

연구논문

탄소흡수원을 고려한 개발사업 환경영향평가 방안(III)

- 보금자리주택 사업을 중심으로 -

항상일* · 박선환**

한국환경정책·평가연구원*, (주)수성엔지니어링**

(2011년 2월 22일 접수, 2011년 4월 15일 승인)

Environmental Impact Assessment for Development Projects Considering Carbon Sink and Sequestration(III)

- Focused on a Bogeumjari Housing Project -

Sang Il Hwang* · Sun Hwan Park**

Korea Environment Institute*, Soosung Engineering Co., Ltd**

(Manuscript received 22 February 2011; accepted 15 April 2011)

Abstract

In this study, we investigated the effect of carbon sequestration and sink on the environmental impact assessment of a Bogeumjari Housing Project. Through the case study, we found that, if the project is implemented, the amount of carbon stock tends to decrease greatly whileas the amount of the carbon emission tends to greatly increase. Furthermore, we found that the future land use should be planned in detail in order to maintain the soil carbon stock prior to development. Also, enlargement of undeveloped forest land area would be more efficient than that of newly planted area in terms of carbon sequestration.

Keywords : Bogeumjari houses, Carbon stock, Carbon Sink, Sequestration

1. 서론

최근 우리나라는 무주택 서민과 저소득층의 주거 문제를 해결하기 위해 공공분양 및 임대주택을 수요자 맞춤형 「보금자리 주택」으로 통합하고, 향후 10년간 총 150만호(연평균 15만호)를 공급할 계획에 있다(국토해양부, 2008). 보금자리주택은 택지개발

사업과 마찬가지로 국민에게 저렴한 주택 및 택지 공급을 목적으로 하기 때문에 주거지역이 적고 농경지가 대부분인 개발제한구역 내에 입지하는 특징이 있다.

보금자리 주택사업 완료 후 인근지역 주민이 사업 지역으로 이동하여 거주하게 되므로 도시 전체로 보면 온실가스 배출량의 변동이 없을 수 있으나, 국지

적으로는 신규 유발교통량에 의한 탄소배출량 증가, 기존 농경지 및 임야 훼손에 따른 탄소흡수·저장량 감소 등의 영향이 예상된다.

개발사업으로 인한 탄소배출 및 흡수·저장량 변화와 관련한 국내 연구를 살펴보면, 조현길과 안태원(1999, 2001)이 도시 수목에 의한 연간 이산화탄소 흡수에 대한 연구를 수행하였으며, 이관규(2003)는 아파트단지에 대해 식생과 토양의 탄소저장·흡수량과 아파트단지의 온실가스 배출특성을 종합적으로 고려하여 녹지 지속가능성 지표를 개발하였다.

황상일·박선환(2010)은 산림이 양호한 지역에 대부분 입지하는 태양광발전소 건설 사례를 선택하여 탄소배출량과 아울러 탄소저장·흡수량을 고려한 영향을 평가한 결과, 태양광 발전은 전력생산으로 탄소배출 저감효과가 상당히 커 사업미시행시 탄소저장 및 흡수량을 충분히 상쇄할 수 있으나 산림이 가지는 공익적 가치를 감안하여 토지이용계획 수립시 원형보전지를 확대하거나 수목이식을 통해 훼손되는 수목을 보전하는 등의 대안 검토가 필요하다고 주장하였다.

또한 황상일·박선환(2011)은 도심지 저층 주거용주택을 재개발하는 주택 재개발 사업의 경우, 자연 및 인공지반 녹지확대로 인해 탄소저장량 및 흡수량이 대폭 증가하고, 지역난방 도입, 신재생에너지 도입 등에 따라 탄소배출량이 약간 감소하여 전체적으로 보면 사업시행후 순탄소배출량이 감소하는 경향을 보여준다고 하였다. 이에 도시 재정비계획 수립시 현재의 탄소배출량과 장래 탄소 저장·흡수·배출량을 고려하여 사업시행 후, 순탄소배출량을 최소화 시킬 수 있도록 토지이용계획을 수립하는 것이 필요하다고 하였다.

그러나 임야지역에 입지하는 태양광발전소 건설 사업이나 도심지역에서 이루어지는 주택 재개발 사업과 달리, 보금자리 주택사업은 농경지가 대부분인 개발제한구역에서 이루어져 탄소배출뿐만 아니라 탄소흡수·저장특성도 상기한 2개의 사업과 다른 면을 나타낼 수 있다. 이에 본 연구에서는 보금

자리 주택건설 사업을 선정하여 탄소배출 뿐만 아니라 탄소저장·흡수 효과를 환경영향평가지 고려한다면 어떠한 영향이 있을 것인지에 대해 살펴보고자 하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구내용

본 연구에서는 개발제한구역 내 대부분 농경지와 임야로 이루어진 지역을 보금자리주택으로 건설하는 사업을 선택하여 탄소 저장·흡수 효과를 살펴보고, 당해 효과를 최대화할 수 있는 토지이용계획 수립 방안을 제시하였다.

2. 연구대상사업 선정

연구대상 사업을 선정하기 위하여 현재 추진중인 19개소의 보금자리주택의 토지이용 현황을 분석한

표 1. 보금자리주택 개발예정지 토지이용 현황

사업명	토지이용 구성비(%)		
	농경지	임야	기타
서울 양원	33.2	27.6	39.2
광명 시흥	49.7	25.8	24.5
하남 강일	33.7	23.1	43.2
성남 고등	49.4	16.7	33.9
서울 향동	49.3	24.1	26.6
인천 구월	70.5	17.5	12.0
울산 다운	47.1	26.4	26.5
시흥 은계	53.3	20.7	26.0
남양주 진건	77.7	7.0	15.3
부천 옥길	47.5	26.8	25.7
구리 갈매	52.0	17.9	30.1
서울 내곡	70.0	14.7	15.3
서울 세곡2	84.4	2.2	13.4
서울 서초	75.8	1.7	22.5
하남 미사	48.1	10.8	41.1
서울 강남	55.1	21.9	23.0
고양 원흥	48.3	32.2	19.5
대구 대곡	56.0	20.9	23.1
청원 현동	45.6	27.8	26.6
평균	55.1	19.3	25.7

자료 : 환경영향평가정보지원시스템(<http://eiass.go.kr>)



그림 1. 연구대상지역의 토지이용현황

결과 표 1과 같이 전체 사업 면적 중 평균적으로 농경지가 55.1%, 임야 19.3%를 차지하고 있으며, 도심과 가까울수록 임야 면적은 줄고 농경지가 차지 비중이 높아지는 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구에서는 보금자리 주택의 평균 농경지와 임야비율과 유사한 강남 보금자리주택 사업을 선정하였다.

서울강남 보금자리주택 건설사업은 서울 강남구 일원에 총면적 940,361m²의 택지를 개발하는 사업으로서 현재의 토지이용은 그림 1과 같이 농경지(55.1%)와 임야(21.9%)가 대부분을 차지하고 있다.

표 2. 연구대상 사업의 토지이용계획

구분	면적 및 비율		
	면적(m ²)	구성비(%)	
총계	940,361	100.0	
주택건설용지	461,507	49.1	
도시지원시설용지	17,415	1.9	
업무시설용지	27,276	2.9	
상업시설용지	14,307	1.5	
공공 시설 용지	소계	419,856	44.6
	공원	119,837	12.7
	녹지	61,044	6.5
	기타	238,975	25.4

자료 : 대한주택공사(2009), 서울○지구 보금자리주택 환경영향평가서

보금자리주택 사업 완료 후에는 6,966세대, 18,808명을 수용할 계획이며, 표 2와 같이 총 부지면적의 약 20%를 공원과 녹지로 조성할 계획이고 원형보전지는 67,031m²으로서 전체 부지면적의 약 7%를 차지하고 있다.

3. 식생에 의한 탄소저장량 산정방법 선정

식생에 의한 탄소저장량 산정방법은 크게 세가지 방법으로 구분할 수 있다.

첫 번째로 방법으로 환경부 지리정보서비스(<http://egis.me.go.kr>) 또는 산림청 FGIS산림공간정보서비스(<http://fgis.forest.go.kr>)에서 제공하고 있는

표 3. 식생유형별 영급별 CO₂ 저장계수

(단위: t/ha)

식생유형	영급				
	I	II	III	IV	V
침엽수림	119.2	156.2	189.1	225.6	263.1
혼효림	77.1	138.0	214.8	268.2	336.7
활엽수림	73.1	149.1	254.4	327.6	406.5

자료: 권영한, 김지영, 이민주(2008), 환경성을 고려한 태양광, 풍력발전소 입지선정 가이드라인, 한국환경정책·평가연구원
환경부(2010), 기후변화 대응형 저탄소 토지이용계획 수립을 위한 온실가스 환경영향평가제도 활용방안 연구 중간보고서

임상도와 표 3의 영급별 이산화탄소저장계수(권영한 등, 2008)를 활용하는 방법으로, 이 방법은 광역적인 지역을 대상으로 수목에 의한 탄소저장량을 산정할 수 있는 장점이 있으나, 임상도 자체가 교목을 대상으로 영급이 구분되고 도심지의 경우 조사가 잘 이루어지지 않고 있는 단점이 있다.

두 번째 방법으로는 수목의 바이오매스량을 산정하고 바이오매스 건중량당 탄소 배출계수를 활용하는 것이다.

수목의 바이오매스량을 산정하는 방법에 따라 임업통계자료에서 제공되는 임목축적(줄기재적)을 기초자료로 식(1)을 이용하여 탄소저장량을 산정하는 방법(한국환경공단, 2010, 국립산림과학원, 2008)과 박은진(2009)이 사용한 대표수종별 수고(H)와 흉고직경(DBH)를 측정후 식(2), (3)에서 제시한 상대성장식을 이용하여 대표수종별 바이오매스를 산정하고 이에 따른 대표수종별 탄소저장량을 산정하여 전체에 적용하는 방식이 있다.

$$\text{탄소저장량} = \text{줄기재적(임목축적)} \times D \times \text{BEF} \times (1+R) \times \text{CF} \quad (1)$$

여기서, F, BEF, R, CF 는(표 4. 참조)

$$W_i = a(\text{DBH}_i)^b \quad (2)$$

여기서,

a, b: 상대성장식의 적용계수(표 5. 참조)

DBH: 대표수종 i 수목의 평균 흉고직경(cm)

표 4. 국내 산림 바이오매스 산정을 위한 계수 및 적용치

계수		침엽수	활엽수
D	줄기밀도(목재기본밀도): 줄기(stem)의 부피에 대한 건중량(dry weight)	t/m ³	0.48 0.65
BEF	바이오매스 확장계수: 가지(branch)와 잎을 포함한 지상부 전체로 확장하기 위한 계수	단위 없음	1.29 1.22
R	지상부에 대한 지하수 비율: 뿌리 바이오매스를 포함하기 위한 계수	단위 없음	0.28 0.41
CF	탄소전환계수: 바이오매스 건중량 중 탄소의 함량	단위 없음	0.5 0.5

자료: 손영모, 이경화, 박영규, 권순덕(2008), 산림 부문 온실가스 흡수·배출계수 관리방안, 국립산림과학원

표 5. 상대 성장식의 적용계수

구분	a	b
활엽수	0.1403	2.4595
침엽수	0.1915	2.1436

자료: 박은진(2009), 도시수목의 이산화탄소 흡수량 산정 및 흡수효과 증진방안, 경기개발연구원

$$Y = \text{CF} \times \sum(X_i \times W_i) \quad (3)$$

여기서,

Y: 대상녹지의 수목 탄소저장량(kg C/본)

CF: 바이오매스에 대한 탄소 전환계수(0.5)

X: 대표수종 i 수목의 개체수

Wi: 대표수종 i 수목의 평균 바이오매스(kg/본)

또한 우리나라 환경영향평가서 작성시 훼손 수목에 의한 임목폐기물 배출량 산정식은 수목의 바이오매스량을 산정하는 방법과 동일한 것으로서, 산정방법은 지상부(줄기+가지+잎) 발생량의 경우 「조경설계요람, 1998, 조경출판사」에 제시된 식(4)을 적용하고 있으며, 예측된 지상부 중량을 토대로 「산림생태학, 이경준 외 3명, 향문사」에 제시된 각 수종의 분배비를 적용(분배비율이 제시되지 않은 수종은 평균치 적용)하여 뿌리부분을 포함한 총 임목폐기물 발생량을 산정하고 있다. 이때 바이오매스에 대한 탄소전환계수는 0.5를 적용한다.

$$W(\text{kg}) = K \times 3.14 \times (B/2)^2 \times H \times \text{UW2} \times (1+P) \quad (4)$$

여기서,

W: 지상부의 중량(kg)

K: 수간 형상계수(0.5)

B: 수목의 흉고직경(DBH, m)

H: 수목의 높이(m)

UW2: 수목별 단위체적당 중량(kg/m³)

P: 지엽이 다과에 의한 보합율(0.3)

일본의 경우에는 우리나라의 임목폐기물 배출량 산정식과 유사하게 훼손수목에 의한 이산화탄소 배출량 산정식(5)을 적용하고 있으며, 삼림의 바이오매스 1ton[건중량]당 CO₂ 배출계수는 1.7 ton CO₂/ton를 적용하고 있다(고베시, 2003).

$$w = \sum(\alpha_i \cdot \beta_i \cdot \gamma_i) \quad (5)$$

여기서,

w: 전체의 수목 별채량(ton) [건조 중량]

표 6. 식생 탄소저장량 산정식

항목	항목별 산정식 ¹
식생의 CO ₂ 저장량(A) (kg/주)	$A = \text{교목활엽개체수} \times AT1 + \text{교목침엽개체수} \times AT2 + \text{관목활엽개체수} \times AS1 + \text{관목침엽개체수} \times AS2$ 여기서, $AT1(\text{교목활엽수 저장량}) : Y = 0.2572 \text{ DBH}_{\text{aver.}}^{2.4595}$ $AT2(\text{교목침엽수 저장량}) : Y = 0.3510 \text{ DBH}_{\text{aver.}}^{2.1436}$ $AS1(\text{관목활엽수 저장량}) : Y = 0.1800 \text{ DAG}_{\text{aver.}}^{1.9494}$ $AS2(\text{관목침엽수 저장량}) : Y = 0.1608 \text{ DAG}_{\text{aver.}}^{2.1892}$
시간경과 반영시 식생의 CO ₂ 저장량(A) (kg/주)	$A = \text{교목활엽개체수} \times STBT + \text{교목침엽개체수} \times STCT + \text{관목활엽개체수} \times STBS + \text{관목침엽개체수} \times STCS$ 여기서, $STBT(\text{교목활엽수 저장량}) : 0.2572(\text{DBT}_{\text{aver.}} + 0.67\text{t})^{2.4595}$ $STCT(\text{교목침엽수 저장량}) : 0.3510(\text{DCT}_{\text{aver.}} + 0.64\text{t})^{2.1436}$ $STBS(\text{관목활엽수 저장량}) : \text{MBS}(\text{storage})$ $STCS(\text{관목침엽수 저장량}) : \text{MCS}(\text{storage})$

주) 1. DBH_{aver.} : 평균흉고직경(5-40cm); DAG_{aver.} : 지상부 15cm의 평균근원직경(1-4cm)
 DBT_{aver.} : 전체 활엽교목의 평균주간지름(cm); DCT_{aver.} : 전체 침엽교목의 평균주간지름(cm)
 MBS(storage) : 관목활엽의 CO₂저장량 산정을 위한 승수 = 1.0740
 MCS(storgae) : 관목침엽의 CO₂저장량 산정을 위한 승수 = 1.1952
 자료 : 이관규(2003), 아파트단지의 녹지 지속가능성 지표개발, 서울대학교 대학원 공학박사 학위논문

α_i : 군락 면적(ha)
 β_i : 현존량(ton/ha)[수종 · 나무의 높이층 · 수관조 밀도의 함수, 지상부 건중량]
 γ_i : 뿌리를 포함한 전중량/지상부 중량의 비
 I : 군락(수종별)

이 방법중 임목축적을 이용하는 경우에는 임업통계연보에서 지자체별로 구분되어 있어 환경영향평가와 같은 국지적인 개발사업에 적용하기가 곤란하며, 상대성장식을 이용하는 방법은 대표수종의 선정방법에 대한 명확한 기준이 없고 해당 사업 시행시마다 별도로 조사를 실시하여야 하는 단점이 있으며, 현재 우리나라 환경영향평가의 임목폐기물 배출량 산정식과 일본의 훼손수목에 의한 이산화탄소 발생량 산정식은 수종에 대한 자료가 극히 적어 산정된 바이오매스량의 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

세 번째 방법은 이관규(2003)이 제안한 방법으로 수종을 교목활엽수, 교목침엽수, 관목침엽수, 관목활엽수로 수종을 단순화 시킨후 교목의 경우에는 흉고직경(DBH)을 관목의 경우에는 근원직경(DAG)을 근거로 표 6의 회귀식을 이용하여 산출하는 방법

이다. 이때 수목의 연간 평균 직경생장으로 침엽교목 0.64cm, 활엽교목 0.67cm를 사용하고 있어 수목의 성장이 항상 일정하다고 가정하고 있어 실제 수목의 연령에 따른 성장률을 감안하지 못하는 단점이 있으나, 환경영향평가 등 · 식물상 분야 식생조사시 표본구 조사를 통해 수목의 흉고직경, 수고 등을 파악할 수 있고 수종을 단순화한 회귀식이므로 적용이 간편하므로 이를 본 연구에 적용하였다.

4. 식생에 의한 탄소흡수량 산정방법 선정

식생에 의한 탄소흡수량 산정방법 또한 저장량과 마찬가지로 국내 · 외에 여러 가지로 연구되고 있으나 이를 정량화하여 평가하는 방법은 국가산림지도(임상도)를 이용하는 방법, 현존식생도를 이용하는 방법, 표본구 조사에 의한 방법으로 나눌 수 있다.

첫 번째 국가산림지도(임상도)와 표 7의 영급별 이산화탄소 흡수계수(한국환경정책 · 평가연구원, 2008)를 활용하는 방법으로 대단위 지역에 분포하는 수목에 의한 탄소 흡수량을 가장 간편하고 효율적으로 계산하는 방법이나 탄소 저장량 산정방법과

표 7. 식생유형별 영급별 CO₂ 흡수계수

(단위 : t/ha · 년)

식생유형	영 급				
	I	II	III	IV	V
침엽수림	19.9	21.4	23.3	25.7	26.3
혼효림	18.4	21.0	26.1	27.4	31.2
활엽수림	18.1	21.1	27.5	28.8	26.1

자료: 권영한, 김지영, 이민주(2008), 환경성을 고려한 태양광, 풍력발전소 입지선정 가이드라인, 한국환경정책·평가연구원
 환경부(2010), 기후변화 대응형 저탄소 토지이용계획 수립을 위한 온실가스 환경영향평가제도 활용방안 연구 중간보고서

동일하게 임상도 자체가 교목을 대상으로 영급이 구분되고 도심지의 경우 조사가 이루어지지 않고 있는 단점이 있어 초지 및 농경지 등에 의한 탄소흡수량을 계산하지 못하는 단점이 있다.

두 번째로 현존식생도를 이용하는 방법은 식생유형별 분포면적과 순생산량 산정계수를 이용하여 지역의 순생산량을 계산한 후 松尾芳雄 등(1990)이 제안한 식(6)를 이용하여 이산화탄소 흡수량을 산정하는 방법이다.

$$UCO_2(t/yr) = 1.63 \times Pn(t/ha \cdot yr) \times S(ha) \quad (6)$$

여기서, UCO₂: 연간 CO₂ 흡수량

Pn: 순생산량

S: 분포면적

현존 식생도를 이용하는 방법은 현재 환경성평가에서 사용하고 있는 표 8의 녹지자연도 등급별 순생산량 산정결과를 이용하는 방법과 표 9의 일본의 식생유형별 순생산량 산정계수를 이용하는 방법이 있다.

이 방법의 경우에는 수목 뿐만 아니라 초지, 경작지 등에 의한 탄소흡수량도 고려하여 산정할 수 있는 반면에 녹지자연도 등급 또는 식생유형별 순생산량 산정기준이 우리나라와 다르다는 점이다.

세 번째로 표본구 조사에 의한 방법은 조사대상 지역의 표본구 조사를 통해 수목의 흉고직경, 근원직경, 수도 등을 조사한 후, 이 결과를 사업지역 전체에 적용하여 대상지역의 흉고직경별, 근원직경별 수목량 등을 파악한 후 수종별 이산화탄소 흡수량

표 8. 녹지자연도에 의한 순생산량 산정기준

녹지자연도등급	순생산량(ton/km ² · yr)	
1	시가지 조성지	230
2	경 작 지	920
3	과 수 원	940
4	2차초원(A)	890
5	2차초원(B)	730
6	조 립 지	1,200
7	2차림(A)	570
8	2차림(B)	540
9	자 연 림	840
10	고산자연초원	1,800

자료 : National census of vegetation office of environment, japan, 1976, pp.7~36

표 9. 일본의 식생유형별 순생산량 및 총생산량 산정기준

식생구분	순생산량 (Pn (ton/ha · yr))	총생산량 (Pg(ton/ha · yr))
상록활엽수림	18	51
낙엽활엽수림	12	22
상록침엽수림	18	51
낙엽침엽수림	10	18
초 지*1	12	22
농 경 지*2	10	18
기 타 녹 지*3	6	13

- 주) 1. 죽림, 목초지 등은 초지에 포함,
- 2. 과수원, 묘포, 뽕밭 등은 농경지에 포함,
- 3. 녹지가 많은 주택지, 공원 등을 포함

자료: 독립행정법인 환경재생보전기구(2005), 대기정확화수매뉴얼

산정 회귀식 등에 적용하는 방법으로, 국내에는 표 10과 같이 이관규(2003)가 제안한 연간 이산화탄소 흡수량 회귀식을 이용하는 방법과 박은진(2009)이 제안한 바와 같이 매년 같은 비율로 수목이 성장한다고 가정하고 바이오매스 증가율을 산정한후 CO₂ 흡수율을 산정하는 방법이 있다. 본 연구에서는 식생에 의한 탄소저장량 산정방법과 마찬가지로 이관규(2003)의 방법을 적용하였다.

5. 토양에 의한 탄소저장량 산정방법

국내에서의 토양의 탄소저장량 실측결과를 살펴보면 표 11과 같이 임야에서 51~96 tonC/ha, 임연부 산림지역에서 111.69~128.0 tonC/ha, 신규조성

표 10. 식생에 의한 이산화탄소 흡수량 산정식

항 목	항목별 산정식 ¹
식생의 CO ₂ 흡수량(A) (kg/주/년)	$A = \text{교목활엽개체수} \times \text{BT1} + \text{교목침엽개체수} \times \text{BT2} + \text{관목활엽개체수} \times \text{BS1} + \text{관목침엽개체수} \times \text{BS2}$ 여기서, $\text{BT1}(\text{교목활엽수 CO}_2\text{흡수량}): Y = -4.2136 + 1.9006\text{DBH}_{\text{aver.}} - 0.0068\text{DBH}_{\text{aver.}}^2$ $\text{BT2}(\text{교목침엽수 CO}_2\text{흡수량}): Y = -2.7714 + 0.9714\text{DBH}_{\text{aver.}} - 0.0225\text{DBH}_{\text{aver.}}^2$ $\text{BS1}(\text{관목활엽수 CO}_2\text{흡수량}): Y = 0.0333\text{DAG}_{\text{aver.}}^{1.5823}$ $\text{BS2}(\text{관목침엽수 CO}_2\text{흡수량}): Y = 0.0568\text{DAG}_{\text{aver.}}^{1.3350}$
시간경과 반영시 식생의 CO ₂ 흡수량(A) (kg/주/년)	$A = \text{교목활엽개체수} \times \text{SEBT} + \text{교목침엽개체수} \times \text{SECT} + \text{관목활엽개체수} \times \text{SEBS} + \text{관목침엽개체수} \times \text{SECS}$ 여기서, $\text{SEBT}(\text{교목활엽수 흡수량}): Y = -4.2136 + 1.9006(\text{DBT}_{\text{aver.}} + 0.67t) - 0.0068(\text{DBT}_{\text{aver.}} + 0.67t)^2$ $\text{SECT}(\text{교목침엽수 흡수량}): Y = -2.7714 + 0.9714(\text{DCT}_{\text{aver.}} + 0.67t) - 0.0225(\text{DCT}_{\text{aver.}} + 0.64t)^2$ $\text{SEBS}(\text{관목활엽수 흡수량}): \text{MBS}(\text{sequestration})$ $\text{SECS}(\text{관목침엽수 흡수량}): \text{MCS}(\text{sequestration})$

주) 1. DBH_{aver.} : 평균흉고직경(5-40cm); DAG_{aver.} : 지상부 15cm의 평균근원직경(1-4cm)
 DBT_{aver.} : 전체 활엽교목의 평균주간지름(cm); DCT_{aver.} : 전체 침엽교목의 평균주간지름(cm)
 MBS(sequestration) : 관목활엽의 CO₂ 흡수량 산정을 위한 승수 = 0.1419
 MCS(sequestration) : 관목침엽의 CO₂ 흡수량 산정을 위한 승수 = 0.1930
 자료 : 이관규(2003), 아파트단지의 녹지 지속가능성 지표개발, 서울대학교 대학원 공학박사 학위논문

표 11. 국내 문헌에서 제시한 토양의 탄소저장량

(단위 : tonC/ha)

구 분	신규 조성 녹지	공한지	폐경지	임연부 산림지역	산림벌채후 경작지	임야
원형규외 (2002)	33.5	46.7	56.4	128.0	134.5	-
이규진외 (2005)	-	-	-	165.19 (1m) 111.69 (50cm)	-	-
남궁정 (2008)	-	-	-	119.14 (50cm)	-	-
이관규 (2003)	25.1	-	-	-	-	-
정진현외 (1998)	-	-	-	-	-	51~96

녹지대에서 33.5 tonC/ha, 공한지 46.7 tonC/ha, 폐경지 56.4 tonC/ha, 산림벌채후 경작지 134.5 tonC/ha로 조사자료가 극히 적은 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 토지유형별 토양의 탄소저장량 산정을 위해 토지유형별로 탄소저장량을 산정

표 12. 토지유형별 토양 탄소저장량 원단위

토지유형	토양 탄소저장량 (tonC/ha)
논	60.5
밭	45.9
산림1	67.9
기타2	11.5

주) 1. 낙엽층의 유기물내 탄소까지 포함
 2. 도로, 택지 등 대부분 도시적 용도임
 자료 : 국립산림과학원(2006), 기후변화협약 대응 산림부문 온실가스 통계 체계 구축

한 국립산림과학원(2006)의 원단위를 사용하였다.

6. 탄소 배출량 산정방법

연구대상지역내 탄소 배출량 현황은 환경부에서 2009년 11월 25일 보도자료 중 국내 30평형대 단독주택 1가구당 CO₂배출량인 540.2kg/월을 적용하였다.

보금자리 주택사업 완료후 취사·난방에 의한 탄소 배출량 산정은 토지이용계획과 용적율, 난방용 자료를 이용하여 난방면적을 산정한 후 지식경제부

고시 제2009-29호 “에너지사용계획 수립 및 협의 절차등에 관한규정”의 단위열부하 발생원단위를 이용하여 도시가스 사용량을 산정하였다.

도시가스 사용량에 대한 온실가스 배출량 산정은 (7), (8)식을 이용하였다.

$$\text{순발열량(TJ)} = \text{연료사용량(L, kg, m}^3\text{)} \times \text{해당연료 순발열량(MJ/L, kg, m}^3\text{)} \div 10^6 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &\text{온실가스(CO}_2\text{, CH}_4\text{, N}_2\text{O Kg)} \\ &= \text{순발열량(TJ)} \times \text{배출계수(kg/TJ)} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 도시가스 순발열량은 에너지기본법 시행

규칙 별표1의 에너지열량 환산기준을 적용하고 온실가스 배출계수는 환경부·환경관리공단(2008)을 적용하였다(표 13).

보금자리 주택개발지역내 용도별 단위전력사용

표 13. 도시가스에 의한 온실가스 배출계수

도시가스 순발열량 ¹⁾ (MJ/m ³)	도시가스 배출계수 ²⁾ (kg/TJ)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
40.0	74,100	3	0.6

주) 1. 에너지기본법 시행규칙 별표 1
2. 환경부·환경관리공단(2008), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

표 14. 차종별 온실가스 배출계수

오염물질	차종	구분	배출계수(g/km)
CO ₂	승용차	휘발유	$1177.7 \times V^{-0.5151}$
		택시	$1397.4 \times V^{-0.5475}$
	버스	소형(경유)	$1103.7 \times V^{-0.4130}$
		중형	$0.1251 \times V^2 - 15.385 \times V + 646.05$
		대형	시내버스 < 50 km/h, $28047 \times V^{-0.3105}$ 시내버스의 차종은 대형트럭 배출계수 사용
	트럭	소형(경유)	$1073.8 \times V^{-0.4009}$
		중형	$0.1029 \times V^2 - 14.937 \times V + 798.9$
		대형	$6240.3 \times V^{-0.3829}$
	N ₂ O	승용차	휘발유
택시			$1.8768 \times V^{-1.196}$
버스		소형(경유)	$0.139 \times V^{-0.8121}$
		중형	$0.0522 \times V^{-0.5206}$
		대형	$2.0311 \times V^{-0.5206}$
트럭		소형(경유)	$0.0522 \times V^{-0.5206}$
		중형	$0.0522 \times V^{-0.5206}$
		대형	$2.0311 \times V^{-0.8501}$
CH ₄		승용차	휘발유
	택시		$0.7098 \times V^{-0.8604}$
	버스	소형(경유)	$0.185 \times V^{-1.0453}$
		중형	$0.2221 \times V^{-0.6478}$
		대형	시내버스 < 50km/h, $0.455 \times V^{-0.6839}$ 시내버스의 차종은 대형트럭 배출계수 사용
	트럭	소형(경유)	$0.3796 \times V^{-0.9561}$
		중형	$0.4064 \times V^{-0.6487}$
		대형	$0.402 \times V^{-0.6197}$

자료 : 국립환경과학원(2001), 자동차의 온실가스 배출량 조사

량은 산업자원부(2006)의 조사자료를 이용하여 전력사용량을 산정한후 한국전력공사에서 산정한 1kW당 이산화탄소 발생원단위 (0.424 kg/kW)를 적용하였다.

보급자리주택 건설후 가로 교통량에 의하여 발생하는 탄소배출량 산정은 목표연도의 내부교통량 예측결과와 국립환경과학원(2001)의 차종별 온실가스 배출원단위를 적용하였다(표 14).

III. 연구결과

1. 탄소 흡수 · 저장 · 배출량 현황

연구대상지의 식생도를 살펴보면, 교목침엽수인 리기다소나무가 31,477m²로 가장 많고, 교목 활엽수인 상수리나무-아카시아나무군락이 27,288m², 교목활엽수인 아카시아나무-상수리나무-밤나무군락이 21,725m², 그 외 상수리나무군락과 아카시아나무 군락이 분포하고 있으며 총 수목량은 28,240 주로 나타났다(그림 2).

이들 수목에 의한 탄소 저장과 흡수량을 산정한 결과 각각 1,205.05 tonC, 109.49 tonC/년으로 나

표 15. 연구대상지 내의 탄소 흡수 · 저장 · 배출량 현황

항 목	저장 (tonC)	흡수 (tonC/년)	배출 (tonC/년)	비 고
수 목	1,205.05	109.49	-	
토 양	4,467.14	-	-	
거 주	-	-	47.73	
계	5,672.19	109.49	47.73	

타났으며, 현재의 토지이용에 의한 토양내 탄소저장량은 4,467.14 tonC으로 수목과 토양에 저장되어 있는 탄소량은 총 5,672.19 tonC으로 나타났다. 또한 현재 주거활동을 하고 있는 건축물 27동과 교회1동에 대해 각각 1가구가 거주한다고 가정하여 이들에 의해 배출되는 탄소량을 산정하면 연간 47.73 tonC/년으로, 수목에 의해 흡수되는 탄소량이 배출량보다 많은 것으로 나타났다(표 15).

2. 사업미시행시 탄소 흡수 · 저장 · 배출량 변화

보급자리주택 건설사업 미시행시 장래 탄소 흡수 · 저장 · 배출량 변화는 보급자리 주택 건설시와 비교하기 위하여 예측시점을 보급자리 주택사업 완료후 20년(공사기간 평균 3년 포함시 23년 후)후로



그림 2. 연구대상지역의 식생도

설정하였다. 또한 20년후 토지이용은 현재와 동일하나 수목은 성장한다고 가정하였으며, 연간 수목의 연간 평균 직경 생장율로 침엽교목 0.64cm, 활엽교목 0.67cm(이관규, 2003)를 감안하여 산정한 결과 수목에 의한 이산화탄소 저장 및 흡수량은 6,392.24 tonC, 232.62 tonC/년으로 예측되었다.

따라서 사업미시행시 현재의 토지이용 현황을 유지한다고 가정하면 보금자리 주택 건설 후 20년과 동일시점에서의 사업지구 탄소 저장 및 흡수량은 수목성장에 따라 변화되어 총 탄소 저장량은 현재 5,672.19 tonC에서 10,859.38 tonC으로, 흡수량은 109.49 tonC/년에서 232.62 tonC/년으로 증가할 것으로 예측되었다.

3. 사업 완료 후 탄소 흡수·저장·배출량 변화

보금자리 주택 사업시행시 탄소 흡수·저장·배출원을 살펴보면 원형보전지를 제외하고는 부지정지 및 시설물 공사로 인해 벌채목의 훼손으로 탄소 저장 및 흡수원이 감소되나 공원 및 녹지조성에 의해 신규로 탄소저장 및 흡수원이 생성된다.

본 연구에서는 수목에 의한 탄소 저장 및 흡수량을 고려하기 위하여 사업시행시 원형보전되는 수목의 경우에는 공사 완료 후 20년후(공사시 까지 23년) 까지 지속적인 성장을 한다고 가정하였고, 신규로 식재되는 수목의 경우 공사 완료 후 20년동안 성장하는 것으로 가정하였다.

토양의 경우 통상적인 공사기간 3년을 감안하여 원형보전지 및 신규녹지 조성에 사용되는 토양을 제외하고는 모두 탄소를 방출되고 다시 축적되는 것으로 가정하여 신규 토지이용 계획에 따른 탄소 저장량을 산정하여 현황과 비교하였다.

1) 수목에 의한 탄소 저장·흡수·배출량

공사시 절·성토로 인해 일부 임야부의 수목 훼손이 불가피하며 원형보전 지역을 제외한 훼손지역에서의 훼손 수목량은 아까시나무 등 총 7,553주로 예측되었으며, 이식수목량 110주를 제외한 나머지 훼손수목에 의한 탄소 저장량과 흡수량을 산정한 결과 각각 306.51 tonC, 흡수량 25.21 tonC/년이

수목 벌채로 인하여 대기로 방출될 것으로 예측되었다.

또한 현재 임상이 양호한 지역을 원형보전할 계획에 있으므로 원형보전지역의 수목이 20년(공사기간 감안 23년후)후까지 지속적으로 성장한다고 가정하였을 경우 탄소 저장 및 흡수량을 산정한 결과 각각 4,817.52 tonC, 180.65 tonC/년으로 예측되었다.

사업시행으로 인하여 신규로 조성되는 공원·및 녹지에서의 식재수량은 “조경설계기준, 2007, 국토해양부”에서 제시하고 있는 도시공원 식재밀도기준을 적용한 결과 교목 2,647주, 관목 46,295주로 예측되었으며, 대지 내 조경은 건축법 제42조 및 서울특별시 건축조례에 의거 녹지면적을 산출하고 식재수량은 국토해양부 고시 제2009-905호 “조경기준”을 이용한 결과 교목 6,024주, 관목 31,678주로 나타나 사업지구 전체에 교목 8,671주, 관목 77,973주가 식재될 것으로 예측되었다. 이에 따른 탄소 저장량과 흡수량을 산정하면 각각 740.64 tonC, 55.04 tonC/년으로 나타났다.

2) 토양에서의 탄소저장량

사업 완료 후에는 원형녹지 67,031m²를 포함하여 녹지가 약 158,000m²이 조성되며 나머지는 주택, 시설물, 도로 등이 계획되어 있다. 이에 따른 토양에서의 탄소저장량은 약 1,280 tonC으로 예측되었다(표 16).

3) 사업완료후 탄소배출량 산정

사업완료후 취사·난방에 의해 사용되는 도시가

표 16. 사업시행후 장래 토양내 탄소저장량 산정결과

구분	신규녹지	원형녹지	기타	계
면적 (ha)	9.1	6.7	78.2	94.0
원단위 (tonC/ha)	33.5	67.9	11.5	-
탄소저장량 (tonC)	304.85	74.60	899.30	1,278.75

주) 신규녹지의 탄소저장 원단위는 원형규외(2002)의 측정결과 사용

표 17. 난방 및 취사에 의한 온실가스 배출량

가스수요량 (천Nm ³ /년)	온실가스 배출량(CO ₂ eq ton/년)			
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	총계
12,583	10.57	15.60	28,236.25	28,262.42

표 18. 목표년도의 내부 주요도로 일교통량

(단위 : 대/일)

구분	연장 (km)	승용차	버스		화물차			합계
			소형	대형	소형	중형	대형	
내부도로 1구간	2.124	19,167	1,160	808	1,699	171	-	23,005
내부도로 2구간	0.823	7,046	413	299	619	64	-	8,441

표 19. 내부 교통량에 의한 온실가스 배출량 산정결과

구분	이산화탄소 배출량(CO ₂ eq ton/년)			
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	계
내부도로 1	9.75	258.22	9,324.89	9,592.86
내부도로 2	1.33	35.33	1,278.67	1,315.33
계	11.08	293.55	10,603.56	10,908.19

스 수요량은 총 12,583천Nm³/년으로써 이들에 의해 배출되는 온실가스는 연간 28,262.42 CO₂eq ton(7,707.93 tonC/년)으로 산정되었다(표 17).

또한 전력사용량은 연간 94,629,000kWh/년으로, 이들 전력사용에 따른 탄소 배출량은 10,942.55 tonC/년이 발생될 것으로 예측되었다.

사업으로 인해 유발되는 교통량에 의한 온실가스 배출량은 사업목표년도의 내부교통량 예측자료를 이용하였다(표 18). 예측 일교통량에 의한 온실가스

배출량을 산정한 결과 연간 10,908.19 CO₂ eq ton (2,974.91 tonC/년)으로 나타났다(표 19).

4. 저감방안에 따른 탄소배출량 산정

본 연구대상지 내에 도입되는 신재생에너지는 태양열온수기, 태양광발전, 지열이용 히트펌프 등으로 신재생에너지에 의한 온실가스 저감량을 산정한 결과 260.43 tCO₂/년(71.03 tonC/년)으로 배출량에 비해 극히 적은 것으로 나타났다(표 20).

또한 공사시 절토 작업으로 인하여 표토유실이 예상되므로 임야와 밭의 표토 30cm를 일부 저장하여 조성 녹지대에 재활용 할 수 있다. 이에 재활용되는 비옥토 9,157m³(약 30,500m²)을 현재의 토지 이용 면적과 비례하여 재활용한다고 가정하였을 경우, 보전되는 탄소저장량은 총 179.6 tonC이 될 것으로 예측되었다(표 21).

그리고 본 사업에서는 훼손 수목중 신갈나무, 상수리나무 등 110주를 이식할 계획이므로, 이식수목이 사업완료 20년 경과 후 탄소저장 및 흡수량을 산정하면, 탄소 저장량은 23.14 tonC, 탄소흡수량

표 21. 비옥토 재활용에 의한 탄소저장량 산정결과

구분	전	임야	계	비고
면적 (ha)	1.25	1.80	3.05	
원 단위 (tonC/ha)	45.9	67.9	-	-
탄소저장량 (tonC)	57.38	122.22	179.6	

표 20. 신재생에너지 도입에 의한 온실가스 배출량

구분	태양열에너지		지열이용 히트펌프
	태양열온수기	태양광발전	
시설	공공청사 학교 도서관	공공청사 학교 도서관	공공청사 학교 도서관
도입방안	2,500ℓ : 공공청사(2)×1 2,500ℓ : 도서관×1 5,000ℓ : 학교×2	40kW : 학교×2 30kW : 도서관×1 5kW : 공공청사(2)×1	학교 : 120RT×2 공공청사(2) : 70RT 도서관 : 60RT×1
신재생에너지 효과	18toe/년	168MWh/년(36toe/년)	63toe/년
CO ₂ 배출계수	0.637 tC/TOE	0.424 kg/kW	0.637tC/TOE
CO ₂ 배출량(t CO ₂ /년)	42.06	71.23	147.14
CO ₂ 배출량 총계	260.43 t CO ₂ /년(71.03tonC/년)		

1.19 tonC/년으로 예측되었다.

IV. 고찰 및 결론

탄소저장량 측면에서 보면 사업미시행시 약 10,860 tonC에서 사업시행시 약 6,730 tonC로 4,130 tonC 정도 대폭 감소하는 경향을 나타냈다(표 22). 이러한 경향은 식생보다는 주로 토양에서의 탄소저장량 감소(4,470 tonC → 1,280 tonC)때문인 것으로 보인다. 이는 사업미시행시 토지이용형태가 주로 농경지 및 임야였으나 사업시행시에는 원형녹지(전체 부지면적의 약 7%), 신규녹지(전체 부지면적의 약 10%)외에는 대부분의 부지가 개발되어 토양 내의 탄소저장량이 대폭 감소할 수 밖에 없는 상황이다. 또한 저감대책으로 활용된 비옥토 활용(약 180tC 증가), 수목이식(약 20tC 증가) 등의 수단만으로는 토양 내 탄소저장 감소량(3,190 tonC)을 벌충하기 힘든 것으로 나타났다. 이는 결국 사업시행 후 탄소저장량을 보전하기 위해서는 토양 내 탄소저장량을 최대한 유지할 수 있는 방향으로 토지이용계획을 수립하여야 한다는 것이다.

현재로부터 20년 후 수목에 의한 탄소흡수량 변화를 살펴보면, 사업미시행시 약 230 tonC/년에서 사업시행시 약 210 tonC/년으로 약간 감소하는 것으로 나타났다. 이는 원형보전산림지가 상당부분 감소하였으나, 수목의 벌채로 인해 나타난 탄소배출(약 25 tonC/년)을 신규식재(약 55 tonC/년)로 어느 정도 벌충하였기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 수목이식량은 워낙 소량이어서 이에 따른 탄소흡수량은 극히 적게 나타났다. 또한 원형보전지 약 67,000m²에서의 탄소흡수량이 약 180 tonC/년인 반면에, 신규식재지 약 155,000m²에서의 탄소흡수량이 약 55 tonC/년인 것으로 나타나 단위면적당 탄소흡수효율은 원형보전지가 신규식재지보다 월등한 것으로 나타났다. 이러한 경향은 임야지역에 입지하는 태양광발전소 건설사업 사례(황상일·박선환, 2010)에서도 나타나고 있다. 따라서 신규식재보다는 수목의 성장 가능성을 고려한 기존 산

림의 원형보전지 확대가 탄소흡수를 효율적으로 증가시킬 수 있는 방법이라고 판단된다.

탄소배출량 변화를 살펴보면, 사업미시행시 약 50 tonC/년에서 사업시행시 약 21,600 tonC/년으로 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이는 주로 농경지 및 임야로 이루어진 개발제한구역이 인구가 집중되는 택지개발사업으로 전환되면서 에너지 사용량이 급격히 증가한 영향이라고 할 수 있다. 이러한 급격한 에너지사용량 증가는 신재생에너지 활용(약 70 tonC/년)만으로는 극복할 수 없다고 판단된다.

본 연구의 한계 및 향후 과제로는 1) 식생에 의한 탄소흡수량 산정에 있어 농경지 등 1년생 식물에 의한 탄소흡수량을 고려할 필요가 있으나, 현재 녹지자연도와 일본 식생유형등급상 순생산량 적용원단위의 불확실성 때문에 장래 이를 고려하는 방법론 연구가 필요하며, 2) 본 연구에서는 20년 후의 수목성장을 가정하였는데, 수목종류별 성장률에 대한 연구와 아울러 현황조사시 수목의 수령을 동시에 파악하고 장래 성장가능성에 대한 연구가 필요한 것으로 판단되며, 3) 본 연구에서 활용한 탄소저장·흡수량 산정법을 환경영향평가에 활용할 때, 간편성과 적용성이 우수하여 사업 시행전에 토지이용계획 수립시 복잡한 계산 및 모델링을 거치지 않고 적용할 수 있다는 장점이 있는 반면, 여러 가정조건들로 인해 적용타당성의 확보가 선결될 필요가 있으므로, 향후 산정법에 대한 구체적인 연구가 지속적으로 이루어져야 할 필요가 있다.

이러한 고찰 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 전체적으로 보면 사업시행시 탄소저장량은 대폭 감소하는 반면 배출량은 급격히 증가하는 경향을 보여주었다.

2. 사업시행 후 탄소저장량을 보전하기 위해서는 토양 내 탄소저장량을 최대한 유지할 수 있는 방향으로 토지이용계획을 수립할 필요가 있다. 예를 들면 탄소저장량 확대를 위해 기존 임야와 밭의 표토 활용 뿐 아니라 논 토양도 함께 재활용하는 대안을

표 22. 사업미시행시 시행시 탄소 저장·흡수·배출량 변화

구분	항목	저장(tonC)	흡수(tonC/년)	배출(tonC/년)	비고	
현황	수목	1,205.05	109.49	-		
	토양	4,467.14	-	-		
	거주	-	-	47.73		
	계	5,672.19	109.49	47.73		
사업 미시행시(장래)	수목	6,392.24	232.62	-		
	토양	4,467.14	-	-		
	거주	-	-	47.73		
	총계	10,859.38	232.62	47.73		
사업 완료후(장래)	수목	원형보전	4,817.52	180.65	-	67,031m ²
		신규식재	740.64	55.04	-	154,617m ²
		벌채수목	(-)306.51	(-)25.21	-	
		소계	5,251.65	210.48	-	
	토양		1,278.75	-	-	
	에너지사용	난방 및 취사	-	-	7,707.93	
		전력사용	-	-	10,942.55	
		이동배출원	-	-	2,974.91	
		소계	-	-	21,625.39	
	저감대책	신재생에너지	-	-	(-)71.03	
		수목이식	23.14	1.19	-	
		비옥토활용	179.60	-	-	
		소계	202.74	1.19	(-)71.03	
	총계		6,733.14	211.67	21,554.36	

주) 1. 벌채수목에 의한 탄소 저장 및 흡수량은 사업시행시 대기로의 방출량이며, 저감대책후는 탄소 배출 저감량임
 2. 신규식재면적은 공원·녹지내 순수녹지면적에서 원형보전지를 제외하고 대지내 녹지를 포함한 양임

생각할 수 있다.

3. 탄소흡수 측면에서 보면, 원형보전지를 확대하는 것이 신규 녹지를 확대하는 것보다 효율이 높은 것으로 나타나, 수목의 성장가능성이 큰 원형보전지 확대 전략을 토지이용계획에 반영하는 것이 필요하다.

4. 탄소배출량 자체가 사업시행시 대폭 증가하는 여건이므로, 신재생에너지 도입이외에 근본적으로 전력사용량 및 도시가스 사용량을 줄일 수 있는 전략 수립이 필요하다.

사 사

본 연구는 한국환경정책·평가연구원 기본과제인 “식생과 토양의 역할을 고려한 저탄소 토지이용

계획 수립방안(II)”의 일부로서, 지원해 주신 한국환경정책·평가연구원에 감사드립니다.

참고문헌

국립환경과학원, 2001, 자동차의 온실가스 배출량 조사.
 국토해양부, 2007, 조경설계기준.
 국토해양부, 2008, 국민 주거안정을 위한 도심공급 활성화 및 보금자리 주택 건설방안.
 국토해양부고시 제2009-905호 “조경기준”.
 권영한, 김지영, 이민주, 환경성을 고려한 태양광, 풍력발전소 입지선정 가이드라인, 2008, 한국환경정책·평가연구원, 69.
 남궁정, 최현진, 한아름, 문형태, 월악산 용하계곡

- 굴참나무림의 유기탄소 분포 및 수치, 2008, Korean J. Environ. Biol. 26(3), 170-176.
- 대한주택공사, 2009, 서울강남지구 보금자리주택 환경영향평가서.
- 산업자원부, 2006, 2005년도 에너지 총조사 보고서.
- 이관규, 2003, 아파트단지의 녹지 지속가능성 지표 개발, 서울대학교 대학원 공학박사 학위논문.
- 이경학, 손영모, 서정호, 김래현, 박인협, 손요환, 이영진, 2006, 기후변화협약 대응 산림부문 온실가스 통계체계 구축, 국립산림과학원 연구보고서, 147-148.
- 이규진, 문형태, 상수리나무림이 유기탄소 분포에 관한연구, 2005, 한국생태학회지 28(5), 265-270.
- 원형규, 구교상, 정진현, 이천용, 이윤영, 김춘식, 2002, 산림재해 발생 및 산림내 토지이용변화가 토양탄소 저장량에 미치는 영향, 한국환경생물학회 2002년도 춘계공동학술대회 및 심포지움 초록집, 80.
- 정진현, 김춘식, 이원규, 지역별, 임분별 산림토양내 탄소량 추정, 1998, 산림과학논문집 57, 178-183.
- 조현길, 안태원, 주거지구간 수목피도에 따른 직간접적 CO₂ 흡수의 차이, 1999, 한국환경생태학회지 13(3), 254-260.
- 조현길, 안태원, 도시 칩엽수에 의한 연간 CO₂ 흡수 및 대기정화 -소나무와 잣나무를 대상으로-, 2001, 한국환경생태학회지 15(2), 118-124.
- 환경부, 2010, 기후변화 대응형 저탄소 토지이용계획 수립을 위한 온실가스 환경영향평가제도 활용방안 연구 중간보고서.
- 환경부·환경관리공단, 2008, 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인.
- 환경부, 환경영향평가정보지원시스템(<http://eiass.go.kr>).
- 환경부, 2009, 2009년 11월 25일 보도자료.
- 황상일, 박선환, 2010, 탄소흡수원을 고려한 개발사업 환경영향평가 방안(I) - 태양광발전소 건설사업 사례를 중심으로 -, 환경영향평가 19(6), 625-631.
- 황상일, 박선환, 2011, 탄소흡수원을 고려한 개발사업 환경영향평가 방안(II) - 주택재개발 사업 사례를 중심으로 -, 환경영향평가, 심사중.
- 神戸市 環境局, 2003, 環境影響評価マニュアル -地球温暖化編-.
- 独立行政法人 環境再生保全機構, 2005, 大気浄化植樹マニュアル.
- 松尾芳雄, 三宅博, 青木正敏, 1990, 大気浄化機能からみた農林業的土地利用の存在効果 -東京都における大気汚染ガス吸収量の推定から-, 農業土木学会誌 58(2), 131-137.
- National census of vegetation office of environment, japan, 1976, 7-36. m.

최종원고채택 11. 04. 16