

KLAM_21을 활용한 바람생성기능 평가분석 연구 -대구시를 대상으로-

류지원^{1*} · 정응호² · 김대욱³ · 차재규² · 손경수²

A Study on Evaluation Analysis of Wind Formation Function using KLAM_21 -The Case of Daegu City-

Ji-Won Ryu¹ · Eung-Ho Jung² · Dae-Wuk Kim³
Jae-Gyu CHA² · Kyung-Su SON²

요 약

본 연구는 KLAM_21을 활용한 바람형성기능 평가분석에 관한 연구로서 대구시를 사례대상지로 실제 도시공간상에서 지형조건과 토지이용에 따라 어떻게 바람이 유동하고 있는지를 살펴보았다. 먼저, 신천상류 가창골 일대의 계곡과 주변산지 경사면에서 형성된 찬공기는 신천상류를 따라 북쪽으로 유동되어 확장되고 있었으며, 시간이 경과함에 따라 찬공기의 양과 높이 그리고 유속 및 방향 등에 있어서도 점점 증가하는 추세를 보이고 있었다. 이는 이 지역의 공간적 특성이 찬공기가 생성되고 유동하는데 있어서 매우 양호한 조건을 가지고 있음을 알 수 있다. 한편, 앞산공원지역에서는 앞산공원일대를 가로지르는 고가도로와 바람의 유동을 방해하는 대규모의 아파트단지 밀집, 그리고 공원내의 건축물 등의 도시개발의 행위로 인하여 찬공기의 생성 및 유동이 크게 방해 받고 있는 것으로 나타났으며, 찬공기의 양과 높이에 있어서도 미약하게 나타나고 있다.

결국, 바람길의 공간적 효과를 극대화시키기 위해서는 바람길생성의 기본 형태인 찬공기 형성 및 유동, 그리고 찬공기 축적 및 유지지역이 공간적으로 연계되어야 하며, 이러한 공간적 연계는 지역의 공간적 특성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

주요어 : 바람길, 찬공기, 바람생성기능, KLAM_21

ABSTRACT

This study, the one concerning the evaluation analysis of the function of the wind generation using KLAM_21, has examined closely how the wind really flows on the space of

2008년 4월 16일 접수 Received on April 16, 2008 / 2008년 6월 20일 수정 Revised on June 20, 2008 / 2008년 6월 25일 심사완료
Accepted on June 25, 2008

1 대구지역환경기술개발센터 Daegu Environment Technology Development Center

2 계명대학교 환경대학 환경계획학과 Dept. of Environmental Planning, Keimyung University

3 계명대학교 산업기술연구소 Institute of industrial technology, Keimyung University

* 연락저자 E-mail : jiwon97@kmu.ac.kr

the city, working with the object of case location.

In the first place, the cold air formed at upper stream of Sincheon river, a ravine of whole area of Gachang gully and an inclined plane of neighboring mountainous district, flows to the north and expands itself along the upper stream of the Sincheon river, and as the time passes, it is tending upwards in the change of the volume and height as well as of the velocity and direction, of the cold air. It was learned that this phenomenon has made it clear that the spatial features of this area give rise to very good condition in generating and flowing the cold air.

Meanwhile, it has been shown that in the area of park in the Ap-mountain, the generation and flow of the cold air are much interrupted because of the overpass traversing the whole area of the park of Ap-mountain, the congested area of large-scaled apartments and the urban development activities constructing the building in the park, and the volume and height of the cold air has been grown very small.

In conclusion, It has been learned that for maximization of the spatial effect of the wind corridor, the areas where the cold air is generated, flowed, accumulated, and maintained, have to be connected spatially, and this spatial connection has a close relation with spatial features of the area.

KEYWORDS : Wind Corridor, Cold Air, Wind Formation Function, KLAM₂₁

서 론

도심을 중심으로 한 시가화지역에서의 녹지 감소와 고층·고밀개발에 따른 열악한 대기순환으로 인한 대기오염이 가중되면서 시민들이 인식하는 대기환경은 점점 악화되고 있으며, 이러한 대기환경 개선을 위한 노력이 여러 분야에서 진행되고 있다. 이러한 가운데 독일에서는 오래 전부터 도시공간상에서 도시의 지형조건과 토지이용에 의해 자연적으로 생성되는 바람길을 활용하여 대기환경개선을 위한 연구가 꾸준히 수행되어 그 효과가 검증되고 있으며, 일본에서도 최근 이에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 국내에서도 도시공간에서의 바람길을 활용한 도시환경개선을 위한 연구가 최근 수행되고 있으나 아직 기초단계에 머물고 있는 실정이다. 국내에서는 2001년부터 대구지역환경기술개발센터에서 관련 기초연구를 수행한 사례를 보여주고 있고, 서울시에서도 2차년에 걸쳐(2000, 2001) 유사한 연구를 수행한 바 있으나, 대체로 개념 및 기법소개

위주가 주된 내용으로 평가된다. 그러나 최근 2005년부터 대구지역환경기술개발센터에서 수행한 연구에서는 비교적 체계적이고 공간적 개념에 기초한 종합적인 바람길도입방안에 대하여 연구가 수행되고 있는 것으로 평가된다. 최근 수행된 연구의 내용을 살펴보면 먼저, 바람길 구축을 통해 도시열섬현상완화와 바람길의 중요한 통로가 되는 생태축에 대해 연구를 진행하여 향후 진행되는 바람길 연구에 기초적인 자료를 제공하였으며(김수봉, 2005), 이의 연구결과들을 바탕으로 지역의 공간적 특성에 따른 바람길 형성조건과 기능성을 평가하고 이를 도시계획적 수단으로 활용하기 위한 실제적 방안을 모색하였다. 특히 여기에서는 바람길을 생성하는 지역의 공간적 특성(지형, 식생, 토지이용 등)을 기반으로 바람생성요소를 제시하였고 이를 활용한 바람길 평가방법을 다루었다(정응호, 2006).

도시공간은 그 특유의 자연생태적 특성과 요인에 따라 다양한 유형의 기후개선기능을

만들어 내고 도시의 기후관련 환경문제 개선에 영향을 끼치고 있다. 이에 바람길을 활용한 연구의 경우는 도시주변의 산지, 계곡, 녹지대 등에서 자연발생적으로 발생하는 차고 신선한 공기를 도시 내로 유입될 수 있는 길을 만들어 대기 및 기후 환경개선을 도모하는 것으로 도시공간의 기후생태적 기능에 대한 개념이해에 바탕을 두고 있다. 이러한 개념을 바탕으로 본 연구에서는 전술한 선행연구에서 제시한 바람생성요소별 종합분석결과를 기반으로 도시미기후분석 프로그램인 KLAM_21을 활용하여 지역별 바람생성기능이 지역의 세부적인 공간지형적 요소에 의해서 어떻게 영향을 받고 있으며, 실제 도시공간상에서 이들 요소에 의해서 구체적으로 어떻게 구현되고 있는가에 대해 분석하고자한다.

KLAM_21의 개요 및 특성

1. KLAM의 개요 및 특성

KLAM_21(Kaltluftabflussmodell_21)은 독일 기상청에서 개발된 찬바람유동시뮬레이션 프로그램으로서, 지형과 토지이용을 근거로 하여 찬바람의 흐름과 생성을 분석·예측할 수 있는 프로그램이다. KLAM_21의 개발목적은 도시개발이나 지역개발에 따른 미기후의 변화에 대한 사전평가나 자문을 위한 근거자료로 활용하기 위해 개발되었다(Uwe Sievers, 2005).

KLAM_21의 특징을 살펴보면 지형데이터와 토지이용 및 피복데이터를 기본적으로 요구하

며, 이러한 데이터는 해당지역을 일정규모의 그리드로 나누어 각각의 관련 데이터가 격자단위로 저장된다. 이를 바탕으로 찬바람의 높이, 풍향과 풍속 그리고 오염원 확산에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 최대 1,500×1,500개의 그리드 생성이 가능하며, 이론적으로 1개의 그리드는 최대길이 25m까지 처리할 수 있다. 이를 기준으로 하였을 때 모의실험이 가능한 도시규모는 37.5×37.5km²으로 광역적 차원의 도시개발이나 지역개발에 따른 미기후의 변화를 살펴보는 데 있어 매우 유용한 프로그램이다. 또한, 찬바람의 흐름과 생성 그리고 오염원 확산에 대한 시뮬레이션 이외에도 KLAM_21에서는 블록형태의 장애물에 따른 바람흐름의 변화정도를 분석할 수 있으며, Nesting 기능이 있어 특정 지역의 찬바람 흐름을 바로 확대해 볼 수 있는 편리성을 갖추고 있다.

KLAM_21의 기본 구성데이터는 시뮬레이션 운영을 위한 스크립트 파일, 지형데이터 파일 그리고 토지이용 및 피복관련 데이터를 담고 있는 파일로 구성되어 있으며, KLAM_21을 활용한 시뮬레이션 결과의 유형은 표 1과 같다.

2. 분석방법 및 과정

KLAM_21을 이용한 찬바람형성 모의실험을 하기 위해 우선적으로 대상지역을 일정 간격으로 그리드화하는 작업이 선행되어야만 한다. 이를 기준으로 하여 앞서 언급한 바와 같이 기본적인 데이터가 반드시 입력되어야만 효율적인 모의실험이 가능하기 때문이다. 따라서

TABLE 1. KLAM_21을 활용한 시뮬레이션 결과의 유형

유형	결과
찬바람의 높이	시간대별 찬바람의 형성과정과 높이에 대한 결과 이론적 찬바람 형성높이와 비교한 상대적 찬바람 형성높이 비교에 대한 결과 찬바람의 흐름(바람장)과 찬바람의 높이에 대한 결과
찬바람의 풍속과 풍량	시간대별 찬바람의 풍속과 풍량에 대한 결과 특정 지역의 풍속에 대한 결과
오염원의 확산	시간대별 특정 오염원의 확산정도와 흐름에 대한 결과

본 연구에 있어서는 대상지를 10m×10m Grid를 기준으로 하여 가로 500 Grid, 세로 500 Grid로 세분화 하였다. 데이터의 입력에 있어서는 기본적으로 그리드별 지형데이터를 입력함과 동시에 그리드별 토지피복데이터를 입력하였다. 토지피복분류에 있어서 KLAM_21에서는 기본적으로 9가지 분류기준으로 나누어져 있으며 각각의 토지피복에 따라 건폐율, 표면거칠기, 벽면유형, 나무높이 그리고 상대적 일사량과 같은 고유한 속성값을 지니고 있어, 이를 근거로 하여 찬바람 형성여부가 결정되어지도록 되어 있다.

이상의 그리드화 과정과 데이터 입력과정을 끝낸 후 본 연구에서는 최종적으로 원활한 모의실험을 위한 스크립트를 작성하였으며, 여기에 따라 모의실험 결과의 유형, 분석 및 결과의 저장간격 등을 지정하였다. 이러한 전 과정을 거친 후 마지막으로 KLAM_21의 운용을 통해 찬바람형성 모의실험 결과를 도출하였으며, 이를 근거로 대상지의 찬공기 높이와 유동범위 그리고 찬공기 유속 및 방향을 분석하였다(그림 1 참조).

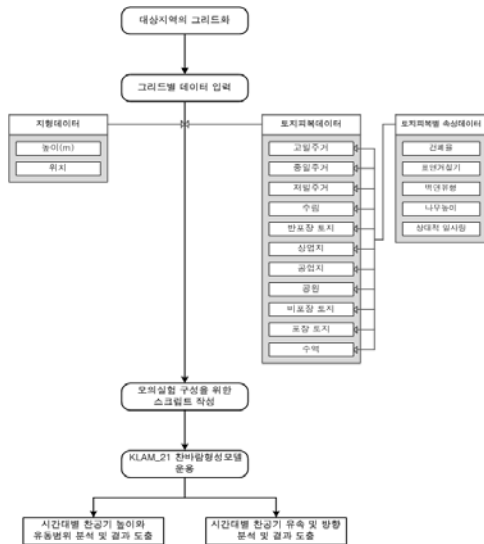


FIGURE 1. KLAM_21의 분석방법 및 과정

바람생성기능 평가분석

1. 대상지 선정 및 실험방법

선행연구의 바람생성요인별 종합분석결과를 보면(그림 2 참조) 1등급으로 평가된 지역이 55.8%를 차지하고 있고, 2등급지역은 19.0%, 3등급지역은 4.4%, 4등급지역은 5.9%이며, 5등급지역은 14.8%를 차지하고 있다. 바람생성기능이 큰 1,2등급이 전체의 74.8%를 차지하고 있어 대구지역에서의 전체 바람생성기능은 크다고 평가할 수 있다.

한편, 등급별 지역분포에 있어서는 매우 편중된 결과를 보이고 있는데 바람생성기능이 큰 1,2등급지역은 외곽지에 분포하고 있으나, 시가지를 중심으로 도시개발이 진행되고 확산된 지역은 4,5등급으로 나타나 바람생성기능이 매우 낮게 나타나고 있다. 또한 대구지역의 바람생성기능의 면적비율에 있어서는 상당히 높은 것으로 평가할 수 있으나 공간분포측면에서는 매우 불균형하고 비효율적인 구조로 이루어져 있는 것으로 평가된다.

이러한 선행연구의 결과를 바탕으로 바람생성기능이 우세하게 나타난 지역은 대부분 시외곽지역으로 이 가운데 국지적인 지형조건과 주변지역의 토지이용상황 등을 감안하여 바람형성기능의 실제 공간적인 영향관계(바람생성

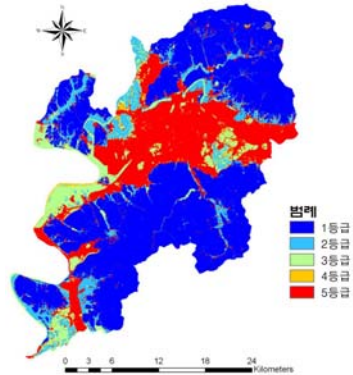


FIGURE 2. 바람생성기능시스템의 결과

과 유동경로 및 주변 건축물에 의한 유동장애)를 가장 잘 파악할 수 있는 신천상류 가창골 일대와 앞산지역을 대상으로 모의실험을 실행하였다.

한편, 바람생성기능 평가분석은 바람이 형성되는 찬공기의 높이와 유동범위, 그리고 찬공기유속 및 방향에 대한 시간대별 실험을 수행하였다. 두 실험 모두 유의미한 변화를 보이고 있는 시간대인 60분, 180분, 360분, 600분 등의 4단계로 구분하여 결과를 평가하였다. 실험시간을 600분으로 실험한 이유는 바람길의 핵심적 특성인 찬공기의 생성은 주로 일몰 후에서 시작하여 일출 전까지 이루어지며, 특히 일출 직전인 새벽 4~6시경이 가장 활발하게 형성된다(Innenministerium des Landes Baden-Württemberg, 1996). 또한, 그 물리적 특성은 찬성질의 무거운 밀도를 가지기 때문에 평지에서는 주로 지표면 가까이에서 형성·유동하며, 산지에서는 경사면을 따라 하강하여 유입지역에 쌓이게 되고 지형조건을 따라 유동한다. 따라서 본 연구에서의 실험시간은 오후 8시에서 오전 6시를 대상으로 실험을 실시하였다.

2. 찬공기의 높이와 유동범위

바람생성기능이 높게 나타난 신천상류 가창골일대와 앞산공원지역에서 형성되는 찬공기의 높이와 유동범위에 대한 실험결과(그림 3 참조), 60분경과시 주변산지경사면에서 형성된 찬공기가 계곡의 지형조건에 의해 유동하면서 범위가 확장되고 있으며, 찬공기의 높이가 20~29m 이상의 지역이 점점 신천의 상류를 따라 북쪽으로 유동되어 확장되고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 앞산공원지역에서는 계곡에서 형성된 찬공기가 유동되지 못하여 단절되고 오히려 녹지가 많은 미군부대지역일대에서 찬공기의 높이가 형성되는 것으로 나타나고 있다. 이는 앞산공원일대를 가로지르는 고가도로와 공원 내의 건축물로 인하여 찬공기의 유동이 방해받고 있는 것으로 추정된다.

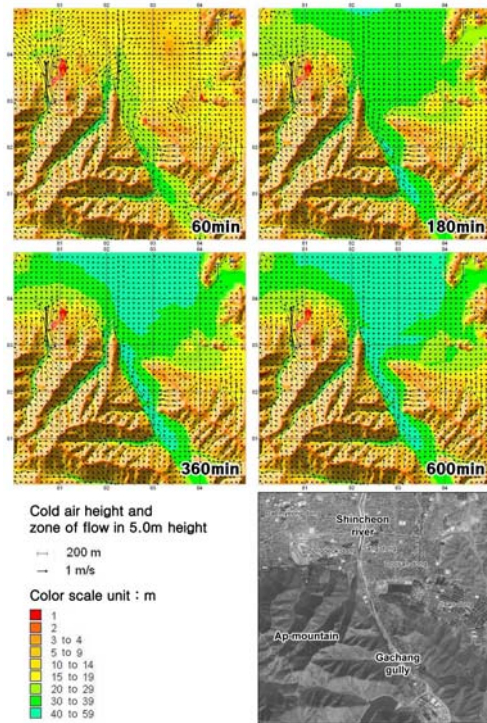


FIGURE 3. 신천상류 가창골 일대 및 앞산공원지역 찬공기높이 및 유동범위 모의실험 결과

180분이 경과된 상태에서는 가창골 일부지역에서 찬공기의 양이 더욱 증가하여 찬공기층의 높이가 40~59m정도에 이르는 것을 확인할 수 있으며, 신천을 따라 유동하는 찬공기가 더욱 확산되어 신천상류 우측 주거지역(과동, 상동 및 두산동 일대)의 찬공기층 높이가 점점 높아지고(30~39m) 있는 것으로 나타나고 있다. 또한 수성못 일대와 지산동일대까지 찬공기의 유동이 이루어지기 시작하고 있음을 알 수 있다. 이는 결국 가창골 일대에서 형성된 찬공기의 양이 시간의 흐름에 따라 더욱 확대되어 유동되고 있음을 보여주고 있는 것으로 사료된다.

찬공기 형성시간 360분 경과시 가창골과 신천을 따라 유동되는 찬공기의 층이 더욱 높아지고 있다. 특히 상동교 주변부터 북쪽으로는

40~59m에 달하는 찬공기층의 유동이 확대되고 있고 있는 것으로 나타나고 있으며, 지산동 일대로의 찬공기 유입도 더욱 늘어나고 있는 것으로 나타났는데, 이 일대 찬공기층의 높이는 20~29m에 이르고 있음을 확인할 수 있다. 마지막으로 찬공기형성이 시작된 600분 경과시 가창골일대 찬공기의 형성이 지속적으로 활동하고 있으며, 이들 찬공기들이 신천을 따라 유동하여 그 범위가 매우 확장되어 영향을 미치고 있음을 볼 수 있다. 특히 초기 시간대에 있어 신천 좌측일대에는 상대적으로 미약한 찬공기의 유동상태를 보였으나, 신천상류 가창골일대에서 지속적으로 형성·유동되는 찬공기에 의하여 유동범위가 매우 넓게 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 한편, 앞산공원일대에서의 찬공기높이와 유동범위에 대한 상태변화는 초기시간대인 60분대와 크게 다르지 않게 나타나고 있어, 앞산공원일대를 가로지르는 고가도로와 공원 내의 건축물로 인하여 찬공기의 유동이 방해받고 있는 것으로 추정된다.

3. 찬공기의 유속 및 방향

신천상류 가창골일대와 앞산공원지역에서 형성되는 찬공기의 유속 및 방향에 대한 시간대별 분석결과(그림 4. 참조), 각각의 산지능선과 경사면에서 형성된 찬공기가 계곡의 지형조건을 따라 다양한 방향으로 하강하여 신천상류로 유입되고 있다. 처음 60분경과시 산지 경사면에서 형성된 찬공기가 계곡을 따라 유동하면서 유속이 빨라지고 있음을 알 수 있다. 특히 신천을 따라 유동하는 찬공기의 유속이 1.0~2.0m/s를 나타내고 있으며, 상동교 부근에서는 2.0~3.0m/s로 찬공기의 유속이 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 신천에서 유동하는 찬공기의 유속은 주변지역과 확연히 구분이 되고 있으며 방향 또한 신천방향과 점차 일치되어지고 있는 것으로 알 수 있다. 찬공기의 유동방향에 있어서

도 신천방향으로 모아져 가고 있으며, 신천상류 우측 주거지역(과동, 상동, 두산동 일원)으로도 찬공기가 유동되고 있음을 알 수 있다. 앞산공원지역에서는 계곡하류부에서의 찬공기 유속이 4.0m~5.0m/s에 달하여 상대적으로 빠르게 형성되고 있음을 알 수 있다.

180분이 경과된 상태에서는 찬공기의 유속이 전반적으로 감소하는 것으로 나타나고 있다. 이는 수치프로그램의 특성에 의한 현상으로 찬공기의 유속 및 방향에 대한 실험의 기본원리는 유체역학적 이론에 기초하기 때문에 폐쇄된 조건을 갖는 실험대상 공간에서의 유동되는 찬공기는 단절되어 정체되는 것으로 인식되므로 유속과 방향성에 영향을 받게 된다. 따라서 실험시간 180분 이후부터 600분까지의 결과는 그림 4에서와 같이 찬공기 형성

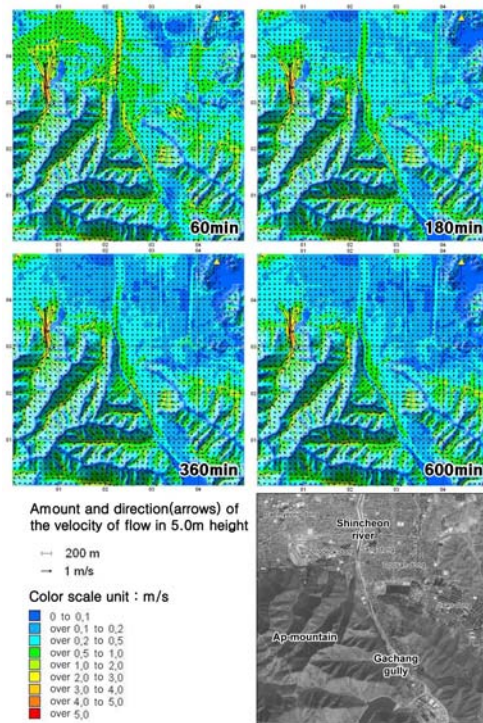


FIGURE 4. 신천상류 가창골 일대 및 앞산공원지역 찬공기 유속과 방향 모의실험 결과

지역인 신천상류 가창골일대와 앞산공원의 계곡상류일대에서의 유속과 방향은 일정한 패턴을 보이고 있으나, 북측지역에서는 찬공기의 유속과 방향이 점차적으로 낮아지고 방향성이 흐려지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 찬공기의 형성기능이 높게 나타난 신천상류 가창골일대와 앞산공원지역에서 지속적으로 찬공기가 형성되고 공급되고 있음을 보여주는 것이라 하겠다.

결론

지역별 바람생성기능은 지역의 공간적 특성(토지이용 및 지형조건)과 밀접한 관계가 있다. 또한 지역별 바람생성기능이 지역의 세부적인 공간지형적 요소에 의해서 어떻게 영향을 받고 있으며, 그리고 실제 도시공간상에서 이들 요소에 의해서 구체적으로 어떻게 작동하고 있는지에 대해서 검증이 필요하다. 이에 본 연구에서는 대구시를 대상으로 찬공기유동 분석모델인 KLAM_21을 활용하여 바람우세지역으로 선정된 지역을 중심으로 도시공간상에서 공간적 특성(토지이용 및 지형조건)에 따라 어떻게 바람이 유동하고 있는지를 평가하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저, 신천상류 가창골 일대의 계곡과 주변 산지 경사면에서 형성된 찬공기는 신천상류를 따라 북쪽으로 유동되어 확장되고 있었으며, 시간이 경과함에 따라 찬공기의 양과 높이 그리고 유속 및 방향 등에 있어서도 점점 증가하는 추세를 보이고 있었다. 무엇보다도 지속적으로 형성되고 유동되는 찬공기에 의해서 유동범위가 매우 넓게 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 이는 이 지역의 공간적 특성이 찬공기가 생성되고 유동하는데 있어서 매우 양호한 조건을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 신천을 대구지역의 남·북측 찬공기 유동의 중심축 기능지역으로 관리하여야 하며, 신천을 따라 수직적 동·서방향으로의 시가지


로 찬공기 유동이 가능할 수 있는 보조 축 기능을 수행할 수 있는 지역을 확보하여야 할 것이다.

한편, 앞산공원지역에서는 앞산공원일대를 가로지르는 고가도로와 바람의 유동을 방해하는 대규모의 아파트단지 밀집, 그리고 공원내의 건축물 등의 도시개발의 행위로 인하여 찬공기의 생성 및 유동이 크게 방해받고 있는 것으로 나타났으며, 찬공기의 양과 높이에 있어서도 미약하게 나타나고 있다.

결국, 바람길의 공간적 효과를 극대화시키기 위해서는 바람길형성의 기본형태인 찬공기 형성 및 유동지역 그리고 찬공기 기능축적 및 유지지역이 공간적으로 연계되어야 하며, 이러한 공간적 연계는 지역의 공간적 특성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

향후 지속적인 바람길의 확보를 위해서는 주변지역의 공간적 특성(지형조건과 토지이용)을 근거로 하여 찬바람의 흐름과 생성을 분석·예측하고 이를 바탕으로 도시개발이나 지역개발계획시 미기후변화에 대한 충분한 고려가 있어야 할 것이다. 또한 본 논문에서 사용된 KLAM_21모델의 실효성 검증을 위하여 AWS(자동기상관측장비)를 이용한 실제 관측 결과와의 상관관계에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년도 첨단도시개발사업(과제번호:07도시재생B04) 지원 사업으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다. 

참고 문헌

김윤수, 김정환, 정웅호, 류지원. 2002. 위성화상 자료를 활용한 도시성장변화에 관한 연구. 한국지리정보학회지 5(2):81-90.

- 김윤수, 이광재, 류지원, 김정환. 2003. 도시확장 분석을 위한 위성화상 토지이용분류기준 설정에 관한 연구. 한국지리정보학회 6(3):83-94.
- 김윤수, 정응호, 류지원, 김대욱. 원격탐사 자료를 활용한 시가지역의 변화에 관한 연구. 한국지리정보학회지 8(2):1-9.
- 김수봉. 2005. 열섬현상 완화를 위한 대구시 도시하천 및 녹지연계망 구축에 관한 연구. 대구지역환경기술개발센터 연구보고서. 22-50쪽.
- 서울시. 2000. 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법연구. 19-56쪽.
- 정응호. 2006. 대구시 대기환경 개선을 위한 바람형성 기능평가시스템 구축 및 활용에 관한 연구. 대구지역환경기술개발센터 연구보고서. 22-81쪽.
- 정응호. 2007. 대구시 대기환경개선을 위한 바람길권역설정 및 평가. 대구지역환경기술개발센터 연구보고서.
- 차재규, 정응호, 류지원, 김대욱. 2007. 도시열섬 완화를 위한 녹지네트워크 및 바람길 구축. 한국지리정보학회지 10(1):102-112.
- King, E. 1973. Untersuchung überkleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Strassenbauten. Berichte des DWD Nr. 130, Bd. 17, Offenbach. pp.40-60.
- Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau(Hrsg.)1. 19791. Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. -Schriftenreihe Raunordnung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bd. 06.032. pp.35-41.
- Innenministerium des Landes Baden - Württemberg. 2004. Städtebauliche Klimafibel - Hinweise für die Bauleitplanung, Stuttgart.
- Uwe Sievers. 2005. Das Kaltluftabflussmodell KLAM 21. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 227. Offenbach am Main. pp.22-35.
- Landeshauptstadt Stuttgart. 1996. Kaltluftund Windfeld-Berechnung für den Raum Stuttgart im Zusammenhanf mit der Planung für das Projekt "STUTTGART 21": Untersuchung zur Umwelt "STUTTGART 21" Heft1, Stuttgart. pp.21-35 