 같은 여러 광화학 대기질 모델에 사용되고 있으며, 총 36개의 종과 11개

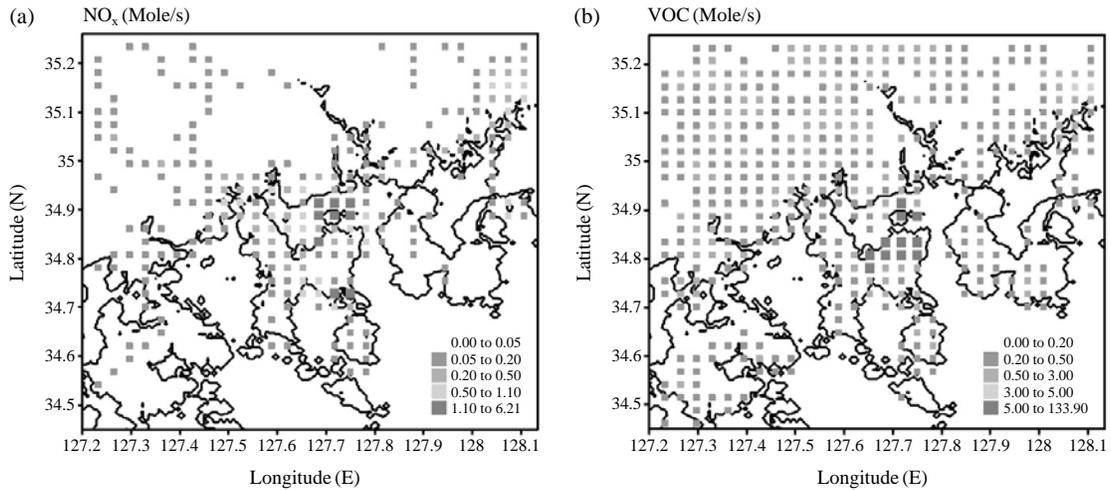


Fig. 4. Distribution of (a) NO_x and (b) VOC emissions in the Gwangyang bay region, which are based on the CAPSS.

의 광분해 과정을 포함한 93개의 반응을 포함하고 있다. 한편, 배출량 자료로는 2001년 CAPSS (Clean Air Policy Support System) 자료를 사용하였으며, 오존 광화학 반응의 주요 물질인 NO_x와 VOC의 배출량 분포는 그림 4에 나타난 바와 같다. 여수 국가 산업단지가 위치한 여수반도 부근과 광양 제철소를 중심으로 배출량이 집중되어 있음을 볼 수 있다.

3. 수평장 모의결과

기상장에 따른 실험별 대기질 수치모의 결과의 차이를 알아보기 위해 대상일의 야간과 주간 오존농도 수평분포를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림 5, 6에 나타난 시간대의 실험별 기상장 차이에 대한 분석 결과는 Jeon *et al.* (2009)에서 자세하게 논의되었으므로 생략하였다. 우선 그림 5에 나타난 0000LST의 결과를 보면 세 실험의 오존농도 분포가 큰 차이를 보이지 않고 있음을 볼 수 있으며, 기상장 분석결과에서 풍속의 차이가 다른 지역에 비해 상대적으로 높게 나타났던 광양만과 진주만, 그리고 백운산과 봉명산의 산하면인 하동, 금남, 진주 일대를 중심으로 5ppb 이하의 낮은 오존농도 분포가 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 야간의 경우 주간과는 달리 광화학 반응에 의한 오존의 생성이 제한되기 때문에 오존농

도의 수평분포는 일반적으로 바람에 의존적인데, 풍속이 강할수록 수평 이류 및 확산이 활발해 질 수 있기 때문에 고풍속대를 중심으로 오존의 농도가 낮아지게 된다. 따라서 풍속이 다른 지역에 비해 상대적으로 강하게 나타난 지역을 중심으로 오존의 저농도 영역이 분포하고 있으며, 세 실험 모두 바람장의 큰 차이를 보이지 않았기 때문에 오존농도의 수평 분포 또한 큰 차이가 나타나지 않고 있음을 볼 수 있다.

0300LST의 결과 역시 광양만과 백운산 및 봉명산의 풍하측을 중심으로 오존농도가 낮게 나타나고 있는 가운데, 0000LST의 결과에 비해 실험별 오존농도 분포의 차이가 크게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 우선 NG의 경우 육풍으로 인해 순천만 연안에서의 오존농도가 낮게 나타나고 있는 반면, RM과 RS에서는 육풍이 제한적으로 나타나 NG에 비해 저농도 영역이 작게 분포함을 확인할 수 있다. 또한 봉명산 산하면에서의 오존농도 분포를 살펴보면 RM과 RS는 하동과 금남 및 진주 일대에 걸쳐 오존농도가 낮게 나타나고 있지만, NG에서는 그 범위가 상대적으로 작게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

한편, 남부 해상의 오존농도 분포를 살펴보면 NG의 결과가 RM과 RS의 결과와 다소 차이가 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이는 NG가 남해도에서 남쪽으로 불어나가는 북풍계열의 바람과 하부 경계면에서 불어 들어오는 남풍계열의 바람이 수렴대를 형성

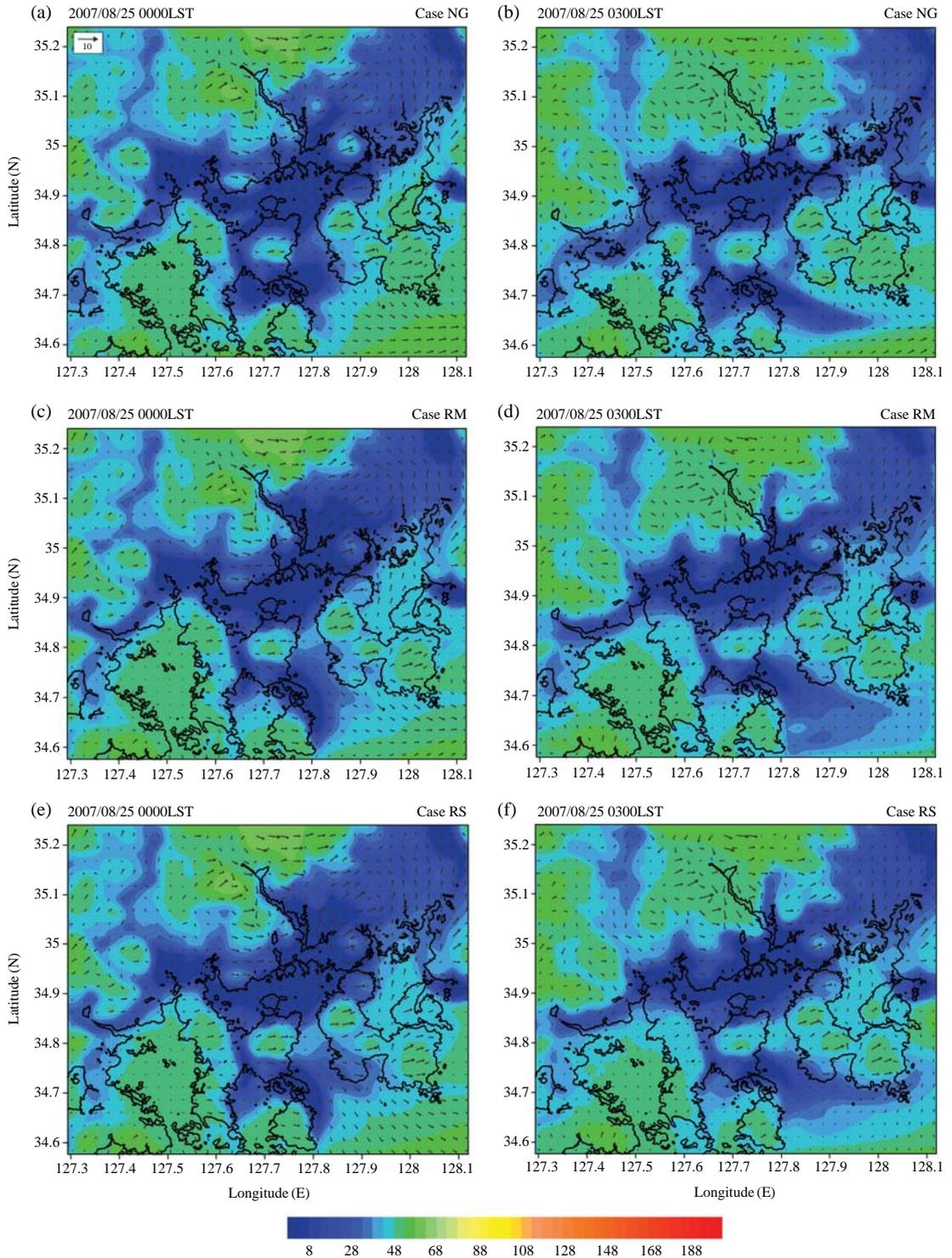


Fig. 5. Hrozontal distributions of the simulated ozone concentrations at 0000LST (a, c, e) and 0300LST (b, d, f).

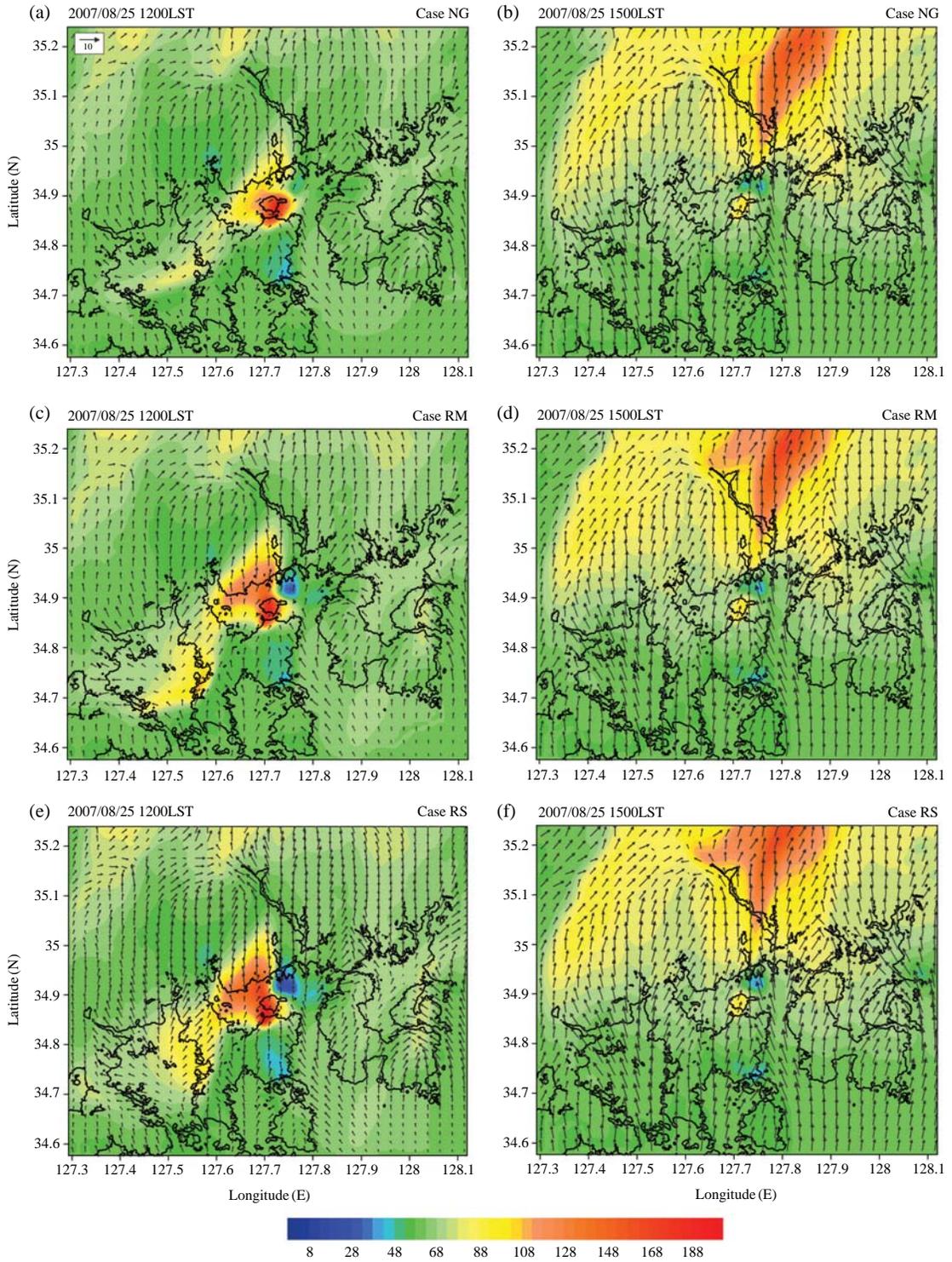


Fig. 6. Same as Fig. 5 but for 1200LST and 1500LST.

하여 저농도 영역의 확산이 제한되었기 때문에 나타난 결과로 사료된다.

그림 6에 나타낸 1200LST의 결과를 보면 여천공단 및 광양제철소 일대에서 배출된 NO₂가 강한 일사에 의한 광화학 반응으로 오존을 생성시켜, 순천만일대와 여수반도 북부 그리고 광양만 서부지역을 중심으로 고농도 오존이 분포하고 있음을 볼 수 있다. 고농도 영역의 면적은 RS에서 가장 넓게 나타난 반면, NG에서 가장 좁게 나타났는데 이는 해수면 온도의 차이에 의한 실험별 해풍강도의 차이에 의한 것으로 볼 수 있다. NG의 경우 높은 해수면 온도로 인해 해풍의 풍속이 상대적으로 약하게 표현되었기 때문에 고농도 오존의 확산이 RM과 RS에 비해 제한적으로 나타난 반면, RS에서는 해풍의 풍속이 세 가지 실험 중 가장 강했기 때문에 고농도 오존의 면적이 가장 크게 나타났다.

1500LST의 결과를 보면 광양만 일대에 위치하던 고농도 오존의 중심이 남풍계열의 바람에 의해 북쪽으로 이류 해 갔음을 볼 수 있는데, 오존농도의 분포는 실험별로 큰 차이를 보이고 있지 않음을 알 수 있다. 이는 기상장 분석결과에서 살펴보았듯이 1500LST의 경우 강한 해풍에 의해 해수면 온도의 차이에 따른 실험별 바람장의 차이가 크게 나타나지 않았기 때문에 오존농도의 분포 또한 실험별로 큰 차이가 나타나지 않았던 것으로 사료된다.

4. 관측값과의 비교

4.1 시계열 검증

수치모의 된 오존농도의 수평분포 특성을 분석하여 기상 입력장의 영향에 따른 실험별 결과의 차이를 확인할 수 있었는데, 이에 대한 정량적인 분석을 위해 대상지역 내에 위치한 대기오염 자동측정망의 오존농도 관측값과 실험별 수치모의 된 오존농도값을 비교해 보았다. 비교 대상지점은 해안에 위치한 삼일동, 문수동, 장천동, 중동, 태인동, 진상, 칠성리 지점과 비교적 내륙에 위치한 상봉동 지점을 포함한 총 8개 지점이며 각 지점의 위치는 그림 1에 나타내었다.

그림 7은 상봉동, 진상동, 중동, 칠성리 지점의 오존농도 시계열을 관측지점과 비교하여 나타낸 것이다. 상봉동 지점의 경우 기상 입력장에 따른 실험별 결과

가 비슷하게 나타나고 있는 가운데, NG의 경우가 25일과 26일 자정을 전후로 한 야간시간대의 오존을 상대적으로 과대 예측함으로써 관측치와의 일치도가 높아진 결과를 볼 수 있다. 중동 지점의 경우 NG에서 야간의 오존농도가 나머지 실험에 비해 과대 예측된 반면, 주간의 오존농도는 과소 예측되어 관측치와의 일치도가 높아진 결과를 확인할 수 있다. 이는 기상장별 해풍 풍계 모의결과의 차이에 따른 것으로 분석된다. 오존농도가 과다 모의된 RM과 RS의 경우 해풍이 여수반도 및 광양제철소를 그대로 통과하는 것으로 모의된 결과, 풍하측인 중동지점에 과다하게 많은 양의 오존이 이류 되어 오존농도가 과대 예측되는 결과가 나타났다. 반면에 NG의 경우 해풍이 여수반도를 남서에서 북동 방향으로 비스듬히 통과하는 것으로 모의되어 상대적으로 적은 양의 오존이 이류 되었고, 다른 두 경우에 비해 오존농도가 낮게 나타났다. 진상동 지점의 경우 중동지점과 유사하게 NG의 경우에서 야간의 오존농도가 나머지 실험에 비해 과대 예측되었고 주간의 오존농도는 과소 예측된 결과를 보여주었는데, 관측치와 비교시 야간에는 다소 불일치하는 결과를 보여준 반면, 주간에는 관측치와의 일치도가 높게 나타나고 있는 것을 확인할 수 있다. 한편, 중동과 진상 지점의 경우 주간의 일 최고 오존농도가 관측치에 비해 빨리 나타나는 결과를 확인할 수 있는데, 이는 기상장 모의 결과에서 해풍의 발현 시각이 실제에 비해 빠르게 모의되어, 배출원에서의 오염물질 수송이 실제보다 빠른 시각에 이루어진 결과로 분석된다. 칠성리 지점의 경우 주간 시간대의 결과에서는 실험별로 큰 차이가 나타나지 않았다. 세 경우 모두 주간의 오존농도를 과소 예측 하는 결과를 보였는데, 이는 모델이 칠성리 지점의 풍속을 과대 예측하여 나타난 결과로 보여진다. 즉, 과대 모의된 강한 풍속에 의해 칠성리 지점의 오존 확산이 실제보다 더 용이해진 결과, 관측치에 비해 오존농도가 과소 모의된 것으로 분석된다. 야간시간대의 경우 오존농도가 NG에서 나머지 실험에 비해 관측치와의 일치도가 높게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 25일 새벽시간대의 경우 NG가 오존농도를 다른 실험에 비해 상대적으로 과대 예측하고, 26일 새벽시간대에는 과소 예측함으로써 관측치와의 일치도가 높아진 결과를 확인할 수 있다.

시계열 분석결과에서는 해수면 온도가 적절히 표

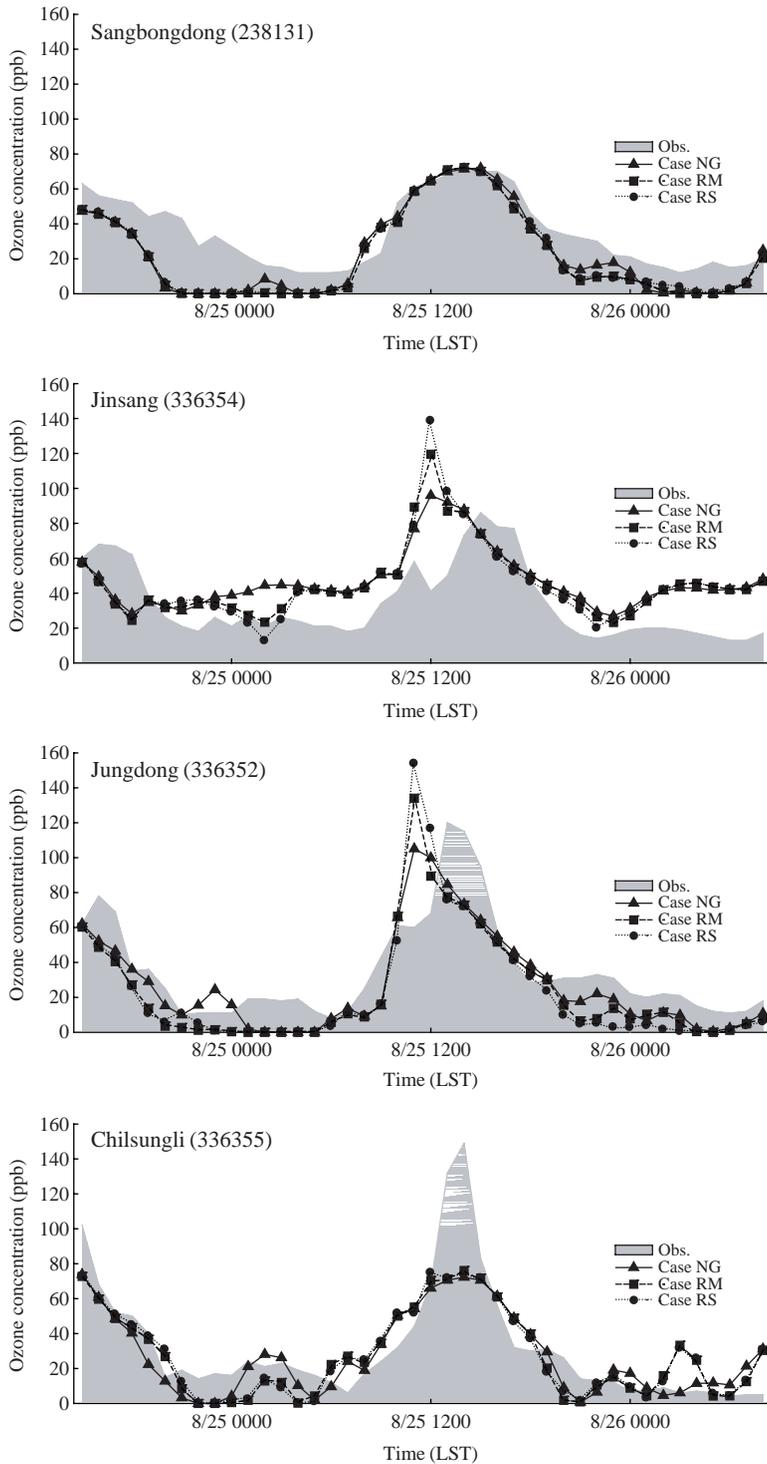


Fig. 7. Comparisons of diurnal variations of simulated and observed ozone concentrations.

Table 2. Statistics for simulated ozone concentrations at eight air quality monitoring sites.

Statistics	Case	Site								Total
		Sangbong-dong	Samil-dong	Munsu-dong	Jangcheon-dong	Jung-dong	Taein-dong	Jin-sang	Chilsung-li	
RMSE	NG	16.62	33.14	12.34	23.23	17.49	20.68	21.90	19.10	20.56
	RM	17.45	34.97	12.44	23.03	21.46	19.61	23.07	19.84	21.48
	RS	17.13	43.83	12.36	22.80	25.20	16.77	24.83	19.88	22.85
CORR	NG	0.87	0.27	0.82	0.66	0.84	0.71	0.58	0.84	0.70
	RM	0.88	0.21	0.83	0.67	0.81	0.70	0.52	0.81	0.68
	RS	0.88	0.10	0.84	0.66	0.76	0.75	0.47	0.81	0.66
IOA	NG	0.86	0.51	0.89	0.76	0.90	0.74	0.68	0.87	0.78
	RM	0.85	0.47	0.89	0.77	0.86	0.74	0.67	0.87	0.77
	RS	0.86	0.36	0.89	0.77	0.82	0.77	0.63	0.87	0.75

현된 NG에서 야간의 오존농도는 높아지는 반면 주간
의 오존농도는 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 주야
간의 오존농도 차이는 감소하였고 그 결과 관측치와
가장 높은 일치도를 보였음을 확인할 수 있었다. 반면
에 RS는 주야간의 오존농도 차이가 가장 크게 나타나
관측치와의 정합도가 가장 낮게 나타났다. 이러한 차
이는 실험별 바람장의 차이에 기인한 것으로서, 시간
에 따른 저 풍속대 및 고 풍속대가 NG에서 가장 적절
하게 표현되어 오존의 수평이류 및 확산의 형태가 실
제와 유사하게 모의될 수 있었던 것으로 사료된다.

4. 2 통계적 검증

대기질 수치모의 결과의 통계적 검증을 위해 Cor-
relation Coefficient (R), Root Mean Squared Error
(RMSE), Index Of Agreement (IOA) 값을 이용하였다.
8개의 대기오염 자동측정망에서 관측된 오존농도값
과 모델 결과를 비교하여 통계값을 산출하였다. 각
지점별 관측치와 모델값과의 R, RMSE, IOA 값을 산
출하여 표 2에 나타내었다. 표 2에서 볼 수 있듯이 R
값은 NG가 0.72로 나타나 RM에 비해 0.03, RS에 비
해 0.05 높은 결과를 보였다. IOA값 역시 NG가 0.78
로 나타나 RM, RS에 비해 각각 0.02, 0.04 높은 결과
를 보였다. RMSE값 또한 NG가 20.34로 나타나 RM
및 RS에 비해 각각 1.54, 3.37 낮은 결과를 보여 모
든 통계치에서 NG의 정확도가 가장 높게 나타났다.

5. 결 론

해수면 온도분포 특성에 따른 기상장의 차이가 고

농도 오존의 수치모의 결과에 미치는 영향을 알아보
기 위해 CAMx를 이용한 대기질 모델링을 수행하였
다. 종관장의 영향을 크게 받지 않고 고농도 오존이
발생했던 2007년 8월 24일 0900LST부터 26일
0900LST까지를 수치모의 사례기간으로 선정하였고,
동일한 조건하에서 기상 입력장만을 달리하여 기상
장의 차이가 대기질 모의 결과에 어떠한 영향을 미치
는지 살펴보았다. 대기질 모의결과 기상장의 차이가
나타났던 지역을 중심으로 오존농도의 수평분포에
차이가 나타남을 확인할 수 있었다. 야간의 경우 실험
별 저농도 오존의 분포 영역이 다르게 나타났는데,
이는 기상 입력장의 차이에 따른 육풍 풍계의 차이에
의한 것으로 분석되었다. 반대로 주간에는 기상 입력
장별 해풍 풍계의 차이에 의해 배출원을 중심으로 실험
별 고농도 오존의 분포영역에 차이가 나타났다. 이
를 통해 기상 입력장의 차이에 따른 기상장의 차이가
오존의 이류와 확산의 패턴에 영향을 미침을 확인할
수 있었다.

한편, 대기질 수치모의 결과를 관측값과 비교해 본
결과 NGSST자료를 이용한 기상장을 기상 입력장으
로 사용한 경우가 가장 좋은 결과를 보여줌을 확인
할 수 있었다. R, RMSE, IOA를 이용한 통계분석 결
과, 모든 통계치에서 NGSST를 사용한 기상장을 기
상 입력장으로 사용했을 때 관측치와 가장 높은 일
치도를 보임을 확인할 수 있었다. 이는 정확한 해수
면 온도분포의 반영으로 실제와 더 유사한 기상장이
표출될 수 있었기 때문이며, 개선된 기상장을 대기질
모델의 기상 입력 자료로 사용했을 때 대기 오염물질
의 이류 및 확산이 좀 더 현실적으로 표현되어 대기

질 수치모의 결과 또한 향상된 것으로 보여 진다.

이상의 결과에서 복잡한 연안지역의 기상 입력장 차이에 따른 대기질 수치모의 결과의 차이를 확인할 수 있었다. 하지만 본 연구는 대기질 모델의 경계 조건과 배출량에 대한 민감도 분석이 충분히 이루어지지 못한 한계를 가진다. 따라서 월경성 오존의 영향에 대한 고려나 배출량의 차이에 따른 결과의 차이는 후속 연구를 통해 추가적으로 분석되어야 할 부분으로 판단된다. 특히, 광양만 권역의 경우 중국에서 배출된 오존 및 오존 전구물질들의 수송과 해륙풍으로 인한 오염물질의 재순환 현상에 의해 오염의 양상이 매우 복잡하게 나타난다. 따라서 등지격자 사용을 통한 광역 모델링을 수행하여 이러한 부분들을 충분히 고려한 분석이 반드시 필요하며, 다양한 사례일에 대한 분석을 통해 대기조건에 따른 결과의 차이 또한 살펴 볼 필요가 있다고 보여 진다. 이러한 연구는 대기질 모델에 사용되는 기상 입력장의 질적 향상으로 이어져서 연안지역의 오염물질 수송 및 확산 연구에 긍정적인 기여를 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진개발사업 (CATER2006-2205)의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

Choi, H.-J., H.W. Lee, and K.-H. Sung (2007) Air quality modeling of ozone concentration according to the roughness length on the complex terrain, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 23(4), 430-439. (in Korean with English abstract)

ENVIRON (2008) USER'S GUIDE, <http://www.camx.com>.

Jeon, W.-B., H.W. Lee, S.-H. Lee, H.-J. Choi, and H.H. Leem (2009) Numerical study on the impact of SST spacial distribution on regional circulation, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 25(4), 304-315. (in Korean

with English abstract)

Lee, H.W., H.Y. Won, H.-J. Choi, and H.G. Kim (2005) Numerical simulation of effects of atmospheric flow fields using surface observational data on dispersion fields of air pollutants in Gwangyang Bay, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 21(2), 169-178. (in Korean with English abstract)

Lee, H.W., H.Y. Won, H.-J. Choi, and K.-Y. Lee (2005) Numerical simulation of effect on atmospheric flow field using high resolution terrain height data in complex coastal regions, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 21(2), 179-189. (in Korean with English abstract)

Lee, H.W., H.-J. Choi, S.H. Lee, H.H. Leem, K.-Y. Lee, K.-H. Sung, W.-S. Jung, J.-I. Park, and N.-K. Moon (2007) The air quality modeling according to the emission scenarios on complex area, J. Environ. Sci., 16(8), 921-928.

Lin, C.-Y., Z. Wang, C.C.-K. Chou, C.-C. Chang, and S.C. Liu (2007) A numerical study of an autumn high ozone episode over southwestern Taiwan, Atmos. Environ., 41, 3684-3701.

Ministry of Environment (2008) Annual Report of Ambient Air Quality in Korea, 2007.

Pirovano, G., I. Coll, M. Bedogni, S. Alessandrini, M.P. Costa, V. Gabusi, F. Lasry, L. Menut, and R. Vautard (2007) On the influence of meteorological input on photochemical medelling of a severe episode over a coastal area, Atmos. Environ., 41, 6445-6464.

Stauffer, D.R., N.L. Seaman, G.K. Hunter, S.M. Leidner, and A. Lario-Gibbs (2000) A field-coherence technique for meteorological field-program design for air quality studied. Part I: Description and interpretation, J. Appl. Meteor., 39, 297-316.

Taha, H. (2008) Urban surface modification as a potential ozone air-quality improvement strategy in California: A mesoscale modelling study, Boundary-Layer Meteorol, 127, 219-239.

Umeda, T. and P.T. Martien (2000) Evaluation of a data assimilation technique for a mesoscale meteorological model used for air quality modeling, J. Appl. Meteor., 41, 21-29.