

국제화 출장 결과보고

- 2020년 1분기 -

2020. 01.

스 마 트 도 시 계 획 처

||| 목 차 |||

I . 출장개요	1
II . 출장내용	4
1. 슈투트가르트시청 환경보전국 방문	4
2. 슈투트가르트 바람길 답사	16
3. 슈투트가르트 막스플랑크연구소 방문	18
4. 프라이부르크 도심 답사	21
5. 프라이부르크 보봉마을 답사	24
6. 프랑크푸르트 도심 답사	29
III . 시사점	32

□ 출장목적

- 『친환경 에너지저감형 신도시 조성방안 수립 연구용역』시행과 관련하여 성공적인 용역 성과도출을 위하여 친환경 도시기반 구축과 관련된 도시계획 제도, 기법, 사후관리 현황, 친환경 에너지저감형 도시 공간 구조 개발 사례 견학

□ 출장기간

- 2020.01.12. ~ 2020.01.18. (5박 7일간)

□ 출장자

- 스마트도시계획처 이태형 부장(113612), 신동혁 차장(115150)
* 용역연구진 기서진 교수 등 5인 동반

□ 대상국가·지역 : 독일(슈투트가르트, 프라이브루크, 프랑크푸르트)

① 슈투트가르트

- (도시특성) 독일 내에서 6번째로 큰 도시로 인구 634,830명, 면적 207,35km²로 메르세데-벤츠, 포르세, 보쉬의 본사가 있는 독일 최대의 자동차 도시, 슈투트가르트는 산지를 끼고 있는 분지형 도시로 도시가 발달함에 따라 지형은 도시기능에 장애요인으로 작용(교통정체, 공기 흐름 차단으로 인한 미세먼지 농도 상승 등)하여 이를 해결하기 위해 도시의 열과 바람을 고려한 친환경 도시계획을 추진

② 프라이브루크

- (도시특성) 독일 남서부 바덴-뷔르템베르크 주의 도시로, 독일에서 기후가 가장 따뜻한 도시(일조량이 가장 많은 도시), 인구 230,241명, 면적 153,06km², 1970년대초 인근지역의 원전건설계획에 대한 지역 주민들의 격렬한 저항 이후 원전 없이도 친환경적인 방법으로 도시를 유지할 수 있다는 것을 증명하기 위해 친환경 도시로 변모

③ 프랑크푸르트

- (도시특성) 인구는 70여만명으로 독일에서 5번째, 금융·증권 등 경제 중심지로 유럽중앙은행, 독일연방은행 및 주요은행 본점이 위치하고 있음. 유럽에서 손꼽히는 현대적 대도시로 현대식 건물이 대부분이며, 제2차 세계대전 당시 도시의 대부분이 완파되어 오래된 건축물을 찾기 어려움. 도시전체 면적의 1/3이상이 녹지대일 만큼 녹지 환경을 조성하고 더불어 패시브 하우스 정책을 중심으로 에너지저감형 친환경 녹색도시로 대표됨

□ 출장일정

출장일정		출발지	도착지	방문기관	업무수행내용	이동수단 (비행편명)
월일(요일)	시					
01/12 (일)	13:20 ~ 02:50 (현지시간 17:20)	인천	프랑크 푸르트	- 이동	- 인천 → 프랑크푸르트 - 프랑크푸르트 → 슈투트가르트	- KE 905 - 차량이동
01/13 (월)	09:00 ~ 14:00	슈투트 가르트	슈투트 가르트	-Rossbolleng aessle 현지 답사	- 슈투트가르트 시내 도시건축물 일를 녹지화를 통한 열섬효과 완화 및 바 람길 조성 현장 방문	- 차량이동
	14:00 ~ 18:00	슈투트 가르트	슈투트 가르트	- 슈투트가르트 시청 (도시기후 과)	- (시청방문) 시청 공무원 이현정 박사 전문가 자문 및 세미나 (도시의 대기 오염, 열섬현상 등을 완화시킬 수 있 는 도시기후 공간계획제도 및 바람길 조성 정책 현황 사례 면담)	- 차량이동
01/14 (화)	09:00 ~ 18:00	슈투트 가르트	슈투트 가르트	- 슈투트가르트 시 도시 현장 답사	- 열섬 효과 완화 및 바람길 조성이 완료된 현지 시내 도시 (3대 바람길 (Nesenbach, Feuerbach, Pohracker 계곡부) 현장 답사 및 생태환경 관찰	- 차량이동
				- 막스플랑크 연구소	- (연구소 방문) 연구소 그룹리더 정 순정 박사, 선임연구원 손광호 박사 간담회 (도시 내 효율적 에너지 (대 용량) 저장 시스템 개발 현황 및 전 문가 자문)	
01/15 (수)	9:00 ~ 12:00	슈투트 가르트	프라이 부르크	- 이동	- 슈투트가르트 → 프라이부르크	- 차량이동

	13:00 ~ 18:00	프라이 부르크	프라이 부르크	- 프라이부르크 시 도시 현장 답사	- 도심의 내부의 열섬현상 완화를 위 한 도시 설계 현황 조사 - 모빌레(자전거 주차공간), 베히레(수 로) 등 친환경적인 도시 설계를 이 용한 도시 내부의 온도 및 열섬현 상 완화 사례 조사	- 차량이동
01/16 (목)	09:00 ~ 18:00	프라이 부르크	프라이 부르크	- 탄소제로 보봉마을 현장 답사 (Vauban)	- (stuttgart 시청 공무원 이현정 박사 님이 가이드) Freiburg 환경 공학과 교수님과 간담회, 플러스에너지하우 스·헬리오트롭·패시브하우스 등 건 축물 현장 탐방 - 태양열과 태양광 설비(태양에너지사 용)및 재생가능에너지 활용 사례조 사 - 친환경 에너지 도시설계 및 도심의 건물 관리 기준 조사	- 차량이동
01/17 (금)	09:00 ~ 12:00	프라이 부르크	프랑크 푸르트	- 이동	- 프라이부르크 → 프랑크푸르트	- 차량이동
	13:00 ~ 16:00	프랑크 푸르트	프랑크 푸르트	- 프랑크푸르 트 도시 현 장 답사	- 도시의 그린벨트 및 도심현장 녹지 공간 배치 현장 조사	
	19:30 ~	프랑크 푸르트	인천	- 이동(항공)	- 프랑크푸르트 → 한국 * 1.18(토) 13:55 인천도착	- KE906

1

슈투트가르트시청 환경보존국 도시기후과 방문

□ 방문개요

일 시 : 2020년 01월 13일 (월)

장 소 : 슈투트가르트시청 환경보존국 도시기후과
(Landeshauptstadt Stuttgart, Amt fuer
Umweltschutz, Stadtklimatologie)

면 담 자 : Silke Drautz(부서장), 이현정 박사(선임연구원)

□ 기관소개

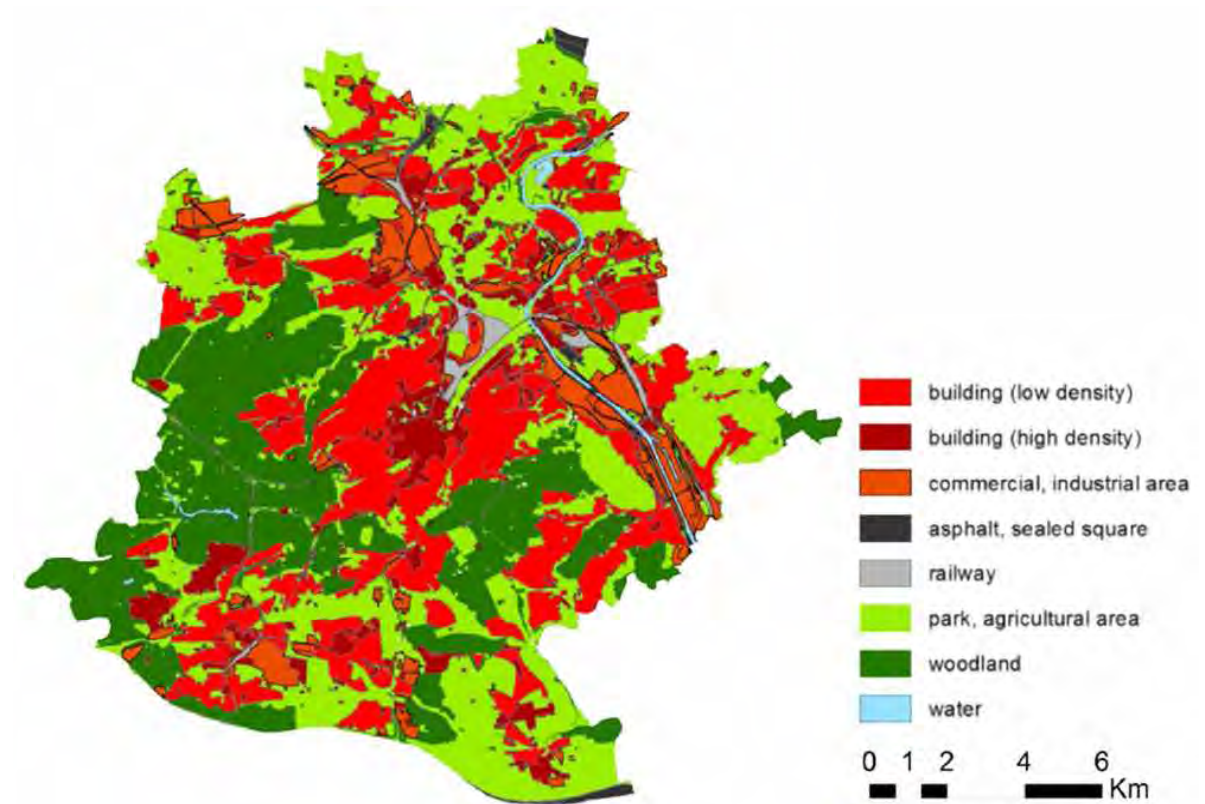
- 슈투트가르트 시청 소속 환경·도시기후변화 대응/적응 업무를 담당하는 부서
- 슈투트가르트시는 도시 기후학 분야에서 전통이 깊음
 - 1938년 시의회는 슈투트가르트의 기후 조건에 대한 연구를 수행하고 도시 개발과의 관계를 입증하기 위해 기상학자를 고용하기 시작
 - 약 80년 전부터 슈투트가르트시에서는 이미 도시위생은 도시 주민의 건강을 증진하고 유지하는 수단으로 인정되었음

□ 면담조사 내용

- 슈투트가르트 도시 기후
 - 슈투트가르트시는 분지 형태의 복잡한 지형 구조를 가진 독일의 대표적인 녹색도시 중 하나로 토지의 39%를 그린벨트로 지정하여 개발을 제한하고 있으나 산업 및 상업지역 역시 토지의 많은 부분을 차지하

고 있음. 도시의 위치, 지형, 토지 이용 또는 건물의 분포 등이 함께 어우러져 슈투트가르트의 특정 도시 미기후를 형성하게 됨

- 슈투트가르트는 전반적으로 풍속이 낮으며 이로 인해 원활한 대기 교환에 어려움을 겪고 있지만, 도시 중심을 둘러싼 주변 고지대에서 생성된 야간의 차고 신선한 공기가 도시 일부 지역으로 유입되어 취약한 열 환경 분포와 대기오염을 완화해주는 역할을 함

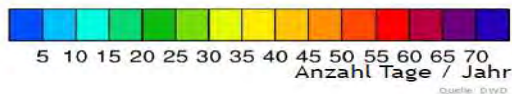
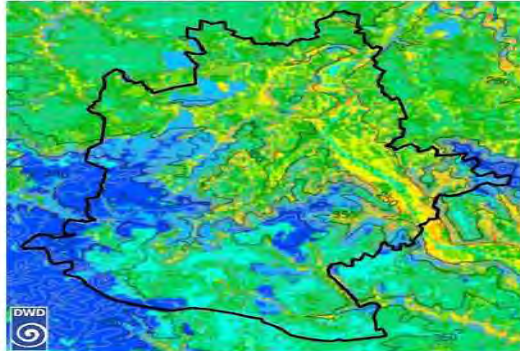


〈슈투트가르트 토지이용도〉

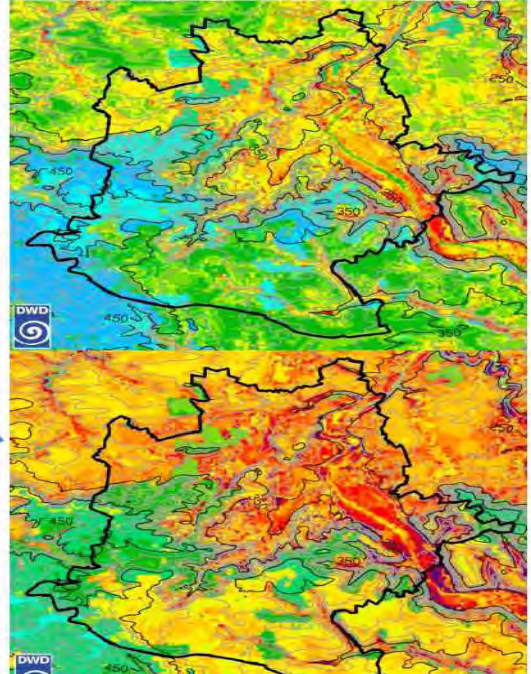
- 슈투트가르트처럼 분지 형태의 지형을 보이는 도시들은 바람이 도시 중심으로 원활하게 유입될 수 있도록 이를 반영한 도시계획이 매우 중요함
- 더불어 현재 기후변화로 인해 점차 더워지고 있는 여름철 도시를 고려할 때 도시를 냉각할 수 있도록 바람의 유입을 고려함과 동시에 도시 내로 유입되는 열을 줄이는 도시계획이 필요함

Tage im Jahr mit starker
Wärmebelastung,
(Gefühlte Temperatur max $\geq 32^{\circ}\text{C}$)

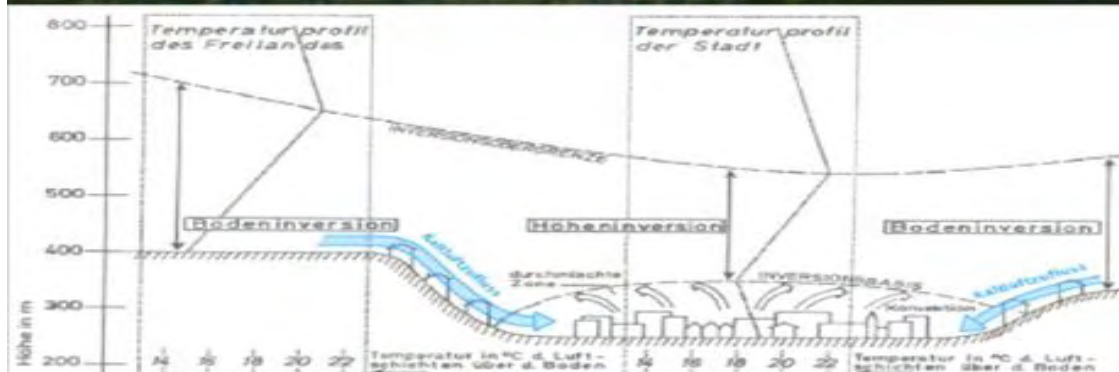
1971 - 2000



2031 - 2060



<과거 71~00년까지 30년간의 평균 온도(왼쪽)와, 향후 60년 까지 예측되어진 (위) 일반적, (아래) 보수적으로 예측된 시뮬레이션 결과. 과거에는 1년 중 32도를 넘는 날이 평균 5~10일 정도 였다면, 향후 예측되는 결과는 1년 중 40~60일 이상 될 수 있음>



<1년 중 225일이 역전층 현상이 나타나 오염물질이 도시 내부에 정체됨>

- 기후조건을 감안한 도시계획을 위하여 건설법(Baugesetzbuch) 제정

Baugesetzbuch

STUTTGART



§ 1 Aufgabe, Begriff und Grundsätze der Bauleitplanung

(1) Aufgabe der Bauleitplanung ist es, die bauliche und sonstige Nutzung der Grundstücke in der Gemeinde nach Maßgabe dieses Gesetzbuchs vorzubereiten und zu leiten.

(5) Die Bauleitpläne sollen eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung, die die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang bringt, und eine dem Wohl der Allgemeinheit dienende sozialgerechte Bodennutzung unter Berücksichtigung der Wohnbedürfnisse der Bevölkerung gewährleisten. Sie sollen dazu beitragen, **eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern**, sowie die städtebauliche Gestalt und das Orts- und Landschaftsbild baukulturell zu erhalten und zu entwickeln.

§ 1a Ergänzende Vorschriften zum Umweltschutz

(5) **Den Erfordernissen des Klimaschutzes soll sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen, Rechnung getragen werden.**

Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abt. Stadtklimatologie

10

〈도시 건설법 주요내용〉

- 슈투트가르트시는 열과 바람을 고려한 친환경 도시계획을 수행하고 있는 세계적으로 대표적인 도시 중 하나로 도시 기후연구부는 도시 계획과 함께 수많은 프로젝트를 추진하고 있음
- 쾌적하고 건강한 도시를 만들기 위한 노력으로 슈투트가르트 도시계획과는 환경보전과와 함께 GIS를 베이스로 한 "지속 가능한 건물 및 토지관리(sustainable building land management; Nachhaltiges Bauflächenmanagement Stuttgart (NBS))" 시스템을 운영하고 있음
- 현재 본 시스템은 약 360개의 지역에 적용되어 관리되고 있으며 주거환경 개선을 위한 구체적인 도시계획 방안을 마련하기 위해 "Klimaplanungsspass Stuttgart(KlippS)" 프로젝트를 통해 도시 열 취약성 평가 방법을 개발



Klipps - Klimaplanungspass Stuttgart

Bürgerhospital

NBS Nr. 818

Stadtbezirk:	Nord	Adresse:	Turlenstraße
Grundstücksfläche:	ca. 3,93 ha	Verfügbarkeit:	mittelfristig
Eigentümer:	LH Stuttgart	Flächennutzung:	Kliniknutzungen

Thermischer Komfort (TK)

Bewertungsindikatoren:

Lage / Umgebung: Hanglage / z.T. versiegt,	Bebauungsdichte Umgebung: mittel	Vulnerabilität: gering
Urbane Wärmeinsel: mittel,	Kaltluftproduktion Umgebung: sehr gering	bis mittel
→ human-biometeorologische Wertigkeit: 0,40 (mittel) von max. 1,0		
→ human-biometeorologischer Handlungsbedarf: 0,694 (mittel) von max. 1,0		

Luftqualität (LQ)

Bewertungsindikatoren:

Feinstaubkonzentration (PM ₁₀ , Jahresmittel):	19-22 µg/m³
Stickstoffdioxidkonzentration (NO ₂ , Jahresmittel):	28-32 µg/m³
→ Luftbelastungsindex: 0,65 (mittel) (1,0 bedeutet Grenzwert erreicht!)	

Vertiefende Untersuchungen:

TK: numerische Simulationen zum thermischen Komfort liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
weitere Optimierung und Vergleich von Planungsvarianten möglich

LQ: numerische Simulationen zur Lufthygiene liegen vor; Material einsehen: [\(link - Medien/NBS\)](#)
mikroskalige Simulation bei Bedarf möglich.

Fazit / Planungshinweise:

Bestehende Versiegelung und Bebauung verursachen eine mittlere thermische Belastung. Trotz sehr geringer Kaltluftproduktion in der Umgebung profitiert die Fläche von tw. vorhandenen Kaltluftabflüssen, die es zu unterstützen gilt. Es herrscht eine mittlere, entlang der Turlenstraße auch hohe Luftschadstoffbelastung. Die NO₂-Belastung ist im Verhältnis zu Feinstaub etwas ausgeprägter.

TK: Nur mäßig dicht bebauen, Versiegelungsgrad nicht erhöhen im Vergleich zur Ist-Situation, es wird eine gut durchströmbare, weniger riegelartige Bebauungsstruktur empfohlen. Baumpflanzungen sowie Dach- und Fassadenbegrünung zur Reduzierung des Hitzeeintrags tagsüber empfohlen. Die Detailberechnungen zeigen das thermische Verbesserungspotential zur Begrünungsmaßnahmen auf und geben Hinweise auf sinnvolle Baumstandorte.

LQ: Entlang der Turlenstraße und an der Ecke Tunzsdorfer Str. zur Heilbronner Str. hin abriegelnde Bauweise bzw. Abstand bzw. Aufenthaltsräume auf die straßenabgewandte Gebäudeseite zu legen, möglichst lokal emissionsfreie Wärmeversorgung.

Ansprechpartner Stadtklima:

Herr Kapp
(0711) 216 – 88 685
rainer.kapp@stuttgart.de

Ansprechpartner Stadtplanung:

Herr Schmid
(0711) 216 – 20 056
matthias.schmid@stuttgart.de

Klimaatlas u. human-biomet. Bewertung



Kaltluftverhalten Umgebung



<Klipps 프로젝트를 통해 개발된 슈투트가르트의 지속 가능한 건물 및 토지관리 방안 예시>

○ 도시계획을 통한 열 취약지역의 구체적 개선 방안

- 1단계에서 평가된 도시 열 취약성 결과 중 대응방안 마련이 시급한 6개의 지역에 대해 2단계에서는 3차원 도시 미기상 모델인 ENVI-met 4.0을 적용하여 도시계획 시나리오별 도시 열저감 방안을 도출함
- 사용된 모델은 도시 미기상 분야의 많은 연구에서 적용 및 검증된 모델로 도시 내 열을 평가할 수 있는 기상 변수인 기온(T_a , air temperature), 풍속(v , wind velocity), 평균복사온도(T_{mrt} , mean radiant temperature) 등을 3차원 도시 공간별로 계산이 가능하며 서브 모듈을 이용해 인체가 느끼는 열 체감을 평가할 수 있는 인체 열 생리학적 지수인 PET(physiologically Equivalent Temperature) 또는 UTCI(Universal Thermal Climate Index)의 계산이 가능
- 슈투트가르트시는 약 360개의 NBS 전 지역에 대해 KlippS 프로젝트를 통해 개발된 스크리닝 방법을 활용하여 우선 도시 열 취약지역을 평가한 후 취약성 우선순위에 따라 구체적이고 장기적인 대응방안으로 각 NBS 지역에 적합한 도시 공간계획을 수립함
- 그림1은 다양한 시나리오를 바탕으로 도시 열 취약지역을 개선하기 위한 사례로써 시뮬레이션 모델을 이용해 현재의 도시 열 상태(시나리오 A)와 이를 개선하기 위한 녹지 및 새로운 건축계획(안)을 반영한 시나리오(시나리오 B-E)를 보여줌
- 제안된 시나리오들은 모델 시뮬레이션을 통해 기온, 풍속, 평균복사온도, 인체 열 생리학적 지수 등과 같이 관련 도시 기상 변수의 정량적인 결과로 평가됨

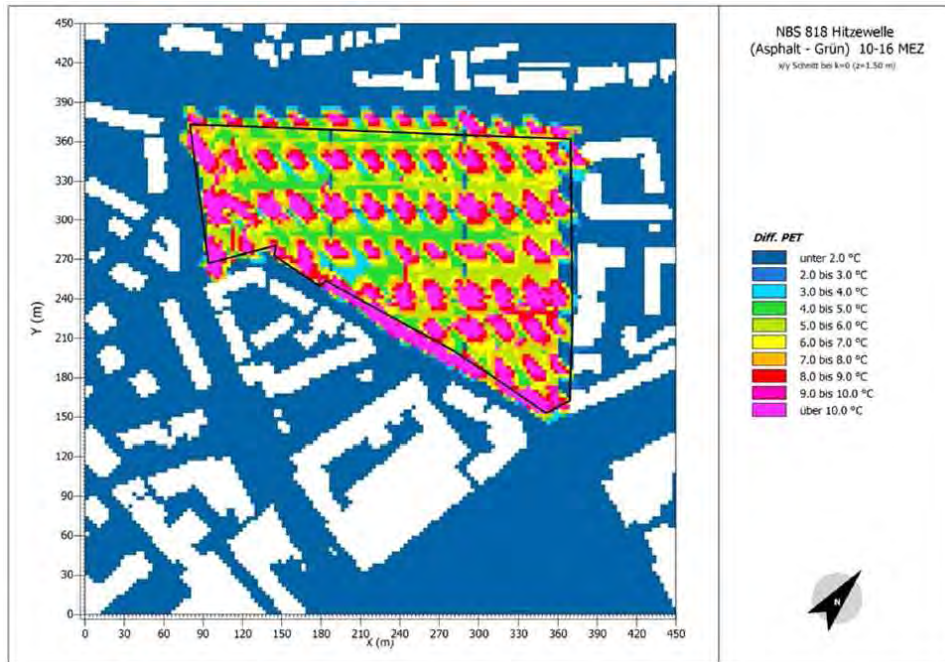
시나리오 A 현재 상태	
시나리오 B 가상의 포장 공간 상태	
시나리오 C 녹지 상태	
시나리오 D 새로운 도시계획(안)	
시나리오 E 시나리오 D에서 녹지를 제외한 상태	

〈그림 1 NBS 818 지역에 대한 시뮬레이션 시나리오〉

- 그림2는 NBS 818 지역에 대하여 도시 미기상학적으로 가장 취약한 상태인 표면 포장 상태 (시나리오 B)와 열 저감이 가장 큰 녹지 배치

조건 (시나리오 C)의 인체 열 생리학적 지수인 PET의 차이를 정량적으로 보여주고 있음

- 슈트트가르트시 환경 보전과와 도시계획과는 시나리오별로 분석된 종합적인 도시 열 취약성을 결과 (아래표)를 바탕으로 새로운 도시계획(안)의 평가와 수정 보완을 거친 후 물리적으로 실현 가능한 최종 도시 공간계획을 결정하게 됨



〈그림 2 NBS 818 지역의 시나리오 B 와 C 의 인체 생리학적 평형온도 차이 (폭염 발생일 2003 년 8 월 4 일, 10-16 시 평균값)〉

[표 1] NBS 818 지역의 시나리오별 평균 기온 (T_a), 지표온도 (T_s , surface temperature), 평균복사온도 (T_{mrt}), 생리학적 평형 온도 (PET), 2003년 8월 4일, 10-16시 평균값

시나리오	T_a (°C)	T_s (°C)	T_{mrt} (°C)	PET (°C)
A	31.7	39.8	56.6	43.2
B	32.4	48.5	68.3	46.4
C	31.1	30.9	50.0	39.0
D	31.6	37.0	53.1	42.2
E	32.0	45.0	62.5	47.1
B-C	1.3	17.6	18.3	7.4
E-D	0.4	8.0	9.4	4.9

○ 도시계획을 통한 바람길 조성 및 열 취약지역의 개선 예시

- 산에서 불어오는 차가운 공기의 바람길을 차단하지 않도록 계획단계에서부터 공간구조 고려



〈슈투트가르트를 둘러싸고 있는 산에서부터 내려오는 찬공기의 유입을 막지 않도록 바람길을 조성〉

- 기존 도시건축물 중 일부를 철거 후 녹지화 하고, 사라진 공간 만큼 잔존 건축물에 대한 고층화(용적률 상향)로 보전해 주는 방식도 활용

Ausgangssituation



Umgestaltungsprozess



Innenhofneugestaltung
(Rossbollengässle)



〈Rossbollengaessie의 내부 구조 변경 및 녹지화를 통해 열섬효과 완화 방안〉



〈현지 답사한 Rossbollengaessie 녹지화 현장〉

□ 주요 활동사진



도시기후과 Silke Drautz와 함께



환경보호국 앞 이현정 박사와 함께



도시 기후과 세미나 1



도시 기후과 세미나 2



Rossbollengaessle 현지 답사

□ 답사 개요

일 시 : 2020년 01월 14일 (화)

장 소 : 슈투트가르트 도심 등

□ 개요

- 1897년 뮌헨대학, 칼슈르대학의 교수들에 의하여 바람의 길 논의 시작
(중세의 폐쇄적인 도시구조는 도시 내 공기유입을 차단하여 도시환경에 불리한 영향을 줌(1910년 베를린의 폐쇄적인 도시구조로 인하여 폐결핵 유행))
 - 건물사이를 띄워 바람 흐름을 도시내부로 유입하는 것이 바람직함
- 도시 남서쪽의 산림에서 형성된 찬바람이 계곡을 따라 도심으로 유입되는 것이 가장 큰 바람길임을 확인
 - 도시의 중심부를 동북방향으로 가로질러 Neckar강을 따라 도시 밖으로 확산됨

□ 바람길 답사 내용

- 바람길
 - 식물의 호흡으로 인해 생성된 차가운 산소가 상대적으로 뜨거운 도심으로 흘러 도심내 대기오염물질을 도시 밖으로 실어나름
- 3대 바람길
 - Nesenbach 계곡부 : 도시 중심부를 관통하여 Neckar강으로 흐름
 - Feuerbach 계곡부 : 북부도시지역으로 바람 방향은 서쪽에서 동쪽 Neckar강 유역

- Rohracker계곡부 : 남부도시지역에서 흐르는 바람길
- 슈투트가르트시는 ‘바람의 길’ 개념을 도시계획에 반영하여 도시내 가장 중요한 문제인 도시열섬화 및 대기오염문제를 바람길을 통하여 해결
- 도시 남서쪽 산림지역 계곡에서 도시내부로 들어오는 신선한 공기를 이용하여 기온과 습도를 조절하고, 대기오염물질은 도시 밖으로 확산 시킴

□ 주요 활동사진



〈Fernsehturm Stuttgart 및 도심에서 바람길 답사〉

□ 면담 개요

일 시 : 2020년 01월 14일 (화)

장 소 : 슈투트가르트 고체물리 막스플랑크연구소 및
인텔리전트 시스템 막스플랑크 연구소

면 담 자 : 정순정 박사(그룹리더), 손광효 박사(선임연구원)

□ 기관소개

- 막스플랑크 연구소는 세계적인 권위를 자랑하는 비영리 연구단체로 환경, 화학, 생명, 물리, 우주 등 기초과학의 최첨단 학문을 연구하는 단체이며, 생물학, 화학, 의학 등의 분야에서 총 33명의 노벨상 수상자를 배출함
- 금번 방문한 고체물리 연구소 및 인텔리전트 시스템 연구소의 경우 효율적 에너지저장 및 활용분야에 세계적인 연구 이끌고 있음

□ 면담조사 내용

- 막스 플랑크 연구소 소개
 - 독일의 기초 과학 연구를 책임지는 막스플랑크협회는 독일 전역과 해외에 총 83개 연구소를 설립해 운영
 - 연구소 운영에 드는 비용은 독일 연방정부와 주(state)가 절반씩 부담
 - 때문에 정부로부터 상당 부분 독립적으로 운영할 수 있다는 장점이 있지만, 시의 경제 수준에 따라서 연구소 규모가 결정되는 제약도 존재
 - 슈투트가르트에 있는 2개 연구소는 막스플랑크연구소 중 3위 안에

드는 큰 규모를 자랑함

- 개별 연구소는 최대 8개 연구단으로 구성되며 연구단은 연구 주제에 따라 소규모 연구그룹으로 나뉘고, 연구그룹은 그룹장, 박사후연구원, 박사과정 학생 등 적게는 20명, 많게는 50명으로 이뤄져 있음
- 막스플랑크협회의 가장 기본이 되는 연구 조직이 연구그룹이며 현재 이런 연구그룹은 막스플랑크협회를 통틀어 120여 개가 있으며 연구 그룹 하나는 최대 5년간 유지



〈독일 막스플랑크 연구소 고체물리 연구소 전경〉

- 분석모델 적용시 고체표면의 효율적인 물성고려 변화 인자
 - 태양이 고체의 표면에 반사되는 반사율은 표면의 재질에 따라 영향을 미치게 되며 이러한 알베도 값들은 건물이나 고체의 표면구성, 상태에 따라 건물표면의 알베도 값을 측정하여 적용하는 것이 정확한 모델적용시에 효과적임
 - 건물의 표면은 구조 또는 건물의 물성에 따라 단파복사가 높아지게 되면 평균복사온도에 직접적으로 영향을 미치게 됨으로 모델링에 있어 다양한 조건 혹은 가설을 가지고 접근이 필요함
 - 건물의 표면 혹은 고체의 특성 차이가 있으므로 많은 샘플을 이용하여 모델평가가 필요하며 지속적인 건물의 데이터 축적 및 모니터링이 필요함

○ 효율적 에너지 저장 시스템

- 친환경 에너지 효율적 건축물을 위해 신재생 에너지 활용에 대한 수요가 높음
- 국내에서 대표적으로 활용 가능한 신재생 에너지는 태양전지이며, 최근 많은 관심을 받고 있는 기술은 수소에너지임
- 본 연구소에서는 수소저장에 대한 세계 최고 연구 노하우를 보유 하고 있으며, 분석 기술통한 전 세계 최고 수준의 시설을 보유 하고 있음
- 특히 고체수소저장 분야에서 세계 최고 수준임

□ 주요 활동사진



인텔리전트시스템 세미나, 손광효 박사와



막스플랑크연구소 미네르바 앞



고체물리연구소 정순정 박사와 함께

□ 현장 답사 개요

일 시 : 2020년 01월 15일 (수)

장 소 : 독일 프라이부르크시 도심(자전거 주차공간, 수로,
태양에너지 건물 등)

□ 답사내용

- 세계적인 녹색도시, 프라이부르크는 에너지 자립의 핵심정책으로 ‘에너지 절감 및 다변화’, ‘자원순환’, ‘녹색교통’ 등을 추진하고 있으며, 실용적이면서도 적극적인 에너지 소비 절감 제도를 실천 하고 있음
- 프라이부르크에서는 친환경적인 이동수단을 장려하는 정책을 실행(도보, 자전거, 대중교통 등), 주거지역에서의 30km의 속도 제한, 자전거 전용도로 설치, 도심내 ‘자동차 진입금지구역’확대, “Park & Ride” 제도를 기본으로 하여 자동차는 시내 외곽에 주차하고 트램이나 자전거를 이용하여 도심에 진입하도록 추진, 이러한 정책들의 영향으로 자가용 소유 비율은 1천명 당 423대로 독일에서 가장 낮음
- 도심 내 구조가 차량이 진입하기 어렵게 되어있으며, 도보나 자전거, 트램을 이용하는 것이 훨씬 빠르고 편리함



〈프라이부르크 도심 전경 사진〉

- 도심 내부의 열섬현상 완화 수로, 태양에너지 시설 및 자전거 주차장
- 프라이부르크 시내 곳곳으로 16세기 쯤 소방용 수로용으로 제작된 베히레(수로, 전체길이 20km)가 관류하여 도시 온도와 습도를 조절 및 홍수 조절 역할 수행



〈프라이부르크 도심 곳곳에 위치한 베리레(수로)〉

- 프라이부르크는 독일내 일조량이 가장 많은 지역으로 태양열에너지를 다양한 분야에 활용하고 있음, 150여채의 태양광 연립주택이 건설된 보봉마을이 대표적인 사례



〈프라이부르크 대학 도서관 상부 태양광발전 시설〉

- 프라이부르크는 1970년부터 자전거 도로망 확장을 추진해 왔으며 인구 1인당 자전거 1대 이상씩 보유함. 중앙역(Hauptbahnhof) 바로 옆에 있는 모빌레(Mobile)는 원통형 모양으로 된 3층 건물로 1999년 독일의 대표적인 환경운동단체인 분츠와 독일 교통클럽 프라이부르크 자동차 협회가 공동 출자해 지은 자전거 주차장으로 수천여대의 자전거를 체계적으로 수용할 수 있는 대규모 자전거 보관시설임. 프라이부르크는 자동차보다 자전거를 선택함으로써 환경, 에너지, 건강 분야에서 모두를 만족하는 결과를 얻음



〈프라이부르크 모빌레〉

□ 개요

일 시 : 2020년 01월 16일 (목)

장 소 : 독일 프라이부르크시의 보봉 주거단지(Vauban District in Freiburg)

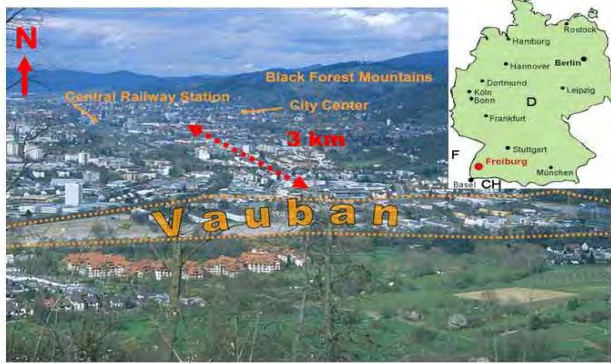
안 내 자 : Helmut Mayer 교수 (알베르트 루트비히
프라이부르크 대학교 환경기상학과), 이현정 박사
(슈투트가르트 시청)

□ 보봉마을 현황

- 프라이부르크 도시 중심에서 3km에 위치, 과거 프랑스군이 사용한 막사를 개조, 생태계를 고려 개발된 주거단지(38ha)
- 주택단지 내 저에너지 건축방식 건설, 가정의 태양에너지 이용, 열병합발전을 이용한 원거리 난방, 친환경 공공 공간/자전거 도로/녹지 등의 기법 활용
- 보봉마을 북쪽에 위치한 흑림(Black forest mountain)에서부터 라인강의 저지 숲들에 이르기까지 독일 도시에서 가장 많은 숲과 녹지를 보유, 온화하고 일조량이 많은 기후를 보유하여 솔라-수도로 지칭될 만큼 태양에너지 이용 가능성이 높은 지리적 장점이 있음.
- 이에 따라 패시브 하우스, 플러스 에너지 하우스, 헬리오트롭 등 선진적인 주택들의 개발이 적극적으로 이루어짐. 참고로, 프라이부르크 시는 프라운호퍼 ISE*와 같은 재생에너지 연구를 위한 민간과 국가 학술단체의 구심점 역할을 수행

* 프라운호퍼 연구소는 독일 3대 국책연구소로 66개 연구소와 약 24,000명의 직원을 두고 있으며 유럽 내 최대의 태양에너지 연구소로 학생을 포함해 약 1,150명의 직원을 두고 있으며 이곳 연구분야는 태양에너지와 관련한 기초과학부터 공학·기술적인 부분까지 방대함

(a)



Sperling, C. (2008).

〈보봉 마을지구의 지리적 위치〉

(b)



Broaddus, A. (2010).

〈생태도시들과 도시 센터간의 주요 대중교통 수단인 트램 네트워크 연결도〉



〈보봉 마을지구 현장답사 전 참석자간 면담〉

□ 면담 및 현장답사 내용

○ 주거단지 개발방식

- 마을 지구를 생태학적, 사회적, 경제적 및 문화적 요구사항들이 충족될 수 있도록 협동적이고 참여적인 방식을 도입한 프로젝트 위주로 개발을 진행
- 개발에 있어서 민간부문의 인센티브 및 제도적 요구사항들을 제공하여 이익의 창출과 지속가능한 주거단지 개발을 유도하고 있으며, 관리된 시장방식을 통해 지역주민 그룹, 민간 사업자, 그리고 기타 단체들이 전체 비전의 개별 요소들을 충족하기 위해 자체적으로 혁신을 유도하는 관리 프레임워크를 가지고 있음

○ 주요 생태환경적 측면의 주거단지 특성들

- 지속가능한 재료 및 에너지 효율적인 건축물 디자인 요소 반영 : 나무, 점토 및 지역에서 생산된 재료를 사용하여 생태학적으로 건전하고 지속가능한 건축물 재료를 사용하고 있으며, 에너지 효율적인 건축요소들을 반영하여 주거공간 에너지 사용이 저감되는 패시브 하우스와 같은 주택지구를 건설
- 지구 내 바람의 순환이 원활히 이루어지도록 높은 빌딩 건설은 지양, 단열재가 들어간 벽을 사용하며, 창문은 열손실을 최소화하기 위한 다중창을 사용



〈보봉 지구에 적용된 생태환경적 요소 총괄 개요도〉

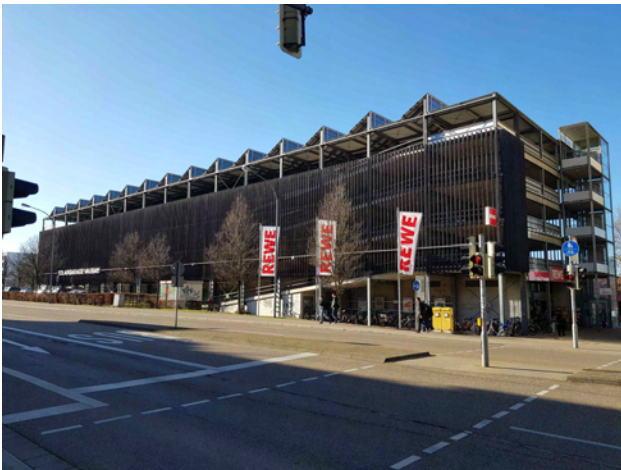


〈보봉 지구에 적용된 벽면녹화〉



〈건물지붕에 적용된 태양광 패널 및 보봉 마을 전경모형〉

- 교통 : 마을 중심의 다운센터에서부터 마을의 다양한 목적지까지 15분 이내에 도착할 수 있도록 대중교통 계획(모든 마을 주민이 350m 이내에 접근할 수 있도록 트램정거장 설계)되어 있으며, 보봉마을 전체에 촘촘한 저전거 도로망 설치



〈시에서 민간회사를 통해 운영하는 보봉마을 중심 주차시설 및 트램정거장 전경〉

- 에너지 공급 : 나무칩과 가스를 원료로 쓰는 열병합 발전을 통해 보봉마을 사용량의 2/3에 달하는 전기를 공급하고 있으며, 도시 난방 네트워크에 연결되어 있음. 개별주택은 기본적으로 가스를 사용하지만, 지하에 공용으로 사용하는 목재보일러를 보유하고 있고 나무 칩, 폐지, 말린 쓰레기, 바이오매스, 폐기물 자원 등을 사용해 근본적으로 에너지 소비를 최소화 하고 있음



〈운영중인 열병합 발전 시설 및 주택 전면에 설치된 난방 온수용 태양열 장치〉



〈헬리오트롭(태양을 따라 회전하는 솔라하우스 및 흑림 고지에 설치된 풍력발전기〉

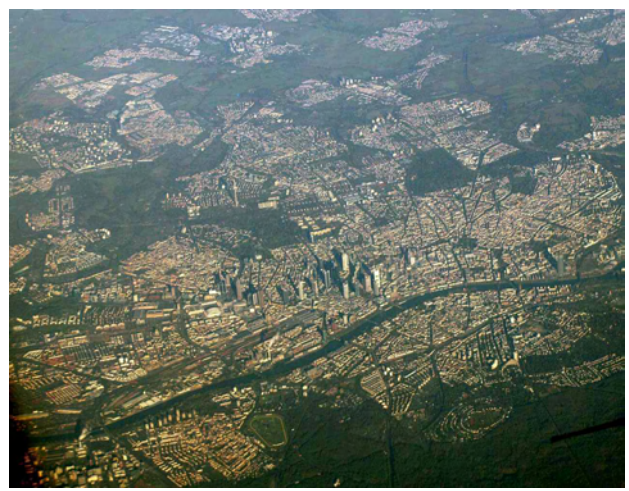
□ 개요

일 시 : 2020년 01월 17일 (금)

장 소 : 헤센주, 프랑크푸르트

□ 도시의 특징

- 중세 성벽도시를 골격으로 발전한 역사도시이나 2차 세계대전으로 인해 도시의 대부분이 파괴되었으며 전후 도시전체가 새롭게 재건됨
- 도시주위로 Grüngürtel(그린 귀르텔: Green belt) 지역을 지정, 도시전체 면적의 1/3이상이 녹지대일 만큼 녹지 환경이 우수하고, 더불어 패시브 하우스 정책을 중심으로 에너지저감 노력을 하고 있는 친환경 녹색도시의 대표적 도시임. 특히 도심부를 환상형으로 에워싸고 있는 녹지대는 1차 그린벨트 기능을 하고 있음



<2차 세계대전으로 파괴된 구시가지 전경 및 프랑크푸르트 시역과 녹지대(그린벨트)>

- 프라이부르크의 패시브 하우스가 주로 주거단지 위주로 건설된 데 비해, 프랑크푸르트는 대규모 공공건물을 패시브 하우스로 적극 전환했다는 특징이 있음. 때문에 프랑크푸르트는 ‘패시브 하우스의 수도’라는 애칭과 함께 독일 최고의 환경도시로 탈바꿈하고 있음

출처: <https://zeroenergybuilding.co.kr/entry/> ‘패시브-하우스’ -首都-프랑크푸르트 [사단법인 한국제로에너지건축협회]

□ 그린벨트 계획을 통한 친환경 Green City 조성

- 프랑크푸르트의 대표적 도시경관으로 구 시가지를 둘러싸고 조성되어 있는 녹지대가 있음



〈시가지 녹지대 전경 및 녹지대(1차 그린벨트) 답사 사진〉

- 그린벨트는 ‘Grüngürtel(그린 귀르텔)’ 이라 하여, 프랑크푸르트 중심가를 둘러싼 원형의 공간을 말하며 약 8,000ha 정도임. 프랑크푸르트의 그린벨트는 1991년에 헌법으로 세계 최초의 그린벨트로 제정됨
- 프랑크푸르트의 녹지화는 1991년 시의회가 도시 안팎의 녹지를 그린벨트로 지정해 보호하는 법을 의결한 데서 비롯됨. 프랑크푸르트가 속한 헤센 주정부는 1994년 시 안팎을 경관 보호구역으로 지정했고, 1996년엔 도시 전체를 거미줄처럼 연결하는 자전거순환도로를 완공함

*. 출처: <https://zeroenergybuilding.co.kr/entry/> ‘패시브-하우스’ -首都-프랑크푸르트 [사단법인 한국제로에너지건축협회]

- 프랑크푸르트는 도시영역의 1/3면적이 녹지대로 형성되어 있음. 시의 남측에 있는 Frankfurt City Forest(市営森. 슈타트발트. Stadtwald)는 총면적이 5,785ha에 이름. 시영림으로는 독일 최대 규모임. 북측으로는 구 비행장(旧飛行場. Alter Flugplatz)을 활용하여 녹지대를 형성하고 있음. 이전 미군의 비행기지였지만 370여종의 식물과 희소한 양생

류(兩生類), 조류가 서식하고 있음. 이렇게 특히 넓은 면적을 점유하고 있는 것이 2차 그린벨트 지역으로 이를 Alleenring이라 하며, 1차 그린벨트(중심시가지의 환상형 녹지대)에 앞서 프란츠 아딕케스 시장(재임 기간 1890~1912년)에 의해 제안됨. 2차 그린벨트 링의 설치를 주도하면서 도시확대에 대응하여 시각축과 통경축의 개념을 활용한 녹지축의 조성을 시도함

*1차, 2차 그린벨트링의 차수는 구도심으로부터의 이격거리를 기준으로 부여된 만큼 설치순서와는 무관함



〈프랑크푸르트 남측 그린벨트 지역(Franker Stadtwald) 및 그린벨트 지역(Nidda tal 지구)〉



〈프랑크푸르트의 그린벨트〉

□ 도시계획 및 관리를 위한 제도의 필요성

- 슈투트가르트는 복잡한 지형구조에서 기인하는 도심 열섬현상 및 대기오염문제를 해결하기 위해 주변 고지대에서 생성된 야간의 차고 신선한 공기 유입을 위해 바람길 고려 등 계획단계에서부터 친환경적으로 도시를 조성함
- 도시의 건물높이 제한과 녹지 공간을 조성(공원, 벽면녹화, 옥상녹화 등)하여 최적의 바람길 조성하고 지속적인 모니터링을 통해 도시의 열과 대기오염물질 등을 관리하고 있으며
- 아울러, 에너지자립 정책, 지속가능한 건물 및 토지관리 방안, 친환경 이동수단 장려 정책 등의 시행을 통해 친환경-에너지저감형의 도시 관리·운영을 도모하고 있음
- 국내에서도 쾌적하고 건강한 도시를 만들기 위해서는 도시를 계획하고 토지이용을 관리하는데 있어 도시기후 부문 등 에너지저감 요소들과 도시계획이 함께 검토될 수 있도록 제도적 기반마련이 필요함

□ 친환경-에너지저감형 도시의 조성 방향

- 프랑크푸르트시는 도심주변으로 환상형의 그린벨트를 설치함과 동시에 도심 곳곳에 소규모의 녹지대 설치를 통해 친환경 그린시티로서의 환경을 구축해가고 있으며, 더불어 패시브 하우스의 개념을 새롭게 건립되는 공공건축물을 중심으로 적용하는 사용성능의 개선을 통해 친환경도시로서의 면모를 강화해가고 있음
- 프랑크푸르트 도시계획관련 부서에서도 프랑크푸르트 기후계획서(Klimaplanatlas 2016 für Frankfurt)를 마련하여 기후변화의 영향을 분석하고, 그에 따른 차가운 공기의 도심유입을 위한 바람길을 고려하고 있음
- 프랑크푸르트시는 에너지의 사용 환경개선, 즉 높은 비율의 도시 숲과 옥상녹화, 투수성 블록 및 지하수 확보 등 생태면적율을 향상하

고, 패시브 하우스와 같은 에너지 사용의 성능개선을 통해 에너지 저감을 통한 친환경도시 건설의 대표적 사례로 평가됨

- 도시의 확장을 적절히 규제할 수 있는 용도지역의 설정과 중심시가 지로 연결되는 적절한 녹지축의 설정, 중심시가지에는 적절한 비율의 녹지공간 확보, 그리고 녹지축과 연계한 바람길의 확보 등 프랑크푸르트시는 에너지저감형 친환경도시를 조성함에 있어 참조가능한 적절한 사례도시로 평가 가능함

□ 도시 미기후 모델 선정 관련

- 『친환경 에너지저감형 신도시 조성방안 수립 연구용역』에서 활용하고자 하는 모델은 WRF-UCM 로서 중규모 수치 모델 WRF 모델을 도시 캐노피 효과를 반영하는 모형인 UCM 모델에 연계함으로써 중규모 기상과 미규모 기상의 상호작용을 고려하여 도시 지역의 하층 대기 상태를 잘 표현할 수 있는 모델임. 이에 반하여, 슈투트가르트 시청에서 사용하는 모델은 Envi-met 모델로서, 높은 공간적 해상도로 도시 내의 기온, 풍속, 인체 영향(PET, UTCI 등) 등을 비교적 정확하게 모사할 수 있음. 도시 미기후 요소인 기온 및 풍속을 동시에 모사할 수 있다는 점에서 두 모델은 3기 신도시 평가에 활용이 가능할 것으로 평가되지만, 다만 블록단위로 계획된 공간 평가에 많이 활용되는 Envi-met 모델의 특성과 시뮬레이션에 요구되는 다량의 시간을 고려할 때, 보다 넓은 범위의 신도시 개발면적의 평가에 활용하기 위해서는 WRF-UCM 모델이 보다 적합함
- (분석 결과 검토정 측면) 일반 수질 또는 토양 모델의 검토정 과정과는 달리 도시 미기후 시뮬레이션 한 결과에 대한 검토정 수준은 다소 낮은 것으로 판단됨. 가장 큰 원인은 도시기상에 대한 검토정을 위한 관측자료의 부재 때문으로, 국외의 경우 특별관측 자료를 활용하여 풍속 및 기온 프로파일의 평가, 순복사 및 지표 플럭스의 평가, 라이다 자료 활용을 통한 대기경계층 고도의 평가가 수행된 바 있음. 따라서, 향후 모델 결과의 검토정 측면에서 기존의 AWS와 같은 자동관측자료 이외에 집중관측 또는 원격탐사와 같은 추가적인 관측자료가 마련될 필요가 있으며, 필수적으로 수행되어야 하는 검토정 과정에 대한 최소 가이드라인이 제시될 필요가 있을 것으로 판단됨

※ 참고자료

○ 논문 및 보고서

- Sperling, C. (2008). Handout for Participants of the CIFAL Seminar “Urban Planning and Regeneration: Key to Tracking Climate Change”, Dundee, March 17-18, 2008
- Broaddus, A. (2010). Tale of Two Ecosuburbs in Freiburg, Germany: Encouraging Transit and Bicycle Use by Restricting Parking Provision. Transportation Research Record, 2187(1), 114 - 122. <https://doi.org/10.3141/2187-15>
- Sustainability Victoria (2011), “Vauban, Germany: Community Leadership Delivering Sustainable Urban Renewal”, Government of Victoria, Australia.

○ 웹사이트(Website)

- 네이버 www.naver.com
- 구글 www.google.com
- 한국제로에너지건설협회 <https://zeroenergybuilding.co.kr/entry/>