

# 부산지역 바람장의 실시간 모니터링 프로그램 개발( I )

대기보전과

도우곤 · 유은철 · 이화운 \*

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

*Busan Metropolitancity Institute of Health And Environment*

Woo-Gon Do · En-chul Yu · Haw-Woon Lee

### Abstract

The urban air pollution is affected by local environment, so it is necessary to consider areal 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 contains conducting numerical simulation of wind field in consideration of elevation and land usage type, making use of temperature, wind speed and wind direction observed at air quality monitoring network in Busan.

The result of using diagnostic wind field model, CALMET on 2003. 6. 5 and 9. 4 can be summarized as follows;

1. Except for the region affected by the synoptic, the horizontal wind field of coastal region in Busan is strong because of land and sea breeze affected by mountain and valley wind due to topography. When sea breeze is strong, there was strong convergence from south at Youngdo, Nam-gu and Suyoung-gu.
2. The strong convergence from south at Youngdo, Nam-gu and Suyoung-gu, affect the O<sub>3</sub> concentration distribution and the surface air pollution concentration at inland or shore was highly affected by the sea breeze in Busan.

---

\* 부산대학교 대기과학과

## 1. 서론

인구의 증가 및 도시집중, 산업의 발달, 그리고 에너지개발 등으로 편리한 생활과 문화·문명을 영위하게 되었지만 이로 인한 인간활동의 증가 등으로 인하여 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 단기환경기준치를 빈번하게 초과하고 있으며, 이러한 상황이 계속될 경우 인체, 생태 및 구조물 등에 지속적인 피해를 야기하는 것으로 알려져 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 인

하여 연안지역은 내륙지역과는 다른 대기오염현상을 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.

한편 우리나라의 대표적인 연안도시인 부산지역에서도 대기오염도의 지속적인 관측을 목적으로 1979년 감전동 측정소를 설치한 이래로 현재 16개의 대기질 자동 측정소 및 대기환경측정차량을 운영하고 있으며, 2004년 1월부터는 신설 측정소, 녹산동(녹산공단 : 삼성전기)을 정상 운영할 예정이다. 이들 측정소에서 측정되는 대기질 정보를 바탕으로 장·단기 고농도 발생과 이로 인한 피해를 줄이기 위해 다양한 모니터링을 수행하고 있으며, 여러 가지 정책의 기초자료를 제공하고 있다. 이와 같이 측정소에서 측정되는 O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>,

NO<sub>2</sub>등의 오염물질 정보는 오존 경보와 같은 대기오염 물질 모니터링 등의 목적으로 실시간으로 사용이 빈번하지만 풍향, 풍속, 기온 등 기상자료의 경우는 그 이용빈도가 현저하게 낮은 편이다.

본 연구에서는 여러 가지 모니터링 등의 기초자료로 활용되는 15개 대기질 자동 측정소 자료 중 그 이용빈도가 낮은 풍향, 풍속, 기온 자료를 사용하여 지형자료, 토지이용도를 바탕으로 부산지역의 시간별 바람장을 묘사하고 대기오염물질의 공간적인 농도 분포에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

## 2. 연구배경

우리연구원에서 운영중인 15개소 대기질 자동 측정소의 위치는 <Fig. 1>에 나타나 있으며 각 측정소에서 측정되는 항목은 <Table 1>과 같다. 본 연구는 이들 측정소에서 측정되는 기상자료의 이용효율을 증대시키며, 대기오염물질의 지표농도 분포양상에 미치는 영향을 밝히고 대기환경규제 지역 지정이후 부산지역에서 지역적인 조건들을 반영하여 발생하는 대기환경지정 기준의 초과시 이에 대한 원인 파악의 기초자료로 활용하기 위하여 수행되었다.



Fig. 1. The location of air quality monitoring station.

Table 1. Observation component of air quality monitoring station

측정소	용도	측정항목
광복동	상업지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속
장림동	공업지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속
감전동	공업지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속
연산동	주거지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속
대연동	주거지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 풍향, 풍속
재송동	주거지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속
전포동	상업지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속
동삼동	녹지지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속
기장읍	주거지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속, 상대습도, 일사량
대저동	녹지지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속, 상대습도, 일사량
부곡동	주거지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속, 상대습도, 일사량
광안동	주거지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속, 상대습도, 일사량
복천동	주거지역	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , 기온, 풍향, 풍속, 상대습도, 일사량
온천동	도로변	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , THC, 기온, 풍향, 풍속
초량동	도로변	SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub> , THC, 기온, 풍향, 풍속

### 3. 연구방법

#### 3.1 바람장 진단방정식의 선정

바람장 진단방정식에는 정역학 방정식 처럼 연직고도와 기압과의 균형관계를 이용한 간단한 형태로부터 화학반응을 고려하여 대기오염물질의 반응과 수송현상 묘사하는 UAM과 같은 복잡한 계산식과 순수 기상요소들만을 계산하여 수m에서 수km의 공간범위에 대하여 시간별 풍향, 풍

속의 계산을 수행하는 MM5 등, 다양한 형태가 있으며, 본 연구에서는 미국 환경보호청(U. S. EPA)에서 공개된 CALMET 프로그램을 이용하여 바람장 산정 모델링을 수행하였다.

CALMET은 U. S. EPA에서 제공되는 표준 대기질 확산 모델 중 하나인 CALPUFF에서 3차원 기상요소를 계산하는 서브 프로그램으로, 미국 환경보호청에서 제공되

는 표준 대기질 확산 모델들은 대기오염 물질의 농도, 대기 확산 계수 계산 등에서 세계적으로 지침으로 사용되며, 본 연구에 사용된 CALMET 진단방정식의 경우 짧은 계산시간으로 연안지역의 특징적 풍계인 해륙풍 현상을 잘 나타내는 것으로 알려져 있다.

<Table 2>는 CALMET에서 바람장을 계산하는 과정을 나타낸 것이다. 초기 입력되는 관측 바람장을 지형과 운동량 등의 효

과를 고려하여 보정한 뒤 객관분석 과정을 거쳐 격자화된 바람장을 계산하였다.

### 3.2 계산조건

CALMET 프로그램을 수행하는데 필요한 입력 자료는 <Table 3>과 같다. 기상기상요소 중 풍향, 풍속, 기온은 대기질 자동 측정소에서 관측되는 값을 사용하였으며, 그 외 대기질 자동 측정소에서 관측되지 않는 값과, 상층기상요소 값은 각각 부

Table 2. Wind field calculating process of CALMET model

초기바람장의 수정	Kinematic Effects : 지형 등에 의한 바람의 변형
	Slope Flows : 부력, 운동량의 균형 등에 의한 바람의 변형
	Blocking Effects : 지상의 열역학적인 효과
객관분석에 의한 최종 바람장 계산	inverse-distance squared interpolation scheme 사용

Table 3. Input data of the model

지상기상자료		상층기상자료		지형자료	
대기질 자동 측정소	풍향 풍속 기온	포항 고층기상 관측소	풍향 풍속 기온 기압 고도	지형도 및 위성사진	지형고도 토지이용도
	부산지방기상청			운량 운고 기압	토지이용도를 바탕으로 프로그램 내에서 계산

산지방기상청과 포항 고층기상관측소 값을 사용하였다. 모델에 입력되는 부산지역의 지형고도는 <Fig. 2>와 같다. 또한 모델에 입력되는 토지이용 현황은 위성사진을 바탕으로 도시지역, 산림지역, 농경지역, 해양지역의 4가지로 분류하였으며, 이 토지이용도를 바탕으로 프로그램에 필요한 지표면 거칠기 길이, 알베도, 보우엔비, 토양 열플럭스, 인공열 플럭스, 식생잎면적 등이 산정되도록 하였다.

계산 대상 일은 바람장과 대기오염물질 지표농도와의 관계를 파악하기 위하여 부산광역시에서 2003년 오존 주의보가 발령된 날을 대상으로 하였다. <Table 4>, <Table 5>에서처럼 부산광역시에는 2003년 총 4회의 오존 주의보가 발령되었으며 이 중 1회는 6월 5일에, 나머지는 9월 4일에 발령이 되었다. 따라서 6월 5일과 9월 4일의 시간별 바람장을 산정하였으며 바람장 산정결과와 대기질 측정망에서 측정되는 부산지역 지표면 오존의 시간별 농도분포를 함께 나타내었다.

### 3.3 계산 대상 일

Table. 4. List of ozone alert at 5 June 2003

발령번호	권역 (해당측정소)	발령사항	농도	발령 및 해제시간 (지속시간)
2003-1호	6권역 (기장읍)	주의보발령	0.126ppm	12:00-16:00 (4시간)
		주의보해제	0.094ppm	

Table. 5. List of ozone alert at 4 September 2003

발령번호	권역 (해당측정소)	발령사항	농도	발령 및 해제시간 (지속시간)
2003-2호	1권역 (동삼동)	주의보발령	0.144 ppm	14:00~17:00 (3시간)
		주의보해제	0.064 ppm	
	3권역 (광안동)	주의보발령	0.131 ppm	14:00~17:00 (※16:00 대연동 0.133 ppm)
		주의보해제	0.092 ppm	
2003-3호	4권역 (장림동)	주의보발령	0.122 ppm	15:00~17:00 (2시간)
		주의보해제	0.096 ppm	
2003-4호	2권역 (전포동)	주의보발령	0.131 ppm	16:00~17:00 (1시간)
		주의보해제	0.118 ppm	



Fig. 2. Topography of calculating domain.



Fig. 3. Land usage category.

#### 4. 결과 및 고찰

<Fig. 4>~<Fig. 5> 계산대상일의 시간별 바람장과 오존농도분포를 함께 표현하였다. 6월 5일과 9월 4일 모두 해안지역에서 전형적으로 발견되는 해륙풍이 발달하는 풍계를 보여주었으나 6월 5일의 경우는 오전 10시경부터 발달한 해풍이 20시경까지 계속되었고 기장군 해안지역에서만 동풍계열의 바람이 발달하는 형태를 보여줬으나, 9월 4일의 경우 오전 10시경부터 해풍이 발달하였지만 해운대구 쪽에서는 21시까지 해안쪽으로 부는 동풍계열의 바람이 계속 불었으며, 기장군 위쪽 해안지역에서는 15시까지는 6월 5일의 경우와 같은 경향을 나타내다가 20시 이후부터 반대 방향인 서풍계열의 바람이 분 것으로 나타났다. 이는 계산대상일의 종관장에 영향을 받았기 때문인 것으로 판단된다. 한편 양일 모두 해풍이 강하게 발달하는 시간대에는 영도와 남구, 수영구쪽에서 해상으로부터의 강한 수렴이 있는 것으로 나타났으며 21시 이후에 급격히 약해지는 경향을 나타낸다. 이것은 지역적인 영향에 의한 것으로 판단되며, 만약 해안쪽에서 오염물질의 유입이 발생할 경우 영도와 남구, 수영구쪽에서 부터 기류에 의한 유입이 먼저 발생할 것으로 예상된다.

시간별 지표오존농도를 비교해 보면 양일의 고농도 오존의 발생과정이 확연히 다름을 알 수 있다. 6월 5일의 경우 오전

10시부터 기장과 강서쪽을 비롯한 내륙쪽에서 오존농도가 높아지기 시작했으나 낮은 오존농도의 공기가 해풍의 영향으로 지속적으로 남쪽에서부터 공급이 되어서 해안쪽에는 오존의 농도가 높아지지 않을 수 있었고, 9월 4일의 경우 12시경부터 기장군 및 남쪽해안에서부터 오존농도가 높아지기 시작하여 해풍에 의한 영향으로 내륙으로 전파되어가는 형태를 나타내어 준다. 이는 권역별 오존주의보 발령시간에서 알 수가 있다.

이상에서 본 것과 같이 부산지역에서 발생하는 국지 풍계를 살펴보는 것은 오존 등과 같은 대기오염물질의 공간적인 분포양상을 설명하는데 상당한 도움이 될 수 있다.

#### 5. 결론

CALMET 진단 방정식을 사용하여 오존주의보가 발령된 6월 5일과, 9월 4일에 대하여 시간별 바람장을 계산한 결과는 아래와 같다.

- ① 부산지역은 연안도시지역에서 전형적으로 나타나는 해륙풍 풍계를 보이며 해풍이 발생할 시 영도구와 남구, 수영구에 해상으로부터의 강한 수렴기류가 존재하는 것으로 나타났으며, 기장과 해운대 일부 지역에서는 종관장의 영향을 받아 해륙풍 풍계와는



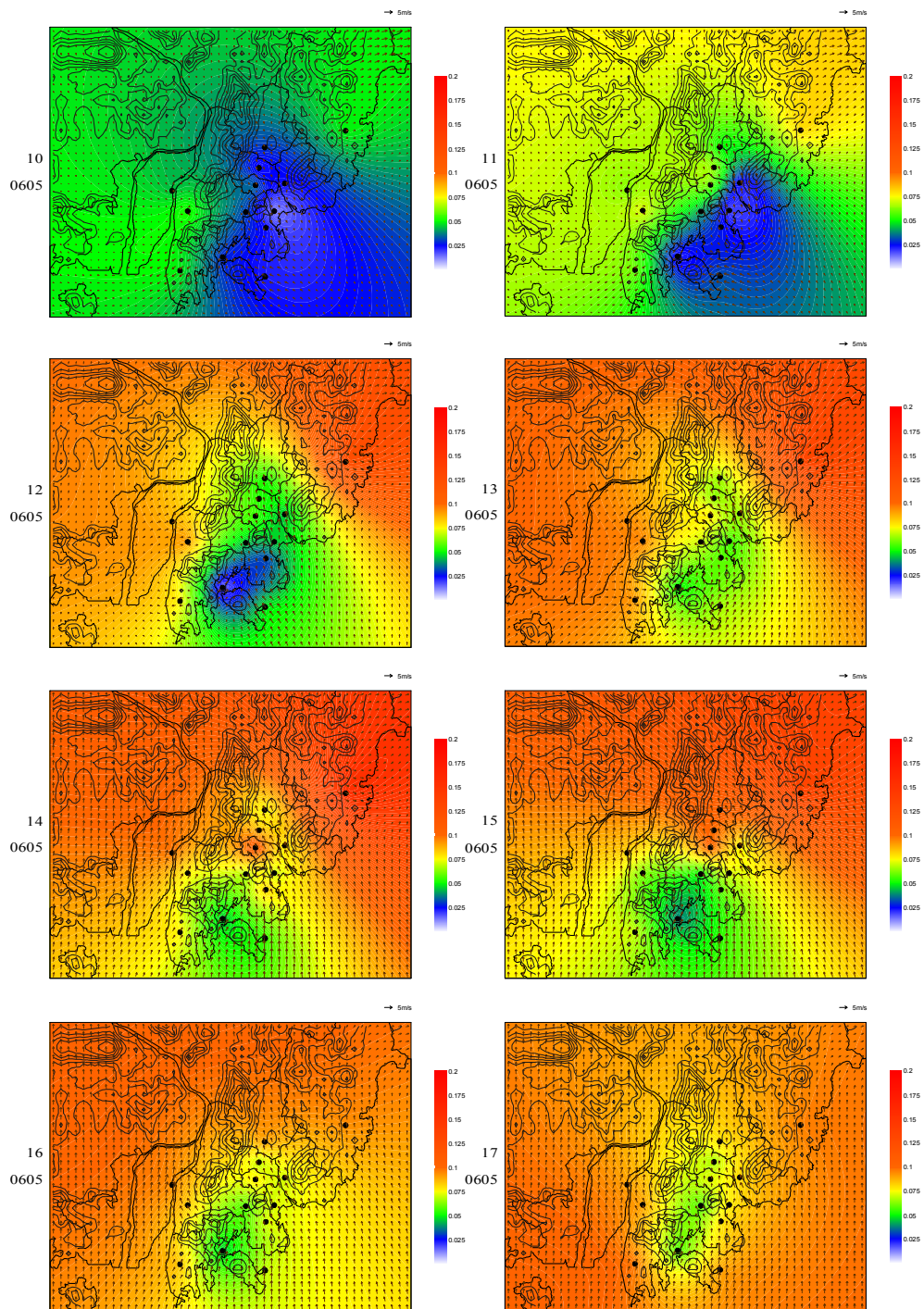


Fig. 4. Distribution of ozone concentration and wind field at 5 June 2003.

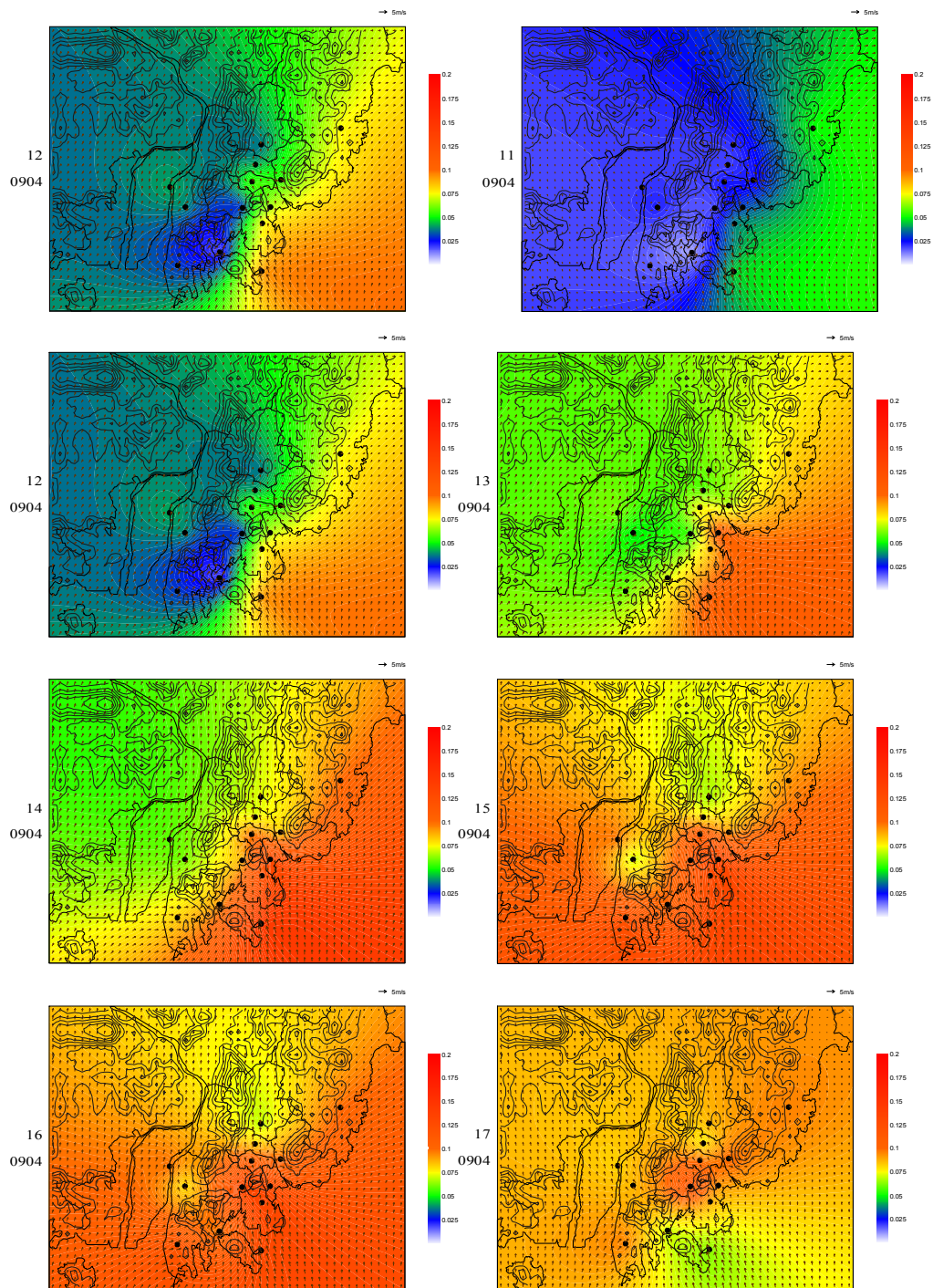


Fig. 5. Distribution of ozone concentration and wind field at 4 September 2003.

다른 지역적인 풍계를 보이기도 하였다.  
 ② 해풍 시 영도와 수영구 남구쪽에서 발생하는, 해상으로부터 유입되는 기류는 내륙에서 생성되는 고농도 오존이 남쪽 해안지역으로 이류 확산하는 것을 차단하는 역할을 하며 따라서 해안 지역에는 내륙의 고농도 오존의 영향을 받지 않고 자연적인 오존 농도를 유지하는 것으로 나타났으며, 해안에서부터 생성되어 정체하는 고농도 오존은 해풍 시, 해상으로부터 내륙쪽으로 향하는 기류의 지속적인 유입에 영향을 받아 내륙으로 이류 확산되어 내륙의 오존농도 상승의 원인이 되는 것으로 나타났다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 부산지역의 대기질 자동 측정소에서 관측되는 풍향, 풍속, 기온 자료를 사용한 바람장의 계산 결과는 지역적인 특징을 반영하는 것으로 나타났으며 이것은 대기오염물질의 지표농도의 공간적인 분포에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 대기환경규제지역 지정이후 부산지역에서 지역적인 조건들을 반영하여 나타나는 대기환경지정기준 초과발생시에 원인파악을 위한 기초자료로 활용가능 할 것으로 기대가 된다.

향후 예측방정식을 사용한 바람장예측 가능성과 산정된 바람장에 대한 실시간 표출 가능성에 대한 연구를 계속해서 수행할 계획이며 이를 통해 대기질 자동 측정소에서 관측되는 기상요소들의 다양한

활용방법을 강구할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

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 Meteo. Sci.(1986)
3. Joseph S. Scire, Mark E. Fernau, 2000, A User's Guide for the CALMET Meteorological Model, Earth Tech
4. 임영권, 오성남, 윤원태, 전영신, 1999, 서울 지역의 지형 및 토지이용도에 따른 3차원 바람장 산출에 관한 연구, 한국기상학회지
5. 이삼식, 차동원, 김은아, 1989, 우리나라 해안지역의 바람특성 비교와 대기오염모델링에 미치는 영향분석, 대기보전학술발표회 요지집
6. 박영민, 이태영, 1990, 서울에서의 바람장과 오염확산에 관한연구, 대기보전학술발표회 요지집
7. 김진영, 김영성, 2001, 상세한 기상관측 자료를 이용한 1997년 서울·수도권 고농도 오존 사례의 모델링

8. 김진영, 김영성, 1996, 모델링 영역과 바람장의 유효성
9. 민경덕, 김경익, 윤일희, 박동재, 이해경, 이인숙, 1991, 1996년 한국대기보전학회 추계학술대회
10. 이갑복, 손순화, 1996, 월성원전 부지의 해륙풍모델링 및 특성분석, 한국원자력학회 추계학술대회
11. 이화운, 김유근, 원경미, 1997, 연안도시지역에서 선박배출을 고려한 라그랑지안 입자확산 모델링, 한국대기보전학회 추계학술대회
12. 기상청, 2003. 6, 2003. 9, 기상월보, 고층기상월보