

저탄소도시 구현을 위한 전략수립에 관한 연구

A Study on Strategy for Embodiment of Low Carbon City

백 정 훈 | Baek, Cheong-hoon

정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구교수, 공학박사

박 상 훈 | Park, Sang-hoon

정회원, 한양대학교 친환경건축연구센터 연구교수, 공학박사(교신저자)

Abstracts

The purpose of this study is to propose strategies for reducing greenhouse gas emissions on urban areas. This study is made up GHG emission estimation and emission prospect methods, setting of GHG reduction target, GHG reduction plan formulation and feasibility assessment.

The significance of this study is as follows.

First, this study provides the local government for the overall frame of low carbon strategies. Second, this study contribute to establishment of GHG emission reduction strategies in the local autonomy by providing GHG emission estimation and setting reduction target which is essential elements of reduction strategy. Third, we organize a reduction element for low carbon city embodiment and showed the way to assessment the reduction effect of these elements quantitatively.

Keywords

Low Carbon City, GHG emission reduction, GHG emission reduction target, reduction strategy

키워드

저탄소도시, 온실가스 배출 저감, 온실가스 배출 감축목표, 감축전략

* 본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.(과제번호: R11-2005-056-01003-0)

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계 에너지의 75%, 세계 온실가스의 80% 정도를 도시가 배출하고 있다. 이에 따라 지금까지 일반 건축물, 초고층 건축물 등과 같은 단위 생산물에 에너지절약기술이 집중됐다면, 이제는 도시를 구성하는 모든 요소를 종합적으로 평가·관리하는 ‘저탄소 도시’ 구축과 친환경 기술이 요구되고 있다. 이미 영국의 캄브리지, 캐나다 브리티시컬럼비아, 스웨덴의 함마르비, UAE 아부다비, 중국 동탄 신도시 등 세계의 여러 도시들이 저탄소 도시개발을 위해 노력하고 있다.

특히 2008년 우리나라의 도시화율은 90.5%로, 인구와 경제활동 대부분이 도시에 집중되어 있으며(통계청, 2009), 산업, 건물, 교통 등 도시민의 생활과 관련된 분야가 온실가스 배출량의 대부분을 차지하고 있다.

따라서 국가 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서는 도시측면의 접근이 필요하다. 이러한 상황을 반영하여 국토해양부에서 2009년 7월 “저탄소 녹색도시 조성을 위한 도시계획수립지침”을 마련하였으며, 서울시, 대구시, 울산시, 광주시, 안산시 등 많은 지자체가 도시차원에서 온실가스 감축을 위한 정책 및 제도를 시행하고 있다(이중호, 2010). 하지만 감축목표설정과 실현방안에 대한 구체적인 전략이 수립되어 있지 않아 정책목표를 달성하는데 어려움이 많은 실정이다.

이러한 배경 하에서 본 연구는 도시지역에서 온실가스 감축전략을 수립하기 위한 방안을 제시하는 것을 연구목적으로 한다.

2.1 연구의 구성

본 연구는 저탄소 도시 구현을 위한 전략수립 과정에 따라 구성된다(그림 1).

제 2장에서는 온실가스의 배출현황과 장래추계 방법 및 유의점에 대해서 논하였다.

제 3장은 중기와 장기의 감축목표 설정 방법에 대해서 기술하였으며, 제 4장은 3장의 감축목표를 달성하기 위한 저탄소 도시 구현 계획요소를 논하고 있다.

제 5장은 4장의 계획요소의 적용이 3장에서 다루었던 감축목표를 달성할 수 있을지에 대한 여부와 그에 대한 모니터링의 중요성에 대해서 기술하고 있다.

마지막으로 제 6장 결론에서는 이를 종합적으로 정리하였다.

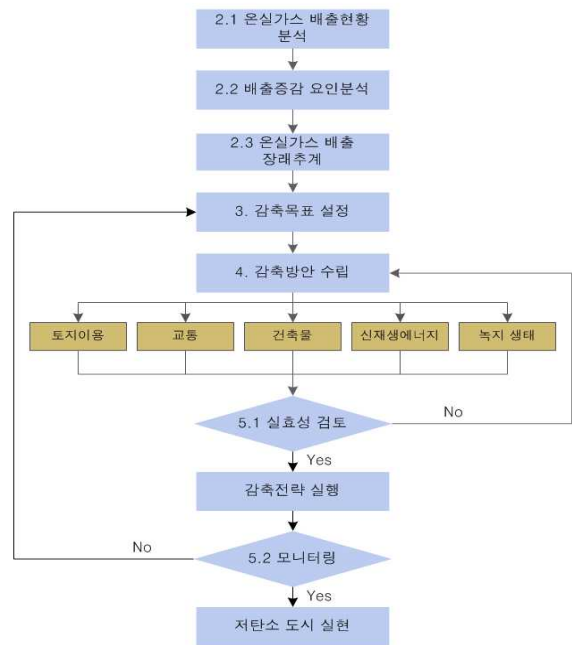


그림 1. 저탄소 도시 구현 프로세스

2. 온실가스 배출현황 및 장래추계 방법

2.1 온실가스 배출현황 추계

도시지역의 온실가스 감축을 위한 전략을 체계적으로 수립하기 위해서는 해당 지역 내 활동 부문별 온실가스 배출량이 구체적으로 산정되어야 한다(김홍배 외, 2010). 도시 내 활동 부문별 이산화탄소의 배출량이 서로 다르기 때문에, 감축 가능 잠재부문 역시 지역에 따라 크게 달라질 수 있기 때문이다. 또한 온실가스 배출현황은 장래의 예측 및 목표설정의 기초자료로 활용된다. 따라서 배출 현황 계산은 국가의 온실가스 배출량에서 지역의 인구비율 등으로 비례 배분하는 방법이 아니라, 각 도시의 특징과 정책의 효과를 반영할 수 있도록 원단위를 기초로 지역의 상세한 통계데이터를 사용하여 추계하는 적산법을 이용하도록 한다.

그동안 다수의 지자체에서 자체적인 온실가스 인벤토리 구축을 추진하고 있으나, 지자체간 적용방법론 및 기준이 상이해 배출량 상호 비교·평가가 어려우며 감축정책의 성과 평가 시 문제점이 발생되었다. 그러나 2010년 1월, ‘저탄소 녹색성장 기본법’ 제정에 따라 지방자치단체의 온실가스 관리 기반 구축을 위한 온실가스 배출량 산정지침(환경관리공단, 2009)이 확정됨에 따라 지자체별 인벤토리 구축시 통일성 및 정

확성을 높일 수 있는 기반이 마련되었다.

한편 제품 생산에서 배출되는 온실가스량의 산정은 직접배출량(생산지에서 배출되는 온실가스)을 파악할 것인지, 아니면 간접배출량(소비지에서 할당된 온실가스)을 파악할 것인가의 두 가지 방법이 존재한다. 상기의 지침에 따르면 전력, 열사용은 간접배출량을 산정하도록 되어 있는데, 이는 에너지 절약에 의해 에너지 생산에 의한 온실가스 배출을 줄이기 위한 계획수립에 활용하기 위함이다. 하지만 이 경우 발전소의 효율화(탄소밀도의 저감)에 대한 노력이 둔화될 우려가 있기 때문에 정부차원의 관리가 필요하다.

공업제품은 생산지에서 모두 소비되는 것이 아니라 다른 지역에서 최종소비재로서 주로 사용되기 때문에, 제조과정에서 배출된 온실가스는 주로 제품 사용자의 배출분으로 추계되어야 한다는 주장은 일리가 있다. 그러나 공업제품의 간접배출량을 추계하는 것이 쉽지 않기 때문에 직접배출량이 추계되고 있다. 이 경우 온실가스 배출량 원단위(같은 양의 제품 제조에 필요한 온실가스 배출량)를 작게 할 수 있는 기술을 가진 공장에 제조를 집중시킬 필요가 있다. 배출량 원단위가 적은 제조법으로 생산량을 증가시키는 것은 지구 규모에서 보면 온실가스 감축에 기여하기 때문이다. 그 결과 생산을 집중시킨 도시의 도시배출량이 증대되더라도 부정적으로 취급할 문제는 아닌 것이다. 따라서 도시의 부문별 배출을 분석할 때에는 에너지 소비지와 제품과 서비스의 최종소비지가 일치하는 가정, 업무, 수송부문의 배출과 일치하지 않는 산업부문의 배출을 구분해서 후자는 오히려 배출량 원단위의 저감도를 중시해야 할 것이다.

2.2 배출증감 요인 분석

온실가스 배출억제를 위한 효과적인 대책을 강구하기 위해서는 각 도시의 부문별 배출구조를 이해할 필요가 있다. 이를 위해서는 배출량 현황의 증감에 관한 요인분석을 하는 것이 바람직하다. 일본의 환경성(環境省, 2007)에서는 온실가스 배출에 가장 큰 비율을 차지하는 에너지 분야의 CO₂를 대상으로 한 요인분석을 예시로 제시하고 있다¹⁾. 에너지 분야에서 배출되는 CO₂ 양은 기본적으로 그림 2의 구조식으로 분석할 수 있다.

1) 이 방법은 어디까지나 일례에 지나지 않으며, 각 도시들의 독자적 정보 등을 활용하여 배출량이 증가하고 있는 분야에 대해서 그 요인을 가능한 한 정확히 파악하는 것이 바람직하다.

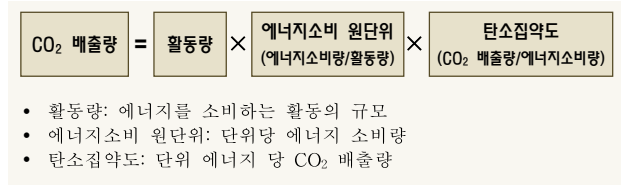


그림 2. 에너지 분야 온실가스 배출 구조

이 식에서 CO₂ 배출에 관한 3요소(활동량, 에너지 소비 원단위, 탄소집약도)에 대해서 대책을 검토한다. 활동량은 산업의 생산량, 오피스의 연면적 등, 에너지를 소비하는 활동의 규모를 나타내는 값이다. 이들 활동이 단위당 어떤 종류의 에너지를 어느 정도 소비하는지를 나타내는 양이다. 표 1은 부문별로 상정하고 있는 활동량의 예를 나타낸 것이다.

표 1. 부문별 활동량

| 부 문 | 활 동 량 |
|------|-------------------------------|
| 산업부문 | 지역 경제의 총생산, 제조업 출하액, 소재 생산량 등 |
| 가정부문 | 세대수, 인구 등 |
| 업무부문 | 총생산, 오피스 면적 등 |
| 교통부문 | 인구, 세대수, 주행거리 등 |

탄소집약도는 단위 에너지를 이용할 때에 배출되는 CO₂ 비율을 나타내는 것으로, 예를 들어 도시가스 원료를 천연가스로 전환하면 탄소집약도는 저감된다. 이들을 종합하면 각각의 활동이 어느 정도 에너지를, 어떤 종류로 사용하여, 그 결과 얼마의 CO₂가 발생했는지를 추계할 수 있다. 따라서 요소마다 활동량의 축소, 에너지 원단위의 감축, 탄소집약도의 저하 등의 대책을 검토할 수 있다.

구체적으로 살펴보면, 어느 해의 배출량, 활동량, 에너지소비 원단위, 탄소집약도를 각각 C₀, P₀, (E/P)₀, (C/E)₀, 다음해의 값을 각각 C₁, P₁, (E/P)₁, (C/E)₁으로 하고, 그 차를 dC, dP, D(E/P), d(C/E)라고 하면 이들 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다(環境省, 2007).

$$C_0 = P_0 \times \left(\frac{E}{P}\right)_0 \times \left(\frac{C}{E}\right)_0$$

$$C_1 = P_1 \times \left(\frac{E}{P}\right)_1 \times \left(\frac{C}{E}\right)_1$$

$$= (P_0 + dP) \times \left[\left(\frac{E}{P}\right)_0 + d\left(\frac{E}{P}\right) \right] \times \left[\left(\frac{C}{E}\right)_0 + d\left(\frac{C}{E}\right) \right]$$

$$dC = C_1 - C_0 = \left[dP \times \left(\frac{E}{P}\right)_0 \times \left(\frac{C}{E}\right)_0 \right] + \left[P_0 \times d\left(\frac{E}{P}\right) \times \left(\frac{C}{E}\right)_0 \right] +$$

$$\left[P_0 \times \left(\frac{E}{P}\right)_0 \times d\left(\frac{C}{E}\right) \right] + \left[dP \times d\left(\frac{E}{P}\right) \times \left(\frac{C}{E}\right)_0 \right] + \left[dP \times \left(\frac{E}{P}\right)_0 \times d\left(\frac{C}{E}\right) \right] +$$

$$\left[P_0 \times d\left(\frac{E}{P}\right) \times d\left(\frac{C}{E}\right) \right] + \left[dP \times d\left(\frac{E}{P}\right) \times d\left(\frac{C}{E}\right) \right]$$

여기서 dC를 나타내는 각 항 중에 차분을 2개 이상 포함하는 항은 상대적으로 매우 적으므로 무시하기로 하면, 다음과 같이 정리할 수 있다. 이 각 항의 값을 파악하는 것에 의해 이들의 요인이 CO₂ 배출량 증감에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있다. 이 수법을 이용할 경우, 이들의 요인이 동시에 변화한 경우에도 각각의 영향의 크기를 비교할 수 있다는 특징이 있다. 즉 각각의 요인을 정리하면 다음과 같다.

- 활동량 요인 : $dP \times \left(\frac{E}{P}\right)_0 \times \left(\frac{C}{E}\right)_0$
- 에너지소비 원단위 요인 : $P_0 \times d\left(\frac{E}{P}\right) \times \left(\frac{C}{E}\right)_0$
- 탄소집약도 요인 : $P_0 \times \left(\frac{E}{P}\right)_0 \times d\left(\frac{C}{E}\right)$

2.3 장래예측방법

지방자치단체의 온실가스 배출량 산정지침에 의하

면 온실가스의 장래예측을 실시하여 목표 감축량을 설정하도록 하고 있다. 그러나 그 구체적인 방법이 제시되지 않아 장래예측 수립에 어려움이 따를 것으로 사료된다. 본 연구에서는 일본의 지구온난화 대책 지역추진계획 가이드라인에서 제시한 방법을 토대로 온실가스의 장래예측방법을 제안하고자 한다.

장래예측은 기본적으로 요인분석의 연장이며, 배출 실태의 요인분석에서 분해한 요인별로 목표연차의 값을 삽입하는 형태로 추계한다. 활동량은 지방자치단체 레벨에서 예상치가 있을 경우 그 값과 증감률을 채용한다. 지방자치단체 레벨에서 예상치가 없을 경우, 국가와 업계 단체의 값과 증감률을 채용한다. 원단위의 경우는 향후 대책을 취하지 않는다는 전제하에 현재의 원단위를 그대로 적용한다. 과거의 원단위 움직임이 일정한 경향을 나타낼 경우, 그 경향이 장래에도 지속된다는 가정 하에 삽입한다. 또한 기준년도와 수립년도 직전의 차이만을 삽입하면 직전의 경향이 반영되지 않을 가능성이 있기 때문에 가능한 한 매년의 움직임을 참고로 하여 삽입하는 것이 바람직하다. 일정한 경향을 읽기 어려운 경우에는 목표달성계획의 전제가 되는 년도의 에너지 수요전망 등의 원단위 개선률을 적용하는 것도 생각할 수 있다. 폐기물 분야 등, 원단위가 기본적으로 변화하지 않는 것에 대해서는 그대로 적용한다.

표 2. 부문별 장래예측의 기본적인 방법

| | 산업부문 | 가정부문 | 업무부문 | 교통(승용차)부문 |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 활동량 | 지방자치단체 독자적인 경제예측이 있는 경우는 그 증가율을 채택한다. 독자적 예측이 없는 경우는 목표달성계획에서 전제로 하는 광공업 생산지수의 증가율이나 업계 단체의 생산예측을 적용한다. 지역 내에 입지한 기업에 예측을 물어보는 것도 생각해 볼 수 있다. | 국립사회보장 인구조조사연구소의 “세대수의 장래추계”나 “인구의 장래추계”의 값 혹은 증가율을 적용한다. | 지방자치단체 독자적인 경제예측이 있는 경우는 그 증가율을 채택한다. 독자적 예측이 없는 경우는 목표달성계획에서 전제로 하는 바다면적의 증가율과 GDP 성장률을 채용한다. | 지방자치단체 독자적인 경제예측이 있는 경우는 그 증가율을 채택한다. 독자적 예측이 없을 경우는 목표달성계획에서 전제로 하고 있는 수송량의 증가율을 적용한다. |
| 원단위 | 상술한 바와 같이 직전의 값과 과거의 경향에 따라 삽입하거나 국가의 예측을 따른다. 업종별로 추계할 경우는 업계단체의 예측이나 지방자치단체 내에 입지한 기업에 예측을 물어보는 것도 생각할 수 있다. | | 업종별로 추계할 경우는 업계단체의 예측이나 지방자치단체 내에 입지한 기업에 예측을 물어보는 것도 생각할 수 있다. | 한 대당 승차인원수와 다른 수송기관과의 수송량 등의 관련 지표를 파악할 수 있을 때는 관련지표의 경향에 착안하여 삽입하는 것을 생각할 수 있다. |
| 탄소집약도 | 에너지원별로 추계할 경우는 기본적으로 증감이 없는 것으로 생각한다. 단지 전력에 관해서는 해당 지역의 전기사업자가 발행하는 환경보고서 등의 예측을 반영시킬 수가 있다. 에너지원을 나누지 않을 경우는 원단위와 같이 직전의 값과 과거의 경향에 따라 삽입하는 것을 생각할 수 있다. | | | 기본적으로 증감이 없는 것으로 생각한다. |

3. 온실가스 감축목표설정

온실가스 배출 목표에 관해서는 forecast법과 backcast법으로 예측한다. forecast법은 실행 가능한 대책을 도입한 경우의 감축량(배출감축 잠재량이라고 부른다)을 적산하여 장래 감축량을 예측하는 방법으로 단기목표와 중기목표에 적용한다.

한편, backcast법은 지구온난화 방지의 관점에서 필요한 배출량을 장기목표로서 설정하여 그 실현에 필요한 중기목표를 이끌어내는 것이다.

결국 중기목표로서는 BAU의 값, forecast법의 값, backcast법의 값의 3종류로부터 얻어진다. 후술하는 것처럼 BAU에 forecast로 검토한 대책을 도입해서 backcast의 목표치를 달성할지, 그 위에 대책을 확충해서 가능한 한 backcast법의 목표치에 근접해 가는 것이 중기적 대책이 된다.

인구와 산업의 집적도에서 볼 때, 국가의 주요부가 되는 도시는 그 특성에 따르면서 국가의 목표를 하회하지 않는 중장기목표를 설정해야 한다.

이때에 장기목표로부터 이끌어낸 중기목표(backcast법에 의한 목표치)가 실현수단을 적산하는 방법으로 구하는 forecast법에 의해서 달성가능할지가 과제가 된다. 이 점은 중요하다.

backcast법에서는 “온난화를 진행시키지 않는 배출량”이라는 개념에서 알 수 있듯이 장래의 어떤 목표로부터 역산해서 중기 목표 등 당면의 목표를 정하기 때문에 장래의 목표와는 정합하지만, 과연 목표를 달성하는 수단이 합의 가능한 범위에서 존재할지 어떨지는 보증되어 있지 않다.

한편 forecast법에서 구해지는 중기목표는 실현가능성이 높다고는 하지만 그것이 장래의 목표로의 궤도에 났는지의 보증은 없다.

따라서 backcast법의 중기목표가 forecast법의 그것보다 감축량이 큰 괴리가 있을 경우에는 forecast법에서 상정한 감축수단을 확실히 실행하는 것뿐만 아니라 거기에 감축 폭을 확대하기 위한 방법을 검토하는 의욕적인 시도가 필요하다.

의욕적인 시도에는 신기술의 개발과 그것의 적용이 포함되지만, 이들이 이미 배출 감축 잠재량에 포함되어 있는 경우에는 다른 지역과의 배출량 거래와 국내 외의 CDM 등에 의해서 감축량의 부족을 보충할 필요가 있다.

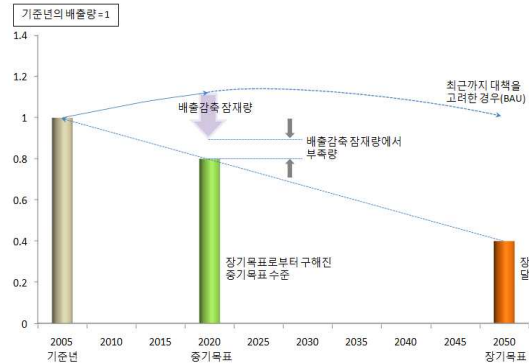


그림 3. 중장기목표와 배출감축잠재량의 개념도

국가에서 상정한 중기목표(2020년)와 장기목표(2050년)를 목표연도로 설정하여 정부의 감축계획과 비교검토가 될 수 있도록 한다. 이 관계를 도식한 것이 그림 3이다. backcast법에 의한 장기목표로부터 정해진 중기목표와 BAU로부터 배출 감축잠재량을 감한 배출량에 차이가 있을 경우에는 수립한 감축방안에 더한 노력이 요구된다.

4. 온실가스 감축방안 수립

4.1 저탄소 도시 구현 계획요소

최근 들어 저탄소도시 구현을 위한 계획요소와 기법들에 연구가 많은 연구자에 의해서 진행되고 있다. 선행 연구에 의한 계획요소의 분류체계를 살펴보면 다음과 같다.

표 3. 문헌을 통한 저탄소 도시 구현 계획요소 분류

| 출처 | 저탄소 도시 구현 계획요소 분류 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 이재준 (2009) | 토지이용(8), 교통(11), 신재생에너지(9), 에너지 저감 건축(14), 자원순환(7), 녹지·생태(15), 수자원(9) |
| 전우선 외 (2010) | 에너지 저감 건축(13), 에너지 절약형 교통(7), 지속 가능한 생태 및 수 순환체계(11), 신재생에너지(6), 생태 및 녹지공원(8) |
| 김강민 외 (2010) | 토지이용(7), 녹색교통(9), 에너지(7), 생태녹지(11), 자원의 순환(10) |
| 박종철 외 (2009) | 토지이용계획(3), 에너지(4), 교통(4), 자원순환(3), 공원녹지(4), 생태공간(4) |
| 유광홍 외 (2009) | 친환경 토지이용(3), 녹색교통체계(4), 에너지절약형 건축(3), 신재생에너지(5), 수순환체계(3) |
| 신성우 외 (2009) | 도시계획(3), 도시건설(3), 건축물(12), 신재생에너지(5), 교통(4), 수립(4) |

이들을 종합하여 분석하여 보면, 토지이용 계획요소는 ‘복합적 토지이용계획’과 ‘집약적 공간구조’ 등의 콤팩트 시티를 지향하고 있으며, ‘자연지형 활용’이나 ‘바람길 확보’ 등 건축물의 친환경적 배치에 의한 에너지 소비를 줄이기 위한 설계요소로 구성되어 있다.

교통부문은 ‘탄소저감형 교통수단’, ‘대중교통 시스템’, ‘보행공간시스템 구축’, ‘자전거 이용활성화’, ‘자동차 이용 억제’ 등의 계획 요소들이 적용되고 있다.

건축부문 계획요소는 환경부하를 억제하고 자연에너지를 효과적으로 이용하는 ‘패시브 기법’과 고효율설비 등을 통한 ‘액티브 기법’ 등으로 구성되어 있다.

신재생에너지 부문에서는 ‘태양광 발전’, ‘태양열 온수’, ‘지열 냉난방’, ‘바이오매스’, ‘연료전지’, ‘풍력발전’, ‘열병합 발전’ 등의 계획기법이 도출되었다.

녹지 및 생태에서는 ‘그린 네트워크’, ‘공원녹지’, ‘생물과 공생’, ‘물 순환체계’ 등의 계획요소들로 구성되었다. 이외에도 폐기물 및 재활용을 통한 ‘자원의 순환’ 등이 탄소 저감을 위한 주요 계획기법으로 사용되고 있는 것으로 나타났다.

선행연구에서 나타난 구체적인 저탄소 도시 구현 계획요소를 재분류해보면 표 4와 같다.

표 4. 저탄소 도시 구현 계획요소

| 구분 | 온실가스 감축 계획요소 |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 토지 이용 | 복합용도계획 및 집약적 도시공간구조, 지구단위의 저감대책, 일조·풍향 등을 고려한 단지 배치, 자연지형 활용 |
| 교통 | 탄소저감형 신교통수단 도입 (BRT, 경전철, 전기자동차 등), 대중교통시스템 구축, 보행공간 시스템 구축, 자전거 이용 활성화 |
| 건축물 | 고단열 시스템, 고기밀 창호, 차양, 자연채광·환기, 축열벽, 패시브 솔라 시스템, 이중외피, 고효율 조명기기, 녹화, 빌딩 에너지 관리시스템, 환경부하 저감재료, 장수명화 등 |
| 신재생에너지 | 태양광 발전, 태양열 온수, 지열 냉난방, 바이오매스, 풍력발전, 바이오 에너지활용, 연료전지, 열병합 발전 등 |
| 녹지·생태 | 녹지공원조성, 그린 네트워크, 생물서식지 확보, 수자원 순환시스템 구축, 우수활용 등 |

4.2 저탄소 도시구현을 위한 토지이용

토지이용은 직접적인 에너지 절감이나 대체 효과는 없지만, 교통부문이나 건축물 부문의 소비에 간접적으로 작용하여 온실가스 배출에 영향을 미칠 수 있다(유

광홍 외, 2009).

첫 번째로 복합적·집약적 공간구조의 형성은 통행수요를 억제하여 온실가스배출을 줄일 수 있다. 인구밀도가 높은 대도시에서는 통근과 용무를 위한 이동에서 대중교통을 이용하는 비율이 높아서 1인당 자동차 CO₂ 배출량이 적은 것에 비하여, 지방도시에서는 대중교통 체계가 발달되어 있지 않기 때문에 자가용에 대한 의존도가 높아 1인당 자동차 CO₂ 배출량이 많다.

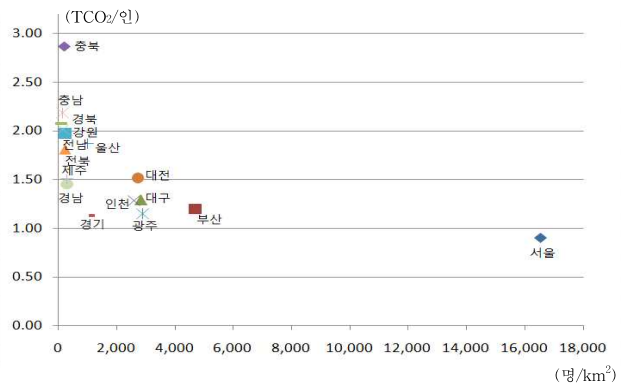


그림 4. 도시 인구밀도와 교통부문 1인당 CO₂ 배출량 (자동차의 온실가스 배출량조사(국립환경연구원)와 시도별 장래인구추계(통계청)를 바탕으로 필자 작성)

그림 4는 지역의 인구밀도와 교통부문 1인당 온실가스 배출량의 관계를 나타낸 것으로, 광역시 이상의 인구밀도가 높은 대도시에서는 교통부문의 1인당 배출량이 작은 반면에 공간밀도가 높지 않는 지방의 경우는 1인당 배출량이 많음을 알 수 있다.

따라서 도시민의 삶의 질을 해치지 않는 범위 내에서 복합적·집약적 공간구조를 형성하는 것이 도시의 온실가스를 감축하는데 유리하다.

4.3 녹색교통체계

녹색교통체계 부문은 앞서 살펴 본 토지이용 부문과 마찬가지로 자동차 이용에 따른 에너지 소비 및 온실가스 배출을 줄이기 위한 설계 기법들이 포함되어 있으나 토지이용 부문과 비교했을 때, 교통 시스템의 직접적인 개선과 관련된 설계 요소들로 이루어져 있다. 여기에는 대중교통중심개발, 자전거 이용 활성화, 보행 활성화가 포함된다.

대중교통중심개발은 활동이 밀집되는 상업이나 공공시설에 대한 대중교통 수단의 접근성을 제고함으로써 도시 전체의 자가용 이용 수요를 줄이기 위한 도시개발 방식을 말한다.

대중교통중심개발의 원칙은 대중교통 결절점과 상업·공공 기능이 복합된 대중교통 중심지역(TOD Center)을 구성하고, 도보로는 400m, 자전거로는 2.5km 이내의 범위에 위치하도록 구성하여 대상지의 모든 곳에서 도보나 자전거로 10분 이내에 대중교통 센터에 도착할 수 있도록 교통체계를 구축하는 것이다.

대중 교통체계의 구축에는 막대한 재원이 주된 장애요소로 지적되고 있는데, 대중교통 시설을 직접 이용하는 이용자뿐만 아니라 대중교통의 편리성에 의해 수혜를 받는 중심부의 사업자나 건축주 등으로부터 대중교통의 구축으로 인하여 발생하는 수익의 일정량을 징수하는 방식으로, 수익자 부담의 원칙을 넓게 적용하여 재원을 확충하는 방안을 생각해 볼 수 있다.

한편, 도시 내 근거리 이동의 경우 자전거로 다닐 수 있는 도로 및 시스템을 구축하여 자동차의 이용을 억제할 수 있다. 자전거 이용 활성화를 위해서는 자전거 전용도로 뿐만 아니라 자전거를 주차할 수 있는 주차시설 및 자전거 이용자들을 위한 편의시설의 계획이 통합적으로 고려되어야 한다.

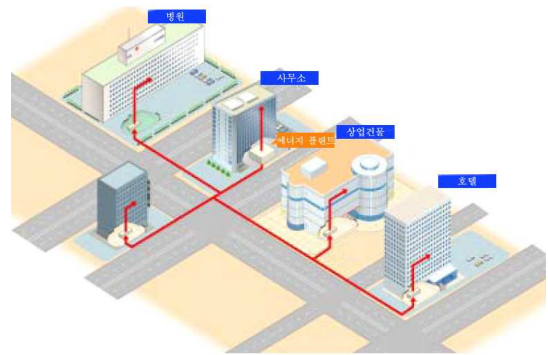
주거지에서 보행자 도로는 거주자의 일상생활 공간으로서 기능한다. 보행자 도로를 제공하는 것을 통해 차량 통행의 감소 및 주거환경의 개선효과를 기대할 수 있다. 보행자 도로 계획을 생태 녹지계획 및 생물 이동 통로계획 등과 연계하는 것을 통해 시너지를 창출하는 것도 가능하다.

4.4 그린빌딩

건축물 부문에서 온실가스 배출을 감축하기 위해서는 표 4의 온실가스 감축 계획요소의 도입에 의해 건물의 에너지성능 강화를 하는 것이 매우 중요하다.

그러나 에너지의 고도이용을 더욱 실현하기 위해서는 개개의 수요자의 대책뿐만 아니라 도시레벨에서의 에너지시스템을 검토할 필요가 있다. 도시레벨에서 최적의 에너지시스템을 구축하는 에너지절약 방법으로 지구단위 에너지계획이 있다.

지구단위 에너지계획은 최신의 에너지절약 기술, 재생가능에너지, 미이용에너지, 에너지 관리시스템 등의 도입에 의해, 개개의 건물에서는 얻을 수 없는 대폭의 에너지 고도이용 달성을 실현할 수 있다(日本經濟産業省エネルギー廳). 지구단위 에너지계획의 이미지와 에너지 이용에 관한 사항은 그림 5와 같다.



- 수요형태와 변동패턴에 맞춘 전력, 가스, 열의 베스트 믹스
- 분산형 에너지 시스템과 대규모 집중형 공급시스템과의 최적관리
- 신재생에너지와 미이용에너지의 대규모이면서 안정적인 도입
- 최신 기술의 대규모 도입가능

그림 5. 지구단위 에너지계획 이미지 예 (출처: 일본 경제산업성, 에너지의 면적이용촉진에 관한 조사)

지구단위 전략의 이점은 다음과 같다.

① 저탄소 기술을 대규모로 도입하고, 적절한 운전과 유지관리가 가능하기 때문에 규모의 집약에 의한 에너지절약이 기대된다.

② 용도의 복합화에 의해 균형 있는 에너지 이용을 할 수 있다. 예를 들며, 열과 전기가 함께 공급되는 코제너레이션을 도입한 경우에는 열을 사용하는 주택, 호텔, 병원 등과 전기를 주로 이용하는 오피스를 조합하는 것에 의해 두 종류의 에너지를 균형 있게 이용할 수 있다.

③ 신재생에너지와 에너지절약을 효율적으로 할 수 있다. 개개 건물로부터 지구 단위로 규모를 확대하면, BEMS와 HEMS 등 경비가 드는 복잡한 제어시스템을 공동화 할 수 있어 경비절감으로 연결된다. 특히 태양전지, 미이용 에너지를 활용할 경우에 임팩트가 크기 때문에 공적 보조금을 수혜받기 쉽다는 이점을 기대할 수 있으며, 초기투자를 분담하기 때문에 리스크를 경감시키는 이점도 있다. 또한 쓰레기 처리장, 하수처리시설 등의 미이용 에너지를 조합시키면 효과를 높일 수 있다.

한편, 정부는 신축 건축물의 에너지소비량 기준을 단계적으로 강화하여 2025년에는 제로에너지를 의무화할 계획이다(국토해양부, 2009). 이처럼 신축의 경우는 규제수단과 상술한 에너지절감 계획요소를 통하여 그린빌딩을 실현하는 것이 가능하지만, 기존도시에서 차지하는 비율²⁾이 낮기 때문에 건축물 부문의 온실가

2) 주택의 경우 전체 주택 스톡에서 신축이 차지하는 비율

스 배출저감 대책에는 한계가 있다(백정훈 외, 2009).

따라서 저탄소 도시를 구현하기 위해서는 기존 건축물의 에너지 효율 개선이 중요하다. 이에 정부차원에서 기존 건축물의 그린홈화를 위해서 건축물 임대·매매시 에너지소비증명서 발급의 의무화, 녹색건축물 관련 인증제도를 기존 건축물까지 확대, 기존주택 100만호 그린홈화 등 다양한 정책을 내놓고 있다(국토해양부, 2009). 이러한 정책과 함께 기존건축물의 에너지 효율 개선을 촉진하기 위해서 ESCO(Energy Service Company) 사업이 유효한 방법으로서 기대되고 있다. ESCO는 에너지 사용자가 에너지절약을 위하여 기존의 에너지 사용시설을 개체 보완교자하나 기술적이나 경제적 부담으로 사업을 시행하지 못할 경우 에너지 효율개선에 필요한 기술, 자금 등을 에너지절약전문기업이 제공하고 투자시설에서 발생하는 에너지절감액으로 투자비를 회수하는 사업이다(그림 6).

2009년 ESCO 사업 투자실적은 1,318억원(100건)으로 활성화가 되고 있지 않으나, 2008년 조세특례제한법의 개정에 따라 에너지절약설비 투자금액의 20%에 상당하는 금액을 소득세 또는 법인세에서 공제되는 만큼 이를 적극적으로 활용하면 건축물 부문 저탄소화의 유효한 수단이 될 수 있을 것으로 사료된다.

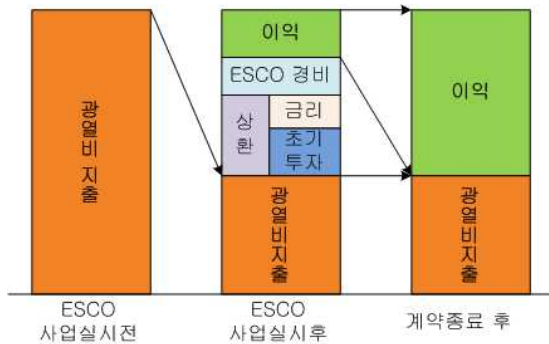


그림 6. ESCO 사업의 경비와 이익배분

4.5 신재생에너지

신재생에너지는 청정 에너지원인 태양, 풍력 등을 활용한 신에너지 기술과, 폐기물을 활용한 재생에너지 기술로 대별되며, 태양에너지, 지열에너지, 바이오매스, 풍력발전 등을 꼽을 수 있다.

정부는 신재생에너지의 보급목표를 1차 에너지 대비 신재생에너지 비중으로 2015년 4.3%, 2020년 6.1%, 이 5.5%(1990년~2005년 평균치)이며, 2002년을 기점으로 신축의 건축은 감소추세에 있다.

2030년 11% 달성을 제시하고 다양한 보급 정책을 시행하고 있다(그림 7).

| | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|--|
| 공공 부문 | 공공기관의 의무화 • 신축 건축비의 5% | 신재생에너지 의무공급제(RPS) • 2012년부터 도입 | | | |
| | <table border="1"> <tr> <td>용자 • 소요자금 90%이내 • 최대한도: 100억</td> <td>발전차액 • 기준가격과 SMP차이 지원</td> <td>세제지원 • 법인, 소득세: 10/100 • 관세: 65/100</td> </tr> </table> | 용자 • 소요자금 90%이내 • 최대한도: 100억 | 발전차액 • 기준가격과 SMP차이 지원 | 세제지원 • 법인, 소득세: 10/100 • 관세: 65/100 | |
| 용자 • 소요자금 90%이내 • 최대한도: 100억 | 발전차액 • 기준가격과 SMP차이 지원 | 세제지원 • 법인, 소득세: 10/100 • 관세: 65/100 | | | |
| 간접 지원 | 일반보급 • 소요 시설비용의 50% 이내 | | | | |
| | 지방보급 • 소요자금의 50%이내 | | | | |
| 직접 지원 (보조) | 그린홈 100만호 보급사업 • 태양광, 태양열, 소형풍력, 지열: 50% 이내 • 연료전지: 80% 이내 | | | | |

그림 7. 신재생에너지 보급 정책유형

지방자치단체는 지역별 부존자원 등을 바탕으로 일반보급, 지방보급, 그린홈 100만호, 신재생단지 조성사업 등을 총망라한 중장기 마스터플랜을 수립하여 신재생에너지 보급을 진행하는 것이 필요하다.

기존도시의 경우 신재생에너지의 발전용지를 확보하기 위해서 산림을 제거하여 대규모 집적단지를 설치하는 경우가 있는데, 이는 탄소 흡수원의 훼손뿐만 아니라 도시경관을 해치는 요소로서 지양하도록 하고, 그림 8과 같이 도시경관을 함께 고려한 요소로 계획 되도록 한다.



(a) 범선 태양광발전소 (b) Dish형 태양열 발전기

그림 8. 도시경관을 고려한 태양광발전시스템 (진해 에너지환경과학공원)

한편 기존 건축물에서 신재생에너지 보급을 확대하기 위해서, 조명설비, 공정개선, 열병합발전, 폐열이용설비, 냉난방설비로 국한되었던 ESCO사업을 신재생에너지설비 설치도 허용하는 방안으로 정부의 지원 정책이 요구된다.

5. 감축방안 수립의 실효성 평가 및 모니터링

도시의 온실가스 감축에는 지리적 여건, 자원, 에너지수요 등이 지역에 따라 다르기 때문에 상술한 계획요소를 단순히 종합하는 것이 아니라, 각 요소들의 감

축 잠재력을 평가한 후 전략 수립 도시의 온실가스 배출 현황에 입각하여 전략을 수립하는 것이 중요하다. 따라서 한정된 공적 자원 내에서 지역의 특성에 따라 온실가스 배출을 최대한으로 감축하기 위해서는 투자비용 대비 효율성을 검토하여 전략을 구축해야 하며, 이를 위해서는 계획요소의 적용에 의한 CO₂ 감축효과를 정량적으로 평가할 수 있는 지표의 개발이 필요하다.

평가지표를 설정함에 있어서 하나의 계획요소가 두 가지 온실감축효과를 가져오거나, 다른 계획요소의 감축효과와 중복되는 경우가 있으므로, 이에 대한 세심한 배려가 필요하다. 예를 들어, 건축물 녹화의 경우, 열에너지 차폐에 의한 냉방에너지의 절감효과도 있지만, 이산화탄소를 흡수하는 효과도 있어 이들을 분류하여 계산할 필요가 있다. 각 요소에 대한 감축효과 평가 방법의 예를 소개하면 다음과 같다.

쿨루프, 녹지면적, 바람길 등에 의한 도시의 온도하강은 Taha(Taha, 1995a, 1996b)의 수치모델에 의해서 구할 수 있다. EPA MIST(David and Nikolaas, 2007)에 앞서 구해진 하강온도를 입력하면 도시온도 하강에 의한 간접적인 절감효과를 구할 수 있으며, DOE-2 빌딩에너지 시뮬레이션을 통하여 계획요소에 의한 직접적인 절감효과를 파악할 수 있다.

건축물의 경우 개개의 건축물 에너지절약 계획요소에 대한 감축효과를 구하는 것은 가능하지만, 모든 건축물에 대해서 이들 적용 사항을 관리하여 평가하는 것이 현실적으로 어려우므로 건축물 절약 계획서의 에너지성능지표(EPI)를 이용하여 감축효과를 산출하는 방법을 고려해 볼 수 있다. 신성우 외(2009)는 건축물 에너지 시뮬레이션 평가프로그램인 Visual DOE를 사용하여 에너지성능지표(EPI)의 상승에 따른 CO₂ 감축 성능과의 관계식을 다음과 같이 도출하였다.

$$Y_{CO_2} = 170.1 + 2.02X_{EPI} - 0.0319X_{EPI}^2$$

신재생에너지에 의한 온실가스 감축량 평가는 신재생에너지가 분담하는 양만큼의 기존 에너지원의 이산화탄소 배출량에서 신재생에너지의 이산화탄소 배출량³⁾을 가감하는 방법으로 산출할 수 있다.

교통부문의 온실가스 감축효과는 교통수요추정모형을 이용하여 장래의 교통량과 통행속도를 예측한 후, 지방자치단체가 설정한 목표 수단 분담률을 적용하고,

3) IPCC에서는 화석연료의 대체연료 사용 시에도 대기 중으로 온실가스가 배출되므로 온실가스 배출계수 차이에 의한 저감량 만큼만 고려하도록 하고 있다.

EMME/2를 이용하여 장래 링크 교통량과 링크 통행속도를 수단별로 도출한다. 도출된 값을 CO₂ 배출량 산출식에 적용하여 1년 배출량을 산출 할 수 있다.

상기와 같은 평가방법을 이용하여 감축계획이 현실적으로 실효성이 있는지를 판단하는 피드백을 실시하고, 각종 시책이 실시 된 후 배출량 모니터링을 통하여 감축목표를 재검토하도록 한다.

6. 결 론

국가 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 도시민의 생활과 관련된 분야가 온실가스 배출의 대부분을 차지하는 도시지역의 감축이 절대적으로 필요하지만, 도시레벨에서의 감축목표설정과 실현방안에 대한 구체적인 전략이 수립되지 않아 정책목표를 달성하는데 어려움이 많은 실정이다. 이러한 관점에서 본 연구는 크게 다음과 같은 의의를 제시할 수 있다.

첫째, 지방자치체가 저탄소 도시 구현을 위한 전략을 수립하는 전체적인 틀을 제공하고자 온실가스 배출현황 및 장래추계방법 제시, 감축목표설정방법 제안, 감축방안 수립, 실효성 평가 제안 등 종합적으로 논의하고자 하였다. 그동안 건축과 도시분야에서 온실가스 감축의 실천수단이 주로 친환경적 요소를 중심으로 막연하게 논의되어온 점을 감안할 때 향후 구체적인 전략을 수립할 수 있는 토대가 될 것이다.

둘째, 감축전략 수립의 필수요소인 도시레벨에서의 온실 배출현황 산정 및 목표설정에 대한 방법을 제시함으로써 지방자치단체 차원의 전략수립의 단초를 제공했다는 점이다.

셋째, 저탄소 도시 구현을 위한 계획요소를 정리하고, 도시레벨에서 접근할 수 있는 각 부문별 추가적인 감축방안의 제시와 아울러 이들의 감축효과를 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 온실가스 감축 전략을 수립하고 시행하기 위해서는 개별정책이나 요소기술의 도입에 따른 효과가 계량적으로 제시되는 것이 필수적이며, 이는 수립한 감축계획이 실효성이 있는지 판단할 수 있는 근거를 제공해 준다. 향후 배출권 거래제나 탄소세 등의 제도를 도입할 때도 온실가스 배출량이 기준이 된다는 점을 고려하면 정량적으로 산출이 가능한 감축 요소의 발굴과 관련 지표의 개발은 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 통계청, 한국의 사회지표, 2009
2. 이종호, 기후변화대처를 위한 도시에너지관리, 한국도시행정학회 정기학술대회 및 정책세미나, 2010, pp.131-145
3. 환경관리공단, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 적용을 위한 지자체 온실가스 배출량 산정지침, 2009.11
4. 김홍배, 김재구, 도시 내 탄소발생량 산정과 저탄소도시 개발의 핵심부문에 관한 연구, 국토계획 Vol.45, 2010, pp.35-48
5. 環境省、地球温暖化対策地域推進計画策定ガイドライン、2007
6. 이재준, 기후변화 대응을 위한 지구단위계획 차원에서의 탄소완화 계획요소 개발에 관한 연구, 대한국토·도시계획학회지 국토계획 제 44권(4), pp.119-131, 2009
7. 전우선, 성재욱, 오덕성, 해외 신도시계획 사례에 나타난 저탄소 계획요소에 관한 연구, 한국도시설계학회 2010년 춘계 학술대회 발표논문, 2010, pp.384-394
8. 김강민, 신재훈, 최준성, 오덕성, 기후변화 대응한 녹색도시 개발 전략 -사례연구: 대전광역시 학하 뉴타운-, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 제 10권, pp.253-262
9. 박종철, 조상필, 정철, 지방중소도시의 저탄소 녹색도시 조성방안, 전남발전연구원, 2009
10. 유광홍, 조상규, 오성훈, 성은영, 친환경 근린개발을 위한 도시설계 기법 연구, 건축도시공간연구소, 2009
11. 신성우, 송두삼, 이한승, 이강희, 국우각, 태성호, 백정훈, 탄소중립도시 구현을 위한 연구, 행정중심복합도시건설청, 2009
12. 日本經濟産業省エネルギー廳、エネルギーの面的利用促進研究會報告書「エネルギーの面的利用促進に関する調査」
13. 국토해양부, 녹색도시·건축물 활성화 방안, 2009
14. 백정훈, 태성호, 신성우, 기존 주택의 에너지 효율 개선을 위한 정책방안에 관한 연구, 대한건축학회논문집 제 25권 10호, 2009, 31-38
15. David J. Sailor and Nikolaas Dietsch, The Urban Heat Island Mitigation Impact Screening Tool(MIST), Environmental Modelling & Software 22, 2007, 1529-1541
16. Taha H., Modeling the Impact of Large-Scale Albedo Changes on Ozone Air Quality in the South Coast Air Basin, Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBL-36890, Berkeley, CA.

논문접수일 (2011. 5. 2)

심사완료일 (1차 : 2011. 5. 20, 2차 : 해당없음)

게재확정일 (2011. 5. 27)