

비오톱 지도와 항공라이다 자료를 이용한 바람통로 분석 및 기후평가[†]

김연미* · 안승만** · 문수영* · 김현수* · 장대희*

*한국건설기술연구원 미래건축연구실 · **건국대학교 신기술융합학과

Wind Corridor Analysis and Climate Evaluation with Biotop Map and Airborne LiDAR Data

Kim, Yeon-Mee* · An, Seung-Man** · Moon, Soo-Young* · Kim, Hyeon-Soo* · Jang, Dae-Hee*

*Advanced Building Research Division, Korea Institute of Construction Technology

**Dept. of Advanced Technology Fusion, Konkuk University

ABSTRACT

The main purpose of this paper is to deliver a climate analysis and evaluation method based on GIS by using airborne LiDAR data and Biotop type map and to provide spatial information of climate analysis and evaluation based on Biotop type Map. At first stage, the area, slope, slope length, surface, wind corridor function and width, and obstacle factors were analyzed to obtain cold/fresh air production and wind corridor evaluation. In addition, climate evaluation was derived from those two results in the second stage. Airborne LiDAR data are useful in wind corridor analysis during the study. Correlation analysis results show that ColdAir_GRD grade was highly correlated with Surface_GRD (-0.967461139) and WindCorridor_GRD was highly correlated with Function_GRD (-0.883883476) and Obstacle_GRD (-0.834057656). Climate Evaluation GRID was highly correlated with WindCorridor_GRD (0.927554516) than ColdAir_GRD (0.855051646). Visual validations of climate analysis and evaluation results were performed by using aerial ortho-photo image, which shows that the climate evaluation results were well related with in-situ condition. At the end, we applied climate analysis and evaluation by using Biotop map and airborne LiDAR data in Gwangmyung-Shiheung City, candidate for the Bogeumjari Housing District. The results show that the aerial percentile of the 1st Grade is 18.5%, 2nd Grade is 18.2%, 3rd Grade is 30.7%, 4th Grade is 25.2%, and 5th Grade is 7.4%. This study process provided both the spatial analysis and evaluation of climate information and statistics on behalf of each Biotop type.

Key Words: Urban Climate, Urban Planning, Landscape Planning, Land-use, Cold Air

국문초록

본 연구는 비오톱 지도와 항공 라이다 자료만을 이용해 GIS 분석기법을 적용하여 개개의 비오톱에 대한 기후분석

[†]: 본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(07 첨단도시 A01)에 의해 수행되었음.

Corresponding author: Yeon-Mee Kim, Advanced Building Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang 411-712, Korea, Tel.: +82-31-910-0209, E-mail: yeonmeekim@kict.re.kr

및 평가정보를 제공함을 목적으로 하고 있다. 1차 분석단계에서 비오톱 지도로부터 면적, 경사, 경사길이, 표면특성, 바람통로 기능, 바람통로 폭, 바람통로 장애물 요소를 각각 구하여 냉기/신선기 생성 및 바람통로 기능을 평가하였으며 2차 분석단계에서는 이들 요소를 종합하여 기후평가를 수행하여 비오톱 단위 별로 기후평가 자료를 생성하였다. 항공라이다 자료는 비오톱을 이용한 바람통로 분석에 유효하였다. 평가인자와 평가 등급 간의 상관성을 그래프 및 상관계수를 통해 확인한 결과 냉기/신선기 생성 등급과 Surface_GRD 평균값과의 상관계수가 (-)0.967로 높게 나타났으며 바람통로 기능에서는 등급별 Function_GRD 평균값과의 상관계수가 (-)0.884, Obstacle_GRD 평균값과의 상관계수는 (-)0.834로 나타났다. 기후평가 등급과 WindCorridor_GRD 상관계수는 0.928, 기후평가 등급과 ColdAir_GRD 상관계수는 0.855로 나타나 비오톱의 WindCorridor_GRD가 ColdAir_GRD에 비해 상관성이 높게 나타났으며 항공사진 정사영상을 이용한 육안 검수에서도 기후평가 및 등급화 결과가 잘 반영된 것으로 나타났다. 결과적으로, 비오톱 지도와 항공라이다 자료를 이용해 기후 분석 및 평가 방법을 적용한 결과 광명·시흥시 보금자리 주택개발 예정지의 기후평가등급에 따른 면적분포 비율은 1등급 18.5%, 2등급 18.2%, 3등급 30.7%, 4등급 25.2%, 5등급 7.4% 순으로 나타났으며 본 연구방법을 통해 기후평가 정보를 각각의 비오톱 단위별로 통계적 정보와 함께 제시할 수 있었다.

주제어: 도시기후, 도시계획, 경관생태계획, 토지이용, 냉기

1. 서론

도시 생태계에서 기후/대기 영역은 중요한 평가요소로 도시 계획에 있어 기후/대기 부문 활용을 위한 다양한 연구가 지속적으로 수행되고 있다(Baumüller *et al.*, 1992; Scherer, 1999, Eliasson, 2000; Ren *et al.*, 2009). 특히 도시공간계획의 제도가 확고히 구축된 국가들에서는 도시 및 지자체 단위의 도시기후 분석, 평가의 지도화 및 도시공간정책에 이르는 일련의 작업이 심도있게 진행되고 있다(Stadt Augsburg, 2007; Planning Department, 2008; NG, 2009). 현재 우리나라에서는 학계를 중심으로 도시기후에 관한 연구가 일부 진행되고 있다(송영배, 2003; 송봉근과 박경훈, 2010). 특히 독일의 경우에는 광역모델에서 지역모델 그리고 미기후 분석, 평가모델까지 다양하게 개발, 적용되었고, 이외에도 GIS를 활용한 도시기후 분석을 도시계획 및 환경영향평가에서 활용되고 있어(Reuter and Hoffmann, 1998; Baumüller and Reuter, 2003, Heilbig, 2003) 도시계획의 정책수단으로 오랜 기간 정착되어 왔다. 도시기후의 평가는 (a) 야외관측, 풍동/수조 실험, 수치모델링을 통해 도출한 기후/대기 부분의 인자를 직접 평가하는 방법과 (b) 도시구성 물질들의 공간적 배치특성 분석을 통해 간접적으로 미치는 기후/대기 상호작용을 평가하는 방법으로 나눌 수 있다. 컴퓨팅 기술의 발달로 3차원 기상 수치 모델링이 가능해지면서 직접적인 기후/대기 요소를 추출하여 평가에 적용하는 연구가 다수 수행되었으나(Gross and Etling, 2003) 평가를 위한 재원이 많이 소모되고 시간이 오래 걸려 기후 평가방법의 편의상 간접적인 효과를 분석하여 평가에 활용하거나 이 두 방법을 섞어 절충안을 찾는 시도가 있었다. 그러나 도시계획에 적합한 규모 및 해상도로 수치모델 자료가 생산되면 보다 발전된 컴퓨팅 능력이 보급되

어야 하고 관련 기술이 일반 건설 엔지니어링에 접근 가능한 수준으로 보급되어야 하므로 이를 절충할 대안적인 연구가 필요하다. 최근 구축되고 있는 비오톱 지도는 간접적인 기후/대기 평가를 위한 좋은 도시의 공간정보이다. 경관생태학에서는 도시경관을 고유한 환경특성을 가지며 규모와 경계를 달리하는 다양한 비오톱의 조합으로 구성된 모자이크로 본다. 비오톱은 고유한 환경특성을 가지는 도시경관 단위이자 도시계획수립의 기초가 되는 토지 상황과 변화 유형을 정보화 한 지도로(최영국 등, 2002) 계획대상지의 생태특성을 조사하여 일정 기준에 따라 평가한 뒤 경관생태적 관점에서 토지이용을 계획할 수 있는 수단이며(조용현과 송인주, 2005) 현재 국내의 도시의 경관 상태 및 도시기후 연구를 위해 검토할 수 있는 토지이용에 기초한 상세한 최소지도단위(minimum mapping unit)로 작성된 자료이다(최일기 등, 2007). 국내에서는 서울특별시(2008)가 공간단위별 및 시설별 전력, 도시가스, 지역난방, 상수도, 석유에 대한 에너지 사용량을 차지구, 동, 블록 공간단위와 함께 비오톱 지도의 토지이용 공간단위를 적용해 GIS DB를 구축하고 에너지 지도 작성 방안에 대해 연구하였으며 온도, 습도, 일조량, 강수·강설량, 풍속·풍향, 대기오염도 자료들로부터 비오톱 토지이용도를 기반으로 하는 기후기능 분석도면(안)을 제작하였다. 이채연 등(2011)의 연구에서는 서울 도시기후 분석에 비오톱 자료를 활용하였으나 실제 도시기후 지도 제작은 격자형 이미지로 도출하였다.

도시에서 냉기형성은 통기환경을 보장하고 도심의 열부하 지역을 냉각시키는 두 가지 효과를 가진다. 청정지역에서 형성되는 냉기는 오염지역의 공기를 순환시키는 역할을 하지만, 반면 냉기이동 중에 오염물질과 혼합하여 이를 전달하는 역할을 할 경우도 발생한다. 한 지역에서 냉기의 생성과 냉기를 이동

시키는 바람통로를 정성적 그리고 정량적으로 규명하는 것은 도시기후연구의 중요한 과제이며, 도시 공간계획의 공간결정지 원 정보로 활용되어야 한다(Thamm, 2000). 이를 위해서는 간 소화된 분석 및 평가방법이 개발되어야 한다. 이에 본 연구는 비오톱 지도를 이용한 기후평가 간소화 방법 개발로 항공라이 다 자료 활용 기술과 연계하여 바람통로 및 도시기후 평가 요 소를 정보화 하고 이를 기반으로 도시 구조 특성에 따른 기후 평가지도 제작 방안에 대하여 연구하였다. 도시기후 분석 결과 들이 비오톱 지도와 연계되어 기후적 특성을 정보로 제공한다 면 도시계획에 있어 개발로 인해 발생하는 기후변화를 관련 비 오톱 단위로 상세하게 평가 및 검토할 수 있어 매우 유용할 것 이다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구대상지

연구지역은 2010년 12월 개발이 확정된 시흥광명 보금자리 주택사업지역으로 전체 면적은 1,736,000m²이고 237,000명을 수용할 66,638가구 보금자리주택과 7,088가구 민간주택이 건설 될 예정이다. 제2경인고속도로가 중앙을 동서로 가로지르는 연 구지역은 남-북 방향으로 길게 배치되어 있어 개음산-건지산-도이산-윤홍산-거정굴산-서독산-구름산-서산-도덕산으로 이어 지는 주산 및 능선들에 위요되어 있으며 남-북으로 일부 열려 있는 지형이다(Refer to Figure 1). 따라서 이러한 지형적 특성 을 고려해 볼 때 보금자리 주택개발 예정지는 환기가 원활히 유지되도록 내적인 냉기 및 신선기 생성과 대기오염 자정능력 이 높은 도시공간구조계획과 환경 관리가 필요하다.

2. 선행연구 분석

도시 열섬현상을 저감시켜주는 냉기는 일몰과 일출 사이에 형성되며 주변에 비해 온도가 낮아 밀도가 높아진 냉기는 경사 를 따라 이동과 흐름이 시작된다. 이러한 냉기 및 신선기 생성 기능에 관한 공간 평가의 대부분은 경험적으로 도출된 평균적 기온편차를 기반으로 연구되고 있다. 한 공간의 냉기형성능력은 식생 및 식생구조 뿐만 아니라 개별 면적의 규모에 의해서 결정되는데(Marks *et al.*, 1992), Stuelpnagel(1987)은 녹지가 일정 규모 이상에서만 주변에 비해 기온냉각효과가 있다고 밝 히고 있고, Horbert(2000)는 경관생태계획과 기후와의 관계에 관한 연구에서 기후를 0.5도 낮추기 위해서는 녹지의 면적이 최소 3.5ha의 면적이 필요하다고 밝히는 등 냉기생성에 필요한 규모에 대한 연구가 다양하게 진행된다. Kuttler(2009)는 냉섬 (Park Cool Island)효과에 대한 문헌분석에서 세계 각 지역의

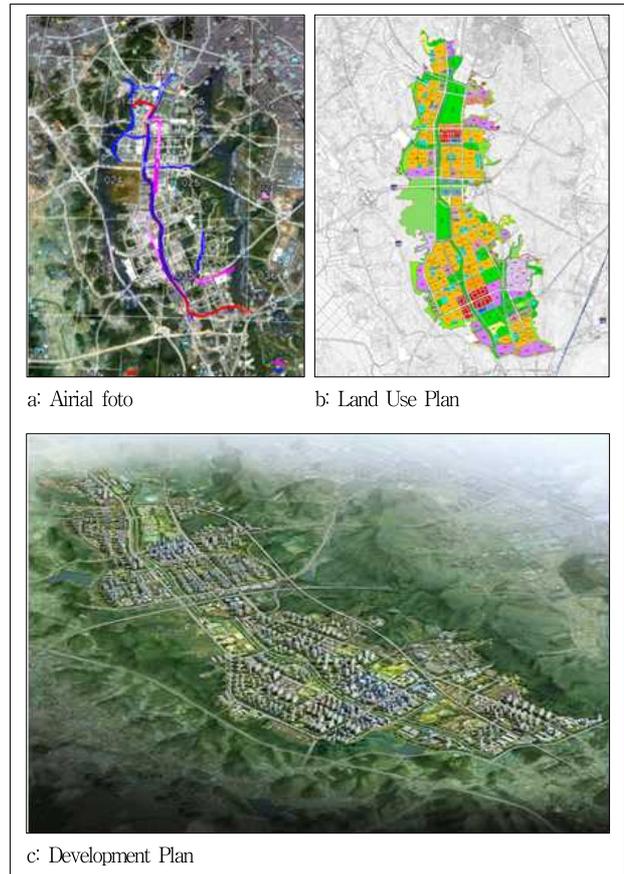


Figure 1. Gwangmyung-Shiheung City, candidate Bogeumjari Housing district

Source: <http://www.seoulride.com>

공원의 규모에 따른 냉각온도, 영향범위를 제시하였으며, 냉섬 효과가 위도, 지역, 도시규모에 따라 매우 다양한 수치를 제공 하였다. 과거에는 냉기와 신선기 형성지역을 분리하여 평가하 였고 키가 낮은 초지식생은 냉기형성지역으로 높게 평가되고, 반면 산림지역은 신선기 형성지역으로만 평가되어 냉기형성기 능이 낮게 평가되는 경향이 있었다(Haaren, 2004). 이로써 경사 -구릉지의 산림이 냉기형성에 실제적으로 미치는 효과에 비해 저평가되는 문제점을 보완하여 Mosimann *et al.*(1999)은 산림 의 냉기형성능을 높게 평가하는 방식을 취했다. 이러한 연구 는 우리나라의 대형의 녹지가 대부분 산림이며, 대부분 경사지 형이어서 실제로 도시의 냉기/신선기 생성에 중요한 영향을 미 치는 점에서 유의할 만하다.

Mosimann *et al.*(1999)은 면적유형의 개략적 온도편차(K)를 바탕으로 토지피복유형을 1차로 크게 녹지 지역과 주거지역으 로 구분하고 이를 다시 각각 5등급과 4개 등급으로 구분한 서 열적 순위(ordinal/ranking scale)에 의거해 평가기준을 설정하 였다. 마찬가지로 Kraus(2006)는 냉기생성 면적의 순위를 건조 한 늪지, 낮은 숲, 초지, 곡물재배지, 밭농경지, 폐경농지, 나지

의 순서로 서열화하였다. 토지유형별에 따른 시간당 냉기생성 분율을 정량적 수치로 제공한 지역연구도 있다(Regionalverband Nordschwarzwald, 2012). 최근 들어 위성영상의 열밴드 수치를 활용해 토지피복유형과 지표면 온도 분포에 대한 상관관계에 대한 연구는 국내외적으로 매우 활발하게 진행되고 있다(김현욱과 염종민, 2012).

도시열섬지역으로 냉기이동은 기상적 조건 이외에도 바람통로의 표면과 지형적 구조 그리고 앞선 냉기형성지역과의 연계에 좌우된다(Gerst *et al.*, 2011). Weber and Kuttler(2003)는 바람통로를 통풍 통로, 냉기 바람통로 그리고 신선기 바람통로의 3가지 유형으로 구분한다. 더 나아가 Matzarakis(2001)는 통풍 통로의 역할을 하는 공간유형을 초지, 수면, 기타 녹지, 광폭의 도로 및 철로를 들고 있으며, 이중 도로를 제외한 4개의 공간유형이 신선기 통로에 해당되며, 전형적인 냉기 형성에 초지, 수면 및 철로를 지적한다. 열부하가 높고 오염도가 높은 도시지역에서 이러한 바람통로를 통해 공기체가 주변에서 도심으로 흘러들어와 공기의 교환을 보장하며, 특히 바람이 없는 날에 이러한 통로는 도시의 대기위생을 위해 매우 중요하다. 도시기후적 차원에서 상관성이 높은 바람통로의 평가를 위한 파라미터로 Mayer *et al.*(1994)은 낮은 표면마찰력, 한 방향으로 최소 길이, 최소폭, 가장자리의 구성, 통로내부의 장애물의 넓이와 높이, 두 장애물 사이의 배율 등을 도시계획 및 도시설계에 적용할 수 있도록 구체적으로 제시하였다.

국내에서 도시기후 관련 연구로는 LANDSAT_TM을 가지고 서울시의 열섬현상 분석에서 도시열섬에 토지피복 이외에도 경사도, 사면방향 및 고도에 따라 지표면 온도가 상이함을 분석한 사례가 있으며(박민호, 2001), 수역, 산림, 농경지, 도시역 및 나지로 토지피복을 구분하여 1985년과 1996년의 차이점을 도출하였다. 김현욱과 염종민(2012)은 신도시지역을 대상으로 다양한 위성영상의 지표면온도와 토지이용간의 상관관계를 밝히고 있다. 김대영(2011)은 인천시를 대상으로 시간변화에 따른 토지피복유형의 변화에 따라 지표면 온도의 변화를 분석하여 피복변화가 지표온도 상승에 미치는 문제를 지적하였다.

3. 연구방법

기후평가의 방법은 크게 간단한 정성적 추정/등급화 방식과 복잡한 추정방식 또는 경험적/통계적 모델 두 가지로 구분할 수 있다. 단순평가는 기후관련한 경험적 정보를 바탕으로 일정 토지이용 또는 공간지형정보와 연계하여 간편하게 등급화, 지도화하여 대상도시 전체의 기후정보를 제공하는 목적으로 활용되고, 동질적 미기후요소로 구분하는 기후톱(klimatop) 접근 방식이 그 대표이다(Mosimann *et al.*, 1999). 정성적 단순 평가 방식과 달리 복합적인 접근방식은 일반적으로 수치모델이 적

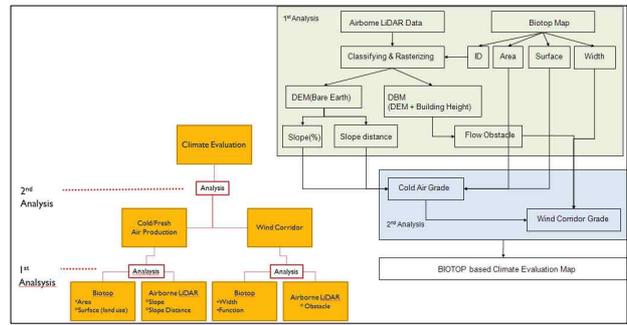


Figure 2. Biotop-based climate evaluation scheme and work flow diagram

용되는데, 대표적으로 3차원-수치모델인 FITNAH와 독일 기상청이 개발한 UBIKLIM(Urbanes Bioklima Modell) 등은 기후 분석결과를 지도화하여 공간계획을 지원하는 목적으로 개발되었다(Haaren, 2004). 또한 기존의 경험적 수치 및 분석, 다양한 방법을 복합하여 이 밖에도 특수한 기후현상 및 일반적 기후분석을 위한 다양한 모델이 있다.

반면, 본 연구에서 사용한 비오톱 지도는 2009년에 제작된 시흥시의 비오톱지도 및 라이다 항공촬영데이터를 활용했으며, 비오톱 유형은 소분류 유형을 기반으로 하였다. 비오톱 지도를 이용한 기후평가 간소화 방법 개발로 항공라이다 자료 활용 기술과 연계하여 바람통로 및 도시기후 평가 요소를 정보화 하고 이를 기반으로 도시 구조 특성에 따른 기후평가지도 제작 방법에 대하여 연구하였다. 연구 흐름은 Figure 2에서 보는 바와 같이 냉기/신선기 분석 및 바람통로 분석을 한 뒤 이를 종합하여 기후평가지도를 도출하였다. 기후평가를 위해 사용된 요인들은 비오톱 지도 속성으로 추가되어 비오톱 지도만으로 기후요소 평가가 수행될 수 있도록 하였다. 이를 위해 연속형 래스터 자료인 냉기/신선기 평가 인자(경사, 경사길이) 및 바람통도 평가 인자(내부 장애물)를 비오톱 구역(zone)단위로 정보화하여 테이블 속성 정보로 가져왔다. 비오톱 지도의 각 폴리곤 ID를 이용한 Zone Raster 자료를 생성하고 연속형 래스터 평가 자료를 비오톱 ID Zone 별로 평균하여(zonal mean) 해당 단위구역(zone)을 대표하는 값으로 결정하였다. Haaren(2004)은 생기후조절기능(Bio-climate regulation function)의 평가지표로 지형, 면적규모, 표면구조, 토양유형 및 토양수분, 식생, 향의 6가지 인자를 제시하였다. 독일엔지니어협회(Verein Deutscher Ingenieure, 2003)는 냉기형성에 미치는 인자로 기상조건과 더불어 지형, 향, 표면의 종류와 물리적 성질인 토성 및 토양특성이 대기의 냉각 영향인자로 꼽았다. 본 연구에서는 냉기/신선기 분석을 위해 Marks *et al.*(1992)의 바이오기후 기능의 평가 항목과 Mosimann *et al.*(1999)이 제시한 방법론을 참고하여 평가기준을 삼았다. 전자의 방법론에서 냉기 생성의 인자로서 면적규모, 경작지 및 초지의 비율, 평균 경사도, 경사유형 및 평균

Table 1. Cold air and wind corridor analysis factor and factor score

Factor		Description	Factor score
Cold/ fresh air production	Biotop area	1ha-5ha	2
		>5ha-10ha	4
		>10ha-15ha	6
		>15ha-20ha	8
		>20ha-25ha	10
		>25ha	12
	Slope	≤5%	1
		>5%-15%	6
		>15%-25%	8
		>25%-35%	7
		>35%	6
	Slope length	≤50m	0
		>50m-100m	2
		>100m-150m	4
		>150m-200m	6
		>200m-250m	8
		>250m	10
	Surface	Forest area, grass land	10
		Wet grass, wetland, riparian	8
		Hedge and shrub area	6
Open space(parks)		4	
Barren land, uncultivated area		2	
Urban utility area		0	
Wind corridor	Wind corridor function	No fresh/cold air function	0
		Cold air function	2
		Fresh and cold air function	3
	Width	Width≤50m	1
		50m≤width<100m	2
		Width≥100m	3
	Wind flow obstacle	High	-2
		Low	-1
		Clear(no obstacle)	0

Table 2. Evaluation of cold/fresh air production and wind corridor

Factor	Factor score sum	Grade	Grade sum	Climate grade
Cold/ fresh air production	≥28	1	2	1
	27-20	2		
	19-12	3	3-4	2
	11-4	4		
	≤3	5	5-6	3
6	1			
Wind corridor	5	2	7-8	4
	4	3		
	3	4	9-10	5
	≤2	5		

Table 3. Input data used in this study

Description		No.	Source	Date
Biotop map	Biotop attribute(table field)	-	KICT ^a	2010
	- Main classification code			
	- Middle classification code			
	- Sub classification code			
	- Area			
	- Perimeter			
Airborne LiDAR	LiDAR point density(designed): 2.5 pt/m ² LiDAR data 1:5000 map index code		NGII ^b	2009
Digital Ortho Photo	Pixel size : 10cm×10cm		NGII ^b	2009

^a: Korea Institute of Construction Technology
^b: National Geographic Information Institute

적 경사길이를 지표로 삼았다. 평가 지표 및 평가 등급 Haaren (2004)과 독일의 기후분석 연구결과(Regionalverband mittlerer Oberrhein, 2010; Stadt Witten, 2012)를 참고하여 Table 1과 같이 냉기/신선기 분석 및 바람통로 분석 요인을 선택하여 평가 점수를 할당하고 계산하여 냉기/신선기 등급 및 바람통로 기능 등급을 결정한 후 계급 두 계급을 합산하여 비오톱 지도를 기반으로 각각의 비오톱에 대한 기후평가 등급을 구하였다(Refer to Table 2).

본 연구 수행을 위해 ESRI 社의 ArcGIS Model Builder 및 ArcGIS Spatial Analyst를 이용하였으며 사용된 입력자료는 Table 3과 같다.

1) 냉기/신선기 및 바람통로 1차 분석

(1) Biotop Area

냉기/신선기 생성 면적 등급화 및 평가는 면적이 넓을수록 높은 평가점수를 부여하였다. 면적을 이용한 평가는 비오톱(shape) 지도의 Area 필드에서 각각의 비오톱에 대한 면적(ha) 정보를 이용하였다(Marks *et al.*, 1992). 이에 따라 비오톱 면적을 5ha 미만, 5~10ha, 10~15ha, 15~20ha, 20~25ha 그리고 25ha 이상으로 구분하여 Area_GRD에 반영하였다.

(2) Biotop Slope

경사는 항공 LiDAR 자료로부터 추출한 5m×5m DEM과 비오톱(Shape) 자료를 이용해 구하였다.

냉기/신선기 생성에 적절한 경사도 평가 기준은 Marks *et al.*(1992)이 제시한 기준을 준용하였다. 가장 낮은 점수는 5% 이하에서 시작하여, 5~15%, 15~25%, 25~35%, 35% 이상으로 구분하여 Slope_GRD에 반영하였다. 35% 이상의 급경사지는 식생활착이 어렵거나 암반 노출이 예상되므로 낮은 점수를

반영하였다.

(3) Biotop Slope Length

지형의 입체적 면적 계산 결과인 경사길이를 통해 냉기/신선기 생성 평가 기준에 반영하였다. 보금자리 주택개발 예정지의 지형 경사는 13~125%에 걸쳐 분포하고 있으며 경사도가 높을 수록 동일 면적에서 경사길이는 평면길이에 비해 상대적으로 높아진다. 대상지 내의 면적이 작은 비오톱 폴리곤이 다수 분포하고 있어 유역 개념의 경사길이 적용이 불가하여 요철(凹凸)의 특성을 퍼센트(%) 척도화 하여 경사길이를 구하였다. 경사도(%)로부터 수평거리에 비례한 높이를 구하여 경사길이를 구한 후 각 비오톱 Zone의 경사거리 총합을 히스토그램 분포로부터 결정한 경사길이 상수 50m로 나누어 퍼센트(%) 척도화한 후 경사길이 분포에 따른 냉기/신선기 생성 평가점수를 산정하였다. 경사길이 평가구간은 Marks *et al.*(1992)이 제시한 기준을 준용하여 SD_GRD에 반영하였다.

(4) Biotop Surface

지표면 특성별 평가 기준은 지면을 피복하는 표면의 열역학적 특성에 따라 다르게 나타나며, 특히 바람이 적고 맑은 밤에 각 공간이 가진 토양종류, 수분특성 및 식생구성의 복합적 작용으로 냉기형성능력에 차이가 발생한다. 경사도 및 면적규모와 함께 지표면의 특성에 따라 냉기/신선기 형성에 차이가 나타남에 근거하여(Stadt Dresden, 1998; Regionalverb and mittlerer Oberrhein, 2010) 평가하였다. 냉기/신선기 생성은 산림과 초지, 습지와 같은 식물이 공기생성 역할을 할 수 있는 곳이 높게 나타나는 것으로 알려져 있다(Akbari *et al.*, 2001; Mcpherson and Muchnick, 2005, Boukhabl and Alkam, 2012). Su *et al.*(2010)은 토지피복유형의 평균표면온도를 물, 산림/초지, 농경지, 농촌주거지, 저밀주거/상업지, 도로, 고밀주거/상업지, 산업지 순으로, Mosimann *et al.*(1999)은 초지/나지, 농경지, 산림/공원, 운동장, 소공원/녹지 순으로 서열평가하였다. 송영배는 불모지, 휴한지, 텅밭식물초지, 곡물초지, 건초지, 습초지, 관목지, 건소택지 교목림지로 냉기생성능력을 서열화하였다(2007). 본 연구에서는 찬공기와 신선한 공기 생성능력을 동시에 고려하여 산림지와 초지 등을 우선순위로 정하였다. 비오톱 조사 결과를 보면 국내에서는 불모지, 휴한지가 매우 열악하고 휴면지 생성 등 오염원이 발생할 수 있는 가능성이 있어 이를 고려하여 가중치를 낮게 설정하였다. 교외 주택지, 농촌형 혼합지, 도시부양 시설지, 도시형 혼합지, 군사시설, 교육시설, 행정연구 시설, 도시 나지, 도시 관련시설은 냉기생성능력이 없는 것으로 평가하였고, 불모지, 휴한지, 도시공원, 관목지, 습초지, 습지, 하천, 산림과 초지의 순서로 평가하여 이를 LC_GRD에 반영하였다(Refer to Table 4).

Table 4. Biotop map surface type and detail classification code

Surface type	Biotop detail classification code	Score
Forest area, grass land	'FC1', 'FA1', 'FA2', 'FA3', 'FA4', 'FB1', 'FB2', 'FB3', 'FB4', 'MA1', 'MB1', 'MB2', 'CA2', 'CA3'	10
Wet grass, wetland, riparian	'CA1', 'LA1', 'LA2', 'LA3', 'LB1', 'LB2', 'LB3', 'SA1', 'SA2', 'SB1'	8
Hedge and shrub area	'GB1', 'GB2', 'GC1', 'FB5', 'FB6', 'LC2', 'LD1'	6
Open space (parks)	'GA1', 'GA2', 'GA3', 'GA4'	4
Barren land, uncultivated area	'DB2', 'MB3', 'MA2'	2
Urban utility area	'BA1', 'CB1', 'CB2', 'CB3', 'DA1', 'DB1', 'GB3', 'HA1', 'HA2', 'HA3', 'HB1', 'HB2', 'IA1', 'IA2', 'IB1', 'IB2', 'OA1', 'PA1', 'PA2', 'PB1', 'TA1', 'TA2', 'TB'	0

* 부록의 유형분류코드 참조

(5) Biotop Wind corridor function

냉기 및 신선기를 수송하는 통로의 피복 특성이 차고 신선한 공기를 유지 또는 정화시킬 지 또는 오염시킬 지에 대한 척도화 기준으로 반영하였다(윤용한 등, 2011). 통로의 기능 평가를 위해 신선기 생성 기능 평가에 적용되었던 표면특성별 평가 기준을 적용하였다(Refer to Table 5). 표면특성별 평가에서 저평가된 교외 주택지, 농촌형 혼합지, 도시부양 시설지, 도시형 혼합지, 군사시설, 교육시설, 행정연구 시설, 도시 나지, 도시 관련시설을 냉기/신선기 생성 기능이 전혀 없는 것으로 평가하였고, 불모지, 휴한지, 도시공원을 냉기생성 기능이 중간적 점수를 부여하였고, 관목지, 습초지, 습지, 하천, 산림, 초지에 냉기/신선기를 유통하는 기능을 높게 평가하였다(Function_GRD).

(6) Biotop Wind corridor Width

냉기/신선기 수송을 담당하는 통로의 구조와 규모를 평가하는 척도화 기준으로 반영하였다. 통로의 폭원을 구하기 위해 개개의 비오톱 Polygon Shape 자료로부터 폴리곤을 포함할 수 있는 직교하는 최단축 길이와 최장축 길이를 구하는 최소 방형격자(minimum bouncing rectangle, MBR)를 구하여 최단 축 길이의 1/2을 통로의 폭원으로 보고 MBR 단축길이를 100m를

Table 5. Biotop Surface Class for wind corridor function evaluation

Biotop Surface class	Score
Urban utility area	0
Barren land, uncultivated area, open space(parks)	+2
Hedge and shrub area, wet grass, wetland, riparian, forest area, grass land	+3

Table 6. MBR secondary axis length class for wind corridor width evaluation

Biotope polygon MBR secondary axis length class	Score
MBR secondary axis length<100m	1
100m≤MBR secondary axis length<200m	2
200m≤MBR secondary axis length	3

상수로 하여 점수를 부여하고 이를 Width_GRD에 반영하였다(Refer to Table 6)(Mayer *et al.*, 1994).

(7) Biotop Wind flow obstacle

도시기후는 인공 구조물 및 건물 배치에 따른 지표면의 마찰로 인해 바람의 수송 흐름 및 속도에 영향을 미쳐 바람이 약해지거나 유입되지 못하고 차단된다(Schreffler, 1978; 송영배, 2007). 인공 구조물 및 건물 배치를 바람의 수송 흐름 및 속도에 미치는 영향을 평가하는 척도화 기준으로 반영하였다. 내부 장애물의 유무나 밀도에 대한 정보는 제공된 광명시 비오톱 자료에서 제공되지 않으며 장애물의 유무를 소분류 속성을 통해 추정하기에는 변동성이 커서 항공 LiDAR 자료로부터 각각의 비오톱 Zone에 건물이 분포하고 있는 상황을 알 수 있는 건물 높이 자료를 추출하고 개개의 비오톱 폴리곤 영역내의 건물을 격자화 한 총 높이를 면적으로 나누어 평균 높이(Zonal Mean Building Height, ZH)를 산출하였다. 산정된 평균높이를 표준화 점수로 환산하여 3개 등급으로 구분하여, 개개의 비오톱 ZH가 1.5m 미만인 경우 냉기흐름에 미치는 영향이 없는 것으로 평가하고, 비오톱 ZH가 1.5m 이상 2.0m 미만인 경우 장애물이

Table 7. Zonal Mean Building Height class for wind corridor obstacle evaluation

Zonal Mean Building Height(ZH) class	Score
Zonal Mean Building Height<1.5(m)	0
1.5m≤Zonal Mean Building Height<2.0m	-1
2.0m≥Zonal Mean Building Height	-2

Table 8. Summary of each four cold/fresh air production factor

	Area_GRD			Slope_GRD			SD_GRD			Surface_GRD					
	No	(ha)	(%)	No	(ha)	(%)	No	(ha)	(%)	No	(ha)	(%)			
2	1563	835.6	48.1	1	430	269.5	15.5	0	953	215.9	12.4	0	620	835.6	48.1
4	58	5.3	0.3	6	722	907.4	52.3	2	254	177.0	10.2	2	24	5.3	0.3
6	7	0.4	0.0	7	208	208.1	12.0	4	142	143.8	8.3	4	2	0.4	0.0
8	8	32.3	1.9	8	281	351.7	20.2	6	65	85.6	4.9	6	71	32.3	1.9
10	1	256.8	14.8					8	46	74.5	4.3	8	826	256.8	14.8
12	4	606.3	34.9					10	181	1,039.8	59.9	10	181	606.3	34.9
Sum	1641	1,736.7	100.0	Sum	1641	1,736.7	100.0	Sum	1641	1,736.7	100.0	Sum	1641	1,736.7	100.0

있으나 분포 밀도가 낮은 것으로 간주하고 -1점을, 비오톱 ZH가 2.0m 이상인 경우 장애물의 분포밀도가 높은 것으로 간주하고 -2점을 주어 Obstacle_GRD에 반영하였다(Refer to Table 7).

2) 냉기/신선기 및 바람통로 2차 분석

냉기/신선기 분석도와 바람통로 분석도를 2차에서 종합 계산하여 기후평가 종합 점수를 산출하였으며 이를 평가등급화 하여 비오톱 기후평가도를 생성하였다. 기후평가 점수 산정에는 냉기/신선기 생성 평가등급 및 바람통로 평가등급을 이용하였다. 두 평가도의 등급이 1~5등급으로 동일하며 가중치가 동일하다는 전제로 각 평가 등급을 점수로 계상하여 2~10에 분포하는 총계(Grade_Sum)를 구하였다. 이후 가장 낮은 점수인 2점을 1등급, 3점과 4점을 2등급, 5점과 6점을 3등급, 7점과 8점을 4등급, 9점과 10점을 5등급으로 적용하였다. 이를 통해 기후 평가 결과 우수한 기후환경 자원으로 구성된 비오톱을 1등급 열악한 기후 환경자원으로 구성된 비오톱을 5등급으로 하는 총 5개의 등급으로 구성된 기후평가도(Clima_GRD)를 도출하였으며 항공사진 정사영상을 집성하여 평가도의 타당성을 고찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 냉기/신선기 분석 및 평가

냉기/신선기 분석 및 평가를 위해 설계한 분류 기준을 적용하여 면적, 경사, 경사거리, 지표면에 대한 공간분석 결과를 도출한 결과 Figure 3과 Table 8에서 보는 바와 같이 지표 및 비오톱 zone의 특성이 연계된 결과들이 산출되었다. 총면적 대비 비오톱 면적 등급의 분포는 5ha 미만인 비오톱 비율이 48.1%(953개)로 면적과 개수 모두 가장 많이 차지하고 있었고, 25ha 이상이 34.9%(181개), 20~25ha가 14.8%(46개) 순으로 나타나 큰 비오톱과 작은 비오톱으로 대조되었다. 경사도는 경사도가 5~15% 또는 35%보다 급한 비오톱 비율이 52.3%(722개), 15~25%가 20.2%(281개), 5% 이하가 15.5%(430개), 25~35%가 12.0%

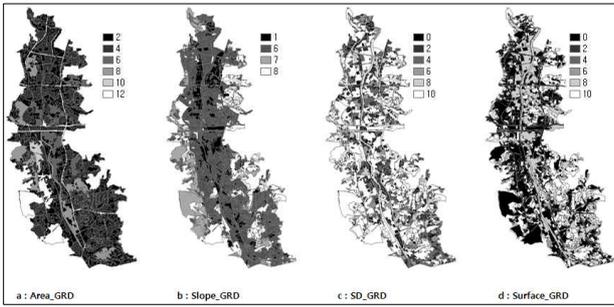


Figure 3. Evaluation of cold/fresh air production factors(Area : Slope : Slope length: Surface)

(208개) 순으로 분포하였다. 경사길이는 250% 이상 59.9%(181개), 50% 미만인 12.4%(953개), 50~100%이 10.2%(254개), 100~150%이 8.3%(142개), 150~200%이 4.9%(65개), 200~250%이 4.3%(46개) 순으로 분포하였다. Surface는 교외 주택지, 농촌형 혼합지, 도시부양 시설지, 도시형 혼합지, 군사시설, 교육시설, 행정연구 시설, 도시 나지, 도시 관련시설이 48.1%(953개), 산림과 초지 34.9%(181개), 습초지, 습지, 하천 14.8%(46개), 덩굴 및 관목지 1.9%(65개) 순으로 분포하였다.

2. 바람통로 분석 및 평가

바람통로 분석 및 평가를 위해 설계한 분류 기준을 적용하여 통로기능, 통로 폭원, 내부 장애물에 대한 공간분석 결과를 도출한 결과 Figure 4 및 Table 9와 같이 지표 및 비오톱 zone의 특성과 연계된 결과들이 산출되었다. 통로기능 평가 결과 신선기 생성 기능이 높은 비오톱이 51.6%(995개), 냉기/신선기 생성 기능이 없는 비오톱이 48.1%(620개)로 나타났다. 통로 폭원 평가에서는 MBR 단축길이가 200m 이상인 비오톱이 46.5%(109개), MBR 단축길이 100~200m는 24.1%(235개) MBR 단축길이가 100m 미만은 29.4%(1,297개)로 나타났다. 비오톱 내부 장애물 평가 결과에서는 ZH 1.5m 미만인 비오톱이 79.9%(1,376개), ZH가 1.5~2.0m인 비오톱이 8.6%(105개), ZH 2.0m 이상인 비오톱이 11.5%(160개)의 순으로 나타났다.

냉기/신선기 분석 및 바람통로 분석을 통한 등급 결과와 분

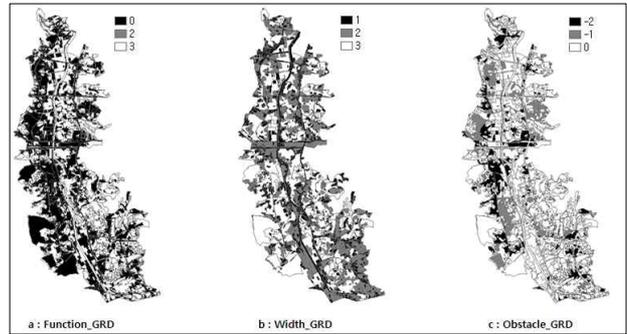


Figure 4. Evaluation of wind corridor factors

석을 위해 적용하였던 요인들과 관계성을 확인하기 위해 냉기/신선기 분석에 따른 등급별 비오톱 그룹들로부터 Area_GRD, Slope_GRD, SD_GRD, Surface_GRD 필드로부터 평균값들을 구하여 검토한 결과 Figure 5에서 보는 바와 같이 Surface_GRD는 냉기/신선기 평가 등급과 비례하는 패턴을 보였으며 Excel을 통해 구한 냉기/신선기 생성 등급과 지표면 특성 평가 점수의 평균값과의 상관계수가 (-)0.967로 상관성이 매우 높게 나타났으나 Area_GRD와 Slope_GRD, SD_GRD의 평가점수 평균과의 상관계수는 각각 (-)0.741, (-)0.883, (-)0.861로 상관성이 상대적으로 낮게 나타났다. 바람통로 기능 분석에

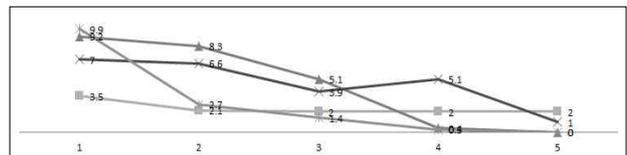


Figure 5. Biotop distribution by cold/fresh air production grade
Legend: Ave_Area_GRD, Ave_Surface_GRD, Ave_Slope_GRD, Ave_SD_GRD

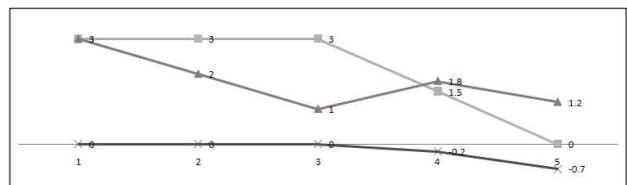


Figure 6. Biotop distribution by wind corridor grade
Legend: Ave_Function_GRD, Ave_Width_GRD, Ave_Obstacle_GRD

Table 9. Count and Area summary of each three wind corridor factor

Function_GRD				Width_GRD				Obstacle_GRD			
Score	No	(ha)	(%)	Score	No	(ha)	(%)	Score	No	(ha)	(%)
0	620	835.6	48.1	1	1297	511.2	29.4	-2	160	199.5	11.5
2	26	5.7	0.3	2	235	418.8	24.1	-1	105	149.5	8.6
3	995	895.3	51.6	3	109	806.8	46.5	0	1376	1,387.7	79.9
Total	1641	1,736.7	100.0	Total	1641	1,736.7	100.0	Total	1641	1,736.7	100.0

따른 등급별 비오톱 그룹들로부터 Function_GRD, Width_GRD, Obstacle_GRD 필드에서 평균값들을 구하여 검토한 결과 Figure 6에서 보는 바와 같이 Function_GRD와 Obstacle_GRD는 냉기/신선기 평가 등급과 비례하였으며 상관분석결과 바람통로 등급과 통로기능 평가 평균값과의 상관관계는 (-)0.884, 폭원 평균값과의 상관관계는 (-)0.763, 장애물 평가 평균값과의 상관관계는 (-)0.834로 나타났으며 이중 통로기능 평가 평균값과 장애물 평가 평균값과의 상관관계는 0.977로 나타나 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 따라서 상대적으로 상관성이 낮게 나타난 Area_GRD, Slope_GRD, SD_GRD, Width_GRD의 경우 범주화 기준에 대한 조정이 필요하고 판단된다.

바람통로 분석 및 평가에서 Obstacle_GRD는 3등급 이하와 4등급, 5등급에서 뚜렷한 상관성을 보여주고 있다. 이는 내부 장애물 평가에 있어서는 항공 LiDAR 자료로부터 추출한 건물 높이 정보 활용이 기여하였음을 나타낸다. Figure 7과 8에서 보는 바와 같이 항공 LiDAR 자료로부터 보금자리 주택개발 예정지일대의 건물 분포 특성을 조사한 결과 주변지역에서는 부천 소사구 고층 아파트 단지, 광명 뉴타운 일대 영화아파트, 상우아파트, 신원아파트, 주공아파트, 오덕아파트, 대한 숲타운 아파트, 석수 아이파크아파트, 홍익아파트, 대원아파트, 대성아파트, 에이스아파트, 상아그린아파트, 경신아파트, 미산아파트 등 아파트 단지가 병풍처럼 둘러싸고 있으나 보금자리 주택개발 예정지 내부에는 고층 아파트 단지가 보이지 않고 자연환경이 크게 훼손되지 않았음을 알 수 있다. 보금자리 주택개발 예정지 내부의 건물 분포에 대한 5m×5m 격자해상도의 항공 LiDAR 자료 분석 결과를 볼 때 건물이 없는 공간이 88.3%를 차지하고 있으며, 10m 미만의 건물이 11.6%를 차지하고 10m 이상의 건물이 1.1%를 차지하고 있다.

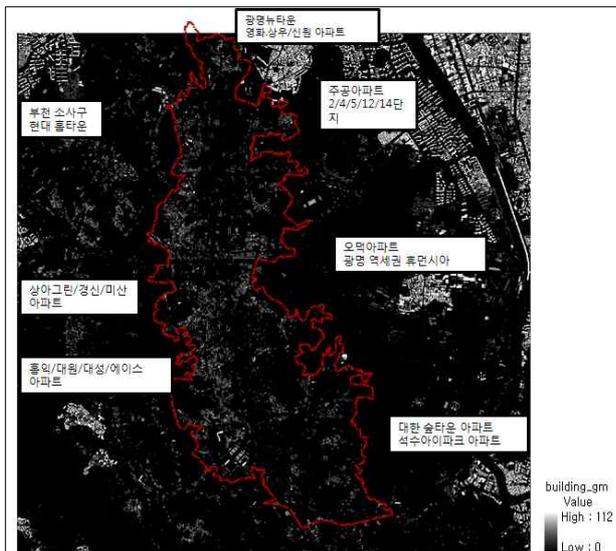


Figure 7. Surrounding apartment complex around the study area

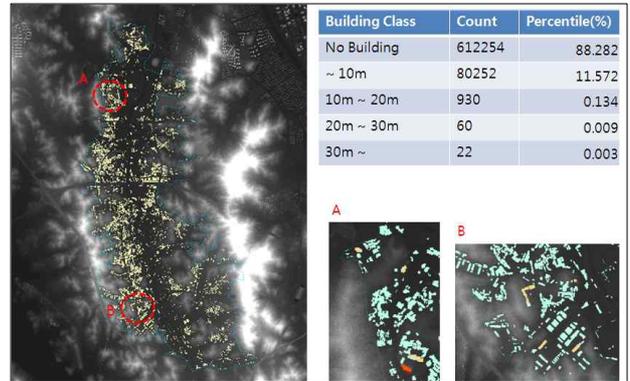


Figure 8. Surrounding apartment complex(L) and Building Area Distribution(R)

비오톱 지도의 토지이용 소분류 특성을 이용하여 내부장애물 판정 자료로 사용할 수 있는지를 ZH가 높은 소분류 항목의 순위와 내부 장애물이 있을 것으로 예상되는 고밀상업업무지와 저밀공업지의 ZH 분포 조사를 통해 검토해 보았다. ZH가 높은 상위권의 토지이용 소분류 항목 조사 결과 아래의 그림에서 보는 바와 같이 고밀상업업무지, 교육시설, 농촌형 혼합지, 저밀농업지, 묘지, 시설농업지, 농촌형 주택지, 교육시설, 저밀농업지 순서로 나열되어 있어 비오톱 Zone 유형 각각에 다양하게 건물이 분포하고 있음을 확인 할 수 있었다. 이는 비오톱의 소분류 특성이 대표적인 내부 장애물인 건물이 있는 유형과 없는 유형으로 구분이 뚜렷하지 않아 결과적으로 항공라이다 자료를 이용한 통로기능 분석이 필요함을 나타낸다.

냉기/신선기 생성 및 바람통로 기능 평가 인자인 Area_GRD, Slope_GRD, SD_GRD, Surface_GRD 및 Function_GRD, Width_GRD, Obstacle_GRD를 통해 냉기/신선기 생성 등급(ColdAir_GRD), 바람통로기능 등급(WindCorridor_GRD), 기후평가 등급(ClimateEvaluation_GRD)을 Figure 9 및 Table 10과 같이 구하였다. 냉기/신선기 생성 등급에서는 1등급 35.5%, 2등급 42%, 3등급 14.7%, 4등급, 4.4%, 5등급 3.3% 순으로 1등급과 2등급의 합이 77%로 전체적으로 찬공기 생성 등급이 우수한 것

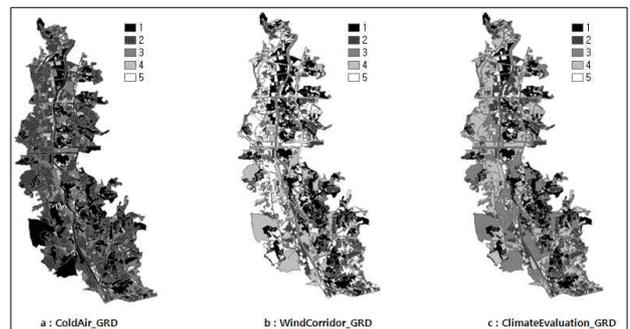


Figure 9. Cold/fresh air production grade, wind corridor grade, and climate evaluation grade

Table 10. Summary of biotop cold/fresh air production grade, wind corridor grade, and climate evaluation grade

Cold/ fresh air production	ColdAir_GRD	1	2	3	4	5	Total
	Cnt_	98	752	444	178	169	1,641
	Sum_Area	616.7	729.2	256.1	77.0	57.7	1,736.7
	Percentile	35.5	42.0	14.7	4.4	3.3	100.0
Wind corridor	WindCorridor_GRD	1	2	3	4	5	Total
	Cnt_	63	131	782	62	603	1,641
	Sum_Area	400.3	232.6	258.1	214.1	631.6	1,736.7
	Percentile	23.0	13.4	14.9	12.3	36.4	100.0
Climate evaluation	ClimateEvaluation_GRD	1	2	3	4	5	Total
	Cnt_	44	140	813	313	331	1,641
	Sum_Area	320.9	316.2	532.9	438.1	128.6	1,736.7
	Percentile	18.5	18.2	30.7	25.2	7.4	100.0

로 나타났으나, 바람통로기능 등급을 보면 1등급 23%, 2등급 13.4%, 3등급 14.9%, 4등급 12.3%, 5등급 36.4% 순으로 나타나 항공 LiDAR 자료를 활용해 비닐하우스 및 저층 건물이 포함된 비오톱이 통로기능 평가 및 등급화에 잘 반영되었다. 두 평가 결과를 종합한 기후평가에서는 1등급 18.5%, 2등급 18.2%, 3등급 30.7%, 4등급 25.2%, 5등급 7.4% 순으로 나타나 바람통로 평가 요소가 냉기/신선기 생성 평가를 보완하여 최종으로 기후평가 결과가 도출되었다.

기후 평가에 등급과 적용된 ColdAir_GRD 및 Wind Corridor_GRD 요인과의 상관성을 확인하기 위해 기후 평가 등급별 비오톱 그룹들에 대하여 ColdAir_GRD 및 WindCorridor_GRD 펠드로부터 평균값들을 구하여 검토한 결과 Figure 10 및 Table 11에서 보는 바와 같이 ColdAir_GRD의 평균값은 기후평가 등급의 증가함에 따라 1.0, 1.9, 3.0, 4.8, 5.0 순으로 증가하고 있어 두 요인 기후 평가 등급과 비례하는 양상을 보

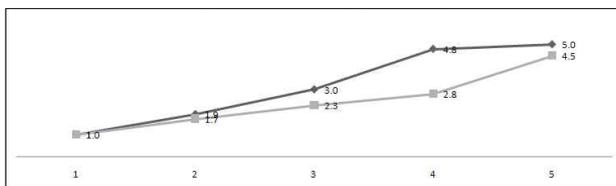


Figure 10. Biotop distribution on the climate evaluation grade
Legend: ◆ Ave_WindCorridor_GRD ■ Ave_ColdAir_GRD

Table 11. Biotop distribution by climate evaluation grade

Climate Evaluation_GRD (Biotop Count)	1 (44)	2 (140)	3 (813)	4 (313)	5 (331)
Ave_Wind_Corridor_GRD	1.0	1.9	3.0	4.8	5.0
Ave_Cold/Fresh Air_GRD	1.0	1.7	2.3	2.8	4.5

였으며 Excel을 이용해 비오톱을 대상으로 상관분석 수행 결과 기후평가 등급과 WindCorridor_GRD의 상관계수는 0.928, 기후평가 등급과 ColdAir_GRD의 상관계수는 0.855로 나타나 비오톱의 WindCorridor_GRD가 ColdAir_GRD에 비해 상관성이 높게 나타났다.

기후평가 1등급은 냉기/신선기 생성 및 바람통로 기능으로 도시기후에서 가장 높은 조절기능을 하는 면적이며 2등급은 바람통로 및 냉기/신선기 생성에 높은 조절기능을 수행하는 공간이고, 3등급은 주변까지 영향을 주지 못하지만 자체의 기후적 조절기능을 수행하는 공간의 특징을 가진다. 4등급은 일부 대기 순환을 가지나 기후 부하가 예상되며, 5등급 지역은 열부하 및 열섬화지역의 위험이 있다.

바람통로기능 등급, 기후평가 등급 및 분석과정에서 생산된 결과들을 광명시 일대의 항공사진 정사영상 모자이크 자료를 이용하여 시각적 판독을 통해 검증한 결과 비오톱을 이용한 기후평가 등급화는 지표면의 특성과 잘 맞으며 본 연구에서 의도한 기준에 의한 상대적인 등급화를 잘 반영하고 있었다.

2000년 4월 29일 촬영되어 대기보정이 완료된 Landsat ETM+ 영상으로부터 최근린 내삽법을 적용하여 정사보정 수행 후 지표면의 썩씨온도를 산출하여 비오톱 자료에 기반을 둔 각 평가인자들과 지표면 온도와의 상관성을 확인한 결과 (Refer to Figure 11) 찬공기 생성 고려 인자인 Area_GRD와 SD_GRD의 R²는 0.61 및 0.49로 비교적 높았으나 Slope_GRD와 Surface_GRD는 0.00, 0.17로 매우 낮게 나타났다. 바람통로 고려 인자인 Function_GRD, Width_GRD, Obstacle_GRD의 R²는 각각 0.98 및 0.78, 0.72로 높게 나타나 바람통로의 기능에 대한 분석과 지표면 온도 분포가 잘 맞는 것으로 판단된다.

그러나 개별인자들의 평가점수를 합산하여 구한 ColdAir_

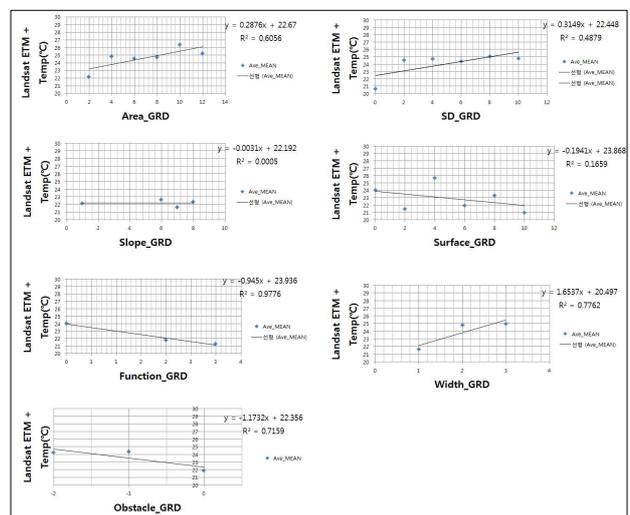


Figure 11. Correlation between Landsat ETM+ Surface Temperature (°C) and each climate evaluation factor

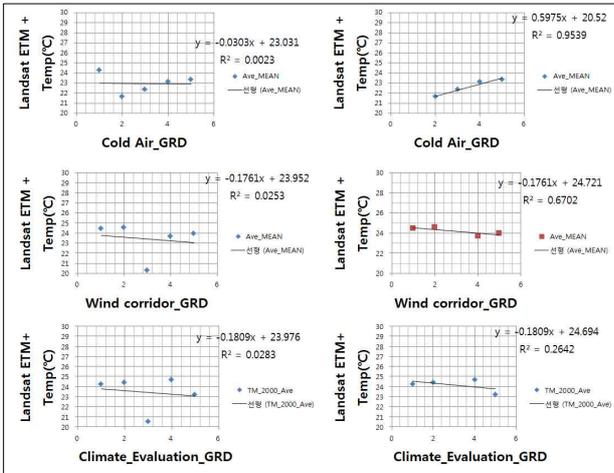


Figure 12. Correlation between Landsat ETM+ surface temperature(°C) and climate analysis/evaluation(left: all grade included, right: without exceptional grade value)

GRD와 WindCorridor_GRD, Climate_Evaluation_GRD의 R²는 각각 0.003, 0.025, 0.028로 매우 낮게 나타나 산정 인자들이 많아지고 계산이 복잡해질수록 상관성은 낮았다. 그러나 가장 낮은 등급 1개를 제외하면 R²가 0.954, 0.670, 0.264로 나타나 개선의 여지가 있는 것으로 판단된다(Refer to Figure 12).

냉기/신선기 생성 등급, 바람통로기능 등급, 기후평가 등급 및 분석과정에서 생산된 결과들을 광명시 항공사진 정사영상 자료를 이용하여 시각적 판독을 통해 검증한 결과 Climate_Evaluation_GRD와 Landsat ETM+ 온도 자료의 낮은 상관성에도 불구하고 비오톱을 이용한 기후평가 등급화는 전반적으로 지표면의 특성과 잘 맞으며 본 연구에서 의도한 기준에 의한 상대적인 등급화를 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다(Refer to Figure 13). 하지만, 비오톱 자료에도 모호한 기준으로 묶여 있는 범주에 대한 관리가 필요하다. 예로, 광명시 경기

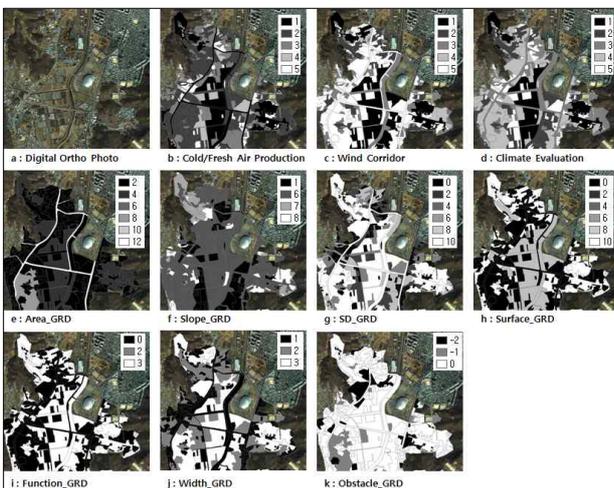


Figure 13. Climate evaluation check by using digital ortho photo

자동차 과학 고등학교 주변 산림에 위치한 군사지역 범주는 여러 피복특성이 섞여 있으나 개별 비오톱 영역에서 단일구간으로 결정하고 있어 기후평가에 일부 부정적인 영향을 미치는 것이 확인되었으며, 도로 및 하천 구간 등도 여러 피복 특성이 혼재되어 있었으나 분할 기준이 없어 기후 평가에서 높은 점수를 받은 것이 확인되었다. 이러한 문제가 해결되기 위해서는 향후 비오톱의 단위를 객관적으로 추출 할 수 있도록 명확한 기준 도출을 위한 연구가 필요하다.

IV. 결론

비오톱 지도를 기반으로 항공라이다 자료를 이용하여 광명택지개발 예정지를 사례로 기후평가 방법 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 보금자리 주택개발 예정지를 사례로 비오톱 지도와 항공라이다자료만을 이용하여 GIS 기법으로 적용해 냉기/신선기 분석 및 바람통로 분석을 수행하여 기후평가 정보를 생성하는 방법을 제안하였다.
2. 냉기/신선기 분석 및 바람통로 분석을 등급과 분석 요인들과의 상관성을 확인한 결과 기후평가 등급과 WindCorridor_GRD와의 상관계수는 0.928, ColdAir_GRD와의 상관계수는 0.855로 나타났으나 Landsat ETM+ 지표면 온도자료와 비교해본 결과 Area_GRD, SD_GRD, Slope_GRD와 Surface_GRD, Slope_GRD와 Surface_GRD의 R²가 0.61, 0.49, 0.00, 0.17, 0.98, 0.78, 0.72로 나타났다.
3. ColdAir_GRD와 WindCorridor_GRD, Climate_Evaluation_GRD의 R²는 각각 0.003, 0.025, 0.028로 산정 인자들과 범주 및 방법을 개선할 필요성이 있으나 항공사진 정사영상을 이용한 육안 검증에서는 기후평가 및 등급화 결과가 반영된 것으로 나타났다.
4. 광명시보금자리주택지구는 논, 밭 및 시설농업지역 및 좌우로 산재한 산림비오톱이 우세한 지역으로 냉기생성지 및 바람통로 역시 이들 지역을 중심으로 높게 평가되어 나타났다. 비오톱 지도와 항공라이다 자료만을 이용한 기후평가 방법을 적용한 결과 보금자리 주택개발 예정지의 기후평가등급 분포 면적 비율은 1등급 18.5%, 2등급 18.2%, 3등급 30.7%, 4등급 25.2%, 5등급 7.4% 순으로 나타났으며 본 연구방법을 통해 각각의 비오톱 단위별로 기후평가 정보를 통계적 정보와 함께 제시할 수 있었다.

유럽의 많은 도시에서는 냉기형성 및 바람통로의 효과에 대해 실증적인 연구를 수행하여 제시하고 있다(Gerst *et al.*, 2011). 쾰른시는 도시의 바람통로를 보장하기 위해 주거지 사이의 최소녹지규모, 경사지 건축제한, 주거지외곽에 기후친화적 건축 방식(저층 및 통기확보), 고밀건축 주거지의 기후적 재생사업

을 권장하고 있다(Stadt Koeln, 2012).

상기 언급한 냉기/신선기 형성 및 바람통로 관련 공간유형, 위치 및 영향규모를 정확하게 도출하기 위해서는 모델산정, 냉기 및 바람통로 조사, 측정, 현장의 추적실험 및 도시기후 지도화 등의 다양한 방법이 필요하다. 수치모델산정방식 뿐만 아니라 현장 측정자료의 경우에도 많은 불확실성이 존재한다(Regionalverband Nordschwarzwald, 2012).

본 연구에서는 토지이용, 비오름 및 라이다 영상을 활용하여 도시기후계획 및 기후공간적 지침에 활용할 수 있는 지도화를 통한 기후정책적 결정을 도출할 수 있는 방안을 제시하였다. 냉기/신선기 및 바람통로의 분석과 평가를 수치분석모델을 통해 공간축척 및 수준/규모에 따른 시뮬레이션을 통해 정량적 공간 데이터에 비해 정확한 공간별 정량적 데이터를 제공하는데는 다소의 한계는 있었다. 또한 우리나라에 도시미기후에 관한 미기후모델 개발과 분석연구가 매우 미흡한 관계로 해외 평가방법과 기준을 일부 준용하였다. 그러나 도시계획의 기반이 되는 개별 토지이용에 기반한 GIS 분석을 통해 도시 열섬저감과 도시 환기 개선을 위한 기후공간 자료 및 지도의 제공은 도시 차원에서 활용도가 높을 것으로 기대한다.

향후 토지피복유형과 비오름 유형에 따라 기상적, 열역학적, 공간물리적 특성을 정밀하게 분석한 도시미기후분석모델을 활용하여 개별적 냉기 생성과 바람길에 대한 평가수치의 도출과 보다 객관화된 등급화에 대한 연구가 필요하며, 이에 기반한 도시열섬화 저감을 위한 도시공간계획으로의 적극적인 반영이 필요하다.

인용문헌

1. 김대영(2011) 위성영상을 이용한 토지피복과 지표온도 변화의 관계: 인천시를 사례로. 국토지리학회지 45(3): 493-501.
2. 김현옥, 염종민(2012) 도시지역의 토지피복유형이 지표면온도에 미치는 영향: 경기도 일산 신도시를 중심으로. Korean Journal of Remote Sensing 28(2): 203-214.
3. 박민호(2001) LANDSAT TM 열적의 데이터를 이용한 도시열섬현상에 관한 연구. 대한토목학회논문집 21(6): 861-874.
4. 서울특별시(2008) 서울시 기후·에너지 지도 제작(2차년도).
5. 송봉근, 박경훈(2010) 기후생태적 기능을 고려한 찬공기 생성지역 분석 창원시를 대상으로. 한국지리정보학회지 13(1): 114-127.
6. 송영배(2003) 바람통로 계획을 위한 기후생태적 우선지역 분석 및 설정 방법. 한국조경학회지 31(3): 59-73.
7. 송영배(2007) 바람통로계획과 설계방법. 도서출판 그린토마토.
8. 윤용환, 주창운, 김정호(2011) 생체기후도를 이용한 비오름 유형별 환경 쾌적성 증진 방안 연구. 한국지역개발학회지 23(3): 39-58.
9. 이체연, 엄정희, 최영진, 김규량, 김근희(2011) 토지이용도와 기상모델을 이용한 서울기후분석(CAS)지도 개발. 한국지리정보학회지 14(1): 12-25.
10. 최영국, 이승복, 박인권, 김현수, 변병설(2002) 국토계획화 환경계획체계의 연계방안 연구. 국토연 2002-7.
11. 최일기, 오충현, 이은희(2008) 전국적 적용을 위한 비오름 유형분류 제안. 한국환경생태학회지 22(6): 666-678.
12. Akbari, H., M. Pomerantz and H. Taha(2001) Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas.

- Solar Energy 70(3): 295-310.
13. Baumüller, J., U. Hoffmann and U. Reuter(1992) Climate booklet for urban development, Ministry of Economy Baden-Wuerttemberg, Environmental Protection Department.
14. Baumüller, J. and U. Reuter(2003) Umweltmeteorologie und planung. Promet 30(1/2): 48-56.
15. Boukhabl, M. and D. Alkam(2012) Impact of vegetation on thermal conditions outside, thermal modeling of urban microclimate, case study: the street of the Republic Biskra. Energy Procedia 18: 73-84.
16. Eliasson, I.(2000) The use of climate knowledge in urban planning, Landscape and Urban Planning 48: 31-44.
17. Gerst, F., O. Bubbenzer and B. Mächtle(2011) Klimarelevante Einflüsse urbaner Bodeninanspruchnahme. <http://www.urban-sms.eu>
18. Gross, G. and C. Etlng(2003) Numerische simulationsmodelle. Promet 30(1/2): 28-38.
19. Haaren, C. V.(2004) Landschaftsplanung: Ulmer/UTB, 527 S.
20. Heilbig, A.(2003) Zur Geschichte der umweltmeteorologie. Promet 30(1/2): 2-14.
21. Horbert, M.(2000) Klimatologische Aspekte der Landschaftsplanung. - Technische Universität Berlin, 23. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung Nr 113 - Schriftenreihe im Fachbereich Umwelt und Gesellschaft: 1-330.
22. Krause, Ch. L.(2006) Stadt, Luft, Fluss. Teil A: Klimawirksames Planen und Bauen.
23. Kuttler, W.(2009): Klimatologie. 260 S., UTB 3099. F. Schöningh, Paderborn.
24. Landeshauptstadt Dresden(1998) Umweltbericht 1998. Stadtklima von Dresden.
25. Marks, R., M. J. Mueller, H. Leser and H.-J. Klink(eds.)(1992) Anleitung zur Bewertung des leistungsvermoegens des Landschaftshaushaltes. Band 229: 1-222.
26. Matzarakis, A.(2001) Die thermische Komponente des Stadtklimas. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universitaet Freiburg. Nr. 76.
27. Mayer, H., W. Beckröge and A. Matzarakis(1994) Bestimmung von stadtklimarelevanten Luftleitbahnen. UVP-Report 5/94: 265-268
28. McPherson, E. G. and J. Muchnick(2005) Effects of street tree shade on asphalt concrete pavement performance. Journal of Arboriculture 30(6): 303-310.
29. Mosimann, T., T. Frey, and P. Trute(1999) Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 19(4): 201-276.
30. NG, E.(2009) Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities - air ventilation assessment(AVA) of Hong Kong. Building and Environment 44: 1478-1488.
31. Planning Department, the Government of Hong Kong S.A.R.(2008) Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment - Feasibility Study. http://www.pland.gov.hk/pland_en/p_study/prog_s/ucmapweb/ucmap_project/content/content.html.
32. Regionalverband mittlerer Oberrhein(2010) Klimaanalyse Region mittlerer Oberrhein. Ermittlung natuerlicher klimatischer Ausgleichsfunktionen. http://www.region-karlsruhe.de/fileadmin/files/Abbildungen/Klimastudie/klimaanalyse_web.pdf.
33. Regionalverband Nordschwarzwald(2012) Leitfaden zur Beruecksichtigung klimatischer Ausgleichsfunktionen in der raemlichen Planung am Beispiel der Regionen Mittlerer Oberrhein und Nordschwarzwald. <http://www.klimamoro.de>.
34. Ren, C., E. NG and L. Kaztschner(2009) Review of worldwide urban climate map study and its application in planning, The Seventh International Conference on Urban Climate. <http://www.ide.titech.ac.jp/>

~icuc7/extended_abstracts/pdf/374213-3-090516013120-003.pdf.

35. Reuter, U., U. Hoffmann(1998) Umweltmeteorologie.Vom Ergebnis zur Planung. UVP-report 1/98: 5-6.

36. Scherer, D., U. Fehrenbach, H.-D. Beha and E. Parlow(1999) Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning process. Atmospheric Environment 33: 4185-4913.

37. Schreffler, J. H.(1978) Detection of centripetal heat-island circulations from tower data in St. Louis. Bound. Layer Meteorol 15: 229-242.

38. Stadt Augsburg(2007) Klimaschutz und Stadtplanung Augsburg. Leitfaden zur Beruecksichtigung von Klimaschutzbelangen in der staedtebaulichen Planung und deren Umsetzung. <http://www.augsburg.de>.

39. Stadt Koeln(2012) Flaechennutzungsplan. Anlage 6. <Http://offeneskoeln.de/>

40. Stadt Witten(2012) Untersuchung von Kaltluftabfluessen im Bereich potenzieller Gewerbestadnorte in Witten - Stockum http://www.witten.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/uw2020/Untersuchung_vo_n_Kaltluftabfluessen_an_der_Dortmunder_Strasse.pdf.

41. Su, W., Ch. Gu and G. Yang(2010) Assessing the impact of land use/land cover on urban heat island pattern in Nanjing city, China. Journal of Urban Planning and Development 136: 365-372.

42. Thamm, H.-P.(2000) Modellierung von Flaechendatensatzen der Oberflaechentemperatur, Strahlungsbilanz und Kaltluftproduktion in Strahlungsnaechten. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universitaet. <http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/tm/2001/freidok/26.pdf>.

43. Verein Deutscher Ingenieure(2003) Umwletmeteorologie Lokale Kaltluft. VDI 3787, Blatt 5.

44. 조용현, 송인주(2005) 서울시 비오톱 지도의 제작과 활용. www.si.re.kr/inc/download.jsp?dirStr=file/download/rept.

원 고 접 수 일: 2012년 10월 13일
 심 사 일: 2012년 11월 16일(1차)
 2012년 12월 12일(2차)
 게 재 확 정 일: 2012년 12월 18일
 4 인 의 명 심 사 필

부록 (APPENDIX)

시흥시 비오톱 유형 및 분류 코드

유형분류 코드	비오톱	유형분류 코드	비오톱
MA1	묘지	CB2	사육시설
MA2	절개지	CB3	농원
MB1	휴경지/ 초지	FA1	자생활엽수림
MB2	해안매립초지	FA2	자생침엽수림
MB3	벌채나지	FA3	자생혼합림
LA1	자연형하천	FA4	자생수 우점 조림수혼합림
LA2	인공하천	FB1	조림활엽수림
LA3	하천공원	FB2	조림침엽수림
LB1	연못	FB3	조림혼합림
LB2	저수지	FB4	조림수 우점 자생종 혼합림
LB3	양어장	FB5	어린나무 식재지
LC1	목본생육습지	FB6	침피엽 어린나무 식재지
LC2	초본생육습지	FC1	작은숲
SA1	기수역	HA1	단독 주택지
SA2	갯벌	HA2	공동 주택지
SB1	염습지	HA3	농촌형 주택지
DA1	건설현장	HB1	도시형 혼합지
DB1	야적장	HB2	농촌형 혼합지
DB2	기타 나지	BA1	고밀상업업무지
OA1	군사시설	IA1	상하수 처리장
GA1	대규모 공원	IA2	배수지
GA2	소규모 공원	IA3	전력시설
GA3	전통문화시설	IB1	저밀 공업지
GA4	식물원	IB2	고밀 공업지
GB1	다층식재녹지	PA1	교육시설
GB2	단순층위녹지	PA2	행정·연구기관
GC1	양묘장	PB1	대규모 운동장
CA1	논	TA1	철도시설
CA2	밭	TA2	도로시설
CA3	과수원	TB1	항만시설
CB1	시설농업지역		