

다환방향족탄화수소 (PAHs) -기체크로마토그래피-질량분석법

2021

(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
-Gas Chromatography-Mass Spectrometry)

1.0 개요

1.1 목적

이 시험기준은 철도용 폐반침목 (이하 “폐반침목”이라 한다)에 함유되어 있는 다환방향족탄화수소 (PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons) 중 벤조(a)안트라센 (benzo(a)anthracene), 벤조(a)피렌 (benzo(a)pyrene), 다이벤조(a,h)안트라센 (dibenzo(a,h)anthracene)의 측정방법으로서, 다환방향족탄화수소를 기체크로마토그래피-질량분석기로 측정하는 방법이다.

1.2 적용범위

1.2.1 이 시험기준은 환경유해인자 공정시험기준 (크레오소트유 방부목재-가스크로마토그래피/질량분석법)과 토양오염공정시험기준 (벤조(a)피렌-기체크로마토그래피-질량분석법)을 인용하였으며, 폐반침목에 함유되어 있는 다환방향족탄화수소 중 벤조(a)안트라센, 벤조(a)피렌, 다이벤조(a,h)안트라센의 분석에 적용한다.

1.2.2 이 시험에 의한 정량한계는 사용하는 장치 및 측정조건에 따라 다르나 각 성분당 0.5 mg/kg이다.

1.3 간섭물질

1.3.1 추출 용매 안에 함유하고 있는 불순물이 분석을 방해할 수 있다. 이 경우 바탕시료나 시약바탕시료를 분석하여 확인할 수 있다. 방해물질이 존재하면 용매를 증류하거나 정제용 컬럼을 이용하여 제거한다. 고순도의 시약이나 용매를 사용하면 방해물질을 최소화할 수 있다.

1.3.2 초차는 사용 전에 아세톤, 분석 용매 순으로 각각 3 회 세정한 후 건조시킨 것을 사용하여 오염을 최소화할 수 있다.

1.3.3 높은 농도의 시료와 낮은 농도의 시료를 연속하여 측정할 때에는 오염의 가능성이 있으므로 용매를 사용하여 점검하는 것이 좋다.

2.0 용어정의

2.1 머무름 시간 (RT, retention time)

크로마토그래피용 컬럼에서 특정화합물이 빠져 나오는 시간을 말한다.

2.2 다환방향족탄화수소류 (PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons)

두 개 또는 그 이상의 벤젠 고리가 결합된 탄화수소류를 총칭하여 다환방향족탄화수소류라고 한다.

2.3 대체표준물질 (SS, surrogate standard)

분석 전에 각 시료, 바탕시료, 매체시료 (matrix-spiked)에 더해지는 화학적으로 반응성이 없는 물질로서 시료 매질 중에서는 발견되지 않은 유기화합물이다. 전처리 전에 일정량을 주입하여 전처리 과정에서의 신뢰성 평가에 사용되는 표준물질이다.

2.4 내부표준물질 (IS, internal standard)

분석자가 알고 있는 양을 시료 최종 추출용액에 첨가하여 상대감응계수를 이용하여 시료의 정량에 사용되는 표준물질이다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 기체크로마토그래프/질량분석계

3.1.1 컬럼은 안지름 0.25 mm ~ 0.32 mm, 필름두께 0.25 μ m ~ 5 μ m, 길이 30 m ~ 60 m의 비극성 모세분리관 (DB-5 등)이나 동등한 분리성능을 가진 모세분리관으로 대상물질의 분리가 양호한 것을 택하여 실험한다.

3.1.2 운반기체는 부피백분을 99.999 % 이상의 헬륨을 사용하며 유량은 0.5 mL/min ~ 2 mL/min, 시료 도입부 온도는 200 $^{\circ}$ C ~ 300 $^{\circ}$ C, 컬럼온도는 50 $^{\circ}$ C ~ 310 $^{\circ}$ C로 사용한다.

3.2 질량분석기 (mass spectrometer)

3.2.1 이온화방식은 전자충격법 (EI, electron impact)을 사용하며 이온화 에너지는 35 eV ~ 70 eV을 사용한다.

3.2.2 질량분석기는 자기장형 (magnetic sector), 사중극자형 (quadrupole) 및 이온 트랩형 (ion trap) 등의 성능을 가진 것을 사용한다.

3.2.3 정량분석에는 선택이온검출법 (SIM, selected ion monitoring)을 이용하는 것이 바람직하다. 선택하는 이온들은 표 4의 이온을 사용할 수 있다.

3.3 농축장치

회전증발 농축기, 질소 농축기 등 적절한 농축기를 사용한다.

3.3.1 회전증발 농축기

추출, 정제 시료를 농축하며, 시료증발을 위한 감압장치와 가열장치, 300 mL 수기, 냉각장치로 구성된다.

3.3.2 질소 농축기

추출 정제된 시료의 농축액을 1mL 이하로 농축할 수 있는 용량의 농축관과 질소 농축장치 (필요 시 가열장치 포함)로 구성된다.

3.4 정제용 컬럼

다음 중 한 종류를 선택하여 사용한다.

3.4.1 4 % 함수실리카겔 컬럼

실리카겔 0.063 mm ~ 0.200 mm (70 mesh ~ 230 mesh)을 130 °C에서 4 시간 이상 가열한 후, 데시케이터에서 방냉한다. 이후 96 g을 갈색 삼각 플라스크에 넣고 실리카겔을 교반하면서 부피피펫을 사용하여 정제수 4 mL를 넣어 함수시키고 덩어리가 없어질 때까지 손으로 약 5 분간 강하게 흔든 후 진탕기로 30 분간 진탕시킨다.

3.4.2 알루미나 컬럼

중성 알루미나 0.063 mm ~ 0.200 mm (70 mesh ~ 230 mesh)의 것을 사용한다. 사용에 앞서 190 °C에서 19 시간 이상 가열한 후, 데시케이터에서 약 30 분간 방냉한 후 바로 사용한다.

4.0 시약 및 표준용액

4.1 시약

4.1.1 노말 헥산

노말 헥산 (n-hexane, C_6H_{14} , 분자량 : 86.17)은 바탕시험 할 때 분석물질의 피크부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

4.1.2 다이클로로메탄

다이클로로메탄 (dichloromethane, CH_2Cl_2 , 분자량 : 84.93)은 바탕시험 할 때 분석물질의 피크부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

4.1.3 아세톤

아세톤 (acetone, CH_3OCH_3 , 분자량 : 58.08)은 바탕시험 할 때 분석화합물의 피크부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

4.1.4 다이클로로메탄/아세톤 용액 (1 : 1)

다이클로로메탄 (4.1.2) 500 mL와 아세톤 (4.1.3) 500 mL를 섞어 사용한다.

4.1.5 다이클로로메탄/노말 헥산 용액 (1 : 1)

다이클로로메탄 (4.1.2) 500 mL와 노말 헥산 (4.1.1) 500 mL를 섞어 사용한다.

4.1.6 다이클로로메탄/노말 헥산 용액 (1 : 9)

다이클로로메탄 (4.1.2) 100 mL와 노말 헥산 (4.1.1) 900 mL를 섞어 사용한다.

4.1.7 무수황산나트륨

무수황산나트륨 (sodium sulfate, Na_2SO_4 , 분자량 : 142.04)은 순도 98 % 이상의 시약용을 사용하며 사용하기 전에 300 °C에서 하룻밤 건조하여 사용한다.

4.2 표준용액

4.2.1 PAHs 표준원액 (1 000 mg/L)

벤조(a)안트라센, 벤조(a)피렌, 다이벤조(a,h)안트라센 표준물질 20 mg을 각각 정확히 취하여 각각 20 mL 부피플라스크에 넣고 노말 헥산에 녹여 정확히 20 mL로 하여 표준원액으로 한다. 상업적으로 제조하여 판매하는 것을 사용해도 된다. 표준원액은 테프론 마개가 있는 차광 병에 넣어 (4 ± 2) °C에 보관한다.

4.2.2 PAHs 표준용액 (100 mg/L)

PAHs 표준원액 1 000 mg/L 2.0 mL을 20 mL의 부피플라스크에 정확히 취하여, 노말 헥산을 넣어 20 mL로 한다. 표준용액은 테프론 마개가 있는 차광 병에 넣어 (4 ± 2) °C에 보관한다.

4.2.3 PAHs 표준용액 (10 mg/L)

PAHs 표준용액 100 mg/L 1.0 mL을 10 mL의 부피플라스크에 정확히 취하여 노말 헥산을 넣어 10 mL로 한다. 표준용액은 테프론 마개가 있는 차광 병에 넣어 (4 ± 2) °C에 보관한다.

4.3 대체표준용액 (surrogate standard)

4.3.1 대체표준원액 (1 000 mg/L)

대체표준물질 (surrogate standard) 크리스센-d₁₂ (chrysene-d₁₂) 20 mg을 정확히 취하여 20 mL 부피플라스크에 넣고 노말 헥산에 녹여 정확히 20 mL로 한다. 상업적으로 제조하여 판매하는 것을 사용해도 된다.

4.3.2 대체표준용액 (100 mg/L)

크리스센-d₁₂ 1 000 mg/L 2.0 mL을 20 mL 부피플라스크에 정확히 취하고 노말 헥산을 넣어 20 mL로 한다. 이 표준용액 1 mL에는 크리스센-d₁₂ 100 µg을 함유한다.

4.3.3 대체표준용액 (10 mg/L)

크리센-d₁₂ 100 mg/L 1.0 mL을 정확히 취하여 10 mL 부피플라스크에 정확히 취하고 노말 헥산을 넣어 10 mL로 한다. 이 표준용액 1 mL에는 크리센-d₁₂ 10 µg을 함유한다.

4.4 실린지 첨가용 내부표준용액 (internal standard)

4.4.1 내부표준원액 (1 000 mg/L)

내부표준물질 (internal standard) 피렌-d₁₀ (Pyrene-d₁₀) 20 mg을 정확히 취하여 20 mL 부피플라스크에 넣고 노말 헥산에 녹여 정확히 20 mL로 한다. 상업적으로 제조하여 판매하는 것을 사용해도 된다.

4.4.2 내부표준용액 (100 mg/L)

피렌-d₁₀ 내부표준원액 1 000 mg/L 2.0 mL을 취하여 20 mL 부피플라스크에 넣고 노말 헥산으로 20 mL를 채운다. 이 표준용액 1 mL에는 피렌-d₁₀ 100 µg을 함유한다.

4.4.3 내부표준용액 (10 mg/L)

피렌-d₁₀ 내부표준용액 100 mg/L 1.0 mL을 정확히 취하여 10 mL의 부피플라스크에 넣고 노말 헥산으로 10 mL를 채운다. 이 표준용액 1 mL에는 피렌-d₁₀ 10 µg을 함유한다.

5.0 시료채취 및 관리

5.1 시료채취는 세척용 용제 (헥산, 아세톤)에 내식성이 있는 스테인리스 재질로 된 회전날을 장착한 전동드릴 등을 이용한다. 새로운 시편의 시료채취를 하기 전 세척용 용제로 회전날을 세척한 뒤 시료채취를 한다.

5.2 시료받이는 오염되지 않은 재질의 것이어야 하고, 재사용을 위하여 세척용 용제에 내식성이 있는 스테인리스 재질로 된 것을 사용한다.

5.3 전체 폐받침목의 개수에 따른 대상 폐받침목의 채취 개수는 표 1에 따라 채취하되, 전체의 성질을 대표할 수 있도록 서로 다른 곳에서 채취한다.

5.4 채취한 대상 폐받침목은 표면에 묻어있는 먼지와 흙 등의 이물질을 제거한다. 그림 1과 같이 3 등분한 각 등분별 상, 하, 좌, 우 표면과 양쪽 측면의 가운데 부분에서 깊이 2 cm까지 폐받침목을 각각 동일하게 약 1 g 씩 14 개의 부분을 채취하고, 혼합하여 1 개의 현장 시료로 만든다.

5.5 현장 시료의 입자가 2 mm 보다 큰 경우 가위나 커터 등을 이용하여 2 mm 이하로 자른다. 필요 시, ES 06130.c ‘시료의 채취’ 5.0 시료의 분할 채취 방법을 적용할 수 있다.

5.6 각 대상 폐받침목 별로 채취한 현장 시료를 전부 모아 1개의 대시료로 한다. 모든 시료는 채취 후 추출하기 전까지 4 ℃ 냉암소에서 보관하고 7 일 이내에 추출하고 40 일 이내에 분석한다.

표 1. 전체 폐받침목의 개수에 따른 대상 폐받침목의 채취 개수

전체 폐받침목의 개수 (개) ¹	대상 폐받침목의 채취 개수 (개)
200 이하	5
201 이상 500 이하	10
501 이상 1 000 이하	15
1 001 이상 3 000 이하	20

¹ 전체 폐받침목의 개수가 3 000 개를 초과하는 경우에는 3 000 개 이하 당 1 개의 대시료를 만든다.

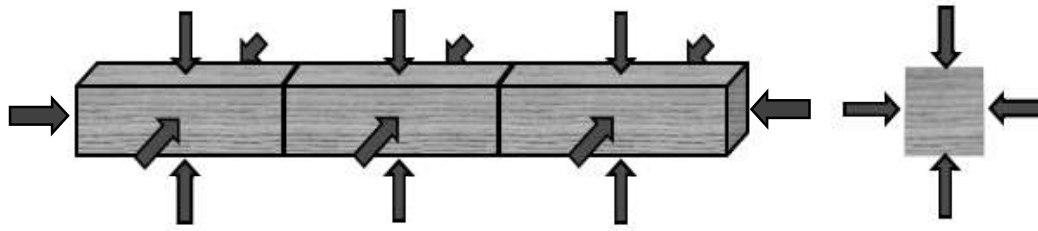


그림 1. 폐받침목의 시료채취 방향

6.0 정도보증/정도관리 (QA/QC)

6.1 방법검출한계 및 정량한계

6.1.1 방법검출한계 및 정량한계는 ES 06001 정도보증/정도관리에 따라 계산한다. PAHs가 없는 것으로 확인된 시료에 정량한계 부근의 농도가 되도록 첨가한 7 개의 첨가시료를 준비하여 7.0 분석절차와 동일하게 추출하여 표준편차를 구한다.

6.1.2 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타낸다. 측정된 정량한계는 표 2에서 제시한 정량한계 이하이어야 한다.

6.2 시약바탕시료의 측정

ES 06001 정도보증/정도관리에 따라 시료군마다 1 개의 시약바탕시료를 측정한다. 시약바탕시료는 7.0 분석절차와 동일하게 전처리·측정하며 측정값은 방법검출한계 이하이어야 한다.

6.3 검정곡선의 작성 및 검증

6.3.1 정량범위 내의 4 개의 이상의 농도에 대해 검정곡선을 작성하고 얻어진 검정곡선의 결정계수 (R^2)가 0.98 또는 감응계수 (RF)의 상대표준편차가 20 % 이내이어야 하며 결정계수나 감응계수의 상대표준편차가 허용범위를 벗어나면 재작성하도록 한다.

6.3.2 검정곡선을 검증하기 위하여 각 시료군마다 1 회의 검정곡선 검증을 실시하는 것이 바람직하다. 검증은 검정곡선의 중간 농도값을 갖는 표준용액의 농도를 측정한다. 측정된 농도값과 표준용액의 농도값 간의 차이가 25 % 이내에서 일치하여야 한다. 만약 이 범위를 넘는 경우, 검정곡선을 재작성한다.

6.4 정확도 및 정밀도

6.4.1 정밀도 및 정확도의 측정은 ES 06001 정도보증/정도관리에 따른다. PAHs가 없는 것으로 확인된 시료에 정량한계 농도의 10 배가 되도록 동일하게 표준물질을 첨가한 시료를 4 개 이상 준비하여, 7.0 분석절차와 동일하게 측정하여 평균값과 표준편차를 구한다.

6.4.2 정확도는 첨가한 표준물질의 농도에 대한 측정 평균값의 상대 백분율로서 나타내며 그 값이 75 % ~ 125 % 이내이어야 한다.

6.4.3 정밀도는 측정값의 % 상대표준편차 (RSD)로 계산하며 측정값이 25 % 이내이어야 한다.

6.5 내부정도관리 주기 및 목표

6.5.1 방법검출한계, 정량한계, 정밀도 및 정확도는 연 1 회 이상 산정하는 것을 원칙으로 하며, 분석자의 교체, 분석 장비의 수리 및 이동 등의 주요 변동사항이 생길 경우에는 다시 실시한다. 단, 장비의 청소 및 측정 장비의 감도가 의심될 때에는 언제든지 측정하여 확인하여야 한다.

6.5.2 검정곡선 검증 및 방법바탕시료의 분석은 각 시료군마다 실시하며, 고농도의 시료 다음에는 방법바탕시료를 측정하여 오염여부를 점검한다.

6.5.3 각 정도관리 항목에 대한 정도관리 목표 값은 표 2와 같다.

7.0 분석절차

7.1 분쇄 또는 파쇄

5.0 시료채취 및 관리에 따라 채취한 각각의 대시료는 직사광선이 닿지 않는 장소에서 24 시간 이상 자연건조시킨 후, 75 μm ~ 150 μm 크기로 분쇄한다. ES 06130.c ‘시료의 채취’ 5.0 시료의 분할 채취 방법에 따라 각각 분석용 시료로 만든다.

7.2 전처리

7.2.1 추출

7.2.1.1 속슬렛 추출법

7.2.1.1.1 분석용 시료로부터 분석에 필요한 양 (1 ~ 2) g을 취해 원통형 추출용기에 넣고 속슬렛 추출기에 장착한다.

[주 1] 대체표준용액 (10 mg/L) 50 μL 를 첨가하여 회수율을 확인할 수 있다.

7.2.1.1.2 1 개 ~ 2 개의 비등석을 넣은 500 mL 둥근바닥플라스크에 다이클로로메탄/아세톤 용액 (1 : 1) 300 mL를 넣은 후, 이 둥근바닥플라스크를 추출장치에 부착시켜 시간당 (4 ~ 6) 사이클을 유지하면서 16 시간 동안 추출한 후 상온에서 냉각한다.

7.2.1.1.3 추출액은 농축기를 이용하여 최종 액량을 1 mL가 되도록 농축한다.

7.2.1.2 고/액 추출법

7.2.1.2.1 분석용 시료 적당량 (1 ~ 2) g을 취해 100 mL 용량의 마개 달린 용기에 넣는다.

7.2.1.2.2 다이클로로메탄/노말 헥산 용액 (1 : 1)을 50 mL을 넣고, 진탕기에 장착한 후 2 시간 동안 추출을 진행한다.

7.2.1.2.3 추출된 용액을 여과하고 농축기를 이용하여 최종 액량을 1 mL가 되도록 농축한다.

7.2.1.3 초음파 추출법

7.2.1.3.1 분석용 시료 적당량 (1 ~ 2) g을 취해 비커에 넣고 다이클로로메탄/노말 헥산 용액 (1 : 1) 50 mL를 넣는다.

7.2.1.3.2 초음파추출기의 원주형 팁을 용매 상부 층으로부터 1.3 cm 내리되 시료에는 닿지 않도록 한다. 이때 초음파추출기의 출력을 최대로 하고, 듀티사이클 (duty cycle)은 50 %에 맞추고 펄스모드는 1 초에 고정한 다음 3 분간 초음파로 추출한다.

[주 2] 시료의 일부 또는 전부가 상부 층에 존재할 경우에는 이 추출 방법을 사용하지 않는다.

7.2.1.3.3 이와 같은 추출조작을 3 회 이상 반복하여 얻어진 추출물을 여지 (5B)를 깬 부호너 깔때기로 진공여과 하거나 원심 분리한 다음, 소량의 추출용매로 씻어낸다.

7.2.1.3.4 추출여액과 세척여액을 합하여 크로마토그래프용 무수황산나트륨을 통과시켜 탈수시킨다.

7.2.1.3.5 추출물은 농축기를 이용하여 최종 액량을 1 mL가 되도록 농축한다.

7.2.2 정제

7.2.2.1 4 % 함수실리카겔 정제

7.2.2.1.1 용매로 세정한 안지름 15 mm, 길이 300 mm의 정제용 컬럼에 무수황산나트륨 약 1 g, 4 % 함수실리카겔 4 g, 무수황산나트륨 1 g을 순차적으로 충전한다.

7.2.2.1.2 농축된 시료를 컬럼 기벽에 묻히지 않고, 상단의 무수황산나트륨이 흘

어지지 않도록 조심스럽게 주입 한 후, 다이클로로메탄/노말 헥산 용액 (1 : 1) 25 mL로 매 초 1 방울 속도로 유출시킨다.

7.2.2.1.3 유출액을 농축기로 약 1 mL로 농축한 후 분석기기로 정량한다.

7.2.2.1.4 실린지 첨가용 내부표준물질 (10 mg/L)을 50 μ L를 첨가한 후 최종액으로 사용한다. 단, 유류를 많이 함유한 시료의 경우 실리카겔 정제를 하지 않고 알루미늄 정제를 할 수 있다.

7.2.2.2 알루미늄 정제

7.2.2.2.1 용매로 세정한 안지름 15 mm, 길이 300 mm의 정제용 컬럼에 무수황산나트륨 약 1 g, 활성알루미나 10 g, 무수황산나트륨 1 g을 순차적으로 충전 한다. 이때 충전 부분이 다소 변색된 경우는 사용하지 않는다.

7.2.2.2.2 농축된 시료가 컬럼의 기벽에 묻지 않고, 상단의 무수황산나트륨이 흡어지지 않도록 조심스럽게 주입한 후, 노말 헥산 100 mL와 다이클로로메탄/노말 헥산 용액 (1 : 9) 50 mL를 연속적으로 매 초 1 방울 속도로 유출시키고 이 유출액은 버린다.

7.2.2.2.3 이어서 다이클로로메탄 40 mL을 매초 1 방울 속도로 유출시킨다.

7.2.2.2.4 유출액을 농축기로 약 1 mL로 농축한 후 실린지 첨가용 내부표준물질 (10 mg/L)을 50 μ L를 첨가하여 최종액으로 사용한다.

7.3 분석방법

7.3.1 추출물 1 μ L ~ 3 μ L를 취하여 기체크로마토그래프에 주입하여 분석한다.

7.3.2 크로마토그램으로부터 각 분석성분 및 내부표준물질의 머무름 시간 (retention time)에 해당하는 피크로부터 면적을 측정한다.

7.4 검정곡선의 작성

7.4.1 10 mL 용량의 부피플라스크에 PAHs 표준용액 (10 mg/L)을 0.1 mL ~ 1 mL 까지의 농도가 되도록 단계별로 각각 취한 후 내부표준용액 (10 mg/L) 500 µL 를 첨가하고 노말 헥산으로 표선을 맞춘다. 단 검정곡선 작성용 표준용액은 정량한 계 이상 농도를 3 개 이상 포함하여야 한다.

[주 4] 대체표준물질 및 내부표준물질을 사용하여 회수율과 최종액량을 보정할 경우 대체 표준용액 (10 mg/L) 500 µL를 첨가한다.

7.4.2 분석대상물질의 각 성분에 대한 면적과 내부표준물질의 면적의 비를 구하여 각 분석대상물질의 농도 (mg/L)를 가로축 (x 축)에, 각 분석대상물질의 면적비를 세로축 (y 축)에 취하여 검정곡선을 작성한다. 시료도 동일한 방법을 적용하여 구한 검정곡선의 관계식에 대입하여 측정한다.

8.0 결과보고

8.1 분석결과 보고

8.1.1 검정곡선에서 얻어진 각각의 분석대상물질 벤조(a)안트라센, 벤조(a)피렌, 다이벤조(a,h)안트라센의 농도를 사용하여 다음의 식으로부터 시료에 있는 대상물질의 농도를 계산한다.

$$\text{대상물질의 농도 (mg/kg)} = \frac{C}{W_d} \times V \times f \quad (\text{식 1})$$

여기서, C : 검정곡선에서 얻어진 분석시료의 농도 (mg/L)

V : 시험용액의 부피 (mL)

W_d : 시료의 중량 (g)

f : 회석배수

8.1.2 농도 측정 결과는 mg/kg으로 표기하며 유효숫자 둘째자리까지 구하고 반올림하여, 결과는 첫째자리로 표시한다. 모든 농도결과는 정량한계를 적용하여 나타내고 정량한계 미만은 불검출로 표시하며, 정량한계 값을 같이 제시한다.

[주 6] 분석용 시료가 2 개 이상인 경우, 시험분석은 각 분석용 시료별로 실시한다.

9.0 참고자료

9.1 환경부, 환경유해인자 공정시험기준, 2014, 크레오소트유 방부목재 - 가스크로마토그래피/질량분석법

9.2 환경부, 토양오염공정시험기준, 2018, 벤조(a)피렌-기체크로마토그래피-질량분석법

9.3 US EPA Method 8100, Polynuclear aromatic hydrocarbons, 1986

9.4 US EPA Method 8270E, Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS)

10.0 부록

표 2. 정도관리 목표 값

정도관리 항목	정도관리 목표
정량한계	0.5 mg/kg
검정곡선	결정계수 (R^2) ≥ 0.98 또는 감응계수 (RF)의 상대표준편차 $\leq 20 \%$
정밀도	상대표준편차 $\pm 25 \%$ 이내
정확도	75 % ~ 125 %

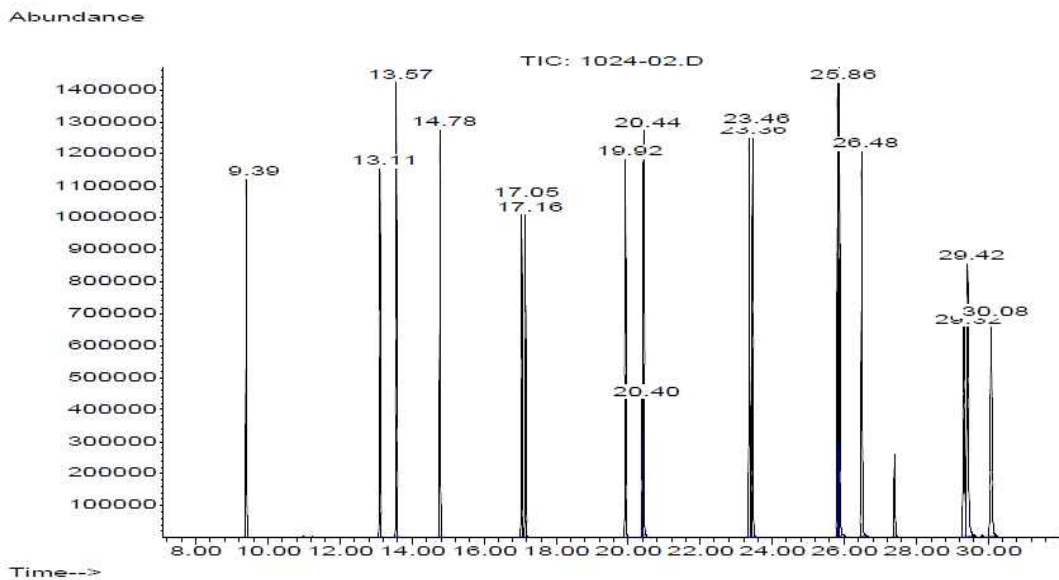
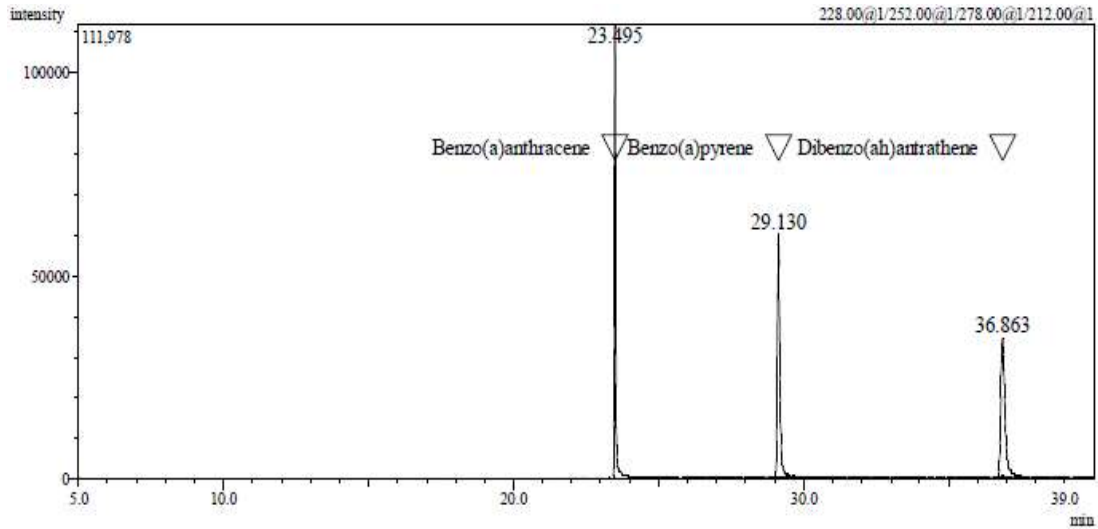
표 3. 다환방향족탄화수소류 (PAHs)의 기체크로마토그래프 실험조건 (예)

항 목	조 건
컬럼	DB-5MS
운반기체 (유속)	30 m (길이) x 0.25 mm (안지름) x 0.25 μ m (필름두께) 헬륨 (1.0 mL/min)
분획비	1/10
주입구온도	250 $^{\circ}$ C
검출기 온도	280 $^{\circ}$ C
오븐온도	초기온도 초기시간 승온속도 최종온도 최종시간 ($^{\circ}$ C) (min) ($^{\circ}$ C/min) ($^{\circ}$ C) (min) 60 5 10 310 15

항 목	조 건
컬럼	Ultra-2 (Cross-linked 5 % phenylmethylsilicon, 30 m (길이) x 0.2 mm (안지름) x 0.33 μ m (필름두께)
운반기체 (유속)	헬륨 (1.0 mL/min)
분획비	1/10
주입구온도	260 $^{\circ}$ C
검출기 온도	300 $^{\circ}$ C
오븐온도	초기온도 초기시간 승온속도 최종온도 최종시간 ($^{\circ}$ C) (min) ($^{\circ}$ C/min) ($^{\circ}$ C) (min) 70 4 10 300 10

표 4. 다환방향족탄화수소류 (PAHs)의 선택이온

물질명	분자량	제1선택이온 (m/z)	제2선택이온 (m/z)
Benz(a)anthracene	228	228	226
Benzo(a)pyrene	304	252	250
Dibenzo(a,h)anthracen	277	202	101
d10-pyrene	291	212	
d12-chrysene	323	240	120, 236



표준용액 10 mg/L (9.39 min : Naphthalene, 13.11 min : Acenaphthylene, 13.57 min : Acenaphthene, 14.78 min : Fluorene, 17.05 min : Phenanthrene, 17.16 min : Anthracene, 19.92 min : Fluoranthene, 20.40 min : Pyrene-d10(ISTD), 20.44 min : Pyrene, 23.36 min : Benzo(a)anthracene, 23.46 min : Chrysene, 25.81 min : Benzo(b)fluoranthene, 25.86 min : Benzo(k)fluoranthene, 26.48 min : Benzo(a)pyrene, 29.32 min : Indeno(1,2,3-cd)pyrene, 29.42 min : Dibenzo(a,h)anthracene, 30.08 min : Benzo(ghi)perylene

※ 토양오염공정시험기준 ES 07551.1c, 벤조(a)피렌-기체크로마토그래피-질량분석법 참조

그림 2. 다환방향족탄화수소 표준물질의 GC-MS 크로마토그램 (예)