

APPLICATION NOTE



토양, 퇴적물, 슬러지 및 고형 폐기물의 탄소 측정

개요

총유기탄소(TOC) 함량은 다양한 응용 분야에서 중요한 지표입니다. 농업 과학에서 탄소는 토양과 퇴적물의 원소 순환을 이해하는 데 중요한 매개변수입니다. 유기 탄소는 동식물 잔류물의 분해를 통해 유입되며 미생물과 식물의 주요 영양소 공급원으로 작용합니다. 따라서 TOC 분석은 토양과 퇴적물을 특성화하고 평가하기 위해 미생물 활동과 유기물에 대한 필수 정보를 제공합니다.

TOC를 직접 측정하는 것은 그리 간단한 분석이 아닙니다. 종종 총 탄소를 측정한 다음 비유기 탄소원을 뺍니다. 유기 탄소 외에도 토양과 퇴적물에는 일반적으로 탄산염의 형태로 무기 탄소도 존재합니다. 토양과 퇴적물에서 탄산염의 가장 일반적인 두 가지 출처는 광물인 방해석과 백운석입니다. 해당 벌크 매개변수인 총 무기 탄소(TIC)에는 이러한 광물뿐만 아니라 탄산 및 중탄산염과 같은 기타 탄산염 유도체가 포함됩니다. 무기 탄소는 생물학적 시스템에서 접근 가능한 형태의 탄소가 아니기 때문에 유기 탄소와 구별됩니다.

종종 TOC와 TIC를 구분하는 것만으로는 충분하지 않습니다. 원소 탄소(ROC)는 또 다른 일반적인 탄소 공급원이며, 이 역시 생체 이용이 가능하지 않습니다. 특히 고형 폐기물뿐만 아니라 다른 응용 분야에서도 이 세 번째 유형의 탄소를 별도로 측정하면 생체 이용 가능, 즉 환경과 관련된 탄소 공급원을 훨씬 더 정확하게 파악할 수 있습니다.

고체 시료에서의 TOC

solu TOC® cube
vario MAX cube
acquray®
vario EL cube
rapid CS cube
UNICUBE®



메소드 선택

TOC 분석에는 다양한 방법을 사용할 수 있습니다.

메소드 1:

900 °C 이상의 연소 온도에서 사전 산화를 통한 TOC 측정.

토양, 슬러지, 퇴적물 및 고형 폐기물의 고전적인 TOC 측정은 900 °C 이상의 온도에서 고온 연소를 사용합니다. 탄소는 산소가 있는 상태에서 CO₂로 변환된 다음 열전도도 또는 적외선 검출기로 측정됩니다. TIC를 제거하기 위해 측정 전에 샘플을 산화시킵니다. 미네랄 산이 존재하면 시료의 탄산염이 CO₂로 변환되고, 고온에서 몇 시간에 걸쳐 건조 단계를 거치면서 제거됩니다. 원리와 절차는 ISO 10694, DIN EN 15936 및 DIN EN 13137을 포함한 다양한 표준에 설명되어 있습니다.

메소드 2:

낮은 연소 온도에서 TOC 측정.

탄산염을 제거하기 위해 시간이 오래 걸리는 산화 단계를 극복하기 위해 더 낮은 연소 온도를 사용할 수 있습니다. 최적의 연소 온도를 선택하면 유기 탄소의 완전한 회수를 유지하면서 무기 탄소 손실을 최소화할 수 있습니다. 450 °C에서 650 °C 사이의 연소 온도가 적절한 결과를 제공하는 것으로 나타났습니다(예: Pitt et al, 2003). 그러나 이 방법은 각 분석 후 자동 재(Ash) 제거 기능이 있는 기기에서만 작동합니다(표 2 참조).

메소드 3:

온도 프로그래밍을 사용하여 다양한 형태의 탄소를 측정.

예를 들어 고형 폐기물을 평가할 때는 원소 탄소가 생체 이용 가능하지 않기 때문에 ROC를 별도로 결정해야 할 수 있습니다. 이를 위해 온도 상승 방법이 사용됩니다: TOC는 400 °C에서, ROC는 400~600 °C에서, TIC는 600~900 °C에서 측정합니다. 샘플을 분당 70 °C의 속도로 지정된 온도까지 가열한 다음 지정된 유지 시간 동안 온도를 유지합니다. 다른 온도에서 생성되는 CO₂는 다른 탄소 분율을 나타냅니다(그림 1 참조).

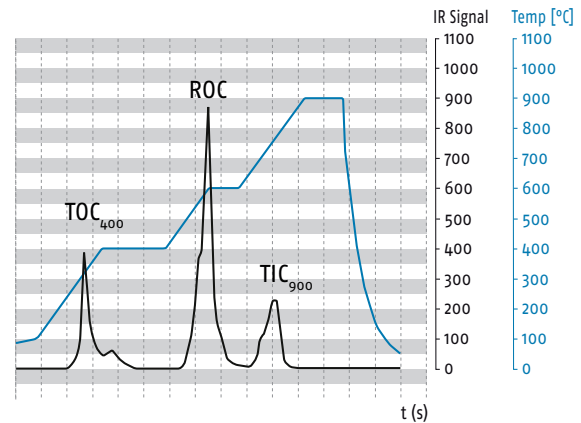


그림 1. 캄비솔 B 지층 토양 샘플에 적용한 soli TOC® cube의 3단계 온도 프로그램.

불활성 캐리어 가스를 사용하면 ROC와 TIC의 분리를 더욱 개선할 수 있습니다. 400 °C 온도 스텝이 끝나면 캐리어 가스가 산소에서 질소로 전환되고 시료는 900 °C에서 직접 열분해됩니다. 이러한 조건에서 ROC는 시료 용기에 남아 있고 TIC는 CO₂로 변환됩니다. TIC가 결정된 후 시스템에 다시 산소를 공급하여 ROC를 산화시킵니다. 대부분의 경우 이 기술을 사용하면 TIC와 ROC를 더 잘 분리할 수 있습니다(그림 2 참조). 두 방법 모두 새로운 DIN 19539를 준수합니다.

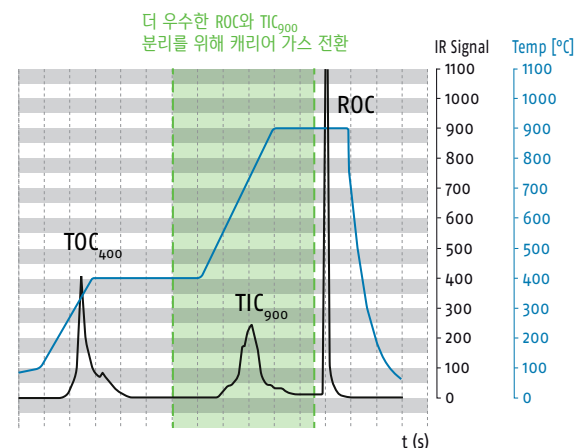


그림 2. 캄비솔 B 호라이즌 토양 시료에 적용한 soli TOC® cube의 가스 전환이 포함된 2단계 온도 프로그램.



실험 결과

앞서 설명한 방법에 따라 6 가지 고체 시료에서 TOC 함량을 측정했습니다.

방법1(900 °C 에서 산성화 및 연소)과 방법2 (650 °C 에서 연소)에 따른 TOC 함량은 분석된 모든 물질에서 동일한 범위에 있음을 알 수 있습니다. 방법 3 (400 °C 에서 연소: TOC_{400}) 에서 검출된 TOC 함량은 사용된 모든 방법 중 가장 낮았습니다.

슬러지와 플루비솔이 가장 낮은 상대적 ROC 함량을 보였기 때문에 TOC_{400} 은 다른 방법을 사용하여 측정한 TOC 함량과 비교하여 유사합니다. 반면, 더 높은 ROC 함량에서는 TOC_{400} 의 결과가 다른 방법의 결과와 분명히 다릅니다. 그러나 TOC_{400} 과 ROC의 합은 항상 다른 TOC 결과와 일치합니다.

흥미롭게도 슬래그와 재활용 건축 자재의 TOC_{400} 과 ROC의 합은 모든 샘플 중에서 $TOC_{400} + ROC$ 의 합과 다른 두 가지 방법으로 결정된 TOC 함량 사이에 가장 큰 차이를 보여줍니다.

결론적으로, 다른 방법의 TOC 결과의 비교 가능성은 시료에서 다량 존재하는 탄소 분율에 따라 크게 달라집니다. TOC 함량을 결정하기 위한 올바른 방법을 선택할 때 이 점을 염두에 두는 것이 중요합니다.

표 1. 세 가지 방법에 따라 6 가지 시료의 TOC 함량을 측정했습니다. 방법 1과 2에 따른 분석은 각각 900 °C와 650 °C의 연소 온도를 가진 vario MAX cube를 사용하여 수행되었습니다. 온도 램프 방법 3에 의한 TOC_{400} , ROC 및 TIC_{900} 분석에는 soli TOC cube가 사용되었습니다.

	메소드 1	메소드 2	메소드 3				
샘플	TOC [%]	TOC [%]	TOC_{400} [%]	ROC [%]	TIC_{900} [%]	TC [%]	$TOC_{400} + ROC$ [%]
플루비솔	4.02	4.12	3.64	0.25	0.04	3.93	3.89
굴착된 토양	0.40	0.57	0.23	0.15	0.42	0.80	0.38
재활용 건축 자재	0.95	1.18	0.34	0.42	0.90	1.66	0.76
슬래그	0.17	0.28	0.03	0.09	0.16	0.28	0.12
폐기물 소각로 재	0.80	1.25	0.57	0.56	0.18	1.31	1.13
하수 슬러지	2.24	2.29	2.06	0.12	0.03	2.21	2.18



기기 솔루션

Elementar는 애플리케이션 작업에 따라 다양한 고객의 요구를 충족할 수 있는 가장 다양한 제품군을 제공합니다.

vario MAX cube, soli TOC® cube 및 **acquray®** 시리즈를 사용하면 그램 단위의 큰 시료도 안정적으로 분석할 수 있습니다. 따라서 불균일 시료의 정확한 분석을 위한 완벽한 장비입니다. 방법 2 및 방법 3에 따른 TOC 측정은 놀라울 정도로 간단합니다. 분석을 위해 시료를 도가니에 넣고 무게를 측정하면 즉시 기기로 전달됩니다. 방법 1의 경우 시료는 도가니에서 직접 산화되고 건조 후 기기로 전달됩니다.

Vario EL cube와 Rapid CS cube의 경우, 시료의 무게를 측정하기 전에 은박 컵에 넣고 산화한 후 건조시킵니다. 두 제품 모두 방법 1로 제한되지만 추가 원소를 측정할 수도 있습니다. 이러한 기기에 사용되는 일반적인 시료 무게는 100-200 mg입니다.

고체 시료의 TIC를 직접 측정하면서도 정확하고 정밀한 결과를 제공하기 위해 soliTIC 모듈이 개발되었습니다. 탄소 측정이 가능한 거의 모든 큐브 모델에 쉽게 연결할 수 있는 추가 장치입니다 (예: vario MAX cube, vario EL cube 및 rapid CS cube).

표 2. 토양, 슬러지, 퇴적물 및 고형 폐기물의 탄소 측정을 위한 기기 솔루션.

분석기기T	메소드 1	메소드 2	메소드 3	질소	황	수소	자동 샘플 공급	자동 재 제거
vario MAX cube	✓	✓		✓	✓*		✓	✓
soli TOC cube	✓	✓	✓	✓**			✓	✓
acquray TOC + acquray solid	✓	✓	✓					✓
UNICUBE / vario EL cube	✓			✓	✓	✓	✓	
rapid CS cube	✓				✓		✓	

*CNS 모드에서만, **EC 디텍터 옵션 사용 시.

참고 자료

DIN EN 15936 - 슬러지, 처리된 바이오 폐기물, 토양 및 폐기물 - 건식 연소에 의한 총 유기 탄소(TOC) 측정.

DIN 19539 - 고형물 조사 - 총 탄소의 온도 의존적 구별.

DIN EN 13137 - 폐기물 특성 분석 - 폐기물, 슬러지 및 퇴적물의 총유기탄소(TOC) 측정.

ISO 10694 - 토양 품질 - 건식 연소 후 유기 탄소 및 총 탄소 측정(원소 분석).

Pitt, J.L., T.L. Provin, F.M. Hons, F. Dou 및 J.S. Waskom. 토양, 거름 및 퇴비에서 유기 및 무기 탄소 측정을 위한 총 탄소/질소 분석기 사용. 초록, 2003 ASA 회의, 덴버, 콜로라도.

Elementar - 뛰어난 원소분석을 위한 파트너

Elementar는 유기 및 무기 원소의 고성능 분석 분야에서 세계적인 선두 업체입니다. Elementar의 지속적인 혁신, 창의적인 솔루션 및 포괄적인 지원은 당사 제품이 80개 이상의 국가에서 농업, 화학, 환경, 에너지, 재료 및 법의학 분야 전반의 지속적인 과학적 진보를 보장합니다.

Elementar Analysensysteme GmbH
Elementar-Straße 1 · 63505 Langenselbold (Germany)
Phone: +49 (0) 6184 9393-0 | info@elementar.com | www.elementar.com

이에이 코리아 주식회사

경기도 하남시 조정대로 150 하남지식산업센터 768호
전화 031-790-1308 | 팩스 031-790-1309
info@ea-korea.com | www.ea-korea.com



elementar
EXCELLENCE IN ELEMENTS

