

연구논문

CALMET 및 ENVI-MET를 이용한 산업단지 입지에 따른 국지 바람장 분석

송 동 웅

상지대학교 환경공학과

(2011년 11월 21일 접수, 2012년 2월 3일 승인)

An Analysis of Local Wind Field by Location of Industrial Complex using CALMET and ENVI-MET

Dong Woong Song

Department of Environmental Engineering, Sangji University

(Manuscript received 21 November 2011; accepted 3 February 2012)

Abstract

In this study, a diagnostic wind model, CALMET and a micrometeorological numerical model, ENVI-MET were used to analyze the wind field in and out of the site designated for the industrial complex around Buron-myeon, Wonju, Gangwon-do.

The results of modeling with CALMET showed that the air flow in industrial complex was little affected by the surrounding terrain. And the result of wind field analysis with ENVI-MET showed there are turbulent air flows such as cavity and wake around structures in the industrial complex, which can cause high-air pollution. Therefore, it is necessary to design the industrial complex considering the wind path according to wind directions.

Keywords : Industrial complex, Wind field, CALMET, ENVI-MET

1. 서론

우리나라는 1970년대부터 시작된 중화학공업화의 강력한 추진으로 공업 부문의 비중이 급격히 상승하였다. 지난 30여 년 동안 급격한 경제 성장을 이루게 되었고 세계 10위권의 교역국으로 발돋움하였다. 이러한 경제 성장에 따른 부작용도 빠른 속도

로 증가되었으며, 우리나라도 다른 산업국가와 마찬가지로 환경오염을 유발할 가능성이 큰 산업의 성장은 국가 경제의 급격한 성장에 매우 효과적이었던 반면, 산업체들이 입지한 산업단지 주변지역의 환경은 크게 악화되었다. 그러나 최근 대규모 개발에 따른 순기능에 가려졌던 다양한 역기능에 대한 우려와 이를 줄이려는 시도가 관심을 끌고 있다. 그 대표적

인 것이 '바람 통로'에 대한 관심이다.

기존의 개발계획에서는 바람길의 대기환경영향이 전혀 고려되지 않는 경우가 많았고 그에 따른 연구도 택지 개발 위주의 연구가 대부분이었으며, 바람길이 고려된 사례에서도 단지 배치에 따른 바람길과 대기오염영향의 정량적 접근의 연구는 전무하다고 할 수 있다. 또한, 대단위 개발시 도로와 고층 건물의 배치 등 기류 이동을 고려하지 않고 건설함으로써 주변 지역과 단지 내에서 발생하는 오염물질이 풍향 및 풍속에 따라 단지 내에 고농도로 축적되어 주변 지역 주민의 건강에 직접적으로 영향을 미치고 있다.

따라서 본 연구에서는 원주시 부론면 지역의 대단위 산업단지 개발 예정지역을 대상으로 지형 및 토지이용도에 따른 개발 예정지 및 인근 지역의 바람장을 CALMET 모델을 수행하여 분석하였으며, ENVI-MET 모델을 활용하여 개발계획 평면도 및 주변 환경 여건에 따른 대기오염물질 확산을 알아보기 위한 바람 분포를 상세히 살펴보았다.

II. 연구방법

1. 연구 범위

본 연구는 강원도 원주시 부론면 일원의 산업단지 개발 예정지 내·외의 바람장 분석을 수행하였다. 연구 대상지역은 구릉성 산지 및 경작지가 주를 이루는 지역으로 그림 1에서 보는 바와 같이 북동측에서 유하한 섬강이 남한강과 합류하며 북측으로 영동고속도로가 위치하고 있다. 또한 북동측에서 남서측으로 긴경산(353 m)이 산업단지 개발 예정지를 둘러싸고 있다.

2. 조사 방법

본 연구에서 바람길을 파악하기 위하여 2010년도에 관측한 기상자료와 지형자료 및 토지이용도를 바탕으로 진단적 바람장 모델(DWM; Dignostic Wind Model)인 CALMET 모델을 이용하여 개발 예정지 및 인근 지역의 바람장을 파악하였다. 또한, 산업단지 조성계획에 따른 건축물이 건설된 후를 가정하여 ENVI-MET를 이용한 주풍향에 따른 미세 바람장 변화를 상세히 분석하였다.



그림 1. 연구 대상 지역

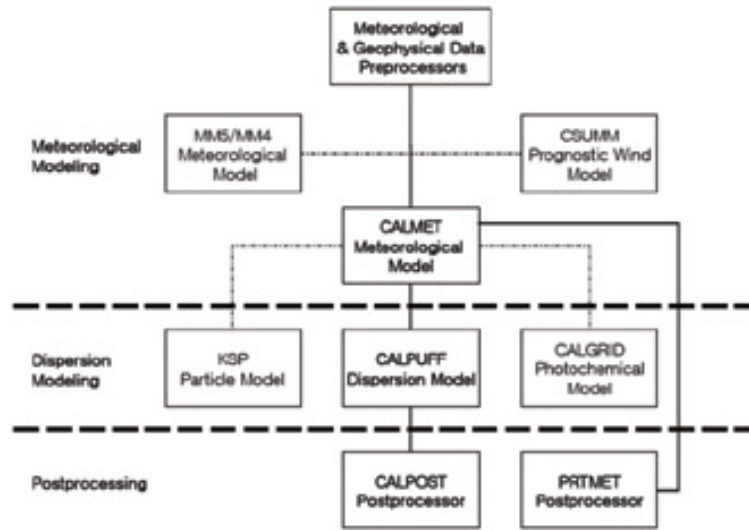


그림 2. CALMET/CALPUFF 모델링 시스템 개략도

출처: Earth Tech, Inc., 2000

3. CALMET의 개요

2000년도부터 미국 EPA에서 대기질 평가에 추천되고 있는 비정상 상태 확산 모델인 CALPUFF와 광화학 반응모델인 CALGRID의 3차원 바람장을 생성하기 위한 기상 모델인 CALMET는 Sigma Research Corporation(Earth Tech, Inc., 2000)에서 개발되었으며, California Air Resources Board(CARB)에 의해 검증되었다. CALMET모델은 사업 예정지에서 건설되는 상세한 건물은 반영하기 어려운 반면, 주변 지형 조건과 토지 이용도에 따른 기상을 분석하는데 주로 사용되고 있다.

CALPUFF Modeling System의 한 부분으로써 CALMET은 격자 구조의 모델링 영역으로 시간별 바람장과 온도장을 3차원으로 생성하고, 혼합고, 지표 특성, 확산 특성 등은 2차원으로 생성한다. 이와 같이 생성된 자료는 puff 형태의 확산 모델인 CALPUFF 모델과 광화학 모델인 CALGRID 모델의 기상 입력자료로 사용된다.

전체적인 CALPUFF 모델링 시스템은 그림2에 도식화하였다.

CALMET 모델은 지표기상 관측자료와 고층기상

관측자료를 공간적으로 내삽하여 진단적인 방법(Diagnostic Method)으로 지형자료 및 토지이용도, 고층기상 관측자료와 지표기상 관측자료를 입력자료로 사용하며, 선택적으로 시간별 강수량, 예단적 방법인 MM4, MM5에서 생성된 기상예보자료 등을 입력자료로 사용할 수 있다. CALMET 모델을 수행하기 위해서 TERREL, CTGPROC, MAKEGEO, READ62, SMERGE, PMERGE의 전처리 프로그램을 수행하여 생성된 각각의 자료를 CALMET의 입력자료로 사용하며, 후처리 프로그램인 PRTMET를 이용하여 생성된 기상자료를 분석, 평가하는데 사용할 수 있다.

CALMET를 수행하기 위해 필요한 지상기상 측정자료는 시간별 풍향, 풍속, 온도, 운량, 운고, 지표기압, 상대습도, 강수량(선택적) 등이 필요하며, 고층기상 자료는 일일 2회 측정된 연직 자료에서 풍속, 풍향, 온도, 기압, 고도가 필요하며, CALMET의 지표 자료는 격자 구조로 구성된 지형고도, 토지 이용도 등이 필요하다.

4. ENVI-MET의 개요

일반적으로 대기유동장 해석에 많이 사용되는 수

치 모형은 여러 가지(RAMS, MM5, WRF, ARPS 등)가 있으며, 이들 수치 모형을 이용하여 국지적 규모의 대기 순환계의 중요성과 그 특징을 상세히 살펴본 연구들도 많이 있다(정우식 등, 2002).

본 연구에 사용된 ENVI-MET 모델은 독일 Bochum 대학의 Bruse(1998)에 의해 개발되었고, 2004년에 최종 개선된 모델이다. ENVI-MET 모델의 장점은 도시 지역에 있어서의 지면, 건물, 식생, 그리고 대기의 상호작용에 관한 미세규모 모델로서 뚜렷한 미세규모 기상의 패턴을 만들어낸다는 점과 딱딱한 건물의 벽면체 뿐만 아니라 숲과 같은 부드러운 모형도 모사할 수 있다는 점이다.

ENVI-MET 모델의 구성은 대기모델, 식생모델, 토양모델, 그리고 지면과 건축물에 관한 식으로 이루어져 있는데 이러한 구성적 특성은 공간적으로 넓은 영역보다 좁은 영역에서의 상세한 기상 정보를 도출하는데 장점을 가지고 있다. 즉, ENVI-MET 모델은 미기상에 영향을 미칠 수 있는 물리적 과정에 대한 고려를 구체적으로 하고 있다. 대기모델의 경우, 공기의 평균흐름, 난류과정, 복사과정 등을 구체적으로 고려하여 계산할 수 있으며 토양 모델은 지면으로부터 2 m 깊이까지 14개 층으로 구성되어 있다. 또한 식생모델에는 열과 수증기의 난류흐름, 기공저항, 잎의 에너지 평형식, 식생/토양 물수지 등이 계산 될 수 있도록 구성되어 있다. 더불어 지표면과 건축물에 대해서도 이들에 관계된 복사속, 면난류속, 열속 등이 자세하게 고려되어 있다(Asaeda, 1993; Liu, 1996; Deardorff, 1978; Yamada, 1982; Launder, 1974).

ENVI-MET 모델은 기존의 대기 유동장 모형과는 다른 사용 환경적 특징을 가지고 있다. 기본적으로 Microsoft PC 운용체제에서 사용이 가능하게 되어 있으며 화면상으로 연구대상 지역의 3차원 공간적 구조(전체영역, 격자간격 등) 및 지표면 특성(토지이용도, 식생의 고려 등), 그리고 지형적 조건(해륙의 분포, 지형 경사, 건축물의 배치 및 구성)을 바로 확인하여 화면상에서 쉽게 수정 및 보완과정을 처리할 수 있는 편리함이 있다. 또한 계산 결과

는 형식(format)전환 없이 바로 '레오나르도(LEONARDO version 3.5Beta)'라는 결과표출 전용 프로그램을 통해 여러 가지 물리량에 대한 계산 결과를 가시화하여 확인할 수 있다. 이와 더불어 ASCII 형태로 여러 가지 물리량에 관한 시, 공간적 결과를 도출할 수 있다. 이는 사용자의 연구 목적에 따라 결과 파일의 전환 및 재처리 작업에 있어 유용하게 활용될 수 있다.

5. 입력자료 및 모델링 영역

1) CALMET 입력 자료

앞서 언급된 바와 같이 CALMET 모델에서 요구하는 입력 자료는 지구물리학 자료, 기상 자료로 구분되며 지구물리학 자료는 고도 자료와 토지이용도 자료로 구분되고 기상 자료는 다시 고공기상 자료, 지상기상 자료, 강수 자료(선택적)로 구분된다.

(1) 지형 자료(Geophysical Data)

MAKEGEO는 CALMET 모델의 고도 자료, 토지이용도 자료의 입력 자료를 만드는 프로그램이다. CALMET 모델의 고도 자료, 토지이용도 자료를 구성함에 있어 우선 입력 자료의 생성에 어떤 투영도를 이용할지 정해야 한다.

본 연구에서는 UTM(Universal Transverse Mercator 단위: km)을 이용하였다. 이외에 CALMET 모델에서는 TTM(Tangential Transverse Mercator), LCC(Lambert Conformal Conic), EM(Equatorial Mercator)를 채택할 수 있다. UTM은 경도를 총 60개로 나누고 서경 174°~180°를 Zone 1로 정한다. 이에 우리나라는 UTM Zone 52 이다. UTM 좌표계를 이용하게 되면 위경도의 좌표의 TM좌표계를 UTM으로 변환해야 하는데 이것은 CALPUFF 모델의 GUI에서 제공하는 Coords.exe를 이용하여 변환할 수 있다.

고도자료는 CALPUFF모델을 제공하는 ASG(Atmospheric Studies Group) Homepage에서 SRTM30/GTOPO30 Data, SRTM Data, USGS(U.S. Geological Survey) DEM Data를 표 1과 같이 제공하고 있다.

표 1. ASG Homepage의 지형 자료

	classification	Region	Grid spacing
SRTM30/GTOPO30 Global Data	-	Global	900 m
Shuttle Radar Topography Mission(SRTM)	SRTM3	Global	90 m
	SRTM1	U.S region	30 m
USGS Digital Elevation Model(DEM) Data	GLCC Database	Global	1000 m
	7.5 minute USGS DEM	U.S region	30 m
	1 degree USGS DEM	U.S region	90 m

표 2. 연구 대상지역 주변 기상대

Station No.	Station name	UTM 52N X(km)	UTM 52N Y(km)	Height of observation field above mean sea level	Height of anemometer above the ground
114	Wonju Station	406.983	4132.368	150.7	10.0
127	Chungju Station	406.532	4091.689	69.1	10.0
203	Icheon Station	365.521	4125.533	77.8	10.0

출처: 기상청(2010)

표 3. 고층기상 관측지점

Station No.	Station name	UTM 52N X(km)	UTM 52N Y(km)	Timezone	Elevation Ht
47122	Osan	325.233	4107.775	UTC+0900	10

본 연구에는 표 1에 소개된 고도자료 중 SRTM3 자료를 이용하였다. 토지이용도 자료는 ASG (Atmospheric Studies Group) Homepage에서 GLCC Database, USGS(U.S. Geological Survey) CTG Land Use/Land Cover (LULC) Data, USGS National Land Cover Data 1992 (NLCD 92)를 제공하고 있다. GLCC Database는 1000m 간격의 자료이며 전 지구 자료를 포함하고 있지만 그 외 제공된 자료는 일부지역에 국한되어 있거나 격자 길이가 큰 자료이다. 그리하여 본 연구에서는 환경부에서 제공하는 토지 피복 분류도를 참고하여 CALMET 모델의 하위 프로그램 중 토지 이용도 자료의 입력 자료 전처리 프로그램인 CTGPROC에서 적용하고 있는 37개 분류표로 적용 및 변형하여 자료를 생성하였다.

(2) 기상 자료

CALMET 모델의 기상 자료는 고공기상 자료, 지상기상 자료, 강수량 자료(선택적)로 구분된다. 본 연구에서 고공기상 자료는 모사 구간과 가장 가까운 고층기상 관측지점인 오산지점 WMO(World

Meteorological Organization) station 이 47122 인 자료를 이용하였다. 지상기상 자료는 모델링 영역을 감안하여 정규기상대 자료인 원주, 이천, 충주 기상대에서 측정된 풍향, 풍속, 기온, 상대습도, 운량, 운고, 지표기압을 이용하였고, 지표기상대 및 고층기상대의 정보는 표 2, 3에 요약하였다.

2) ENVI-MET 입력자료

ENVI-MET 모델을 사용하기 위해서는 풍속, 풍향 등의 초기 기상 자료가 필요하다. 이러한 초기 기상 자료를 이용하기 위하여 인근 원주기상대의 최근 10년간(2001~2010)의 기상자료를 이용하여 평균 풍향과 풍속을 모델의 '*.cf' 파일에 입력하였으며, 건물과 식생에 관한 정보는 해당 지역의 식생도와 개발계획 평면도를 참고하고 건물 건축 후의 개발 예정지를 '*.in' 파일 내에 구성하여 이 두 파일을 입력 자료로 사용하였다.

바람길 모사를 위해 사용된 ENVI-MET program 은 공식적으로 발표된 것 중 가장 최신 버전인 3.0 FINAL을 이용하였다.

3) CALMET 모델링 영역

모델 영역은 산업단지 예정 부지를 중심으로 5 km × 5 km 영역의 상세 바람장을 생성하였으며, 수평 해상도는 0.1 km 간격의 5 km×5 km 격자 체계를 구성하였다. 또한 수직 해상도는 0 m, 20 m, 50 m, 100 m, 300 m, 500 m, 1,000 m, 2,000 m, 3,000 m 간격으로 구성하였으며 구체적인 모델링 영역 정보는 표 4와 같다.

4) ENVI-MET 모델링 영역

모델 영역은 동서방향(X 방향)으로 격자 간격 25 m로 하여 72격자, 남북방향(Y 방향)으로 72격자로 구성하여 동서, 남북으로 1.8 km의 범위로 설정하였고 연직방향(Z 방향)으로는 고도 500 m까지 20 개 Layer층으로 설정하였다. 부지 건설에 따른 토지이용 유형별 계획표에 따라 건물을 구성하였으며, 건물의 높이를 입력하여 실제 사업지구에 근접하도록 ENVI-MET의 부가 프로그램인 ENVI-MET EDDI를 통해 입력하였으며 건물의 높이는 정확한 설계가 이루어지지 않았으므로 현재 계획상 층수를 이용하여 한 층을 3 m로 가정하여 각 건물의 모사 영역을 구성하였다.

이와 같은 입력 자료 구축에 필요한 상세 정보는



그림 3. 연구대상지역 산업단지 계획 평면도

출처: 강원개발공사, 2008

그림 3에 제시된 계획평면도를 이용하여 도출하였으며, 이를 통해 산업단지 및 공원, 건물의 높이 및 배치 등을 상세히 적용할 수 있었다.

본 연구에서 설정한 ENVI-MET 모형의 기본적 구성 조건은 표 5와 같다.

표 4. CALMET 모델링 영역

Item		Content
Grid origin (reference point)	X(Easting)	389.112
	Y(Northing)	4121.057
Grid spacing(ΔX)		0.1 km
Domain Size	Nx(no. x grid Cells)	5 km
	Ny(no. y grid Cells)	5 km
Projection		Universal Transverse Mercator(UTM)
UTM zone		52(Northern)
NO. of Vertical layers		8
Cell face heights(m)		0, 20, 50, 100, 300, 500, 1000, 2000, 3000
Time zone		UTC+0900
Modeling period		April 1, 2010 00:00 ~April 30, 2010 23:00
Continent/Ocean		Asia
Geoid-Ellipsoid		Korean Geodetic System 1995 :WGS 84
Region		South Korea
Datum		KGS

표 5. Envi-met 모델링 구성 조건

DOMAIN	
Area	1,800 m × 1,800 m × 500 m
Mesh	72 × 72 × 20

강수량, 풍향·풍속, 현상일수 등 과거 10년간 (2001년~2010년)의 기상 요소별 관측 자료를 조사 항목으로 설정하여 분석하였다.

산업단지 예정지가 위치한 원주지역은 지형상 강원도 서남부지역의 산간 내륙 지방에 위치하여 태백산맥으로 인하여 내륙성 기후의 특성을 나타내고 있으며, 원주기상대의 기상자료를 분석한 결과 2001~2010년까지의 평균 기온 11.9 °C, 평균 강수량 1,398 mm, 평균 풍속 1.1 m/s, 상대습도 및 일조시간은 66.4 %, 1924.6 hr로 나타났다(표 6).

III. 결과 및 고찰

1. 기상 분석

기상 현황을 파악하기 위하여 산업단지 개발예정지 인근 원주 기상대의 기온, 상대습도, 일조시간,

표 6. 원주지역 연도별 기상조건(2001-2010)

Year	Temp. (°C)			Precipitation (mm)	Relative Humidity (%)	Sunshine duration (hr)	Wind speed (m/s)
	Ave.	Max.	Min.	Year			
2010	12.1	36.3	-13.7	1,011	63.7	1,914.3	1.2
2009	12.3	34.1	-13.0	1,568	67.6	1,749.7	1.2
2008	12.2	36.4	-16.0	1,561	65.9	1,823.7	1.3
2007	11.4	35.9	-17.7	1,571	65.0	2,036.5	1.3
2006	12.6	36.2	-17.7	1,425	65.6	2,065.2	1.2
2005	11.7	32.9	-20.0	1,745	68.5	1,706.8	1.0
2004	11.7	34.8	-17.7	1,482	64.0	1,909.2	1.1
2003	11.5	34.5	-21.2	776	63.0	1,990.5	0.7
2002	11.2	34.5	-16.0	1,229	66.3	1,883.2	0.9
2001	11.8	35.4	-15.1	1,615	73.9	2,167.1	0.8
Ave.	11.9	35.1	-16.8	1,398	66.4	1,924.6	1.1

출처: 기상청(2010)

표 7. 원주지역 연도별 월별 주풍(2001-2010)

Year	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Jan.	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	67.5	247.5	270.5
Feb.	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	270.5
Mar.	45	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	270.5
Apr.	247.5	247.5	247.5	247.5	22.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5
May.	247.5	247.5	247.5	247.5	22.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5
Jun.	270.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	225	247.5	45
Jul.	180	225	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	22.5	247.5
Aug.	225	225	292.5	247.5	225	22.5	225	22.5	225	247.5
Sep.	225	247.5	22.5	22.5	247.5	247.5	22.5	22.5	22.5	67.5
Oct.	270.5	270.5	247.5	247.5	270.5	90	247.5	22.5	247.5	270.5
Nov.	360	247.5	270.5	247.5	247.5	247.5	67.5	247.5	247.5	270.5
Dec.	225	247.5	292.5	247.5	247.5	247.5	67.5	270.5	270.5	270.5
Annual	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	247.5	270.5

출처: 기상청(2010)

표 8. 원주지역 풍향별 평균 풍속(2001-2010) (m/s)

Wind direction	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual
N	1.35	1.26	1.23	1.13	1.25
NNE	1.58	1.46	1.49	1.22	1.46
NE	1.39	1.21	1.06	0.99	1.17
ENE	1.03	1	0.82	0.83	0.91
E	0.94	0.95	0.79	0.78	0.85
ESE	1.04	1.09	0.9	0.78	0.97
SE	1.71	1.8	1.27	1.12	1.57
SSE	2.33	2.09	1.52	1.42	1.96
S	1.54	1.3	1.26	0.97	1.3
SSW	1.57	1.27	1.31	1.27	1.37
SW	2.08	1.59	1.57	1.68	1.76
WSW	2.35	1.61	1.71	2.12	2.03
W	2.19	1.4	1.66	2.05	1.88
WNW	2.02	1.35	1.5	1.96	1.76
NW	1.45	1.19	1.17	1.33	1.28
NNW	1.24	1.17	1.14	1.03	1.16

출처: 기상청(2010)

원주기상대의 관측자료(2001~2010)를 통해 주풍향을 분석한 결과 주풍향은 서남서풍인 것으로 분석되었으며, 2010년에는 서풍이 주풍향인 것으로 분석되었다(표 7). 또한, 풍향별 평균 풍속은 표 8과 같다.

2. 바람장 분석

1) CALMET를 이용한 개발지 주변의 바람장 분석

위에서 언급한 지형 자료와 토지이용 자료를 이용한 개발지 주변의 지형적 특성에 의한 바람장을 분석하기 위하여 인근지역 3개 지역의 지표 기상대와 1개 지점의 상층기상 관측소의 2010년 기상 자료를 CALMET 모델 수행에 적합한 Format으로 가공하여 적용하였으며, 연중 바람의 발생일이 많고 평균 풍속이 가장 높은 4월의 기상 자료를 이용하여 모델링을 수행하였다.

CALMET 모델링 결과, 본 산업단지 예정지 주변 지역은 산악지형으로 지형적 변화가 많이 나타나고 있으며, 대부분의 지역이 식생의 토지 피복을 갖는 지형으로 모델링 영역내 중심부가 산업단지의 입지로 인해 지표 부근에서 바람길이 막히는 현상이 나타날 수 있을 것으로 예측할 수 있다.

그림 4는 2010년 4월 1일에서 30일까지의 산업단지 예정부지 인근 지표기상대와 오산상층관측소의 자료를 입력하여 CALMET 모델을 수행한 결과 중에서 인근 원주기상대의 관측자료(2001~2010)를 분석하여 얻은 주풍향인 서남서풍 계열의 바람이 가장 많은 빈도로 발생한 날(2010.4.1)을 선정하여 특징적인 바람장이 생성된 시간대를 도시화한 것이다.

분석결과, 산업단지 입지 예정지는 비교적 완만한 지형으로 지형에 의한 바람의 변화는 적은 것으로 나타났으며, 주변 산악지역은 지형의 고저에 의한 바람의 변화가 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 주로 바람이 강하게 부는 낮 시간에는 지형에 의한 영향이 미비하게 나타났으며, 바람이 약하게 부는 새벽녘과 저녁 무렵에는 산곡풍의 영향으로 바람의 변화가 다양하게 나타나는 것으로 확인되었다. 그러므로 본 산업단지 입지예정지는 지형적 특성에 의해 바람의 변화가 크지 않은 지역으로 분석되었다.

2) ENVI-MET를 이용한 풍향별 바람장 분석 (WD247)

산업단지 개발 예정지와 가장 인접한 원주기상대

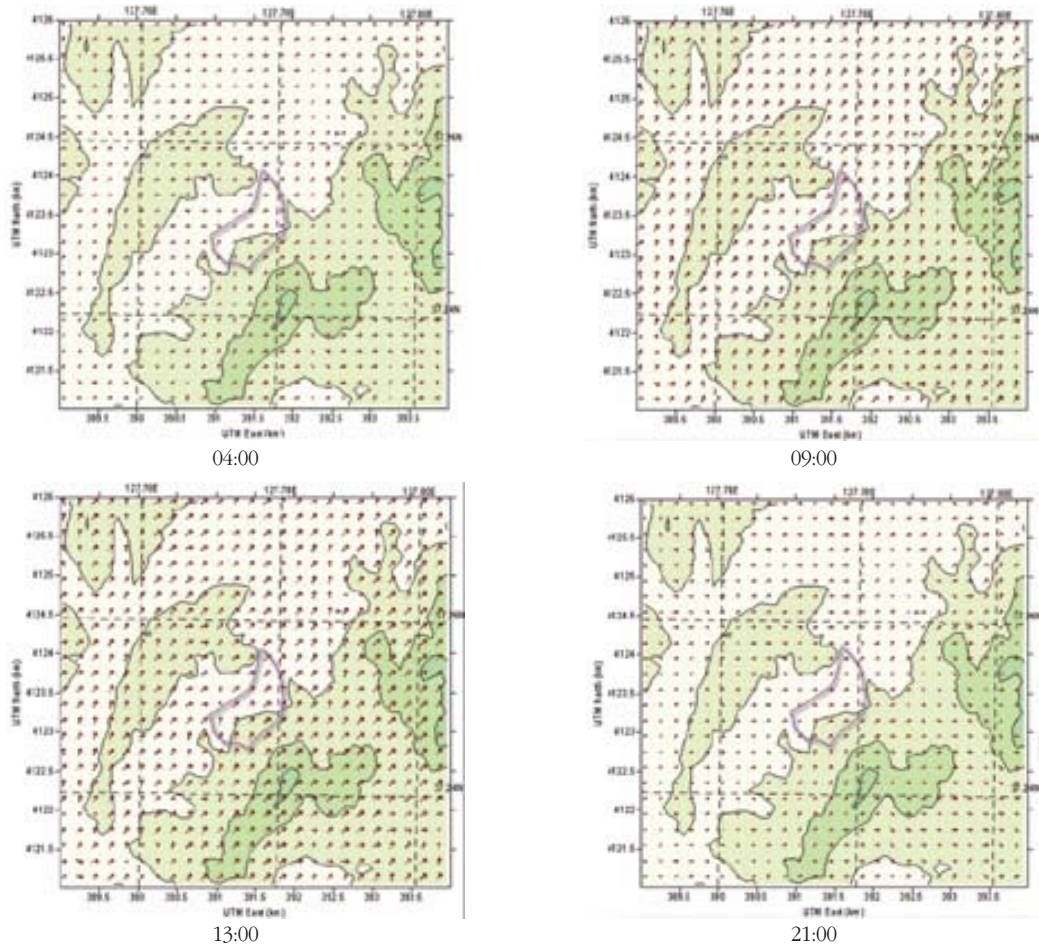


그림 4. CALMET에 의한 바람장 분석 결과(2010.4.1.)

표 9. 대상지역 내 Envi-met 모델링의 대표 풍계

Factor	CASE	WD247
Wind Direction		247(WSW)
Wind Speed(m/s)		2.0

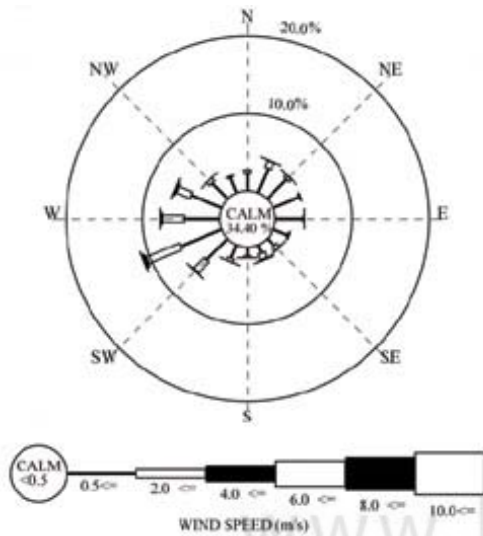


그림 5. 원주 지역 바람 장미도(2001-2010)

의 10년간(2001년~2010년) 관측 자료를 바탕으로 분석된 연간 바람장미도(그림 5)를 보면 서남서풍이 주풍향(풍속 0.5 m/sec 이상)으로 분석되었다. 따라서 개발지 주변으로도 이와 같은 풍향의 바람이 불어올 가능성이 높다.

다음의 풍계(표 9)는 개발지 내에 가장 대표적인 풍계를 볼 수 있고, 풍속은 앞서 언급한 표 8을 참고하여 적용하였으며, 각 풍계별 사람의 키 높이를 고려한 2 m의 고도에서 바람의 특성에 대해 분석

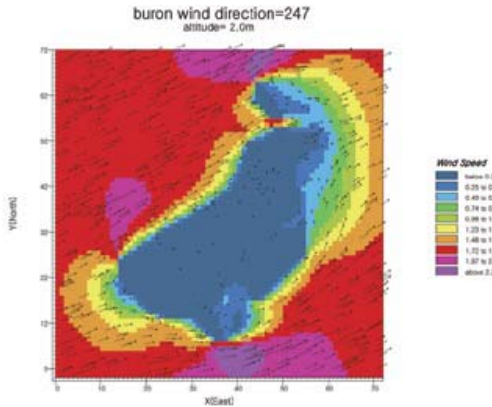


그림 6. Envi-met에 의한 바람장 분석 결과(WD247)

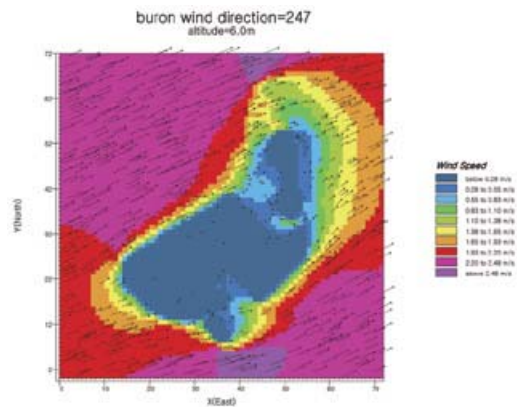


그림 8. 고도 6m에서의 바람장 분석 결과

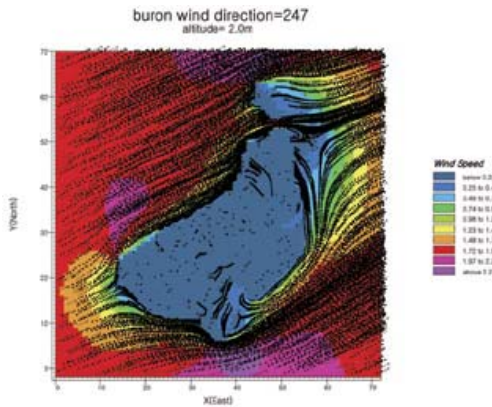


그림 7. Envi-met에 의한 입자방출 계산 결과(WD247)

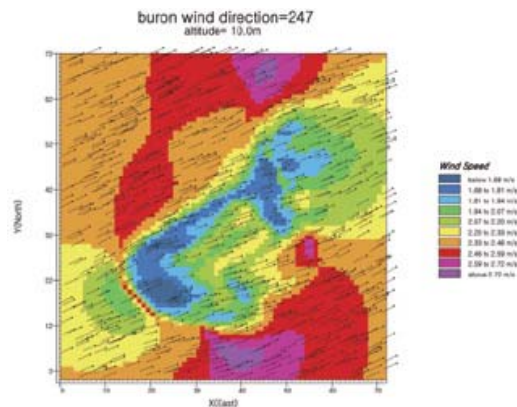


그림 9. 고도 10m에서의 바람장 분석 결과

하였다.

아래의 그림 6, 7에 제시된 입자방출 계산결과를 보면 서남서쪽에서 불어오는 바람은 완충녹지와 건물의 차폐효과로 인해 개발예정지를 돌아 방출되는 것으로 나타났다. 진입하는 풍속은 예정지 경계를 따라 일시적으로 2.21 m/s까지 평균풍속 이상의 풍속을 보였으며, 각종 산업시설이 입지하는 곳은 0.25m/s 이하의 낮은 풍속대가 형성되어 바람의 정체현상을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 다만 저류지를 통해 약간의 바람길이 형성됨을 알 수 있었다.

이상의 결과로 볼 때, 247°방향의 서남서풍 계열 바람이 개발지 내로 불어 들어오는 경우에 외부 공기가 개발지 내에서 정체되거나 고립되는 현상이 발생할 수 있을 것으로 예상된다. 특히, 산업단지 구조물 주변에서 난류현상이 발생하며 풍하방향으

로 구조물 뒤편에서는 역류현상이 발생하는 공동(Cavity)현상이나 풍속의 감소가 나타나는 Wake 현상이 발생하는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 이는 개발 예정지의 완충녹지 및 산업시설의 차폐에 의한 것으로 사료되며, 오염물질의 발생시 환기통로가 뚜렷이 형성되어 있지 않아 고농도 축적에 의한 대기오염과 같은 문제점을 나타낼 수 있을 것으로 예상된다.

3) 고도별 바람장 분석

위에서 언급한 최근 10년간(2001년~2010년)의 관측자료에서 분석한 주풍향인 서남서풍(WSW)의 조건하에 산업단지 예정지의 건축물 건축 후 건축물의 평균높이에 해당하는 6m에서의 바람 특성과 건축물의 최고 높이에 근접한 10 m에서의 바람 특

성에 대해 분석하였다.

아래의 그림 8에 제시된 6 m 고도에서의 바람장 분석 결과를 보면 10m 이상의 건축물이 들어설 것으로 예측되는 산업시설용지에서 외부의 공기가 고립되는 현상이 발생할 수 있는 것으로 예상되었다. 다만, 건축물의 높이가 비교적 낮을 것으로 예상되는 물류지원시설 및 기타지원시설용지 방향으로 0.28 m/s~0.83 m/s의 풍속의 바람이 휘돌아 나가고 폐수처리장 및 저류지 쪽으로도 바람길이 형성됨을 알 수 있었다.

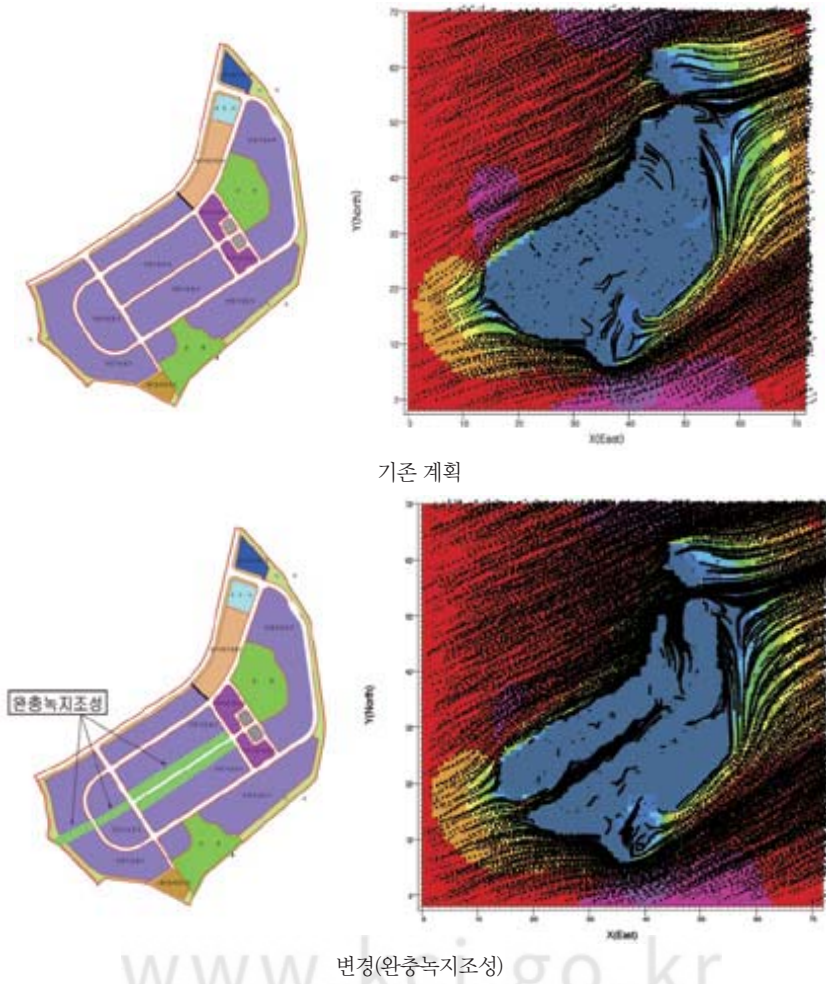
또한, 그림9에 제시된 건축물의 예상 최고 높이에 근접한 10 m에서의 바람특성을 분석한 결과 건축물 및 완충녹지에 의한 차폐의 영향으로 인해 일

시적으로 1.81m/s 이하의 풍속이 나타남을 확인할 수 있었으나 동일한 풍향을 유지하는 것으로 확인되었다.

위의 결과를 볼 때, 고도에 따라 각각 다른 바람길이 형성됨을 알 수 있었으며, 10 m이상 고도에서의 바람의 방향은 변화 없이 주풍향인 서남서(WSW)풍을 유지하는 것으로 예상되었다. 그러므로 대기오염확산을 고려한 측면에서 고도 10 m이하에서의 바람길의 확보가 필요할 것으로 판단된다.

4) 단지내 완충녹지 조성에 따른 바람길 변화

단지내 구조물로 인한 바람의 정체 현상을 해소하기 위해 그림 10과 같이 단지 중앙부에 완충녹지



www.kigo.kr
그림 10. 단지 내 완충녹지 조성 후의 바람장 변화

를 조성하여 기존 계획과 완충 녹지 조성 후의 단지 내 바람장을 분석하였으며 분석 결과, 단지 중앙부의 완충녹지 조성 후에 단지 중앙부에서 바람의 정체 현상이 해소되면서 환기 통로가 뚜렷이 형성되고 있음을 보여주고 있다.

IV. 결론

본 연구는 원주시 부른면 일원의 산업단지 입지 예정지를 중심으로 진단적 바람장 모델(DWM; Diagnostic Wind Model)인 CALMET를 이용하여 사업지구 내·외의 바람장을 분석하였으며, 미기상 수치 모형인 ENVI-MET를 활용하여 예정지 내의 상세 바람장을 분석하였다.

CALMET를 이용한 산업단지 예정지 내·외의 바람장 분석 결과, 산업단지 입지 예정지는 비교적 완만한 지형으로 지형에 의한 바람의 변화는 적은 것으로 나타났으며, 주변 산악 지역은 지형의 고저에 의한 바람의 변화가 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 주로 바람이 강하게 부는 낮시간에는 지형에 의한 영향이 미비하게 나타났으나 바람이 약하게 부는 새벽녘과 저녁 무렵에는 주변 지형 및 산곡풍의 영향으로 바람의 변화가 다양하게 나타나는 것으로 확인되었다.

ENVI-MET를 활용하여 지상 2 m에서의 풍향별 바람장 특성을 분석한 결과, 개발 예정지 주변에서는 평균 풍속 이상의 풍속을 유지하였으나, 각종 산업시설이 입지하는 단지 내에서는 건물의 차폐효과로 인해 0.25 m/s이하의 낮은 풍속대가 형성되어 바람의 정체 현상을 나타내고 있는 것을 확인하였다.

그러나 건축물의 예상 최고 높이 10 m에서의 바람 특성을 분석한 결과, 건축물에 의한 차폐로 인해 일시적인 풍속 감소가 있었으나 전체적으로 진입하는 풍향과 동일한 풍향을 유지하는 것으로 확인할 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 고도 6 m 이하의 낮은 구간에서 단지 내 건축 구조물의 차폐로 인한 바람의

정체 현상을 완화시키기 위한 대안으로 단지 중앙부에 완충 녹지를 추가 조성하는 것으로 계획하여 바람장을 분석하였으며 분석 결과, 단지 내에서 바람의 정체 현상이 크게 해소되면서 바람길이 확보되는 것을 확인하였다.

이상의 연구 결과로부터 향후 산업단지 등의 개발 사업시 충분한 바람길 확보를 위해 계획 단계에서 국지 바람장 분석을 통한 단지 배치 계획이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2009년도 상지대학교 교수 연구년제 지원에 의한 것임.

참고문헌

- 강원개발공사, 2008. 9, 원주 부른 일반 산업단지 개발 계획 사전환경성검토서.
- 기상청, 2010, 기상연보, p.4~5.
- 정우식, 이화운, 2002, 해풍 시작에 영향을 미치는 지형성 강풍 현상에 관한 고찰, 한국환경과학회지, 11(4), 289~295.
- Asaeda T., Ca V. T., 1993, The subsurface transport of heat and moisture and its effect on the environment - a numerical model, Boundary-Layer Met., 65, 159~179.
- Bruse M., 1998, Development of a microscale model for the calculation of surface temperatures in structured terrain, MSc Thesis, Inst. Geo. Univ. Bochum.
- CALPro GUI Download: ASG(Atmospheric Studies Group) HOME <http://www.src.com>.
- Deardorff J. W., 1978, Efficient prediction of ground surface temperature and Moisture with inclusion of a layer of vegetation. J. Geophys. Res., 83, 1889~1903.

- Earth Tech. Inc., 2000, A User's Guide for the CALMET Meteorological Model(Version 5).
- Launder B. E., Spalding D. B., 1974, The numerical computation of turbulent flows. *Comp. Methods Appl. Mech. Eng.*, 3, 269~289.
- Liu J., 1996, E-modelling of turbulent air flow downwind of a model forest edge, *Boundary-Layer Met.*, 7, 21~44.
- Yamada T., 1982, A numerical model study of turbulent airflow in and above a forest canopy, *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 439~454.

최종원고채택 12. 05. 14