

휘발성유기화합물-퍼지·트랩-

2025

기체크로마토그래피-질량분석법

(Volatile Organic Compounds-Purge·Trap-

Gas Chromatography-Mass Spectrometry)

1.0 개요

1.1 목적

이 시험기준은 먹는물, 샘물 및 염지하수 중에 휘발성유기화합물들을 동시 측정하는 방법으로, 시료 중에 휘발성유기화합물을 불활성기체로 퍼지 (purge)시켜 기상으로 추출한 다음 트랩관으로 흡착·농축하고, 가열·탈착시켜 모세관 컬럼을 사용한 기체크로마토그래피-질량분석기로 분석하는 방법이다.

1.2 적용범위

1.2.1 이 시험기준은 먹는물, 샘물 및 염지하수 중에 디클로로메탄 (dichloromethane), 벤젠 (benzene), 톨루엔 (toluene), 에틸벤젠 (ethylbenzene), 크실렌 (xylene), 총트리할로메탄 (THMs; 클로로포름, 브로모디클로로메탄, 디브로모클로로메탄, 브로모폼), 1,1,1-트리클로로에탄 (1,1,1-trichloroethane), 트리클로로에틸렌 (TCE ; trichloroethylene), 테트라클로로에틸렌 (PCE ; tetrachloroethylene), 1,1-디클로로에틸렌 (1,1-dichloroethylene), 1,2-디브로모-3-클로로프로판 (1,2-dibromo-3-chloropropane), 사염화탄소 (tetrachlorocarbon) 등의 휘발성유기화합물의 분석에 적용한다.

1.2.2 이 시험기준에 의해 먹는물, 샘물 및 염지하수 시료 중에 각 휘발성유기화합물들의 정량한계는 0.001 mg/L이다.

1.2.3 이 시험기준에 의해 분리되지 않는 *m,p*-크실렌 이성질체들은 합하여 정량한다.

1.2.4 이 시험기준으로 용해도가 2% 이상이거나 끓는점이 200 °C 이상인 화합물은 낮은 회수율을 보인다.

1.3 간섭물질

1.3.1 퍼지 (purge)기체나 트랩 연결관 등의 오염, 실험실 공기 속에 기화된 용매가 오염원이 될 수 있다. 따라서 바탕시료를 사용하여 이를 점검하여야 한다.

1.3.2 폴리테트라플루오로에틸렌(PTFE) 재질이 아닌 튜브, 봉합제 및 유속조절제의 사용을 피해야 한다.

1.3.3 디클로로메탄은 보관이나 운반 중에 격막 (septum)을 통해 확산되어 시료에 오염되거나, 공기로부터 직접 오염되고, 옷에 흡착하였다가 오염될 수 있으므로 바탕시료를 사용하여 점검하여야 한다.

1.3.4 높은 농도의 시료와 낮은 농도의 시료를 연속하여 분석할 때에는 오염이 될 수 있으므로 시료 분석 사이에 바탕시료를 분석하여 점검하여야 한다.

1.3.5 많은 양의 수용성물질, 부유물질, 고비점 또는 휘발성물질을 함유하는 시료를 분석한 후에는 퍼지 (purge) 장치들을 세척한 후 105 °C 오븐 안에서 건조시켜 사용하는 것이 좋다.

1.3.6 높은 순도의 메탄올이나 아세톤에도 디클로로메탄 등의 유기용매가 존재할 수 있으므로 이를 사용하여 표준용액을 조제하기 전에 확인해야 한다.

2.0 용어 정의

2.1 퍼지·트랩 장치

퍼지·트랩 장치는 퍼지부, 트랩관, 탈착부 및 냉각응축부 (cryofocus) 등으로 구성된다. 퍼지부는 5 mL ~ 25 mL의 시료를 주입할 수 있는 스파저 (sparger)와 시료를 일정한도로 가열할 수 있는 가열장치가 있다. 트랩관은 길이 5 cm ~ 30 cm, 안지름 2 mm의 스테인리스 강관에 흡착제를 충전시키고 흡착 후 가열·탈착할 수 있는 가열부

내부에 있다. 냉각응축부에 사용하는 모세관 컬럼은 냉각 후 가열이 가능하여야 한다.

2.2 냉각응축 (cryofocus)

분석물질이 트랩관에 흡착 후 탈착할 때 시간차이가 발생하여 피크 간에 분리능이 나빠지는데 이를 개선하기 위해 탈착 후 냉각·응축시키는 방법을 사용한다. 작동방법은 0.20 mm ~ 0.53 mm의 모세관컬럼을 -50 °C ~ -150 °C 정도로 냉각시켜 휘발성물질을 응축시킨 후 200 °C 정도로 급속 가열하면 휘발성물질이 휘발되어 기체크로마토그래프로 주입된다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 기체크로마토그래프

3.1.1 컬럼은 안지름 0.20 mm ~ 0.35 mm, 필름두께 0.2 µm ~ 0.50 µm, 길이 15 m ~ 60 m의 cross-linked methylsilicon(DB-1, HP-1 등) 또는 cross-linked 5% phenylmethylsilicon(DB-5, HP-5 등) 등의 모세관이나 동등한 분리성능을 가진 모세관으로 대상 분석 물질의 분리가 양호한 것을 택하여 시험한다.

3.1.2 운반기체는 부피백분율 99.999 % 이상의 헬륨 또는 질소로서 유량은 0.5 mL/min ~ 4 mL/min, 시료도입부 온도는 120 °C ~ 250 °C, 컬럼온도는 30 °C ~ 250 °C로 사용한다.

3.1.3 기체크로마토그래프의 조건은 표 3과 같이 수행할 수 있다.

3.2 질량분석기 (mass spectrometer)

3.2.1 이온화방식은 전자충격법 (EI, electron impact)을 사용하며 이온화에너지는 35 eV ~ 70 eV를 사용한다.

3.2.2 질량분석기는 자기장형 (magnetic sector), 사중극자형 (quadrupole) 및 이온트랩형 (ion trap) 등을 사용한다.

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

3.3 퍼지·트랩장치

3.3.1 퍼지부, 트랩관, 탈착부 및 냉각응축부 (cryofocus) 등으로 구성된다.

3.3.2 퍼지부는 5 mL ~ 25 mL의 시료를 주입할 수 있는 스파저 (sparger)와 시료를 일정 온도로 가열할 수 있는 가열장치가 있어야 한다.

3.3.3 트랩관은 길이 5 cm ~ 30 cm, 안지름 2 mm 이상의 스테인리스 강관에 휘발성 유기화합물을 흡착·농축할 수 있는 충전제가 충전된 것 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 것이어야 한다.

3.3.4 탈착부는 트랩관에 포집된 휘발성유기화합물을 가열·탈착할 수 있는 가열장치 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 것이어야 한다.

3.3.5 냉각응축부는 안지름 0.20 mm ~ 0.53 mm의 모세관을 -50 °C ~ -150 °C 정도로 냉각이 가능하고, 또한 약 200 °C 정도로 가열이 가능한 장치 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 것이어야 한다. 경우에 따라 냉각 응축과정은 생략해도 좋다.

3.3.6 일반적으로 트랩은 2,6-다이페닐렌옥사이드폴리머 (Tenax-GC)/실리카겔/활성탄 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 것으로 충진하여 사용하거나 상업적으로 제조하여 판매하는 것을 사용한다.

3.3.7 퍼지·트랩장치는 표 5와 같이 실시할 수 있다.

4.0 시약 및 표준용액

4.1 시약

4.1.1 정제수

시약용 정제수를 사용하거나, 정제수를 15 분간 끓인 후 90 °C를 유지하면서 불활성 기체로 1 시간 퍼지 (purge)하여 휘발성유기물질을 제거하고 병 구멍이 작은 유리병에 넣은 다음 마개를 한다. 바탕시험 할 때 표준물질의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

4.1.2 염산 (1 + 1)

염산 (hydrochloric acid, HCl, 분자량 : 36.46)과 정제수를 같은 부피로 혼합하여 조제한다. 바탕시험 할 때 표준물질의 피크 부근에 불순물 피크가 없는 것을 사용한다.

4.1.3 메탄올

메탄올 (methanol, CH₃OH, 분자량 : 32.04)은 바탕시험 할 때 표준물질의 피크 부근에 불순물피크가 없는 것을 사용한다.

4.1.4 이산화비소산나트륨용액

이산화비소산나트륨 (sodium arsenite, NaAsO₂, 분자량 : 139.92) 0.50 g을 정제수에 녹여 100 mL로 한다.

4.1.5 2,6-다이페닐렌옥사이드폴리머

2,6-다이페닐렌옥사이드폴리머 (Tenax-GC, 2,6-diphenylene oxide polymer)는 크로마토그래프용으로 60 메쉬 ~ 80 메쉬의 것을 사용한다.

4.1.6 실리카겔

실리카겔 (silicagel, SiO₂·nH₂O)은 크로마토그래프용 35 메쉬 ~ 60 메쉬의 것(그레이드 15)을 사용한다.

4.1.7 활성탄

활성탄 (charcoal)은 크로마토그래프용으로서 26 메쉬의 체를 통과한 것을 사용한다.

4.1.8 티오황산나트륨

티오황산나트륨 · 5수화물 (sodium thiosulfate pentahydrate, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 분자량 : 248.18)은 순도 98 % 이상의 분석용 시약을 사용한다.

4.1.9 아스코르빈산

아스코르빈산 (ascorbic acid, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$, 분자량 : 176.12)은 순도 98 % 이상의 분석용 시약을 사용한다.

4.2 표준용액

4.2.1 휘발성유기화합물 표준원액 (1 000 mg/L)

디클로로메탄, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *o*-크실렌, *m*-크실렌, *p*-크실렌, 클로로포름, 브로모디클로로메탄, 디브로모클로로메탄, 브로모폼, 1,1,1-트리클로로에탄, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 1,1-디클로로에틸렌, 사염화탄소, 1,2-디브로모-3-클로로프로판은 고순도 (99 % 이상)의 특급시약을 사용하여 아래와 같이 조제하여 사용할 수 있다. 그리고 국제적으로 인증된 표준물질을 구입하여 사용하는 것이 좋다.

[주 1] 표준물질 제조회사에 따라 200 mg/L ~ 2 000 mg/L의 다른 농도로 제조하여 판매한다.

4.2.1.1 25 mL 부피플라스크에 메탄올 20 mL를 넣고 휘발성유기화합물 표준물질 약 25 mg을 주사기로 메탄올 가운데에 주입한 후 정확하게 무게 증가량을 잰 후 메탄올로 표선까지 채워 정확한 원액의 농도를 구한다.

4.2.1.2 각각의 표준물질의 첨가량을 구하여 표준원액의 농도(mg/L)를 구한다. 이 용액은 될 수 있는 대로 여러 개의 바이알에 공기층이 남지 않도록 나누어 넣은 다음 밀봉하여 냉장고(4 ℃ 이하)에서 보존하고, 4 주 이내에 사용한다.

4.2.2 휘발성유기화합물 혼합표준용액 (10.0 mg/L)

25 mL 부피플라스크에 디클로로메탄, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, *o*-크실렌, *m*-크실렌, *p*-크실렌, 클로로포름, 브로모디클로로메탄, 디브로모클로로메탄, 브로모폼, 1,1,1-트리클로로에탄, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 1,1-디클로로에틸렌, 사염화탄소, 1,2-디브로모-3-클로로프로판은 각각 250 µg에 해당하는 표준원액을 넣고 메탄올로 표선까지 채운 다음 마개를 하고 플라스크를 흔들어서 혼합한다. 이 용액은 될 수 있는 대로 여러 개의 바이알에 공기층이 남지 않도록 나누어 넣은 다음 밀봉하여 냉장고에 보존하고, 조제 후 4 주 이내에 사용한다.

4.2.3 휘발성유기화합물 혼합표준용액 (1.0 mg/L)

50 mL 부피플라스크에 표준용액 (10.0 mg/L) 5.0 mL를 넣고 메탄올로 표선까지 채운 다음 마개를 하고 플라스크를 흔들어서 혼합한다. 이 용액은 될 수 있는 대로 여러 개의 바이알에 공기층이 남지 않도록 나누어 넣은 다음 밀봉하여 냉장고에 보존하고, 조제 후 4 주 이내에 사용한다.

4.3 내부표준용액

4.3.1 내부표준원액 (1 000 mg/L)

25 mL 부피플라스크에 메탄올 5.0 mL를 넣고 플루오로벤젠 또는 1,2-디클로로벤젠-*d*₄ 표준물질 약 25 mg을 주사기로 메탄올 가운데에 주입한 후 정확하게 무게 증가량을 잰 후 메탄올로 표선까지 채워 정확한 원액의 농도를 구한다.

4.3.2 내부표준용액 (10.0 mg/L)

25 mL 부피플라스크에 플루오로벤젠 또는 1,2-디클로로벤젠-*d*₄ 표준원액 (1 000 mg/L) 250 µL를 넣고 메탄올로 표선까지 채운 다음 마개를 하고 플라스크를 흔들어서 혼합한다. 이 용액은 될 수 있는 대로 여러 개의 바이알에 공기층이 남지 아니하도록 나누어 넣은 다음 밀봉하여 냉장고에 보존하고, 조제 후 4 주 이내에 사용한다.

4.3.3 내부표준용액 (1.0 mg/L)

50 mL 부피플라스크에 표준용액 (10.0 mg/L) 5.0 mL를 넣고 메탄올로 표선까지 채운

다음 마개를 하고 플라스크를 흔들어서 혼합한다. 이 용액은 될 수 있는 대로 여러 개의 바이알에 공기층이 남지 않도록 나누어 넣은 다음 밀봉하여 냉장고에 보존하고, 조제 후 4 주 이내에 사용한다.

5.0 시료채취 및 관리

5.1 기포가 생기지 아니하도록 조심스럽게 시료를 채취하고 pH가 약 2 이하가 되도록 즉시 염산을 넣고 시료를 가득 채운 후 공기가 들어가지 않도록 주의하여 밀봉한다. 잔류염소 제거를 위한 시약은 잔류염소 4 mg/L 이하인 시료 1 L 기준으로, 아스코르빈산 (ascorbic acid) 200 g/L를 3 mL 또는 티오황산나트륨 (sodium thiosulfate) 80 g/L를 1 mL에 준하여 첨가하고 동일한 방법으로 pH 조절과 시료채취를 진행한다. 모든 시료를 중복으로 채취한다.

[주 2] 잔류염소가 함유되어 있는 경우에는 잔류염소를 완전히 제거한 후에 pH를 조절한다.

5.2 시료는 1 °C ~ 5 °C 냉암소에서 보관한다.

5.3 모든 시료는 채취 후 14 일 이내에 분석해야 한다.

5.4 시료에 염산을 가하였을 때에 거품이 생기면 그 시료는 버리고 산을 가하지 않은 채로 두 개의 시료를 채취한다. 산을 가하지 않은 시료는 24 시간 이내에 분석해야 한다.

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)

6.1 방법검출한계 및 정량한계

6.1.1 방법검출한계 (MDL, method detection limit) 및 정량한계 (LOQ, limit of quantitation)는 ES 05001 정도보증/정도관리에 따라 계산한다. 정제수에 정량한계 부근의 농도가 되도록 분석물질을 첨가한 시료 7 개를 준비하고 각 시료를 7.0 분석절차와 동일하게 측정하여 표준편차를 구한다.

6.1.2 표준편차에 3.14를 곱한 값을 방법검출한계로, 10을 곱한 값을 정량한계로 나타

낸다. 측정 한 방법검출한계는 표 1에서 제시한 정량한계 이하이어야 한다.

6.2 방법바탕시료의 측정

ES 05001 정도보증/정도관리에 따라 시료군마다 1 개의 방법바탕시료 (method blank)를 측정한다. 방법바탕시료는 정제수를 사용하여 7.0 분석절차와 동일하게 전처리 · 측정하며 측정값은 방법검출한계 이하이어야 한다.

6.3 검정곡선의 작성 및 검증

6.3.1 검정곡선의 작성 및 검증은 ES 05001 정도보증/정도관리에 따른다. 정량범위 내의 5 개의 농도에 대해 검정곡선을 작성하고 얻어진 검정곡선의 결정계수 (R^2)가 0.98 이상 또는 감응계수 (RF)의 상대표준편차가 25 % 이내이어야 하며 결정계수나 감응계수의 상대표준편차가 허용범위를 벗어나면 재작성한다.

6.3.2 검정곡선의 직선성을 검증하기 위하여 정량범위를 0.001 mg/L ~ 0.05 mg/L로 검정곡선을 작성 한다. 그러나 측정값이 이 농도범위를 벗어날 경우에는 시료를 묽혀서 다시 분석한다.

6.3.3 검정곡선의 감응계수를 검증하기 위하여 검정곡선의 중간 농도에서 한 농도를 선택하여 감응계수 (RF)를 구하여 그 값의 변화가 25 % 이내에서 일치하여야 한다. 만약 이 범위를 넘는 경우, 검정곡선을 재작성한다.

6.4 정밀도 및 정확도

6.4.1 정밀도 (precision) 및 정확도 (accuracy)의 측정은 ES 05001 정도보증/정도관리에 따른다. 정제수에 정량한계 농도의 10 배가 되도록 동일하게 표준물질을 첨가한 시료를 4 개 이상 준비하고, 7.0 분석절차와 동일하게 측정하여 평균값과 표준편차를 구한다.

6.4.2 정확도는 인증시료를 확보할 수 있는 경우 인증표준물질을 분석한 결과값과 인증값과의 상대백분율로 나타내고, 인증시료를 확보할 수 없는 경우 이를 정확한 농도로 첨가한 시료로 대체한다. 이 때 정확도는 첨가시료를 분석한 농도와 첨가하지 않은 시료를 분석한 농도와의 차이에 대한 첨가농도의 상대백분율로서 나타내며 그 값이 75 % ~

125 % 이내이어야 한다.

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

6.5 현장 이중시료의 측정

현장 이중시료 (field duplicate sample)는 동일한 장소에서 동일한 조건으로 중복 채취한 시료로서 한 조사팀이 하루에 20 개 이하를 채취할 경우에는 1 개를 그리고 그 이상을 채취할 때에는 시료 20 개당 1 개를 추가로 취한다. 동일한 조건에서 중복 채취한 두 시료간의 측정값 편차는 25 % 이하이어야 한다.

6.6 내부정도관리 주기 및 목표

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

6.6.2 검정곡선 검증 및 시약바탕시료의 분석은 각 시료군마다 실시하며, 고농도의 시료 다음에는 시약바탕시료를 측정하여 오염여부를 점검한다.

6.6.3 각 정도관리 항목에 대한 정도관리 목표 값은 표 1과 같다.

7.0 분석절차

7.1 전처리

7.2 검정곡선의 작성

7.2.1 기밀주사기나 자동주입기로 정제수 5 mL(경우에 따라 시료의 양을 증가시킬 수 있다)를 정확히 취하여 스파저에 주입한 다음, 휘발성유기화합물 혼합표준용액(1.0 mg/L)을 0 μ L, 5 μ L, 10 μ L, 50 μ L, 100 μ L, 200 μ L, 250 μ L 단계적으로 취하여 넣고 혼

합내부표준용액 (1.0 mg/L)을 정확히 50 μ L를 취하여 시료에 첨가한다. 조제한 검정곡선용 표준용액의 농도는 시료 중의 농도로 계산하면 0 mg/L, 0.001 mg/L, 0.002 mg/L, 0.010 mg/L, 0.020 mg/L, 0.040 mg/L, 0.050 mg/L에 해당되며 필요에 따라 사용하는 표준용액의 농도와 개수를 달리 할 수 있다.

[주 3] 시료분석결과 이 검정곡선 농도범위를 벗어나면 시료를 희석해서 재분석하여야 한다.

7.2.2 일정 온도에서 휘발성유기화합물을 퍼지 (purge)시켜 트랩에서 포집한 다음 가열 탈착시켜 기체크로마토그래프-질량분석기로 주입한다.

7.2.3 휘발성유기화합물의 농도 (C_x)를 취하여 가로축 (x축)에, 크로마토그램으로부터 휘발성유기화합물의 피크 면적 (A_x)과 내부표준물질의 피크 면적 (A_i)과의 비 (A_x/A_i)를 세로축 (y축)에 취하여 검정곡선을 작성한다. 두 개의 내부표준물질 중에 머무름 시간이 가까운 것으로 선택한다.

[주 4] 피크의 면적 대신 피크의 높이를 사용할 수 있으나 피크 면적을 사용하는 것이 바람직하다.

7.3 측정법

7.3.1 기밀주사기 또는 자동주입기로 시료 5 mL(장치에 따라 부피를 달리할 수 있다.)를 정확히 취하여 바이알 또는 스파저 내에 주입한 다음, 혼합내부표준용액(1.0 mg/L)을 정확히 50 μ L를 취하여 시료에 첨가한다.

7.3.2 일정 온도에서 휘발성유기화합물을 퍼지 (purge)시켜 트랩에서 포집한 다음 가열 탈착시켜 기체크로마토그래프-질량분석기에 주입한다.

7.3.3 기체크로마토그래프-질량분석기로부터 얻은 크로마토그램에서 각 분석성분 및 내부표준물질의 머무름 시간에 해당하는 위치의 피크들로부터 피크 면적을 측정하여 휘발성유기화합물의 피크 면적 (A_x)과 내부표준물질의 피크 면적 (A_i)과의 비 (A_x/A_i)를 구한다. 두 개의 내부표준물질 중에 머무름 시간이 가까운 것으로 선택한다.

8.0 결과보고

8.1 계산

각 분석물질별로 내부표준물질에 대한 면적 비 (A_x/A_i)를 구한 다음 검정곡선식의 $y(i)$ 값에 대입하여 $x(i)$ 값을 계산하면 분석물질의 농도(C_s , mg/L)를 구할 수 있다.

$$C_s \text{ (mg/L)} = \frac{\frac{A_x}{A_i} - b}{a} \quad (\text{식 1})$$

여기서, A_x/A_i : 분석물질과 내부표준물질에 대한 면적 비

a : 검정곡선의 기울기

b : 검정곡선의 절편 값

C_s : 분석물질의 농도(mg/L)

8.2 결과보고

행정사항과 관련된 항목별 시험결과의 표시는 ES 05003의 먹는물 수질기준의 표시한 계 및 결과표시에 따른다.

9.0 참고자료

9.1 US EPA Method 524.2, “Measurement of purgeable organic compounds in water by capillary column gas chromatography/mass spectrometry”, EPA, (1992)

9.2 US EPA Method 624, “Purgeables, Method for Organic Chemical Analysis of Municipal and Industrial Wastewater”, EPA, (1991)

9.3 Standard Methods, 6010D, “Purge and Trap Capillary-Column Gas Chromatographic/Mass Spectrometric Method”, (2017)

9.4 일본환경수질분석법 4.3.2, 제3법

9.5 수질오염공정시험기준 ES 04603.1, “휘발성유기화합물-퍼지·트랩/기체크로마토그래피-질량분석법”, 국립환경과학원, (2022)

10.0 부록

표 1. 정도관리 목표 값

정도관리 항목	정도관리 목표
정량한계	0.001 mg/L
검정곡선	결정계수 (R^2) ≥ 0.98 또는 감응계수 (RF)의 상대표준편차 $\leq 25\%$
정밀도	상대표준편차 25% 이내
정확도	$75\% \sim 125\%$
현장 이중시료	상대편차백분율 $\pm 25\%$ 이내

표 2. 휘발성유기화합물의 정량한계

휘발성유기화합물의 종류	정량한계(mg/L)
디클로로메탄	0.001
벤젠	0.001
톨루엔	0.001
에틸벤젠	0.001
<i>o</i> -크실렌	0.001
<i>m,p</i> -크실렌	0.001
클로로포름	0.001
브로모디클로로메탄	0.001
디브로모클로로메탄	0.001
브로모폼	0.001
1,1,1-트리클로로에탄	0.001
트리클로로에틸렌	0.001
테트라클로로에틸렌	0.001
1,1-디클로로에틸렌	0.001
사염화탄소	0.001
1,2-디브로모-3-클로로프로판	0.001

표 3. 휘발성유기물질의 기체크로마토그래프 실험조건(예)

항 목	조 건				
컬럼	Ultra-2 (cross-linked 5 % phenylmethylsilicon, 25 m 길이 x 0.2 mm 안지름 x 0.33 μ m 필름두께)				
운반기체(유속)	헬륨(1.0 mL/min)				
분획비	1/10				
주입구 온도	200 $^{\circ}$ C				
인터페이스 온도	250 $^{\circ}$ C				
오븐온도	초기온도	초기시간	승온속도	최종온도	시간
	($^{\circ}$ C)	(min)	($^{\circ}$ C/min)	($^{\circ}$ C)	(min)
	35	7	5.0	50	0
			10.0	150	0

표 4. 휘발성유기화합물의 질량스펙트럼 특성 이온들

물 질 명	분자량	제1선택이온(m/z)	제2선택이온(m/z)
플루오로벤젠	96	96	77
1,2-디클로로벤젠- d_4	150	152	115, 150
디클로로메탄	84	84	86, 49
벤젠	78	78	77
톨루엔	92	91	92
에틸벤젠	106	91	106, 77
<i>o</i> -크실렌	106	106	91, 77
<i>m</i> -크실렌	106	106	91, 77
<i>p</i> -크실렌	106	106	91, 77
클로로포름	118	83	47, 85
브로모디클로로메탄	162	83	85, 127
디브로모클로로메탄	206	129	127, 131
브로모폼	250	173	171, 175
1,1,1-트리클로로에탄	132	97	99, 61
트리클로로에틸렌	130	95	130, 132
테트라클로로에틸렌	164	166	129, 168
1,1-디클로로에틸렌	96	61	96, 98
사염화탄소	152	117	119, 121
1,2-디브로모-3-클로로프로판	237	157	155, 75

표 5. 휘발성유기화합물에 대한 퍼지·트랩장치의 실험조건(예)

항목	조건
퍼지 속도(퍼지기체)	40 mL/min(He)
탈착 속도(탈착기체)	20 mL/min(He)
수분제거부 준비온도	100 ℃
퍼지 시간	11 min
건조퍼지 시간	5 min
수분제거부 탈착온도	35 ℃
냉각응축온도	-150 ℃
탈착온도(시간)	220 ℃(1 min)
주입 시간(온도)	0.7 min(200 ℃)
재생 시간(온도)	10 min(225 ℃)

표 6. 혼합 휘발성유기화합물 표준물질과 머무름 시간(예)

물질명	머무름 시간 (분)	물질명	머무름 시간 (분)
염화비닐	1.64	1,1,1,2-테트라클로로에테인	9.79
클로로에테인	1.76	에틸벤젠	10.29
1,1-디클로로에틸렌	2.02	<i>m,p</i> -크실렌	10.67
디클로로메탄	2.09	브로모폼	11.11
trans-1,2-디이클로로에틸렌	2.28	스타이렌	11.52
1,1-디클로로에테인	2.39	<i>o</i> -크실렌	11.57
<i>cis</i> -1,2-디클로로에틸렌	2.68	1,1,2,2-테트라클로로에테인	12.30
브로모클로로메테인	2.79	1,2,3-트리클로로프로페인	12.58
클로로포름	2.79	아이소프로필벤젠	12.75
1,1,1-트리클로로에탄	3.18	브로모벤젠	12.95
1,2-디클로로에테인	3.24	2-클로로톨루엔	13.72
1,1-디클로로프로펜	3.36	N-프로필벤젠	13.90
벤젠	3.45	4-클로로톨루엔	14.01
사염화탄소	3.45	1,2,4-트라이메틸벤젠	14.43
1,2-디클로로프로페인	4.27	<i>tert</i> -부틸벤젠	15.26
트리클로로에틸렌	4.27	1,3,5-트라이메틸벤젠	15.33

(표 계속)

물질명	머무름 시간 (분)	물질명	머무름 시간 (분)
디브로모에테인	4.31	1,3-다이클로로벤젠	15.71
브로모디클로로메탄	4.46	sec-부틸벤젠	15.98
cis-1,3-디클로로프로펜 (<i>Z</i>)	5.61	1,4-다이클로로벤젠	15.98
톨루엔	6.61	p-아이소프로필톨루엔	16.42
trans-1,3-디클로로프로펜 (<i>E</i>)	6.61	1,2-다이클로로벤젠	16.72
1,1,2-트리클로로에테인	6.75	N-부틸벤젠	17.48
1,3-디클로로프로페인	7.28	1,2-디브로모-3-클로로프로판	18.26
디브로모클로로메탄	7.58	1,2,4-트라이클로로벤젠	21.29
1,2-디브로모에테인	8.01	나프탈렌	21.50
테트라클로로에틸렌	8.15	1,2,3-트라이클로로벤젠	22.36
클로로벤젠	9.66	헥사클로로부타다이엔	22.47

Abundance

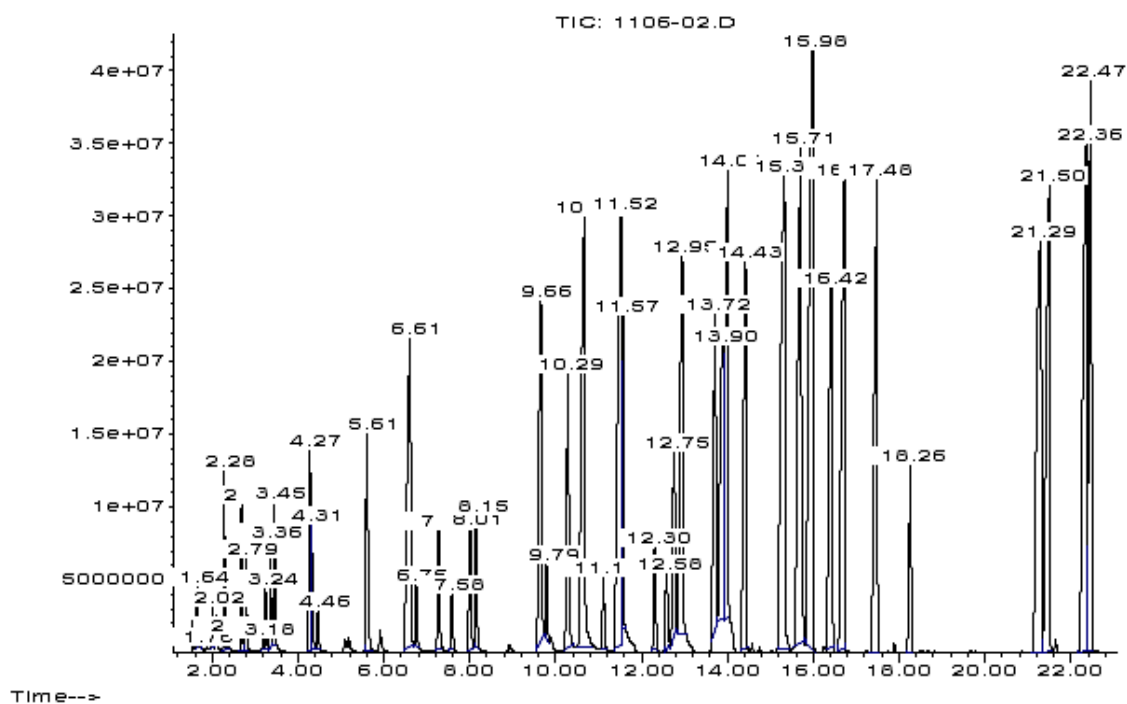
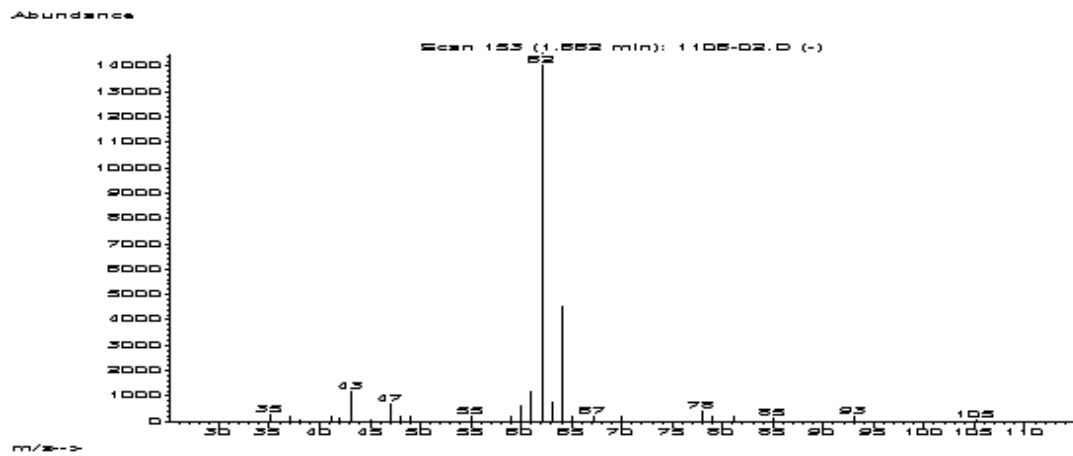
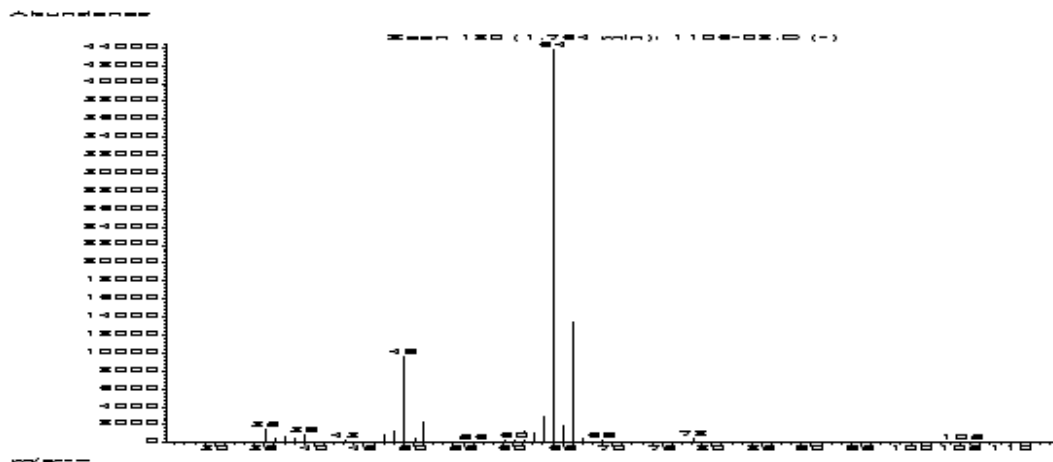


그림 1. 혼합 휘발성유기화합물 표준물질의 GC-MS 크로마토그램(예)

염화비닐(1.64 min)



클로로에테인(1.76 min)



1,1-디클로로에틸렌(2.02min)

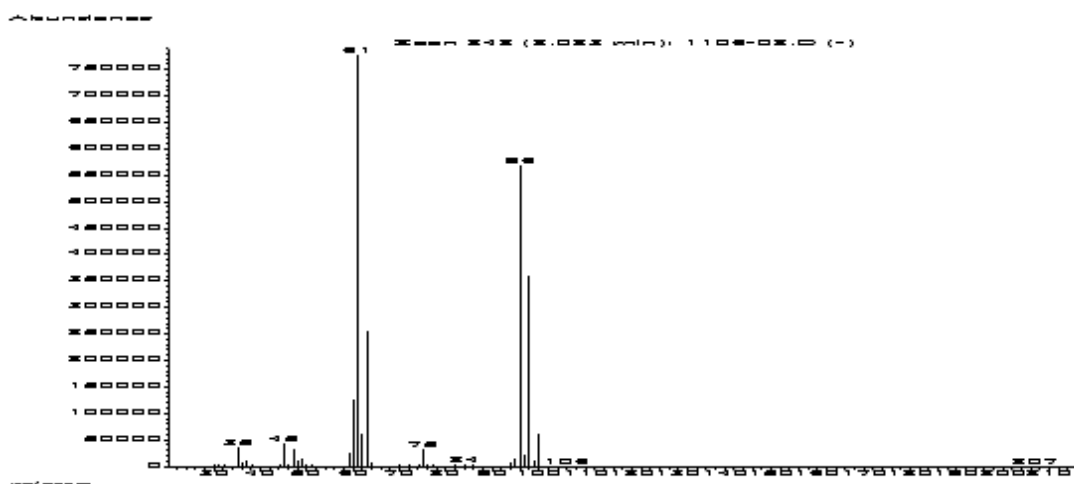
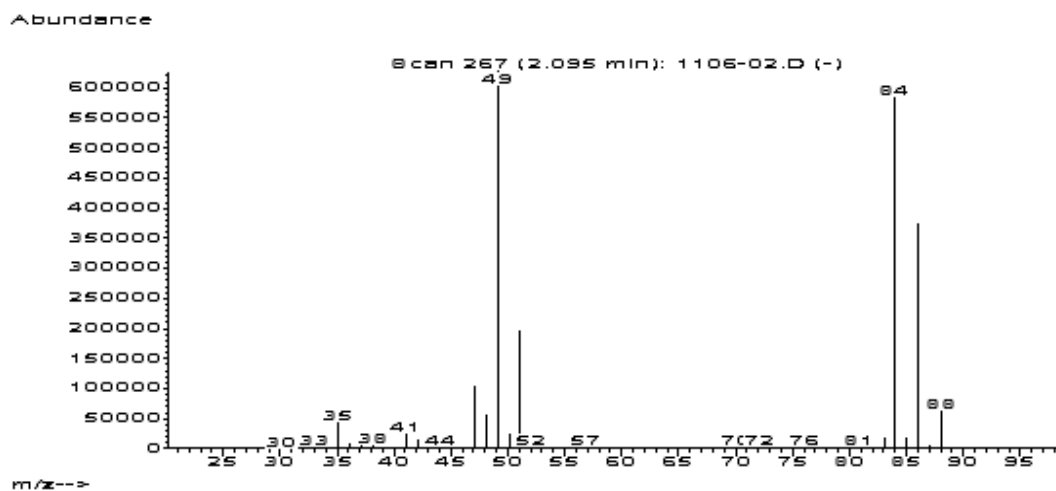
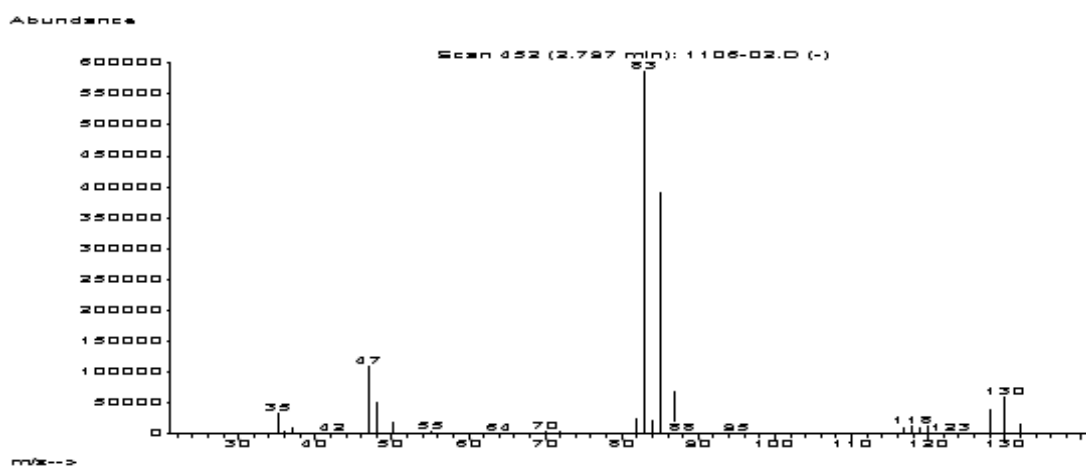


그림 2. 휘발성유기화합물의 질량스펙트럼

디클로로메탄(2.09 min)



클로로포름(2.79 min)



1,1,1-트리클로로에탄(3.18 min)

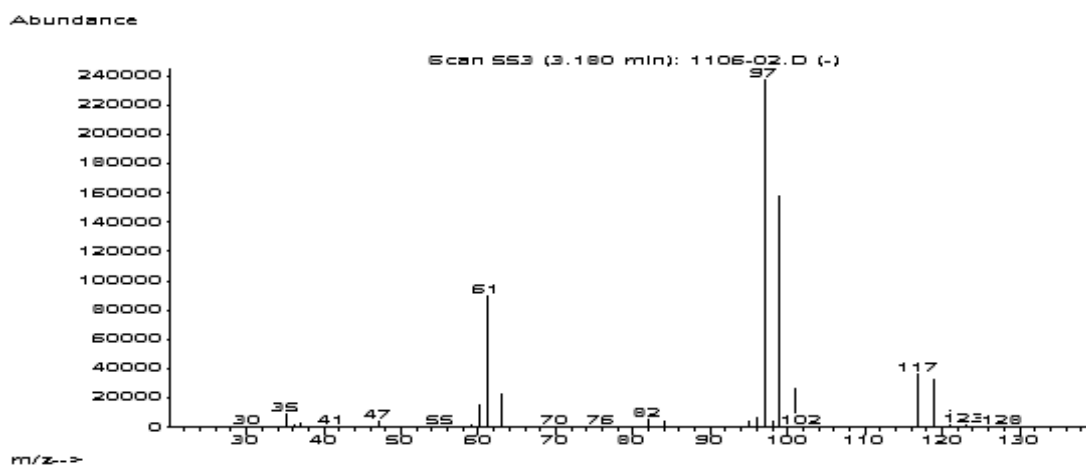
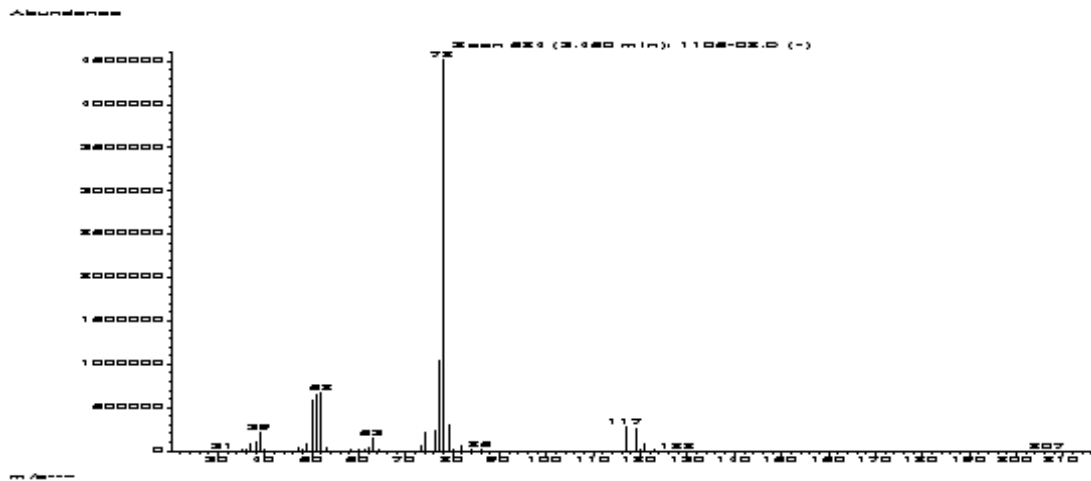
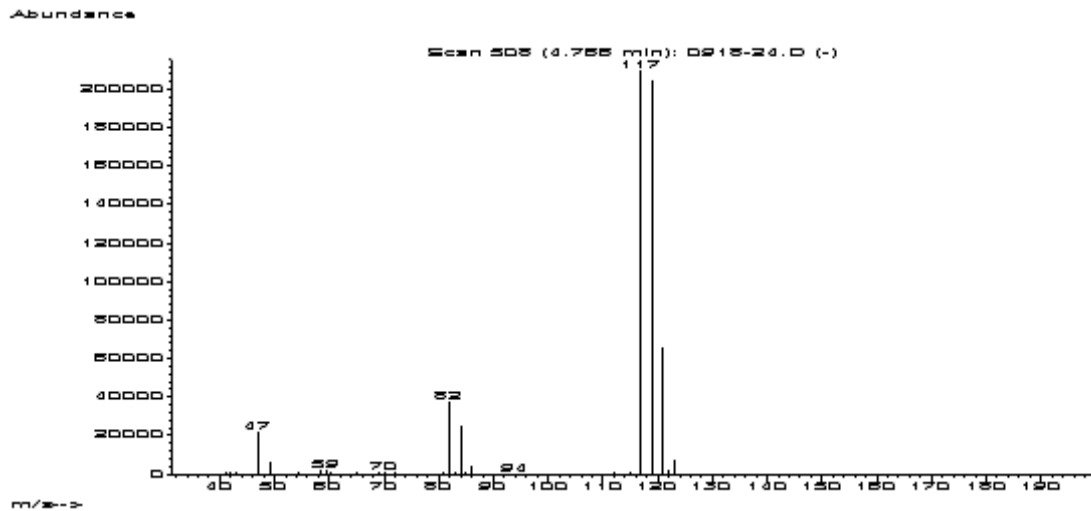


그림 2. 계속

벤젠(3.45 min)



사염화탄소(3.45 min)



트리클로로에틸렌(4.27 min)

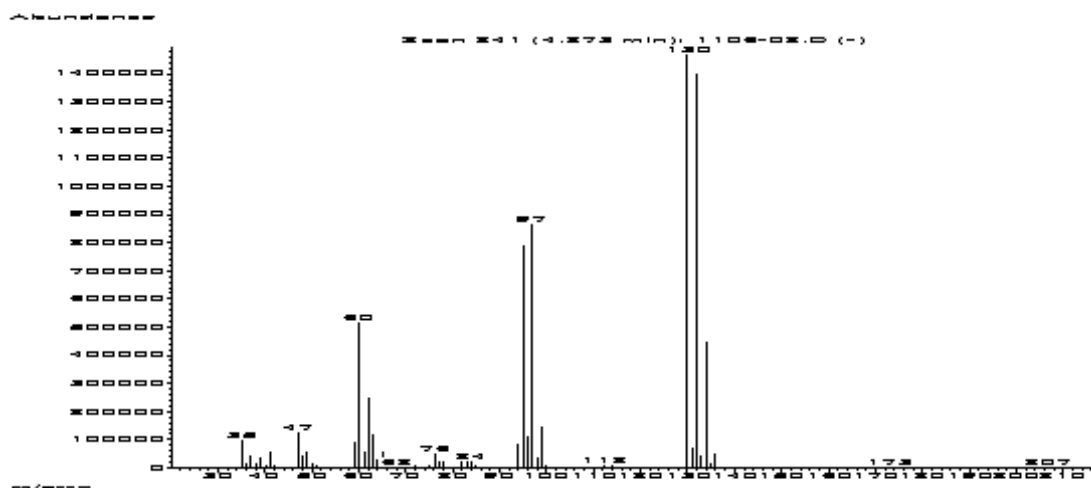
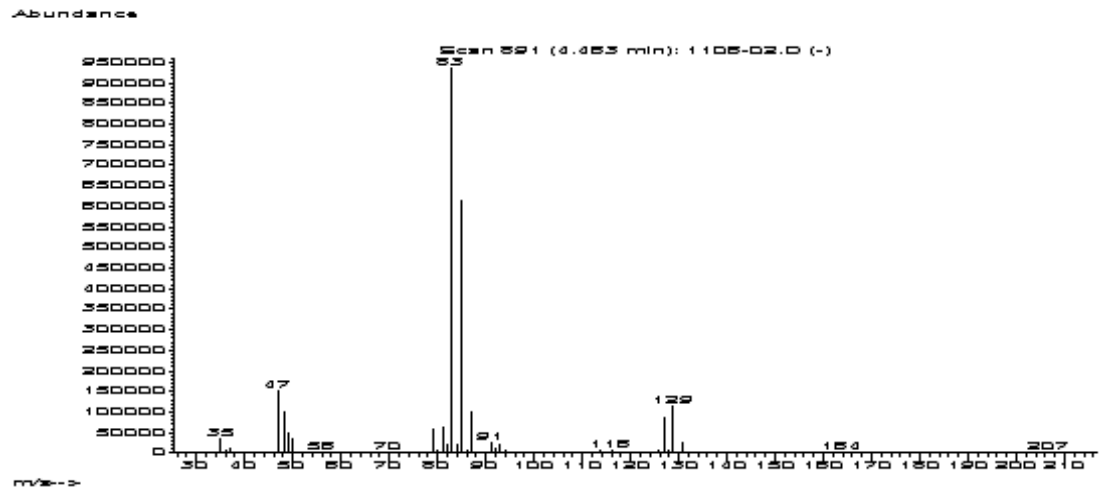
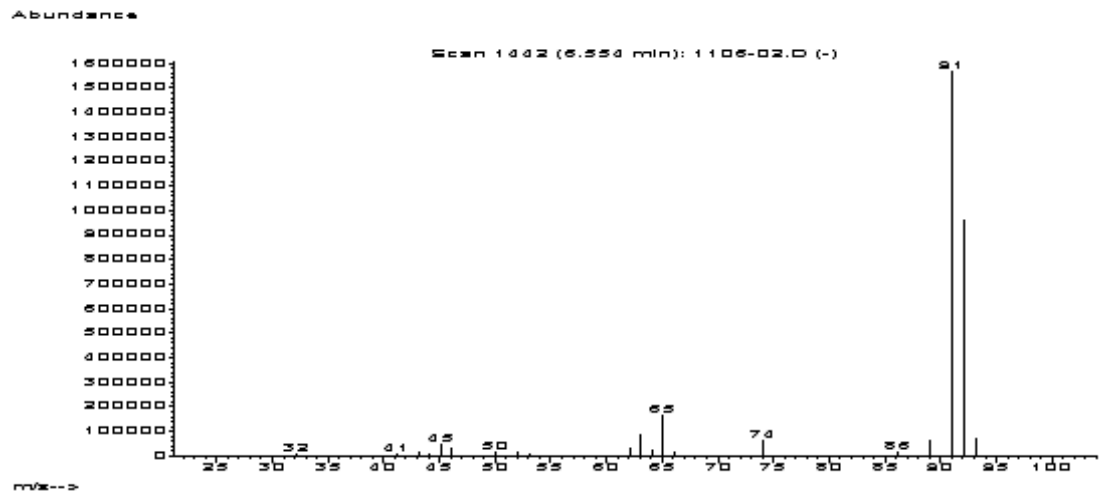


그림 2. 계속

브로모디클로로메탄(4.46 min)



톨루엔(6.54 min)



디브로모클로로메탄(7.58 min)

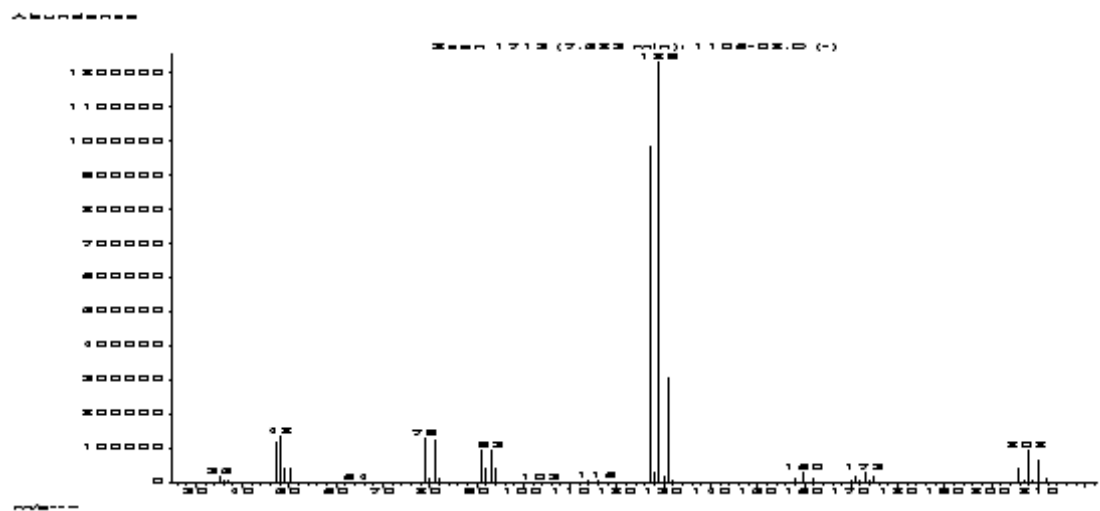
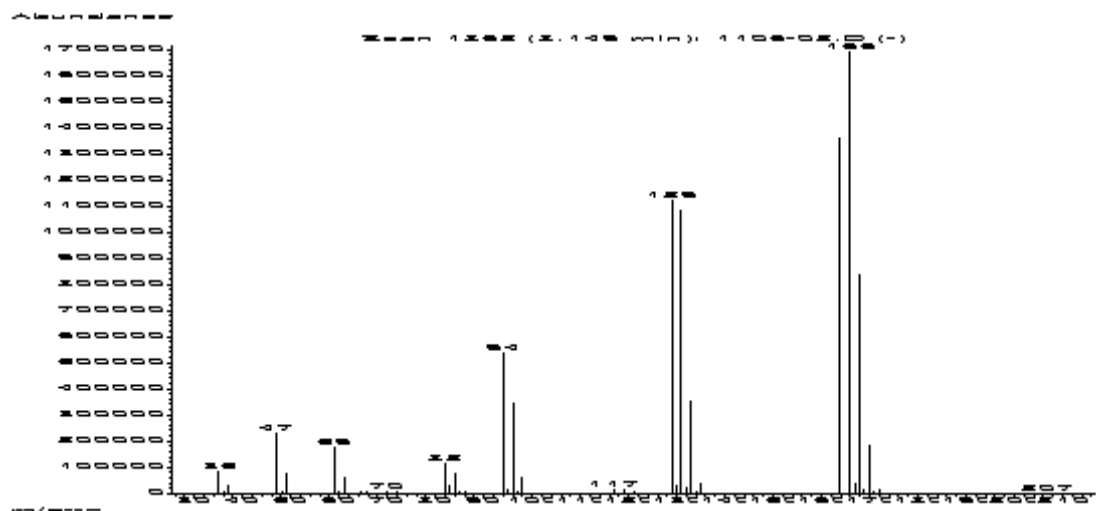
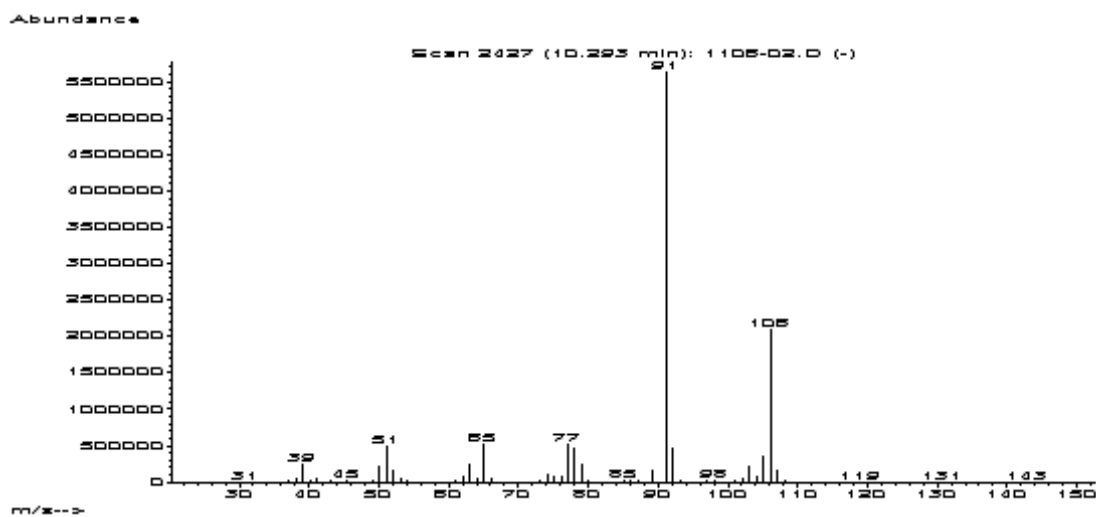


그림 2. 계속

테트라클로로에틸렌(8.15 min)



에틸벤젠(10.29 min)



m,p-크실렌(10.67 min)

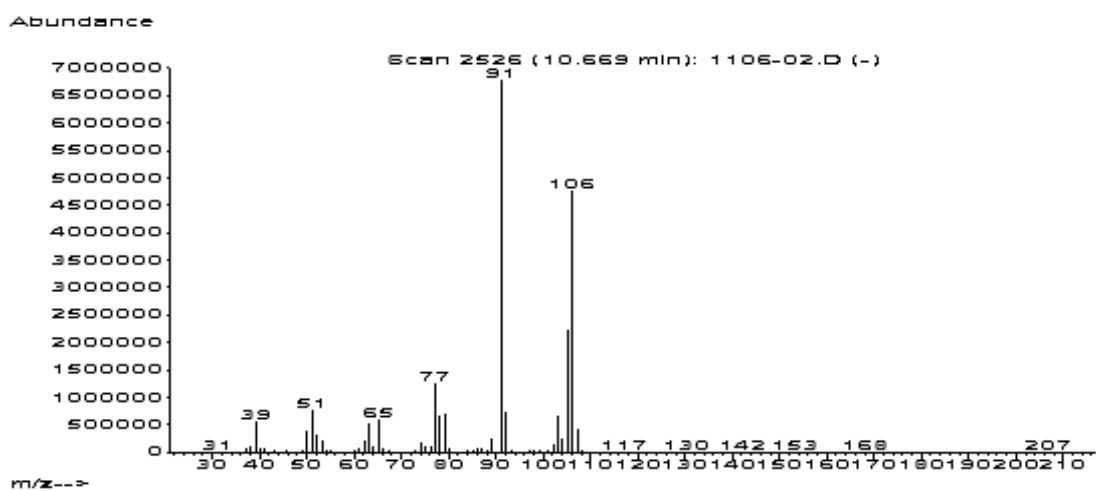
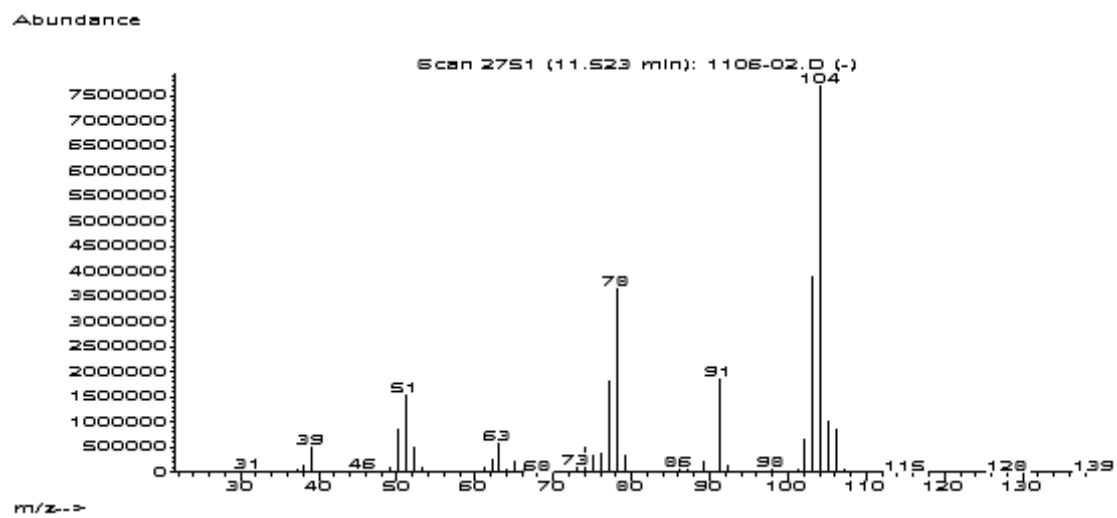
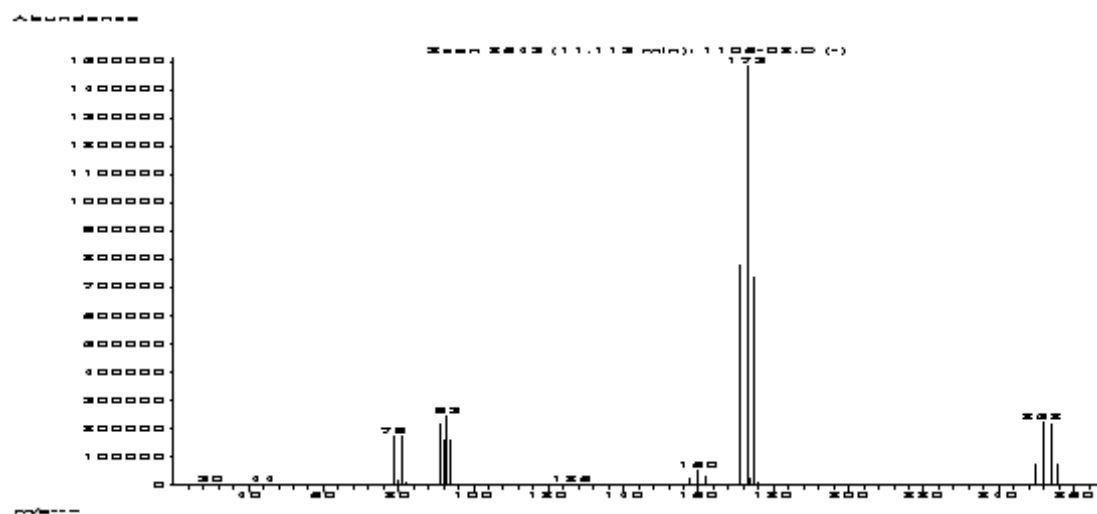


그림 2. 계속

스타이렌(11.52 min)



브로모폼(11.11 min)



o-크실렌(11.57 min)

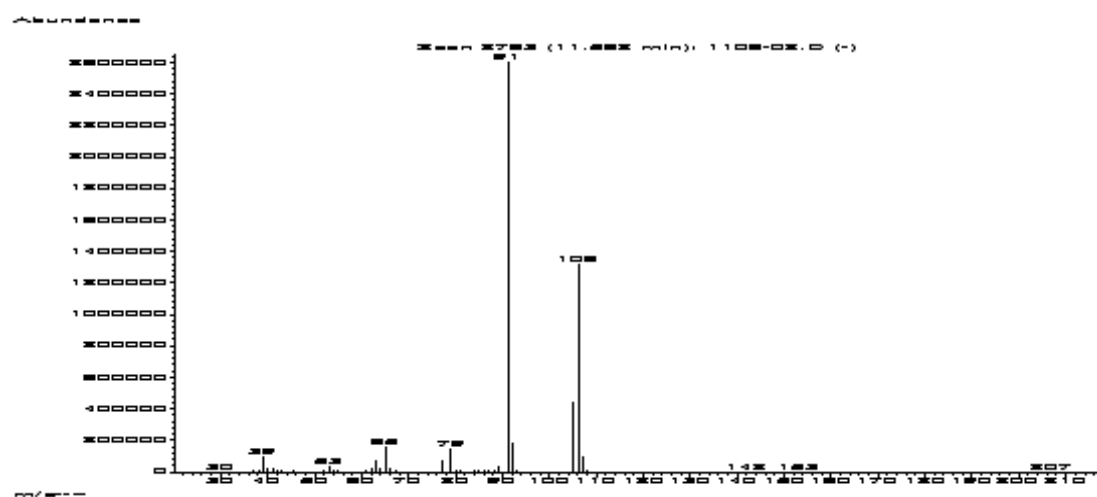


그림 2. 계속

1,2-디브로모-3-클로로프로판(18.26 min)

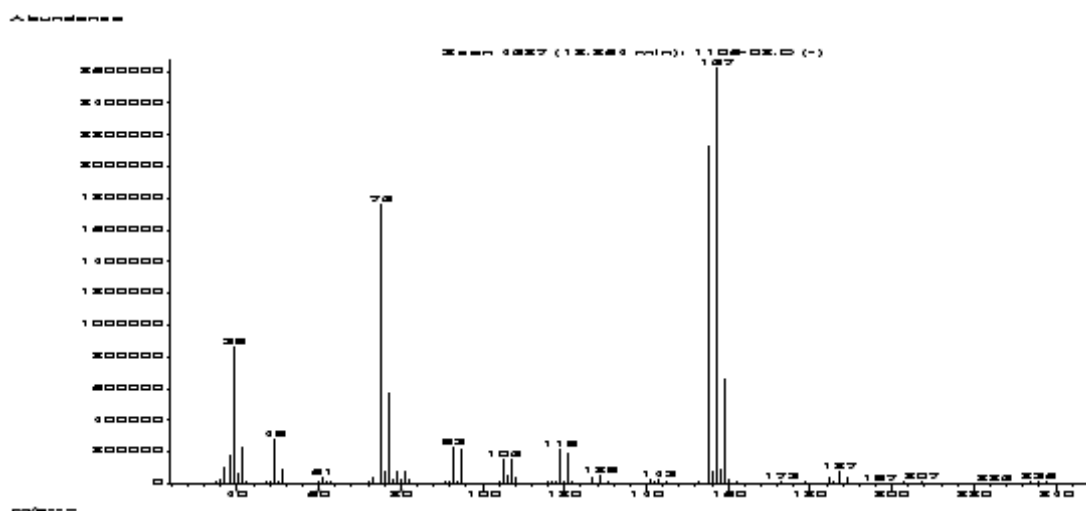


그림 2. 계속