(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0028556
(43) 공개일자 2013년03월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G09B 23/00 (2006.01) *G09B 19/00* (2006.01)
G09B 25/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0092194
(22) 출원일자 2011년09월09일
심사청구일자 2011년09월09일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
손요환
서울특별시 노원구 중계1동 벽산3차아파트 101동 507호
정혜근
서울특별시 강남구 남부순환로375길 6, 벨라빌 701 (도곡동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
한양특허법인

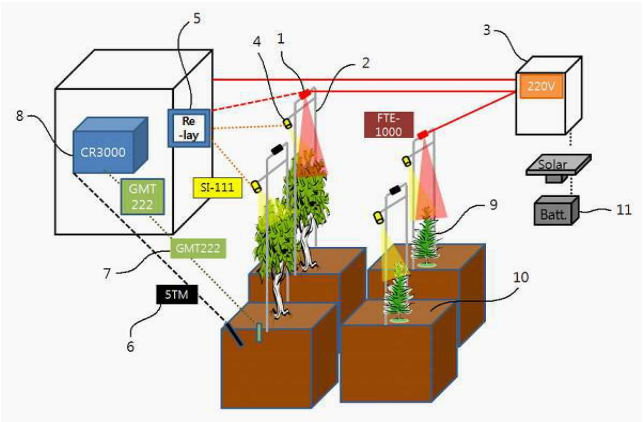
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 **실외 실험적 온난화 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 실외 실험적 온난화 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로 가열 모듈; 컨트롤 모듈; 및 모니터링 모듈을 포함하는 실외 실험적 온난화 시스템을 제공함으로써, 실외에서 온난화 시스템에 의한 생태계의 변화 반응을 연속적으로 모니터링 할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

조우용

경상북도 경산시 압량면 의송길 94-3

노남진

서울특별시 관악구 미성길 57-5 (신림동)

한새롬

서울특별시 관악구 행운7길 8-9 (봉천동)

이선정

충청북도 청주시 상당구 율봉로201번길 50, 101동 606호 (율량동, 삼정아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	S111111L03010
부처명	산림청
연구사업명	산림과학기술개발사업
연구과제명	인위적 온난화 처리를 통한 산림의 영향분석 및 기후변화 대응 적응대책 연구
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2011.03.21 ~ 2012.03.20이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	20110018052
부처명	한국연구재단
연구사업명	중견연구자지원사업
연구과제명	지구 온난화가 산림 생태계의 탄소 순환에 끼치는 영향에 관한 open-field 실험에서의 연구
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2010.05.01 ~ 2013.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

가열 모듈;

상기 가열 모듈을 지지하는 지지대;

상기 가열 모듈에 연결된 전원 장치;

온도 측정부 및 상기 전원 장치의 전원 공급을 조절하는 온도 조절부를 포함하는 컨트롤 모듈; 및

토양 관측 센서 및 상기 토양 관측 센서에 의하여 측정된 데이터를 기록하고 온도 측정부에 의하여 측정된 기온 데이터를 기록하는 데이터 로거를 포함하는 모니터링 모듈을 포함하는 실외 실험적 온난화 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 가열 모듈은 적외선 램프인 것을 특징으로 하는 실외 실험적 온난화 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 지지대는 높이 조절 장치을 포함하는 것을 특징으로 하는 실외 실험적 온난화 시스템.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 토양 관측 센서는 토양 온도 센서, 토양 호흡 센서 및 토양 수분 센서로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 실외 실험적 온난화 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 전원 장치는 보조 전원 장치로 집열부 및 축열부를 포함하는 태양열 발전을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 실외 실험적 온난화 시스템.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 실외 실험적 온난화 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 실외에서 기후변화에 의한 온난화와 유사한 환경을 조성하여 온난화 시스템에 의한 영향을 실험적으로 확인할 수 있는 실외 실험적 온난화 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 기후변화 정부간 위원회(IPCC)의 보고에 의하면 지구의 온도는 지난 수십년 간 0.6℃ 상승하였으며, 2100년 까지 온도가 더욱 상승할 것으로 예측되고 있다. 기온 상승은 육상생태계의 식물 종 분포, 생장 등에 영향을 미칠 것으로 예상되며, 이를 통해 국지적, 전 지구적 탄소 순환 등에도 영향을 줄 것으로 예측된다. 따라서 지구온난화에 의한 생태계의 반응 연구는 매우 중요하다.

[0003] 온난화에 의한 생태계 변화 등을 관찰하기 위한 실험적인 방법에 관해서, 대한민국 공개특허 제2011-0009496호에서는 온실 내에서 환풍기를 통해서 열풍을 이동시켜 온도 구배에 따른 영향을 비교할 수 있는 온난화 환경 조성을 위한 시스템을 개시하고 있지만, 실내 환경의 경우 기온, 강수 등 실제 생태계와 동일한 환경을 조성하는 것이 어려운 단점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제2011-0009496호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위하여 창안된 것으로, 본 발명의 목적은 지구 온난화에 의한 생태계의 영향을 분석하고 예측하기 위하여 식물, 토양 등 생태계에 대하여 실제 온난화 현상과 유사한 환경을 제공하기 위한 실외 실험적 온난화 시스템을 제공하는데 있다.

[0006] 또한, 본 발명의 다른 목적은 기온 상승에 의한 제반 환경 요인으로 기온, 토양 수분, 토양 온도 및 토양 호흡의 변화를 관찰하여 지구 온난화가 생태계에 미치는 영향을 예측할 수 있는 실외 실험적 온난화 시스템을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은 가열 모듈; 상기 가열 모듈을 지지하는 지지대; 상기 가열 모듈에 연결된 전원 장치; 온도 측정부 및 상기 전원 장치의 전원 공급을 조절하는 온도 조절부를 포함하는 컨트롤 모듈; 및 토양 관측 센서 및 상기 토양 관측 센서에 의하여 측정된 데이터를 기록하고 온도 측정부에 의하여 측정된 기온 데이터를 기록하는 데이터 로거를 포함하는 모니터링 모듈을 포함하는 실외 실험적 온난화 시스템을 제공한다.

발명의 효과

[0008] 상술한 바와 같은 본 발명의 실외 실험적 온난화 시스템은, 실제 기후 변화와 유사하게 실외에서 식물, 토양 등을 포함하는 생태계를 온난화 시킬 수 있으며, 이를 통하여 생태계에 대한 온난화의 영향을 관찰하고, 향후 온난화에 의한 생태계 변화를 예측하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 본 발명의 실시예 1 및 2에 따른 실외 실험적 온난화 시스템을 나타내는 모식도이다.

도 2는 실시예 1 및 2에 의한 온난화 처리구 및 대조구의 기온에 변화를 나타내는 그래프이다.

도 3은 실시예 1에 의한 온난화 처리구 및 대조구의 토양 온도 변화를 나타내는 그래프이다.

도 4는 실시예 2에 의한 온난화 처리구 및 대조구의 토양 온도 변화를 나타내는 그래프이다.

도 5는 실시예 1에 의한 온난화 처리구 및 대조구의 토양 수분 함량 변화를 나타내는 그래프이다.

도 6은 실시예 2에 의한 온난화 처리구 및 대조구의 토양 수분 함량 변화를 나타내는 그래프이다.

도 7은 실시예 1에 의한 온난화 처리구 및 대조구의 광합성량 변화를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 이하 본 발명을 상세히 설명하고자 한다.

[0011] 본 발명은 가열 모듈; 상기 가열 모듈을 지지하는 지지대; 상기 가열 모듈에 연결된 전원 장치; 온도 측정부 및 상기 전원 장치의 전원 공급을 조절하는 온도 조절부를 포함하는 컨트롤 모듈; 및 토양 관측 센서 및 상기 토양 관측 센서에 의하여 측정된 데이터를 기록하고 온도 측정부에 의하여 측정된 기온 데이터를 기록하는 데이터 로거를 포함하는 모니터링 모듈을 포함하는 실외 실험적 온난화 시스템을 제공한다.

[0012] 도 1은 본 발명의 실시예 1 및 2에 따른 실외 실험적 온난화 시스템을 나타내는 모식도이다. 구체적으로, 온난화 처리구인 수목(9) 및 토양(10)에 대해서 온난화 환경에 따른 변화를 관측하기 위하여 가열 모듈(1)로 적외선 램프를 사용하고, 상기 적외선 램프가 지지대(2)에 의하여 수목(9)의 상단에 60㎝ 정도의 간격을 사이에 두고 고정되며, 전원 장치(3)에 연결되어 전원을 공급받는다. 상기 온난화 처리구에 대한 기온 변화는 온도 측정부(4)인 적외선 온도계를 사용하여 온난화 처리구의 기온을 측정하며, 측정된 기온을 바탕으로 대조구와 온난화 처리구의 온도 차이가 일정한 범위에서 유지될 수 있도록 온도 조절부(5)에 의하여 가열 모듈(1)에 대한 전원

장치(3)의 전원 공급을 조절한다. 또한, 토양 관측 센서로 토양 온도-수분 센서(6) 및 토양 호흡 센서(7)가 온난화에 의한 토양의 환경 변화를 측정하고, 측정된 데이터를 데이터 로거(8)에 기록하여, 대조구의 측정 데이터와 비교할 수 있도록 한다.

[0013] 상기 가열 모듈은 상기 지지대에 의하여 고정되며, 실외에서 수목, 토양 등에 대하여 온난화 환경을 조성시키기 위하여 기온을 상승시킨다. 이때, 상기 가열 모듈은 적외선 램프인 것이 바람직하며, 온난화 환경을 조성시킬 대상인 온난화 처리구의 중앙 상단에 위치하도록 설치하는 것이 좋다. 상기 가열 모듈로 적외선 램프를 사용할 경우, 열선을 이용한 수목 또는 토양의 온난화, 필드 챔버를 이용한 온난화 및 수동적 야간 온난화 방법 등에 비하여 생태계의 교란이 적고, 실제 기후 변화와 유사한 환경을 조성할 수 있다.

[0014] 또한, 수목에 대하여 온난화 환경 조성시, 수목에 대하여 50cm 내지 1m 간격을 두고 상단에 설치될 수 있으며, 바람직하게는 수목과 60cm 간격을 두고 설치되는 것이 균일한 온난화 효과를 발생시키는데 유리하다.

[0015] 이때, 상기 가열 모듈을 지지하는 지지대는 높이를 조절하는 높이 조절 장치를 더 포함할 수 있다. 이를 통해 온난화 처리구에서 생장하는 수목의 높이에 따라 가열 모듈의 위치를 조절할 수 있어, 효과적으로 실험적 온난화 시스템을 적용할 수 있다.

[0016] 상기 가열 모듈은 전원 장치에 연결되어 전원을 공급받으며, 상기 전원 장치는 보조 전원 장치를 더 포함할 수 있으며, 상기 보조 전원 장치는 태양열 발전인 것이 바람직하다. 상기 태양열 발전은 태양열을 수집하는 집열부 및 이를 전기적 에너지로 전환시켜 전원으로 이용할 수 있도록 하는 축열부를 포함하고, 상기 전원 장치의 전원 공급이 차단될 경우 예비적으로 전원을 공급할 수 있어, 모니터링 모듈이 연속적으로 데이터를 기록할 수 있도록 한다.

[0017] 상기 컨트롤 모듈은 가열 모듈에 의한 기온 변화를 측정하는 온도 측정부 및 상기 가열 모듈에 대한 전원 장치의 전원 공급을 제어하여 온난화 처리구의 온도를 조절할 수 있는 온도 조절부를 포함하여, 실외에서 온난화 처리구에 대한 기온 변화를 실제 온난화 현상에서 나타나는 것과 유사하게 조절하는 역할을 한다.

[0018] 구체적으로, 온도 측정부는 상기 가열 모듈에 의하여 식물, 토양 등 온난화 환경에서 변화를 관찰할 대상인 온난화 처리구가 가열되고, 그에 따라 온난화 처리구에 미치는 기온의 변화를 측정한다. 상기 온도 측정부는 적외선 온도계가 사용될 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0019] 또한, 상기 온도 조절부는 상기 가열 모듈에 의하여 온난화 처리구가 가열되어 대조구 온도를 기준으로 하여 온난화 환경을 조성할 일정한 폭으로 증가된 기온에 도달한 경우, 상기 가열된 온난화 처리구의 기온이 일정하게 유지될 수 있도록 가열 모듈을 조절하는 역할을 한다.

[0020] 상기 모니터링 모듈은 가열 모듈에 의한 기온 상승에 의한 환경인자의 변화를 연속적으로 모니터링 하는 역할을 하며, 데이터 로거 및 토양 관측 센서를 포함한다.

[0021] 상기 데이터 로거는 토양 관측 센서, 즉 토양 온도 센서, 토양 수분 센서 및 토양 호흡 센서에 의하여 측정된 모든 기록 및 온도 측정부에 의하여 측정된 기온 데이터를 저장하고 제어하는 역할을 한다. 구체적인 예로, 데이터 로거(CR3000, Campbell Scientific Inc., 미국) 등이 사용될 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0022] 상기 데이터 로거는 데이터 로거 케이스 안에 위치시키는 것이 바람직하며, 상기 데이터 로거 케이스는 데이터 로거 및 토양 측정 센서의 연결 부분을 보호하는 역할을 하며, 보온과 내구성이 우수한 소재로 이루어지는 것이 바람직하다. 상기 데이터 로거를 데이터 로거 케이스의 중단 또는 하단에 위치시키는 것이 토양 측정 센서와의 유동성을 우수하게 할 수 있다.

[0023] 토양의 온도는 토양 내 물질순환과 식물 생장에 중요한 인자이다. 또한 기온 상승에 따라 토양의 온도가 얼마나 오르는지 관측하고 예측하는 것도 매우 중요하다. 상기 토양 측정 센서는 실험적 온난화 시스템에서 토양의 변화를 관측하는 역할을 하며, 구체적으로 토양 온도 센서, 토양 수분 센서 및 토양 호흡 센서로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것이 바람직하다.

[0024] 토양온도는 토양 깊이에 따라 변이가 크므로 상기 토양 온도 센서 설치 시 정확한 토양 깊이 기준을 세우고 일정한 깊이에 설치해야 한다. 상기 토양 온도 센서는 토양 내 식물 뿌리가 주로 분포하는 위치에 설치하여 식물에 영향이 큰 토양 깊이의 온도를 측정하는 것이 바람직하며, 지표로부터 5cm 내지 15cm 깊이로 상기 토양 온도 센서를 위치시키는 것이 보다 바람직하다. 상기 토양 온도 센서는 -35 내지 50℃ 범위의 온도를 측정할 수 있는 것이 바람직하다. 구체적인 예로, 토양 내 한 지점에서 토양 온도와 토양 수분을 함께 측정할 수 있는 토양온도

수분센서(5TM, Decagon, 미국) 등이 사용될 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0025] 상기 토양 온도 센서 설치 시, 먼저 설치하려는 부분의 정확한 깊이를 측정하고 토양 온도 센서를 토양에 묻기 위한 구멍을 형성시킨 후, 수직으로 토양 온도 센서를 묻고 흙을 덮는 것이 바람직하다. 또한, 실외에 온난화 시스템을 설치하고 예비 실험을 통해 측정되는 값이 안정화 되는지 확인하고 데이터를 수집하는 것이 바람직하다.

[0026] 또한, 토양 온도 센서는 토양의 교란이 최대한 작은 위치에 설치를 하는 것이 바람직하며, 특히 뿌리에 대한 영향을 최대한 줄이는 것이 좋다. 또한 온난화 처리구 및 대조구에 각각 공간적으로 일정한 위치에 설치를 하여 토양의 온도 측정의 조건이 유사할 수 있도록 설치하는 것이 바람직하다.

[0027] 생태계에서 환경적 요인인 토양 수분은 매우 중요하며, 기후의 변화에 따라 달라진 토양내 수분은 식생의 영향에 매우 중요한 영향을 미친다. 예를 들어 토양의 수분은 토양의 형성 과정과 양분 유효도에 영향을 주며, 뿌리가 수분과 양분을 흡수하는 능력을 바꾸기 때문에 매우 중요하다. 이를 위해 상기 토양 수분 센서는 토양의 수분 함량을 측정하는 역할을 한다.

[0028] 상기 토양 수분 센서는 토양의 깊이에 따라 변이가 크기 때문에 설치 시 주의를 해야 한다. 토양 수분 센서의 경우, 토양 온도 센서와 달리 대각선으로 설치할 수 있기 때문에 식생의 뿌리에 대한 교란이 발생될 수 있으므로, 조사지의 교란을 최대한 적게 주기 위해서는 같은 깊이와 위치에 설치하는 것이 바람직하다.

[0029] 온도 상승은 토양 내 환경을 많이 변화 시키며 특히, 토양 유기물 분해와 뿌리의 생장과 관련된 토양 호흡을 증가시킨다. 따라서 기온과 토양 온도 상승에 따라서 토양 호흡이 어떻게 변화하는지에 대한 모니터링이 필요하다. 상기 토양 호흡 센서는 이러한 토양의 호흡에 대한 변화를 관측하는 역할을 하며, 상기 토양 호흡 센서를 토양에 설치할 때 토양을 일정한 깊이로 파고, 토양과 수직 방향으로 설치한 후 토양을 메운다. 이때, 토양의 답압이 발생되지 않도록 하는 것이 바람직하다.

[0030] 상기 데이터 로거는 토양 관측 센서에 의하여 측정된 데이터를 연속적으로 기록하기 위하여 1분 내지 60분 간격으로 측정된 데이터를 기록하는 것이 바람직하며, 보다 바람직하게는 30분 간격으로 측정된 데이터를 기록하는 것이 좋다.

[0031] 이하, 본 발명을 실시예에 의해 상세히 설명한다.단, 하기 실시예는 본 발명을 예시하는 것일 뿐, 본 발명의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0032] <실시예 1>

[0033] 1년생 굴참나무(*Quercus variabilis*)를 가로, 세로 각각 1m인 토양에 심어, 온난화 처리구 및 대조구로 선정하였다. 이후 상기 묘목의 상단에 각각 적외선 램프를 고정시키기 위한 지지대를 설치하고, 적외선 램프(Mor Electric Heating Association Inc., 미국)를 온난화 처리구 및 대조구의 중앙에 위치 시켰다. 상기 적외선 램프가 묘목의 상단 부분과 60cm 간격을 유지하도록 지지대의 높이를 조절하고, 적외선 램프와 전원 장치와 연결시켰다.

[0034] 상기 묘목 주변의 기온을 측정할 수 있도록 적외선 온도계(SI-111, Campbell, 미국)를 설치하고, 데이터로거(CR3000, Campbell Scientific Inc., 미국)와 온도 조절부로 AC 전원 릴레이를 상기 적외선 램프 및 적외선 온도계와 연결하여 온난화 처리구의 온도를 대조구의 기온에 비하여 3℃ 높게 유지할 수 있도록 하였다.

[0035] 적외선 램프에 의하여 상승된 기온이 토양에 미치는 영향을 관측하기 위하여, 토양 온도-수분 센서(5TM, Decagon, 미국) 및 토양 호흡 센서(GMT-222, Vaisala, Finland)를 각각 온난화 처리구 및 대조구의 토양에 설치하고, 측정되는 데이터를 기록하는 데이터 로거(CR3000, Campbell Scientific Inc., 미국)와 연결하였다. 이때, 상기 데이터 로거는 전원을 공급하지 않는 냉장고 내부에 위치시켜 외부 온도에 대한 영향을 최소화시켰다.

[0036] <실시예 2>

[0037] 상기 실시예 1에서, 상기 1년생 굴참나무(*Quercus variabilis*) 대신에 1년생 소나무(*Pinus densiflora*)인 것을 제외하고 상기 실시예 1과 동일하게 실시하였다.

[0038] <실험예>

[0039] 1. 기온 변화 측정

[0040] 상기 실시예 1 및 2에서 설치된 실외 실험적 온난화 시스템에서, 온난화 처리구 및 대조구를 구분하여, 대조구의 기온 보다 온난화 처리구의 기온이 3℃ 높게 유지되게 한 뒤, 30분 간격으로 온난화 처리구 및 대조구의 기온 변화를 측정하였고, 이를 도 2에 나타내었다.

[0041] 2. 토양 변화 측정

[0042] 상기 실시예 1 및 2에서 설치된 실외 실험적 온난화 시스템에서, 온난화 처리구 및 대조구의 토양 온도, 토양 수분, 토양 호흡을 30분 간격으로 측정하였고, 이를 도 3 내지 도 7에 나타내었다.

[0043] 도 2에서 나타낸 바와 같이, 2011년 1월부터 2011년 7월까지 실험한 결과, 실외 실험적 온난화 시스템을 설치하고 적외선 램프를 가동한 온난화 처리구는 적외선 램프를 가동하지 않은 대조구에 비하여 일정한 온도 차이를 보이며 온도가 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 실외에서도 실험적인 온난화 시스템이 양호하게 적용되어 목표하는 온도차만큼 온난화 처리구의 온도를 증가시킬 수 있음을 나타낸다.

[0044] 도 3 및 도 4에서 5㎝ 깊이의 토양 내 온도를 측정한 결과도 도 2의 결과와 유사하게 실외에서 온난화 시스템에 의하여 대조구와 일정한 온도 차이를 나타내며 온도가 증가하는 것을 알 수 있다.

[0045] 도 5 및 도 6에서 1월의 경우, 적외선 램프에 의하여 가열된 온난화 처리구의 경우 눈이 내려도 기온이 상대적으로 높아 쉽게 녹아 토양으로 유입되지만, 가열되지 않은 대조구의 경우 눈이 그대로 쌓이기 때문에 온난화 처리구의 토양 수분 함량이 높은 경향을 나타낸다. 반면, 4월 내지 5월의 경우 기온이 상대적으로 높은 온난화 처리구에서 토양의 수분 증발이 보다 활발하게 진행되어 수분 함량이 대조구에 비하여 낮음을 알 수 있다. 이는 실내에서 진행될 수 있는 온난화 시스템 실험에 비하여, 실외에서 진행되는 본 발명이 실제 환경과 유사한 환경에서 온난화 시스템을 적용할 수 있어, 온난화에 관한 연구를 하는데 보다 정확한 데이터를 제공할 수 있다.

[0046] 도 7은 실시예 1의 온난화 처리구와 대조구 내 수목의 광합성량을 측정한 결과를 나타낸 것으로, 광합성량은 8시 내지 12시 즉, 오전에 온난화에 의한 영향을 크게 받는 반면, 오후에는 온난화에 의한 영향이 크지 않음을 나타낸다.

부호의 설명

[0047] 1: 가열모듈

2: 지지대

3: 전원 장치

4: 온도 측정부

5: 온도 조절부

6: 토양 온도-수분 센서

7: 토양 호흡 센서

8: 데이터 로거

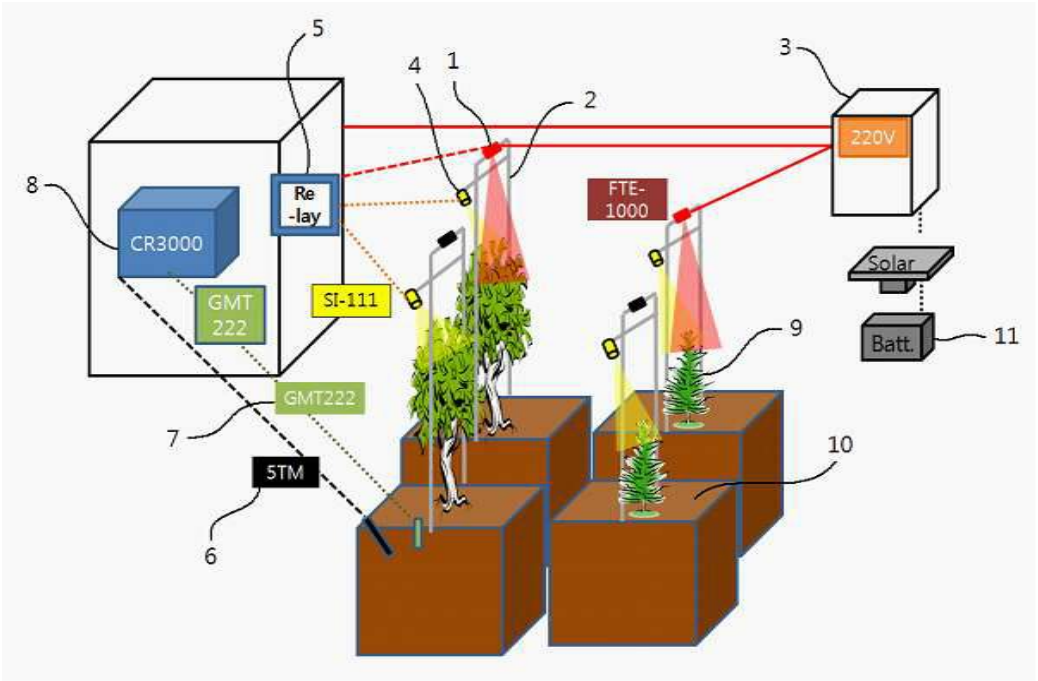
9: 수목

10: 토양

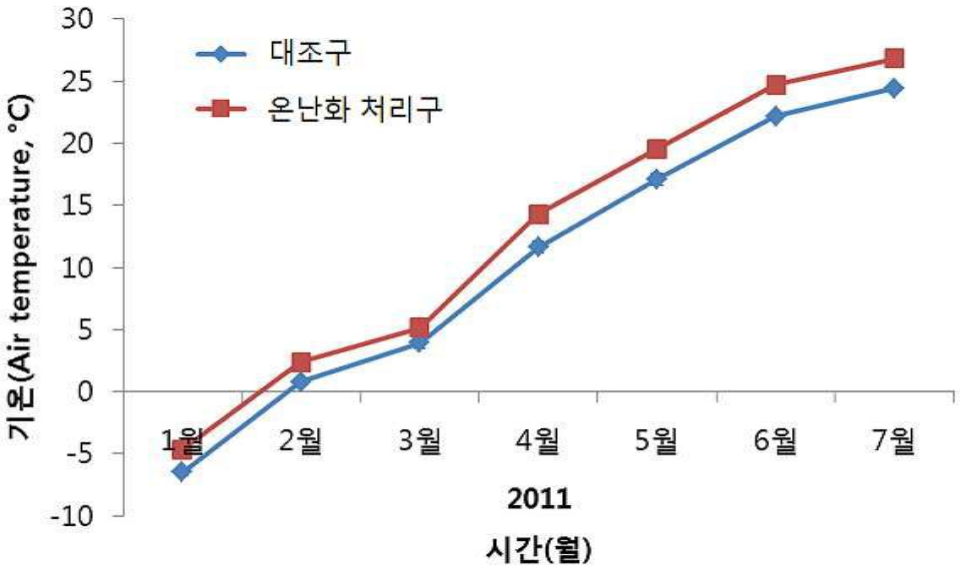
11: 보조 전원 장치

도면

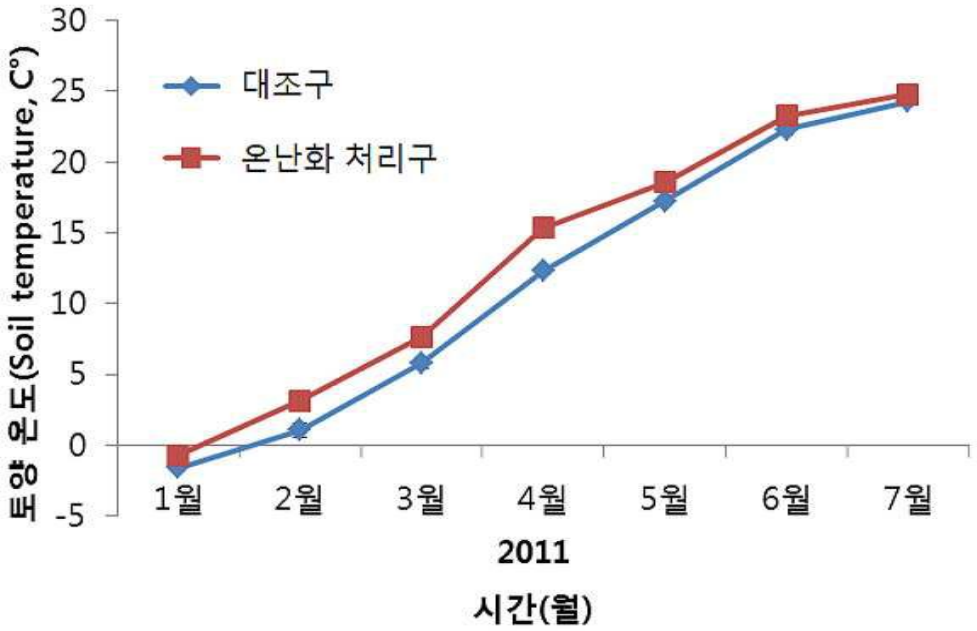
도면1


5
4
1
2
3
8
CR3000
Re
-lay
220V
FTE-
1000
Solar
GMT
222
SI-111
9
Batt.
11
GMT222
7
10
STM
6

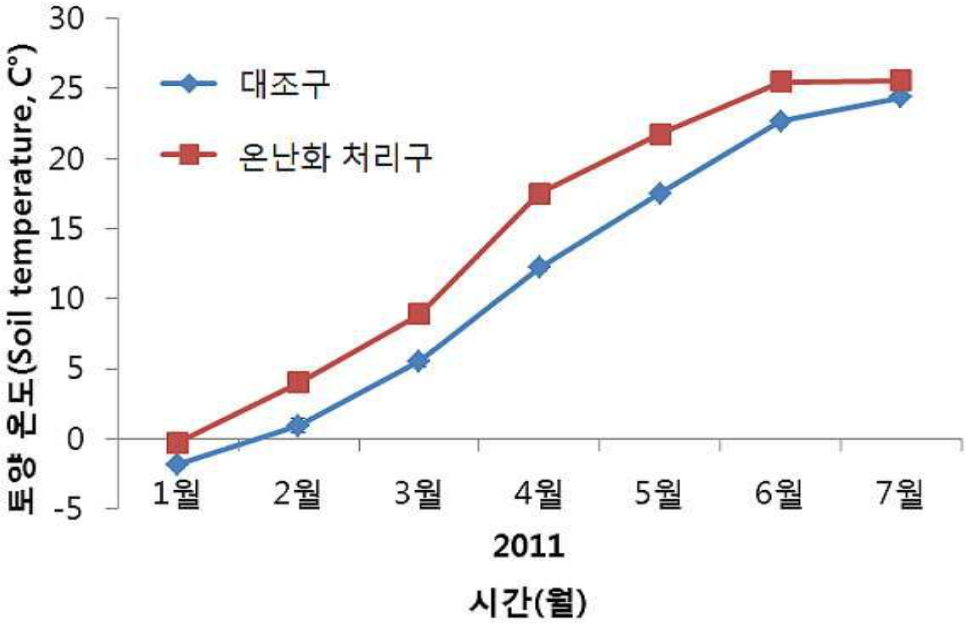
도면2


30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
기온(Air temperature, °C)
대조구
온난화 처리구
1월
2월
3월
4월
5월
6월
7월
2011
시간(월)

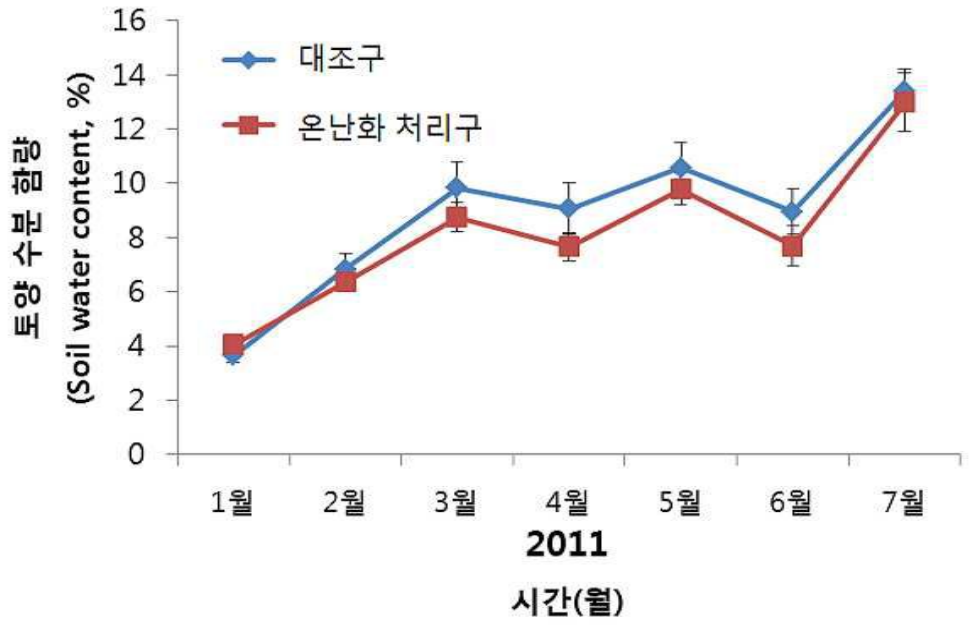
도면3


30
25
20
15
10
5
0
-5
토양 온도(Soil temperature, C°)
대조구
온난화 처리구
1월
2월
3월
4월
5월
6월
7월
2011
시간(월)

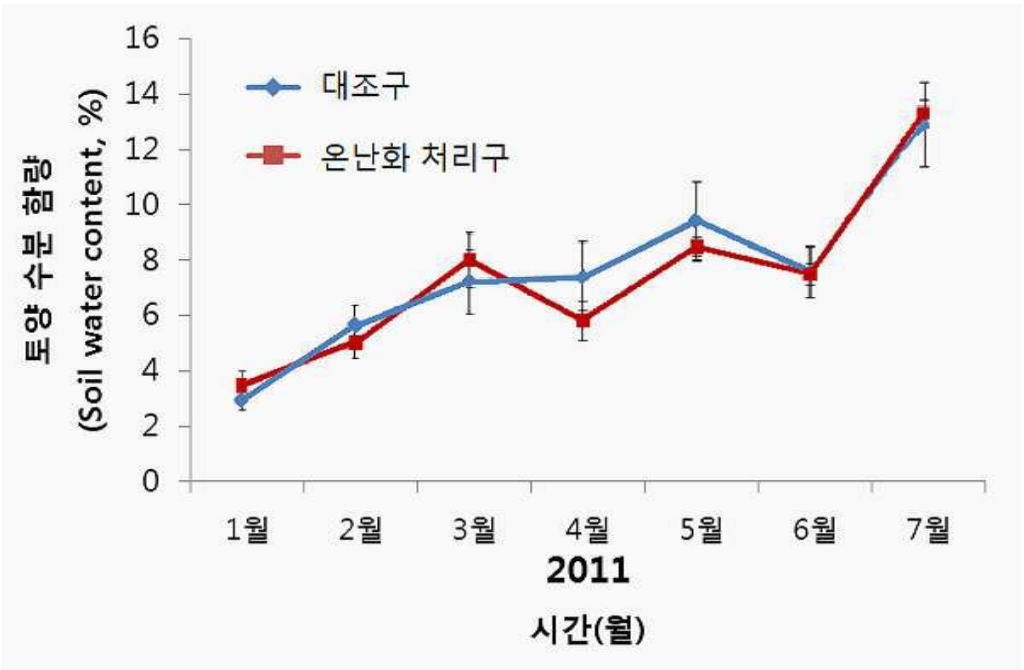
도면4


30
25
20
15
10
5
0
-5
토양 온도(Soil temperature, C°)
대조구
온난화 처리구
1월
2월
3월
4월
5월
6월
7월
2011
시간(월)

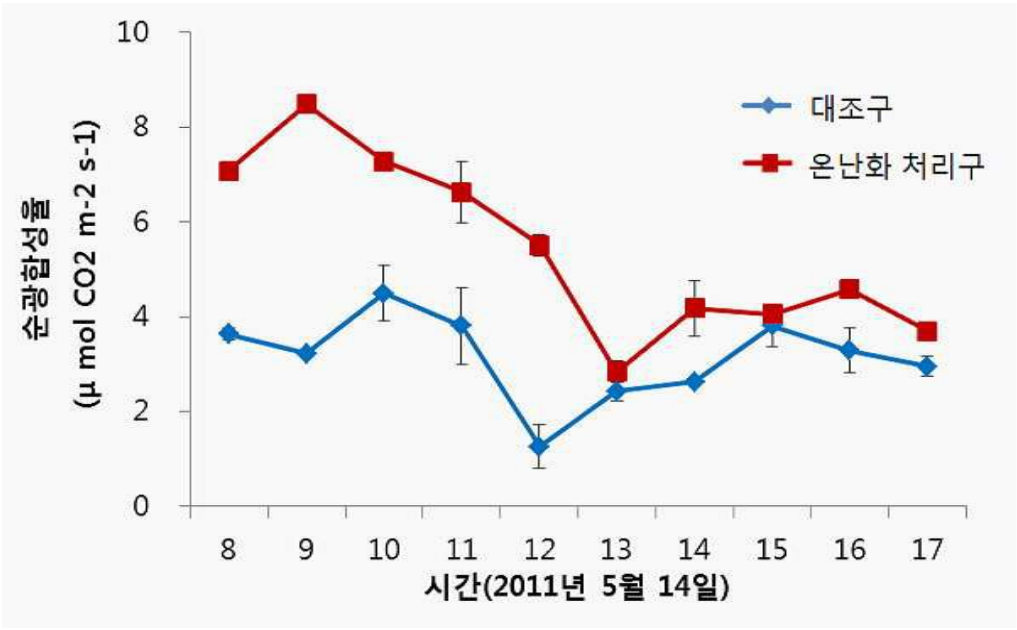
도면5


16
14
12
10
8
6
4
2
0
대조구
온난화 처리구
토양 수분 함량
(Soil water content, %)
1월
2월
3월
4월
5월
6월
7월
2011
시간(월)

도면6


16
14
12
10
8
6
4
2
0
대조구
온난화 처리구
토양 수분 함량
(Soil water content, %)
1월
2월
3월
4월
5월
6월
7월
2011
시간(월)

도면7


10
8
6
4
2
0
순광합성율
(μ mol CO2 m-2 s-1)
대조구
온난화 처리구
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
시간(2011년 5월 14일)