

Application News

No. 01-00949-ENK

GC-MS GCMS-QP2020NX

Py-Screener™ Ver.3: RoHS, TSCA 및 POPs 규제 물질 동시 분석

Py-Screener™ Ver.3: Simultaneously Test for Substances Regulated Under RoHS, TSCA, and POPs

사용자 활용 포인트

- ◆ Py-Screener Ver.3는 단 한 번의 분석으로 프탈레이트 에스테르류, 브롬계 난연제(PBBs, PBDEs), PIP(3:1), UV-328, Dechlorane plus(DP), 단쇄염화파라핀(Short-Chain Chlorinated Paraffins, SCCPs), 중쇄염화파라핀(Medium-Chain Chlorinated Paraffins, MCCPs)의 함량 수준을 확인할 수 있다.
- ◆ SCCPs와 MCCPs를 NCI(Negative Chemical Ionization) 대신 EI(Electron Ionization)모드를 적용하여 분석할 수 있다.
- ◆ PIP(3:1), UV-328, DP, SCCPs 및 MCCPs는 해당 물질의 표준물질 없이도 스크리닝 분석이 가능하다.

■ 서론

전 세계적으로 전자기기 및 산업제품에 사용되는 화학물질에 대한 규제가 강화되고 있다. 유럽연합(EU)의 RoHS 지침과 REACH 규정, 미국의 독성물질관리법(TSCA), 잔류성 유기 오염물질(POPs)에 관한 스톡홀름협약 등 주요 국제 규제에서는 관리 대상 물질의 범위를 지속적으로 확대하고 있다.

이에 따라 제조업체는 자사 제품에 포함될 수 있는 유해물질을 정확히 파악하고, 각 국가 및 규제기관의 요구사항에 신속하게 대응해야 한다. 특히 다양한 규제 물질을 한 번에 확인할 수 있는 스크리닝 분석 기술의 중요성이 더욱 커지고 있다.

Py-Screener Ver. 2가 RoHS 지침 대상 물질을 포함해 7종의 프탈레이트 에스테르류와 브롬계 난연제를 스크리닝할 수 있었다면, Py-Screener Ver. 3는 분석 대상 범위를 한층 확대했다. Ver. 3에서는 미국 TSCA에서 관리하는 PIP (3:1)을 비롯해, 스톡홀름협약에서 대상 물질인 UV-328, Dechlorane plus(DP), 단쇄염화파라핀(SCCPs), 중쇄염화파라핀(MCCPs)까지 스크리닝할 수 있다.

본 뉴스레터에서는 Py-Screener Ver. 3를 활용한 다양한 규제 물질의 동시 분석과, 실제 샘플 분석 사례를 소개한다.

표 1. Py-Screener로 분석 가능 물질

규제	규제 물질	Py-Screener 버전
ROHS	프탈레이트 에스테르류 (DIBP, DBP, DEHP, and BBP) 브롬계 난연제 (PBBs, PBDEs)	Py-Screener Ver 2와 3 모두 분석 가능
US TSCA	PIP (3:1)	
	UV-328	Py-Screener Ver. 3.
POPs Convention	DP	(특정 규제 물질*)
	SCCPs 와 MCCPs	

*1 특정 규제 물질 CAS 번호: PIP (3:1): 68937-41-7, UV-328: 25973-55-1, DP: 13560-89-9, SCCPs: 85535-84-8, 그리고 MCCPs: 85535-85-9

■ 분석 과정

Py-Screener Ver. 3는 국제 분석 표준인 IEC 62321-8 및 IEC 62321-3-3에 따라, 제품에 포함된 프탈레이트 에스테르류와 브롬계 난연제의 함량 수준을 확인할 수 있다. 또한 동일한 분석 조건에서 특정 규제 물질(표 1)에 대한 시험도 한 번의 분석으로 함께 수행할 수 있다.

실제 샘플 분석에 앞서, 분석법의 신뢰성을 확보하기 위해 백그라운드와 장비 감도(S/N)를 평가하였다. 이는 IEC 62321-8에서 분석법의 신뢰성 확인을 위해 규정하고 있는 항목이다. 평가에는 7종의 프탈레이트 에스테르류가 첨가된 플라스틱 시트 형태의 표준물질(PN: 225-31003-91)*2을 사용하였다. 그 결과, 백그라운드와 장비 감도 모두 기준을 만족하는 것으로 확인되었다.

*2 Blank(Blank 측정용), 100 mg/kg(감도 확인용), 1,000mg/kg(검정 곡선 작성용) 세 가지 표준 물질이 포함된다.

분석 순서는 그림 1에 나타났다. 샘플 분석에 앞서, 1,000 mg/kg 프탈레이트 에스테르류 표준물질과 브롬계 난연제가 첨가된 폴리프로필렌 표준물질 (ERM-EC591)을 분석하여 검량선을 작성하였다.

프탈레이트 에스테르 표준물질은 마이크로 펀치로 두 개의 디스크 2개를 채취하고, 그 외 재질은 커터로 분석에 적합한 크기로 절단하였다. 채취한 표준물질은 샘플 컵에 넣고 무게를 측정 후 분석에 사용하였다.

샘플 분석에서는 프탈레이트 에스테르류와 일부 브롬계 난연제를 1 point 검량선으로 정량하였다. 그 외 브롬계 난연제와 특정 규제 물질은 Py-Screener Ver. 3에 포함된 보정계수 데이터베이스를 활용하여 정량하였다.

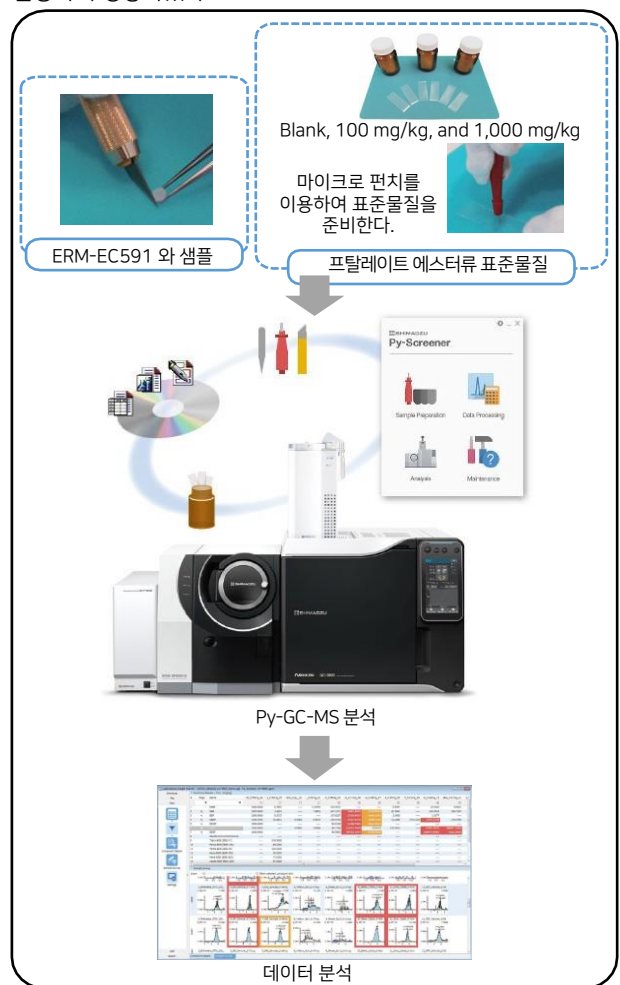


그림 1. 분석 순서도

■ 분석 결과

그림 2는 한 번의 분석으로 얻은 프탈레이트 에스터류, 브로메 난연제 및 특정 규제 물질의 분석 결과를 보여준다. 표 2에는 각 화합물의 물질 그룹과 SIM 모드에서 사용한 정량 이온을 정리하였으며, 분석은 표 3의 조건에 따라 수행하였다.

SCCPs와 MCCPs는 다양한 이성질체를 포함하고 있어, 정량시 선택성이 높은 분석 기술이 필요하다. 일반적으로 음이온 화학 이온화법(NCI)이 널리 사용되지만, Py-Screener Ver. 3는 전자 이온화법(EI)을 적용하여 SCCPs와 MCCPs를 다른 규제 물질과 함께 동시 분석할 수 있다.

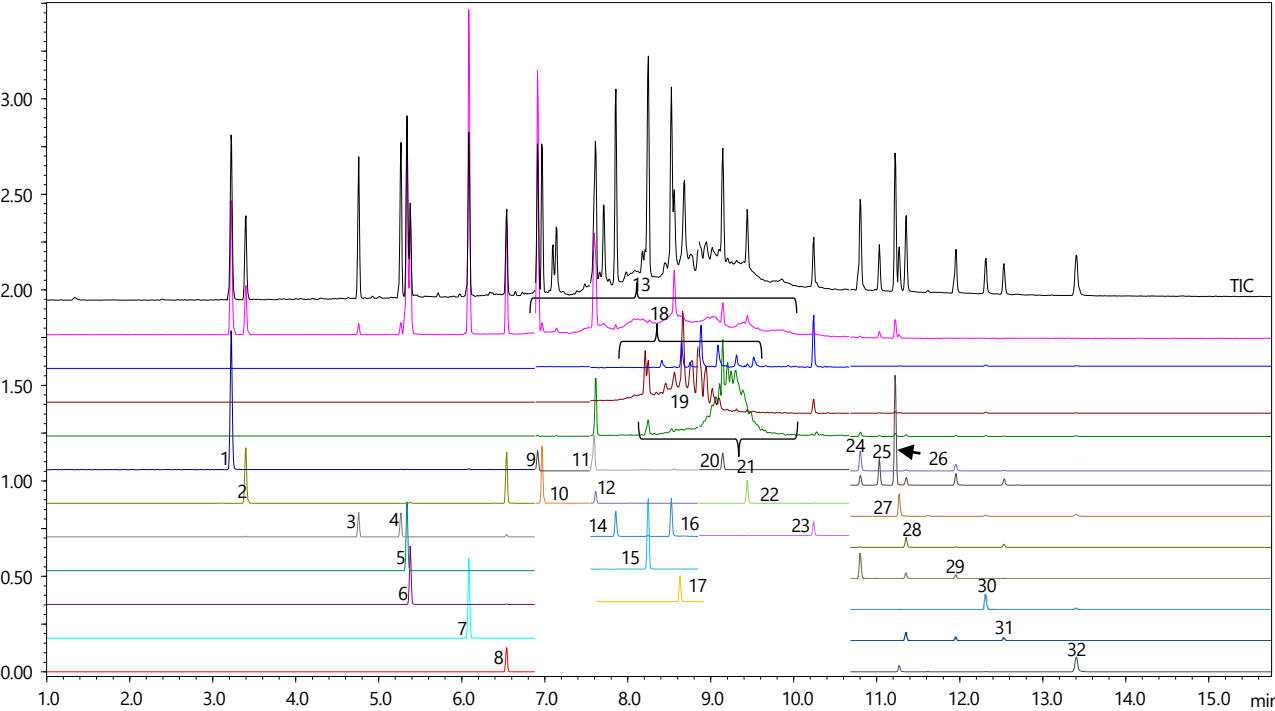


그림 2. 프탈레이트 에스터류, 브로메 난연제, PIP (3:1), UV-328, DP, and SCCPs/MCCPs*3 동시분석 결과

1 Mono-BB	5 Di-BB	9 Tetra-BB	13 SCCPs+MCCPs	17 Penta-BDE	21 DIDP	25 Syn-Decchlorane Plus	29 Nona-BB
2 Mono-BDE	6 Di-BDE	10 BBP	14 DEHP	18 PIP(3:1)	22 Hexa-BDE	26 Anti-Decchlorane Plus	30 Nona-BDE
3 DIBP	7 Tri-BB	11 Tetra-BDE	15 UV-328	19 DINP	23 Hepta-BDE	27 Octa-BDE	31 Deca-BB
4 DBP	8 Tri-BDE	12 Penta-BB	16 DNOP	20 Hexa-BB	24 Hepta-BB	28 Octa-BB	32 Deca-BDE

표 2. 분석물질 정보

번호	물질명	그룹	정량 이온 (m/z)
1	Mono-BB	PBBs	233.9
2	Mono-BDE	PBDEs	247.9
3	DIBP	프탈레이트 에스터류	223.0
4	DBP	프탈레이트 에스터류	223.0
5	Di-BB	PBBs	313.8
6	Di-BDE	PBDEs	327.8
7	Tri-BB	PBBs	389.8
8	Tri-BDE	PBDEs	405.8
9	Tetra-BB	PBBs	467.6
10	BBP	프탈레이트 에스터류	206.0
11	Tetra-BDE	PBDEs	325.8
12	Penta-BB	PBBs	545.6
13	SCCPs+MCCPs*3	CP	49.0
14	DEHP	프탈레이트 에스터류	279.0
15	UV-328	UV	322.2
16	DNOP	프탈레이트 에스터류	279.0
17	Penta-BDE	PBDEs	403.8
18	PIP(3:1)	PIP	452.2
19	DINP	프탈레이트 에스터류	293.0
20	Hexa-BB	PBBs	467.6
21	DIDP	프탈레이트 에스터류	307.0
22	Hexa-BDE	PBDEs	483.6
23	Hepta-BDE	PBDEs	561.6
24	Hepta-BB	PBBs	545.6
25	Syn-Decchlorane Plus	DP	271.8
26	Anti-Decchlorane Plus	DP	271.8
27	Octa-BDE	PBDEs	641.5
28	Octa-BB	PBBs	625.5
29	Nona-BB	PBBs	703.4
30	Nona-BDE	PBDEs	719.4
31	Deca-BB	PBBs	783.3
32	Deca-BDE	PBDEs	799.3

표 3. 분석 장비 구성 및 분석 조건

장비	
Pyrolyzer Unit	EGA/Py-3030D Multi-shot Pyrolyzer : AS-2020E Auto-Shot Sampler (Frontier Laboratories Ltd.)
GC-MS	: GCMS-QP2020 NX
GCMS-QP2020NX	
Analysis Mode	: Heart-Cut EGA
Thermal Desorption Temp.	: 200 °C -> 20 °C/min -> 300 °C -> 5 °C/min -> 340 °C (1min)
ITF Temp.	: 300 °C (Manual)
Column	: SH-1MS(15 m X 0.25 mm I.D., df=0.1 μm) And guard column(2 m), PN:227-36346-01
Oven Temp.	: 80 °C (0 min) -> 20 °C/min -> 320 °C(4 min)
Sample Vaporization Chamber	: 300 °C
Carrier Gas	: He
Control Mode	: Constant linear velocity (52.1 cm/s)
Injection method	: Split
Split Ratio	: 50
ITF Temp	: 320 °C
Ion Source Temp.	: 230 °C
Ionization Method	: EI
Measurement Mode	: FASST (simultaneous Scan/SIM measurements)
Scan Mass Range	: m/z 50-1000
Scan Event Time	: 0.15 sec
Scan Speed	: 10000 u/sec
SIM Event Time	: 0.30 sec
SIM Micro-scan Width	: 0.3u

*3 SIM 크로마토그램은 각 화합물에 대응하는 정량 이온을 기준으로 나타냈다. 단, SCCPs와 MCCPs의 경우에는 m/z 75 정성 이온을 기준으로 SIM 크로마토그램을 표시했다.

■ 샘플 분석 결과

검량선은 1,000 mg/kg 프탈레이트 에스터류 표준물질과 브롬계 난연제가 첨가된 폴리프로필렌 표준물질(ERM-EC591)을 이용하여 작성하였다.

분석 샘플은 커패시터 플라스틱, PVC, ABS 플라스틱, 절연 코드를 사용했다. 그림 3은 GCMS 분석 소프트웨어인 GCMS Solution의 Batch table을 나타냈다.

Batch table에는 각 샘플의 무게를 입력할 수 있고, 이를 통해 표준물질과 샘플의 양이 다르더라도 소프트웨어가 검량선을 자동으로 보정하여 정확한 농도를 계산할 수 있다.

	Vial#	Sample Name	Sample Amt.	Sample ID	Sample Type
1	1	Blank Cup	0.5		0:Unknown
2	2	Phthalate STD Blank	0.54		0:Unknown
3	3	Phthalate STD_100	0.56		2:Control
4	4	Phthalate STD_1000	0.62		1:Standard(1)
5	5	ERM-EC591	0.53		1:Standard
6	6	Capacitor Plastic	0.55		0:Unknown
7	7	PVC Sample	0.45		0:Unknown
8	8	ABS Sample	0.52		0:Unknown
9	9	Insulator Cord	0.46		0:Unknown

그림 3. GCMS Solution Batch table 예시

샘플에서 검출된 특정 규제 물질의 농도는 표 4에 나타났다. 각 농도는 DEHP와 연계된 상대 보정계수를 적용하여 계산하였으며, 특정 규제 물질의 SIM 크로마토그램은 그림 5~7 및 그림 9에 나타났다.

표 4. 샘플 정량 분석 결과

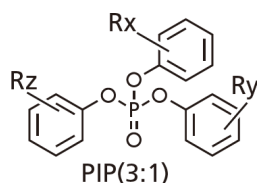
번호	물질명	샘플 농도 (mg/kg)			
		커패시터	PVC	ABS	절연 코드
1	PIP(3:1)	1344	698	ND	ND
2	UV-328	ND	71	ND	ND
3	Syn-DP	ND	ND	112	ND
4	Anti-DP	ND	ND	347	ND
5	SCCPs/MCCPs	ND	ND	ND	46200

PIP (3:1)은 이소프로필기가 서로 다른 위치와 개수로 결합된 여러 이성질체의 혼합물이다. PIP (3:1)의 구조식은 그림 4에 나타났다. Py-Screener Ver. 3은 이소프로필기가 1~4개 결합된 PIP (3:1) 이성질체를 검출할 수 있다. (iPr:x는 결합된 이소프로필기의 개수, x=1~4에 해당) 다만 PIP (3:1)의 농도는 가장 일반적인 이성질체인 iPr:3을 기준으로 산출한다.

일반적으로 iPr:3은 7~8개의 이성질체 피크로 검출되며(그림 5), 샘플 내 함량은 이들 피크 면적의 합을 기준으로 계산한다.

분석 결과, 커패시터 플라스틱에서 약 1300 mg/kg의 PIP (3:1)이 검출되었다. 미국 TSCA 규정에서는 비의도적으로 첨가된 PIP (3:1)에 대해 제품 내 0.1 wt%, 1000 mg/kg 수준의 제한을 적용하고 있어, 해당 커패시터 플라스틱은 규제 기준을 초과할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

플라스틱 중 PIP (3:1) 분석에 대한 다른 뉴스레터는 Application News No. 01-00191에서 확인할 수 있다.



R=CH(CH₃)₂
x≥1 y≥1 z≥1

그림 4. PIP (3:1) 구조식

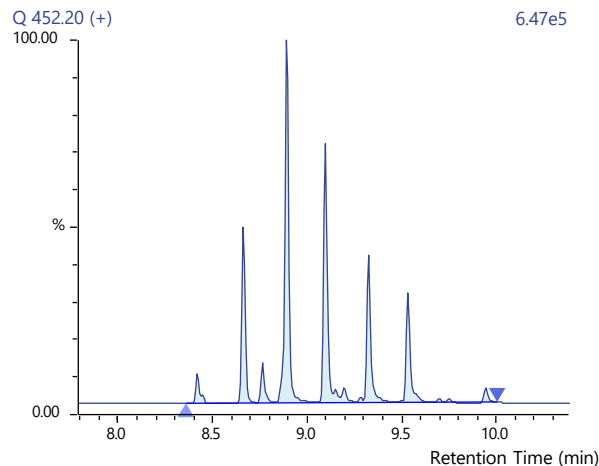


그림 5. PIP (3:1) SIM 크로마토그램 (커패시터 플라스틱)

PVC 플라스틱에서는 UV-328이 검출되었다. UV-328의 SIM 크로마토그램은 그림 6에 나타냈으며, 검출 농도는 약 70 mg/kg이었다.

EU POPs 규정에서는 제품 내 UV-328 허용 기준값을 100 mg/kg으로 규정하고 있어 해당 PVC 플라스틱은 기준값에 근접한 수준으로 확인되었다.

UV-328 분석에 대한 다른 뉴스레터는 Application News No.01-00488에서 확인할 수 있다.

또한 PVC 샘플에서는 약 700 mg/kg의 PIP(3:1)도 함께 검출되었다. 미국 TSCA 규정에서는 제품 내 PIP (3:1)에 대한 허용 기준값을 제품의 0.1wt%, 즉 1,000 mg/kg 수준으로 규정하고 있어, 해당 PVC 샘플은 기준값 미만으로 확인되었다.

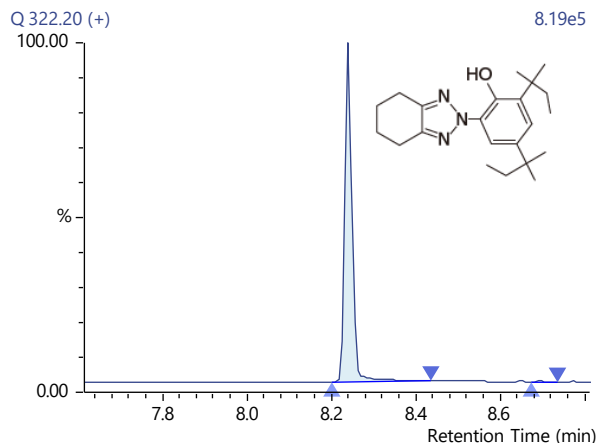


그림 6. UV-328 SIM 크로마토그램 (PVC 샘플)

ABS 플라스틱에서는 Dechlorane Plus(DP)의 두가지 구조 이성질체인 Syn-DP와 Anti-DP가 검출되었다. (그림 7)

ABS 플라스틱 중 DP 농도는 두 피크의 면적을 합산하여 산출했으며, 그 결과 500 mg/kg 미만으로 확인되었다.

EU POPs 규정에서는 제품 내 DP 함량 기준값을 1,000 mg/kg으로 규정하고 있어, 본 분석 결과 ABS 플라스틱의 DP 함량은 허용 범위 이내인 것으로 판단된다.

플라스틱 중 DP 분석에 대한 다른 뉴스레터는 Application News No. 01-00488에서 확인할 수 있다.

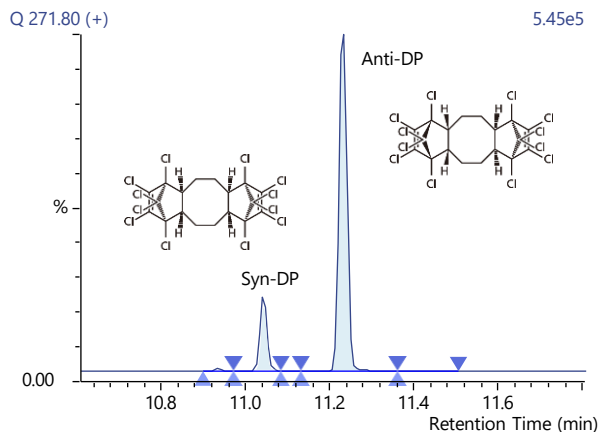


그림. 7 DCP SIM 크로마토그램 (ABS 샘플)

SCCPs와 MCCPs는 서로 다른 탄소 사슬 길이를 가진 염소화 직쇄 탄화수소의 이성질체 및 동족체 혼합물로, 고유한 크로마토그램 패턴을 보인다. 그림 8에는 SCCP와 MCCP의 구조식을 나타냈다. Py-Screener Ver. 3는 SCCPs와 MCCPs의 검출 및 정량에 음이온 화학 이온화법(NCI)이 아닌 전자 이온화법(EI)을 적용한다. 또한 개별 화합물을 각각 구분해 정량하는 방식이 아니라, SCCPs/MCCPs의 합산값으로 함량을 산출한다.*4

절연코드 샘플에서 SCCPs와 MCCPs에서 관찰되는 특징적인 크로마토그램 패턴이 검출되었다(그림 9). SCCPs와 MCCPs의 농도는 40,000 mg/kg을 초과했으며, 이는 해당 샘플에 SCCPs 또는 MCCPs가 의도적으로 사용되었을 가능성을 시사한다. SCCPs와 MCCPs는 모두 POPs 협약 Annex A에 따라 제품에서 사용 근절 대상으로 지정되어 있다.

*4 장쇄 염소화 파라핀(LCCPs)이 존재하는 경우, SCCPs/MCCPs로 검출될 수 있다.

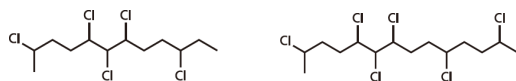


그림. 8 SCCP (분자식: $C_{12}H_{21}Cl_9$)과 MCCP(분자식: $C_{14}H_{24}Cl_9$)의 구조식

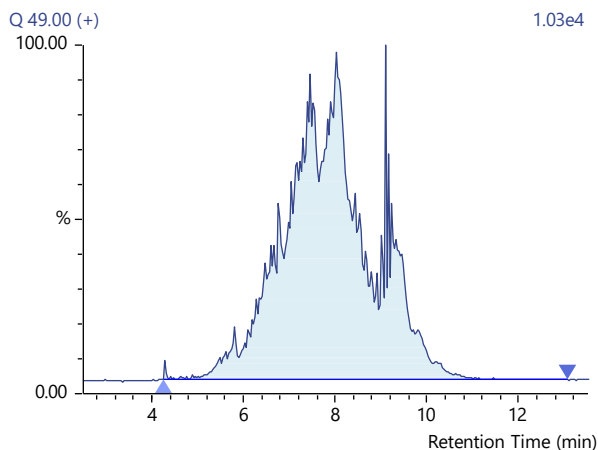


그림. 9 SCCPs와 MCCPs SIM 크로마토그램 (절연 코드)

■ 결론

Py-Screener Ver. 3를 이용해 샘플 중 규제 물질인 PIP(3:1), UV-328, Dechlorane Plus(DP), SCCPs 및 MCCPs의 농도를 성공적으로 확인하였다.

특히 SCCPs와 MCCPs 뿐만 아니라 프탈레이트 에스테르류, 브롬계 난연제 및 기타 규제 대상 물질까지 단 한번의 분석으로 동시에 스크리닝 할 수 있다는 점이 특징이다.

또한 프탈레이트 에스테르류 표준물질의 DEHP와 연계된 상대 보정계수를 활용함으로써 각 규제 물질에 해당하는 별도의 표준물질 없이도 함량 수준을 산출할 수 있다.

따라서 Py-Screener Ver.3는 RoHS 지침, 미국 TSCA, POPs 협약 등 주요 글로벌 규제에 대응하기 위한 스크리닝 프로그램 구축에 활용될 수 있다.

■ Reference

- 1) IEC 62321-8:2017, *Determination of certain substances in electrotechnical products -Part 8: Phthalates in polymers by gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS),gas chromatography mass spectrometry using a pyrolyzer/thermal desorption accessory (Py/TD-GC-MS)*
- IEC 62321-3-3:2021, *Determination of certain substances in electrotechnical products - Part 3-3: Screening - Polybrominated biphenyls, polybrominated diphenyl ethers and phthalates in polymers by gas chromatography-mass spectrometry using a pyrolyzer/thermal desorption accessory (Py/TD-GC-MS)*
- 3) [Persistent, Bioaccumulative, and Toxic \(PBT\) Chemicals under TSCA](#)
- 4) [European Commission. Commission Delegated Regulation \(EU\) 2025/843 of 5 May 2025 amending Annex I to Regulation \(EU\) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council as regards UV-328\(C/2025/2567\)](#)
- 5) [European Commission. Commission Delegated Regulation \(EU\) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council as regards dechlorane plus \(C/2025/2887\).](#)
- 6) [European Commission. Commission Regulation \(EU\) 2015/2030 of 13 November 2015 amending Regulation \(EC\) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council on persistent organic pollutants as regards Annex I \(Text with EEA relevance\)\(32015R2030\)](#)
- 7) [European Commission. Commission Delegated Regulation \(EU\) 2019/1021 of the European Parliament and of the Council as regards medium chain chlorinated paraffins\(Ares/2025/10131503\)](#)

<Related Application News Articles>

1. Analysis of PIP (3:1) in Plastic by Py/TD-GC-MS, [Application News No. 01-00191](#)
2. Analyzing UV-328 and Dechlorane Plus in Plastic by Pyrolyzer/ Thermal Desorption-GC-MS, [Application News No. 01-00488](#)



Shimadzu Corporation
www.shimadzu.com/an/
Shimadzu Scientific Korea
www.shimadzu.co.kr

For Research Use Only. Not for use in diagnostic procedures. Not available in the USA, Canada, and China.

This publication may contain references to products that are not available in your country. Please contact us to check the availability of these products in your country.

The content of this publication shall not be reproduced, altered or sold for any commercial purpose without the written approval of Shimadzu. Company names, products/service names and logos used in this publication are trademarks and trade names of Shimadzu Corporation, its subsidiaries or its affiliates, whether or not they are used with trademark symbol "TM" or "®". Third-party trademarks and trade names may be used in this publication to refer to either the entities or their products/services, whether or not they are used with trademark symbol "TM" or "®". Shimadzu disclaims any proprietary interest in trademarks and trade names other than its own.

The information contained herein is provided to you "as is" without warranty of any kind including without limitation warranties as to its accuracy or completeness. Shimadzu does not assume any responsibility or liability for any damage, whether direct or indirect, relating to the use of this publication. This publication is based upon the information available to Shimadzu on or before the date of publication, and subject to change without notice.

Copyright © 2026 SHIMADZU group. All rights reserved.