



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0172080
(43) 공개일자 2023년12월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G16C 10/00 (2019.01) G01N 33/24 (2006.01)
G01V 9/00 (2006.01) G16C 20/90 (2019.01)
(52) CPC특허분류
G16C 10/00 (2019.02)
G01N 33/24 (2019.01)
(21) 출원번호 10-2022-0072408
(22) 출원일자 2022년06월14일
심사청구일자 2022년06월14일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
유가영
서울특별시 서초구 서운로 200, 롯데캐슬클래식아파트 115동 101호(서초동, 롯데캐슬클래식아파트)
현준기
경기 용인시 기흥구 서천서로20번길 8-7 202호
김시진
경기도 수원시
(74) 대리인
특허법인 아이퍼스

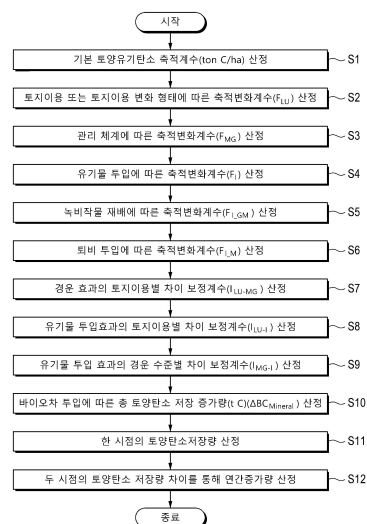
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법, 프로그램 및 산출시스템

(57) 요약

본 발명은 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법, 프로그램 및 산출시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템으로서, 기본 토양유기탄소 기본축적계수(SOC_{REF})를 도출하는 기본축적계수 산출부; 토지이용, 관리체계, 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F)를 산출하는 축적변화계수산출부; 및 기본축적계수와 축적변화계수를 기반으로 한 시점의 토양탄소 저장량(SOC)을 산출하는 토양탄소저장량 산출부;를 포함하고, 두 시점의 상기 토양탄소 저장량 차이를 통해 토양탄소 저장 변화량($\Delta C_{Mineral}$)을 산출하는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템에 관한 것이다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G01V 9/007 (2013.01)

G16C 20/90 (2019.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1395064957
과제번호	PJ015000032022
부처명	농촌진흥청
과제관리(전문)기관명	농촌진흥청
연구사업명	신농업기후변화대응체계구축(R&D)
연구과제명	영농관리에 따른 토양탄소변화 국가고유계수 개발 (3공동)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경희대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템으로서,
 기본 토양유기탄소 기본축적계수(SOC_{REF})를 도출하는 기본축적계수산출부;
 토지이용, 관리체계, 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F)를 산출하는 축적변화계수산출부; 및
 기본축적계수와 축적변화계수를 기반으로 한 시점의 토양탄소 저장량(SOC)을 산출하는 토양탄소저장량 산출부;
 를 포함하고,
 두 시점의 상기 토양탄소 저장량 차이를 통해 토양탄소 저장 변화량($\Delta C_{Mineral}$)을 산출하는 것을 특징으로 하는
 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,
 상기 토양탄소 저장 변화량은,
 하기의 수학적 식 1에 의한 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템:
 [수학적 식 1]

$$\Delta C_{Mineral} = (SOC_0 - SOC_{(0-T)}) \cdot A / T$$

$\Delta C_{Mineral}$ 는 토양에서의 연간 탄소 축적 변화(ton C/year)이고, SOC_0 는 인벤토리 대상연도의 토양 유기탄소 축적(ton C/ha)이며, $SOC_{(0-T)}$ 는 인벤토리 대상기간의 토양 유기탄소 축적(ton C/ha)이고, A는 구획 별 토지 면적(ha)이며, T는 인벤토리 대상기간이다.

청구항 3

제 2항에 있어서,
 상기 토지이용은 토지종류이고, 상기 관리체계는 경운형태이며,
 경운효과 및 유기물 투입효과 중 적어도 어느 하나의 토지종류별 차이에 대한 보정계수와, 유기물 투입효과의 경운 수준별 차이에 대한 보정계수를 산출하는 보정계수산출부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템.

청구항 4

제 3항에 있어서,
 상기 축적변화계수산출부는, 작물의 종류와 잔사 환원여부에 대한 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F_I)와, 녹비작물 재배에 따른 축적변화계수(F_{I_GW})와 퇴비 투입에 따른 축적변화계수(F_{I_M})를 산출하는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 보정계수산출부는,

경운효과의 토지종류별 차이 보정계수와, 유기물 투입효과의 토지종류별 차이보정계수와, 유기물 투입효과의 경운 수준별 차이 보정계수를 산출하는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 한 시점의 토양탄소 저장량(SEC)은 하기 수학적식 2에 의해 산정되는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템:

[수학적식 2]

$$SOC = \sum (SOC_{REF} \cdot F_{LU} \cdot (F_{MG} + I_{LU-MG}) \cdot (F_I \cdot F_{I_GM} \cdot F_{I_M} + I_{LU-I} + I_{MG-I}) + \Delta BC_{Mineral})$$

SOC_{REF} 는 기본 토양유기탄소 축적계수(ton C/ha),

F_{LU} 는 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수,

F_{MG} 는 관리 체계에 따른 축적변화계수,

F_I 는 유기물 투입에 따른 축적변화계수,

F_{I_GM} 는 녹비작물 재배에 따른 축적변화계수,

F_{I_M} 는 퇴비 투입에 따른 축적변화계수,

I_{LU-MG} 는 경운 효과의 토지이용별 차이 보정계수,

I_{LU-I} 는 유기물 투입효과의 토지이용별 차이 보정계수,

I_{MG-I} 는 유기물 투입 효과의 경운 수준별 차이 보정계수,

$\Delta BC_{Mineral}$ 는 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량(t C)이다.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량은, 하기 수학적식 3에 의해 산출되는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템:

[수학적식 3]

$$\Delta BC_{Mineral} = \sum (BC_{TOTp} \cdot F_{Cp} \cdot F_{permp})$$

$\Delta BC_{Mineral}$: 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량(t C)

BC_{TOTp} : 바이오차의 토양 투입량 (t biochar)

F_{Cp} : 바이오차 내 유기탄소 함량 (t C / t biochar)

F_{perm} : 바이오차의 토양 투입 100년 후 탄소 잔존율 (t 잔존C / t C)이다.

청구항 8

제 7항에 있어서,

바이오차 내 유기탄소 함량(F_{cp})은 원료의 종류와 열분해 방법에 의해 결정되고, 토양 투입 후 100년 이상 보존되는 바이오차 탄소의 비율(F_{perm})은 열분해 온도에 의해 결정되는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템.

청구항 9

농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법으로서,

기본 토양유기탄소 기본축적계수(SOC_{REF})를 도출하는 단계;

토지종류, 경운효과, 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F)를 산출하는 단계;

경운효과 및 유기물 투입 효과 중 적어도 어느 하나의 토지종류별 차이에 대한 보정계수와, 유기물 투입효과의 경운 수준별 차이에 대한 보정계수를 산출하는 단계;

기본축적계수와 축적변화계수와 상기 보정계수를 기반으로 한 시점의 토양탄소 저장량(SOC)을 산출하는 단계; 및

두 시점의 상기 토양탄소 저장량 차이를 통해 토양탄소 저장 변화량($\Delta C_{Mineral}$)을 산출하는 단계; 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 토양탄소 저장량(SOC)을 산출하는 단계 전에,

바이오차 투입에 따른 토양탄소 저장 증가량을 산정하는 단계를 더 포함하고,

상기 토양탄소 저장량(SOC)을 산출단계에서 상기 바이오차 투입에 따른 토양탄소 저장 증가량을 반영하는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 축적변화계수(F)를 산출하는 단계는,

토지 종류에 따른 축적변화계수(F_{LU}), 경운효과에 따른 축적변화계수(F_{MG}), 작물의 종류와 잔사 환원여부에 대한 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F_I)와, 녹비작물 재배에 따른 축적변화계수(F_{I_GM})와 퇴비 투입에 따른 축적변화계수(F_{I_M})를 산출하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 보정계수를 산출하는 단계는,

경운효과의 토지종류별 차이 보정계수와, 유기물 투입효과의 토지종류별 차이보정계수와, 유기물 투입효과의 경운 수준별 차이 보정계수를 산출하는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법.

청구항 13

컴퓨터에 의해 판독가능한 프로그램으로서,

제 9항 내지 제 13항 중 어느 한 항에 따른 산출방법을 실행시키는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법, 산출 프로그램 및 산출시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 2018년 기준 우리나라의 온실가스 총 배출량은 727.6Mt-CO₂eq이며, 그중 농업 부문의 배출량은 21.2Mt-CO₂eq로, 전체의 약 2.9%를 차지하고 있다(Ministry of Environment 2020). 이처럼 농업에서 발생하는 온실가스는 전체 배출량에서 차지하는 비중은 적지만, 비 이산화탄소인 메탄과 아산화질소 배출의 기여도가 높게 나타나는 양상을 보인다. 아산화질소는 질산화와 탈질 작용의 부산물로 인한 배출이 주되고, 메탄은 혐기성 토양과 가축분뇨와 장내발효 등이 주된 배출원이다. 세계적으로 온실가스 배출 저감을 위해 다방면으로 노력하는 지금, 농업 부문도 그 예외가 될 수 없고 온실가스 배출 저감을 위해 노력해야 한다. 특히 농업 부문에서의 온실가스 감축은 그 비용이 타 부문 대비 상대적으로 적을 뿐 아니라, 이로 인한 편익이 크기 때문에 온실가스 인벤토리 관리에 있어 중요하다.

[0003] IPCC 2019 개정판 국가 온실가스 인벤토리 작성 지침에 따르면 농업 부문은 배출원으로 되어있다. 지금까지는 간과되어온 부분이나, 여기에 토양탄소 저장을 고려한다면 농업 부문도 일부 흡수원이 될 수 있다. 토양탄소 저장은 농업 부문의 대표적 온실가스 감축 활동이며 토양탄소는 농업 생태계의 건강성 지표이기도 하다(Lal 2004; Abbas et al. 2020). 이러한 토양 내 탄소의 저장량은 유기물의 유입과 분해·유출 사이의 균형에 의해 결정되는데, 이를 증가시키기 위해서는 작물의 잔사, 녹비, 퇴비, 바이오차의 투입을 통해 유기물 유입량을 늘리는 한편 보존경운 등을 도입하여 유기물의 유출·분해를 감소시켜야 한다(Lal 2009; Cotrufo et al. 2015; Liu et al. 2016; Chenu et al. 2019; Gross and Glaser 2021; Ma et al. 2021).

[0004] 농림축산식품부는 제4차 친환경 농업육성 5개년 계획(2016-2020)에서 농업환경개선이 필요한 지역에 개선계획을 수립하고 토양, 용수, 생태 등 농업환경 보전활동을 시행하는 사업인 농업환경보전프로그램 시행체계를 마련하였다(MAFRA 2020a). 동 사업을 통해 온실가스 감축, 농업 환경 보전 등 다양한 성과를 이룰 수 있었으나, 이에 대한 성과관리 체계 및 정량적 평가 방법 확립을 위한 다양한 노력이 필요하다. 특히, 국내에는 농업 부문의 토양탄소 저장과 관련한 자료가 불충분하기 때문에 농업환경보전프로그램 시행에 따른 탄소 저장 증대 효과의 평가 및 관리가 어려운 실정이다. 우리나라의 농업환경 보전 프로그램과 유사한 지원 제도들을 일본, 호주 등에서도 찾아볼 수 있다. 일본은 환경보전형 농업직접지불사업을 통해 보존경운, 녹비작물 재배 등 탄소 저장 증진 영농활동을 수행하는 농가에 대해 인센티브를 지급하고 있다. 각 영농활동의 효과는 프로세스 기반 모델(Roth C)을 통해 평가하고 있으며, 이를 농민들도 쉽게 파악할 수 있도록 웹사이트를 제공하고 있다(Shirato 2020). 호주 역시 토양 탄소 저장량을 증진시킨 농가에게 인센티브를 지급하는 soil carbon project를 운영하고 있는데, 그 효과에 대한 평가는 프로젝트 시작 전·후의 토양 탄소 저장량을 직접 측정, 비교하여 이루어지고 있다(Australian Government 2020). 따라서, 환경보전형 영농활동에 대한 토양 내 탄소 저장 효과를 정량화 할 수 있는 방법론과 이러한 활동을 체계적으로 평가하는 방법 및 산정식의 마련이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 10-1390668
 (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 10-2180305
 (특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 10-1255813
 (특허문헌 0004) 대한민국 등록특허 10-2352273

발명의 내용**해결하려는 과제**

- [0006] 따라서 본 발명은 상기와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 실시예에 따르면, 스프레드시트 형태로 구축되어 사용자가 손쉽게 필지별 영농활동 변화에 따른 토양탄소 저장 변화량을 계산할 수 있고, 본 산출방법을 통해 농업환경보전프로그램 등 농가 지원 업무 담당자 뿐만 아니라 개별 농가의 농민이 기초적 자료를 입력하여 손쉽게 토양 유기탄소 저장량을 산정할 수 있는, 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법, 산출프로그램 및 산출시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0007] 본 발명의 실시예에 따르면, 기존에 농경지에서 수행되었던 영농활동들을 바탕으로 현재의 토양 유기탄소 저장량을 필지 단위로 산정하고, 토양 탄소 저장 증진을 위해 새로운 영농활동들을 도입했을 때 그 효과가 어떠한지 정량적으로 평가할 수 있는, 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법, 산출프로그램 및 산출시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0008] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명의 제1목적은 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템으로서, 기본 토양유기탄소 기본축적계수(SOC_{REF})를 도출하는 기본축적계수산출부; 토지이용, 관리체계, 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F)를 산출하는 축적변화계수산출부; 및 기본축적계수와 축적변화계수를 기반으로 한 시점의 토양탄소 저장량(SOC)을 산출하는 토양탄소저장량 산출부;를 포함하고, 두 시점의 상기 토양탄소 저장량 차이를 통해 토양탄소 저장 변화량($\Delta C_{Mineral}$)을 산출하는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템으로서 달성될 수 있다.
- [0010] 그리고 상기 토양탄소 저장 변화량은, 하기의 수학적 식 2에 의한 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0011] [수학적 식 2]
- [0012]
$$\Delta C_{Mineral} = (SOC_0 - SOC_{(0-T)}) \cdot A / T$$
- [0013] $\Delta C_{Mineral}$ 는 토양에서의 연간 탄소 축적 변화(ton C/year)이고, SOC_0 는 인벤토리 대상연도의 토양 유기탄소 축적(ton C/ha)이며, $SOC_{(0-T)}$ 는 인벤토리 대상기간의 토양 유기탄소 축적(ton C/ha)이고, A는 구획 별 토지 면적(ha)이며, T는 인벤토리 대상기간이다.
- [0014] 그리고 상기 토지이용은 토지종류이고, 상기 관리체계는 경운형태이며, 경운효과 및 유기물 투입효과 중 적어도 어느 하나의 토지종류별 차이에 대한 보정계수와, 유기물 투입효과의 경운 수준별 차이에 대한 보정계수를 산출하는 보정계수산출부를 더 포함하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0015] 또한 상기 축적변화계수산출부는, 작물의 종류와 잔사 환원여부에 대한 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F_I)와, 녹비작물 재배에 따른 축적변화계수(F_{I_GM})와 퇴비 투입에 따른 축적변화계수(F_{I_M})를 산출하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0016] 그리고 상기 보정계수산출부는, 경운효과의 토지종류별 차이 보정계수와, 유기물 투입효과의 토지종류별 차이보

정계수와, 유기물 투입효과의 경운 수준별 차이 보정계수를 산출하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0017] 또한 상기 한 시점의 토양탄소 저장량(SEC)은 하기 수학적식 3에 의해 산정되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0018] [수학적식 3]

[0019]
$$SOC = \sum (SOC_{REF} \cdot F_{LU} \cdot (F_{MG} + I_{LU-MG}) \cdot (F_I \cdot F_{I_GM} \cdot F_{I_M} + I_{LU-I} + I_{MG-I}) + \Delta BC_{Mineral})$$

[0020] SOC_{REF} 는 기본 토양유기탄소 축적계수(ton C/ha),

[0021] F_{LU} 는 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수,

[0022] F_{MG} 는 관리 체계에 따른 축적변화계수,

[0023] F_I 는 유기물 투입에 따른 축적변화계수,

[0024] F_{I_GM} 는 녹비작물 재배에 따른 축적변화계수,

[0025] F_{I_M} 는 퇴비 투입에 따른 축적변화계수,

[0026] I_{LU-MG} 는 경운 효과의 토지이용별 차이 보정계수,

[0027] I_{LU-I} 는 유기물 투입효과의 토지이용별 차이 보정계수,

[0028] I_{MG-I} 는 유기물 투입 효과의 경운 수준별 차이 보정계수,

[0029] $\Delta BC_{Mineral}$ 는 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량(t C)이다.

[0030] 그리고 상기 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량은, 하기 수학적식 4에 의해 산출되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0031] [수학적식 4]

[0032]
$$\Delta BC_{Mineral} = \sum (BC_{TOTp} \cdot F_{Cp} \cdot F_{permp})$$

[0033] $\Delta BC_{Mineral}$: 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량(t C)

[0034] BC_{TOTp} : 바이오차의 토양 투입량 (t biochar)

[0035] F_{Cp} : 바이오차 내 유기탄소 함량 (t C / t biochar)

[0036] F_{permp} : 바이오차의 토양 투입 100년 후 탄소 잔존율 (t 잔존C / t C)이다.

[0037] 그리고 바이오차 내 유기탄소 함량(F_{Cp})은 원료의 종류와 열분해 방법에 의해 결정되고, 토양 투입 후 100년 이상 보존되는 바이오차 탄소의 비율(F_{permp})은 열분해 온도에 의해 결정되는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0038] 본 발명의 제2목적은 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법으로서, 기본 토양유기탄소 기본축적계수(SOC_{REF})를 도출하는 단계; 토지종류, 경운효과, 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F)를 산출하는 단계; 경운효과 및 유기물 투입 효과 중 적어도 어느 하나의 토지종류별 차이에 대한 보정계수와, 유기물 투입효과의 경운 수준별 차이에 대한 보정계수를 산출하는 단계; 기본축적계수와 축적변화계수와 상기 보정계수를 기반으로 한 시점의 토양탄소 저장량(SOC)을 산출하는 단계; 및 두 시점의 상기 토양탄소 저장량 차이를 통해 토양탄소 저장 변화량($\Delta C_{Mineral}$)을 산출하는 단계;것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법으로서 달성될 수 있다.

[0039] 그리고 상기 토양탄소 저장량(SOC)을 산출하는 단계 전에, 바이오차 투입에 따른 토양탄소 저장 증가량을 산정하는 단계를 더 포함하고, 상기 토양탄소 저장량(SOC)을 산출단계에서 상기 바이오차 투입에 따른 토양탄소 저장 증가량을 반영하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0040] 또한 상기 축적변화계수(F)를 산출하는 단계는, 토지 종류에 따른 축적변화계수(F_{LU}), 경운효과에 따른 축적변화계수(F_{MG}), 작물의 종류와 잔사 환원여부에 대한 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F_I)와, 녹비작물 재배에 따른

축적변화계수(FI_{GM})와 퇴비 투입에 따른 축적변화계수(FI_M)를 산출하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0041] 그리고 상기 보정계수를 산출하는 단계는, 경운효과의 토지종류별 차이 보정계수와, 유기물 투입효과의 토지종류별 차이보정계수와, 유기물 토입효과의 경운 수준별 차이 보정계수를 산출하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0042] 본 발명의 제3목적은, 컴퓨터에 의해 관독가능한 프로그램으로서, 앞서 언급한 제2목적에 따른 산출방법을 실행시키는 것을 특징으로 하는 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출프로그램으로서 달성될 수 있다.

발명의 효과

[0043] 본 발명의 실시예에 따른 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법, 산출프로그램 및 산출시스템에 따르면, 스프레드시트 형태로 구축되어 사용자가 손쉽게 필지별 영농활동 변화에 따른 토양탄소 저장 변화량을 계산할 수 있고, 본 산출방법을 통해 농업환경보전프로그램 등 농가 지원 업무 담당자 뿐만 아니라 개별 농가의 농민이 기초적 자료를 입력하여 손쉽게 토양 유기탄소 저장량을 산정할 수 있는 효과를 갖는다.

[0044] 본 발명의 실시예농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법, 산출프로그램 및 산출시스템에 따르면, 기존에 농경지에서 수행되었던 영농활동들을 바탕으로 현재의 토양 유기탄소 저장량을 필지 단위로 산정하고, 토양 탄소 저장 증진을 위해 새로운 영농활동들을 도입했을 때 그 효과가 어떠한지 정량적으로 평가할 수 있는 효과를 갖는다.

[0045] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0046] 본 명세서에 첨부되는 다음의 도면들은 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 것이며, 발명의 상세한 설명과 함께 본 발명의 기술적 사상을 더욱 이해시키는 역할을 하는 것이므로, 본 발명은 그러한 도면에 기재된 사항에만 한정되어 해석 되어서는 아니 된다.

도 1은 본 발명의 실시예에 따른 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출 계산기 화면,

도 2는 IPCC의 Tier 1 방법론에 따른 축적변화계수 표,

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법의 흐름도,

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 축적변화계수, 차이 보정계수 표,

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 바이오차 생산타입 p의 유기탄소함량(F_{cp}) 표,

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 바이오차 생산타입 p의 토양 투입 100년후 잔존율(F_{permp}) 표를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0047] 이상의 본 발명의 목적들, 다른 목적들, 특징들 및 이점들은 첨부된 도면과 관련된 이하의 바람직한 실시예들을 통해서 쉽게 이해될 것이다. 그러나 본 발명은 여기서 설명되는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예들은 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 통상의 기술자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

[0048] 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소 상에 있다고 언급되는 경우에 그것은 다른 구성요소 상에 직접 형성될 수 있거나 또는 그들 사이에 제 3의 구성요소가 개재될 수도 있다는 것을 의미한다. 또한 도면들에 있어서, 구성요소들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다.

[0049] 본 명세서에서 기술하는 실시예들은 본 발명의 이상적인 예시도인 단면도 및/또는 평면도들을 참고하여 설명될 것이다. 도면들에 있어서, 막 및 영역들의 두께는 기술적 내용의 효과적인 설명을 위해 과장된 것이다. 따라서 제조 기술 및/또는 허용 오차 등에 의해 예시도의 형태가 변형될 수 있다. 따라서 본 발명의 실시예들은 도시된 특정 형태로 제한되는 것이 아니라 제조 공정에 따라 생성되는 형태의 변화도 포함하는 것이다. 예를 들면, 직각으로 도시된 영역은 라운드지거나 소정 곡률을 가지는 형태일 수 있다. 따라서 도면에서 예시된 영역들은 속성을 가지며, 도면에서 예시된 영역들의 모양은 소자의 영역의 특정 형태를 예시하기 위한 것이며 발명의 범주를 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서의 다양한 실시예들에서 제1, 제2 등의 용어가 다양한 구성요소들을

기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 구성요소들이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 구성요소를 다른 구성요소와 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 여기에 설명되고 예시되는 실시예들은 그것의 상보적인 실시예들도 포함한다.

- [0050] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 '포함한다(comprises)' 및/또는 '포함하는(comprising)'은 언급된 구성요소는 하나 이상의 다른 구성요소의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0051] 아래의 특정 실시예들을 기술하는데 있어서, 여러 가지의 특정적인 내용들은 발명을 더 구체적으로 설명하고 이해를 돕기 위해 작성되었다. 하지만 본 발명을 이해할 수 있을 정도로 이 분야의 지식을 갖고 있는 독자는 이러한 여러 가지의 특정적인 내용들이 없어도 사용될 수 있다는 것을 인지할 수 있다. 어떤 경우에는, 발명을 기술하는 데 있어서 흔히 알려졌으면서 발명과 크게 관련 없는 부분들은 본 발명을 설명하는데 있어 별 이유 없이 혼돈이 오는 것을 막기 위해 기술하지 않음을 미리 언급해 둔다.
- [0053] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법, 프로그램 및 산출시스템에 대해 설명하도록 한다.
- [0054] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출 계산기 화면을 도시한 것이다.
- [0055] 본 발명의 실시예에 따른 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출시스템은, 기본 토양유기탄소 기본축적계수(SOC_{REF})를 도출하는 기본축적계수산출부와, 토지이용, 관리체계, 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F)를 산출하는 축적변화계수산출부와, 기본축적계수와 축적변화계수를 기반으로 한 시점의 토양탄소 저장량(SOC)을 산출하는 토양탄소저장량 산출부를 포함하고, 두 시점의 상기 토양탄소 저장량 차이를 통해 토양탄소 저장 변화량($\Delta C_{Mineral}$)을 산출하게 된다.
- [0056] 본 발명의 실시예에서는 농경지의 토양 탄소 저장 변화량을 산정하기 위한 방법으로서, 가장 보편적으로 활용되고 있는 IPCC 가이드라인의 산정식과 축적변화계수를 기본으로 하되 최신 연구에 대한 문헌조사 결과와 국내 실정을 반영하여 개선하였다.
- [0057] 먼저, 도 2는 IPCC의 Tier 1 방법론에 따른 축적변화계수 표를 도시한 것이다. 그리고 수학적 1은 IPCC의 Tier 1 방법론에 따른 한 시점의 토양탄소 저장량을 산정하기 위한 식이다.
- [0058] [수학적 1]
- [0059]
$$SOC = \Sigma (SOC_{REF} \cdot F_{LU} \cdot F_{MG} \cdot F_I)$$
- [0060] SOC_{REF} : 기본 토양유기탄소 축적계수(ton C/ha)
- [0061] F_{LU} : 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수
- [0062] F_{MG} : 관리 체계에 따른 축적변화계수
- [0063] F_I : 유기물 시용에 따른 축적변화계수
- [0064] 수학적 1에 나타난 바와 같이, 기후대 별 토양탄소 저장 기본계수인 SOC_{REF} 에 토지 이용(F_{LU}), 관리 체계(경운 수준)(F_{MG}), 유기물 시용에 따른 축적계수(F_I)를 곱하여 산정함을 알 수 있다. 도 2에서는 IPCC에서 제시하고 있는 수학적 1의 세 가지 토양 탄소 축적 변화계수 중 우리나라의 기후대에 해당하는 값이다.
- [0065] 또한 본 발명의 실시예에 따른 토양탄소 저장 변화량은, 하기의 수학적 2에 의해 산출되게 된다.
- [0066] [수학적 2]
- [0067]
$$\Delta C_{Mineral} = (SOC_0 - SOC_{(0-T)}) \cdot A / T$$
- [0068] $\Delta C_{Mineral}$ 는 토양에서의 연간 탄소 축적 변화(ton C/year)이고, SOC_0 는 인벤토리 대상연도의 토양 유기탄소 축적(ton C/ha)이며, $SOC_{(0-T)}$ 는 인벤토리 대상기간의 토양 유기탄소 축적(ton C/ha)이고, A는 구획 별 토지 면적

(ha)이며, T는 인벤토리 대상기간이다.

- [0069] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법의 흐름도를 도시한 것이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 농경지 토양탄소 저장 변화량 산출방법은, 먼저, 기본 토양유기탄소 축적계수(SOC_{REF})(ton C/ha) 산정하게 된다(S1).
- [0070] 그리고 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수(F_{LU}), 관리 체계에 따른 축적변화계수(F_{MG}), 유기물 투입에 따른 축적변화계수(F_I), 녹비작물 재배에 따른 축적변화계수(F_{I_GM}) 산정, 퇴비 투입에 따른 축적변화계수(F_{I_M})를 산정하게 된다(S2, S3, S4, S5, S6).
- [0071] 그리고 경운 효과의 토지이용별 차이 보정계수(I_{LU-MG}), 유기물 투입효과의 토지이용별 차이 보정계수(I_{LU-I}), 유기물 투입 효과의 경운 수준별 차이 보정계수(I_{MG-I})를 산정하게 된다(S7, S8, S9)
- [0072] 그리고 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량(t C)($\Delta BC_{Mineral}$) 산정하여(S10), 한 시점의 토양탄소 저장량(SOC)을 산정하게 된다(S11). 그리고 두 시점의 토양탄소 저장량 차이를 통해 연간증가량 산정하게 된다(S12).
- [0073] 구체적으로 본 발명의 실시예에 따른 한 시점의 토양탄소 저장량(SOC)은 이하의 수학적 식 3으로 계산되어 질 수 있다.
- [0074] [수학적 식 3]
- [0075]
$$SOC = \Sigma(SOC_{REF} \cdot F_{LU} \cdot (F_{MG} + I_{LU-MG}) \cdot (F_I \cdot F_{I_GM} \cdot F_{I_M} + I_{LU-I} + I_{MG-I}) + \Delta BC_{Mineral})$$
- [0076] SOC_{REF} 는 기본 토양유기탄소 축적계수(ton C/ha),
- [0077] F_{LU} 는 토지이용 또는 토지이용 변화 형태에 따른 축적변화계수,
- [0078] F_{MG} 는 관리 체계에 따른 축적변화계수,
- [0079] F_I 는 유기물 투입에 따른 축적변화계수,
- [0080] F_{I_GM} 는 녹비작물 재배에 따른 축적변화계수,
- [0081] F_{I_M} 는 퇴비 투입에 따른 축적변화계수,
- [0082] I_{LU-MG} 는 경운 효과의 토지이용별 차이 보정계수,
- [0083] I_{LU-I} 는 유기물 투입효과의 토지이용별 차이 보정계수,
- [0084] I_{MG-I} 는 유기물 투입 효과의 경운 수준별 차이 보정계수,
- [0085] $\Delta BC_{Mineral}$ 는 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량(t C)이다.
- [0087] 이러한 수학적 식 3은 IPCC Tier1 방법인 수학적 식 1을 토대로 하되 다음 세 가지 한계를 극복하기 위해 새롭게 제안한 것이다. 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 축적변화계수, 차이 보정계수 표를 나타낸 것이다.
- [0088] 먼저, 종래 IPCC Tier1 방법은 논의 토양탄소 저장량을 산정할 때 경운 수준과 유기물 투입 수준에 따른 차이를 반영하고 있지 않다. IPCC에서는 토지이용을 과수(영년생), 논, 밭으로 구분하고 있다. 다만, 이 방법에서는 논의 토양탄소 축적변화계수를 1.35라는 높은 수치로 일괄 적용하고 토양탄소 저장 증진을 가져올 수 있는 영농활동은 추가로 고려하지 않았다. 따라서 논에 적용되는 무경운, 녹비작물 재배 등 다양한 영농활동의 탄소 저장 효과가 반영되지 않는다는 한계가 있다.
- [0089] 이는 논농사 비중이 52.5%로 큰 국내 실정(Statistic Korea 2020)에 맞지 않으므로 본 발명의 실시예에서는 경운과 유기물 투입에 따른 논 토양의 탄소 저장을 구체적으로 산정해야 한다고 판단하였고, 논 토양에 대하여 세부적인 산정 방법론과 순서도를 수립하였다.

- [0090] 논에 대한 토양탄소 축적변화계수(F_{LU})의 경우 보고된 국내 고유 값이 없기 때문에 도 4에 도시된 바와 같이, 지리적으로 인접해 있고 유사한 기후대를 가지는 중국 동부 지역의 사례를 참고하여 1.21로 보았다.
- [0092] 또한 종래 IPCC Tier1 방법은 작물의 종류, 작물잔사의 환원, 녹비작물 재배, 퇴비 투입에 따른 유기물 투입량 차이를 F_I 하나의 계수로 포괄하여 반영하고 있기 때문에 국내에서 실제 이루어지고 있는 영농활동 별 탄소 저장 증진 효과를 평가하기에 용이하지 않다.
- [0093] 이에 본 발명의 실시예에서는 유기물 투입에 따른 토양탄소 축적 변화계수(F_I)를 작물의 종류와 잔사 환원 여부로만 한정하고, 녹비작물 재배 및 퇴비 투입에 대한 계수를 도입하여 수학적 3을 개선하였다.
- [0094] 녹비작물 식재의 경우 국내 녹비 작물 재배에 따른 토양 유기탄소 변화량에 관련된 연구들을 조사하였으나(Cho et al. 2012; Kim et al. 2018), 연구 기간이 짧고 표토층에 한정되어 그 신뢰도가 낮다. 그러므로 본 발명의 실시예에서는 잠정적으로 녹비작물 식재에 따른 토양탄소 축적변화계수는 IPCC Tier 1 높은 수준의 유기물 투입 계수인 1.11을 적용하고, 현재 국립농업과학원에서 진행 중인 “영농관리에 따른 토양탄소 변화 국가 고유 계수 개발” 연구과제에서 국가 고유 계수가 개발되면 이를 수정 반영하고자 한다.
- [0095] 퇴비 시용의 경우 IPCC Tier 1 방법론을 따르되, F_I 와의 분리를 위해 High with manure 계수(1.44)에서 High without manure 계수(1.11)를 나눈 값인 1.30을 퇴비 시용에 의한 계수로 사용하였다.
- [0097] 그리고 종래 IPCC Tier1 방법은 영농활동 간의 상호작용에 따른 시너지 효과 또는 역시너지 효과가 고려되지 않았다. 농경지에서는 작물 잔사 환원과 녹비 재배, 퇴비 투입, 무경운 도입 등 여러 가지 영농활동을 동시에 적용하는 경우가 일반적이다. 하지만, IPCC Tier 1 방법론에서는 영농활동을 동시에 적용했을 때 각 활동 간의 시너지 효과 또는 역시너지 효과를 고려하고 있지 않다.
- [0098] 이는 영농활동의 토양 탄소 저장 효과를 실험적으로 평가한 연구들이 대부분 단일 영농활동의 차이를 비교하는 방식으로 진행되었기 때문이며(예. 경운vs무경운 처리구의 비교), 복수의 영농활동을 동시에 사용하였을 때의 영향은 일부 활동들의 조합에 대해서만 일부 보고된 바 있다.
- [0099] 본 발명의 실시예에서 경운 효과의 토지이용별 차이 보정계수(I_{LU-MG})의 경우 탄소축적계수(F_{MG})는 관행 경운을 기준($F_{MG}=1.00$)으로 하여 부분경운과 무경운에 대한 계수가 설정되어 있으며, 이는 토지이용에 관계없이 동일한 값을 적용한다. 허나 국내 연구들을 비교 검토한 결과(Ro HM 2013; Lee BM 2014; Kim MT 2016; Kim SJ 2018), 논에 무경운을 도입하였을 때 탄소 저장 증진 효과가 밭에서보다 20% 높은 것으로 나타났기 때문에 논-무경운에 대한 I_{LU-MG} 값 0.2를 제안한다.
- [0100] [I_{LU-I}/I_{MG-I}]는 40개 문헌, 181개 실험 결과를 종합 검토하여(Shelby C. McClelland et al(2020)) 녹비 작물 재배의 효과를 분석하였다. 그 결과 녹비 작물 재배에 따른 토양탄소 저장량 증가 효과는 작부체계와 경운 수준에 따라 다르게 나타났다. 녹비 작물 재배로 인한 토양탄소 저장 증진 효과는 평균 12.75%였다. 하지만 녹비작물 재배를 일년생 작물 재배지에 도입한 경우 탄소 저장 증진 효과가 9.98%에 그쳤으며, 다년생 작물 재배지에 도입한 경우 34.99%로 증가하였다. 녹비 작물 재배를 경운, 보존 경운과 동시 수행하였을 경우 저장 증진 효과가 9.42%로 감소하였고, 반대로 무경운과 동시에 수행하였을 경우 그 효과가 16.2%로 증가하였다. 따라서 녹비 작물 재배-경운, 녹비 작물 재배-토지 이용에 대한 I_{LU-I} , I_{MG-I} 값을 도 4와 같이 제안하였다.
- [0102] 또한 수학적 3에서 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량은, 하기 수학적 4에 의해 산출될 수 있다.
- [0103] $\Delta BC_{Mineral} = \Sigma (BC_{TOTp} \cdot F_{Cp} \cdot F_{permp})$
- [0104] $\Delta BC_{Mineral}$: 바이오차 투입에 따른 총 토양탄소 저장 증가량(t C)
- [0105] BC_{TOTp} : 바이오차 생산 타입 p의 토양 투입량 (t biochar)

- [0106] F_{cp} : 바이오차 생산 타입 p의 유기탄소 함량 ($t\ C / t\ \text{biochar}$)
- [0107] F_{permp} : 바이오차 생산 타입 p의 토양 투입 100년 후 잔존율 ($t\ \text{잔존C} / t\ C$)
- [0108] 바이오차 투입에 따른 토양탄소 저장 증가량은 수식 4에 따라 산정할 수 있다.
- [0109] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 바이오차 생산타입 p의 유기탄소함량(F_{cp}) 표를 나타낸 것이고, 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 바이오차 생산타입 p의 토양 투입 100년후 잔존율(F_{permp}) 표를 도시한 것이다.
- [0110] 이 때 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이, 바이오차 내 유기탄소 함량(F_{cp})는 원료의 종류와 열분해 방법에 의해 결정되고, 토양 투입 후 100년 이상 보존되는 바이오차 탄소의 비율(F_{permp})은 열분해 온도에 의해 결정된다. 바이오차의 원료, 열분해 방법, 열분해 온도가 같은 바이오차는 동일한 생산 타입(production type, p)으로 분류될 수 있다.
- [0112] 또한, 상기와 같이 설명된 장치 및 방법은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

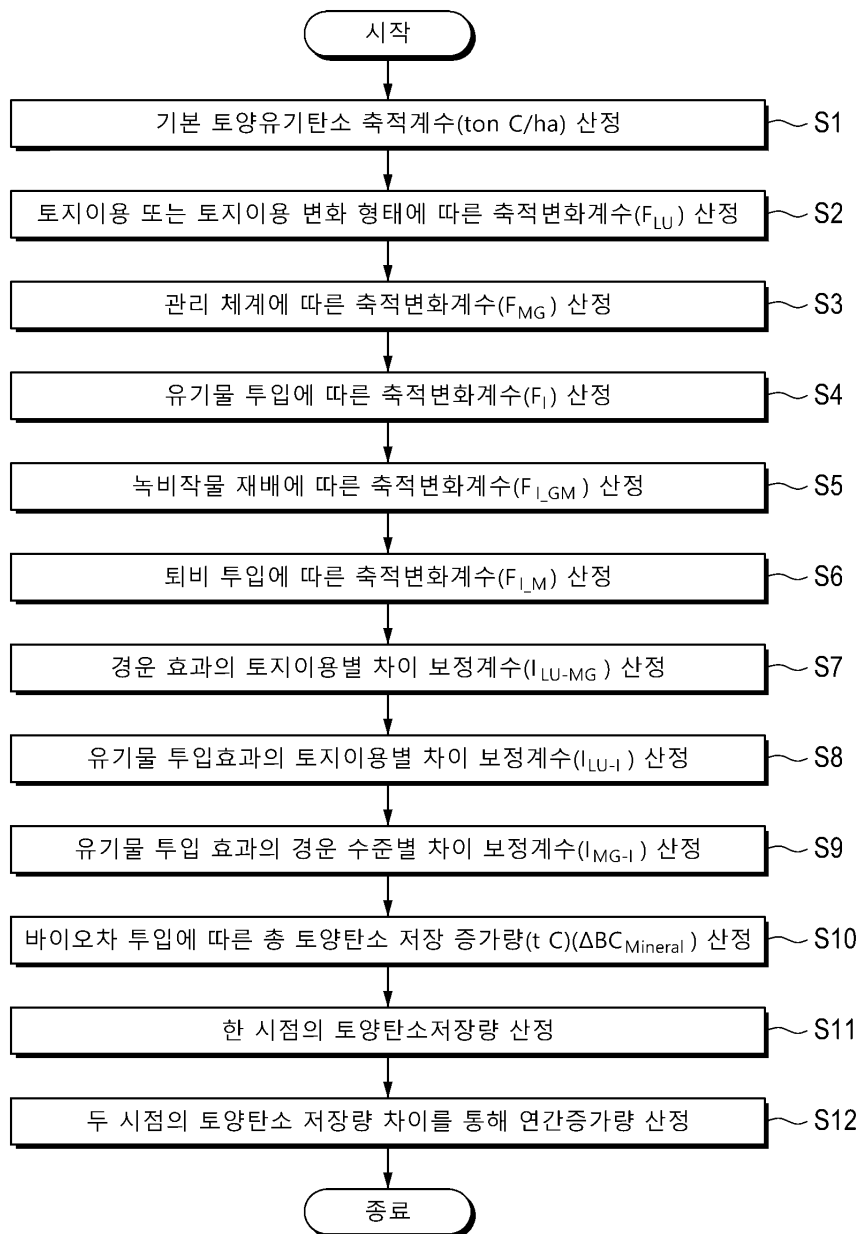
[illegible]

도면2

Relative carbon stock change factors (F_{LU} , F_{MG} , and F_i) (over 20 years) for management activities on cropland (IPCC 2019a)

Factor value type	Level	Temperature regime	Moisture regime	IPCC defaults
Land use (F_{LU})	Long-term cultivated	Warm Temperate	Dry	0.76
			Moist	0.69
	Paddy rice	All	Dry and Moist/ Wet	1.35
Tillage (F_{MG})	Perennial/ Tree Crop	Temperate/ Boreal	Dry and Moist	0.72
	Full	All	Dry and Moist/ Wet	1.00
	Reduced	Warm Temperate	Dry	0.99
			Moist	1.05
Input (F_i)	No-till	Warm Temperate	Dry	1.04
			Moist	1.10
	Low	Temperate/ Boreal	Dry	0.95
			Moist	0.92
Input (F_i)	Medium	All	Moist/Wet	0.92
			Dry and Moist/ Wet	1.00
	High without manure	Temperate/ Boreal and Tropical	Dry	1.04
			Moist/Wet	1.11
Input (F_i)	High with manure	Temperate/ Boreal and Tropical	Dry	1.37
			Moist/Wet	1.44

도면3



도면4

Relative carbon stock change factors for management activities on cropland applied in this study

Management activities on cropland			Factors
Land use (F_{LU})		Rice paddy	1.21
		Crop field	1.00
		Perennial / Tree crop	1.00
Tillage(F_{MG})		Conventional tillage	1.00
		Conservation tillage	1.05
		No tillage	1.10
Organic matter input(F_i)	Crop residue	Degraded	0.95
		Nominally managed	1.00
Green manure ($F_{I,GM}$)			1.11
Compost application($F_{I,M}$)			1.30
I_{LU-MG}	No tillage	Rice paddy	0.20
		Crop field	0
I_{LU-I}	Green manure	Rice paddy / Crop field	-0.03
		Perennial / Tree crop	0.22
I_{MG-I}	Green manure	conventional / conservation tillage	-0.03
		No tillage	0.03

도면5

Values for organic C content factor of biochar by production type (F_{cp})

Pyrolysis Production Process	Feedstock	Values for F_{cp}
Pyrolysis	Animal manure	$0.38 \pm 49\%$
	Wood	$0.77 \pm 42\%$
	Herbaceous (grasses, forbs, leaves)	$0.65 \pm 45\%$
	Rice husks and rice straw	$0.49 \pm 41\%$
	Nut shells, pits, and stones	$0.74 \pm 39\%$
	Biosolids (paper sludge, sewage sludge)	$0.35 \pm 40\%$
Gasification	Animal manure	$0.09 \pm 53\%$
	Wood	$0.52 \pm 52\%$
	Herbaceous	$0.28 \pm 50\%$
	Rice husks and rice straw	$0.13 \pm 50\%$
	Nut shells, pits, and stones	$0.40 \pm 52\%$
	Biosolids (paper sludge, sewage sludge)	$0.07 \pm 50\%$

도면6

Values for F_{permp} (Fraction of biochar C remaining after 100 years)

Production	Value for F_{permp}
High temperature pyrolysis and gasification (> 600°C)	$0.89 \pm 13\%$
Medium temperature pyrolysis (450~600°C)	$0.80 \pm 11\%$
Low (350~450°C)	$0.65 \pm 15\%$