

## 시스템다이내믹스 기법을 이용한 온실가스 감축정책 평가\*

### System Dynamics Application for the Evaluation of Greenhouse Gases Reduction Policy

장남정\*\* · 김민경\*\*\* · 양고수\*\*\*\*

Jang, Namjung · Kim, Min-Kyong · Yang, Go-Su

#### Abstract

It is necessary to evaluate the greenhouse gases (GHGs) reduction policy by central and regional governments to set up the suitable GHG emissions measures. Quantitative, qualitative and synthetic methods have been adopted by previous researches to estimate GHG reduction policy. However, these methods mostly focused on the results of the reduction policy, rather than understanding and fixing the integrated structures of GHG emissions.

In this research, System Dynamics(SD) was applied to 1 million green homes program, self-carfree-day system and carbon point program. The results showed that SD analyses could be applicable for the estimation of GHG reduction policy by developing the feedback loops and dynamic simulation model. SD can be consider as a supplementary tool to estimate the GHG reduction policies through the recognition of the structure in complex real system.

**Keywords:** 기후변화, 온실가스 감축, 그린홈100만호보급사업, 승용차요일제, 탄소포인트제 (Climate Change, Greenhouse Gases Reduction, 1 Million Green Homes Program, Self-carfree-day System, Carbon Point Program)

\* 이 논문은 전북대학교 기후변화특성화대학원 사업의 지원을 받아 수행한 연구임.

\*\* 전북발전연구원 연구위원 (njjang@jthink.kr)

\*\*\* 전북발전연구원 연구원 (winder9799@jthink.kr)

\*\*\*\* 전북대학교 환경공학과 교수 (gsyang@jbnu.ac.kr)

## I. 서론

정부의 녹색성장 패러다임의 확산으로 기후변화 및 에너지 문제에 대응하기 위한 국가 차원의 노력이 본격화되고 있다. 정부는 2020년 BAU대비 30% 감축 목표를 설정하고 온실가스 감축을 위한 대책으로 녹색건축물, 녹색교통체계, 저탄소 산업/발전, 녹색소비/생활 분야로 구분하여 분야별 사업을 추진하고 있다.

지자체는 기후변화 대응의 최전선에 있는 주체로 실제 온실가스를 배출하고 기후변화에 직접적으로 영향을 받는 공간으로 중요성이 대두되었으며, 지자체의 능동적인 역할이 요구되고 있다. 따라서, 지역 특성에 적합한 온실가스 감축정책 수립을 위해 지자체 온실가스 배출특성 분석에 관한 연구가 수행되었으며(고재경 외, 2007; 김충실 외, 2009; 장남정, 2009; 장남정 외, 2011; 정종관·엄태인, 2006), 정부의 온실가스 감축정책 시행과 함께 광역지자체 또는 기초지자체는 기후변화대응 종합대책을 수립하여 온실가스 감축을 위한 대책을 추진 중에 있다.

그러나, 정부의 Top-down 방식의 일방적인 정책 도입을 통해 지자체에서 온실가스 감축 효과를 기대하기는 어렵다. 예를 들어, 대중교통수단 이용확대를 통한 온실가스 감축정책을 시행하였을 경우 지자체의 대중교통수단 인프라 현황에 따라 그 효과는 크게 달라질 수 있다. 하루에 버스 몇 대 다니지 않는 농산어촌 지역에서 대중교통수단을 이용하도록 유도하기는 현실적으로 어렵다고 할 수 있다. 비록 지역 특성에 적합한 정책을 추진하였지만, 예상치 못한 문제점이 발생하여 정책의 보완 및 신규정책 개발이 필요할 수 있다. 특히, 중장기의 목표달성을 위해 지속적인 노력이 필요한 온실가스 감축정책에서 정책을 평가하고 보완하는 정책의 환류과정은 매우 중요한 과정이다. 따라서, 단순한 ‘계획 → 집행’의 체계가 아니라 정책의 ‘계획 → 집행 → 모니터링 → 평가 → 계획보완’의 온실가스 감축정책 평가체계의 중요성이 대두되고 있다.

최근 지자체 온실가스 감축노력이 본격화됨에 따라 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 온실가스 감축정책 평가방안에 대한 연구가 수행되었다(권동명, 2011, 김운수 외, 2011; 엄기중 외 2011). 본 연구에서는 온실가스 감축정책 평가를 위한 선행 방법론을 조사하고, 문제점을 보완하기 위한 방안으로 시스템다이내믹스의 필요성과 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

## II. 온실가스 감축정책 평가에 관한 선행연구

온실가스 감축정책 평가에 관한 선행연구를 분석한 결과, 온실가스 감축정책 평가 방법은 크게 정량평가(권동명, 2011), 정성평가(엄기중 외, 2011), 종합평가(김운수 외, 2011)로 구분할 수 있었다.

### 1. 정량평가

온실가스 감축효과를 평가하기 위해서는 각 정책별로 지속적인 온실가스 인벤토리(배출량 목록) 작성이 필요하다. 최종적으로 온실가스 감축목표를 어느 정도 달성하였는지가 평가의 가장 중요한 척도이기 때문이다. 정량평가는 각 정책별로 온실가스 감축량을 직접 산정하는 방식으로 객관적으로 정책을 평가할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 원단위 분석(톤당 비용) 등을 통해 타 정책과의 비교가 가능하므로 정책적 우선순위 및 정책효과 분석이 용이하다. 한계저감비용, 투자수익률분석과 같은 경제성 평가는 정량평가 방법에 포함할 수 있다.

그러나, 정량평가는 온실가스 감축량 산정에 사용되는 방법론과 배출계수에 대한 객관적인 검증 과정이 필요하다. 경제적 평가의 경우 각 정책에 대한 세부적인 배출량과 비용조사가 수반되어야 한다. 예를 들어, 자전거 이용에 의한 온실가스 감축량을 산정할 경우 자전거 이용거리, 이용자수(기존의 도보 이용자 제외) 또는 승용차 대체효과 등에 대한 표준 산정 방법론(세부 DB구축 포함)을 확립하여야 한다. 현실적으로 별도의 정량적인 모니터링 사업을 추진하지 않는 한 일반 통계자료로는 정량적 산정이 어렵다는 한계가 있다. 또한, 단기간 감축효과가 발생하지 않는 간접적인 영향에 대해서는 반영이 어렵다.

### 2. 정성평가

정성평가는 정부 또는 지자체에서 각각의 정책에 대해 배출량을 산정하기 어려운 경우가 많으므로 대표성 있는 간접지표를 활용하여 온실가스 감축정책이 어떻게 사회지표를 변경하였는지 정성적으로 분석하는 방법이다. 예를 들어, 녹색생활 실천을 위해 교육 및 홍보 사업을 추진하였을 경우, 직접적인 효과를 평가하기가 난해하다. 따라서, 국제적 정책평가 기관에서는 환경정책 평가를 위해 대리지표를 이용한 다양한 평가지수를 개발하였다. 대표적인 환경평가 지수로는 환경성과지수(EPI; Environmental Performance Index), 환경지속성 지수(ESI; Environmental Sustainability Index), 기후변화성과지수(CCPI; Climate Change

Performance Index), 기후위험지수(CRI; Climate Risk Index) 등이 있다.

정성평가의 경우 대리지표를 이용한 종합평가가 가능하고, 지표가 선정된 경우 비교적 간단히 평가를 할 수 있다는 장점이 있다. 반면, 선정 지표나 지표별 가중치 선정에 따라 평가 결과가 달라지므로, 평가지표 선정에 전문가의 신중한 의견이 반영되어야 한다. 특히, 지자체 차원의 평가를 위해서는 지역 특성을 반영할 수 있는 지표가 선정되어야 한다. 그러나, 선정지표 관련 기초통계자료가 구축되어 있지 않은 경우 적용이 어렵고, 정책사업과 지표의 연계성이 낮은 경우 지자체의 노력이 반영되지 못하는 문제점이 있다.

### 3. 종합평가

종합평가는 정량/정성 평가의 문제점을 보완하기 위한 방법으로 정량평가와 정성평가를 동시에 수행하여 평가표를 작성하는 방식이다. 종합평가는 단위정책별 심도 있는 평가가 가능하나, 지역별, 정책간 비교평가는 어렵다는 한계가 있다. 분야별로 다양하게 시행되는 온실가스 감축정책 평가 시 단위정책별 배출량과 온실가스 인벤토리를 정량적으로 연결하기 어렵다. 다시 말해, 수송 부문 배출량이 감소하였을 경우 자전거 이용, 에코드라이빙, 하이브리드 차량보급 등이 온실가스 감축에 몇% 정도 기여하였는지는 정책별 상세 DB구축 없이는 분석에 한계가 있다.

〈표 1〉 온실가스 감축정책 평가방법의 장단점 비교

평가방법	장점	단점
정량평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 객관적으로 정책을 평가할 수 있음</li> <li>• 원단위 분석 등으로 타 정책과 비교가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 표준화된 방법론(상세 DB포함)이 필요함</li> <li>• 신뢰도 확보를 위한 검증이 필요함</li> <li>• 정책의 간접적 효과를 평가하기 어려움</li> </ul>
정성평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대리지표를 이용하여 종합적인 평가가 가능</li> <li>• 비교적 간단히 비교평가가 가능함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 선정 지표나 가중치에 따라 평가 결과가 달라짐</li> <li>• 실제 노력이 반영되지 않을 수 있음</li> </ul>
종합평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단위정책별 심도 있는 평가가 가능함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지역별, 정책간 비교 평가가 어려움</li> <li>• 평가에 요구되는 시간 및 비용이 높음</li> </ul>

선행연구 분석을 통해 도출한 온실가스 감축정책 평가방법별 특징을 〈표 1〉에 정리하였다. 온실가스 감축정책 평가에서 특정 평가방법을 반드시 적용해야 한다고 단정하기는 어렵다. 정부 또는 지자체 노력에 대한 평가는 일반적으로 지표를 이용한 정성평가가 용이할 것이며, 정책 사업별 평가는 정성평가와 정량평가를 동시에 추진하는 종합평가 방식이 바

람직할 것이다. 온실가스 감축정책의 평가는 평가의 주체, 목적 및 시행정책의 특성에 따라 정량, 정성, 종합평가 방식을 적절히 활용할 수 있다고 사료된다.

#### 4. 기존 평가의 한계

그러나, 선행연구의 정책평가 방법은 결과 중심의 평가로 과정상에 발생한 문제점에 대한 고찰이 없다. 따라서, 평가에 따른 정책의 보완 및 새로운 대안을 모색하기 어렵다는 한계가 있다. 예를 들어 신재생에너지 보급을 통해 전기사용량이 감소하고 온실가스 배출량이 감소할 것으로 예측(기대)하여 정책적 지원을 하였지만, 결과적으로 낮아진 전기사용료로 인해 전기사용자가 추가적인 전기제품을 구매하거나 과도한 전기를 사용하는 문제를 유발할 수 있다. 이러한 역효과로 인해 단순히 신재생에너지 보급사업이 온실가스 감축에 효과가 없다고 단정 짓기는 어렵다. 따라서, 정책의 구조(원인과 결과)를 분석할 수 있는 방안을 활용하여 온실가스 감축정책을 평가하고, 문제점 해결방안을 모색할 필요가 있다.

### Ⅲ. 시스템다이내믹스 적용의 필요성

현대사회는 기능이 매우 복잡하여 하위 시스템의 상호 연관성 및 상호 의존성을 특성으로 하고 있다. 그러나, 많은 정책 결정자의 시각은 인과관계가 한방향으로만 흐르는 정태적 시각과 임기내의 성과를 위한 단기적 견해를 가지며, 전문적인 분야에 국한된 부분성을 벗어나지 못하고 있다.

시스템다이내믹스는 복잡한 문제들에 대해 구조적 원인을 파악하고 해결책을 찾아내기 위한 방법으로 기존의 시각으로 원인을 알 수 없었던 정부정책의 혼란 등을 풀어내기 위한 도구로 경영전략, 기업 및 행정조직, 공공정책 등 다양한 분야에서 문제 해결 도구로 사용된다(김도훈 외, 1999).

정책에서의 시스템 사고는 궁극적으로 시스템을 변화시킬 수 있는 효과적인 지점을 발견하는 것이다. 따라서, 시스템다이내믹스의 적용을 위해서는 우선 문제를 발견하고 문제의 원인과 결과를 파악하여 구조를 분석한다. 여기서 구조란 상호관의 연계성을 고려한 피드백 루프(feedback loops)를 의미하며, 행태(behavior)란 변화무쌍한 동태적 행태유형(dynamic pattern of behavior)을 의미한다. 구조 분석을 통해 최소한의 노력으로 큰 결과를 가져올 수 있는 정책개입 지점인 ‘전략적 지렛대’를 발견하고 대책을 마련하는 것이다.

환경정책과 관련한 시스템다이내믹스 연구로는 수도권 환경용량산정(문태훈, 2007), 폐

기물 관리정책(문태훈&서원석, 2000), 새만금 사업의 지속가능한 발전(김강훈, 2010), 녹색 성장 인지지도(김동환&안지영, 2009) 분석 등을 찾아볼 수 있었으나, 기후변화와 관련한 직접적인 선행연구는 찾아보기 어려웠다.

온실가스 감축정책에 있어서 시스템다이내믹스 적용의 필요성은 다음과 같은 관점으로 요약할 수 있다.

- 1) 단순한 원인-결과를 가정한 단선적 사고에서 탈피하여, 총합적이고 시스템적인 관점에서 온실가스 감축정책을 평가할 수 있음 [System]
- 2) 정책의 순기능과 역기능 혹은 강화루프와 균형루프 등 시스템 전체의 다이내믹한 효과를 고려하여 평가를 수행할 수 있음 [Dynamics]
- 3) 정책환류를 위한 다양한 시나리오 적용이 가능함 [Simulation]

본 연구에서는 대표적인 온실가스 감축정책이라고 할 수 있는 그린홈100만호보급사업, 승용차 요일제(차량부제) 운영을 인과지도를 통한 정성평가 사례로, 전라북도 탄소포인트제 가입세대 예측 시뮬레이션을 정량평가 사례로 구분하여 시스템다이내믹스 적용 가능성을 평가하고자 하였다.

## IV. 시스템다이내믹스를 활용한 온실가스 감축정책 평가

### 1. 그린홈100만호보급사업 (정성평가)

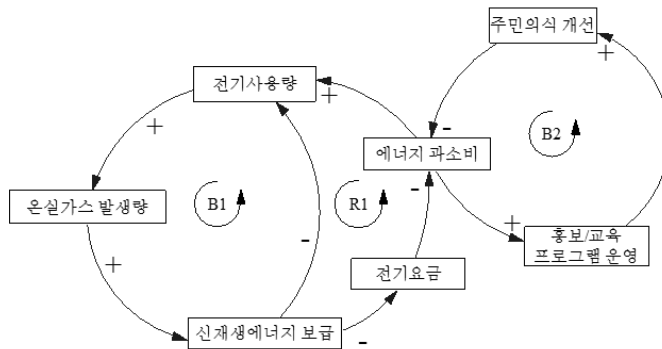
2009년 기준 국가 총배출량의 84.9%로 가장 큰 비중을 차지(온실가스종합정보센터, 2011)하는 에너지 부문 중 가정·상업 건물부분 온실가스 감축을 위한 대표적인 정책이 신재생에너지 보급 사업이다. 정부는 그린홈100만호보급, 지방보급 등의 사업을 통해 지자체 신재생에너지 보급사업을 추진해오고 있다(에너지관리공단, 2011). 그린홈100만호보급사업은 2020년까지 ‘그린홈 100만호’ 보급을 목표로 태양광, 태양열, 지열 등의 신재생에너지 원을 주택(단독·공동주택)에 설치할 경우 설치비의 일부를 정부가 지원하는 사업이다.

그러나, 신재생에너지보급사업 평가(박용주 외, 2010)에 따르면 2007년 사업에 참여한 2,473가구의 신재생에너지 설비 설치전후의 전기사용량 및 전기요금을 비교한 결과, 에너지 절감효과가 예측치보다 미흡한 가구가 전체의 81%를 차지하는 것으로 보고되었다. 이와 더불어 민간투자비 회수기간도 예측기간 12년 보다 긴 시간이 소요될 것으로 전망되었다.

시스템다이내믹스를 적용하여 그린홈100만호보급사업의 인과지도를 작성하면 [그림 1]과 같다. 정부의 정책의도는 신재생에너지 보급에 따라 전기사용량이 감소하고, 이에 따라

(화석 연료 등에 의해 배출되는) 온실가스 발생량 감축을 유도한 것이다(음의 피드백 B1). 그러나, 무조건적인 시설보급은 소비자의 의식이 개선되지 않는 경우 낮은 전기요금으로 인해 과도한 전기제품 구입/사용, 에너지 다소비 생활패턴으로 전환하는 등의 ‘에너지 과소비’ 부작용을 초래할 수 있다. 이러한 경우 전기사용량이 오히려 증가하거나 변화가 없어 온실가스 감축효과를 기대할 수 없게 된다(양의 피드백 R1).

정부의 그린홈100만호보급사업이 목표한 효과를 얻기 위해서는 양의 피드백에서 음의 피드백 루프로의 전환이 필요하다. 일반적으로 약한 힘을 증폭시켜 시스템의 변화를 가져오기 위해서는 양의 피드백 루프를 공략하여야 하며 시기적으로 초기에 정책개입이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 양의 피드백 루프를 약화시킬 수 있는(전략적 지렛대) 홍보/교육 프로그램 운영을 통해 참여주민의 에너지과소비를 예방(또는 근절)하도록 유도할 수 있다(음의 피드백 B2).



[그림 1] 그린홈100만호보급사업과 온실가스 감축 인과지도

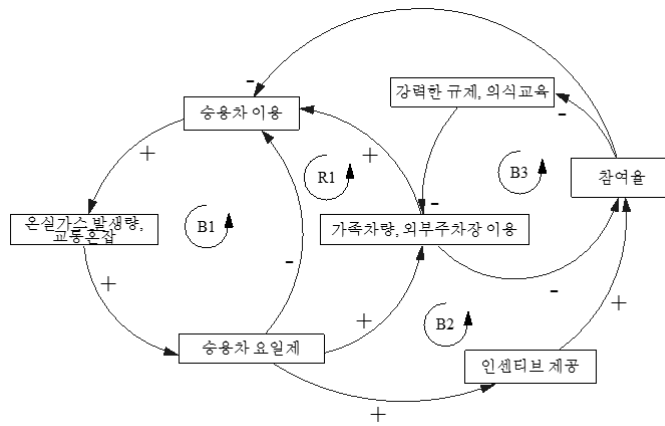
## 2. 승용차 요일제(차량부제) 운영 (정성평가)

2009년 기준 국가 온실가스 총배출량의 13.6%를 차지(온실가스종합정보센터, 2011)하는 수송부문에서 가장 쉽게 시행할 수 있는 지자체 사업이 승용차 요일제 실시이다. 지역 또는 기관마다 기준은 다르나 차량 끝자리를 기준으로 10부제, 5부제, 2부제 등이 시행되고 있다.

그러나, 서울, 부산, 경기도 등 대도시를 제외한 지자체는 사업 모니터링을 위한 승용차 요일제 시스템이 구축되지 않아 효과를 평가하기 어렵고, 승용차를 대체할 대중교통 인프라가 미흡한 경우 시행 자체에 한계가 있다. 모니터링 시스템을 갖춘 경기도의 경우 2010년 1월 기준 승용차 요일제 참여운전자가 승용차 등록대수의 약 4.01%로 참여율이 저조한 것으로 보고되었다(빈미영 외, 2010).

시스템다이내믹스를 적용하여 승용차 요일제의 인과지도를 작성하면 [그림 2]와 같다. 정부의 정책의도는 특정 날짜에 승용차의 운행을 제한하고 출퇴근 대중교통 이용을 유도함으로써 승용차의 이용율이 감소하고, 이에 따라 온실가스 발생량 감축 및 주차난 해소를 유도한 것이다(음의 피드백 B1). 그러나, 운전자가 승용차 이용의 불편을 해소하기 위해 가족의 차량을 운행한다거나 외부 주차장을 이용할 경우, 실질적인 온실가스 감축효과는 기대하기 어렵다(양의 피드백 R1).

이러한 승용차 요일제 시행이 효과를 얻기 위해서는 양의 피드백에서 음의 피드백 루프로 전환이 필요하다. 양의 피드백 루프를 약화시키기 위해서는 통행료감면, 주차장 무료이용과 같은 인센티브를 제공함으로써 참여율을 높이는 방안을 모색할 수 있다(음의 피드백 B2). 또한, 부작용(양의 피드백 R1)을 완화하기 위해 대상자 의식교육, 또는 가족의 차량까지 모두 조사하여 운행을 제한하는 등의 엄격하고 강제적인 규제방안도 고려해 볼 수 있을 것이다(음의 피드백 B3).



[그림 2] 승용차 요일제 시행과 온실가스 감축 인과지도

### 3. 탄소포인트제 가입세대 시뮬레이션 모델 (정량평가)

탄소포인트제는 전기, 가스, 수도 절약을 통한 온실가스 감축실적에 따라 인센티브를 제공하여 온실가스 감축 유도하는 정책이다. 전라북도의 경우 탄소포인트제 가입 100,000 세대를 목표로 온실가스 감축사업을 시행중에 있다. 본 연구에서는 시스템다이내믹스를 이용한 시뮬레이션 모델 구축을 통해 탄소포인트제의 가입세대 목표달성까지 어느 정도 시간이 소요되는지 예측하고자 하였다. 모델 구축에는 Ventana Systems사의 Vensim PLE(ver.



5.11A)를 사용하였다. 시스템다이내믹스 모델 구축방법을 과정별로 정리하면 다음과 같다 (김기찬, 2007).

### 1) 문제정의

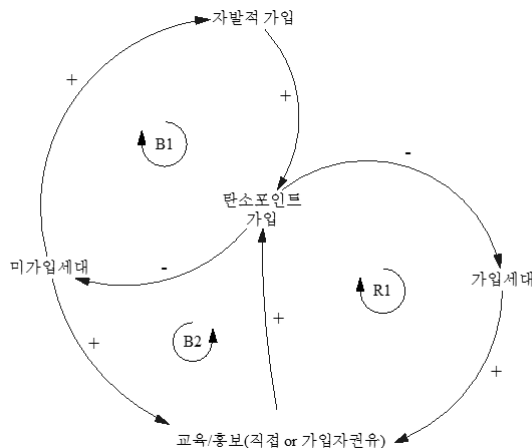
탄소포인트제 가입경로는 다음과 같이 정의하였다.

- 탄소포인트제의 가입은 스스로 필요에 의해 가입하는 자발적 가입과 교육/홍보(외부의 권유)에 의한 간접적인 가입으로 구분함
- 교육/홍보에 의한 참여는 가입자에 의한 권유와 탄소포인트제 가입을 위한 교육/홍보 활동에 의한 권유로 구분함

### 2) 인과지도 작성

탄소포인트제 가입 인과지도는 [그림 3]과 같이 작성할 수 있다.

- 자발적 가입 (음의 피드백 B1) : 미가입세대 증가 → 자발적 가입 증가 (+) → 탄소포인트 가입 증가 (+) → 미가입세대 감소 (-)
- 직접적인 교육/홍보 활동 (음의 피드백 B2) : 교육/홍보 활동 증가 → 탄소포인트 가입 증가 (+) → 미가입세대 감소 (-) → 교육/홍보 활동 감소 (+)
- 가입자의 권유에 의한 교육/홍보 활동 (양의 피드백 R1) : 가입세대 증가 → 가입자 권유 교육/홍보 증가 (+) → 탄소포인트 가입 증가 (+) → 가입세대 증가 (+)

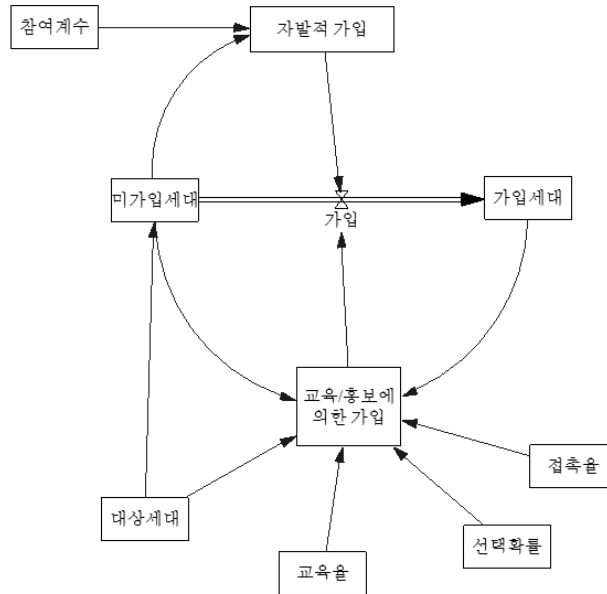


[그림 3] 탄소포인트제 가입세대 모델을 위한 인과지도

### 3) 구성변수 선정

탄소포인트제 가입과 관련한 변수와 상수는 다음과 같으며, 모델의 흐름도는 [그림 4]와 같다.

- 저량변수(Level 또는 Stock) : 미가입세대, 가입세대 (단위 : 세대)
- 유량변수(Rate 또는 Flow) : 자발적 가입, 교육/홍보에 의한 가입 (단위 : 월/세대)
- 상수
  - 자발적 가입 관련 : 자발적 참여계수
  - 교육/홍보에 의한 가입 관련 : 교육/홍보 활동 (교육률, 선택확률), 가입자의 권유 (접촉률, 선택확률)



[그림 4] 탄소포인트제 가입세대 모델 흐름도 (Stock and Flow Diagram)

### 4) 정량모델 작성

전라북도 탄소포인트제 가입예측 모델에 사용한 상수 값은 다음과 같이 가정하였다.

- 대상세대 : 전라북도 전체 650,000세대 중 아파트인 320,000세대를 대상으로 설정
- 자발적 참여계수 : 자발적으로 탄소포인트제에 가입할 확률은 매월 미가입세대의 2%로 가정
- 접촉률 : 가입세대가 미가입세대와 접촉할 확률은 100세대당 1세대 수준인 1%로 가정

- 교육률 : 미가입세대에 탄소포인트제를 직접적으로 교육/홍보할 확률로 100세대당 10세대 수준인 10%로 가정
- 선택확률 : 가입세대의 권유 또는 직접적인 교육/홍보를 통해 탄소포인트제에 가입할 확률은 100세대당 20세대 수준인 20%로 가정

설정된 모델의 변수와 관계식을 정리하면 <표 2>와 같다.

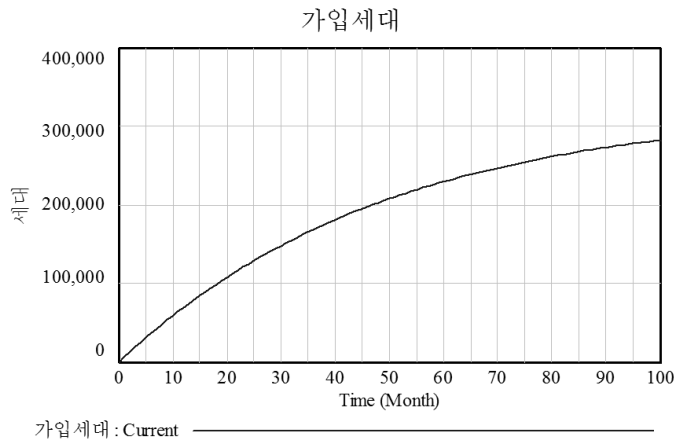
<표 2> 탄소포인트제 모델의 변수와 관계식

변수	관계식	단위
미가입세대	INTEG(대상인구-가입, 대상인구)	세대
가입세대	INTEG(가입, 0)	세대
가입	자발적 가입 + 교육/홍보에 의한 가입	세대/월
자발적가입	미가입자×참여계수	세대/월
교육/홍보에 의한 가입	가입자의 권유 + 직접 교육/홍보	세대/월
가입자의 권유	가입자×미가입자/대상인구×접촉률×선택확률	세대/월
직접 교육/홍보	미가입자/대상인구×교육률×선택확률	세대/월

### 5) 모델구동 결과 및 활용방안

[그림 5]는 앞의 조건에서 구동한 탄소포인트제 가입세대 정량모델의 실행 결과를 보여 준다. 전라북도의 탄소포인트제 100,000세대 달성을 위해서는 약 18개월의 시간이 소요되는 것으로 나타났다.

구축된 모델은 목표기간을 설정하고 가입세대 목표를 달성하기 위한 수단을 모색할 때, 이론적인 자발적 참여계수, 교육률, 선택확률, 접촉률 등을 어느 수준까지 변경해야 하는지 모의(시뮬레이션)하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 다양한 시나리오를 구상하여 정량적 평가를 수행함으로써 정책적으로 어떤 변수에 중점을 두어야 할지 판단하는데도 활용이 가능하다. 이러한 정책효과에 대한 모의는 정책결과만을 평가하는 기존 방법들과는 달리, 정책의 다이내믹한 작동원리를 분석함으로써 가장 효과적인 대안을 제시할 수 있다는 장점이 있다.



[그림 5] 탄소포인트제 가입세대 시뮬레이션 결과

### 6) 모델의 한계점

본 연구에서는 탄소포인트제 100,000세대 가입기간을 산정하기 위한 모델 구축에 초점을 두고, 온실가스 감축정책에서 시스템다이내믹스의 정량적 모델 적용 가능성을 평가하고자 하였다. 그러나, 실제 온실가스 감축 정도를 평가하기 위해서는 가입세대의 활동정도를 고려해야 한다. 제시한 모델에서는 지속적으로 가입세대가 증가하는 구조를 가지고 있으나, 실제 탄소포인트제에 가입만 하고 활동을 하지 않는 세대에 대해서는 outflow를 설정할 수 있을 것이다. 향후 실제 온실가스 배출현상을 반영할 수 있는 수정 모델에 관한 추가 연구가 필요하다. 또한, 가정값(상수)에 대한 타당성 검토 및 적정값에 대한 연구도 필요하다.

## V. 결론

중장기 온실가스 감축목표 달성을 위한 온실가스 감축정책이 실질적인 효과를 얻기 위해서는 정책환류 과정이 필요하다. 이를 위해서는 단순한 ‘계획 → 집행’의 체계가 아니라 정책의 ‘계획 → 집행 → 모니터링 → 평가 → 계획보완’의 온실가스 감축정책 평가체계가 구축되어야 한다.

선행연구를 조사한 결과 온실가스 감축정책의 평가유형은 정량, 정성, 종합평가 방식으로 구분할 수 있었고, 각각의 장단점이 있는 것으로 분석되었다. 그러나, 기존의 방법론은 과정보다는 결과 중심의 평가로 정책의 구조(원인과 결과)를 파악하기 어렵고, 문제점을 보

완하여 대책을 수립하거나 지역에 적합한 신규정책을 개발하는데 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 시스템다이내믹스를 적용하여 기존의 온실가스 감축정책 평가방법을 보완하고자 하였다.

온실가스 감축정책에 있어서 시스템다이내믹스 적용의 필요성은 다음과 같은 관점에서 요약할 수 있다.

- 1) [System] 단순한 원인-결과를 가정한 단선적 사고에서 탈피하여, 총합적이고 시스템적인 관점에서 온실가스 감축정책을 평가
- 2) [Dynamics] 정책의 순기능과 역기능 혹은 강화루프와 균형루프 등 시스템 전체의 다이내믹한 효과를 고려하여 평가
- 3) [Simulation] 정책환류를 위한 다양한 시나리오 적용이 가능

본 연구에서는 대표적인 온실가스 감축정책이라고 할 수 있는 그린홈100만호보급사업, 승용차 요일제(차량부제) 운영을 인과지도를 통한 정성평가 사례로, 탄소포인트제 가입세대 예측 시뮬레이션을 정량평가 사례로 구분하여 시스템다이내믹스 적용 가능성을 평가하였다.

그린홈100만호보급사업이 목표한 효과를 얻기 위해서는 양의 피드백 루프를 약화시킬 수 있는(전략적 지렛대) 홍보/교육 프로그램 운영을 통해 참여주민의 에너지과소비를 예방(또는 근절)하는 보완책이 필요한 것으로 분석되었다.

마찬가지로 승용차 요일제(차량부제) 시행이 효과를 얻기 위해서는 양의 피드백 루프를 약화시킬 수 있도록 통행료감면, 주차장 무료이용과 같은 인센티브를 제공함으로써 참여율을 높이는 방안을 모색하거나, 대상자 의식교육, 또는 엄격하고 강제적인 규제방안에 대한 검토가 필요한 것으로 분석되었다.

탄소포인트제 가입세대 정량모델의 실행한 결과 주어진 조건에서 전라북도의 탄소포인트제 100,000세대 달성을 위해서는 약 18개월의 시간이 소요되는 것으로 분석되었다. 시스템다이내믹스 모델의 경우 다양한 시나리오를 구상하여 정량적 평가를 수행함으로써 가장 효과적인 대안을 제시하는데 활용이 가능하다.

온실가스 감축정책 평가에 있어서 시스템다이내믹스를 병행할 경우 대상정책의 문제점을 파악하고 대책을 제시함으로써 기존 정책을 보완하거나 신규 온실가스 감축정책을 개발하는데 유용한 방법론이 될 것으로 판단된다.

## 【참고문헌】

- 고재경 · 박년배 · 황원실. (2007). 『경기도 시·군 지자체의 온실가스 배출특성 연구』. 경기개발연구원.
- 권동명. (2011). 『지자체 온실가스 감축이행 실적 평가기법 연구』. 국립환경과학원.
- 김강훈. (2010). “새만금사업의 지속가능한 발전방안 연구: 전라북도 지자체를 중심으로”. 『한국 시스템다이내믹스 연구』. 제11권 제4호: 25-59.
- 김기찬. (2007). 『Vensim을 활용한 SYSTEM DYNAMICS』. 서울경제경영.
- 김도훈 · 문태훈 · 김동환. (1999). 『시스템다이내믹스』. 대영문화사.
- 김동환 · 안지영. (2009). “녹색성장에 관한 이명박 대통령의 인지도 분석”. 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제10권 제4호: 39-51.
- 김운수 · 전하나 · 정남숙. (2011). 『서울시 온실가스 감축목표 성과관리 모니터링 방안 연구』. 서울시정개발연구원.
- 김충실 · 이상호 · 정기호 · 하인봉. (2009). “온실가스 감축에 따른 대구 · 경북권 경제적 영향 분석”. 『환경정책』 제17권 제2호: 49-72.
- 문태훈. (2007). “지속가능한 발전을 위한 환경용량의 산정과 토지이용형태 연구 - 수도권지역을 중심으로-”. 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제8권 제2호: 51-82.
- 문태훈 · 서원석. (2000). “시스템 다이내믹스를 이용한 폐기물 관리정책에 관한 연구”. 『한국 시스템다이내믹스 연구』 제1권 제2호: 113-148.
- 박용주 · 최미희 · 허가형 · 이정아 · 김영애. (2010). 『신재생에너지보급사업 평가』. 국가예산정책처.
- 빈미영 · 김채만 · 정의석. (2010). 『경기도 승용차요일제 시행 효과분석 및 발전방안 연구』. 경기개발연구원.
- 엄기중 · 채희문 · 정유경. (2011). 『기후변화대응 지표 개발 및 지수 산정』. 강원도.
- 에너지관리공단. (2011). 『2011 에너지 · 기후변화 편람』.
- 온실가스종합정보센터. (2011). 『2009년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서』.
- 장남정. (2009). “지자체 온실가스 인벤토리 구축연구-전라북도 사례”. 『대한환경공학회지』 제31권 제7호: 565-572.
- 장남정 · 안정이 · 김태균 · 임승현 · 김득수. (2011). “지자체 온실가스 배출특성 분석연구 - 전라북도 14개 시·군 사례”. 『한국대기환경학회지』 제27권 제2호: 225-237.
- 정종관 · 엄태인. (2006). 『기후변화협약 대응을 위한 대기오염물질 배출특성 분석』. 충남발전연구원.