

부산지역 바람장 실시간 모니터링 프로그램 개발(Ⅱ)

대기보전과

도우곤 · 정종순

The development of realtime monitoring program in Busan wind field(Ⅱ)

Air preservation division

Woo-Gon Do · Jong-Soon Chung

Abstract

The urban air pollution is affected by local environment, so it is necessary to consider area characteristics such as emission source and meteorological phenomena, in studying urban air pollution. Busan is located on south-east coast and has many industrial facilities, so many people have concerned about air pollution. This study contain conducting numerical simulation of wind field using MM5 model on 2004. 7. 30. and comparing the result with wind direction at AWS site.

The result of using MM5 model on 2004. 7. 30. can be summarized as follows;

1. The mountains and valleys affect on the leeward of sea breeze circulation so the wind direction is changed.
2. The prediction result of seashore and mountain areas wind direction differ from AWS site's wind direction cause of global data and topography.

서론

인구의 증가 및 도시집중, 산업의 발달, 그리고 에너지개발 등으로 편리한 생활과 문화·문명을 영위하게 되었지만 이로 인한 인간활동의 증가 등으로 대량의 열과 오염물질들이 대기중으로 방출되어지고 있다. 특히 인간의 활동이 좁은 지역에서 집중적으로 일어나는 도시지역은 주변지역과 달리 기온의 고온화, 풍속과 일사량 감소 등의 대기환경변화가 유발되어지고 있다.

대기오염물질의 공간적인 농도 분포 양상은 오염원의 위치, 오염물질의 특성과 지형 및 기상조건 등 여러 가지 요인들에 영향을 받으며, 대상지역의 공간정보와 국지 기상은 대기오염물질 농도의 공간 분포에 가장 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 부산지역의 경우 오존, 미세먼지, 이산화황과 이산화질소 등은 계절 및 지역에 따라 단기 환경기준을 빈번하게 초과하고 있으며, 이러한 상황이 계속될 경우 인체, 생태 및 구조물 등에 지속적인 피해를 야기할 것으로 우려되고 있다. 그러나 도시지역의 대기오염현상은 해당 도시의 지역적인 특성에 많은 영향을 받기 때문에 그 지역의 오염물질 배출특성이나 기상현상 등의 특수성을 함께 고려하여 분석을 하는 것이 필요하다.

우리나라 뿐만 아니라 세계적으로 대도시들은 연안지역에 위치하고 있는 경우가 많고 대표적인 기상현상인 해륙풍으로 인하여 연안지역은 내륙지역과는 다른 대기

오염현상을 일으킬 수 있는 중요한 지역적인 특성이 될 수 있으며 연안도시지역의 대기질을 수치적으로 연구한 많은 예가 있다. Kitada 등(1986)과 Chang(1989), Mahrer(1992) 등이 해륙풍과 산곡풍의 복합적인 국지류가 존재할 때 가상적인 유체입자의 이동을 모사하고, 화학반응을 고려한 대기오염물질의 농도를 예측하였으며 Hess(1989)는 대규모 점오염원이 대기질에 미치는 영향의 예측과 평가를 위한 hybrid 오일리안 - 라그랑지안 광화학 모델을 개발하였다. 또한 原達己(1997)는 일본 대판만을 대상으로 자동차, 선박, 군소발전원, 항공기 등의 배출량을 산정하여 대기중 고농도 오존을 예측하였으며, 해륙풍순환에 따른 대기오염물질 농도 예측에 대한 수치모의가 장은숙(1997)과 전병일(1997)에 의해 진행된 바도 있다.

본 연구에서는 대기질 자동 측정소의 풍향, 풍속, 기온 자료와 바람장 진단방정식인 CALMET을 이용하여 부산지역의 실시간 바람장 계산만을 수행한 ‘부산지역 바람장의 실시간 모니터링 프로그램개발(I)’(2003. 12.)에 이어 현재 기상청 등에서 사용되고 있는 중규모기상 예측 모델인 MM5를 이용하여 부산지역의 바람장 예측을 수행하고 그결과를 분석하였다.

MM5 수치 모델링

1. MM5 모델

MM5(PSU/NCAR Mesoscale meteorologi-

cal Model Version3)는 중규모 기상모델로서 미국 기상연구소(National Center for Atmospheric Research)와 펜실베니아 주립대학이 공동 개발한 후 지속적으로 개선되어 온 모델이다. 초기에는 중규모 기상예측에 주로 사용되었으나 최근 중규모와 미기상에도 적용 가능하게 되었고 대기오염물질의 광화학 반응/이동/침착 모형의 입력자료 생성에도 사용될 수 있도록 수정되었다.

연직 좌표계로 지형을 따르는 σ 좌표계를 사용하고 있으며, 비정수(Non-hydrostatic) 방정식계를 사용하고, Arakawa B-grid 격자망으로 구성되었으며, 공간적으로 2차 중앙차분법을, 시간적으로 semi-implicit scheme

을 사용하였다. 또한 분석자료와 관측자료의 4차원 자료동화(FDDA)가 가능하며, 여러 가지 물리적인 옵션들을 선택할 수 있다.

현재 기상청과 여러 연구소 등에서 중규모 기상장 예측을 위하여 가장 많이 사용되는 모델로 본 연구에서는 부산지역의 지형정보와 전구 기상자료를 이용하여 바람장 예측을 수행하였다.

2. 수치실험 설계

대기오염물질 공간분포와의 영향을 파악하기 위하여 2004년 부산지역 오존 주의보 발령일인 7월 30일 0900LST~1800LST를 수치모의 대상으로 하였으며, 수평으로는

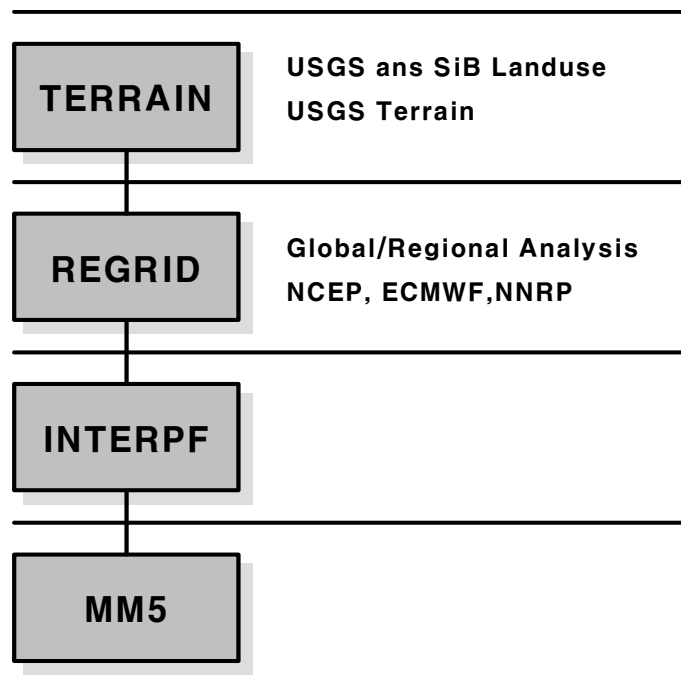


Fig. 1. The flow chart of the MM5 modeling system

Table 1. Domain configurations

	Domain1	Domain2	Domain3	Domain4
Horizontal grid	100×100	97×97	52×52	37×37
Resolution	27km	9km	3km	1km
Vertical grid	23 layers			

한반도와 일본, 중국 일부가 포함되는 Domain1, 한반도 지역만을 포함하는 Domain2, 경상도 지역이 포함되는 Domain3 를 구성하고 다시 Domain3 내에서 부산지역 을 포함하는 세부도메인인, Domain4를 구성

하여, 광역 Domain의 계산결과가 내부 Domain의 초기 조건으로 사용되도록 하여 최종적으로 부산지역의 바람장을 계산하도록 하였다.

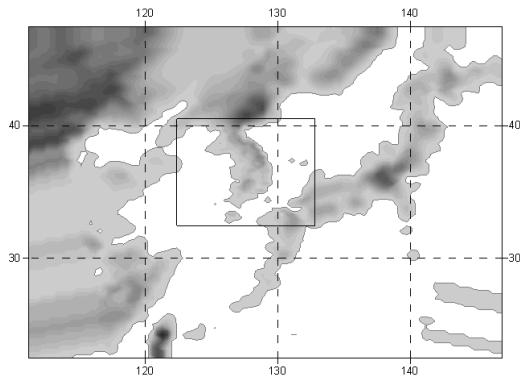


Fig. 2. Domain1 and inner domain

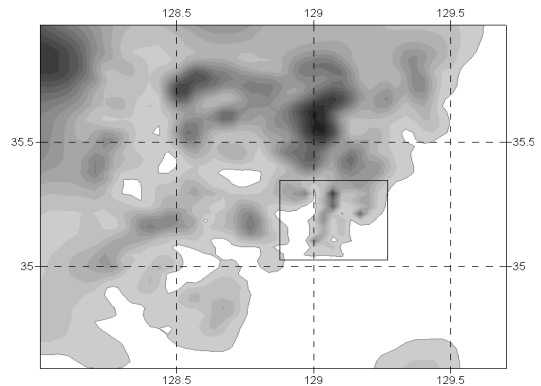


Fig. 4. Domain3 and inner domain

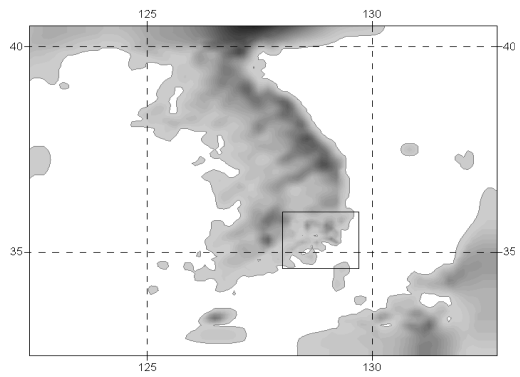


Fig. 3. Domain2 and inner domain

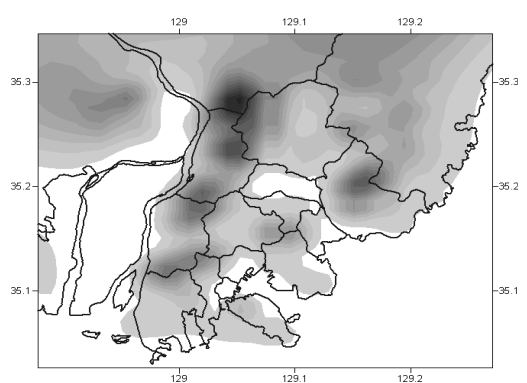


Fig. 5. The finest domain(Domain4)

3. 계산조건

본 연구에서 수치모델링 대상일로 선정된 2004년 7월 30일의 지상일기도는 Fig. 6과 같다. 한반도 전역으로 약한 기압경도력을 보이고 있으며 중관장이 약해 국지적

인 순환장의 모의가 가능할 것으로 예상된다.

본 연구에서 사용한 물리적 과정들은 Table 2와 같다.

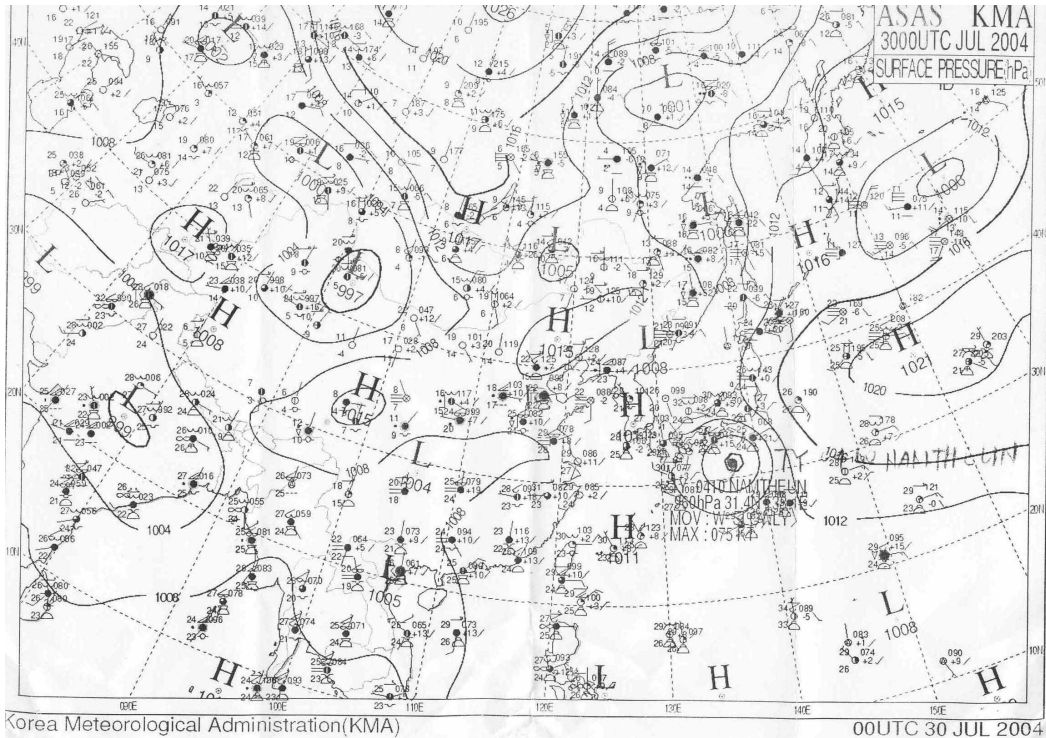


Fig. 6. The synoptic weather chart on 2004. 7. 30. 0900LST

Table 2. The physical options for modeling

Physical option
Grell convective scheme
MER PBL scheme
Moist vertical diffusion in clouds
3-D Coriolis force for nonhydrostatic MM5
Radiative top boundary condition
Cloud effect on radiation
Simulation period : 2004. 7. 29 2100LST~7. 30 2100LST

수치모의결과

1. 시간별 바람장 예측결과

MM5를 이용한 계산결과는 9000LST~1800LST 까지 3시간 간격으로 나타내었다. 또한 전체적인 바람장 비교를 위하여 같은 시간의 기상청 AWS자료를 이용한 객관분석 결과를 함께 나타내었다. 객관분석에 사용한 기상청 AWS의 위치는 아래와 같으며 MM5 수치모델링 계산결과와 같은 시간대의 풍향, 풍속에서 u, v 값을 계산한 후 kiging 방법을 써서 객관분석을 수행하였다.

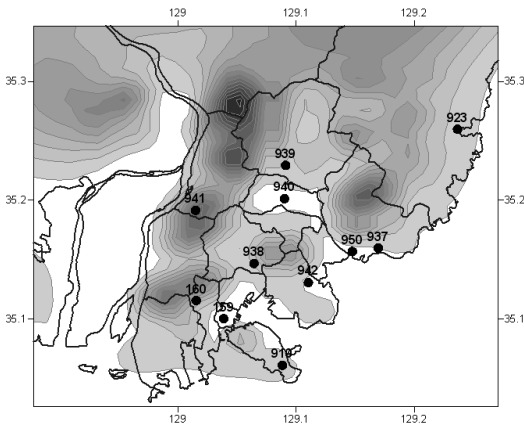


Fig. 7. The locations of AWS site

Fig. 8~Fig. 15를 보면 모두 9시경부터 해상에서 해풍이 발달하기 시작하여 낮시간에 해풍이 최대가 되었다가 18시 경부터 육풍으로 변화되는 모습을 나타내어, 뚜렷한 해륙풍 순환이 일어나고 있음을 보여준다. 다만 단순히 풍향 풍속을 객관분석 한

바람장보다 modeling 결과가 지형이나 피복에 의한 바람의 수렴과 발산 등을 더욱 세밀하게 보여주고 있음을 알 수 있으며, 또한 객관분석 된 바람장보다 전체적으로 강한 바람이 부는 것으로 나타났다.

0900LST와 1200LST의 경우 해안쪽에서는 해륙풍이 발달하고 있지만 계산영역 북서쪽 내륙에서는 반대 바람인 북풍계열의 바람이 불고 있으며, 1500LST 이후에야 남풍계열의 바람으로 바뀌는 것을 알 수 있다. 이는 해안과 거리가 먼 내륙의 경우 해풍의 영향이 바로 미치지 않기 때문인 것으로 추정된다.

부산의 대표적인 산인 금정산, 구덕산, 백양산을 지나면서 풍계가 바뀌는 현상도 볼 수 있으며 이는 해상으로부터 같은 방향의 바람이 내륙으로 불어가는 것으로 나타난 객관분석 결과와도 차이가 난다. 특히 Fig. 10의 1200LST까지는 금정산, 구덕산, 백양산, 장산의 위쪽으로는 해풍의 영향이 나타나지 않으며 풍상측에 비하여 풍속도 약하고, 산을 돌아가는 바람에 의하여 풍향에도 변화가 일어나고 있으나, Fig. 12의 1500LST 이후에는 해풍이 강하게 발달하기 때문에 이런 현상들이 사라지는 것으로 나타났다.

2. 실측치와의 비교

계산결과의 정확성을 알아보기 위하여 AWS 관측지점과 비교를 실시하였다. 비교 대상지점으로 지형의 특성을 고려하여 해

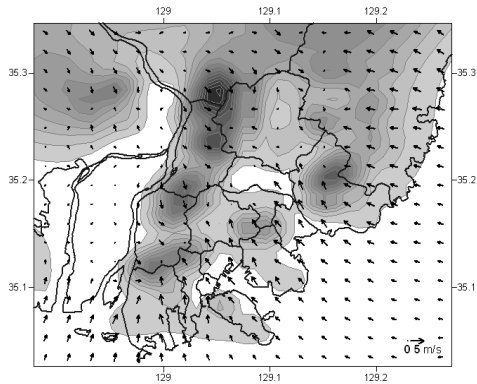


Fig. 8. The result of calculation for horizontal wind field using MM5 at 0900LST

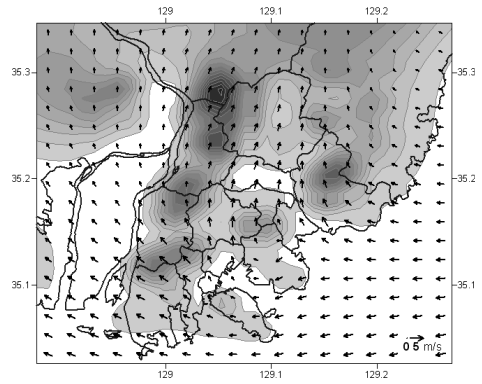


Fig. 11. The result of objective analysis with AWS site at 1200LST

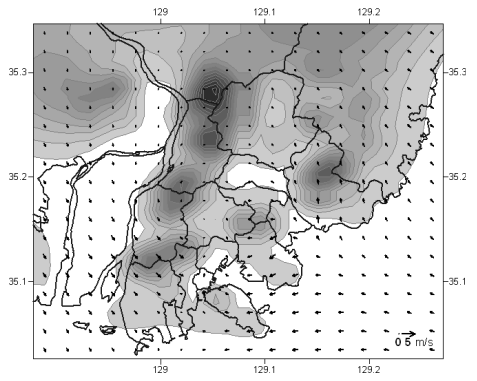


Fig. 9. The result of objective analysis with AWS site at 0900LST

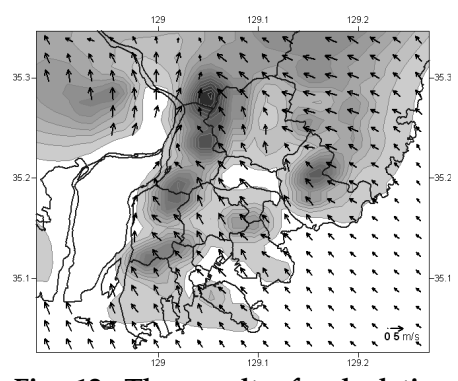


Fig. 12. The result of calculation for horizontal wind field using MM5 at 1500LST

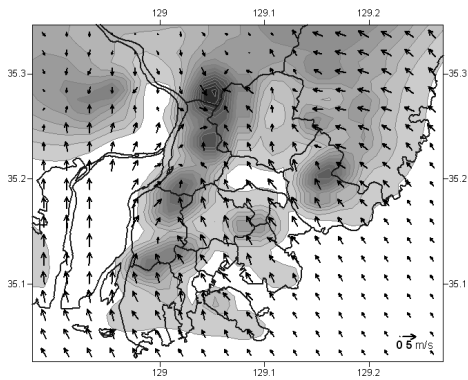


Fig. 10. The result of calculation for horizontal wind field using MM5 at 1200LST

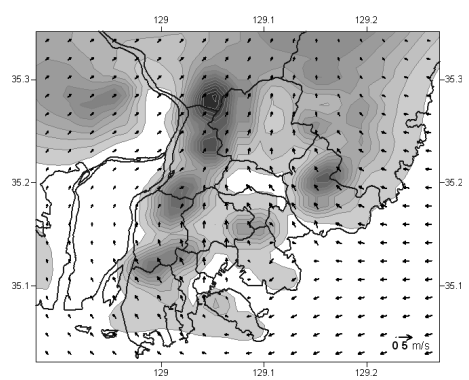


Fig. 13. The result of objective analysis with AWS site at 1500LST

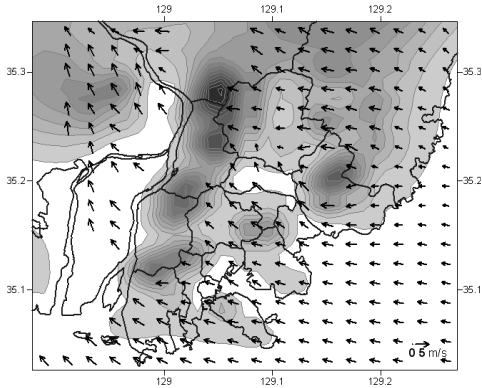


Fig. 14. The result of calculation for horizontal wind field using MM5 at 1800LST

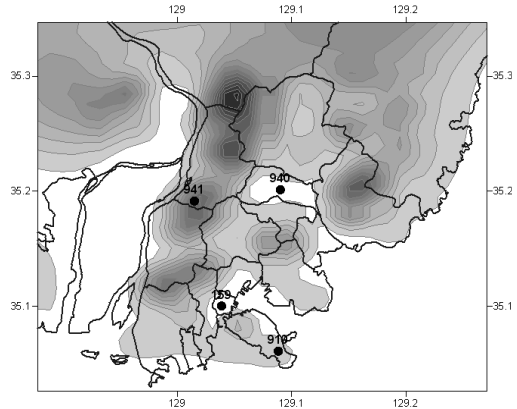


Fig. 16. The location of the comparison AWS site

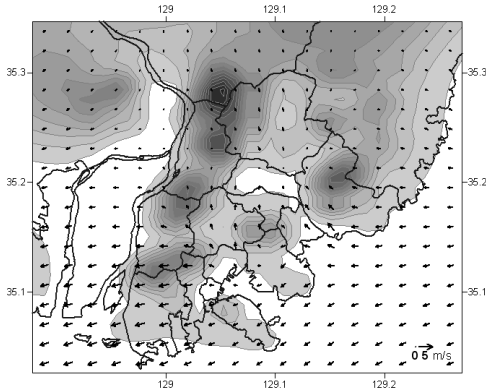


Fig. 15. The result of objective analysis with AWS site at 1800LST

안가와 내륙, 산지 등 4개 지점을 선정하여 계산시간과 동일한 시간대의 풍향을 비교하였다.

내륙지역에 해당되는 부산(159)과 동래(940)에서는 계산결과와 실측치가 유사한 것으로 나타나 일중 유사한 풍향 패턴을 보였다. 그러나 해안지역인 영도(910)와 산지인 북구(941)에서는 계산된 풍향이 실측 풍향과 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다. 영도(910)의 경우 실제로 동풍계열의 바람이 일중 부는 것으로 나타났으나 계산된 풍향은 남풍계열의 바람이 부는 것으로

Table 3. The comparative table with modeling result and AWS site(degree)

	159 Busan		910 Yong-do		940 Dong-nae-gu		941 Buk-gu	
	AWS	model	AWS	model	AWS	model	AWS	model
0900LST	178.3	166.8	80.4	140.7	89.4	105.7	45.9	341.6
1200LST	156.6	167.2	81.7	147.1	198.8	143.7	178.7	190.1
1500LST	193.9	145.2	74.4	138.2	130.2	135.6	248.7	141.9
1800LST	90.6	104.1	54.8	101.7	202.5	132.2	156.9	118.7

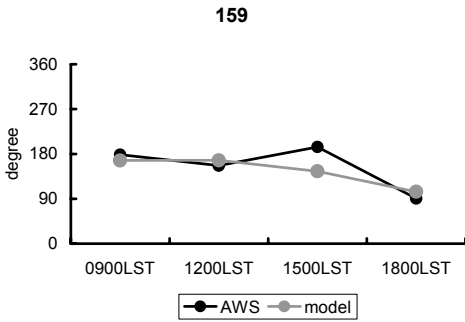


Fig. 17. The time series of wind direction at Busan AWS site and MM5 modeling result

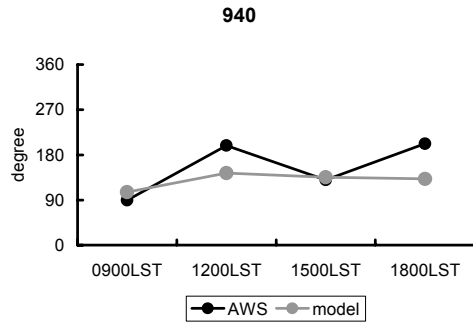


Fig. 19. The time series of wind direction at Dong-nae-gu AWS site and MM5 modeling result

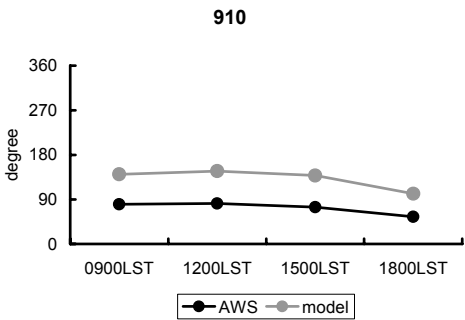


Fig. 18. The time series of wind direction at Yong-do AWS site and MM5 modeling result

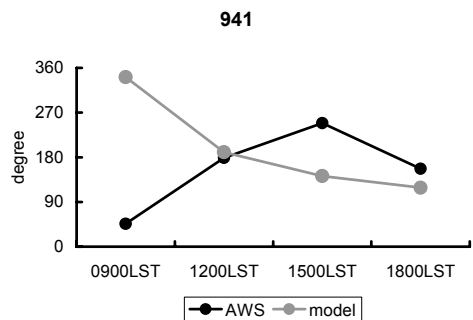


Fig. 20. The time series of wind direction at Buk-gur AWS site and MM5 modeling result

나타났으며, 풍향의 변화 패턴은 유사한 것으로 나타났다. 이는 해안지역 일수록 modeling시 사용 가능한 전구 기상자료가 부족하여 실측치와 일정한 차이를 두고 계산이 되어지는 것으로 판단할 수 있다. 산지인 북구(941)에서는 실측 풍향과 반대의 패턴을 보여주는 것으로 나타나 실제 지형

이 반영된 바람과 model에서 계산되는 바람이 차이가 있음을 보여준다.

결론

MM5(PSU/NCAR Mesoscale meteorological Model Version3)는 중규모 기상모델을 사용하여 종관장이 영향이 약한 2004년 7

월 30일 0900LST~1800LST의 바람장 예측 수행결과는 아래와 같다.

① 같은 시간대의 기상청 AWS 자료를 이용한 객관분석 바람장과 비교하여 modeling 결과가 지형이나 피복에 의한 바람의 수렴과 발산 등을 더욱 세밀하게 보여주고 있음을 알 수 있으며, 부산의 대표적인 산인 금정산, 구덕산, 백양산을 지나면서 풍계가 바뀌는 현상도 볼 수 있었다.

② 해안가와 내륙, 산지 등 AWS 측정지점 4개소와 시간별 풍향 비교결과 해안지역과 산지에서 지형과 전구 기상자료 부족 등의 영향으로 실측 풍향과 차이가 났으며, 내륙쪽에서는 유사한 풍향 패턴을 보이는 것으로 나타났다.

MM5(PSU/NCAR Mesoscale meteorological Model Version3) 중규모 기상모델은 기상장 예측에 있어서 현재 가장 많이 사용되는 모델로서 향후 오존예보·경보제 등에서 기상장 예측 및 입력자료 생성 등 그 사용 가치가 높은 모델이다. 본 연구는 우리원에서 기상장 및 대기질 예측 수치모델 시스템 구축을 위한 사전 작업으로 수행되었으나 현재의 계산시스템에서는 계산시간이 상당히 소요되어, 수치모델 계산시간의 단축을 위하여 고급사양의 컴퓨터 시스템 구축이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

향후계획

MM5 중규모 기상모델은 기상장 예측에 있어서 현재 가장 많이 사용되는 모델로서

향후 오존예보·경보제 등에서 기상장 예측 및 입력자료 생성 등 그 사용 가치가 높은 모델이다. 본 연구를 통하여 구축된 부산지역의 지형정보 및 grid시스템은 향후 수치모델을 이용한 대기질 예측시스템 구축의 입력자료로 사용할 예정이다.

참고문헌

1. Hess G. D., A photochemical model for air quality assessment : model description and verification, Atmos. Environ., 23(3), 643-660(1989)
2. Kitada Tothihiro and Kiyomi Igarashi, Numerical analysis of air pollution in a combined field of land/sea breeze and mountain/valley wind, American Meteor. Sci.(1986)
3. Joseph S. Scire, Mark E. Fernau, 2000, A User's Guide for the CALMET Meteorological Model, Earth Tech
4. MMM, NCAR, 2003, PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide
5. 부산광역시, 2002, 부산광역시 대기환경개선 실천계획 수립 결과보고서
6. 임영권, 오성남, 윤원태, 전영신, 1999, 서울 지역의 지형 및 토지이용도에 따른 3차원 바람장 산출에 관한 연구, 한국기상학회지
7. 이삼식, 차동원, 김은아, 1989, 우리나라 해안지역의 바람특성 비교와 대기오

- 염모델링에 미치는 영향분석, 대기보전
학술발표회 요지집
8. 박영민, 이태영, 1990, 서울에서의 바람
장과 오염확산에 관한연구, 대기보전학
술발표회 요지집
 9. 김진영, 김영성, 2001, 상세한 기상관측
자료를 이용한 1997년 서울·수도권
고농도 오존 사례의 모델링
 10. 김진영, 김영성, 1996, 모델링 영역과
바람장의 유효성
 11. 민경덕, 김경익, 윤일희, 박동재, 이해
경, 이인숙, 1991, 1996년 한국대기보전
학회 추계학술대회
 12. 이갑복, 손순화, 1996, 월성원전 부지의
해륙풍모델링 및 특성분석, 한국원자력
학회 추계학술대회
 13. 이화운, 김유근, 원경미, 1997, 연안도
시지역에서 선박배출을 고려한 라그랑
지안 입자확산 모델링, 한국대기보전학
회 추계학술대회
 14. 기상청, 2003. 6, 2003. 9, 기상월보, 고
층기상월보