

# 바람통로 예측모델링을 통한 바람통로 계획전략

- 성남판교 신도시 개발지구를 중심으로 -

황기현\* · 송영배\*\*

\*한국토지공사 신도시사업단 · \*\*서울여자대학교 자연과학연구소 도시기후연구센터

## Air Corridor Planning Strategy based on the Wind Field and Air Corridor Simulation

- A Case Study of Pan-Gyo New Town Development Area -

Hwang, Kee-Hyun\* · Song, Young-Bae\*\*

\*Korea Land Corporation · \*\*Center for Urban Climate Research, Seoul Women's University

### ABSTRACT

This paper presents the air corridor planning strategy based on simulation with MUKLIMO\_3 (Micro-scale Urban Climate Model) to investigate the wind field and air corridor caused by the land-use change of the New Town Development Area in Pan-Gyo. In the first part, the most frequently observed wind field in the New Town Development Area was measured and used as an initial value to simulate a more realistic wind field and air corridor. Several experiments with different initial values of wind fields were carried out to investigate the wind field change affected by the New Town Development. The results show the features of the wind field of the neutral stability condition in the urban canopy layer with a high resolution near the ground. The wind speed is weakened at this level due to the New Town Development. It was found that the wind field and air corridor are influenced by the land-use change. After the development of the New Town, the speed of the wind field decreased and the main wind directions and air corridor changed. In this study, this model is found to be a useful tool for evaluating air corridor and change of wind field in speed and direction.

*Key Words : Air Corridor, Urban Climate, Numerical Modelling, Low Wind Area, Wind Circulation Capability*

† **Corresponding author** : Young-Bae Song, Faculty of Environmental Studies, Center for Urban Climate Research, Seoul Women's University, Seoul 139-744, Korea. Tel. : +82-2-970-5794, E-mail : ybs2000@empal.com

## 1. 서론

### 1. 연구의 목적과 의의

지표면 위의 자연환경 또는 건조환경의 대기와 접하는 물질들의 상이한 열특성은 주변의 대기온도를 서로 다르게 변화시키고, 이렇게 생성된 대기의 온도차는 대기밀도차를 유발하여 바람이 생성된다. 이 같은 현상은 도시지역의 상이한 토지이용에 의해서 뿐만 아니라 도시지역과 도시외곽지역 및 전원지역간에도 발생된다. 이때 공기는 유체와 유사하게 도시구조와 지형적 위치 및 건축물의 배치에 따라 정체되거나 자유롭게 유동하면서 서로 다른 지표물질, 식생 및 지형에 따라 지역적 및 국지적으로 고유의 기후환경을 형성하게 된다.

현대 도시는 대부분 동일 물질(주로 콘크리트, 아스팔트, 석재 등)로 피복되어진 도시공간으로 구성되며, 따라서 개발되기 이전의 자연계와는 다른 물질의 열특성으로 인해 공기의 흐름이 변화된다. 특히, 건축물의 고층·고밀화는 지구내 바람의 유입을 차단시켜 내부의 환기성을 약화시키고(송영배, 2003a), 도시열섬은 대류를 통한 국지적인 공기순환능력을 감소시켜 열적으로 쾌적하지 못한 대기환경을 조성함으로써 도시 대기위생 측면에서 심각한 문제를 불러 일으키고 있다. 또한 증가하는 자동차와 도로, 공장과 같은 대기오염원이 주거지 주변에 위치함으로써 유입될 수 있는 대기오염물질은 공기순환이 미약한 지역의 대기에 정체 및 축적됨으로써 호흡기 관련 질병을 유발시켜 공중보건을 악화시키고 있다. 이와 함께 건축자재에 의한 실내공기오염이 큰 문제로 대두되고 있으며, 이에 대해 건물내부의 공기조절을 위한 공조설비만으로는 해결될 수 없는 문제이다. 건축물의 내부환기를 위해서 외부환기의 적극적인 이용이 건축계에서 연구 및 시도되고 있음을 감안한다면, 신도시 계획시에도 바람통로 분석과 바람통로 설계는 사업초기 구상단계에서 검토되어야 할 사안이라고 판단된다.

녹지지역을 주거기능 등 도시적 용도로 개발하는 도시개발 사업은 해당지역의 미기후를 변화시키게 되는데, 과거 상계동 신시가지 개발시 오염된 대기가 정체되어 주거지의 삶의 질이 저하된 사례가 있었음에도 불

구하고 이후 개발된 도시개발사업에서 대기오염에 대한 환경영향저감 차원의 접근은 있었으나 도시내로 신선한 바람을 끌어들이기 위한 한 차원 높은 적극적인 계획적 접근은 이루어지지 않았다. 따라서 신도시 개발로 인한 기후부담은 도시의 쾌적성과 환경성 및 경제적 성장을 저해하는 주요 장애요소로 작용하고 있으며, 우리가 도시의 지속 가능한 발전과 영속적 유지를 위해 해결하여야 할 주요 과제이다. 최근 개발패러다임의 변환으로 환경친화적 개발에 대한 정부의 관심이 높아짐에 따라 최근 도시계획수립 환경성 검토항목으로 물과 바람 순환의 중요성을 강조하고 있으나<sup>1)</sup> 바람통로 확보를 위해서는 저밀개발과 충분한 녹지확보가 전제되어야 하므로 현실에서는 개발사업의 수익성 저하와 연계되어 적용 사례가 미흡한 실정이다.

이러한 측면에서 본 연구는 성남 판교 신도시 개발 후, 도시지역의 환기능력 감소로 인해 유발될 수 있는 기후부담과 악화될 수 있는 국지적 및 개별 건축물의 환기성능의 개선, 도시지역의 기후부담 저감을 위한 바람통로 분석과 바람통로 예측 모델링을 수행하며, 신도시 계획시 기후개선 기법을 제시하고 지구단위 계획시 활용할 수 있는 자료를 제시하고자 한다.

이를 통하여 도시외곽지역의 새로운 개발로 기후부담이 예상되는 지역과 이미 상당한 개발로 기후부담을 안고 있는 지역에 대한 재개발시 바람에 대한 영향평가가 가능하며, 그 결과를 건축물의 배치 등 도시설계에 반영시킬 수 있을 것으로 예상된다.

### 2. 선행연구

바람통로에 대한 분석과 이를 도시 재개발 사업에 적용한 대표적인 사례로는 독일 슈트트가르트시의 바람통로계획(Landeshauptstadt Stuttgart, 2000)을 들 수가 있으며, 기상관측 및 수치 모델링을 통해 바람통로를 파악하고 이를 도시재개발시 적용시키기 위한 사례연구가 이루어졌다. 국내에서는 바람통로 계획을 위한 선행연구로서 도시 기후특 지도의 제작방법과 신선한 공기의 생성지역 및 이동에 관한 연구(송영배, 2001)가 이루어졌으며, 도시, 조경 또는 환경계획시 미기후를 고려하여 도시지역의 대기질 개선을 위한 방법으로서 기후생태적 우선지역 설정을 위한 연구(송영배,

2003b)가 수행되었다. 또한 지구단위 계획시 도시기후를 고려한 도시계획 및 설계기법에 관한 연구로서 송영배 등(2001)은 “도시기후지도를 이용한 도시설계기법에 관한 연구”를 수행하였으며, 서울시(2000) “서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구”, 서울시개발연구원(2001) “서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구(II)”, 김운수 등(2001)은 “기후특성을 고려한 도시계획제도의 도입과 적용가능성에 관한 연구”를 각각 수행하였다.

바람장을 분석하고 바람통로를 설계하기 위해 컴퓨터 수치모델링을 적용한 연구로서 독일 슈트트가르트시(Landeshauptstadt Stuttgart, 2000)는 DIWIMO (Diagnostic Wind Simulation Modell), KALM (Kaltluft Modell), MUKLIMO(Microscale UrbanCLimate Modell) 등을 이용하였으며, 부경은 등(2000)은 “여의도 지역의 바람장 수치 실험”을 위해 MUKLIMO (Siewers, 1995)를 이용하여 건물과 공인 조성 등 건축 구조물로 인해 풍속에 미치는 영향과 대기오염물질의 확산 정도를 분석하였다. 또한 송영배(2003a)는 “신도시 대기오염 자연정화를 위한 Fresh Cold Air Corridor 설계기술 개발”을 위해 MUKLIMO\_3(Siewers, 2002)를 이용하였다.

## II. 연구방법

### 1. 바람통로<sup>2)</sup>

Baumuller(1997)와 Stueplnagel(1987) 등은 바람통로를 “지역의 지배적인 기상조건에서 형성된 주풍향에 의한 방해나 영향을 크게 받지 않으면서 일정한 방향으로 바람이 불어가는 통로(corridor)”로 규정하고 있다. 또한 김광식(1992: 59)은 국지바람 체계의 범주 내에서 형성되는 바람통로로서 “한정된 특정 지역에 고유의 풍향, 풍속, 빈도를 가지고 부는 바람이며, 주요 바람 생성요인별로는 특정한 기압배치에 크게 지배되어 중규모의 범위를 가진 지방바람(地方風), 기압배치와 국지적인 지형이나 열(熱)적 요인이 관련되어 생기는 국지바람, 일반풍이 약할 때, 열적·지형적 영향을 강하게 받아서 부는 국지바람 등”으로 구분하였다. 바람

통로의 규정시 반드시 필요한 요소로서 차고 신선한 공기의 생성지역 및 유입지역, 공기교환이 발생하는 지역을 들 수가 있다 (송영배, 2003b).

#### 1) 바람통로의 공간적·시간적 범위

바람통로를 형성하는 바람의 생성과 흐름은 지역적(regional) 및 국지적(local)인 기상현상과 지형의 특성을 크게 반영하므로 도시지역에서의 바람통로에 대한 고찰은 연구범위 및 적용대상에 따라 지역적 규모(중기후권)와 국지적 규모(미기후권)에서의 바람의 생성과 흐름을 구분하여야 하며, 바람형성의 특성에 따라 동적 공기교환(dynamic air exchange)과 열적 공기교환(thermal air exchange)으로 구분하여 고찰할 필요가 있다(Barlag, 1993; 송영배, 2003b)<sup>3)</sup>.

신도시 개발시 적용시킬 수 있는 바람통로는 중규모(meso-scale) 및 그 이하의 국지적 범위에서 나타나는 국지기상현상이므로 수평적 규모는 수 m에서 수십 km, 수직적 규모는 수 m로부터 해당 지역의 혼합고까지이며, 현상의 지속시간은 수 분으로부터 수 시간 또는 산곡풍이나 해륙풍과 같은 국지바람 순환체계가 형성되는 24시간 내외의 범위로 설정할 수 있다.

따라서 위와 같은 바람통로의 공간적·시간적 범위를 고려할 때, 바람통로에 대한 예측 모델링은 다음과 같은 사항들을 고려할 필요가 있다. 첫째는 대상지역의 국지적 기후가 중기후대의 지역적인 기상조건에 영향을 받아 국지적인 바람체계에 변화가 발생하면서 형성되는 바람통로이며, 두 번째는 무풍(풍속 < 0.2m/s)이나 역전층이 발생할 경우에 형성되는 국지적인 동적 대류(dynamic air exchange)와 열적 대류(thermal air exchange)이다.

#### 2) 사면풍과 산곡풍에 의한 바람통로

중기후권에서 미기후권에 걸쳐 형성되는 대표적인 국지바람체계인 산곡풍과 사면풍에 의해 형성되는 바람통로가 있다. 산곡풍과 사면풍은 열적 대류작용과 지형의 고저에 의해 형성된 바람체계의 대표적인 형태로서 기후생태적 우선지역<sup>4)</sup>에서 형성된 냉기류(차고 신선한 공기)가 열적 유도에 의해 촉발되어 지형의 경사 에너지를 이용하여 하부지역으로 이동하게 된다. 위 바람체계는 미기후권역에서 발생하는 동적 및 열적 대류

보다 중규모 이상의 지역적 기상현상이 지배적인 상태에서는 지역에 충분한 대기순환 에너지를 발생시킨다(Stueplnagel, 1987). 따라서 산지가 많은 우리나라의 도시지형을 고려할 때, 산지에서 생성된 차고 신선한 공기의 운반에 중요한 역할을 하게 된다<sup>5)</sup>.

공기의 동적인 교환과정을 통해 발생하는 바람(dynamic air exchange)은 중기후권보다는 미기후권에서 바람통로를 형성할 수 있는 대표적인 바람체계이며, 이는 녹지에서 인접한 도시지역으로 바람이 불어가면서 차갑고 습한 공기덩어리들이 이동을 하게 되고, 바람이 불어오는 쪽에 있는 녹지의 따뜻하고 건조한 공기에 영향을 미침으로써 발생한다.

열적인 공기교환은 대류가 적은 날에 주로 이루어지며, 도시기후적 및 대기위생학적으로 오염된 그리고 대기환경부하가 심한 여건에서 대단히 중요한 의미를 갖게 된다. 도시지역에서 상이한 토지이용 지역간에 형성된 온도차에 의해 유발되는 기압 차로 발생하는 열적 대류는 "구조적 바람순환(structural wind circulation)"(Stueplnagel, 1987)이라고도 하며, 바람의 국지순환(local circulation)보다 작은 규모로 형성되는 바람체계이다. 바람의 생성원인은 개발지역 위에서는 상승기류, 녹지 위에서는 냉각된 하강기류가 발생하면서 지속적인 국지순환이 이루어지며, 이는 녹지 지표면 부근의 차가운 공기덩어리들이 도시구조 속으로 이동하기에 충분한 정도의 에너지를 갖추고 있다. 그러나 이에 상응하는 수직운동은 현재까지 실험적으로 입증되지 못한 것으로 알려져 있다(Landeshauptstadt Stuttgart, 2000: 8).

## 2. 바람통로 예측 모델링

바람통로 예측모델링을 위한 연구방법은 크게 기상관측과 컴퓨터를 이용한 바람장(wind field) 수치모델링으로 구분되어 수행된다.

### 1) 기상관측: 풍향·풍속 측정

바람의 국지순환체계를 파악하기 위해 장기 고정관측과 일시적 고정관측을 수행하였다. 연구 대상지에 대한 기후특성을 파악하기 위해 2개의 고정 기상관측장비(AWS)를 설치하여 상시관측을 수행하였으며, 대상

지는 기후특 및 지형특성을 고려하여 9개 지점을 선정하여 지점별로 일시적 관측을 수행하였으며, 이 관측을 통해 지역적인 바람의 영향이 없거나 미약할 경우에 관측 가능한 열적 및 동적 대류에 의한 풍향 및 풍속을 측정하였다<sup>6)</sup>.

### 2) 바람장(wind field) 수치 모델링

컴퓨터 수치모델링을 통해 바람장의 분석 및 변화예측을 수행하는 이유는 국지기상관측을 통해 얻어진 점적 기상관측 결과를 지형과 물리적인 지표면의 특성을 고려하여 개발예정지역에 대한 바람장(풍향, 풍속) 형성의 경향성을 파악하는데 있다. 수치모델링은 넓은 면적의 연구 대상지에 대한 동시 국지기상관측을 수행할 수 없는 연구방법상의 한계점을 보완하고 미측정 지점에 대한 바람장 예측을 통해 지역적 분포특성의 파악이 가능하나<sup>7)</sup>, 도출된 모델링 결과를 검증하는 데에는 어려움이 있으며 방법론의 정립이 필요하다.

도시지역 내 고층건물의 입지에 따른 온도, 습도 등과 같은 미기후 변화를 시뮬레이션 할 수 있는 이론적 근거와 수단은 미비하며, 따라서 관측된 자료를 바탕으로 등곡선도를 작성하며, 공간적인 영향을 예측하게 된다. 그러나 바람장에 대한 변화 예측이나 영향분석은 AWS 관측자료를 입력자료로 활용하여 수치모델링을 통한 가상 시뮬레이션이 수행되고 있다.

바람장의 변화를 분석하고 예측하기 위해 개발된 수치모델링 프로그램은 매우 다양하게 개발되어 있다. 각 프로그램의 모델역학과정(지배방정식, 모수화 및 제약조건 등)에 대한 비교분석이 이루어지지 않고 있으며, 따라서 모델링 결과에 대한 정확도, 오차, 장단점 분석이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 외국 및 국내의 사례에서 적용된 바 있는 독일 기상청에서 개발한 바람장 수치모델링 프로그램인 MUKLIMO\_3(Sievers, 2002)를 활용하여 영향분석 및 예측을 수행하였다<sup>8)</sup>.

### (1) 공간범위

바람장 모델링의 공간적 범위설정은 Oke(1987)에 의하면 고층건물의 입지에 따른 바람장의 변화는 건물 높이의 3배가 되는 지점에서부터 발생하며, 그 영향범위는 10~15배가 되는 지점까지 나타나는 것으로 알려

져 있다 (Oke, 1987: 243). 따라서 본 연구에서는 바람장 수치 모델링을 위해 성남 판교 신도시 개발지구를 중심으로 대상지의 크기를 8km × 8km, 격자 크기를 80m로 설정하였다.

(2) 입력자료

바람장 수치 모델링을 위한 입력자료로는 지형, 표면 거칠기, 건물, 식생, 대기오염도, 풍향, 풍속 등이 있다. 지형자료는 대상지의 수치지도(국립지리원 1:5,000)를 이용하여 고도자료를 추출하였으며, 표면거칠기는 토지이용현황도(국립지리원 1: 25,000)를 바탕으로 Heimann(1985)의 토지이용유형별 표면거칠기를 사용하였다. 또한 개발 후의 바람장 변화를 시뮬레이션하기 위해 신도시 개발을 위한 토지이용계획(안)(한국토지공사, 2003)을 바탕으로 입력자료를 작성하였으며, 주요 관찰지점은 개발전 이동관측을 실시한 지점을 기준으로 하였다. 풍향과 풍속자료는 연구대상지에서 고정관측망을 통해 2002년 8월부터 2003년 3월까지 관측된 평균풍향 및 풍속자료로서, 주풍향은 고정 관측망에서 관측된 풍향 및 풍속 분석결과를 바탕으로 서남서(SWS), 북서(NW), 남서(SW)를 주풍향으로 설정하였으며, 이외에도 이동관측 결과 도출된 주풍향은 추가로 고려하였다(표 1 참조)<sup>9)</sup>. 풍속은 고정관측과 이동관측 결과의 평균풍속을 고려하여 2m/s로 하였으며, 바람장 시뮬레이션의 연직고도는 지상에서 1m 간격으로 설정 가능하며, 본 연구에서는 아파트 10층(32m) 높

이를 예시로 설정하였다.

기타 수치모델링에 필요한 초기 변수설정은 혼합고는 300m 표준값으로 설정하였으며, 바람장을 계산할 때 적분 간격은 1초로 600분간(10시간) 적분하였다.

3) 지구단위계획(안)의 건축물 배치 샘플링 및 미세 규모 바람장 수치모델링

건축물 배치(안)에 대한 샘플링 및 미세규모 바람장 분석 평가는 판교동 운중로 부근의 지역을 선정하였다(그림 1 참조). 위 지역의 지형은 동서방향의 운중로에 수직으로 광고산 자락의 작은 골짜기가 운중로와 수직하게 발달되어 있다. 위 지역을 선정한 이유는 국지기상관측 및 바람장 모델링 결과 지역적인 풍향에 관계없이 서-동 방향의 산곡풍에 의한 전형적인 바람통로가 형성되는 지역이다.

대상지의 크기는 1km × 1km이며, 격자크기를 10m로 설정하였다. 바람장 수치모델링의 수행은 연구대상지의 주풍향인 서남서풍과 산곡풍이 불 경우를 가정한 남풍으로 정하였으며, 풍속은 2m/s와 0.5m/s로 각각 설정하였다.

건축물의 배치는 바람장 분석과 환기성능을 분석하기 위해 기존의 분당신도시 지역을 모방하여 가상적으로 배치하였다. 배치유형은 폐쇄형, 반폐쇄형 및 개방형의 공동주택 및 4층 규모의 학교와 공공시설, 4층 규모의 연립주택과 2층 규모의 단독주택도 배치하였다. 식생 중 수목의 높이 및 위치는 바람통로에 대한 경로

표 1. 수치모델링 입력자료: 풍향 및 풍속

구 분	주풍향	관측지점	풍속	고 도
주풍향 · 평균풍속	WSW (248)	F1, N	2.0 m/s (년평균)	지상 32m
	NW (315)	F2, N F5, N F6		
	NWW (293)	F3, F8, N		
	SW (225)	F4, N		
	NE(E) (68)	F5, N		
	NE (45)	F6		
	W (270), SE (135)	F7		

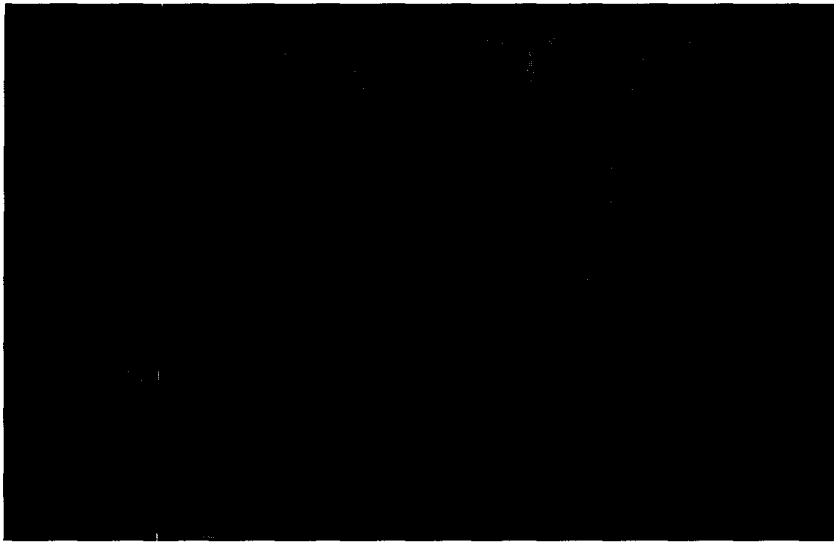


그림 1. 미세규모 바람장 모델링 대상지 및 주택배치안  
 범례 : 건물 또는 건물군

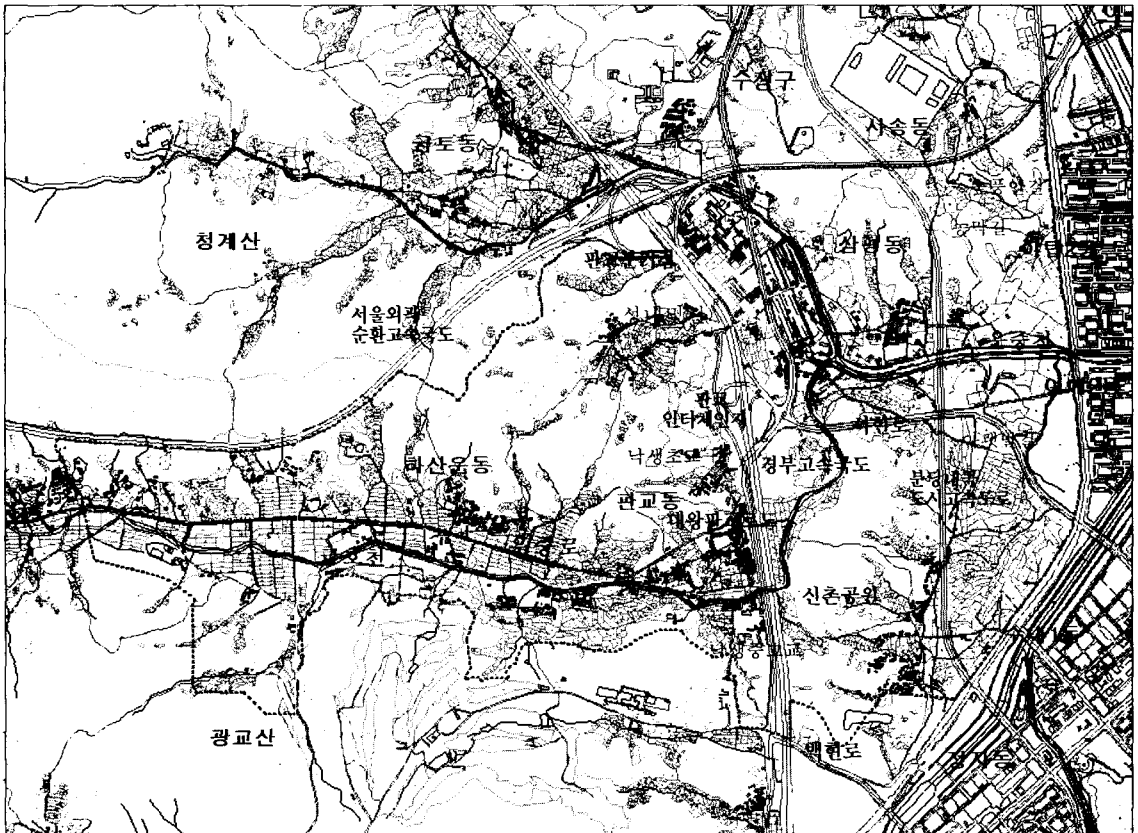


그림 2. 성남관교 신도시 개발지구 위치도(주요 도로명 및 동명)

변화 유발 또는 차단역할을 할 수 있으며(Sievers, 2002), 아직 대상지에 대한 구체적인 지구단위계획이 수립되어 있지 않은 관계로 제외하였다. 바람통로에 대한 수치모델링과 함께 대기오염물질의 확산에 대한 시뮬레이션도 가능하나 도로의 설계 및 일 차량통행량에 대한 자료의 설정이 불확실하여 시뮬레이션에서 제외하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 국지기상관측 및 바람통로 분석

국지기상관측 결과 판교신도시 개발 예정지의 주풍향은 서남서, 북서, 남서풍이 지배적이며, 풍속은 국지적으로 0.3 ~ 1.5m/s의 약한 바람이 부는 것으로 관측되었다(그림 3, 4 참조)(송영배, 2003a). 바람의 권역은 경부고속도로를 중심으로 서쪽에 위치한 판교동 일대는 청계산과 광교산이 골짜기를 형성하면서 산곡풍과 사면풍이 지배적인 서풍이 매우 발달해 있으며, 경부고속도로의 동쪽인 삼평동 일대는 분당 신도시 지역과 함께 지역풍인 북서풍의 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다.

#### 2. 바람통로(Fresh Cold Air Corridor) 측정 및 분석

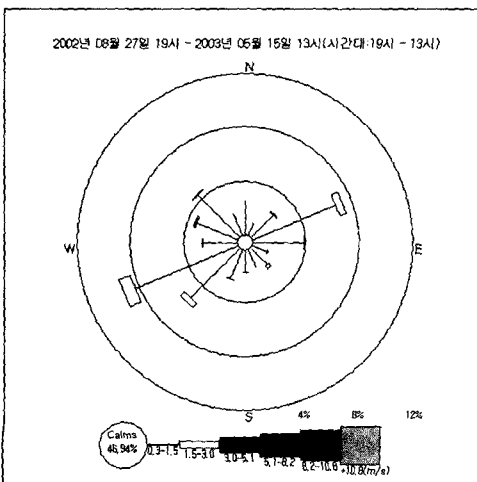


그림 3. 고정관측(N) 바람장미도

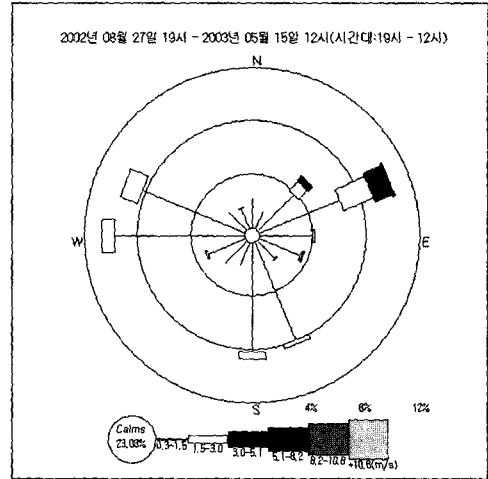


그림 4. 고정관측(H) 바람장미도

성남판교 신도시 개발지구에 대한 바람통로 예측모델링은 1차적으로 AWS를 이용한 지표면에서의 풍향·풍속 측정 및 분석결과를 바탕으로 지역적인 바람의 영향을 받지 않는 무풍상태 또는 역전층이 형성될 경우, 산곡풍, 사면풍 및 평야풍에 의한 냉기류(차고 신선한 공기)의 이동경로로서, AWS를 이용한 9개 지점의 이동기상관측을 통해 도출되었으며, 국지기상관측 결과에 따라 주변의 기후생태적 우선지역으로부터 발생하는 풍속 0.4m/s 이하의 냉기류 이동통로를 도출하여 도면에 제시하였다. 이는 AWS 이동관측지점을 중심으로 소규모 기후권(기후톱, climatope)으로 분류하고, 이들 각 기후권에서의 찬공기의 생성지역, 유입지역, 공기교환지역을 고려하여 미세규모에서의 바람통로이다(그림 5 참조). 도출된 바람통로는 지역적인 기상조건의 지배를 받지 않거나 평균풍속이 1.0m/s 내에서 열적 및 동적 대류에 의해 형성된 바람통로이다.

분석결과 지역적인 바람의 영향이 없는 상태에서의 차고 신선한 공기(냉기류)의 이동은 사면풍과 산곡풍의 전형적인 현상으로서, 이는 전적으로 지형의 경사에 너지에 의존하게 된다. 따라서 그림 5에서와 같이 9개의 일시적 기상관측지역에 대한 분석자료를 종합하여 차고 신선한 공기가 들어오는 방향과 그 지역을 중심으로 냉기류의 유입경로를 작성하였다. 이때, 지형이나 지물 등에 의한 냉기류 이동에 특별한 경로변화가 없다



그림 5. 주풍향 바람의 진행방향과 냉기류의 이동경로  
 범례: ■■■■➔ : 주풍향, - - - ➔ : 냉기류 유입경로 ★ : 관측지점

는 점을 가정하여 바람통로를 분석 및 제시하였다.

그림 5는 주풍향에 따른 바람의 진행(굵고 파란 화살표)과 각 이동관측지점을 중심으로 하는 냉기류의 유입 및 진행경로(가는 녹색 화살표)를 나타낸다. 이때, 주풍향은 지역적인 바람의 영향에 의한 진행방향을 나타내며, 냉기류의 유입은 지역적인 바람의 영향이 없는 상태에서 풍속 0.4m/s이하의 바람의 흐름을 나타낸다. 그림에서 보여지는 바와 같이 대부분의 지역에서 주풍향과 냉기류의 유입 및 진행경로가 대부분 일치함을 알 수 있다.

그림 6은 차고 신선한 공기의 이동경로로서 주요 바람통로가 된다. 냉기류의 이동형태는 지역적인 바람의 영향이 없는 경우, 마치 “뭍은 밀가루 반죽”처럼 이동한다 (Heimann, 1985). 따라서 그림과 같은 바람통로는 기후생태적 우선지역(주변 산지 및 녹지)(송영배, 2003b)에서 생성된 차고 신선한 공기가 산곡풍과 사면풍의 메카니즘에 의해 일정한 방향으로 이동한다. 이와 함께 매우 미약한 바람의 이동이 발생하는데 이는

열적 유도대류(thermal induced wind circulation)로서 과열된 도시지역과 이에 인접한 녹지, 평야, 공원, 수면과 수변 등에서 평야풍(plain wind)이 발생하기 때문이다.

사면풍과 산곡풍은 바람의 이동형태가 비교적 규칙적이며 측정 가능한 에너지가 발생하나 평야풍의 경우 그 에너지가 매우 미약하여 일반 기상관측장비로는 측정이 어렵다. 그림 6에서 굵은 선으로 표시된 경로는 산곡풍의 영향을 받는 주 바람통로(Main Fresh Cold Air Corridor)이며, 가는 선으로 표시된 경로는 사면풍과 평야풍의 영향으로 발생한 보조 바람통로(Sub Fresh Cold Air Corridor)이다.

### 3. 3차원 바람장 수치모델링 결과

연구대상지 전지역에 대한 바람장을 3차원 공간적으로 해석하기 위한 수치 모델링결과는 다음과 같다.

연구대상지에 대한 바람장 수치모델링 결과는 9개 지역에 대한 기상관측 자료의 분석을 통해 도출된 차고



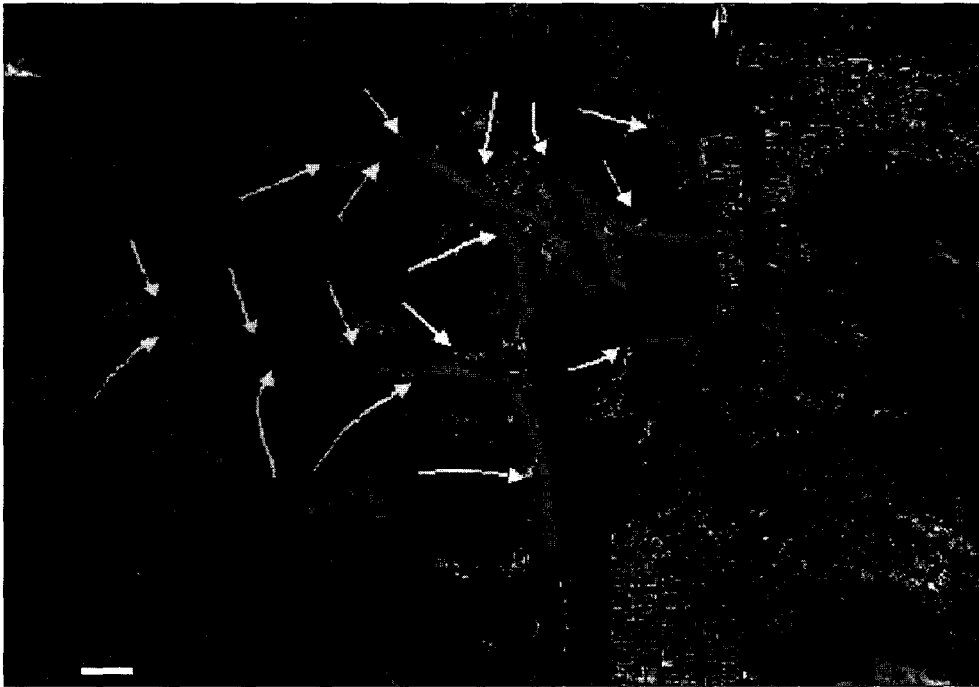


그림 6. 바람통로: 냉기류(차고 신선한 공기)의 이동  
 범례: : 주바람통로, : 보조바람통로, : 관측지점


신선한 공기의 이동경로 및 바람통로와는 달리, 표 1에서와 같이 성남판교지구의 주풍향인 서남서(248), 북서(315) 및 남서(225)풍 등 7개의 주풍향 바람이 평균풍속 2.0m/s로 불 때를 각각의 입력자료로 하여 바람장을 예측한 후, 각 결과를 종합하여 도출한 것이다. 따라서 바람장 수치모델링 결과는 산곡풍, 사면풍 및 평야풍과는 달리 성남 판교지역에 대한 지역적인 바람의 영향이 있을 경우를 가정한 것으로, 저풍속 지역이나 정체 또는 와류가 생기는 지역의 경우 개발로 인해 도시의 환기 또는 통풍능력이 감소할 우려가 있는 지역이다.

그림 7의 종합분석 결과에서 보이는 바와 같이 풍향 빈도가 상대적으로 높은 3가지 풍향 외에 4개의 부풍향을 고려하였을 때, 풍속이 약화되는 지역이다(low wind area). 연구대상지의 지배적인 풍향 하에서 전반적인 평균풍속은 1.5m/s 미만이며, 따라서 지역적인 바람의 영향을 받는 기상조건 하에서도 개발과 무관하게 다수 저풍속 지역이 발생할 수 있는 것으로 분석되었다. 위의 저풍속 지역의 경우 개발에 따른 도시통풍 및 환기

능력이 감소할 것으로 판단되어 향후 지구단위계획시 저풍속 지역에 대한 “기후생태적 우선지역”의 확보와 바람통로계획에 입각한 단지설계가 요구된다.

- 수치모델링 결과를 국지적으로 살펴보면 다음과 같다.
- 풍향빈도가 가장 높은 서남서풍의 바람이 불 경우, 판교동과 아랫별길 지역을 제외한 전 지역에서 바람이 약화되는 경향을 보임.
  - 북서풍일 경우 운중동과 삼평동 농막길에서 바람이 약화되거나 정체되는 현상이 나타남.
  - 남서풍이 불 경우 성남판교지구에 원활한 대류가 발생하는 것으로 분석됨.
  - 신도시 개발을 위한 토지이용계획도를 바탕으로 목표상태의 바람장 수치모델링 결과 32m의 고도에서는 일부 지역을 제외한 대부분의 지역에서 현상태와 큰 변화가 없는 것으로 분석됨.
  - 그러나, 북서풍이 불 경우 운중동 골짜기와 삼평동 농막길 부근에서 풍향·풍속의 변화, 바람의 정체와 와류가 발생하는 것으로 분석됨.



그림 7. 저풍속 지역 (주풍향: 서남서외 7개 풍향, 풍속: 2.0m/s)  
범례:  : 각 풍향에서의 풍속 2.0m/s의 진행방향

#### 4. 주택배치유형에 따른 미세규모 바람장 수치모델링 결과

##### 1) 지역풍에 의한 세부 바람장 변화

그림 8은 성남판교 신도시 개발지구 전 지역에 걸쳐 지역적인 기상조건의 영향을 받아 북서풍의 바람이 2.0m/s로 불 때를 가정한 지상 7.5m에서의 바람장 변화 시뮬레이션 결과이다. 분석결과에서 보여지는 바와 같이 아파트의 구조와 배치형태에 따라 바람장(풍향·풍속)이 다양하게 변화하는 현상을 볼 수 있다.

##### (1) “ㄷ”자형 반폐쇄형 구조와 배치

“ㄷ”자형 반폐쇄형의 경우 단지 내에서 초기 풍속의 약 1/5 (0.4m/s)까지 감소하는 것을 볼 수 있다. 풍향의 변화는 단지 내에서 수평 및 수직와류가 발생하며, 건물과 건물사이로 초기풍속의 1/2 수준의 제트기류가 발생할 것으로 예측되었으며, 또한 아파트 건물사이로 바람통로가 확보 될 경우 바람에너지가 다시 회복되는 것으로 분석되었다.

##### (2) “ㄱ”자형 구조와 배치

“ㄱ”자형 아파트 건물의 경우 “ㄷ”자형에 비해 건물의 길이는 동일하나, 건물과 건물 사이로 바람이 통과할 수 있는 공간이 확보되어 있어 바람이 원활하게 통과할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 건물의 남측면에서는 심한 와류 현상이 발생할 것으로 예측된다.

##### (3) “□”자형 폐쇄형 구조와 배치

“ㄱ”자형의 구조와 배치에 비해 “□”자형의 폐쇄형 아파트의 배치에서는 중정에서 초기 풍속의 1/5이하로 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 심지어 바람이 불지 않는 경우도 발생하는 것으로 예측되었다. 또한 바람의 정체와 심한 와류현상이 발생하며, 건물의 모서리 부분에서 제트기류가 발생하는 것으로 나타났다. “□”자형 아파트 구조와 배치의 경우 환기성능에 큰 장애를 일으킬 것으로 판단된다.

##### (4) “—”자형 구조와 배치

“□”자형 폐쇄형 구조와 배치에 반해 인접한 “—”

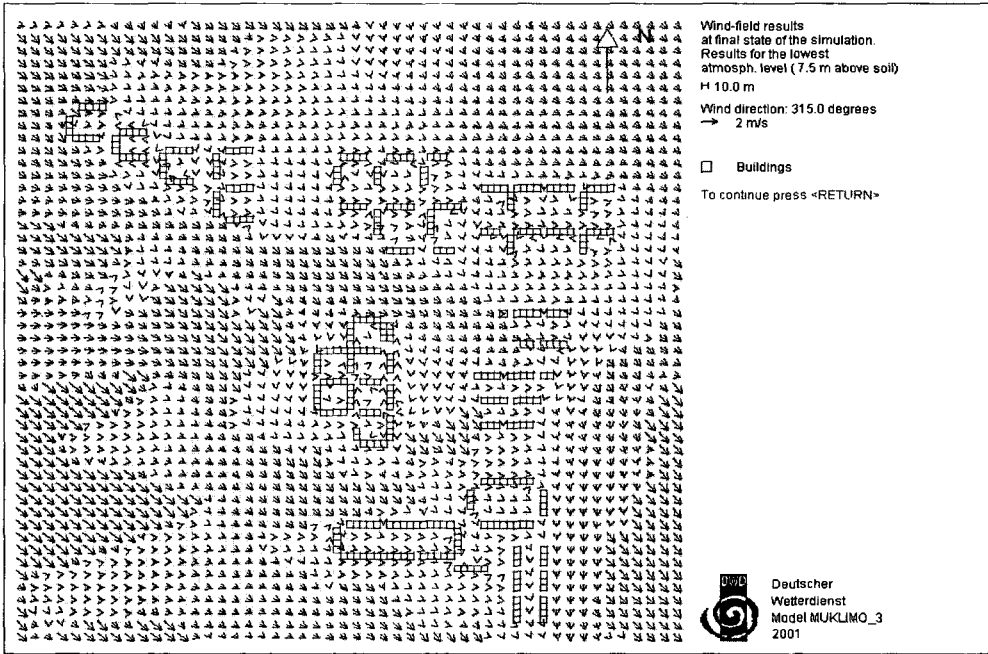


그림 8. 건물 배치유형별 바람장 수치모델링 (풍향: 북서, 풍속: 2.0m/s)

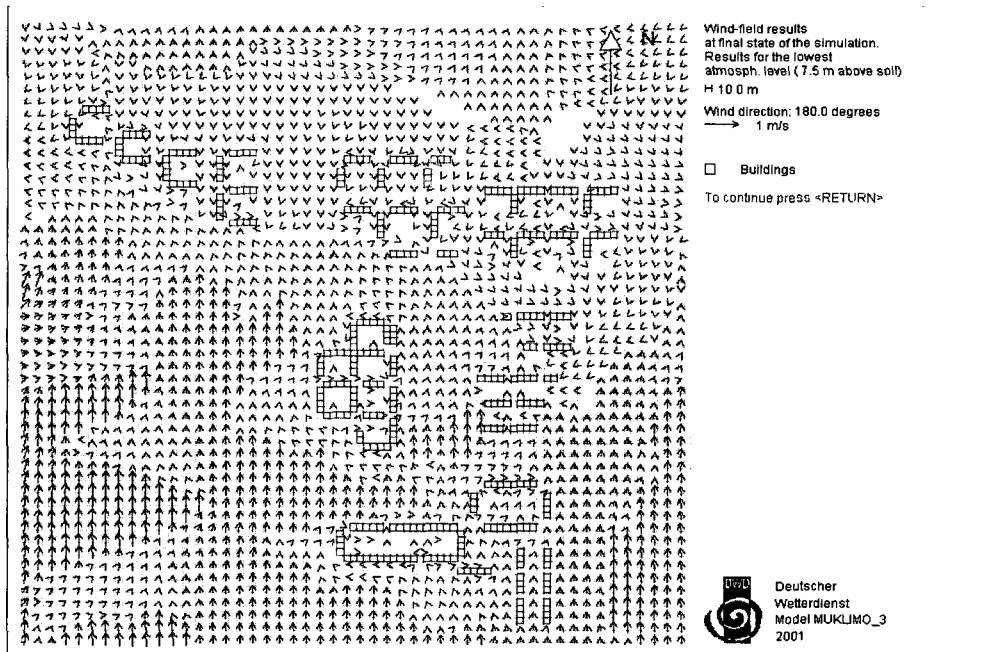


그림 9. 건물 배치유형별 바람장 수치모델링 (풍향: 남, 풍속: 0.5m/s)

자형 아파트 배치에서는 45도 사선방향에서 불어오는 바람에 대해 바람의 흐름을 방해하기는 하나 바람통로

를 형성시켜 줌으로서 풍속은 감소하나 원활하게 통과 하는 것으로 나타났다.

## 2) 산곡풍에 의한 세부 바람장 변화

그림 9는 성남판교 신도시 개발지구를 포함한 전지역의 대기층이 안정된 상태에서 바람이 불지 않을 경우, 산과 계곡, 또는 산의 사면 등의 국지규모에서 발생하는 열대류에 의해 발생하는 바람이 남쪽의 끝짜기에서 0.5m/s로 불 때를 가정한 바람장 변화 시뮬레이션 결과이다.

분석결과에서 보여지는 바와 같이 바람이 약하게 불 경우, 폐쇄형 및 반폐쇄형의 아파트 구조에서는 바람이 단지 내로 유입되거나 통과하지 못하는 것으로 나타났다. 또한 바람의 방향과 수직으로 배치된 “—”자형 배치의 경우 1열에서는 와류에 의한 통풍이 가능하나, 2열에서는 통풍이 되지 않는 것으로 분석되었다.

## N. 바람통로 설계방안 및 결론

연구대상지에 신도시 개발로 인해 야기될 저풍속 지역에서 발생가능한 풍속의 저하, 미기후의 변화, 그리고 이에 따른 바이오 기후와 대기오염의 악화, 도시기후부담의 증가를 개선하기 위한 바람통로 설계방안은 다음과 같다.

### 1. 환기성능 개선을 위한 바람통로 설계방안

#### 1) 차고 신선한 공기의 생성지역

신도시 개발지내 통풍과 공기순환 효과를 극대화하기 위해서는 먼저 차고 신선한 공기를 생성하는 지역과 인접해 있어야 하며, 주변 건축물의 배치를 제어하는 것이 가장 중요한 과제이다.

도시지역의 경우 바람통로는 건축지역과 건축지역 사이의 비 건축지역에 선형통로로 형성되는 경우가 대부분이다. 이와 함께 차고 신선한 공기는 맑은 밀가루 반죽처럼 이동하며(Heimann, 1985), 이동속도는 전적으로 지형의 경사에너지에 의존한다. 신도시의 개발시 토지이용 구상단계에서 기후생태적 우선지역(송영배, 2003b)을 설정한 후 바람통로를 분석 및 설계하는 것이 매우 중요하다<sup>10)</sup>. 따라서 중력에 의해 하부지역으로 서서히 이동하는 차고 신선한 공기의 생성지역 하단부의 건축물들은 이러한 유동을 저해하지 않는 형태로 배

치되어야 하며, 저밀도 개발이 필수적이다.

신선한 공기의 생성지역에 대한 바람통로 설계방안을 수립하면 다음과 같다.

- (1) 차고 신선한 공기의 생성지역으로서 연구대상지역에 위치한 하천, 저류지, 공원, 녹지 등의 “기후생태적 우선지역”으로 지정하여 이를 효과공간(도시지역)으로 이동시키기 위한 신선한 공기의 집중지역과 유입지역을 확보해야 한다.
- (2) 주변의 건축지역과 등고선상에 위치해 있거나 또는 보다 높은 지역에 “기후생태적 우선지역”이 위치해 있을 경우, 생성된 공기가 모여져 바람통로를 따라 원활히 유입될 수 있도록 유입지역을 공원, 녹지 등으로 확보하도록 한다.
- (3) 계획시 고려사항
  - 신선한 공기의 집중지역과 연결된 유입지역은 신선한 공기의 유입이 원활하도록 건축물 및 식생을 깔때기형 또는 이와 유사한 형태로 배치한다.

#### 2) 차고 신선한 공기의 이동경로(바람통로)

차고 신선한 공기의 이동경로는 신선한 공기의 생성지역으로부터 유입된 공기를 신선한 공기의 수혜부, 즉 효과를 나타낼 수 있는 건축지역까지 이송시키는 것을 목적으로 한다. 따라서 신선한 공기의 이동경로는 하부지역으로의 신선한 공기의 이송을 원활하게 할 수 있도록 조성되어야 하며, 지형지물에 의한 이동경로의 변경이나 차단 또는 정체를 일으키지 않도록 해야 한다.

차고 신선한 공기의 이동경로(바람통로)에 대한 방안을 수립하면 다음과 같다.

#### (1) 지형의 경사에 의한 공기의 이동

- 하천, 산책로, 공원, 완충녹지, 저류지 등이 건축지역과 인접해 있으며, 신선한 공기의 생성지역이 건축지역보다 상대적으로 높은 지형에 위치할 경우 앞서 언급한 지형요소들을 바람통로로 이용할 수 있도록 계획한다. 이때 바람통로와 주변지역에 대기오염원이 위치하지 않도록 설계한다.

#### (2) 열대류(평야풍)에 의한 공기의 이동

- 소규모의 국지적인 공기의 흐름으로서 건축지역 내에 존재하는 공원, 녹화된 오픈 스페이스, 나대지, 수변 등 두 지역 간의 대기온도 차에 의해 발

생하는 평야풍은 지형의 고도차가 없는 평지일 경우 건축지역 전 범위로 신선한 공기를 이동시킨다. 이러한 바람은 대류에너지가 매우 미약하기 때문에 이동하는 경로(바람통로)에 도로, 마운딩, 생물 타리, 담장, 여러 호의 아파트 건물 등이 위치할 경우 차단되거나 정체된다.

### (3) 계획시 고려사항

- 적정규모의 공원이나 저밀의 단독주택지를 지형의 차가 있는 산지의 하부에 조성하고 바람통로를 설계할 경우, 녹지에서 생성된 차고 신선한 공기를 사면풍과 평야풍 효과를 통해 효과적으로 도심 중심부 지역으로 유입시킬 수 있다.
- 바람통로 및 인접한 지역에는 쓰레기소각장 등 대기오염물질을 방출하는 오염시설의 입지를 규제할 필요가 있다.

### 3) 차고 신선한 공기의 수해지역 (효과공간)

주변 녹지로부터 유입된 신선한 공기를 수해지역에서 효과적으로 확산시키는 것은 매우 중요하다. 많은 양의 신선한 공기가 수해지역으로 유입된다 하더라도 지역에서 가장 높은 기후부담을 안고 있는 건축지역의 고층 및 고밀화된 계획으로 인해 확산이 어렵다고 한다면 그 기능은 크게 저하될 수밖에 없다. 따라서 신선한 공기를 건축지역에 효과적으로 확산시킬 수 있는 바람통로 설계와 지역의 환기성능을 개선시키기 위한 건축물의 배치 방법에 대한 고려가 필요하다.

이에 대한 수해지역의 바람통로 설계 방안은 다음과 같다.

- (1) 하천이나 골짜기, 오픈스페이스 등의 주 바람통로를 통해 도시외곽으로부터 도심의 건축지역으로 차고 신선한 공기를 유입시킨다. 유입된 신선한 공기를 도심의 건축지역 전 범위에 확산시키기 위해 근린공원 등을 통한 부 바람통로 등을 이용한다.
- 즉, 신선한 공기의 주 바람통로의 중간 또는 말단부에 수해지역과 접할 수 있도록 적정규모의 공원 또는 저밀의 단독주택지를 설치함으로써, 공원과 수해지역 간 열대류를 촉발시켜 평야풍 효과를 발생시키고, 이를 통해 공원으로 유입된 차고 신선한

공기를 수해지역으로 확산시키는 방법이다.

- (2) 건축지역으로 확산된 신선한 공기를 이용하여 지역의 환기성능을 최대한 가동시킬 수 있는 건축물의 배치는 건축물, 혹은 단지의 일부분을 신선한 공기의 유통방향으로 개방함으로써 달성될 수 있다. 건축물과 건축물을 둘러싼 외부 공간의 공기순환비율은 건축물간의 개방각, 개방넓이, 건축물의 배치유형에 따라 크게 변화될 수 있으므로 건축물의 배치에 대한 고려가 필요하며 기본적으로 낮은 용적율을 유지할 필요가 있다.

### (3) 계획시 고려사항

- 경사에 의한 신선한 공기의 이동을 저해하지 않도록 지형의 경사에 순응하는 건축물 배치형태를 취한다.
- 신선한 공기의 생성지역 및 바람통로 방향으로 건물의 장변이 향하지 않도록 배치한다.
- 소용돌이에 의한 신선한 공기의 흐름방해와 정체 및 와류현상을 방지하기 위하여 “井”, “C”자 형의 폐쇄형 배치를 지양한다.
- 도시지역의 오픈 스페이스는 규모가 비교적 작기 때문에 열대류를 촉발시키기 어렵다. 따라서 저층형의 고밀도 건축보다는 보다 넓은 오픈스페이스 확보가 가능한 지구단위계획을 수립한다.

### 4) 대기오염원의 입지지역과 차단

신선한 공기의 생성지역과 집중지역, 유입지역 및 바람통로와 인접하여 대기오염원이 입지할 경우, 이곳에서 발생한 대기오염물질을 식재 또는 차단벽 등을 통해 원천적으로 차단하거나 가능한 높은 지점에서 오염물질이 방출되도록 한다.

### 5) 바람통로와 환기성능을 고려한 지구단위계획의 수립

그림 8 및 9와 같이 가상적으로 배치한 아파트의 바람장 분석평가를 통해 고찰한 결과에 의하면, 지구단위계획 수립시 건축물은 1차적으로 바람장 분석결과를 통해 해당 지구가 저풍속 지역에 속하는지의 여부를 확인할 필요가 있으며, 이를 고려하여 지역의 건축물들은

그 자체적으로도 원활한 환기성능을 만족할 수 있도록 설계 및 배치되어야 한다. 이런 측면에서 건축군(단지)의 배치, 즉 주풍향에 대한 건축물의 배치각도, 높이, 넓이, 건물간의 이격거리 등에 따른 외부공간내 공기의 흐름의 파악이 필요하다. 건축물의 배치각도, 높이, 넓이, 건축물간의 이격거리 등에 따른 공기순환비율은 바람의 속도, 지역의 대기오염정도 등에 따라 차이가 있을 수 있다.

건축물의 넓이에 따른 공기순환비율의 경우는 인접한 건축물과의 이격거리, 주풍향의 속도 등의 변수에 따라 그 결과가 상이하게 나타난다. 따라서 현재의 도시이용계획단계에서 유형화시켜 제시하기가 매우 어렵다. 따라서 저풍속 지역에 계획된 주거지는 앞으로 변화될 기류의 흐름정도를 파악하고 저감하기 위한 방안과 바람통로의 보강이 요구된다.

## 2. 연구의 한계 및 향후 전망

조사대상지에 위치한 건축물의 경우 수치모델링의 격자 크기가 80m × 80m로 개발전의 토지피복 현황을 재구성하기에는 현재 연구대상지에 위치해 있는 단독주택이나 연립주택이 격자의 크기보다 작아 정확하게 표현하기가 어렵다. 또한 개발 후의 토지피복 상태를 고려하기 위해 도시이용계획안을 검토하였으나, 위 계획안에는 단지의 구획선과 개략적인 건물 층고만이 제시되어 있기 때문에 개별적인 건축물을 고려한 바람장 수치모델링이 불가능하다.

따라서 연구대상지 전지역에 대한 바람장 수치 모델링에서는 조사대상지에 대한 지형과 표면거칠기만을 고려함으로써 실제 개발시 야기되는 구체적인 국지적 풍향과 풍속의 변화를 예측하기에는 어렵다고 판단된다. 그러나 조사 대상지를 포함하는 전지역에 대해 개발 전과 후의 바람장 분석을 통해 이동관측 결과와 비교분석을 수행함으로써 주풍향에 의한 바람통로의 파악이 가능하다고 판단되며, 수치모델링을 통해 조사 대상지에서 풍속이 약화되거나 정체되는 지역 및 풍향의 변화가 크게 발생하는 지역에 대한 파악과 향후 지구단위 계획시 미기후 환경을 고려하도록 하기 위한 기초자료 제공이 가능하다고 판단된다.

또한 현재의 토지피복 상태와 주풍향에서의 바람통로를 연계하여 분석함으로써 기후생태적 우선지역의 설정이 가능하며, 이로 인해 도시기후적으로 좋은 효과를 볼 수 있는 지역과 이와는 반대로 대기오염물질이 주풍향을 따라 이동함으로써 위대한 영향을 받는 지역에 대한 분석이 가능하다. 분석된 결과를 바탕으로 지구단위계획의 수립시 건축물의 향, 배치형태, 층고에 따른 국지적인 바람의 영향을 고려할 수 있을 것으로 판단된다. 중·장기적으로 개발에 따른 바람통로를 체계적으로 확보하기 위해서는 도시 미기후에 대한 도시기후감시예측 네트워크 및 정보시스템을 구축하여 사전환경성 검토시 바람환경에 대한 객관적인 사전평가가 이루어져야 할 것이다.

바람장 수치모델링 결과에 대한 검증은 반드시 필요하다고 판단되며, 이를 위해서는 적절한 수의 AWS를 이용한 기상관측망의 구성이 필수적이다. 그러나 본 연구에서 설치한 상시기상관측장비는 2곳으로서 바람장 수치모델링 결과를 검증하기에는 매우 부족하며, 따라서 선행연구(부경은 등, 2000; Baumuller, 1997) 등을 통해 얻은 연구결과에 대한 예측 신뢰성을 전제로 연구를 수행하였다. 또한 바람장 수치모델링 프로그램의 활용과 관련하여 입력자료 및 기타 입력변수가 수치모델링 결과에 미치는 변수별 중요도 및 민감성과 모델링 정확도나 오류의 범위에 대해서는 Sievers and Zdunkowski(1986) 및 Sievers(1995)에서 제시된 바 있으며, 추후 연구에서는 바람장 수치모델링 결과에 대한 검증연구가 필요하다고 판단된다.

향후 연구에서는 바람장과 바람통로 수치모델링 프로그램의 주요 변수에 대한 민감도, 정확도 및 오차에 관한 사항 등이 실측을 통해 보다 구체적으로 제시되어야 할 것으로 판단되며, 이를 바탕으로 한 수치모델링 프로그램의 개량과 다양한 적용사례에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주 1. 서울시 도시계획 환경성 검토 업무지침상 바람환경의 환경성 평가내용은 다음과 같다:

- ① 도시계획시행에 의해 계절별 주풍향 및 산이나 하천에서 불어오는 바람의 방향, 강도가 변동되는지 여부에 대한 검토가 이루어져야 한다.
- ② 바람에 영향을 주는 가장 큰 요인은 용적율의 변화, 건축물의 입지 방향, 도로의 방향, 녹지의 조성 등이므로 이들에 대한 변화내용을 간접지표로

활용하여 영향 여부를 간접 예측하여 검토하여야 한다. ③ 하천 및 산림, 대규모공원과 같은 오픈스페이스에 인접한 지역과 시가지내 대형건축물에 의한 바람의 영향(돌풍, 협곡풍 등)이 예상되는 지역은 반드시 바람환경의 사전검토가 수행되어야 한다.

- 주 2. 바람통로에 관한 연구는 해륙풍이나 산곡풍에 의한 지역적인 규모에서의 바람의 생성과 흐름에 대해 많이 다루어져 왔으며, 이에 대한 대표적인 사례는 독일 슈트트카르트시의 바람통로 계획이다(Baumuller, 1997). 편서풍이 주풍향을 이루며, 낮은 산지가 많은 우리나라의 도시는 해륙풍이나 산곡풍이 우세한 지역과는 달리 국지적인 주풍향이 뚜렷히 나타나지 않으며, 상대적으로 지역적인 기상현상(바람)을 크게 반영하는 기후특성을 갖고 있다(송영배, 2003b). 따라서 우리나라의 지형, 도시구조 및 도시기후적 특성을 고려한 바람통로는 Baumuller(1997)와는 다르게 규정될 수 있다.
- 주 3. Burkert(1992)은 도시구조 유형간의 공기교환 메카니즘을 설명하기 위해 열적인 공기교환과정을 구조적 바람순환(structural wind circulation)이라고 하였다.
- 주 4. 기후생태적 우선지역이란 대기오염원이 위치해 있지 않으며, 대기 자정공간으로써의 기후생태적 기능이 보호되고, 또한 증진을 목적으로 제반 토지이용의 제한 또는 금지와 특정 목적으로의 이용권고가 이루어지는 기후생태적 자정공간을 말한다 (Baumueller, 1997; 송영배, 2003b).
- 주 5. 미기후 인자들이 유발시키는 구조적 바람의 순환은 지역적인 기상현상에 크게 영향을 받아 본래의 특성이 변형되며, 이때 위의 미기후 기능을 이용한 지역차원의 환기성능 개선론을 논의하는 것은 큰 의미가 없다.
- 주 6. 관측망의 구성 및 관측지점의 선정과 세부 관측기간 및 결과는 송영배(2003b)의 자료를 이용하였다.
- 주 7. 현재 국지기상의 관측은 기상청에서 운용하고 있는 주요 기상대와 함께 무인으로 작동되는 자동기상관측시스템(AWS)이 있으며, 농업진흥청에서 운용 중인 농업기상관측망이 시·군 단위의 농업기술센터에 설치되어 있다. 또한 환경부에서 운용 중인 대기오염 측정망에도 역시 대기오염측정과 함께 기상관측을 수행하고 있다.
- 주 8. 이 모델에서는 비발산(non-divergent), 비압축(incompressible)인 중립 대기(neutral atmosphere)를 가정하며, 지상의 온도는 모든 지역에서 동일하게 가정하며 연직 기온감율은 건조 기온감률을 사용한다. 그리고 모델의 연직좌표계는 고도별로 20층까지 설정할 수 있으며, 모델격자의 크기는 최대 150 × 150까지 설정할 수 있다. (Sievers, 2002).
- 주 9. 위 기간 중에 조사 대상지의 중심부에 위치한 고정 기상관측망 N(낙생초교)에서 관측한 평균풍속은 0.49m/s로서 매우 약한 바람이 부는 것으로 나타났으며, 이에 비해 도시지역에 위치한 관측망 H(한솔초교)의 경우 0.80m/s로서 상대적으로 강하게 부는 것으로 분석되었다. 평균 최대풍속의 경우 관측망 N과 H에서 각각 2.35m/s와 3.04m/s로써 도시지역에서 역시 강하게 부는 것으로 분석되었다 (송영배, 2003b).
- 주 10. 위 지역에 대한 신도시 개발시 토지이용 구상단계에서 기

후생태적 우선지역에 대한 분석은 송영배(2003b)에서 찬공기의 생성, 이동, 수해지역을 설정 및 제시하였다.

### 인용문헌

1. 김광식(1992) 기상학 사전. 서울: 향문사.
2. 김운수, 김학열, 엄정희, 조명희, 오성남(2001) 기후특성을 고려한 도시계획체도의 도입과 적용가능성에 관한 연구. 서울도시연구 2(1):1-21.
3. 부경은, 전영신, 오성남(2000) 여의도 지역의 바람장 수치실험. 한국기상학회지 36(2):317-326.
4. 서울시(2000) 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구. 서울특별시.
5. 서울시정개발연구원(2001) 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구(II), 서울시정개발연구원.
6. 송영배(2001) 도시기후지도의 작성, - 상계 4동을 중심으로 -. 한국조경학회지 9(6):27-36.
7. 송영배, 고성석, 안건철(2001) 도시기후지도를 이용한 도시설계기법에 관한 연구. 한국도시설계학회지(가을호), pp. 131-142.
8. 송영배(2003a) 신도시 대기오염 자연정화를 위한 Fresh Cold Air Corridor 설계기술 개발. 환경부차세대 핵심환경기술개발사업(Eco-Technopia 21) 보고서.
9. 송영배(2003b) 바람통로 계획을 위한 기후생태적 우선지역 분석 및 설정방법, 성남판교지구를 중심으로. 한국조경학회지 31(3):58-73.
10. 한국토지공사(2003) 성남판교 신도시 개발지구 토지이용계획(안).
11. Barlag, A.-B.(1993) Planungsrelevante Klimaanalyse einer Industriestadt in Tallage, Essen.
12. Baumuller, J.(1997) Stadtklima Stuttgart, Stuttgart.
13. Heimann(1985) Ein Dreischichten-Modell zur Berechnung mesoskaliger Wind- und Immissionsfelder ueber komplexen Gelaende. Dissertation an der Fakultat fuer Physik, Universitaet Muenchen.
14. Landeshauptstadt Stuttgart(2000) Urban climate 21. Stuttgart, Germany.
15. Oke, T. R.(1987) Boundary layer climates, 2nd Ed., Cambridge.
16. Sievers, U. and W. G. Zdunkowski(1986) A microscale urban climate model. Beitr. Phys. Atmosph., Vol. 69, No. 1, 13-40.
17. Sievers, U.(1995) Description of the MUCLIMO. Frankfurt.
18. Sievers, U.(2002) Verallgemeinerung der Stromfunktionsmethode. Meteorol. Zeitschrift, N. F. 4, 3-15.
19. Stuepnagel, V. A.(1987) Klimatische Veraenderungen in Ballungsgebieten unter besonderer Beruecksichtigung der Ausgleichswirkungen von Gruenflaechen, dargestellt am Beispiel von Berlin(West), Diessertation, erstellt an der TU Berlin, Berlin 1987.

원 고 접 수 : 2003년 8월 31일  
 최종수정본 접수 : 2003년 11월 12일  
 3인익명 심사필