

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

1. 자연자원과 에너지 저감계획

기후와 에너지 문제의 근본 원인이 되고 있는 탄소는 도시에서 소비하고 있는 에너지소비에서 절반이상이 배출되고 있다. 때문에 최근 우리나라뿐만 아니라 선진 외국에서는 탄소를 저감시키기 위한 노력이 도시차원에서 활발하게 추진되고 있다. 탄소배출을 획기적으로 저감하기 위한 노력은 탄소배출이 없는 재생가능에너지원을 사용하는 방법과 탄소배출 자체가 발생되지 않도록 에너지를 저감하는 것이다¹⁾. 도시에서 에너지 저감은 자원을 저감하는 효과와 함께 도시에너지 소비에 대부분을 차지하고 있는 화석에너지 소비를 절대적으로 줄이는 방법이다. 에너지 저감효과는 물리적인 도시공간의 이용형태를 변화시킴으로써 얻을 수 있으며, 다른 하나는 에너지원을 직접 소비하는 도시의 건축물, 자동차 등의 현명한 이용을 통해서 효과를 얻을 수 있다.

가. 도시 공간단위의 계획

에너지 저감 방안은 일반적으로 높은 결과를 도출할 수 있는 분야가 건축물이며, 주로 일조와 채광을 이용하는 건축디자인과 고단열 기술과 재료에 의존한다. 그에 반해 생태도시 분야를 제외 한 일반적인 도시계획에서는 에너지 저감에 대해 상당히 소극적으로 다루어왔다. 탄소배출 저감을 핵심으로 하고 있는 저탄소 녹색도시에서는 공간구조 설정이라는 계획 초기 단계부터 에너지 저감에 대한 개념과 원칙을 고려하지 않으면 건축물의 단열, 재생가능 에너지를 활용단계에서 높은 비용투자에 대한 문제를 야기하게 되어 상당한 어려움을 겪게 된다. 따라서 저탄소 녹색도시를 조성하기 위해서는 입지선정에서부터 에너지 저감원칙을 준수하며 계획을 수립하는 것이 필요하다.

- **도시공간구조** : 탄소배출은 에너지나 산업, 자동차 못지않게 도시형태, 토지이용, 공간구조, 배치, 토폴로지(topology)등도 원인으로 작용한다. 에너지 소비와 탄소배출을 억제하기 위한 도시공간구조는 주거와 노동, 여가 기능이 상호 연계된 압축화, 도시기반시설 및 관련 기능의 집중화, 이동거리 단축을 위한 접근성 향상 등이 기본 요건이 된다. 이와 같은 사례는 이미 생태도시계획과 생태주거단지 개발사례에서 다양한 설계기법을 통해 에너지소비와 탄소배출 저감효과를 보여주고 있다. 그리고 최근에는 보다 적극적인 탄소중립 도시 실현을 위한 새로운 공간구조와 계획기법에 대한 연구들이 추진되고 있다²⁾. 현재의 도시공간구조의

1) 이와 같은 도시를 최근에는 저탄소 녹색도시라고도 한다.

2) 김정근, 오덕성, 2007, 최근 기후변화 대응을 위해 도시차원에서 계획되고 있는 대표적인 예는 태양에너지를 중심으로 한 Zero Carbon, Zero Waste Ecology를 추구하고 있는 Norman Foster의 Zero Carbon City

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

문제점은 예를 들어 단일기능(행정타운, 연구단지, 산업단지 등)이 일정 공간에 지나치게 집중되면서 인구 및 교통체증을 유발하게 되고, 이로 인해 불필요한 에너지 소비와 탄소배출의 원인이 되고 있다. 이를 해결하기 위해서 도시와 도시 또는 도시 내 공간은 다양한 기능, 이동거리, 기반시설 등을 고려한 분산된 집중화(Decentralized Concentration)가 필요하게 된다. 위와 같은 공간구조는 생태도시를 기반으로 하고 있는 지속가능한 도시형태 및 공간구조이며, 이는 에너지 절약형 토지이용, 교통체계, 에너지 수요 및 순환체계 등을 종합적으로 반영하는 것을 기본으로 한다. 지속가능한 도시공간구조의 대표적인 모델이 “압축시티(Compact City)”, “분산적 집중(Decentralized Concentration)”, “네트워크 시티(Network City)”, “사이도시(Zwischenstadt: Between City)”³⁾ 등이다.

물론 전통적인 다핵공간구조의 기반으로 국토를 구성하고 있는 유럽국가들은 분산된 집중화 국토공간구조를 유지하고 있으며, 이는 compact city의 유형과 연계하고 있다⁴⁾. 특별한 국토 및 도시공간구조를 갖추고 있지 못한 우리나라는 화석 에너지 의존율이 높은 도시 공간구조와 에너지 소비량이 유럽국가 보다 상대적으로 매우 높다. 따라서 저탄소 녹색도시를 구현하기 위해서는 도시공간구조 또는 도시유형을 위한 명확한 분석을 통해 저에너지, 저탄소 위한 도시형태 및 공간구조 개편과 이를 실현하기 위한 도시계획이 시급하다.

Tip.

최근 많이 거론되는 기후변화 대응 직주근접형 압축도시(Compact City) 이론과 해외 연구결과 및 실천사례를 바탕으로 Compact City의 밀도 수준에 따른 에너지소비 절감효과 비교 연구가 실제로 필요한 상황임. 한 연구에 따르면 50만 이상의 도시일수록 일구밀도가 높을수록 온실가스배출량은 음의관계를 인구 만인당 시가화 면적 면적이 클수록 온실가스 배출량은 양의 관계를 보이고 있음. 즉 대도시의 경우 고밀압축도시 조성이 온실가스 저감에 효과적이라고 해석할 수 있음.

- **대중교통중심의 교통구조** : 대중교통 중심개발(TOD: Transit-Oriented Development)은 에너지 효율을 추구하는 도시개발에서 가장 우선시 되는 항목이다. 경제성과 에너지 효율을 위해서는 일정 밀도 이상의 고밀개발이 요구되지만 고밀을 넘어선 과밀로 인한 교통체증은 환경 문제뿐만 아니라 경제적으로도 커다란 손실을 가져온다. 미국에서 교통체증으로 인한 시간, 에너지, 비용을 계산하면 1년에 약 1,500억 달러가 낭비되며, 이는 덴마크의 1년 총생산 규모이다⁵⁾. 도시공간구조의 기본원리인 ‘시간 및 공간’의 문제를 고려하지 않은 교통체계는 도시공간구조와 함께 저탄소 녹색도시 구현에 직·간접적으로 커다란 영향을 주고 있다.

Masdar, 세계 최초의 Carbon-Neutral City를 목표로 SIIIC와 Arup이 설계한 중국 Dongtan Eco-City, 일본 Zero Emission and Eco-Town Kawasaki, 독일의 Zero Emission Village 프로젝트 등

3) Wentz, M., 2000, Baccini, P., Oswald, F., 1999, Sieverts, Th., 2001

4) Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2002

5) Rogers, R. 1997

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

기존의 공급위주의 교통시스템에서 수요위주의 계획으로의 시스템 변화를 통해 대중교통 중심의 도시체계를 구축해야 한다. 이는 대중교통수단, 보행거리, 자전거도로, 도시와 광역교통체계, 이동시간 등이 상호 연계된 체계적인 교통망을 가지고 있어 환경이익의 극대화, 경제손실의 최소화를 달성할 수 있다. 이처럼 교통발생은 도시형태와 공간구조에 의해 좌우되기 때문에 교통시스템은 도시계획과 밀접하게 연계되어 수립되어야 하는 것이다.⁶⁾

도시 기후문제 해결책의 일환으로 스웨덴, 영국, 독일, 네덜란드 등에서는 도심지 내 교통으로 인한 대기오염을 억제하기 위해 ‘환경 보호지역’을 지정하는 제도도 추진하고 있다⁷⁾. 이것은 현재의 대기오염 감소효과를 유도함과 동시에 향후 환경을 배려한 자동차 이용을 촉진하는 전략이기도 하다.

6) 이러한 노력은 이미 많은 국가에서 다양하게 추진되고 있으며 그 대표적인 프로그램이 Car-Sharing, Bike-Sharing, Park & Ride, Bike & Ride, Bike & Bus, Kiss & Ride 등이다. 이 프로그램이 도시에 적용될 때, 도로 및 신호체계에서부터 환승체계에 이르기까지 도시 교통 시스템과 긴밀히 연계되어 사용자의 편의를 높여 대중교통 활성화에 기여한다.

7) CityGods, Miljoezon, Environmental Zone, Clear Zone, Zero Emission Zone, Low Emission Zone이 대표적이다. Hertel, Ch., 2005

Tip. 환경친화적 대중교통시스템의 예와 특징

- 경전철(LRT: Light Rail Transit): 지하철 건설비용의 30~70%
- 노면전차(Tram)
 - 레일, 발전시설비용, 차량비용만 있으면 건설가능하며, 대량수송가능하고 낮은 전력을 소비함
 - 지하철 건설비용의 30%, 저공해 친환경. 낮은 전력소비(모노레일보다 전력소비 적음)
 - 버스보다 비싸지만, 지하철 모노레일보다는 경제성이 있음
 - 위험성이 높으며, 도로 차수 2개 감소
- 자기유도차량(GRT: Guided Rapid Transit); 유도고속차량
 - 버스와 전철기능 혼합한 신교통수단. 전기, 고무바퀴
 - 중앙차로에 자석깔린 자기궤도 설치. 무인운영 가능하며 1회 150명 수송가능
- 간선급행버스체계(BRT: Bus Rapid Transit)
 - 도로에 버스전용차로 설치하고 급행으로 버스 운행시키는 급행버스 시스템
 - 버스 징수시스템, 승강장, 환승정거장, 환승터미널, 정보체계 등 전철처럼 적용
 - 건설비용 지하철의 1/10(예: 미국, 유럽, 대전~행복도시~오송)
- 자기부상열차(MLT: Magnetic levitation train)
 - 자기력 이용해 차량을 선로위에 부상시켜 움직이는 열차. 선로와의 접촉이 없이 소음과 진동이 매우 적고 고속도 유지 가능
 - 차량단가는 지하철의 2배이나 1km 건설비: 250억원, 바퀴식 경전철 300억원, 지하철 500억원
- 자동안내주행차량(AGT: Automated Guided Transit)
 - 기존 전철 축소시킨 형태(일본, 프랑스에서 도입). 교각과 선로가 설치되어 있는 노반을 따로 설치함으로써 모노레일에 비해 비용 많이 들고 교각아래 햇빛이 들어오지 않아 슬럼화 가능성 큼

Tip.

일본 국토교통성은 집약형 도시구조를 지향하는 정책을 통해 중심시가지에 도시기능을 집적하고 교통결절점 정비, LRT:차세대형 노면전철, BRT:전용, 수순선 주행에 의한 지상연결버스 시스템 등 도시, 지역 종합교통전략을 추진하고 있음.

- **재생가능에너지** : 에너지가 중요한 도시문제로 등장하면서 재생가능에너지 기술의 활용이 더욱 중요시되고 있다. 교토의정서 이후 여러 도시들이 계획적으로 신·재생에너지 이용관련 목표를 설정하고 있다. 예를 들어, 독일 프라이부르크(Freiburg) 시는 2030년까지 공공기관과 민간부문 모두 전력사용량의 10%를 재생에너지로 공급하는 것과 CO₂ 발생량을 25% 감축하는 것을 목표로 설정하고 도시계획 관련 제도도 함께 마련하였다. 덴마크의 코펜하겐(Copenhagen) 시는 바다의 풍력발전 시설의 전력으로 시 전체 전력의 4%를 공급하고 있고, 노르웨이 오슬로(Oslo) 시는 하수 폐열을 이용하여 난방 및 온수 공급하고 있다. 바이오가스, 지열 등을 이용한 도시 신·재생 에너지계획과 건축은 지속적으로 성장하고 있고, 최근에는

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

신·재생에너지 이용을 위한 다양한 도시개발 및 주거단지 모델들과 에너지 자립형 도시 및 주거단지 프로젝트가 추진되고 있다⁸⁾. 이들 도시들은 화석에너지 의존형 도시구조에 탈피하여 CO₂배출을 현저하게 감소시키고, 새로운 에너지원의 생산으로 경제적 이윤을 창출하고자 하고 있다.

재생가능에너지를 최대한 활용한다 하더라도 건축물 자체가 에너지 절감에 효율적이지 못하면 투자에 비해 탄소배출억제 목표나 경제적 효과에 대한 기대치를 얻기 어려우므로 단열재와 패시브 건축기법 등을 최대한 활용하기도 한다. 독일에서 개발하여 적용하고 있는 세계적 고단열 모델인 ‘패시브(Passive)건축기법’과 같은 것이 대표적 사례이다. 특히, 패시브 건축은 에너지 기본소비기준을 15kWh/m²a로 제한하고 있다⁹⁾. 스웨덴의 말뫼(Malme)시는 도시개발계획 수립 시 풍력, 태양열, 메탄가스 등 지역이 가지고 있는 재생에너지 잠재력을 분석하여 적용하였고, 현재 도시에서 필요한 에너지의 100%를 신·재생에너지로 충당하고 있다. 또한, 1999년을 기준으로 2012년까지 이산화탄소 배출량을 25%까지 절감하는 장기적 계획도 수립하였다¹⁰⁾. 독일 프라이부르크(Freiburg)시는 버방(Vauban) 주거단지 내에 플러스 에너지 주택 (Plusenergiehaus)을 건설하여 137.6m² 면적의 주거단위에서 연간 1,650유로의 난방비용을 절약하고, 태양에너지 시설을 통해 연간 4,500유로의 수익을 얻고 있다¹¹⁾.

이와 같이 기후변화 대응을 위한 신·재생에너지의 이용은 도시계획, 주택건설 분야에 커다란 변화를 가져왔다. 지금은 많은 도시들이 지역적 여건에 따라 신·재생에너지 잠재력을 최대한 활용하기 위한 연구와 프로젝트 개발, 그리고 공공과 민간, 업체 등이 공동으로 사업을 추진하는 등 점점 다양해지고 있다. 그 중 태양에너지 이용을 위한 설계가 중요한데, 태양광전지판(Photovoltaic cells: PVs)은 전력을 직접 생산할 수 있으며, 빛의 차단과 보온작용을 할 수 있기 때문에 지붕, 벽면, 유리창을 대체할 정도의 건축자재 수준까지 발전하였다. 태양열을 통해 온수와 난방을 공급하는 시설은 1년이면 연료 절감비용으로 설치비용을 충당할 수 있을 만큼 경제성이 높아졌다.

도시계획 및 건축설계에서 태양에너지를 효율적으로 이용하기 위해서는 무엇보다도 지형과 건물의 배치가 중요하다. 건물의 배치는 남-북 방향을 중점적으로 고려하고 지붕의 경사, 지형이나 주변 건물로 인한 그림자가 형성되지 않도록 해야 한다. 또한 건물의 인동간격, 배치방향, 건물사이에서 발생될 도시 미기후를 고려한 찬 공기 생성면적 등도 고려되어야 한다. 단지배치에서도 반드시 자연지형을 최대한 보존·활용하고 채광과 풍향을 고려해야 한다. 자연지형 활용방법에 따라 에너지 소비의 차이는 -80%에서 +120%에 이른다. 또한 일조와 채광을 고려한 건축물의 배치에 따라서도 에너지 소비는 약 20%의 차이가 발생한다<그림 5>¹²⁾. 그 외에도 건축공법, 벽, 창문 등의 디테일과 단열방식에서 따라서도 에너지 소비의

8) 월드워치연구소 2007

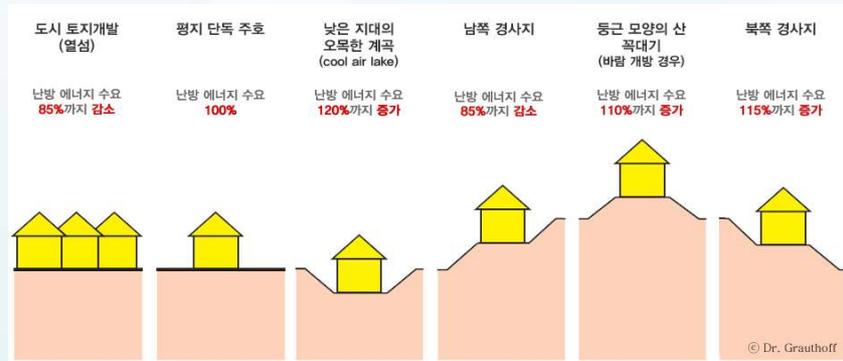
9) 김정곤 외 2008, Energie Tirol, 2000

10) 월드워치연구소, 2006

11) IBA Hamburg GmbH 2009, Solarsiedlung GmbH, 2008

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

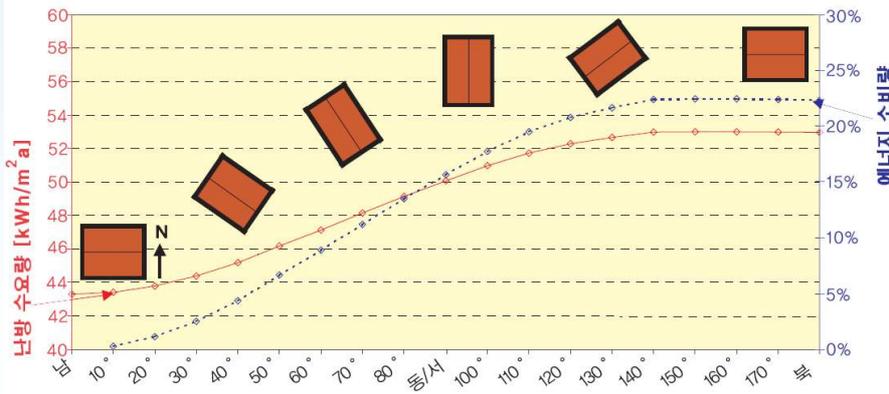
차이가 크게 발생한다. 또한 태양에너지를 이용한 단열건축물을 설계할 때, 반드시 건물의 기밀도 및 침기량 평가를 실시하여 열손실을 줄여야한다. 제도적 범위에서도 에너지를 절감 시키기 위한 침기량 측정 방법인 ‘Blower Door Testing’등이 의무화 되어야 할 것이다.



<그림 4> 지형에 따른 에너지 저감 (출처: MVEL2002, p. 16)

Tip.

침기(浸氣)란 건물외피 등을 통해서 계획되지 않은 외기가 실내로 침입하는 현상을 말하며, 침기량은 외부에서 침입한 공기의 양을 의미한다.



<그림 5> 건물의 향에 따른 난방수요 및 에너지 소비량 (출처: MVEL2002, 페이지 20 변경)

나. 건축물 단위의 계획

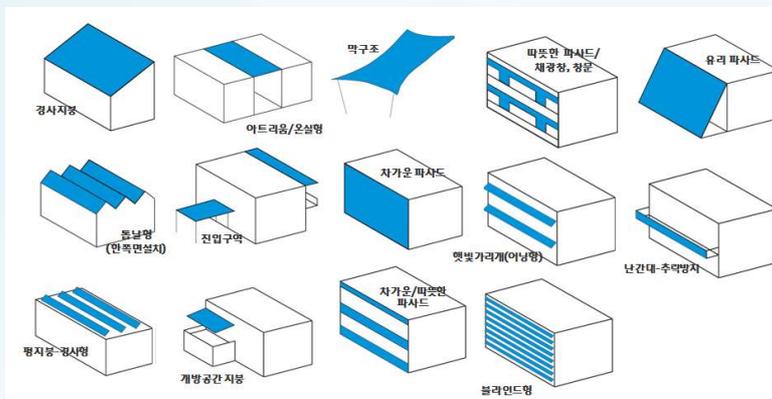
건물은 전 세계 에너지의 약 40%를 사용하는데 그 중에서 약 절반은 실내 난방과 온수로 이용되며, 나머지는 조명, 실내 냉방, 기기, 사무용 설비 등에 이용된다. 건물의 에너지를 줄이기 위해서는 단열을 적절히 하고, 불필요한 공기의 유입을 차단하고, 난방, 온수, 조명, 환기, 공기조절장치의 효율을 개선함으로써 기존 건물의 에너지 수요를 줄일 수 있다. 신규 건물의 경우 다양한 에너지 효율 조치들을 통합적으로 설계하고, 여러 가지 기능을 관리하기

12) MVEL, 2002

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획



<그림> 건물통합시스템 (출처 WBW 2005 수정)



<그림> 건물부착 솔라시스템의 종류 (출처 WBW 2005 수정)

2. 신재생에너지 활용계획¹⁵⁾

사하라 사막 면적의 4% 이하에서 현재 전 세계 전기수요에 해당하는 태양 전기를 생산할 수 있다고 한다. 지구상에 잠재된 재생가능에너지원의 양은 전 세계 연간 에너지 소비량과 비교할 때 태양에너지는 2850배, 풍력은 200배, 바이오에너지는 20배 이상이 존재한다. 물론 국가별, 지역별 지리적 여건에 따른 잠재량은 차이가 날 것이다.

재생에너지 기술은 화석연료에 의존하고 있는 기존의 에너지 기술보다 더욱 친환경적이다. 국제에너지기구(IEA: International Energy Agency)는 2000년에 세계 전기 생산용량이 330만 MW에서 2020년에 580만 MW로 증가할 것이라고 예측하였다. 이대로 간다면 화석연료에 의존하고 있는 전기생산량은 2020에서 2060사이에 고갈될 것으로 예상된다. 이는 기후변화의 원인이 되고 있는 화석에너지 의존의 에너지 소비구조 문제와 함께 국가 에너지 안보에 위협적인 예측이기도 하다. Shell International(Royal Dutch Shell)은 재생가능에너지가 2060년에 세계 에너지의 60%정도를 담당하게 될 것이라는 예측을 했다. 세계은행은 태양광의 세계적인 시장이 약 40조 달러 규모에 이를 것이라고 평가한다¹⁶⁾. 현재 독일과 일본

15) 김정곤 외 2010

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

등의 태양광 에너지 시설 규모나 산업성장을 보면 납득이 될 만한 예측일 수도 있다.

기후변화 문제보다 에너지 문제는 이미 1973년 OPEC(석유수출국기구: Organization of the Petroleum Exporting Countries)국가들의 석유 금수조치부터 시작되었다. 그 이후 기후 문제가 심각해지면서 에너지문제는 단순한 안보적, 경제적 차원이나 국가적 차원에 아닌 세계 인류의 문제가 되고 있다. 그 동안 이와 같은 문제해결에 적극적이며 성공적인 결과를 만들어 내는 국가와 도시개발 사례가 있다. 유럽 전역의 태양광발전 용량 80%를 차지하고, 풍력발전 분야에도 가장 활발한 녹색운동의 탄생지인 독일을 중심으로 목재와 바이오연료와 바이오매스의 국가 스웨덴은 탄소저감 정책을 성공적으로 추진하고 있다. 아이슬란드의 경우는 수력과 지열 에너지로 국가 전체 에너지 사용량의 66%를 공급하고 있으며, 전기 생산과 난방열은 거의 이 두 개의 재생에너지원에서 생산된다¹⁷⁾.

이와 같이 재생가능에너지원은 국가별, 지역별 차이는 있지만 인류가 필요로 하는 에너지를 생산할 수 있는 에너지원을 잠재하고 있다. 그 동안 저비용의 화석에너지 소비구조는 기후와 에너지 시대에서는 전환하지 않으면 안 될 것이며, 이미 이를 대체할 수 있는 에너지 기술개발이 이루어지고 있다. 이제는 신-재생에너지원의 이용은 단순한 화석에너지를 대체하는 에너지원이 아니라 인류가 선택해야만 하는 에너지원이며, 저탄소 녹색도시는 바로 '재생가능에너지 도시'로 이해해야 할 것이다.



〈그림〉 연간 전세계 에너지 소비량과 재생에너지 잠재력
(출처. Agentur fuer Erneuerbare Energien e.V. 2009)

16) 윤천석 2009

17) Giddens, A. 2009

Tip.

신·재생가능에너지 (New & Renewable Energy)는 무공해, 무한정의 다양한 자연에너지의 특성과 이용기술을 활용하여 화석연료(석탄, 석유, 천연가스)와 원자력을 사용하는 기존 에너지를 대체하는 재생가능한 에너지이다. 국가마다 에너지 분류방법 따라 신·재생에너지, 미래에너지, 미활용에너지 등 다양한 용어로 사용하고 있다. 대표적인 에너지 분류방법은 다음과 같다.

- IEA는 재생에너지를 태양에너지, 풍력에너지, 수력, 지열, 해양에너지, 가연성에너지와 폐기물(고형바이오매스, 목탄, 바이오가스, 액체 바이오연료, 도시폐기물)로 분류
- 유럽연합은 재생에너지를 태양에너지, 풍력에너지, 수력, 지열, 바이오매스, 폐기물에너지, 매립가스, 바이오가스, 해양에너지로 분류
- 우리나라는 '신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급 촉진법 제2조에 의하여 태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물에너지 등 8개의 재생에너지와 연료전지, 석탄액화가스, 수소에너지를 포함한 3개의 신에너지로 분류하여 사용

도시에너지로 주로 사용되는 재생에너지는 태양에너지, 풍력에너지, 지열, 바이오메스 등이며, 신에너지로는 연료전지이다.

가. 태양광과 태양열

태양에너지의 이용은 태양광과 태양열에너지로 구분된다. 이들 태양에너지를 이용하기 위해서는 남향 위주의 단지계획 및 주동배치가 이루어져야 하며 건물외관 디자인에서도 태양에너지 이용과 건축미관을 동시에 고려하여야 한다.

단독주택에서는 태양광시스템을 이용한 전기에너지뿐만 아니라 태양열시스템을 이용한 온수급탕 확보에도 활용 하도록 한다. 공동주택, 연립주택, 단독주택, 교육시설, 공공청사, 도서관, 문화시설, 사회복지시설, 청소년시설 등에 대해서는 태양광 발전시스템을 적극적으로 적용하도록 한다. 도로, 주차장, 공원 등의 구조물에도 태양광 발전시스템을 적용하도록 하여야 한다.

태양 전지판을 설치할 때에 방위각은 그림자 영향을 받지 않는 곳에 정남향으로 하고, 현장여건에 따라 정남을 기준으로 동서로 45도의 범위 내에서 설치하여야 한다. 단, 박막 모듈을 설치할 경우에는 제한하지 않는다. 경사각은 현장여건에 따라 조정하여 설치 할 수 있다. 또한 주변에 일사량을 저해하는 장애물이 없어야 하며 오전 9시에서 오후 4시 사이에는 모듈전면에 음영이 없어야 한다.

태양광 에너지

- 장점 : 에너지원이 청정무제한, 필요한 장소에서 필요한 발전가능, 유지보수가 용이, 무인화 가능, 긴 수명(약 20년)
- 단점 : 전력생산량이 지역별 일사량에 의존, 에너지밀도가 낮아 큰 설치면적이 필요, 설치장소가 한정적, 높은 시스템 비용, 높은 초기 투자비와 발전단가

태양열 에너지

- 장점 : 무공해, 무제한 청정에너지원, 기존의 화석에너지에 비해 지역적 편중이 적음, 저가의 유지보수비
- 단점 : 밀도가 낮고 간헐적임, 유가의 변동에 따른 영향이 큼, 초기 설치비용이 많음, 봄, 여름은 일사량 조건이 좋으나 겨울철에는 조건이 불리함

나. 지열에너지

지열에너지는 '지구geo'와 '열thermal'의 어원으로 지구의 열이라는 뜻이며, 친환경적 에너지 자원 중 하나이다. 지열에너지는 사용되는 기술에 따라 지열 열펌프, 직접 지열사용, 발전소의 영역으로 구분할 수 있다. 지열발전소를 이용하여 전기를 가장 많이 생산하는 국가는 미국, 필리핀, 인도네시아 등이다. 주거용, 상업용, 산업용으로 주로 이용하는 방식은 저온 또는 중온수(20~150℃)의 지열원을 직접 열을 공급한다. 가정과 상업용에 지열에너지를 직접 사용할 경우 전통적인 연료사용 보다 비용이 저렴하며, 화석에너지 보다 약 80% 정도를 절약할 수 있다¹⁸⁾. 최근에는 주거용, 상업용 건물분야에 온수와 냉난방에 넓게 적용되고 있는 것은 지열열펌프(Geothermal Heat Pump)이다. 지구 표면 아래의 지하는 연중 일정한 온도를 유지하고 있어서 겨울철에는 지표위의 온도보다 따뜻하고 여름에는 차갑다. 지열열펌프는 겨울에는 지구 또는 지하수에 있는 열을 건물로 끌어 올리고 여름에는 건물의 열을 지하로 전달할 수 있다. 이러한 원리는 수증열의 이용에도 동일하게 적용된다. 강, 하천 등과 인접한 지역에서는 수증열을 이용하여 냉난방시스템에 적용하는 방안을 고려할 수 있다. 이와 같이 지구 표면 아래 지하의 온도는 겨울에 열원, 여름철에는 열침을 열교환기를 통해 냉난방과 가정의 온수공급이 가능케 한다. 지열열펌프시스템은 주로 수평형/수직형 밀폐회로 시스템, 연못/호수 밀폐회로 시스템 등이 있으며, 매우 경제적으로 냉난방에너지를 확보할 수 있는 방안으로 많이 보급되고 있다.

미국은 매년 약 50,000개의 지열열펌프가 설치되고 있으며, 유럽 국가들에서도 매우 적극적으로 이용하는 재생가능에너지이다. 지열열펌프의 가장 큰 장점은 기존 냉난방 시스템보다 전기를 20~50% 정도 적게 사용하며, 내부의 50%의 상대습도를 유지함으로써 습기제어를 향상시키는 것이다. 때문에 습기가 많은 지역에 보다 효과적이라고 할 수 있다¹⁹⁾. 또한 지열

18) 윤천석 2009

19) 윤천석 2009

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

열펌프 시스템은 설계가 유연하고 기존과 새로운 환경 모두에 시공이 가능하다. 최근에는 대형건물의 기초파일을 지열시스템으로 이용하는 에너지파일 시스템에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 또한 열원의 심도가 깊어 접근이 어려운 문제를 해결할 수 있는 기술이 개발되기도 하였다. 고열의 암석을 부수고 그 틈 사이로 물을 주입하여 수증기를 지상으로 생성시키는 기술이다. 독일 란다우에 연간 22GWh전력을 생산할 수 있도록 건설한 지열발전소이다²⁰⁾.

다음은 서울숲내 습지생태원 관리사무소로 지열을 이용해 냉난방이 이루어지고 있다.



<그림 > 지열냉난방시스템 시설실 모습



<그림 > 지열로 냉난방이 이루어지고 있는 서울숲 습지생태원 관리사무소

지열 에너지

- 장점 : 히트펌프를 이용하는 지열 이용시스템은 운영비가 기존의 설비에 비해 적음, 상대적으로 이동부가 적으며, 이동부가 건물 내부에 숨겨져 있어 내구성과 신뢰성이 높음, 지열발전소는 24시간 운영이 가능하며, 날씨나 연료공급과 무관하게 작동이 가능함
- 단점 : 토공사 시설비 등 초기 투자비가 높음, 소음이 없어 사용자가 작동여부 파악이 어려움, 계절에 따른 가동을 변화

다. 풍력발전

풍력발전은 해변이나 구릉지 등과 같이 풍력에너지가 풍부한 지역에 대형시스템으로 설치되는 것이 일반적인 경향이다. 그러나 도심지에도 고층빌딩의 옥상이나 지상 300m 이상 되는 곳에는 풍부한 풍력에너지를 확보할 수 있다. 그러나 국내의 도심지에 있는 고층빌딩의 옥상에 존재하는 풍력에너지는 풍력발전으로 활용하기에는 바람의 방향이나 세기가 일정치 못해 품질측면에서 다소 미흡하다고 할 수 있다. 따라서 고층빌딩에 풍력발전시스템을 도입하기 위해서는 소형의 풍력발전시스템이 도입되어야 하며 풍력발전기의 형태도 바람의 방향에 상관없는 수직축 풍력발전 시스템이 유용할 수 있다. 일반적으로 주택지역에 설치되는 풍력발전은 소형풍력발전으로 용량은 10kW급 이하이며 이를 소형풍력이라 한다. 건축물에 적용 가능한 풍력발전의 발전효율은 20 ~ 25%정도이며 발전풍력은 2.5m/sec 이다 (300W

20) Giddens, A. 2009,

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

급의 경우).

소형발전기 설치방식은 건물신축 시 설치하는 건물일체형과 기존의 건축물에 일정한 모듈 형태로 설치하는 모듈 방식이 있다. 풍력발전기를 설치하기 위해서는 설치장소에 대한 풍력 에너지 분석이 선행되어야 한다. 또한 도심지와 같이 풍력자원이 부족한 지역에서는 지상 300m 이상의 풍력에너지를 활용할 수 있다. 이를 위해서는 공중부양 풍력발전시스템이 필요하며 이러한 방법들은 개발이 완료되어 국내에서도 실용화단계에 있다. 또한 공중부양 풍력발전기구를 저탄소녹색도시의 홍보 등에 활용함으로써 그 효용성을 극대화할 수 있다.

풍력 에너지

- 장점 : 증속기어 등 많은 기계부품을 제거, 유지보수상의 간편성 증대, 기계적 소음의 획기적 저감, 고역률 실현가능
- 단점 : 매우 크고 무거우며 제작비용이 많이 소요, 다극형 링발전기가 필요, 안전성 확보가 절대 필요, 구조적 문제 발생 우려, 입지적 조건이 제한적임

Tip.

공중부양 풍력발전시스템은 지상 300m상공에 비행선을 띄워 전기를 생산하는 발전기로 2009년 캐나다에 이어 세계 2번째로 국내 중소기업이 상용화를 목표로 개발하고 있다. 300m이상만 올라가면 평지나 바다, 산악을 막론하고 거의 전 지역에서 안정적으로 풍력을 얻을 수 있다는 점에서 착안한 것으로 지상에 설치된 제어장치가 비행체와 실시간으로 교신하면서 돌풍이나 고도변화, 압력 등을 점검해 문제가 생기면 끌어내린다.



출처: <http://www.donga.com/fbin/output?n=200901260070>,
<http://olv.moazine.com/rviewer/index.asp>

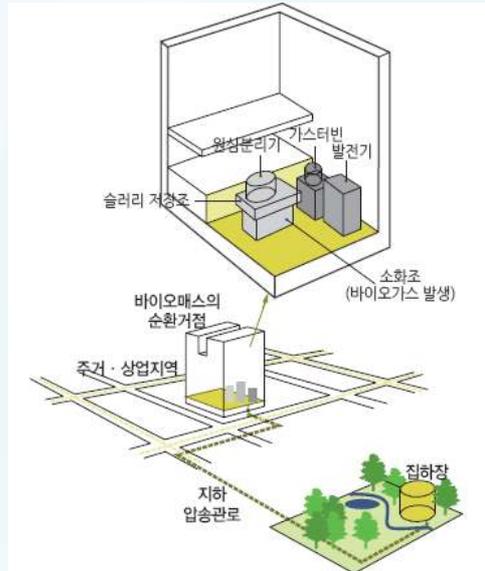
라. 바이오 및 폐기물 에너지

도시에서 발생하는 음식물쓰레기, 하수 슬러지, 각종 목질류 등 다양한 바이오매스로부터 에너지를 추출하여 활용하는 바이오기술의 활용은 순환형 도시를 구할 수 있는 주요한 기술의 하나이다.

유럽의 경우에는 풍부한 목질바이오매스를 이용한 에너지 공급시설이 발달되어 있으나, 목질바이오매스가 부족한 국내의 경우에는 생활폐기물로부터 에너지를 추출하는 바이오에너지기술이 적합하다. 바이오매스를 이용한 바이오기술의 적용은 공동주택단위나 소규모지역단위로 구성되는 바이오기술이나 도시단위의 바이오매스를 이용한 기술 등과 같이 적절한 규모로 합리적인 운영을 도모하는 것이 필요하다.

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

음식물 폐기물이 많은 국내의 실정에서 각광을 받고 있는 폐기물 에너지는 사업장 또는 가정에서 발생하는 가연성 폐기물 중 에너지 함량이 높은 폐기물을 열분해에 의한 오일화 기술, 성형고체 연료 제조기술, 가스화에 의한 가연성 가스 제도기술 및 소각에 의한 열회수기술 등의 가공처리 방법을 통해 고체연료, 액체연료, 가스연료, 폐열 등을 생산하고, 이를 산업활동에 에너지로 이용할 수 있는 중요한 재생가능 에너지원이다.



<그림> 바이오매스 순환체계

바이오 및 폐기물 에너지

- 장점 : 비교적 단기간 내에 상용화 가능, 풍부한 자원과 큰 파급효과, 자원의 재활용을 통한 환경친화적인 생산시스템, 환경오염의 저감, 생성에너지의 형태가 다양
- 단점 : 자원의 산재(수집, 수송불편), 다양한 자원에 따른 이용 기술의 다양성과 개발의 어려움, 과도 이용시 환경파괴 가능성, 단위 공정의 대규모 설비투자

마. 연료전지

대부분의 건축물에는 전기에너지와 열에너지 모두가 필요하며, 이러한 필요에 부합될 수 있는 시스템이 열병합발전시스템이다. 열병합발전시스템은 다양한 시스템으로 구현될 수 있지만 효율이 높은 시스템으로서는 연료전지시스템과 마이크로터빈과 같은 소형가스열병합발전시스템이 있다.

연료전지는 연료의 산화에 의해서 생기는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 전지이다. 연료전지시스템은 수소와 산소의 화학적 결합에서 발생하는 전기와 열에너지를 이용하는 시스템으로 효율이 높고 친환경적이어서 탄소시대의 도래와 함께 미래의 발전시스템으로 크게 각광받고 있다. 이러한 연료전지시스템이 도래하기 이전의 기술단계로서 마이크로터빈과 같은 소형열병합발전시스템이 널리 보급되었다. 따라서 건축물의 특성과 환경에

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

따라 연료전지 시스템이나 소형열병합발전시스템을 선택하여 적용하는 것이 필요하다.

연료전지시스템은 가정용 보다는 대형발전시스템을 적용하여 에너지수요를 그룹화하여 적합한 용량의 발전시스템을 적용하는 것이 유용할 수 있다. 또한 에너지수요 그룹별 부하특성에 따라 잉여 에너지나 부족에너지를 인근의 그룹과 서로 교환할 수 있는 마이크로그리드 인프라를 구축하고 운영하면 에너지효율을 크게 향상시킬 수 있다.

연료전지

- 장점 : 수소를 내포한 연료와 공기 중의 산소가 화학적으로 결합하여 전기와 열에너지를 생산하므로 환경오염이 적음, 또한 화학적 발전이므로 연소방식의 기술보다 효율이 높으며 수소는 다양한 에너지원으로부터 얻을 수 있으므로 수입 원유의 의존성을 감소시킬 수 있음
- 단점 : 현재까지 가격 경쟁력이 낮으며 내구성, 연료의 공급과 저장, 국민적 수용 등은 앞으로 극복되어야 할 문제

3. 소결

최근 기후변화로 인해 전 세계적으로 온실가스 감축을 위한 모든 분야의 노력이 기울어지고 있다. 특히 반이상의 책임이 있는 도시는 온실가스 감축을 위한 노력을 보다 적극적으로 해야 할 것이며, 그러한 차원에서 에너지의 소비를 최소화하고 자원의 재순환이 가능한 도시 개발은 너무나 중요하다. 이를 위해서는 에너지의 소비를 최소화할 수 있는 도시의 공간구조 설정에서부터 건축물의 배치 및 소재에 이르기까지 공간의 위계별로 충분한 고려가 이루어져야 한다. 공간 구조차원에서는 압축시티(Compact City), 분산적 집중(Decentralized Concentration)과 같은 효율적인 공간의 이용을 도모하고, 대중교통시스템의 적극적 이용이 가능하도록 해야 하며, 도시 및 건축물차원에서는 태양, 풍력, 지열, 바이오 에너지 등 다양한 유형의 신재생에너지 이용을 활성화하는 노력이 필요하다.

참고문헌 및 인용문헌

- 김정곤 외 2008, 지속가능한 에너지 저감형 첫마을 생태주거단지 실현방안 연구, 주택도시연구원
- 김정곤 외 2010, 저탄소 녹색도시 모델개발 및 시범도시 구상, 토지주택연구원
- 김정곤, 오덕성, 2007, 독일 생태주거단지의 지속가능성 분석과 단지설계특성의 심층사례 연구, 한국도시설계학회 논문집 제8권 제4호 2007
- 월드워치연구소, 2007, 도시의 미래: 지구환경 보고서 2007, 오수길, 진상현, 김은숙 옮김

5차시. 자연자원 순환을 고려한 도시개발계획

- 윤천석, 2009, 신재생에너지, 인피니티북스
- Agentur fuer Erneuerbare Energien e.V. 2009, Der volle Durchblick in Sachen Erneuerbare Energien
- Baccini P., Oswald F., 1998, "Netzstadt – Transdisziplinäre Methodenzum Umbauurbaner Systeme", vdf Hochschulverlag ETH Zurich
- Energie Tirol, 2000, Planerischer Leitfaden fuer das NiedrigEnergieHaus, Wien
- Giddens, A. 2009, The Politics of Climate Change
- IBA Hamburg GmbH 2009, Klimafaktor Metropole, Hamburg
- Institut Wohnen und Umwelt GmbH, 2002, Null-Emissions-Stadt
- MVEL(Ministerium für Verkehr, Energie und Landesplanung des Landes Nordrhein-Westfalen) 2002, Planungsleitfaden, Duesseldorf
- Rogers, R. 1997, Cities for a small planet, London
- SAENA(Sachsisches Energieagentur GmbH), 2008, Passivhaus
- Sieverts, Th. (2001), Jenseits von Zwischenstadt: Die Regionale als Mobile. Ein Beitrag zu einer gestaltenden Regionalplanung, in Brake, K., Dangschat, J. S., Herfert, G. (Hrsg.) Suburbanisierung in Deutschland. Aktuelle Tendenzen, Leske und Budrich, Opladen, S. 236-245
- Solarsiedlung GmbH, 2008, Plusenergiehaus, Freiburg
- Wentz, M., 2000, Die kompakte Stadt, Frankfurt
- <http://www.donga.com/fbin/output?n=200901260070>
- <http://olv.moazine.com/rviewer/index.asp>