

경실련 유튜브 도시대학 강의

**탄소중립도시 실현을 위한
4차 산업혁명과 스마트도시**

이승일(서울시립대학교 도시공학과 교수)

2023년 1월 19일(목) 오후 14:00~17:00

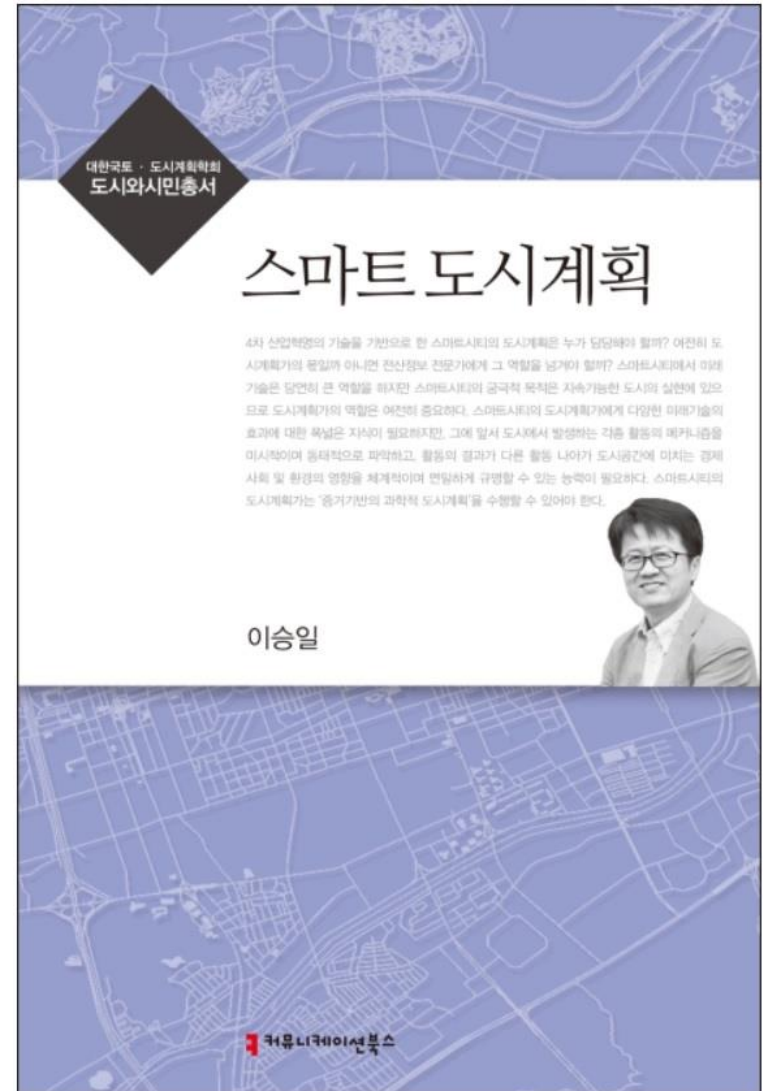
경실련 도시개혁센터

스마트 도시계획

© 이승일, 2019

- 서울시립대학교 도시공학과 교수,
- 학교기업 시공간분석연구소 대표,
- BK21 사업단장

커뮤니케이션북스, 초판 1쇄 2019년 10월 31일



탄소중립도시를 위한 역세권 개발론

© 이승일, 2022

커뮤니케이션북스, 초판 1쇄 2022년 12월 1일

향후 출간 계획(시공간분석연구시리즈)

- 탄소중립 시대의 도시시스템(2023년)
- 탄소중립도시를 위한 도시통합모델(2024년)
- 탄소중립 도시계획(2025년)



0. 목 차

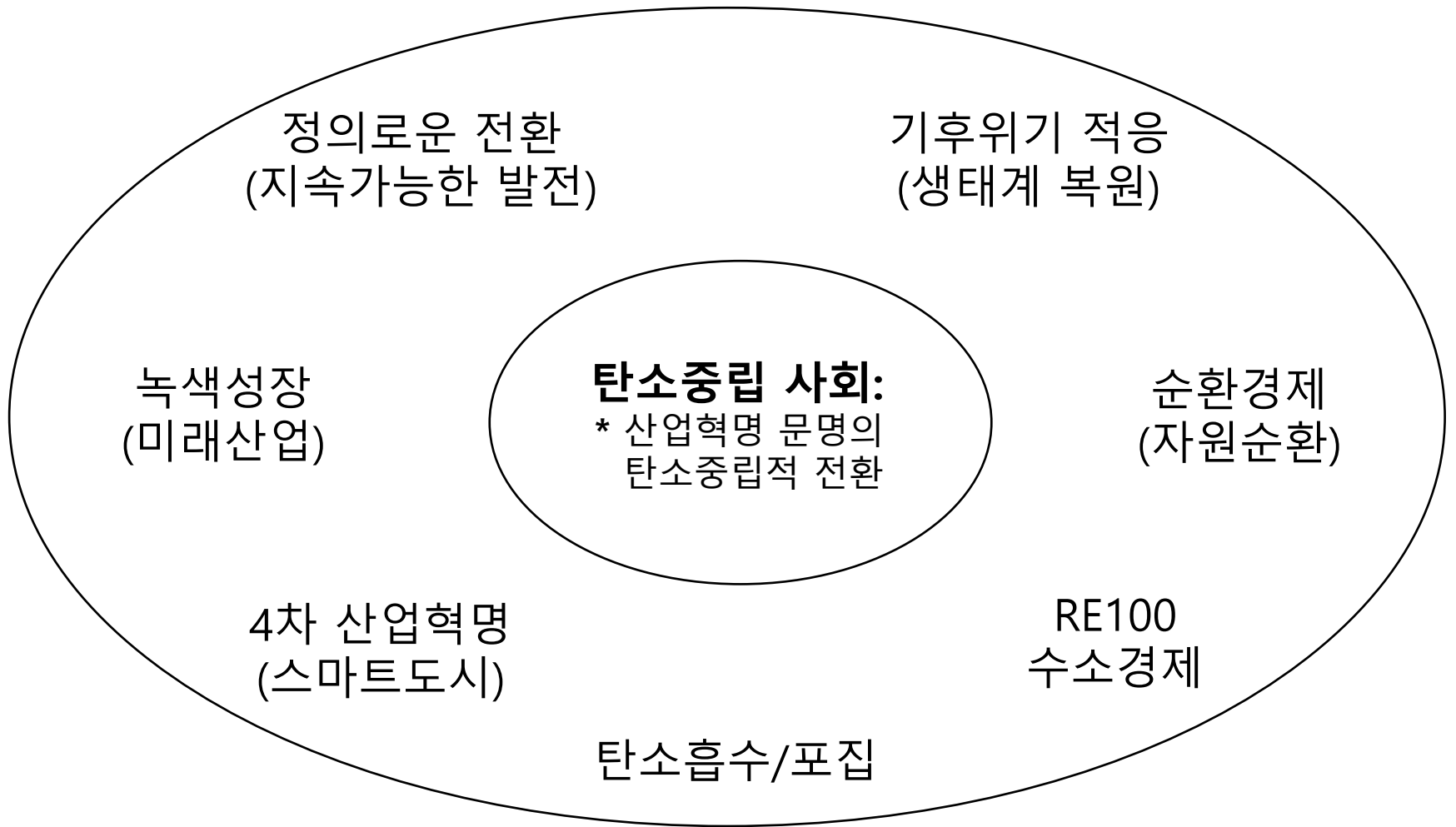
1. 탄소중립도시의 이해
2. 공간단위 탄소배출 vs. 개인단위 탄소배출
3. 스마트도시의 이해
4. 지속가능한 탄소중립의 스마트도시
5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례
6. 탄소중립 스마트 도시계획

1. 탄소중립도시의 이해

1) 탄소중립의 정의

▪ 법적 정의: 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법

- "탄소중립"이란 대기 중에 배출·방출 또는 누출되는 온실가스의 양에서 온실가스 흡수의 양을 상쇄한 순배출량이 영(零)이 되는 상태를 말한다. (제2조(정의)제3호)
- "탄소중립 사회"란 화석연료에 대한 의존도를 낮추거나 없애고 기후위기 적응 및 정의로운 전환을 위한 재정·기술·제도 등의 기반을 구축함으로써 탄소중립을 원활히 달성하고 그 과정에서 발생하는 피해와 부작용을 예방 및 최소화할 수 있도록 하는 사회를 말한다. (제2조(정의)제4호)
- "온실가스 배출"이란 사람의 활동에 수반하여 발생하는 온실가스를 대기 중에 배출·방출 또는 누출시키는 **직접배출**과 다른 사람으로부터 공급된 전기 또는 열(연료 또는 전기를 열원으로 하는 것만 해당한다)을 사용함으로써 온실가스가 배출되도록 하는 **간접배출**을 말한다. (제2조(정의)제6호)
- "온실가스 흡수"란 토지이용, 토지이용의 변화 및 임업활동 등에 의하여 대기로부터 온실가스가 제거되는 것을 말한다. (제2조(정의)제8호) ⇒ **탄소포집은 여기에 포함**
- "**탄소중립도시**": 국가와 지방자치단체는 탄소중립 관련 계획 및 기술 등을 적극 활용하여 **탄소중립을 공간적(↔개인적)으로 구현하는 도시**를 조성하기 위한 정책을 수립·시행하여야 한다. (제29조(탄소중립 도시의 지정 등)제①항)



* **산업혁명**을 기반으로 형성된 공급자 주도의 대량생산/대량소비 경제체제가 **4차 산업혁명**을 계기로 수요자 중심의 소량주문생산/소비의 경제체제로 전환되는 것이다.
 이는 산업혁명 이전의 가내수공업으로의 후퇴가 아니라 **가상공간을 통해 글로벌 차원의 연결/연계**가 가능해짐에 따른 전 세계 소비자의 시장으로 확대되는 것을 의미한다.
 즉 **탄소중립기술의 발달을 기반**으로 가내수공업에서 산업혁명으로, 다시 산업혁명이 (가내수공업 성격의) 4차 산업혁명으로 이어지는 변증법적 발전으로 설명할 수 있다.

1. 탄소중립도시의 이해

2) 탄소중립도시의 정의

▪ 조작적 정의(operational definition): 회계적 방식 도입

- "탄소중립도시"가 되려면 도시인구 1인당 연간 탄소배출량은 **도시공간(공간단위)에서** 자연생태적으로 흡수하고 기술적으로 포집함에 따른 도시인구 1인당 연간 탄소흡수량과 같아야 한다.
- "**1인당 연간 탄소배출량**"은 국가 전체로 배출된 탄소량을 총인구로 나누어 산출한다.
- "**도시인구 1인당 연간 탄소배출량**"은 **도시의 연간 탄소배출량**을 총도시인구로 나누어 산출한다.
- "**도시의 연간 탄소배출량**"은 국가 전체에서 배출된 탄소량을 **도시공간단위로 배분**하여 산출한다. 이는 도시인구 1인당 탄소배출량을 총도시인구로 곱한 것과 같아야 한다.
 - 직접배출(건물과 교통 영역)은 실증적 방식으로 산출한다.
 - **건물**에서 난방, 냉방, 조명 등 건물용도와 실내 면적과 비례하는 탄소배출량은 공간단위, 나머지(예, 다양한 가전제품, 장식조명 등)는 **개인단위(비공간단위)**로 구분
 - **교통**에서 교통수단선택과 총통행거리를 기준으로 하는 탄소배출량은 **공간단위**, 나머지(예, 자동차 배기량)는 **개인단위(비공간단위)**로 구분

1. 탄소중립도시의 이해

2) 탄소중립도시의 정의

- **간접배출(산업과 전력생산/전환 영역)**은 **분석적 방식**으로 산출한다.
(예를 들어 송전거리에 따른 손실 전력량, 발전소와 송전탑 건설을 위한 산림의 훼손, 산업과 전력생산을 위한 화물교통량 등을 분석하여 간접배출 산출)
- 도시별 연간 탄소배출량의 합이 국가 탄소배출량과 같도록 **도시별 탄소중립목표**를 설정한다(국가간 탄소중립목표를 정하는 것과 같은 방식).
- **"1인당 연간 탄소흡수량"**은 국가 전체로 흡수된 탄소량을 총인구로 나누어 산출한다.
- **"도시인구 1인당 연간 탄소흡수량"**은 **도시의 연간 탄소흡수량**을 총도시인구로 나누어 산출한다.
- **"도시의 연간 탄소흡수량"**은 국가 전체로 흡수된 탄소량을 **도시공간단위로 배분**하여 산출한다. 이는 도시인구 1인당 탄소흡수량을 총도시인구로 곱한 것과 같아야 한다.
- **"기술적 탄소포집량"**은 국가 차원의 노력에 의해 결정되어 개인단위로 산출되므로 국민/도시인구 1인당 연간 **탄소흡수량의 상수**가 된다.

1. 탄소중립도시의 이해

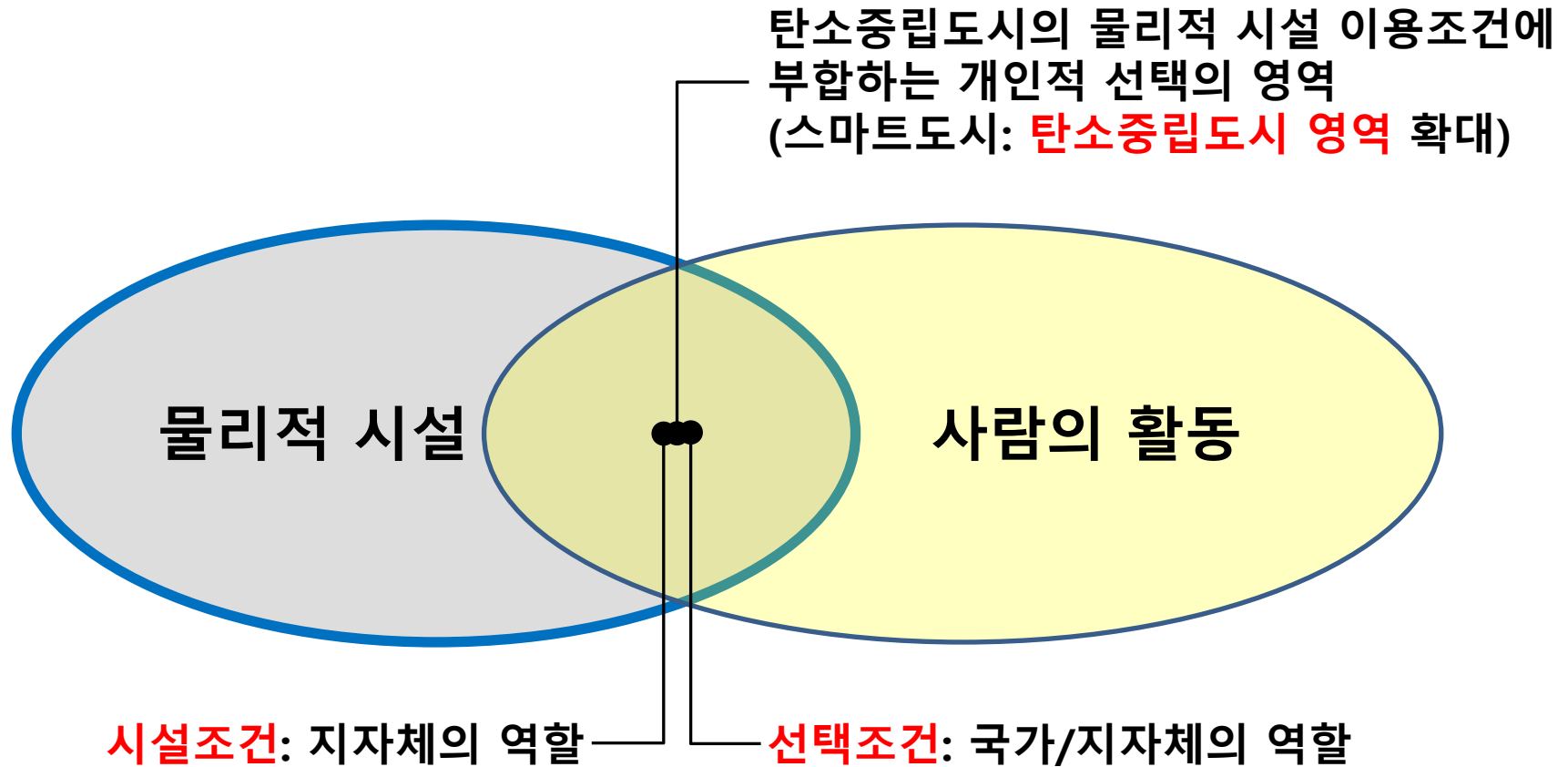
2) 탄소중립도시의 정의

■ 탄소중립도시의 **실질적 정의**(=저탄소도시, Low Carbon City)

- “탄소중립도시”는 도시단위에서 배출되는 탄소량에 대하여 도시인구 1인당 연간 탄소배출량을 저감하고, 도시공간에서 자연생태적으로 흡수함에 따른 1인당 연간 탄소흡수량을 증대하여 **국가의 탄소중립목표의 달성에 기여하는 도시**라고 **실질적**으로 정의할 수 있다.
- “도시단위 탄소중립을 위한 물리적(=공간적) 조건”이란 도시의 연간 탄소배출량 중 **직접배출(건물과 교통 영역)에서 공간단위에 해당하는 탄소배출량**을 최소화하기 위한 도시의 물리적 조건 즉 **물리적 시설의 종류, 입지, 규모 등의 공간적 분포**(도시공간구조 / 토지이용패턴)을 의미한다.
(예, 압축도시, 직주근접, TOD 등)
- “도시단위 탄소중립을 위한 개인선택조건”이란 도시단위 탄소중립을 위한 물리적 조건에서 설정한 바대로 물리적 시설을 선택적으로 이용하여 탄소저감효과를 극대화 하도록 개인선택을 이끌어내는 조건(사회경제적 조건)을 의미한다.
(예, 교차통행, 직주불일치, 역세권에서의 승용차이용 등의 **억제**)

1. 탄소중립도시의 이해

2) 탄소중립도시의 정의



2. 공간단위 탄소배출 vs. 개인단위 탄소배출

1) 공간적 접근 vs. 경제사회적 접근

▪ 공간적 접근

- 물리적 시설(건물과 인프라)에 대한 개발 및 변화를 위한 역할 강조
- 물리적 시설의 용량(규모, capacity)과 분포(공간구조)를 결정
- 물리적 시설의 설치에 부합하는 도시활동 발생 (기존의 개발계획 방식)
- 도시화 과정이 활발한 개발도상국가에서 빈번하게 발생

▪ 경제사회적 접근

- 경제사회적 조건을 통하여 도시활동의 수요 조절 (시장/가격 원리)
- 물리적 시설의 **효율적 활용**을 위한 도시활동의 입지선택은 시장의 기능으로 조정 가능
- 물리적 계획가의 역할 축소, 계량경제학자의 역할 강화
- 도시화 과정이 완료된 선진국가에서 빈번하게 발생

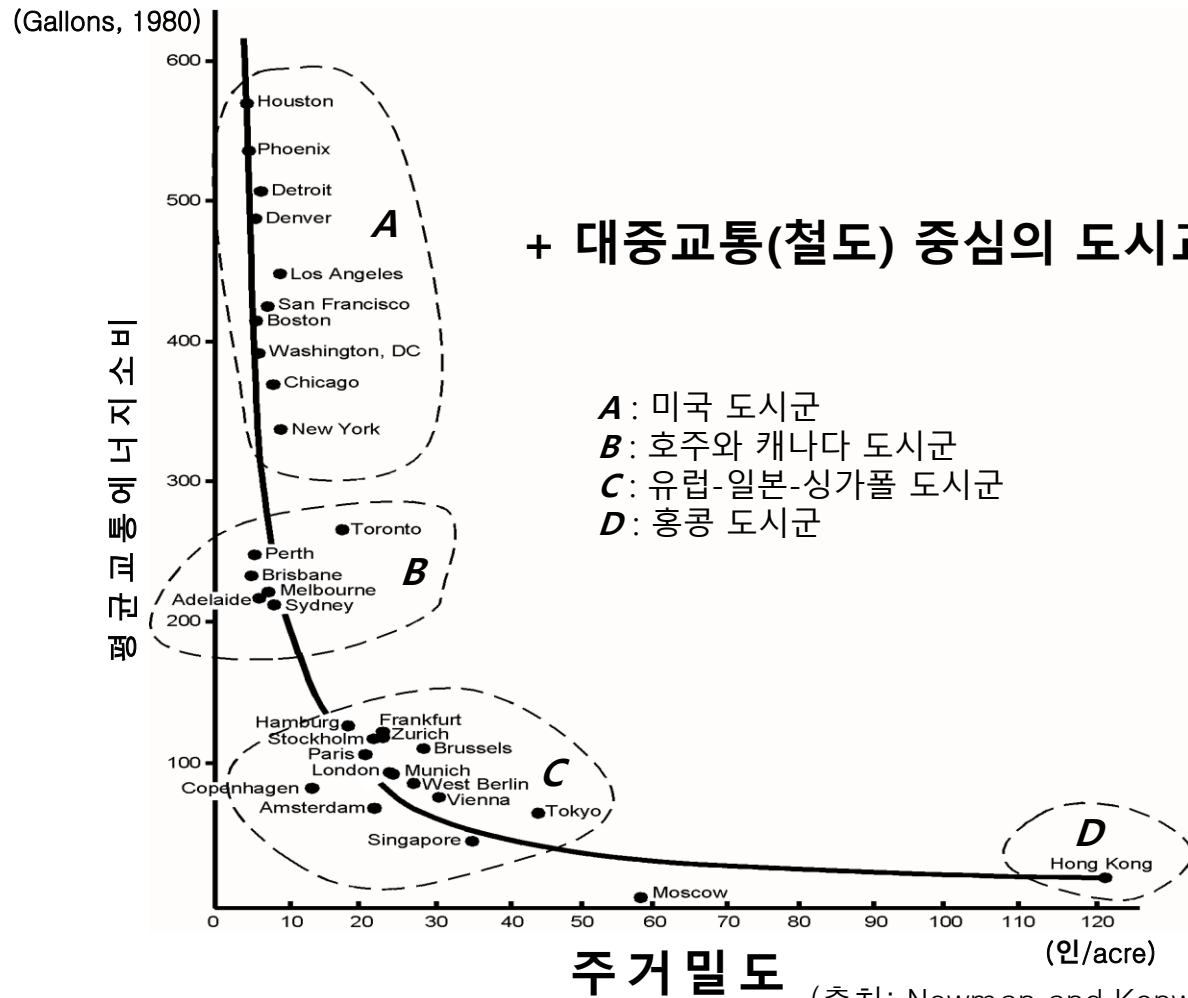
▪ 융합적 접근

- 공간적 역할과 경제사회적 역할의 융합
- 상호보완적 관계 활용

2. 공간단위 탄소배출 vs. 개인단위 탄소배출

2) 물리적 계획가의 주장

▪ 압축도시 주장(Newman & Kenworthy, 1989)



(출처: Newman and Kenworthy, 1989)

2. 공간단위 탄소배출 vs. 개인단위 탄소배출

3) 계량경제학자의 주장

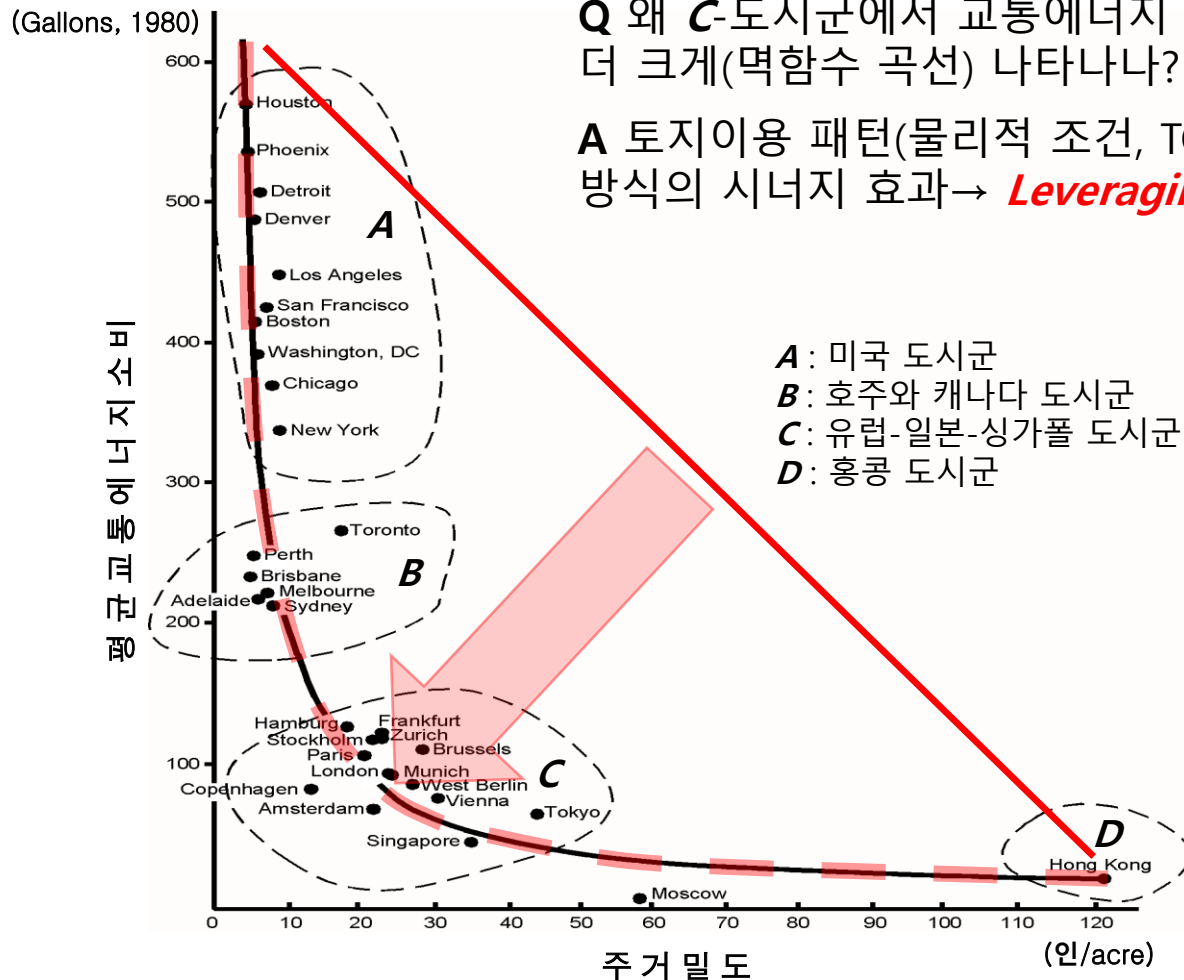
▪ 압축도시 반박(Gordon & Richardson, 1989)

- 모든 자원은 사회복지의 극대화를 위한 기준으로 배분되어야 한다.
(특정 **계획목적**을 내세워 도시의 물리적 변화를 만드는 **계획가의 역할에 반발**)
- (**에너지 소비절약을 위해서는**) 대도시의 공간구조를 전환하여 대중교통을 도입하는 것보다 **휘발유세(가격)를 도입**하는 것이 훨씬 단순하고, 빠르고, 효율적이며, 저렴하다.
- 대중교통(철도)도 연료를 소비하기는 마찬가지인데 승객이 적다면 연료를 더 많이 소비하게 된다.
- 도시공간구조의 변화는 교통, 일자리, 토지, 주택 등 시장에서의 상호작용을 반영한다.
비용(통근시간)이 커지면 비용을 줄이기 위한 입지의 선택이 이루어지고, 이렇게 만들어지는 공간구조가 더 에너지 절약적(**동반입지 가설, *co-location hypothesis***).
- 미국 사회는 자유사회로서 소비자의 주권과 **시장의 조절능력**의 장점을 잘 알고 있으므로 계획가의 과격한 개입을 제지할 수 있는 충분한 영향력을 행사할 수 있다.

2. 공간단위 탄소배출 vs. 개인단위 탄소배출

4) 물리적 계획가의 반박 (계획가의 융합적 역할)

- **“Leveraging effect”** (Newman & Kenworthy, 1992)



(출처: Newman and Kenworthy, 1989)

2. 공간단위 탄소배출 vs. 개인단위 탄소배출

5) 우리나라 계획가에게 요구되는 새로운 역할

▪ 계획가의 융합적 역할

- 공간적 역할의 한계('개발을 위한 개발'의 한계)
- 도시활동을 이해하기 위한 면밀한 조사, 분석, 예측 능력 필요 (스마트도시의 역할)
공간적 접근 중심에서 경제사회적 접근 중심으로 무게 중심의 이동
→ *Co-location hypothesis*
- 도시계획의 새로운 목표는 **지속가능한 탄소중립도시!**
- 즉, 새로운 물리적 시설(**스마트도시**)의 도입을 통해 도시활동의 변화(**탄소배출저감형 도시활동 방식 추구**)를 모색, 융합적 접근 → *Leveraging effect*

▪ 스마트도시에서 계획가의 새로운 역할

- 정부가 준비 중인 '**2050 탄소중립 시나리오**'에 스마트도시의 언급이 없는 이유?
(수단으로서) 스마트도시가 지향하는 목표를 명확하게 제시하지 못했기 때문
- 스마트도시(물리적 조건)에서 지향하는 스마트 도시활동(경제사회적 조건)을 이끌어낼 수 있는 **스마트 도시계획가의 역할?**
→ **스마트도시와 스마트 도시계획**의 목표와 역할 규명을 위한 **스마트도시의 이해** 필요

3. 스마트도시의 이해

1) 스마트도시의 정의

- 스마트도시법(스마트도시 조성 및 산업진흥 등에 관한 법률)

- “스마트도시란 도시의 경쟁력과 삶의 질의 향상을 위하여 ****건설-정보통신기술 등을 융복합하여 건설된 도시기반시설을 바탕으로 다양한 도시서비스를 제공하는 지속가능한 도시**”(동법 2조1항) (목적과 수단)

- 국외의 스마트도시 정의

- [위키피디아] “도시의 자산과 자원을 효율적으로 관리하기 위해 필요한 정보를 다양한 데이터 수집 센서를 이용하여 수집, 제공하는 도시”
- [International Telecommunication Union] “경제, 사회, 환경 측면에서 현재와 미래 세대의 수요를 보장하면서 삶의 질, 도시운영 및 서비스, 나아가 경쟁력을 개선하기 위하여 ICT 등의 수단을 이용하는 혁신적인 도시”

**** 물리적 시설과 이를 이용하는 사람의 활동을 공간적으로 모니터링하여 그 결과를 데이터로 생산하기 위해서는 건설-정보통신기술 등을 융복합하여 건설된 도시기반시설의 설치가 필요하다.**

3. 스마트도시의 이해

1) 스마트도시의 정의

▪ 스마트도시에 대한 잉여적 기대

- 편리함: 사람이 할 일을 알아서 대신해줌
- 안전함: 사고를 예방하고 대비해줌
- 경제적임: 시간과 비용을 줄여줌
- 공정함: 모든 사람에게 저렴하게 정확한 정보서비스를 제공함
- 효과적임: 요구와 기대에 부합하는 서비스를 제공함
- 사회적임: 다른 사람의 선택을 고려하여 서비스를 제공함
- 환경적임: 환경문제를 최소화하는 서비스를 제공함

▪ 탄소중립도시와 스마트도시의 관계에 대한 이해의 부족

- 스마트도시의 기술적 배경(기술적 가능성 규명)에 대한 이해 필요
- 스마트도시의 사회적 배경(지구온난화의 근본 원인 규명)에 대한 이해 필요
- 기술적 배경과 사회적 배경을 엄격하게 구분하기는 어려움!

3. 스마트도시의 이해

2) 스마트도시의 기술적 배경

▪ 제3의 물결(Toffler, 1980)

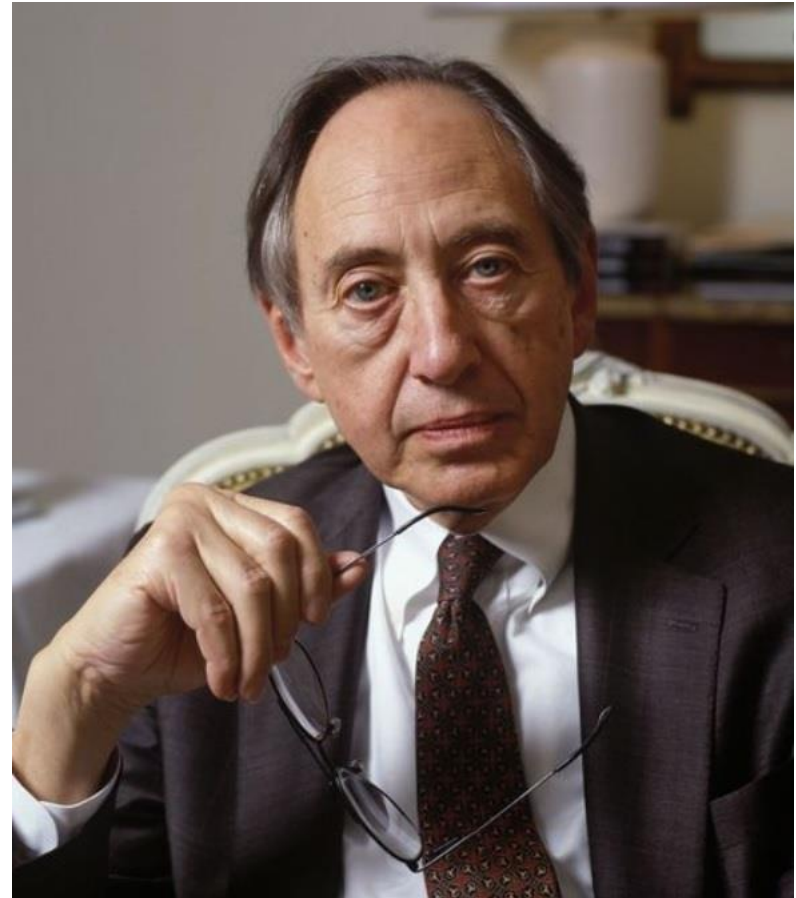
- 제1의 물결 = 농업혁명
- 제2의 물결 = 산업혁명
- 제3의 물결 = 정보혁명(후기산업사회)

▪ 후기산업사회 기술의 특징

- 탈 대량화
- 다양화
- AI, IoT, CPS 기술 기반의 **초연결사회**

▪ 4차 산업혁명 기술의 정의

- 제3의 물결(후기산업사회)을 완성시키는 기술
- **초연결사회**를 실현하는 기술



앨빈 토플러(Alvin Toffler, 1928년 10월 3일 ~ 2016년 6월 27일)는 뉴욕 시티에서 출생한 미국의 작가이자 미래학자 겸 저술가로, 디지털 혁명, 통신 혁명, 사회 혁명, 기업 혁명과 기술적 특이성 등에 대한 저작으로 유명하다.

3. 스마트도시의 이해

2) 스마트도시의 기술적 배경

▪ 4차 산업혁명 기술의 정의

- 정보혁명(초연결)의 기술
- **산업사회의 문제를 해결하여 후기산업사회로 이끌 기술**

특성	농경사회	산업사회	후기산업사회, 정보사회		
시대 구분	농업혁명 (제1의 물결)	산업혁명 (제2의 물결)	일렉트로닉스 혁명 (제3의 물결)		
기술 구분	사람/ 가축 동력에 의존한 경작	1차 산업혁명	2차 산업혁명	3차 산업혁명	4차 산업혁명
		18세기	19~20 세기 초반	20세기 후반	현재 이후
		증기기관 활용한 기계화	전기에너 지 이용 대량생산	인터넷과 IT	AI/IoT/CPS 기반 초연결사회

3. 스마트도시의 이해

3) 스마트도시의 사회적 배경

▪ 제2의 물결(산업혁명)에 따른 개방적 도시사회의 형성

- 대량생산을 가능하게 한 **산업혁명**으로 농경사회가 붕괴하고 **도시사회** 형성
- 도시에서는 폐쇄적인 농경사회의 사회관계가 **개방적**으로 변화
- 산업혁명 사회에서 **자본가**는 농경사회에서 지주와 같은 실질적 권력자
- **대량생산-대량소비** 체제에서 생산자는 일방적이며 주도적 역할 수행

▪ 제3의 물결(정보혁명)로 인한 농경사회의 공동체 회복

- [앨빈 토플러] ICT를 기반으로 **프로슈머**가 등장하며 생산자와 소비자의 거리가 좁혀짐?
- 소비자의 연대를 통해 공동체를 형성
- 공간적으로 폐쇄된 농경사회와는 달리 ICT에 의해 공간에 비종속적으로 만들어지고 운영되는 **개방적 가상공동체**
- 4차 산업혁명 기술은 같은 생산성으로 **소량주문과 맞춤형 제품생산** 가능
- 그러나 소량주문 소비자가 우위를 점하기 위해서는 (제품 관련) 정보의 수집과 분석 필요
- 정보의 수집과 분석을 대행해주는 프로슈머의 역할이 중요
- 조만간 전 세계적으로 보편화 될 **4차 산업혁명 사회에서는 수많은 프로슈머를 중심으로 수많은 가상공동체가 형성/연결**될 것임

3. 스마트도시의 이해

4) 정보통신과 스마트 도시계획: 어떻게 연계시키나?

▪ 정보통신과 도시계획의 차이점

- 도시계획은 **공간에 제약적**

↳ 도시는 공간제약을 극복하는 **교통수단의 발전과 더불어 발달**

- 정보통신은 근본적으로 **공간 비제한적**

↳ 정보통신은 통신망과 프로세서 등 기술적 요소의 발전과 더불어 **이용대상을 시스템으로 규명하며 발달**

▪ 정보통신과 스마트 도시계획의 공통점 - 총체적 접근(holistic approach)

- [정보통신] 초연결-초지능사회의 요구에 대응하기 위해서는 시스템의 다양한 관계를 총괄하기 위해 **총체적 접근이 필요**

- [도시계획] 공간과 시설 그리고 이를 기반으로 **활동하는 사람 간의 복잡한 관계(시스템)**를 대상으로 삼기 때문에 근본적으로 **총체적 접근에 기초**

- 총체적 접근을 추구하는 **스마트 도시계획은 도시시스템을 기반으로 삼음**

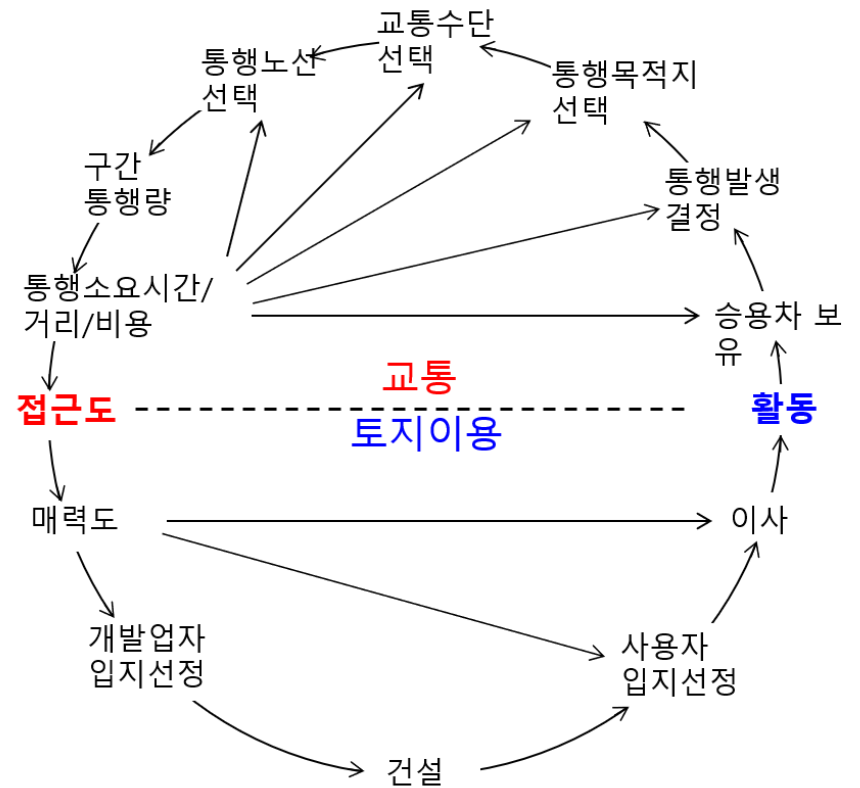
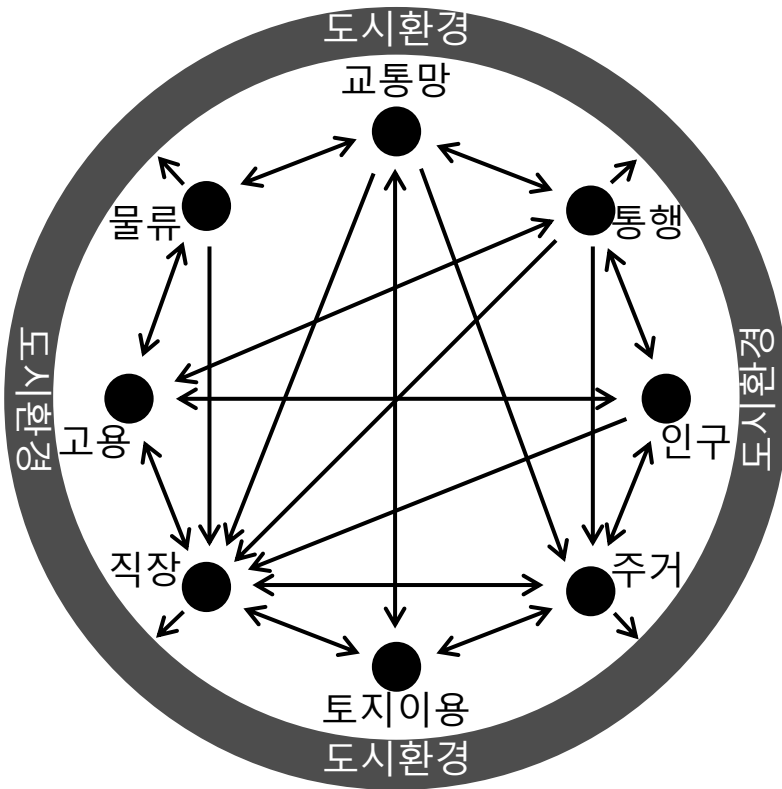
- **도시시스템**은 도시복잡계를 하나의 시스템으로 여기고, 그에 속한 세부 분야(토지이용, 교통, 거주, 근로, 주택, 직장, 환경 등) 간의 인과관계를 규명하는 개념(**초연결사회**)

- 도시시스템을 통하여 도시계획은 **정보통신을 기반으로 하는 스마트도시와 실질적으로 연계 가능**

3. 스마트도시의 이해

4) 정보통신과 스마트 도시계획

<도시시스템(좌)과 토지이용-교통 피드백 사이클(우) - 초연결도시>

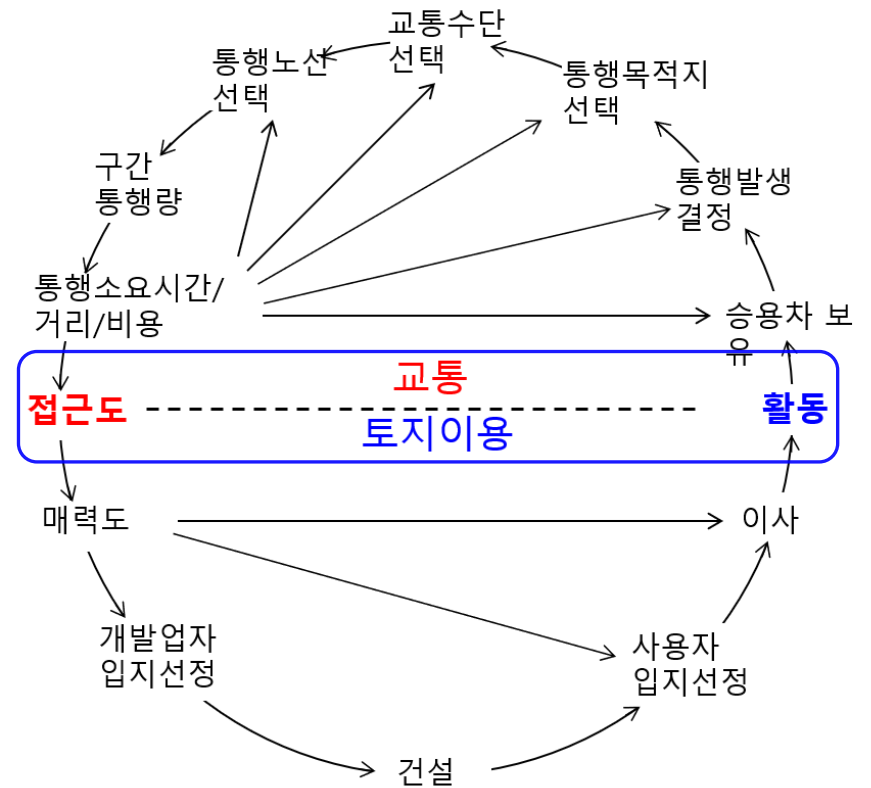
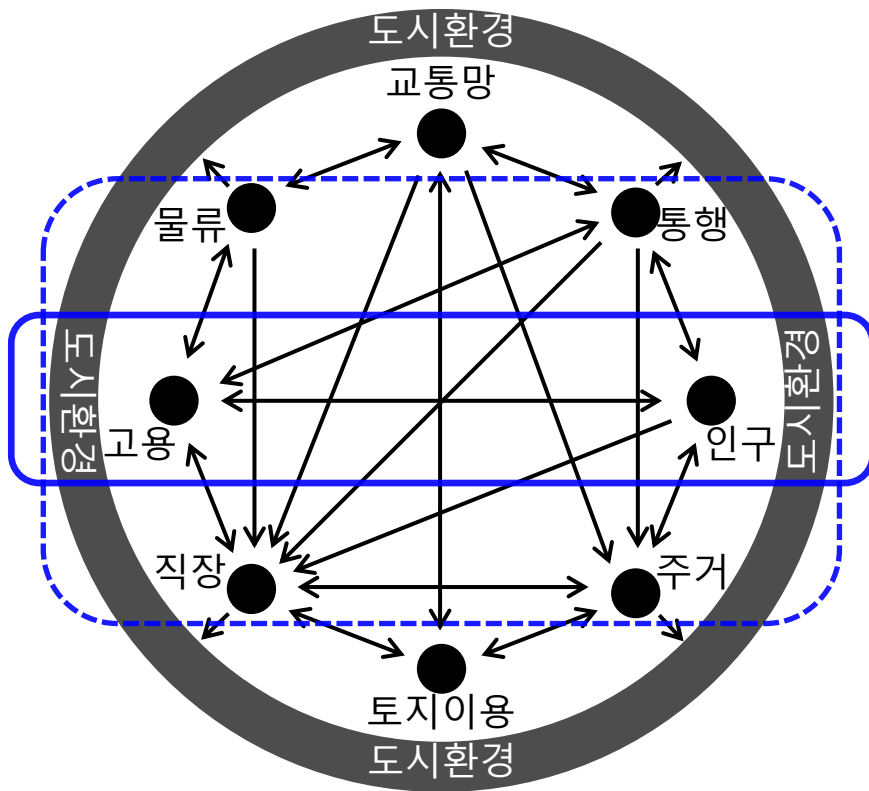


(출처 : Wegener, 1994; 1996)

3. 스마트도시의 이해

4) 정보통신과 스마트 도시계획

<물리적 시설과 사람의 활동(=도시공간구조) 그리고 탄소의 배출>



(출처 : Wegener, 1994; 1996)

4. 지속가능한 탄소중립의 스마트도시

1) 도시발전과 도시문제

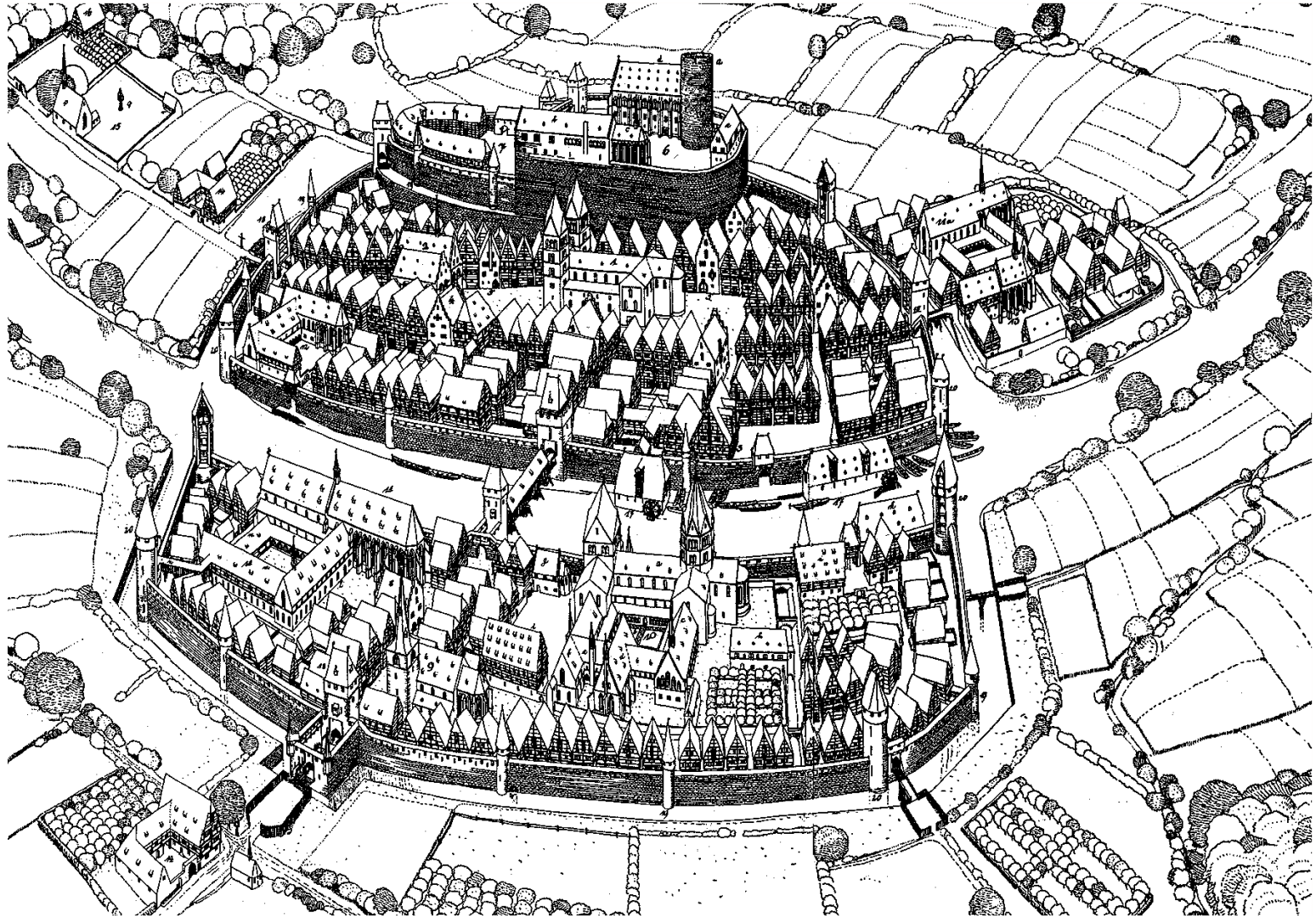
▪ 산업혁명 도시의 한계와 문제

- 도시의 공간과 사회 용량범위를 넘어서 대량생산과 대량소비방식을 위한 도시발전
- 경제발전에 필요한 활동공간을 공급하기 위한 도시의 외연적 확대
- 도시의 외연적 확대를 지원하는 교통수단의 발달: 도보/말/마차에서 철도, 철도에서 자동차, 자동차에서 자율주행차 아니면 가상공간?
- 지구온난화, 미세먼지와 소음, 사회 불균형, 교통혼잡과 사고, 주택문제(affordable housing), 쾌적한 도시공간의 상실, 생태계 훼손 등 도시문제

▪ 지속가능한 탄소중립도시에 이르기 위한 쟁점

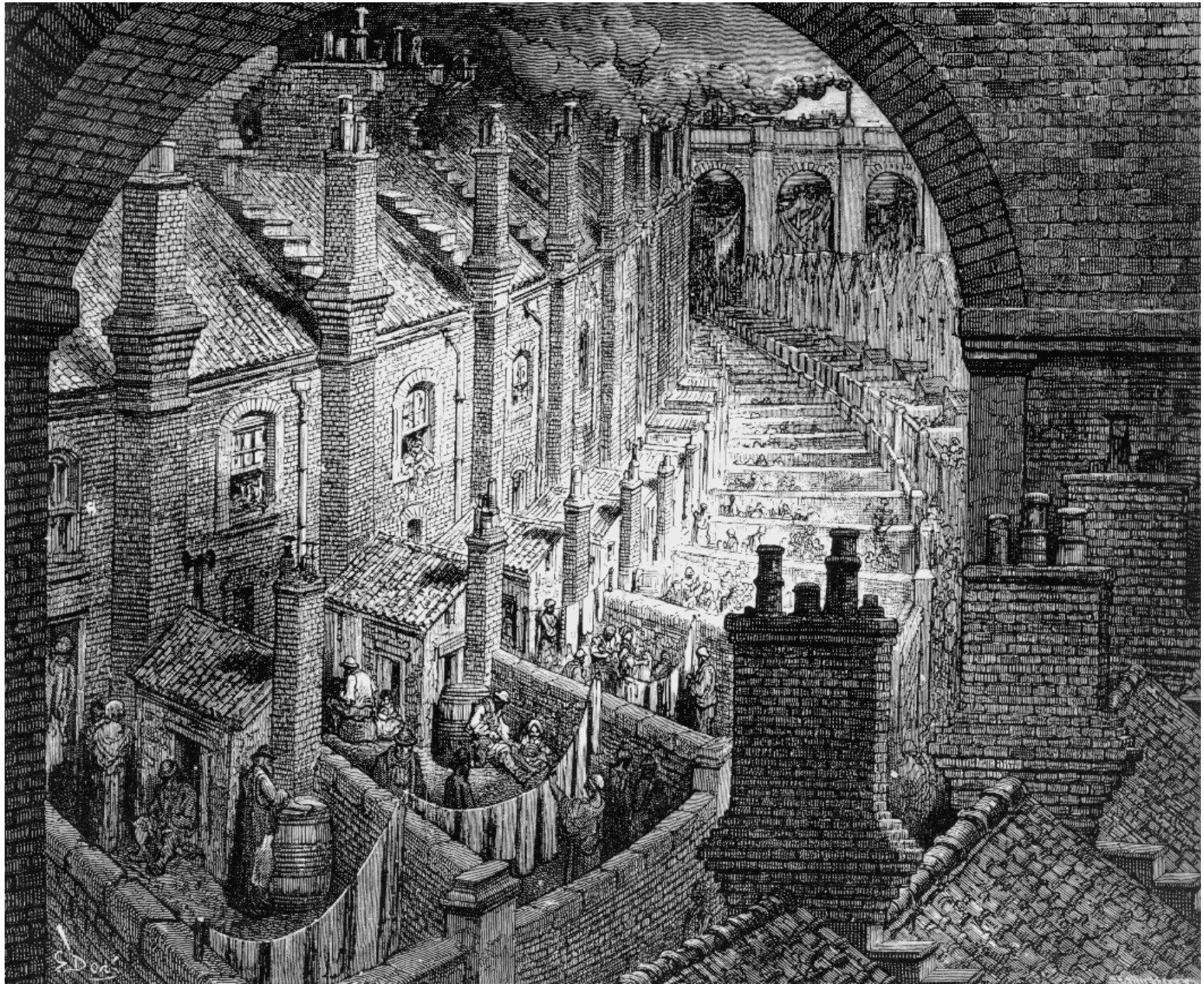
- 경제적 지속가능성
- 사회적 지속가능성
- 환경적 지속가능성
- 인류의 생존을 위해 모든 지속가능성이 필요 - 균형과 조화를 기반으로
- 균형과 조화: 정성적, 수사적(rhetorical) 그래서 정치 지향적 목표
- 지속가능한 탄소중립도시: 정량적, 회계적 그래서 행정 지향적 목표

▪ 산업혁명 이전과 이후 유럽의 도시발전 고찰



1350

(출처 : Wegener, 2006)



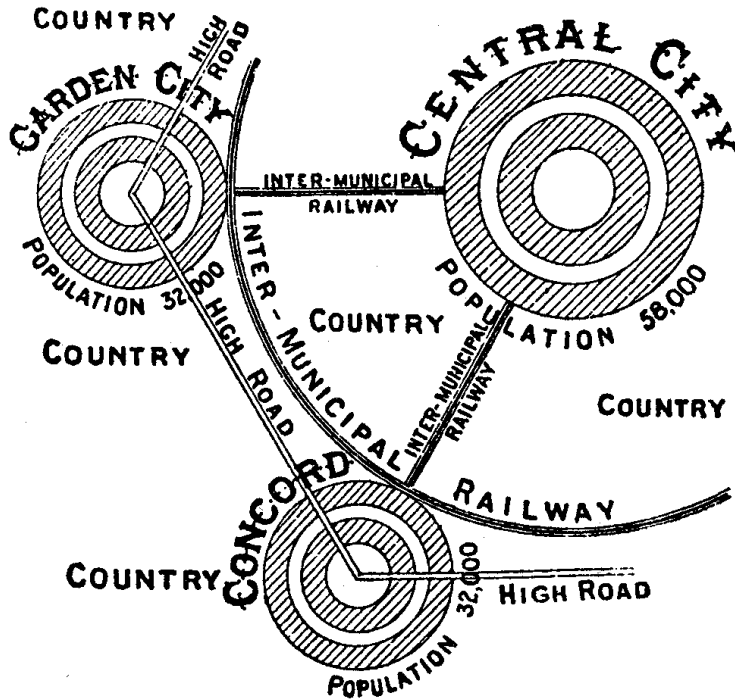
(출처 : Wegener, 2006)

1872

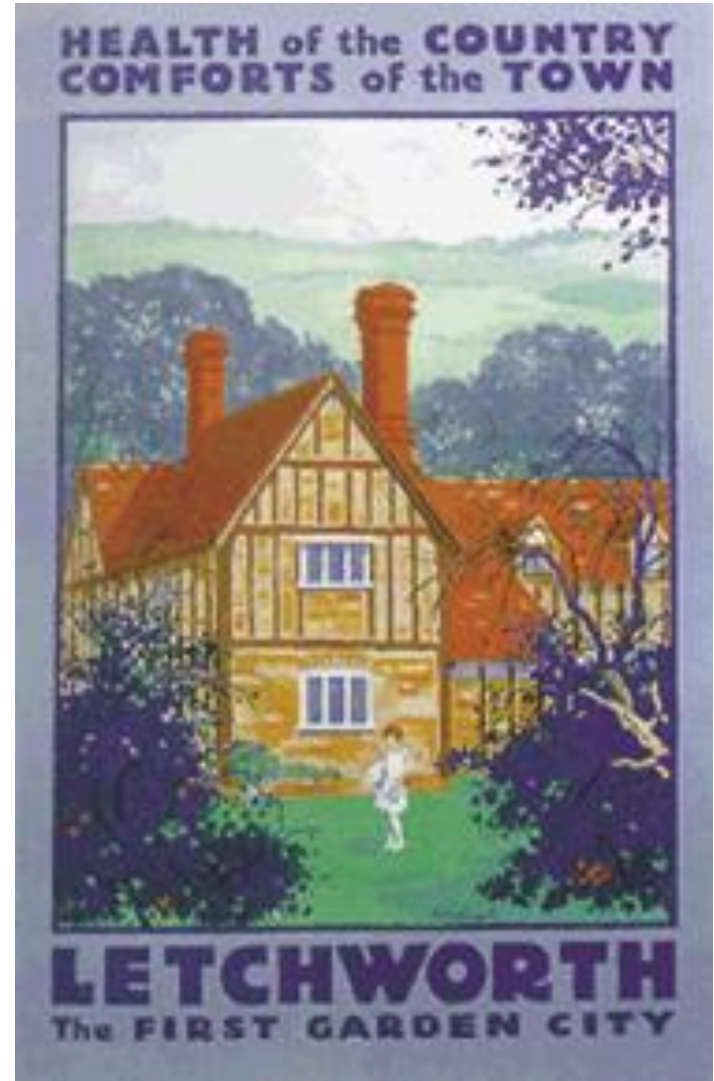
N^o 5.

DIAGRAM

ILLUSTRATING CORRECT PRINCIPLE
OF A CITY'S GROWTH - OPEN COUNTRY
EVER NEAR AT HAND, AND RAPID
COMMUNICATION BETWEEN OFF-SHOOTS.



1900



1912

(출처 : Wegener, 2006)



© Colorado Sprawl Action Center

Colorado

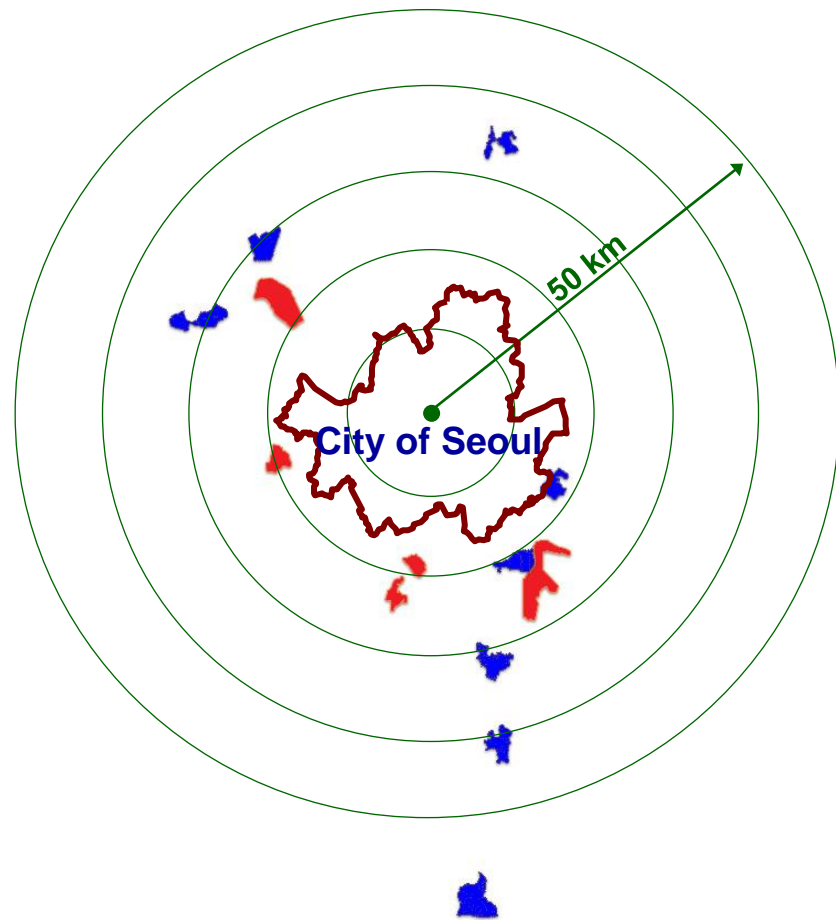
(출처 : Wegener, 2006)



강남 주거지



분당 신도시







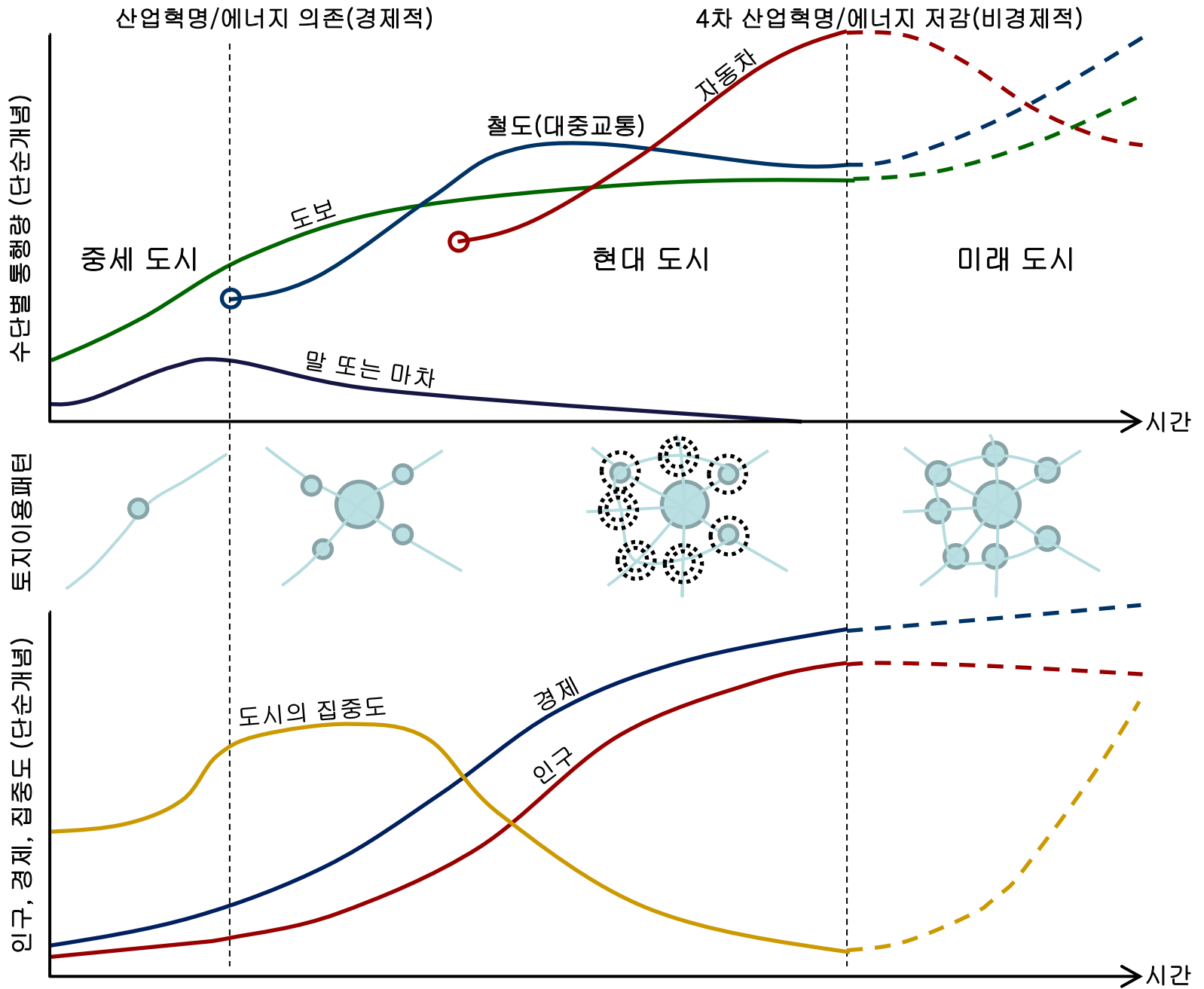
한국의 통근시간은 세계 최악의 수준입니다.
OECD에 따르면 2014년 한국의 출퇴근 시간은
26개 회원국 중 가장 높았습니다.

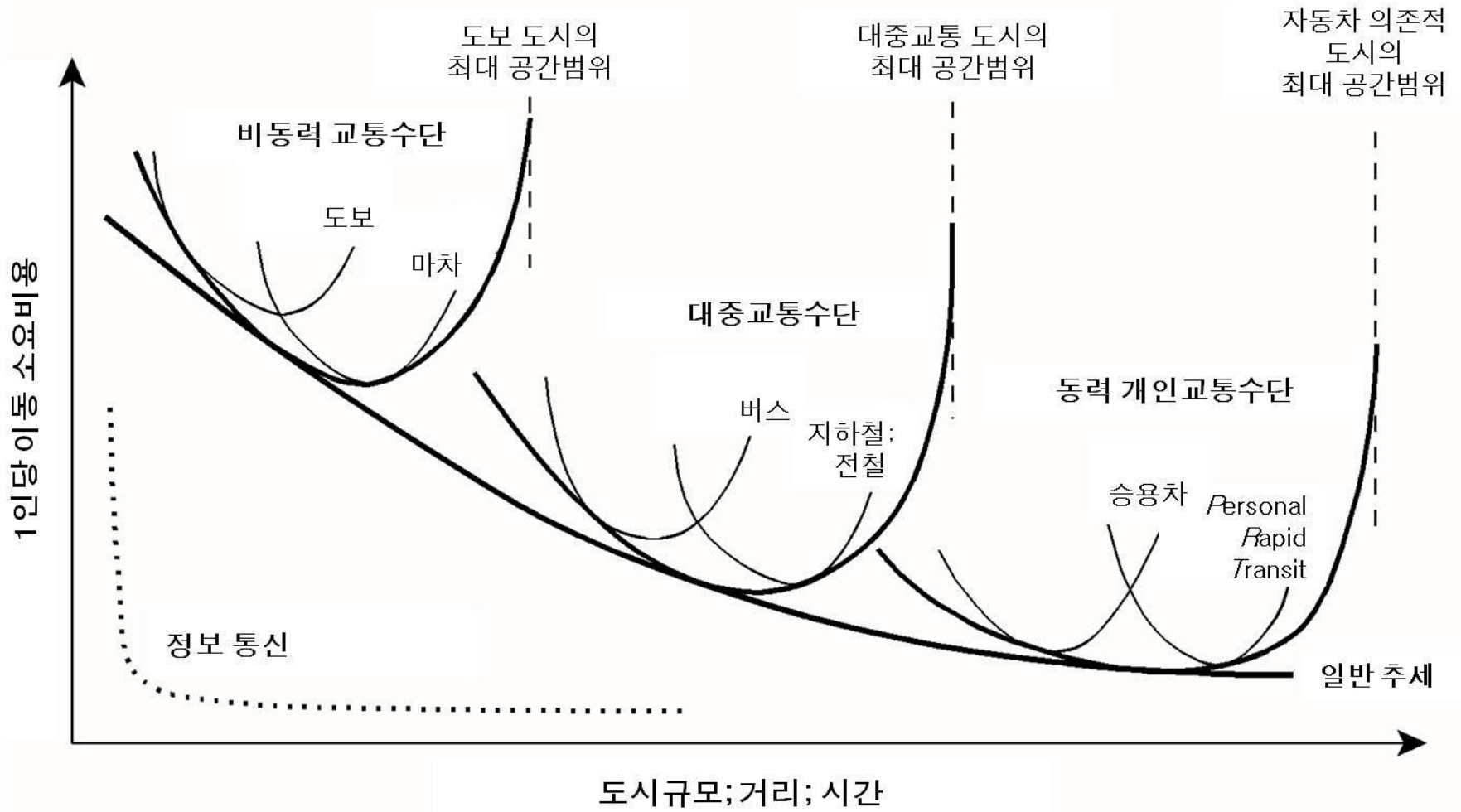
사진 : 게티이미지뱅크

YONHAP NEWS AGENCY



(출처: 한겨레신문, 2016년 6월24일)





(Quelle: Heinze 1992, S. 53)

4. 지속가능한 탄소중립의 스마트도시

2) 지속가능한 스마트도시

▪ 산업혁명이 만든 도시의 치유

- [근본적인 해결방법] 비효율적인 대량생산과 대량소비의 도시를 효율적인 소량주문생산과 소비의 도시로 전환(후기산업사회, 정보사회의 완성)
- [현실적이며 실현가능한 방법] 지속가능한 도시: 경제, 사회, 환경이 균형과 조화를 이룬 도시

Q: 경제-사회-환경의 균형과 조화는 어떻게 판단하나?

A: 정보와 정보시스템을 통한 지속적인 모니터링으로 가능(스마트 도시계획의 역할)

▪ 지속가능한 탄소중립의 스마트도시가 되려면?

[먼 미래의 탄소중립 스마트도시]

기존 도시를 물리적으로 완전히 개조하여 정보사회에 적합한 새로운 도시를 건설함으로써 경제-사회-환경의 균형과 조화를 이룬 지속가능한 도시를 완성시킴

[가까운 미래의 탄소중립 스마트도시]

기존 도시의 물리적 시설을 존치하면서 여기서 활동하는 방식을 정보 및 정보시스템을 이용하여 효율적으로 전환함으로써 지속가능한 도시를 실현함

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

1) 마스다르 사례

Masdar. Abudabi. UAE

탄소중립 스마트 신도시 개발



구분	내용
위치	아부다비 도심에서 20km 이격 지점
대상지 특징	사막지역
인구 및 규모	5만명 / 7km ²
사업시행자	MDC (Mubadala Development Company)
사업기간	2008년 - 2030년
투자액 규모	총 220억 달러 이상

- 아부다비의 도심에서 20km, 아부다비 국제공항 길목에 위치
- 사업계획시 2008년부터 2016년으로 계획되었으나, 사회·물리적 여건으로 2030년 완공 예정으로 변경

개발 배경 및 목적

- '온실가스', '탄소와 쓰레기', '자동차'가 없는 친환경 도시 표방
- MIT, 동경공업대, 캠브리지 대학 등 주요 대학과 세계 유명 기업 연구진 등이 참여한 그린 에너지 기반의 첨단 기술 동원
- 세계 최초, 최대 규모의 실질적인 탄소중립 신도시 개발이 목적

개발 이전 현황



개발이전 사막부지

Under Progress until 2030



MASDAR. Abudabi. UAE

(출처: Foster+Partners, 2006)

Hopefully this is the result in 2030



MASDAR

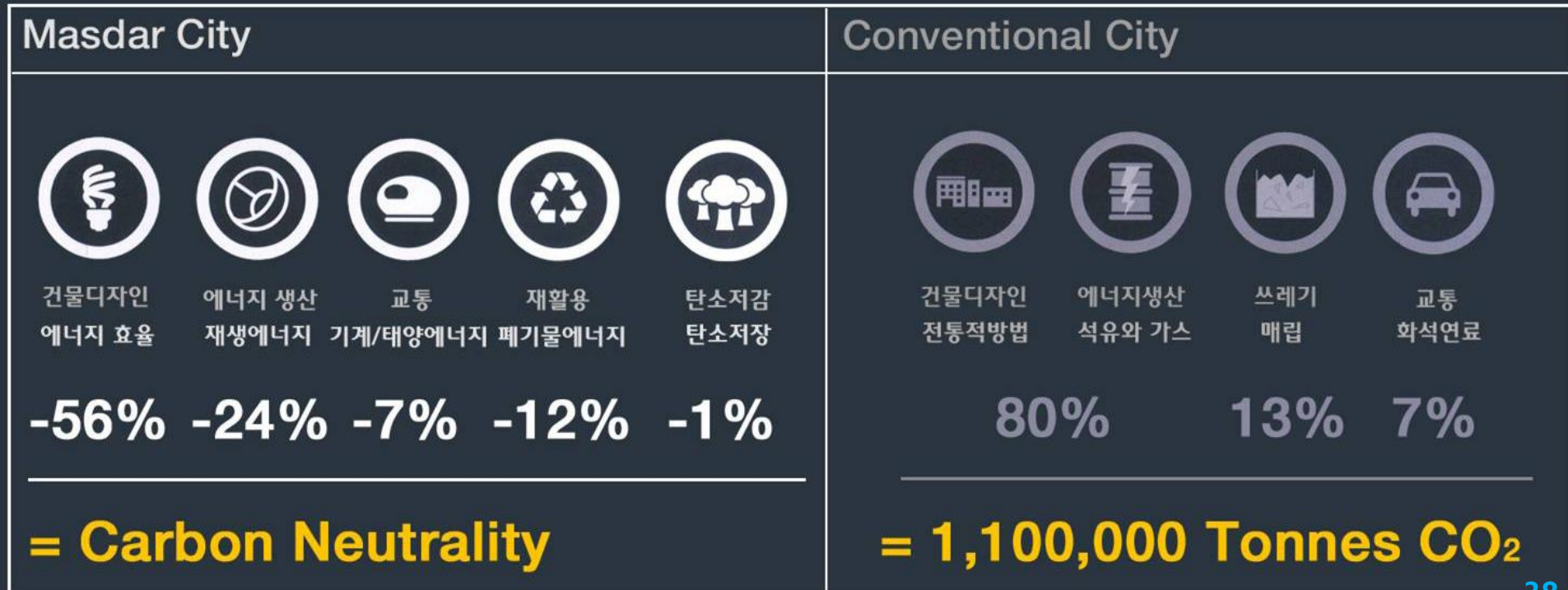


- 위치: 아랍에미리트 (UAE)
- 면적: 6 km²
- 수용인구: 5만명
- 마스터 플랜: Foster + Partners
- 총투자비: 220억 달러(약 30조)
- 완공예정: 2030년(예정)



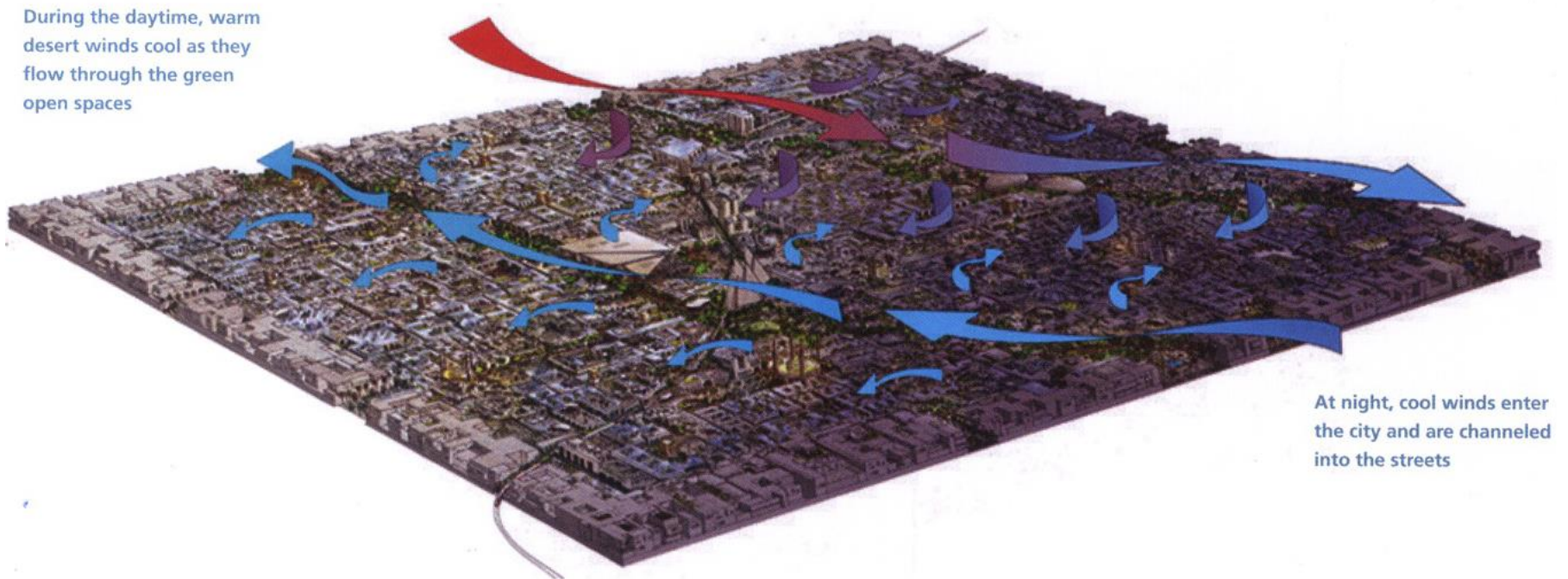
탄소 저감 전략

- 기존도시: 화석연료 에너지원, 전통적 건축물 디자인, 쓰레기 매립, 화석연료 교통수단
- Masdar: 재생에너지, 에너지효율 건물디자인, 폐기물재활용, 재생에너지 교통수단, 탄소저장



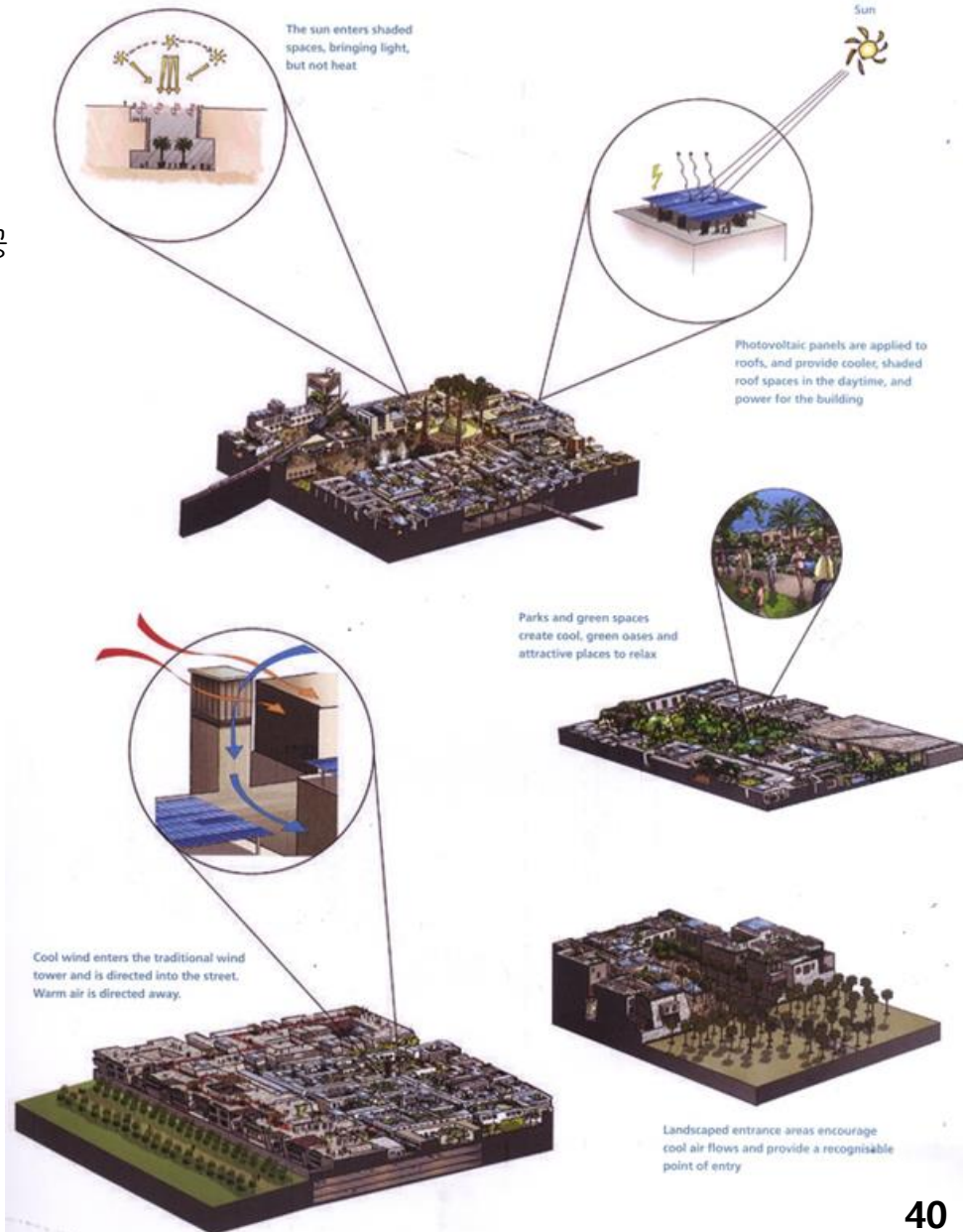
도시계획 전략

- 낮 시간 동안은 따뜻한 사막바람이 녹지공간을 통과하면서 시원해진다.
- 밤에는 차가운 바람이 도시로 들어오고 거리 사이사이로 퍼진다.



단지계획 전략

- 단지 내 공원 및 녹지 계획
 - 열섬효과를 방지하고, 녹지오아시스를 제공
 - 매력적인 경관 제공
- 단지입구의 경관계획
 - 차가운 공기의 흐름을 유도
 - 아이덴티티가 부여된 입구 강조



건축계획 전략

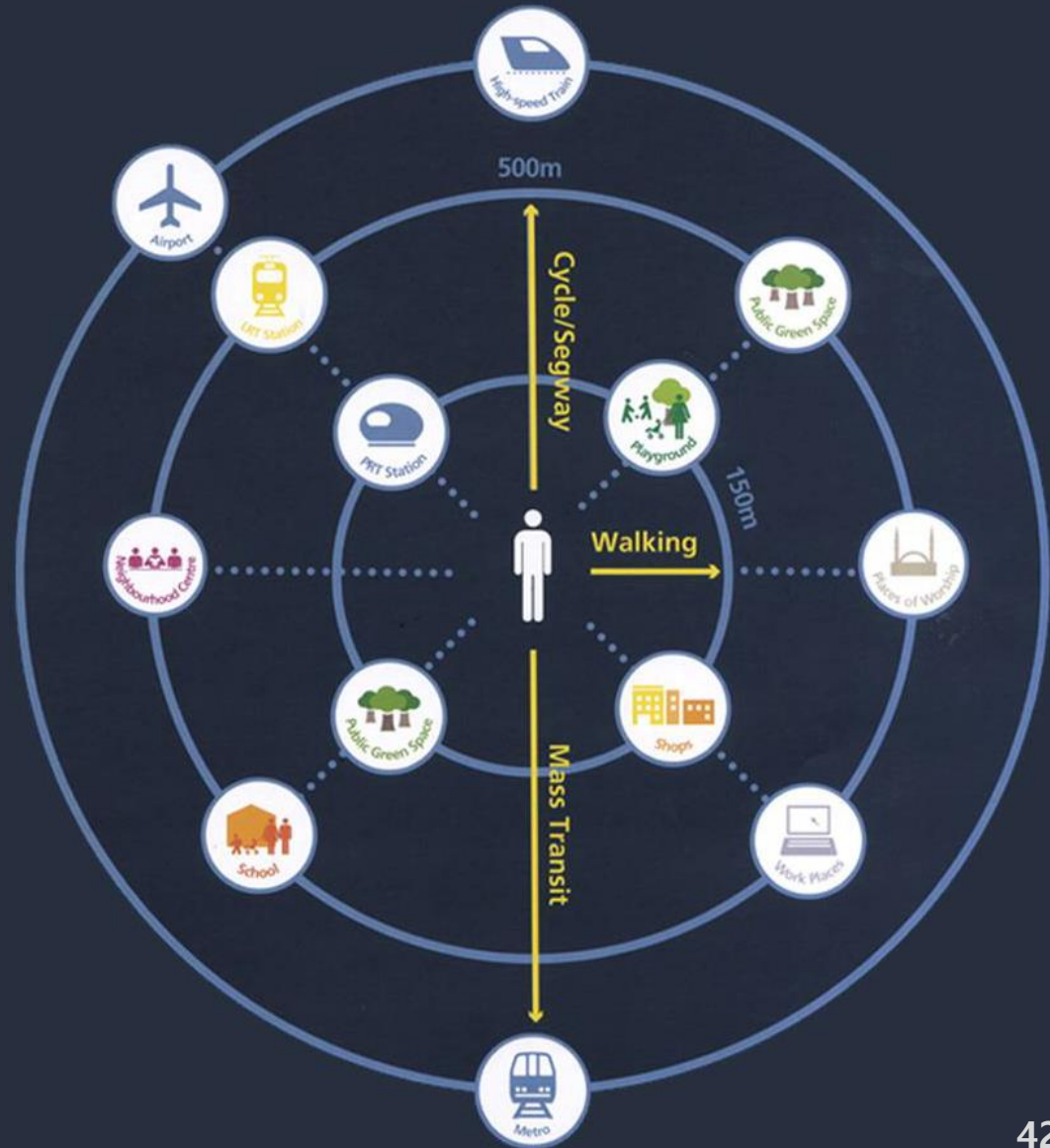
- 지하 공간을 활용한 건축계획: 자연채광은 가능하나, 태양열은 차단되는 천장
- 공공건물과 주택 지붕을 이용한 태양열 패널 적용: 차열효과, 도시공간의 그늘 제공역할을 포함
- 전통적인 방식의 환기탑을 건축물에 반영: 패시브 환기시스템 적용, 거리에 더운 공기 방출을 차단



MASDAR

교통전략 - 차 없는 탄소저감 교통체계

- 보행거리: 150m
- 자전거, Segway: 500m
- 보행자 중심도시로 디자인



교통전략 - 탄소저감 교통수단





- 기존의 차량은 도시 안으로 진입을 할 수 없으며 PRT가 이동수단

PRT Fast Facts	
PRT Vehicles:	3,000
PRT Stations:	85-100
FRT Vehicles	810
PRT Trips per day:	135,000
Max. Walking Distance to PRT Station:	150m
LRT Trips per hour:	5,000 people



PRT(Personal Rapid Transit)
노선주행하는 자동 택시서비스



-  LRT역
-  LRT
-  PRT
-  PRT역

MASDAR

토지이용계획: 교통 및 주차

- 내연기관을 이용하는 자동차는 도시 내 운행금지
- 주차장을 도시 외곽에 배치

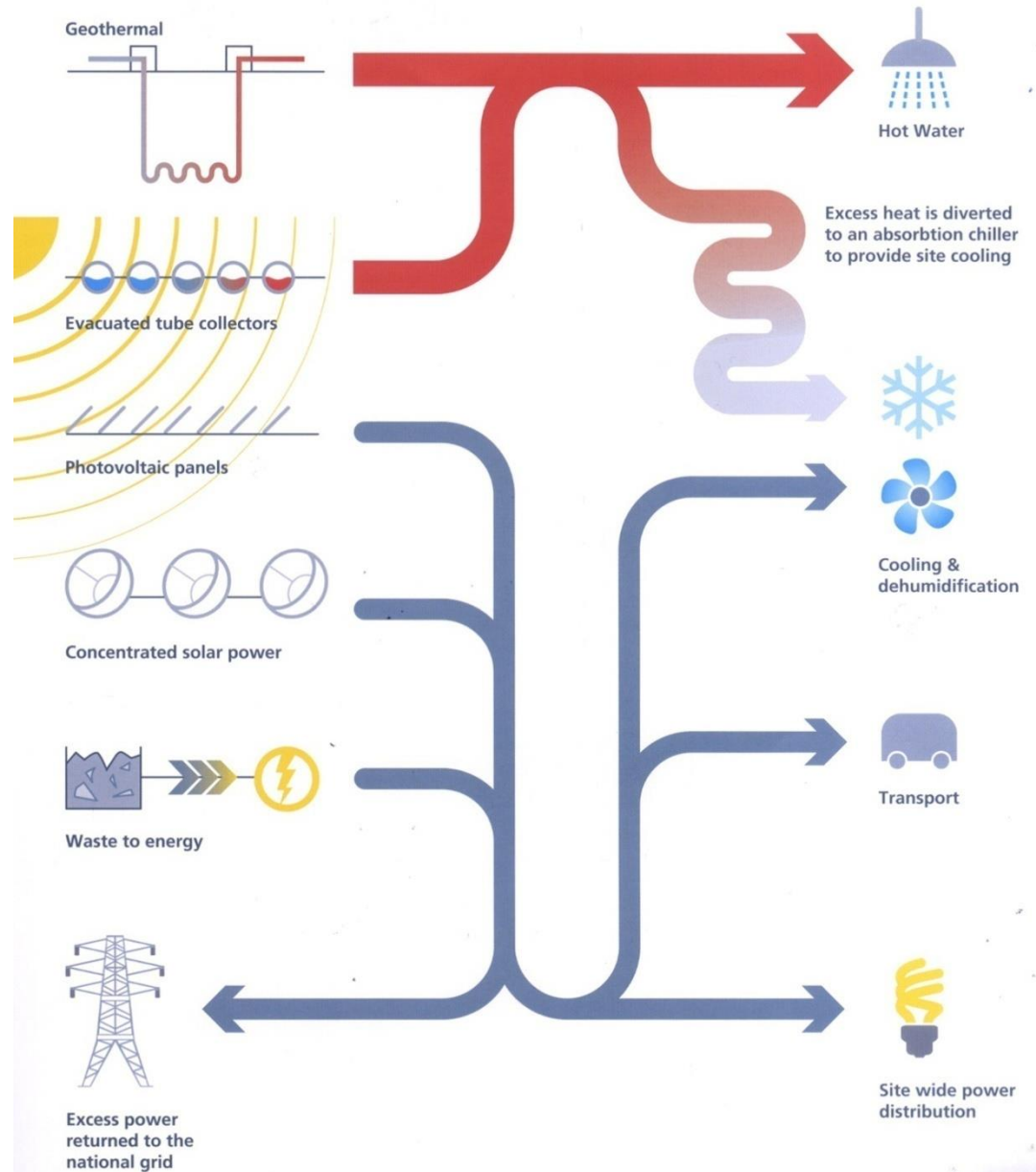


에너지 전략

- Photovoltaic technology
 - 태양광 발전은 생산되는 에너지 총량 중 가장 많은 부분을 차지

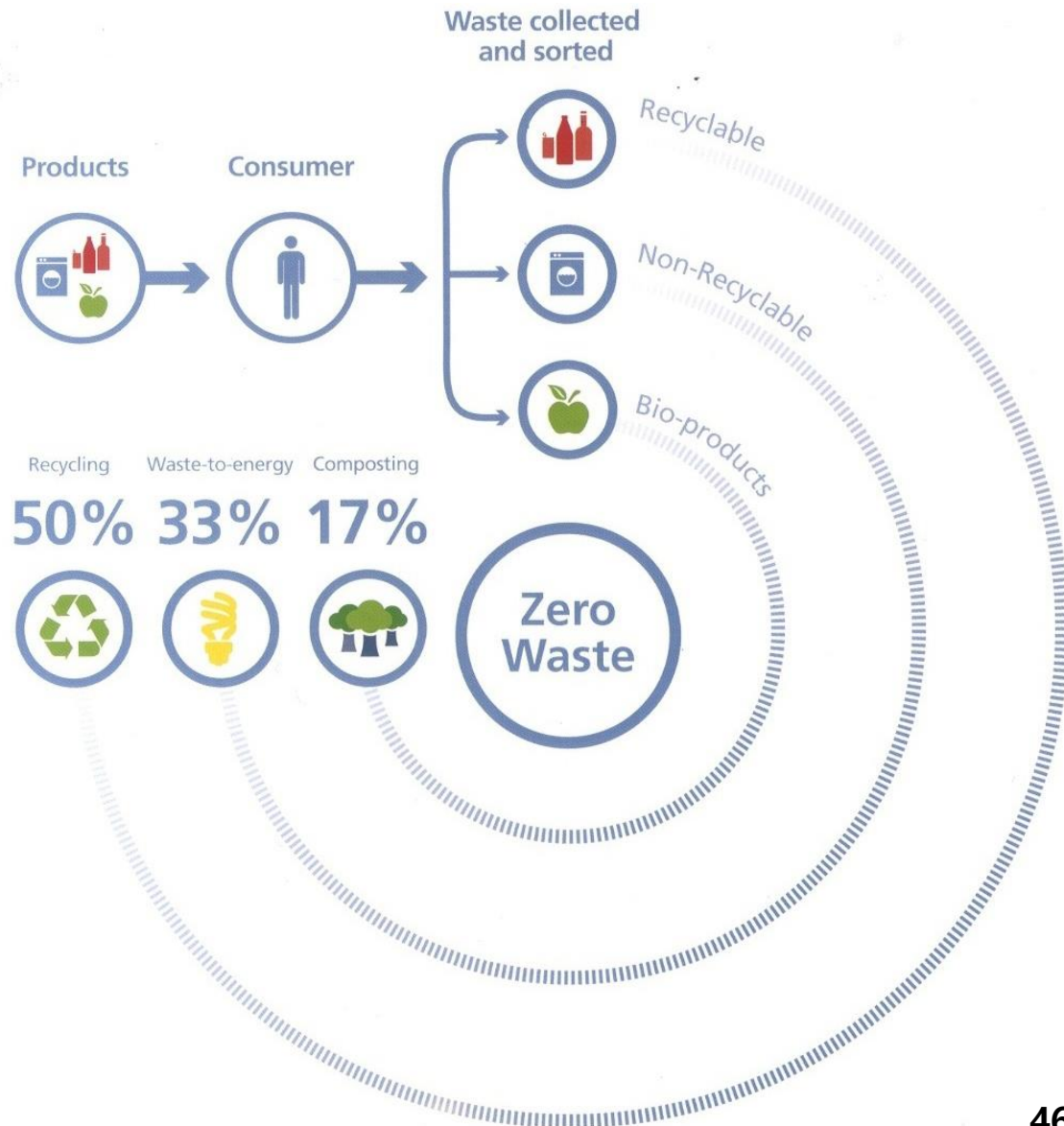
- Concentrating solar power
 - 태양열 저장
 - 담수화 에너지원으로 활용

- Waste to energy
 - 재활용할 수 없는 폐기물은 에너지로 변환하여 재사용



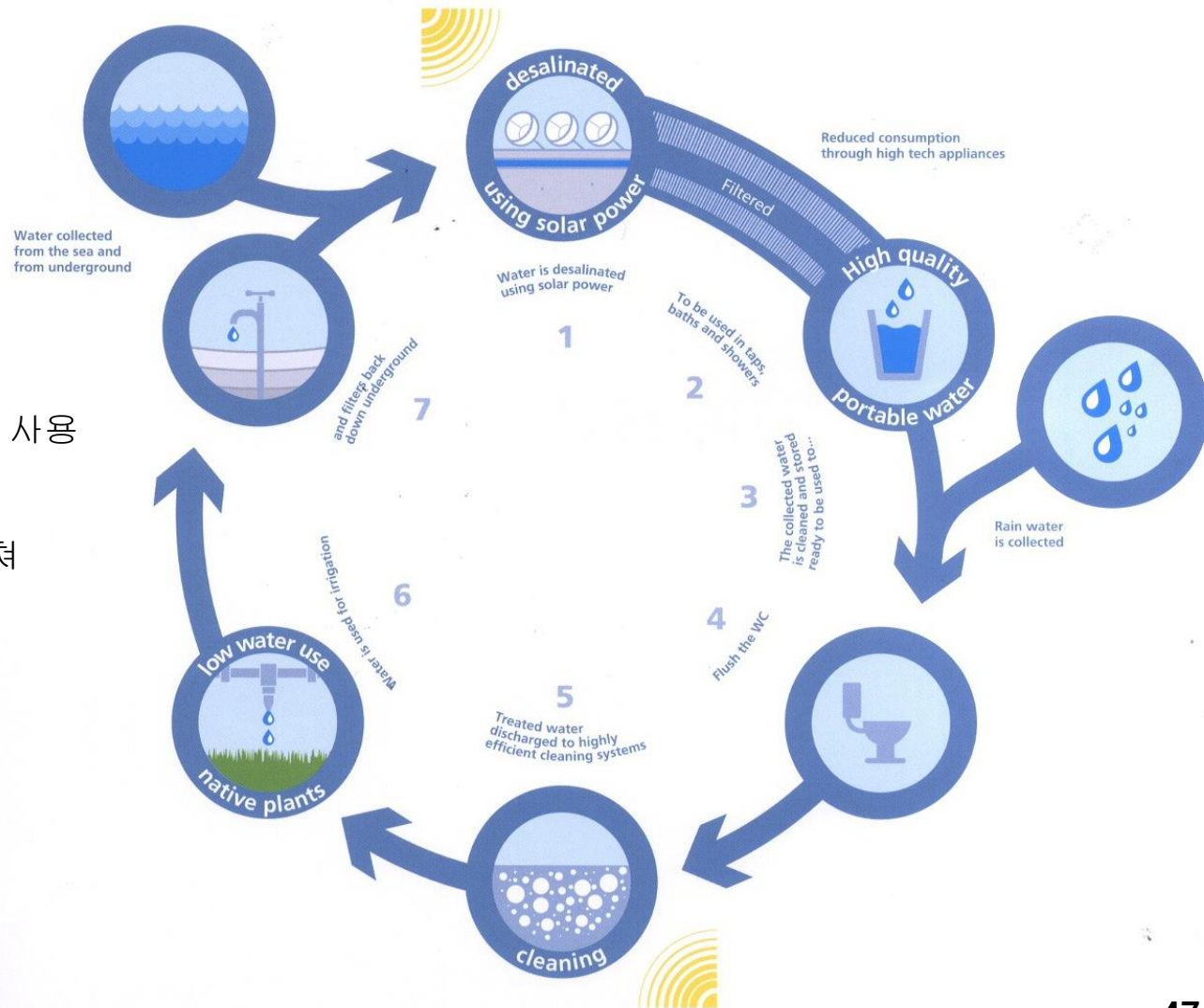
자원전략 - 폐기물 재활용시스템

- 쓰레기는 100% 전량 수집되며 분류
- 재활용 50%,
폐기물 에너지 33%,
퇴비화 17%로
Zero Waste를 실현



자원전략 - 수순환 시스템

- 태양열을 이용하여
해수, 지하수를 담수화
- 담수화 과정을 거친 물은
식수로 이용
- 우수 집수 후 화장실 용수로 사용
- 화장실 용수는 필터링을 거쳐
관개용수로 활용



5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

2) 스웨덴 스톡홀름 하마비 사례

- 하마비 허스타드(Hammarby Sjöstad)
 - 위치: 스웨덴 스톡홀름 도심의 남쪽 약 5km
 - 규모: 200ha(계획 인구: 25,000인)
 - 개발기간: 1992~2015년
 - 개발 목적: 스톡홀름의 주택수요 충족, 지속가능한 도시 주거형태의 모델 구축, 친수·자원순환형 생태적 계획도시의 건설



하마비의 위치 (이미지: 세계도시정보)



하마비 허스타드 전경 (이미지: shutterstock)

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

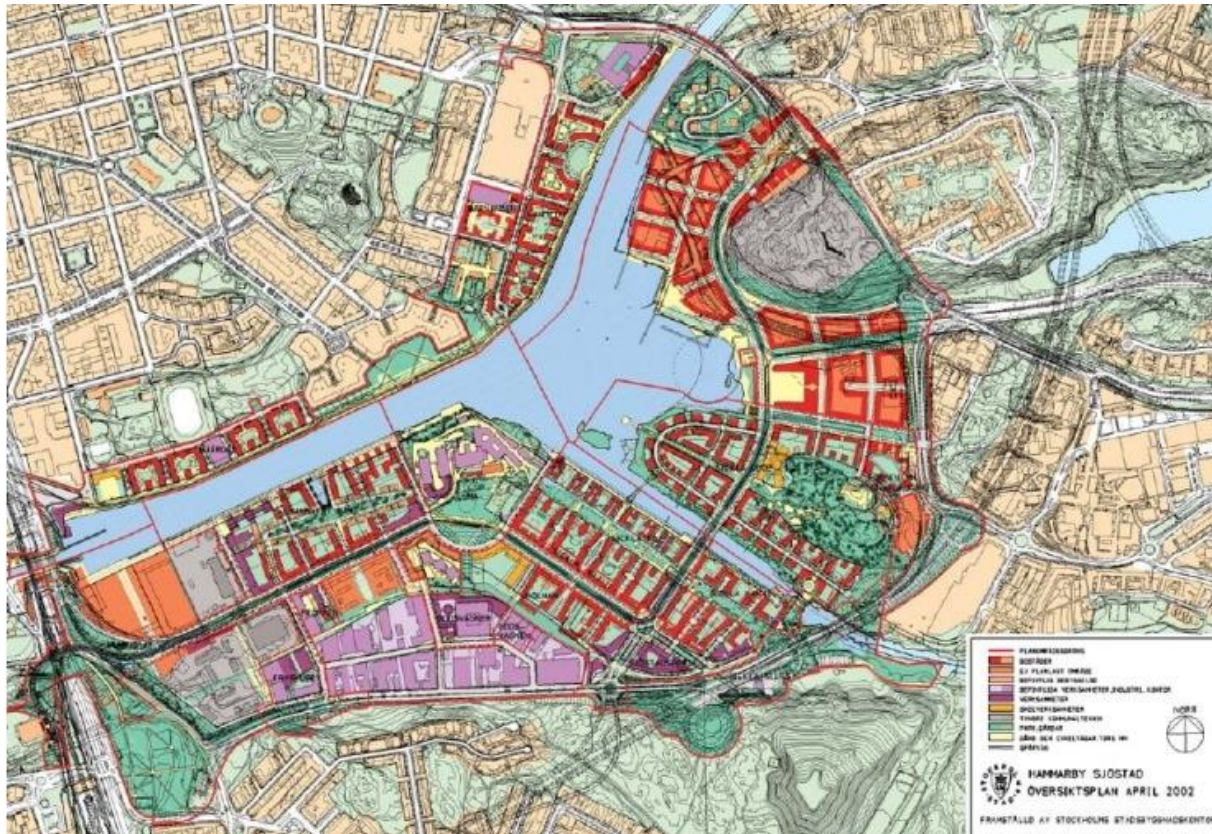
2) 스웨덴 스톡홀름 하마비 사례

- 하마비는 공장 지대로 1차 세계대전 이후 발틱해와 연결된 위치로 인해 급속한 산업화가 진행
- 이후, 제조업이 쇠퇴하면서 육상에는 각종 산업폐기물이 쌓이고, 강은 중금속으로 오염
- 1990년초 스톡홀름에서는 급증하는 주거 수요를 충족하기 위한 장소가 필요
- 하마비는 지리적으로 스톡홀름 중심부와 가까웠기 때문에 대상지로 선정
- 정부는 하마비 호수 주변 계획을 수립, 오염된 토양 제거, 지역의 입주 기업들을 이전
- '호수에 둘러싸인 도시' 라는 뜻의 하마비 허스타드 (Hammarby Sjöstad)로 공식 명칭
- 하마비 도시재생사업 개발 구상과 토지이용
 - 하마비 호수는 신도심의 'Blue eye'로 주민의 쾌적성 측면에서도 중요한 계획 요소
 - **스톡홀름 도심 내에 계획된 신도심(inner city) 특성을 감안하여 도로폭은 18m, 블록 규모는 70X100m로 설정**

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

2) 스웨덴 스톡홀름 하마비 사례

- 자체 하수처리 시설과 폐기물 소각시설 확보를 통해 물질과 에너지 순환을 도모
- 수변공간 주변에 녹지를 조성하고 우수를 활용한 중정의 친수공간 확보와 인공수로 설치
- 경전철과 수상교통수단, 자전거도로 등의 교통시설 확충과 주차공간 축소 정책(나아가 차량진입 억제)을 통해 녹색교통수단 중심의 도시 형성



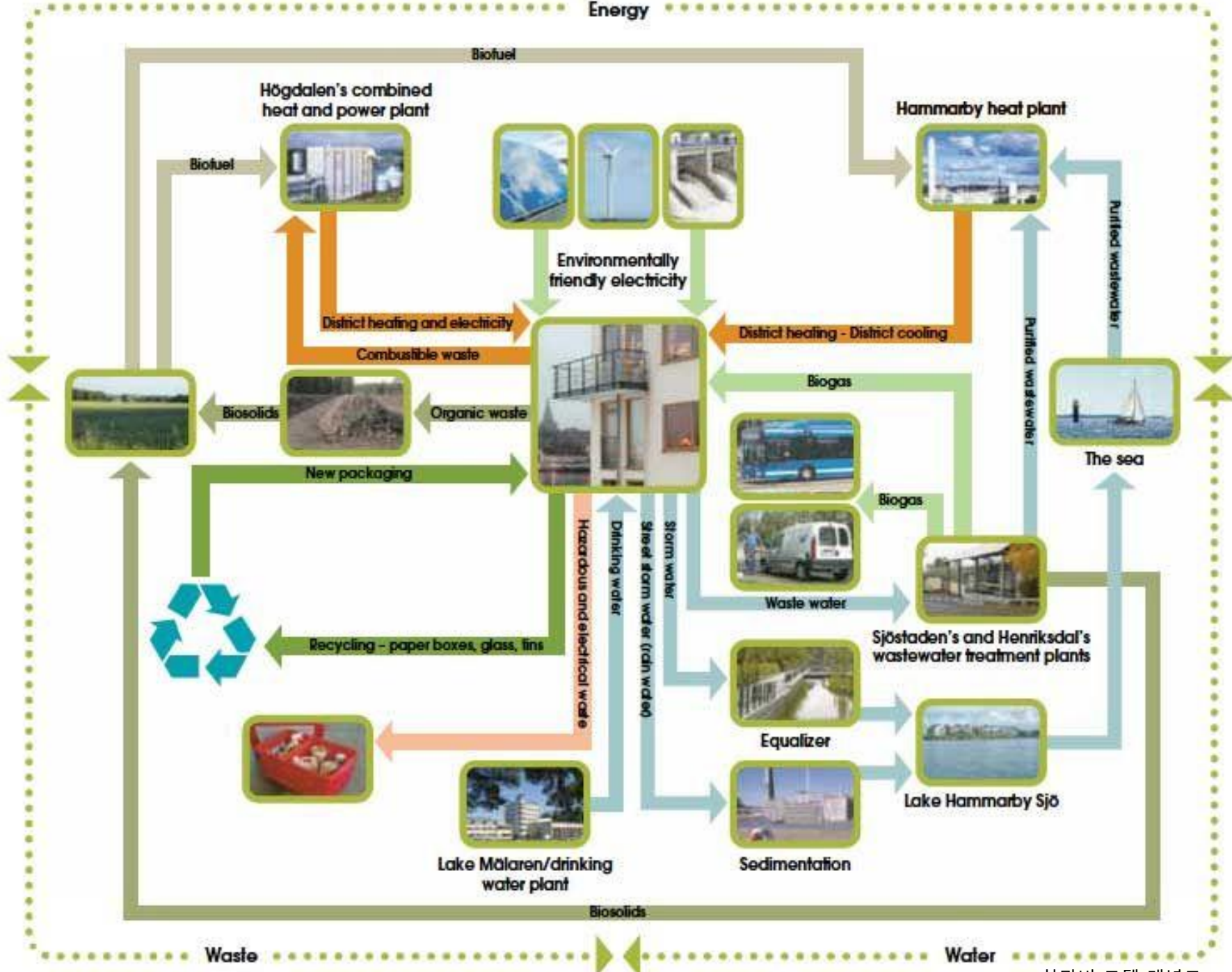
하마비 마스터플랜(이미지: 세계도시정보)

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

2) 스웨덴 스톡홀름 하마비 사례

- 하마비 모델(The Hammarby Model)
 - 지속가능한 도시를 만들기 위해 프로젝트 실행단계에서도 환경적 문제를 우선적으로 반영하도록 하는 자체 환경 프로그램을 개발하여 친환경적 자체 순환 모델을 구축
 - 하마비모델은 에너지, 쓰레기, 물관리에 관련된 자체 고유의 도시개발 모델로 그 핵심은 바이오가스등 재생에너지를 기반으로 한 에너지 순환시스템임
 - 지구내 난방 등의 에너지 대부분을 친환경적인 재생에너지를 통해 얻고 있음
 - 모든 필요 에너지는 폐수 및 폐기물 등 재생가능 에너지 원천으로부터 조달됨
 - 식물의 비료까지 유기 폐기물에서 생산되는 등 도시의 생태계 순환시스템임

Energy



Waste

Water

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

2) 스웨덴 스톡홀름 하마비 사례

■ 주민의 쾌적성을 고려한 쓰레기 순환시스템

- 쓰레기 처리를 위한 집하시설(transfer terminal)이 건설되었으며, 지하에 쓰레기 진공흡입관이 매설되었고 유인송풍기에 의한 진공력에 의해 쓰레기를 반송한 후, 선별, 압축하여 반출하는 역할을 수행(자동차 진입억제 - 쓰레기 수거차량 포함)
- 처리시설 바로 옆에는 바이오가스 생산시설이 설치
- 일반 가정에서 쓰레기 투입을 위한 장치는 옥외 뿐 아니라 옥내에도 설치되어 있는데 음식물쓰레기 투입구는 건물 내부 각 층별 또는 1층에 위치하고 있음
- 종이 등 재활용품쓰레기 투입구는 건물 외부에 배치됨



<쓰레기 처리를 위한 옥내 투입구와 옥외 투입구>

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

2) 스웨덴 스톡홀름 하마비 사례

- 에너지의 재생을 실현하는 오수처리시스템
 - 폐기물을 태울 때 발생하는 열 이외에도 폐수처리 시 발생하는 바이오가스를 사용하여 난방 실시
 - 오수처리시설의 부하를 줄이기 위해 도로 및 지붕에서 흘러나오는 지표수를 처리하도록 우수 통로(channel)를 설치하여 호수로 유입
 - 오수처리시스템은 **친수환경을 조성하는 도시경관요소로 자리매김**

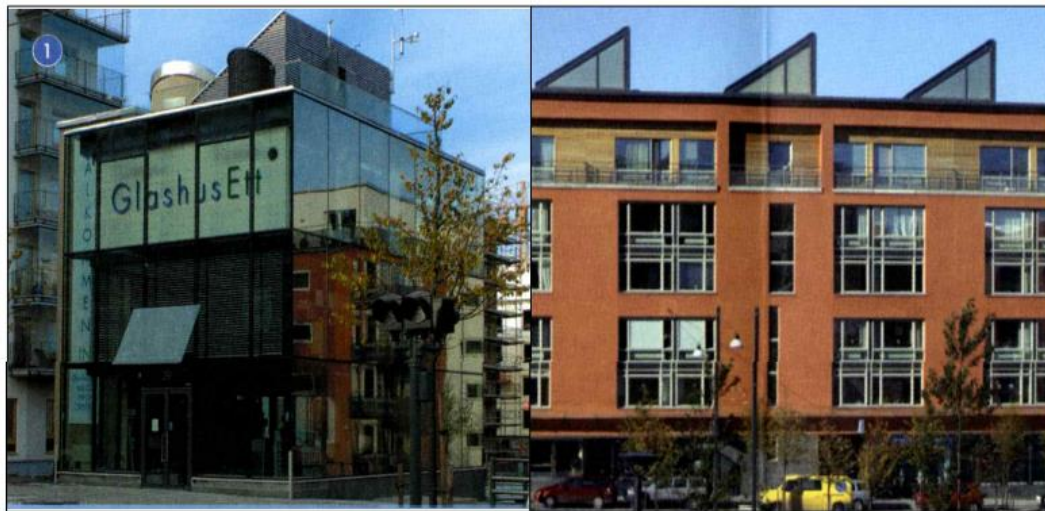


<오수배수시설과 오수처리시스템>

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

2) 스웨덴 스톡홀름 하마비 사례

- 적극적인 재생에너지의 활용과 자원의 재활용
 - 대체에너지 생산 관련 인프라와 건축물이 배치되어 있으며, 태양열을 이용한 태양열수집패널(heat panels)를 적용하여 개별 건축물 난방
 - 친환경시스템을 최대한 활용하기 위해 **환경 인포메이션 센터**를 설치하여 지역 주민에 대한 지속적인 환경교육은 물론 하마비 도시개발을 적극 홍보
 - 친환경시스템을 최대한 활용하기 위해 하마비에서 사용된 건축용 자재는 재활용이 가능한 재료를 계획 초기단계에서부터 채택('내재탄소' 고려)



<환경 인포메이션 센터와 heat panel을 지붕에 설치한 아파트>

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

2) 스웨덴 스톡홀름 하마비 사례

- 쓰레기 순환시스템
 - 발생하는 열에너지는 지역난방에 활용되고 있음
 - 폐수에서 걸러낸 쓰레기는 바이오가스로 재탄생, 자동차의 연료로 사용되고 있음
 - 쓰레기 소각 잔여물을 퇴비로 활용하는 등 재생에너지 생산을 생태계 순환시스템으로 연계, 발전시킴
- 태양에너지 활용
 - 태양열을 이용한 **개별 건축물 연간 난방의 50%**를 담당
- 바이오가스 등 재생에너지를 통한 에너지 순환시스템
 - 친환경적인 재생에너지 조달
 - 폐수 및 폐기물로부터 재생가능에너지를 추출
 - **환경 인포메이션 센터**를 설치하여 환경에 대한 교육 및 홍보활동 전개
 - 지구내 난방 등의 에너지소비 대부분을 친환경적인 재생에너지에 의존

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

2) 스웨덴 스톡홀름 하마비 사례

■ 우수처리장치

- 정화된 빗물은 단지내로 유입해 작물을 재배
- 우수를 활용한 친수공간 조성
- 주거단지 곳곳에 설치된 인공수로는 쾌적한 도심환경을 제공

■ 녹색교통체계

- 경전철 시스템, 수로를 이용한 수상교통, 자전거 도로 등 녹색교통체계 구축
- 2세대당 1.5대로 차량보유를 제한(주차장은 2가구당 1대) – 쓰레기 순환시스템과 연관



하마비의 수변공간 (이미지 :국토연구원)

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

3) 사례고찰의 시사점

▪ 탄소중립도시의 계획요소

- 에너지(건물과 교통)
- 물(건물과 기후위기 적응)
- 폐기물(건물)
- 도시열 관리(건물과 기후위기 적응)
- 도시내 자연 생태계 관리 및 복원(탄소흡수)

▪ 스마트 기술의 적용: 생산자, 관리자, 이용자의 긴밀한 연계

- 신재생에너지(태양광, 풍력, 소수력 등) 생산시스템
- 자원(물, 폐기물, 열 등) 관리시스템
- 시민(이용자) 정보제공 및 참여 시스템
- 공공 의사결정지원시스템

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

3) 사례고찰의 시사점

- **통합적 도시계획(탄소중립을 위한 토지이용계획)**
 - 교통 및 주차(신 교통수단)
 - 녹지 축과 바람길
 - 업무지역, 주거지역, 중심시설 등 입지
 - 경관계획, 주변부 녹지
 - 도시내 자연 생태계 관리 및 복원
- **스마트 도시계획 정보시스템(증거 기반의 도시계획)**
 - 공간-활동 빅데이터 DB 구축 및 관리
 - 인공지능 분석시스템 활용
 - 실시간 정보제공 시스템 제공
 - 스마트 도시계획가의 역할
 - 의사결정자와 활동자의 효과적 연계
 - 에너지-기후변화-대기질 실질적 통합관리 구현

5. 지속가능한 탄소중립 스마트도시 사례

3) 사례고찰의 시사점 - 스마트 도시계획 정보시스템

- (도시)공간 빅데이터 – 생산자, 관리자, 이용자의 긴밀한 협력
- (도시)활동 빅데이터 – 공간 빅데이터와 연계
- 공간-활동 빅데이터 통합관리시스템(**디지털 트윈, 메타버스**)
- 공간-활동 빅데이터의 생산자, 이용자, 소비자의 긴밀한 협력
- 도시통합모델(**시뮬레이션 모델**)
- 스마트 시민(소비자)의 참여(**리빙 랩**)
- 스마트 도시계획가 = 스마트시티의 프로슈머(데이터 생산자, 시스템 관리자와 이용자를 연결시키는 도시계획가의 새로운 역할)

6. 탄소중립 스마트 도시계획

1) 4차 산업혁명 기술과 스마트 도시서비스 계획

▪ 시민 체감이 가능한 4차 산업혁명 기술 (가까운 미래의 기술)

- 온디맨드 교통, 핀테크
- 웨어러블 기기, IoT 플랫폼, 스마트 미터링, 데이터 허브

▪ 조만간 상용될 첨단선도기술

- 무인셔틀, 3D 프린팅, 홀로그램 화상회의, 지능형 영상인식
- 제로에너지주택, 스마트팜

▪ 상용까지 많은 시간이 필요한 4차 산업혁명 기술 (먼 미래의 기술)

- 지능형 드론, 자율주행차, 캡슐 열차, 비행자동차
- 가사돌봄 로봇
- 디지털 트윈, 블록체인 행정

▪ 실현가능성 논의

- 기술발달(비용 저감)에 필요한 시간의 문제인가?
- 기술이 도입될 수 있도록 기존 도시인프라와 활동방식을 전환해야 하는 문제인가?

6. 탄소중립 스마트 도시계획

1) 4차 산업혁명 기술과 스마트 도시서비스 계획

		도시	근린	가로	건물
교통	교통사고	스마트 신호체계	스마트 횡단보도	스마트 대여	
	교통체증	MAAS C-ITS	스마트파크	스마트 가로등	
	주차문제	스마트카셰어링			
환경	에너지	스마트그리드			
	환경보호	상하수도 원격탐사	EV충전소	스마트 쓰레기통	AMI & BEMS 태양광발전
	미세먼지	미세먼지 모니터링&알림 서비스			스마트 홈
안전	재난관리	기상예측 및 모니터링	도시재생 지원	지능형 CCTV	지능형 경보시스템
	범죄관리	디지털트윈	스마트 CPTED		
복지	취약층지원	웨어러블 서비스	스마트의료 스마트 셰어하우스	인공지능 도우미	원격의료 가사돌봄로봇
행정	행정지원	디지털트윈 빅데이터 센터	주민의사지원 플랫폼	행정지원 챗봇	공공기관 스마트관리
경제	경제활동	관광지원 App 스마트트렌드	리빙랩 스마트상권관리	스마트페이	AR/VR 관광

(출처 : 국토부, 2018)

6. 탄소중립 스마트 도시계획

2) 스마트 도시계획 수단: 거시-미시 연계 빅데이터 DB와 통합시스템

- **스마트 도시계획의 목적은 지속가능한 탄소중립도시 실현!**
- 공간 빅데이터(미시 데이터) DB – 생산자, 관리자, 이용자의 긴밀한 협력
- 공간 빅데이터와 기존 거시 데이터와의 연계
- 활동 빅데이터(미시 데이터) DB – 공간 빅데이터보다 더 자주 변화함
- 활동 빅데이터와 공간 빅데이터의 연계
 - 공간-활동 빅데이터 통합관리시스템(디지털 트윈)
 - 공간-활동 빅데이터의 생산자, 이용자, 소비자의 긴밀한 협력
 - 거시-미시 연계 도시통합모델(디지털 트윈: 시뮬레이션 모델)
- 스마트 시민(소비자)의 참여시스템(리빙 랩+빅데이터 생산시스템)
- 스마트 도시계획가 = 스마트도시의 프로슈머(데이터 생산자, 시스템 관리자와 이용자를 연결시키는 역할)

경청해 주셔서 감사합니다.