

02 바람길을 활용한 미세먼지 저감 국외 사례

엄정희 | 경북대학교 산림과학·조경학부 교수(eumjh@knu.ac.kr)

바람길과 미세먼지

바람길은 도시에서 흐르는 바람의 길을 일컫는 말로써, 도시 외곽의 산림에서 생성되는 차고 신선한 공기를 도심의 개발지까지 흐르게 하여 공기 순환을 촉진함으로써 대기오염 및 열환경 개선에 도움을 주는 개념이다. 국내에서는 2000년부터 바람길 활용에 대한 본격적인 연구가 시작되었으며, 지금까지 친환경 도시 조성에 관한 다양한 지침과 계획에서 바람길 활용을 언급해왔다. 특히 최근에는 미세먼지가 사회적 이슈가 되면서 바람길이 미세먼지 저감을 위한 하나의 방편으로 고려되고 있다. 예를 들어, 산림청은 미세먼지 저감을 위해 도시 외곽산림과 도시 내 산재된 숲을 연결한 도시 바람길숲을 전국에 조성할 계획을 발표하였으며, 올해 서울, 부산, 대구 등 전국 11개 도시의 바람길숲 조성을 지원하고 있다.

바람길은 독일 남부에 위치한 슈투트가르트(Stuttgart)에서 대기 질 및 열환경 개선을 위해 처음 도입되었다. 슈투트가르트는 207.35km²의 면적에 62만 3738명(2015년 12월 기준)의 인구가 거주하는 지역(인구밀도 3008명/km²)으로, 독일의 수도인 베를린(891.7km²)과 비교했을 때, 면적은 4분의 1 정도이지만 도시의 크기에 비해 인구가 많은 지역(인구밀도 4163/km², 2017년 12월 기준)이다.

자동차 산업의 발달로 인해 공장과 자동차에 의한 대기오염 물질의 배출이 많고 대기오염 물질의 확산이 불리한 분지형 지역에 위치해 있기 때문에 대기오염으로 인한 사회적 문제가 심각해지면서, 1970년대부터 바람길을 도시계획 단계에서 고려하기 시작했다. 이후 독일의 많은 도시들은 바람길을 친환경 도시계획의 한 가지 요소로 고려해왔고, 인근 독일어권 국가뿐만 아니라 아시아 지역인 일본, 한국, 중국에서도 바람길을 계획적 요소로 도입하고자 시도해왔다.

이 글에서는 대기 질 및 열환경 개선을 위해 바람길을 활용한 국외 사례들을 살펴보고, 국내 바람길 활용에서의 시사점을 제안해보고자 한다.

독일 슈투트가르트(Stuttgart)

슈투트가르트에서는 도시의 지구단위계획, 건축계획, 녹지계획 과정에서 바람길을 고려하고 있다. 예를 들어, 철도 및 도시개발 프로젝트인 ‘Stuttgart 21 사업’의 일환으로 진행하고 있는 철도 시설 및 트랙의 지하화로 인해 생겨나는 외부공간의 활용 계획을 수립하는 과정에서도 바람체계를 고려한다(〈그림 1〉 참조).

〈그림 1〉 철도 유휴부지 활용계획 시 바람순환체계 고려 사례

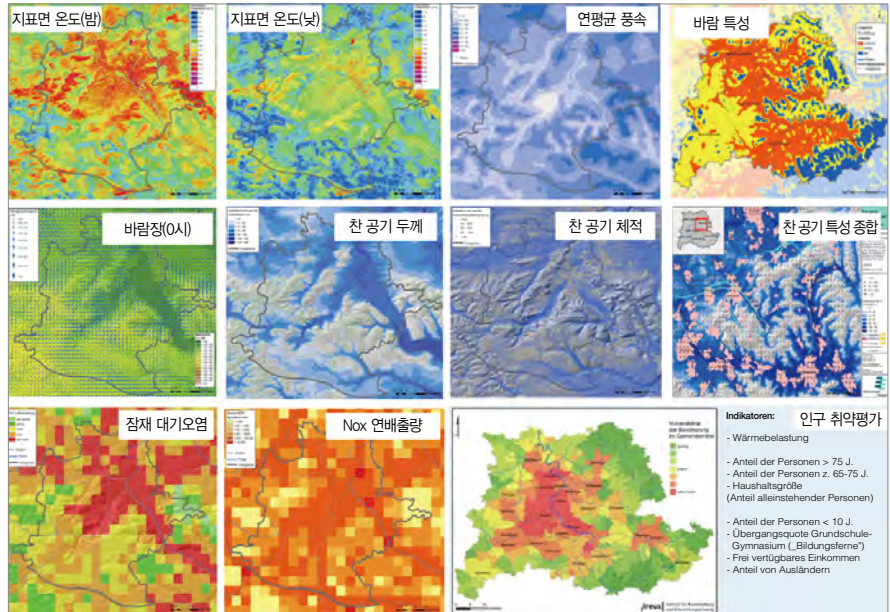


출처: Hahn 2010; 김운수, 김학열, 엄정희 2000.

바람길을 도시계획의 고려요소로 활용하기 위해서는 바람길에 대한 분석이 뒷받침되어야 한다. 슈투트가르트에서는 도시의 다양한 기후 특성을 분석하고 그 결과를 종합하여 기후분석지도(Klimaanalysekarte; Climate Analysis Map)를 구축한다. 이 지도에는 지표면 온도, 연평균 풍속, 바람장 등 일반적인 기상특성에 관한 정보뿐만 아니라, 찬 공기 두께 및 체적 등 찬 공기에 대한 특성도 포함된다(〈그림 2〉 참조). 구축된 기후분석지도는 계획제언지도(Planungshinweiskarte; Map with Recommendations for Planning)를 통해 도시의 개발계획 및 관리 방안을 수립하는 과정에서 과학적 근거를 제공하기도 하며, 지구단위계획, 건축계획, 도시 내 녹지계획을 수립하는 과정에도 활용된다.

이와 같이 다양한 공간계획의 과학적 근거 자료로 활용되는 기후분석지도에는 어떤 내용들이 포함되어 있을까? 기후분석지도는 지역의 기후조건을 개괄적으로 설명하는 도구로써, ① 기후톱(Klimatope), ② 찬 공기 영역(Kaltluftbereiche), ③ 대기 교환(Luftaustausch), ④ 오염 배출을 통한 부하(Belastung durch Emissionen) 등의 내용을 포함하고 있다(〈그림 3〉 참조).

〈그림 2〉 도시기후지도 구축을 위한 기초 자료(예)



출처: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012.

① 기후톱은 동일한 미기후 특성을 가지는 공간을 의미하는 것으로, 슈투트가르트 기후 분석지도에는 ‘철도시설, 산업지, 상업지, 도심, 도시, 교외, 가든 타운, 도심 내 오픈스페이스, 산림, 초원 및 경작지, 수공간’ 등 11개 유형의 기후톱으로 구분되어 있다.

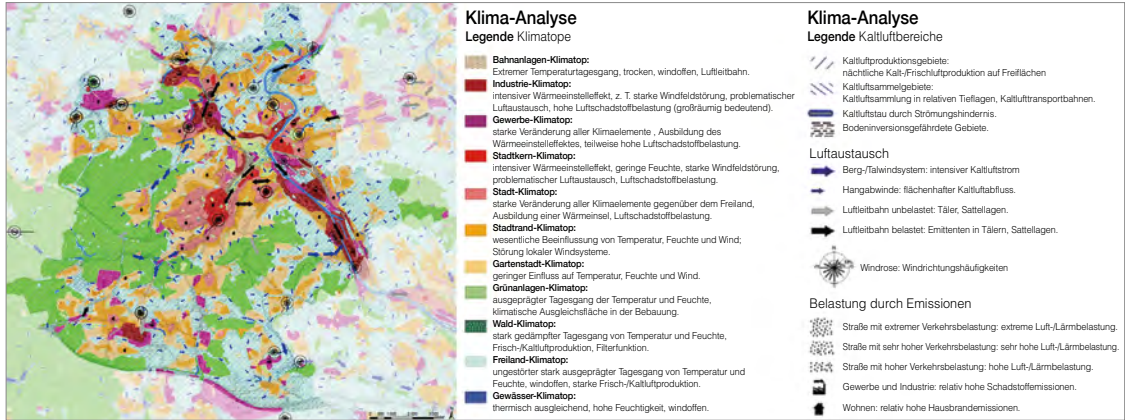
② 찬 공기 흐름을 이용한 도시의 바람순환은 특히 대기가 정체하는 기상 여건에서 중요한 기능을 한다. 따라서, 야간에 신선한 공기를 공급하는 찬 공기 생성 및 집수 구역은 기후분석지도에서 구별되어 특징지어진다. 이와 더불어, 찬 공기 정체 지역과 기온역전 위험지역이 표시되어 있다.

③ 찬 공기 영역과 함께 지역의 공기순환 통로가 표시되는데, 강한 찬 공기 흐름을 가지는 산곡풍, 경사면을 따라 하강하는 찬 공기 유동, 대기오염에 대한 데이터와 함께 지역 바람에 대한 공기유도 통로 및 풍향별 풍속계급 빈도를 나타내는 바람장미가 표시된다.

④ 오염 배출로 인한 부하는 도로교통, 상업 및 공업지, 주거지로 구분해서 표시하는데, 특히 주요 도로는 평균 1일 교통량을 기준으로 세 부분(극심한/매우 높은/높은 부하)으로 구분하여 표시한다.

한편, 기후톱과 찬 공기 영역은 구역별로 구분되지 않으며, 과도 영역(transient area)의 경계에 대한 정의와 분석 자료에 기반한 지도화의 정확성 등을 고려해서 100m까지 허용 오차를 두고 있다. 따라서 보다 정확한 결과가 필요한 경우에는 상세한 평가를 해야 한다.

〈그림 3〉 슈투트가르트시의 기후분석지도

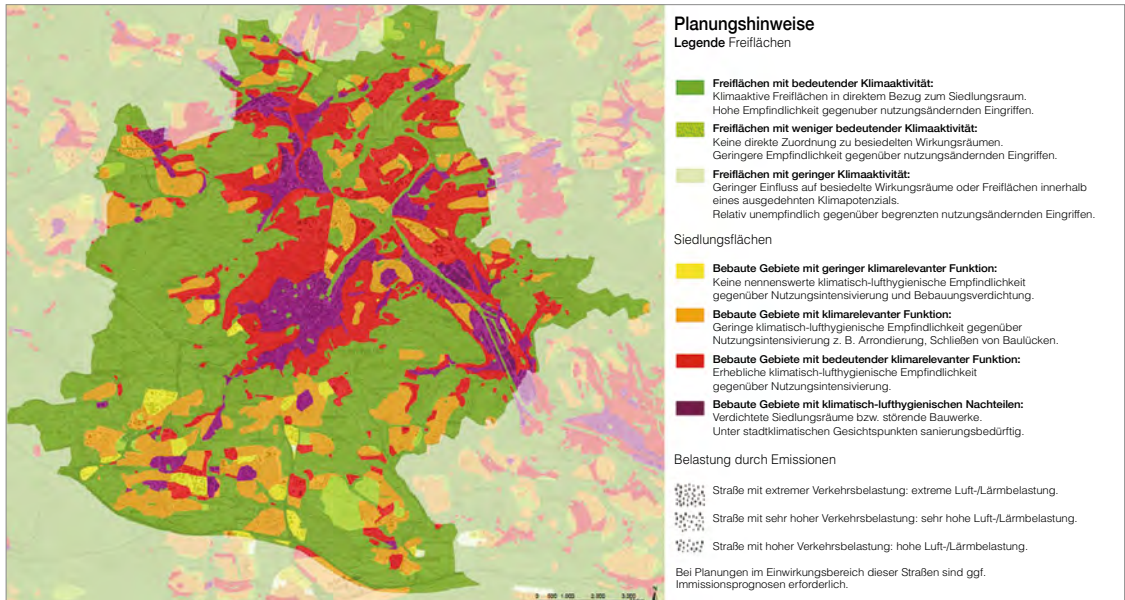


출처: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012.

계획을 위한 권장 사항이 포함된 계획제언지도는 기후 관련 기능이 있는 지역을 보여준다. 즉, 계획과 연관 있는 정보 및 기후분석지도에 표시된 자료의 통합 평가가 포함되어 있다. 이 지도는 토지 이용의 변화에 따른 특정 토지의 기후적 민감도를 제시하며, 토지이용계획 및 구역 설정의 맥락에서 기후적 특성에 기초한 계획 조치를 도출할 수 있도록 정보를 제공한다.

계획을 위한 권장 사항은 주로 토지 이용의 구조적 변화와 관련이 있다. 예를 들어 수목

〈그림 4〉 슈투트가르트시의 계획제언지도



출처: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg 2012.

과 초지로 구성된 공간으로의 변화는 대규모 불투수 포장지역 조성 및 구조물 건설에 비해 기후적으로 적은 영향을 미친다. 기후분석지도와 마찬가지로 계획권장 사항은 개별 구역에 한정되지 않으며, 최대 100m까지 허용 오차를 두고 있다.

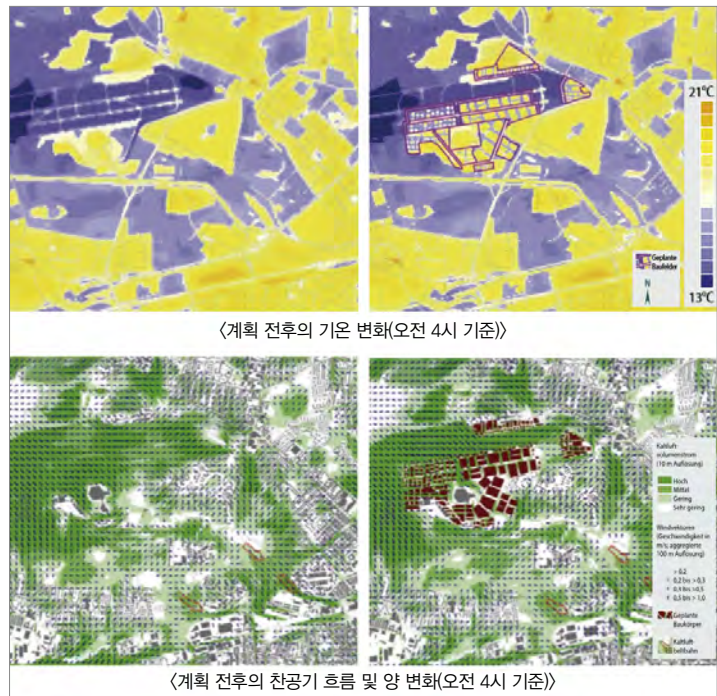
계획제한지도의 구성을 살펴보면 크게 오픈스페이스(Freiflächen)와 개발지역(Siedlungsflächen)으로 구분되어 있다. 오픈스페이스는 기후적으로 작용하는 정도에 따라 세 항목으로 구분되고, 개발지역은 기후 관련 기능의 작용 정도에 따른 세 가지 항목 및 기후와 대기 위생적 측면에서 유리하지 않은 지역으로 분류되어 있다(〈그림 4〉 참조).

독일 베를린(Berlin)

독일 북부에 위치한 베를린은 슈투트가르트와 달리 평지 지형에 위치해 있으며, 기후변화로 인한 도시 온난화 현상에 따라 도시열섬, 폭염 등 열환경 개선을 위해 바람길을 활용하는 방안이 초점을 두고 있다. 특히, 슈투트가르트의 바람길 계획처럼 찬 공기가 생성되는 지역에 대한 보전과 관리를 개발과정에서 고려하고 있는데, 하나의 사례로 테겔(Tegel) 공항 개발과정을 소개하고자 한다.

베를린 서부 시내에 위치해 있는 테겔 공항은 현재 건설 중인 베를린-브란덴부르크 국제공항이 완공되면 폐쇄될 예정이다. 베를린시에서는 폐쇄 이후 공항의 사후 활용에 대한 다각적인 논의 과정에서, 도시 열환경 관리를 위해 공항 부지 내 차고 신선한 공기의 생성지역을 보호하는 계획을 수립하고 있다. 이를 위해, 계획의 수립 전과 후에 대한 열환경 분석을 실시하고, 계획 수립이 찬 공기 생성과 흐름에 미치는 영향을 분석하여 찬 공기 생성지역 보전 및 관리 계획에 반영하고 있다(〈그림 5〉 참조).

〈그림 5〉 공항부지의 사후 활용계획 과정에서의 열환경 분석 사례

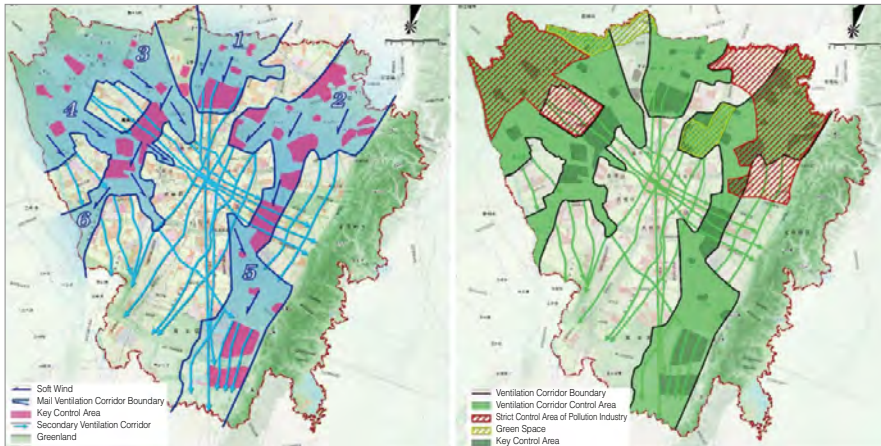


출처: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011.

중국 청두(Chengdu)

대기오염이 심각한 사회문제로 대두되고 있는 중국에서는 대기오염 해소를 위해 바람길 연구를 활발히 진행하고 있다. 청두(Chengdu)시는 스모그 문제가 심각한 도시 중의 하나로, 높은 오염물질 배출량과 함께 분지 기후의 영향을 받는 지역이다. 이에 청두시는 대기오염 저감 정책과 더불어 바람길 활용에 대한 연구를 진행하였는데, 잠재 바람 환경 평가, 도시 바람길 개발 원칙·관리 등 바람환경의 분석·평가를 바탕으로 바람길을 도시개발 계획과 연계하기 위한 내용을 다루고 있다. <그림 6>은 청두시의 도시 바람길 계획을 나타내는데, 구역별 바람길 조성 전략을 살펴보면 ① 우세한 풍향인 북동쪽 및 북쪽을 기본 방향으로 하고 미세바람을 도심까지 이동, ② 용문산 골짜기의 북서풍 등 국지순환풍 이용, ③ 청두시의 조밀한 도시구조 이용, ④ 녹지와 하천 등을 이용, ⑤ 바람이 적고 온도가 높은 지역을 우선적으로 고려, ⑥ 청두시 생태계획과 연계 등이다.

<그림 6> 중국 청두시의 바람길 활용



출처: Ren, et al. 2018.

야간의 찬 공기 흐름, 그리고 바람길

바람길 개념이 시작된 독일의 사례처럼, 바람길 계획은 기상조건에 의해 형성된 주풍향을 이용하는 것이 아니라, 지형과 토지피복에 의해 발생하는 지역의 바람순환체계를 이용하는 것이다. 특히, 바람길 계획에서 중요하게 고려되는 것이 차고 신선한 공기, 즉 찬 공기(Kaltluft; cold air)가 생성되는 지역을 보전하는 것이다. 찬 공기는 지표면에서 일어나는

에너지 전환에 의해 발생하는 주변보다 낮은 온도의 공기를 의미한다. 일반적으로 구름이 없는 맑은 야간에 나지 및 초지와 같이 일교차가 큰 지표면에서 찬 공기가 가장 많이 생성된다고 알려져 있다. 특히, 산림지역은 오염물질이 포함되지 않은 신선한 공기가 생성되는 곳이며, 생성된 찬 공기가 경사면을 따라 이동하기에 유리한 지형적 조건을 갖추고 있다.

이러한 찬 공기 흐름은 기후 및 대기환경 측면에서 문제가 되는 기상조건(예: 대기 정체 등의 기상여건 악화)에서 신선한 공기를 도심으로 수송하는 유일한 방법이다. 고기압의 기상상황이 오래 지속되고 그에 따른 대기 역전 형성이 증가할수록, 찬 공기의 영향은 도시 내 공기 교환을 위해 더 중요해진다. 찬 공기가 오염된 도시의 공기를 완전히 대체할 수는 없지만, 대기 혼합 효과를 통해 폭염과 대기오염을 줄일 수 있다.

산림지역이 국토의 63%에 해당하며 많은 도시들이 산지에 인접해 있는 국내 여건을 감안할 때, 국내의 많은 도시들은 찬 공기 흐름을 비롯한 지역의 바람순환체계를 이용해서 대기 질을 개선하고 폭염과 열대야가 적은 쾌적한 도시환경을 조성할 수 있는 잠재력을 지니고 있음을 확신한다. 🌱

참고문헌

- 김운수, 김학열, 엄정희, 2000. 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구. 서울: 서울시.
- 엄정희, 2000. 도시녹지계획을 위한 바람통로 활용방안 연구: 용인시를 대상으로. 석사학위논문, 서울대학교 환경대학원.
- Hahn, M. 2010. Rosenstein: Wir gestalten unsere Stadt von Morgen. <https://www.stuttgart.de/item/show/413249> (2019년 5월 31일 검색).
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur, 2012. *Städtebauliche Klimafibel: Hinweise für die Bauleitplanung*. Stuttgart: Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg.
- Ren, C., Yang, R., Cheng, C., Xing, P., Fang, X., Zhang, S., Wang, H. and Shi Y., et al. 2018. Creating breathing cities by adopting urban ventilation assessment and wind corridor plan: The implementation in Chinese cities. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics* 182: 170-188.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2011. *Stadtentwicklungsplan Klima: Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern*. Kulturbuch: Berlin.