

Application News

No. 01-01108-ENK

Gas Chromatograph Mass Spectrometer
High-Performance Liquid Chromatograph Mass Spectrometer

EN 17681-1 및 EN 17681-2에 따른 섬유 소재 내 PFAS 분석

Analysis of PFAS in Textiles Based on EN 17681-1 and EN 17681-2

사용자 활용 포인트

- ◆ LC-MS와 GC-MS를 병행 활용하여 섬유 소재 내 PFAS를 규제 기준 이하의 낮은 농도 수준까지 검출할 수 있다.
- ◆ 스파이크 회수율 평가 결과, EU POPs 규정의 기준치 (25 ppb) 이하에서 모든 대상 화합물이 70 ~ 130 %의 양호한 회수율을 나타내어 분석법의 적합성이 확인되었다.
- ◆ LabSolutions™ 소프트웨어는 GC-MS와 LC-MS를 통합적으로 운영할 수 있어 효율성을 향상시키며, 데이터 처리 및 결과 분석 과정을 체계적으로 수행할 수 있다.

■ 서론

과불화화합물 및 폴리플루오로알킬 화합물 (Per- and Polyfluoroalkyl Substances, PFAS)은 우수한 내열성 및 발수성과 같은 특성으로 인해 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 그러나 PFAS는 높은 안정성을 가지므로 잘 분해되지 않아 환경과 인체에 미치는 영향에 대한 우려가 지속적으로 제기되고 있다. PFAS가 환경 및 생물체 내에 축적되는 것을 방지하기 위해서는 오염원의 관리가 필수적이며, 이에 따라 여러 국가에서는 제품 내 PFAS의 생산, 유통 및 사용을 제한하는 규제를 도입하고 있다. 예를 들어, EU POPs 규정은 특정 PFAS (PFOA, PFOS 및 PFHxS 포함)에 대해 단일 화합물, 혼합물 및 완제품 내 허용 농도를 최대 0.025 mg/kg (25 ppb)으로 규정하고 있다.¹⁾

EN 17681은 섬유 소재 내 PFAS 분석 방법을 규정한 유럽 표준규격으로 분석 대상 화합물과 시험 절차에 따라 두 개의 파트로 구성되어 있다. EN 17681-1은 이온성 PFAS를 대상으로 LC-MS/MS 기반 분석법을 규정하고 있으며, EN 17681-2는 일부 휘발성 및 준휘발성 중성 PFAS를 대상으로 하는 GC-MS(/MS) 분석법을 제시하고 있다. 또한 2025년 개정된 EN 17681-1에서는 PFAS의 효율적인 추출을 위해 샘플 전처리 절차가 변경되었다.^{2,3)}

본 뉴스레터에서는 EN 17681-1 및 EN 17681-2 규격에 명시된 대상 PFAS 화합물 (표1)에 대하여 LC-MS/MS와 GC-MS(/MS)를 이용한 분석 및 각 시험법의 적용 가능성을 평가하였다.

- 2025년 4월 개정된 EN 17681-1:2025에서는 기존의 메탄올 (Methanol, MeOH) 단독 추출법을 알칼리 가수분해 (Alkaline hydrolysis)를 포함한 추출 전처리법으로 대체하였다. 이러한 개정은 추출 과정에서 측쇄형 불소화 고분자 (Side-chain fluorinated polymers)의 분해를 가능하게 하여, 특히 플루오로텔로머 알코올 (Fluorotelomer alcohols, FTOHs)과 같은 특정 PFAS의 검출 감도를 향상시켜, 기존 분석법 대비 더욱 고감도로 분석이 가능해졌다. 해당 시험법은 LC-MS/MS를 기반으로 수행되어, 주로 이온성 PFAS의 정량 평가에 적용된다.
- EN 17681-2는 일부 준휘발성 및 휘발성 중성 PFAS를 대상으로 하는 GC-MS(/MS) 분석법을 규정하고 있다. 이러한 화합물은 LC-MS/MS로 분석하기 어려운 특성을 가지므로, GC-MS/MS가 보다 적합하고 높은 감도를 제공하는 분석 수단으로 활용된다. EN 17681-2는 발수성 및 오염 방지 기능을 부여하기 위해 섬유 가공에 사용되는 다양한 화합물을 대상으로 하며, 특정 휘발성 PFAS와 플루오로알킬 에테르(Fluoroalkyl ether) 계열 화합물을 포함한다.

■ EN 17681-1 및 EN 17681-2 샘플 전처리

EN 17681-1 및 EN 17681-2의 샘플 전처리 절차는 각각 그림 2, 3에 나타내었다. 추가적으로 그림 2에는 2025년 개정 전후 EN 17681-1 시험법의 차이점을 함께 비교하였다. 기존 EN 17681-1:2022는 메탄올만을 이용한 초음파 추출법을 사용하였으나, 개정된 EN 17681-1:2025에서는 수산화나트륨 (Sodium hydroxide, NaOH)을 첨가한 알칼리 가수분해 과정이 추가되었다. 본 뉴스레터에서는 개정된 EN 17681-1:2025 절차에 따라 샘플을 전처리 하였다.

샘플 1 g을 한 번의 길이가 0.3~0.5 cm 이하가 되도록 절단한 후 NaOH와 메탄올을 첨가하였다. 60 °C에서 1시간 동안 초음파 추출을 수행한 뒤, 추출액을 20 mL로 정용하고 pH 조정 및 여과를 실시하였다. 이후 내부표준물질인 MPFOA와 MPFOS를 첨가하여 LC-MS/MS 분석을 수행하였으며, 매트릭스 효과를 평가하였다. EN 17681-1 규격에 따라 대체표준물질 (Surrogate standard)는 사용하지 않았다.



그림 1. LCMS-8050RX (좌) 및 GCMS-TQ 8050 NX (우)

■ EN 17681-1 및 EN 17681-2

EN 17681은 유럽표준화위원회에서 제정한 표준규격으로 섬유제품 내 PFAS를 분석하기 위한 시험 방법을 규정하고 있다.

EN 17681-2의 샘플 전처리 방법은 EN 17681-1과 유사한 절차로 진행된다. 샘플 1 g을 한 번의 길이가 0.3~0.5 cm 이하가 되도록 절단한 후, 대체표준물질인 PFDoDiAOMe와 메탄올을 첨가하였다. 60 °C에서 2시간 동안 초음파 추출을 진행한 후 추출이 완료된 용액은 원심분리한 뒤 상등액을 취하여 GC-MS/MS 분석에 사용하였다. EN 17681-2에서는 필요에 따라 질소 농축 과정을 명시하고 있으나 이번 뉴스레터에서는 해당 단계를 생략하였다.

표 1. EN 17681-1 및 EN 17681-2 분석 물질 리스트

#	화합물명	EN 17681-1 (LC-MS/MS)	EN 17681-2 (GC-MS/MS)
1	PFBA	✓	
2	PFPeA	✓	
3	PFHxA	✓	
4	PFHpA	✓	
5	PFOA	✓	
6	PFNA	✓	
7	PFDA	✓	
8	PFUnA	✓	
9	PFDoA	✓	
10	PFTTrDA	✓	
11	PFTeDA	✓	
12	PFBS	✓	
13	PFHxS	✓	
14	PFHpS	✓	
15	PFOS	✓	
16	PFDS	✓	
17	4:2 FTS	✓	
18	6:2 FTSA	✓	
19	8:2 FTSA	✓	
20	10:2 FTS	✓	
21	FOSA	✓	
22	NMeFOSA	✓	
23	NEtFOSA	✓	
24	NMeFOSE	✓	✓
25	NEtFOSE	✓	✓
26	HFPO-DA	✓	
27	PF-3,7-DMOA	✓	
28	4HPUA	✓	
29	7HPHpA	✓	
30	4:2 FTOH	✓	*1
31	6:2 FTOH	✓	*1
32	8:2 FTOH	✓	*1
33	10:2 FTOH	✓	*1
34	Me-FTOA		✓
35	Et-FTOA		✓ ²
36	6:2 FTA		✓
37	8:2 FTA		✓
38	10:2 FTA		✓
39	6:2 FTMA		✓
40	8:2 FTMA		✓
41	MPFOA	IS	
42	MPFOS	IS	
43	PFDo-diAOMe ^{*3}		Surrogate

*1 EN 17681-2의 분석 대상 화합물에는 포함되어 있지 않으나, 본 뉴스레터에서는 GC-MS/MS를 이용하여 함께 측정하였다.

*2 Et-PFOA는 메탄올 중에서 Me-PFOA로 전환되므로 Et-PFOA에 대한 검량선은 작성하지 않았으며, 스파이크 회수를 평가에서도 제외하였다.

*3Dimethylicosafuorododecane-1,10-dioate (PFDoDiAOMe)

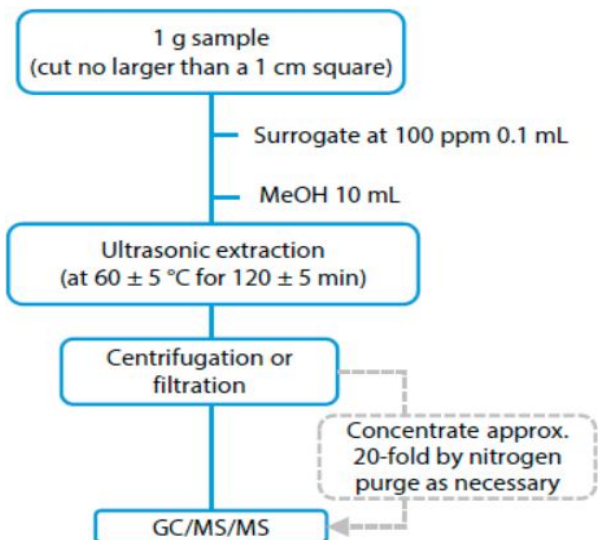


그림 3. EN 17681-2 전처리 모식도

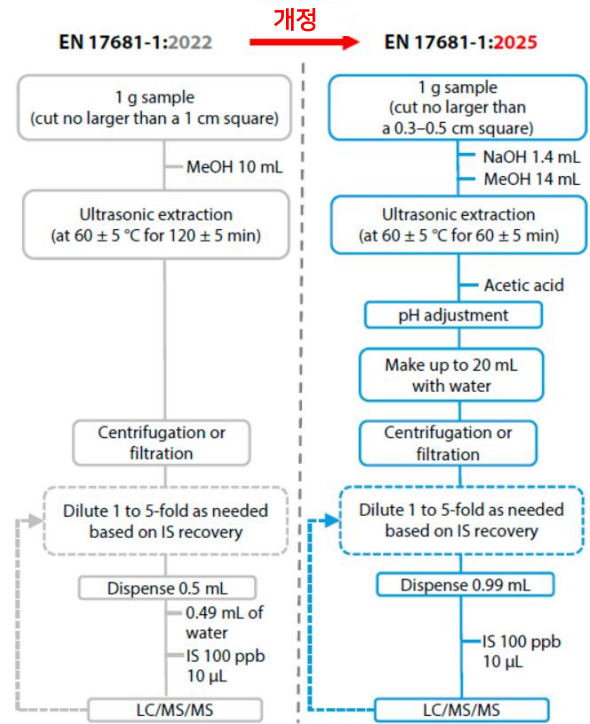


그림 2. EN 17681-1 전처리 모식도

■ EN 17681-1 (LC-MS/MS) 분석 조건

PFAS 분석은 삼중 사중극자 질량분석기 (Triple Quadrupole Mass Spectrometer) 인 LCMS-8050RX 를 사 용 하 여 수행하였으며, 분석 조건은 표 3에 나타내었다.

PFAS는 이동상, 분석 장비 및 기타 실험 환경으로부터 유입될 수 있어 극미량 분석 시 오염 관리가 필수적이다. 본 뉴스레터에서는 외부 기인 PFAS의 영향을 최소화하기 위하여 믹서와 오토샘플러 사이에 딜레이 컬럼을 설치하였으며, 이동상은 PFAS 등급의 시약을 사용하여 조제하였다. 이를 통해 저농도 PFAS의 신뢰성 있는 정량분석이 가능하도록 하였다.

표 3. Nexera 및 LCMS-8050RX 분석조건

UHPLC (Nexera -X3 System)	
Analytical Column	: Shim-pack Scepter C18-120 (100 mm × 3.0 mm I.D., 1.9 μm, P/N:227-31013-03)
Solvent Delay	: Delay column for PFAS (GL Science, P/N: 5020-90005)
Column	: Split (50:1)
Mobile Phase A	: N ₂
Mobile Phase B	: 25 cm/s
Gradient Program	: SH-1 (60 m × 0.32 mm I.D., 1.0 μm)
Flowrate	: 40 °C → 4 °C/min → 140 °C
Column Temp.	: FID
Injection Volume	: 300 °C
Run Time	: 24 mL/min
MS (LCMS-8050RX)	
Ionization	: ESI (Negative mode)
Mode	: MRM
Nebulizing Gas	: 3 L/min
Drying Gas Flow	: 5 L/min
Heating Gas Flow	: 10 L/min
DL Temp.	: 150 °C
Block Heater Temp.	: 250 °C
CID	: 250 kPa
Interface Temp.	: 200 °C
Interface Voltage	: -1 kV
Probe Position	: +2 mm
m/z	: 표 5에 나타냄

■ EN 17681-2 (GC-MS(/MS)) 분석 조건

PFAS 분석은 Boosted Efficiency Ion Source (BEIS)가 장착된 삼중 사중극자 질량분석기 GCMS-TQ8050 NX를 사용하여 수행하였다.

BEIS는 전자빔의 집속 효율을 향상시켜 이온화 효율을 높이는 기술로, 분석 대상 화합물의 이온 생성량을 증가시킴으로써 감도 향상에 기여한다. 이러한 특성은 PFAS와 같은 극미량 화합물의 분석에 유리하며, 저농도 영역에서도 우수한 신호 강도와 재현성을 확보할 수 있도록 한다.

본 뉴스레터에서 사용한 GC-MS/MS 분석 조건은 표 4에 나타내었다.

표 4. GCMS-TQ8050 NX 분석조건

GC (Nexis GC-2030)	
Autosampler	: AOC-30i
Injection Temp.	: 250 °C
Injection Mode	: Splitless (high pressure injection at 240 kPa, 1 min)
Carrier Gas	: He
Carrier Gas Control	: Linear velocity (40 cm)
Column	: SH-I-624Sil MS (P/N: 221-75963-60) (60 m × 0.32 mm I.D., 1.8 μm)
Guard Column	: SH-I (P/N: 227-36305-01) (5 m × 0.32 mm)
Column Temp.	: 40 °C (3 min) – 25 °C/min – 250 °C – 15 °C/min – 280 °C (5 min)
Injection Volume	: 2 μL
MS (GCMS-TQ8050 NX)	
Ion Source	: BEIS
Ion Source Temp.	: 200 °C
Interface Temp.	: 250 °C
Acquisition Mode	: MRM
m/z	: 표 5에 나타냄

■ 표준용액의 측정

EN 17681-1 분석법의 검량선은 외부표준법 (External Standard Method)을 적용하여 작성하였으며, 표준용액은 0.1–10 μg/L 농도 범위로 조제하였다. 단, FTOH 화합물은 10–1,000 μg/L 농도로 준비하였다.

표 5 좌측에는 LC-MS/MS를 이용하여 평가한 검량선의 직선성 평가 및 반복성 평가 결과를 제시하였으며, 그림 4에는 대표 화합물인 PFOA와 PFOS 검량선을 나타내었다.

직선성 평가 결과, 모든 대상 화합물의 상관계수 (Correlation Coefficient, R)는 0.998 이상으로 확인되어 우수한 직선성을 나타내었다. 또한 최저 검량농도 (0.1 μg/L, FTOH는 10 μg/L)에서 수행한 반복성 평가 (n=5) 결과, 대부분의 화합물에서 피크 면적의 상대표준편차 (%RSD)가 22.6% 이하로 나타나 양호한 재현성을 확보한 것으로 확인되었다.

EN 17681-2 분석법의 검량선은 내부표준법 (Internal Standard Method)을 적용하여 1–100 μg/L 농도 범위로 조제하였으며, 내부표준물질로는 PFDODiAOMe를 사용하였다.

표 5 우측에는 EN 17681-2 대상 화합물의 검량선 직선성 평가 및 반복성 평가 결과를 제시하였다. 표에 포함된 4종의 FTOH 화합물은 EN 17681-2의 분석 대상 화합물에는 포함되지 않으나, 일반적으로 LC-MS/MS보다 GC-MS(/MS)를 이용한 분석이 널리 수행되고 있어 본 뉴스레터에서도 GC-MS/MS를 이용하여 함께 평가하였다.

직선성 평가 결과, 모든 대상 화합물의 상관계수가 0.998 이상으로 확인되어 우수한 직선성을 나타내었다. 또한 최저 검량농도 (1 μg/L)에서의 반복성 평가(n=5) 결과, 모든 화합물의 상대표준편차 값이 9.8% 이하로 나타나 우수한 재현성을 확보하였다.

그림 5, 6에는 대상 화합물 33종의 MRM 크로마토그램을 제시하였다. 분석 결과, 최저 검량농도 조건에서도 모든 대상 화합물이 양호한 피크 형상과 충분한 검출 감도를 나타내어 저농도 수준에서의 정성 및 정량 분석이 가능함을 확인하였다.

표 5. 검량선의 직선성 및 표준용액의 반복성 평가 결과 (좌: EN 17681-1, LC-MS/MS, 우: EN 17681-2, GC-MS/MS)

EN 17681-1						EN 17681-2					
#	화합물	정량MRM	검량선 농도범위 (μg/L)	상관계수 (R)	%RSD (n=5,0.1 μg/L*)	#	화합물	정량MRM	검량선 농도범위 (μg/L)	상관계수 (R)	%RSD (n=5,0.1 μg/L*)
1	PFBA	213.00 > 169.00	0.1-10	0.999	4.0	24	N-MeFOSE	526.10 > 461.70	1-100	0.999	6.3
2	PFPeA	263.00 > 219.00	0.1-10	0.998	1.9	25	N-EtFOSE	540.10 > 56.10	1-100	0.999	2.1
3	PFHxA	312.95 > 269.00	0.1-10	0.998	6.6	30	4:2 FTOH	196.10 > 127.10	1-100	0.998	5.5
4	PFHpA	362.95 > 319.00	0.1-10	0.999	6.3	31	6:2 FTOH	95.00 > 69.00	1-100	0.999	3.0
5	PFOA	412.95 > 369.00	0.1-10	0.999	2.4	32	8:2 FTOH	95.00 > 69.00	1-100	0.999	3.1
6	PFNA	462.95 > 418.95	0.1-10	0.999	6.5	33	10:2 FTOH	95.00 > 69.00	1-100	0.999	4.8
7	PFDA	512.95 > 468.95	0.1-10	0.998	2.8	34	Me-PFOA	169.10 > 69.10	1-100	0.998	3.2
8	PFUnA	562.95 > 518.95	0.1-10	0.999	2.2	35	Et-PFOA	169.10 > 69.10	-	-	-
9	PFDaA	612.95 > 568.95	0.1-10	0.999	6.1	36	6:2 FTA	418.10 > 99.10	1-100	0.999	9.5
10	PFTTrDA	662.95 > 618.95	0.1-10	0.999	7.7	37	8:2 FTA	518.10 > 99.00	1-100	0.999	8.1
11	PFTeDA	712.95 > 668.95	0.1-10	0.998	4.6	38	10:2 FTA	618.10 > 99.10	1-100	0.999	9.8
12	PFBS	298.95 > 79.95	0.1-10	0.999	3.6	39	6:2 FTMA	432.10 > 113.20	1-100	0.999	5.1
13	PFHxS	398.95 > 79.95	0.1-10	0.999	3.8	40	8:2 FTMA	532.10 > 113.10	1-100	0.998	7.6
14	PFHpS	448.95 > 79.95	0.1-10	0.999	3.9	43	PFDODiAOMe	574.10 > 374.10	1000	-	-
15	PFOS	498.95 > 79.95	0.1-10	0.999	4.6	*4 EN 17681-2의 분석 대상 화합물에는 포함되어 있지 않으나, 본 뉴스레터에서는 GC-MS/MS를 이용하여 함께 측정하였다.					
16	PFDS	598.90 > 79.95	0.1-10	0.999	5.1						
17	4:2 FTS	326.95 > 306.95	0.1-10	0.998	6.9						
18	6:2 FTSA	426.95 > 406.95	0.1-10	0.998	5.8						
19	8:2 FTSA	526.95 > 506.95	0.1-10	0.998	17.5						
20	10:2 FTS	627.00 > 606.90	0.1-10	0.998	15.0						
21	FOSA	497.95 > 77.95	0.1-10	0.998	3.2						
22	NMeFOA	511.95 > 169.00	0.1-10	1.000	10.5						
23	NEtFOA	526.00 > 169.00	0.1-10	0.999	8.6						
24	NMeFOSE	616.00 > 59.00	0.1-10	0.999	9.2						
25	NEtFOSE	630.00 > 59.00	0.9991	0.999	10.2						
26	HFPO-DA	329.00 > 169.00	0.1-10	0.999	5.5						
27	PF-3,7-DMOA	513.00 > 469.10	0.1-10	0.999	6.1						
28	4HPFUnA	491.05 > 367.00	0.1-10	0.999	16.6						
29	7HPFHpA	345.05 > 281.00	0.1-10	0.999	4.7						
30	4:2 FTOH	323.05 > 59.10	10-1,000	1.000	11.6						
31	6:2 FTOH	423.15 > 59.15	10-1,000	0.998	17.1						
32	8:2 FTOH	523.10 > 59.00	10-1,000	0.999	11.5						
33	10:2 FTOH	623.10 > 59.20	10-1,000	0.999	22.6						
41	MPFOA	417.05 > 372.05	1,000	-	-						
42	MPFOS	503.00 > 80.10	1,000	-	-						

PFOA

Area

$y = 274475.5x + 15821.07$

$R = 0.9987901$

Concentration (ng/mL)

PFOS

Area

$y = 31508.27x + 1085.677$

$R = 0.9988064$

Concentration (ng/mL)

그림 4. LCMS-TQ8050RX를 이용한 EN 17681-1 대상 화합물 중 PFOA 및 PFOS의 검량선

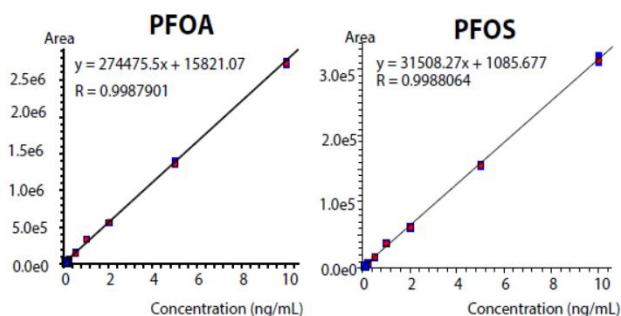


그림 4. LCMS-TQ8050RX를 이용한 EN 17681-1 대상 화합물 중 PFOA 및 PFOS의 검량선

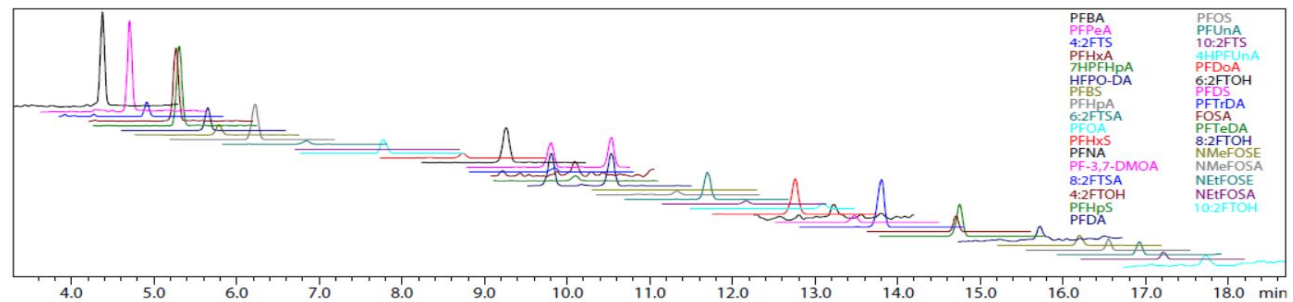


그림 5. LCMS-TQ8050RX를 이용한 EN 17681-1 대상 PFAS 화합물의 MRM 크로마토그램 (0.1 µg/L, FTOH는 10 µg/L, y축 척도 변경)

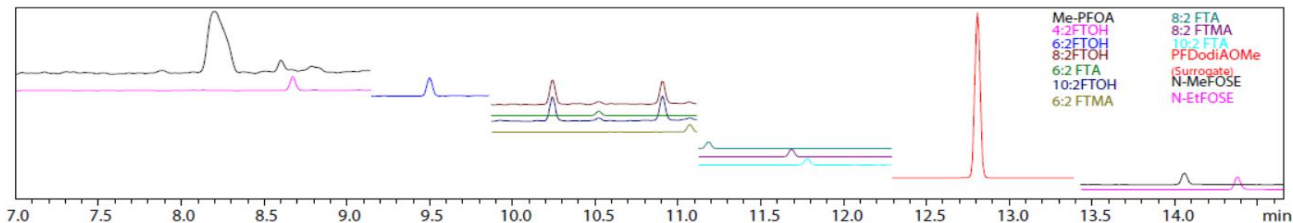


그림 6. GCMS-TQ8050 NX를 이용한 EN 17681-2 대상 PFAS 화합물의 MRM 크로마토그램 (1.0 µg/L, PFDoDiAOMe는 1 mg/L, y축 척도 변경)

■ 스파이크 회수율 평가

EN 17681-1의 스파이크 회수율 평가는 그림 2에 나타난 개정 EN 17681-1:2025 전처리법을 이용하여 수행하였다. 샘플은 100% 면 장갑 1 g을 사용하였으며, PFAS 표준물질을 첨가하여 샘플 내 농도가 20 ppb (FTOH는 2,000 ppb)가 되도록 조제하였다. EN 17681-1 분석법은 대체표준물질을 사용하지 않기 때문에, 샘플 전처리 후 내부표준물질 (MPFOA 및 MPFOS)을 첨가하여 내부표준물질의 회수율을 확인함으로써 매트릭스 효과에 따른 영향을 평가하였다. 또한 LC-MS/MS 분석에 앞서 내부표준물질의 회수율이 기준값의 60% 이상이 되도록 최종 추출액을 필요에 따라 2-5배 희석하도록 규정하고 있다. 본 뉴스레터에서는 샘플 전처리 후 최종 추출액을 2배 희석하였으며, 내부표준물질의 회수율이 기준 범위 내에 있음을 확인하였다 (표 6). EN 17681-1의 스파이크 회수율 결과는 그림 7 및 그림 8에 나타내었다. 분석 결과, 모든 대상 화합물에서 평균 회수율 (n = 3)은 70-130 % 범위 내로 양호한 회수율을 나타내었으며, 회수율의 상대표준편차 (n = 3)는 11% 이하로 확인되어 우수한 재현성을 나타내었다.

EN 17681-2의 스파이크 회수율 평가는 그림 3에 제시된 샘플 전처리법을 이용하여 수행하였다. 샘플은 100% 면 장갑 1 g을 사용하였으며, PFAS 표준물질을 첨가하여 샘플 내 농도가 25 ppb가 되도록 조제하였다. EN 17681-2는 내부표준법을 적용하였으며, 스파이크 회수율 결과는 그림 9 및 그림 10에 제시하였다. 분석 결과, 모든 대상 화합물에서 양호한 회수율을 나타내었으며, 평균 회수율 (n = 3)은 70-130 % 범위로 확인되었다. 또한 회수율의 상대표준편차 (%RSD, n = 3)는 10% 이하로 확인되어 우수한 정밀성과 재현성을 나타내었다.

표 6. EN 17681-1 내부표준물질 (MPFOA 및 MPFOS)의 회수율 결과

#	화합물	평균 회수율 (%) (n = 3)
41	MPFOA	102.1
42	MPFOS	102.3

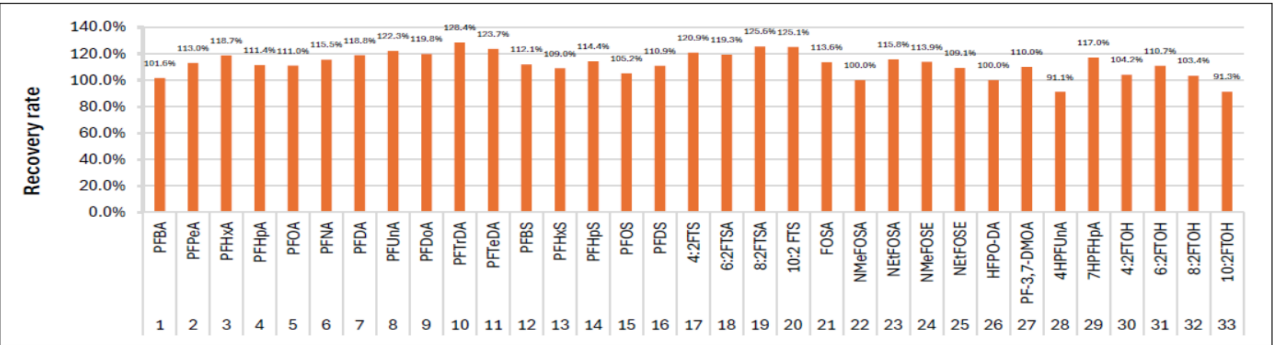


그림 7. EN 17681-1 (LC-MS/MS) 분석법의 대상 화합물별 회수율 평가 결과

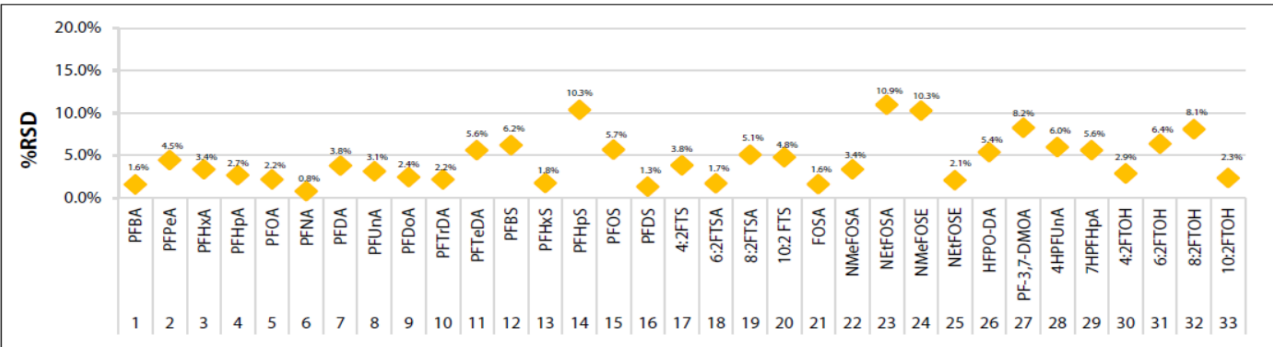


그림 8. EN 17681-1 (LC-MS/MS) 분석법의 반복성 평가 결과

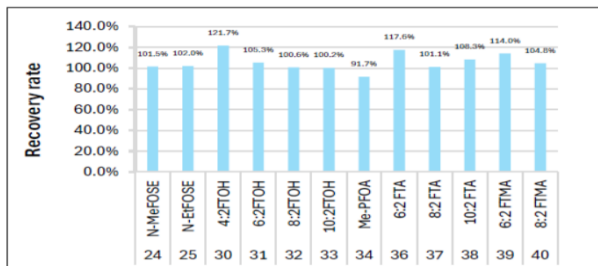


그림 9. EN 17681-2 (GC-MS/MS) 분석법의 대상 화합물별 회수율 결과

■ 스키복 샘플 분석 결과

실제 샘플에 대한 적용 가능성을 평가하기 위해 오래된 스키복을 샘플로 사용하여 PFAS 분석을 수행하였다. EN 17681-1 (LC-MS/MS) 분석법을 적용한 결과는 그림 11에 나타내었다. 또한 EN 17681-1:2025 개정판의 영향을 확인하기 위해 개정 전 샘플 전처리법 (EN 17681-1:2022)과 개정 후 샘플 전처리법 (EN 17681-1:2025)을 모두 적용하여 비교 분석하였다. 분석 결과, EN 17681-1:2025에서 도입된 알칼리 가수분해 처리에 의해 NMeFOSE, 6:2 FTOH, 8:2 FTOH 및 10:2 FTOH의 검출량이 크게 증가한 것으로 확인되었다. 이는 EN 17681-1:2025 샘플 전처리법 적용 시 PFAS 추출 효율이 향상되었음을 보여준다. LC-MS/MS 분석 대상 화합물 33종 중 총 20종이 샘플에서 검출되었으며, EN 17681-2 (GC-MS/MS) 분석법을 적용한 결과에서는 12종 중 8종이 검출되었다. 이 중 8:2 FTOH와 10:2 FTOH는 각각의 검량선 상한 농도를 초과하는 수준으로 검출되었으며, 결과는 그림 12에 제시하였다.

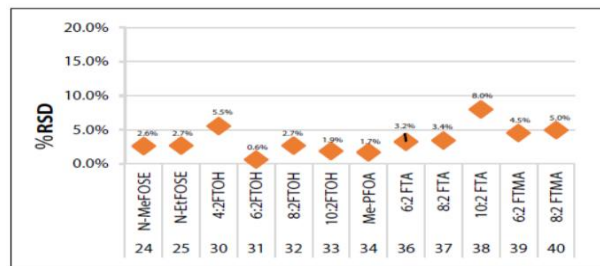


그림 10. EN 17681-2 (GC-MS/MS) 분석법의 반복성 평가 결과

■ 결론

EN 17681-1 및 EN 17681-2 표준시험법에 따라 섬유 소재 중 PFAS 분석을 수행하였으며, 분석에는 LCMS-8050RX와 GCMS-TQ8050 NX 시스템을 사용하였다. LC-MS/MS와 GC-MS/MS 분석을 병행함으로써 대상 화합물 전체를 25 ppb 이하 수준에서 안정적으로 분석할 수 있었다. 또한 EU POPs 규제 기준 농도인 25 ppb 수준에서 수행한 스파이크 회수율 평가 결과, 모든 대상 화합물에서 70-130 % 범위의 양호한 회수율을 나타내어 분석법의 정확성과 신뢰성을 확인하였다. 아울러 2025년에 개정된 EN 17681-1:2025 샘플 전처리법을 적용한 결과, PFAS의 추출 효율이 향상됨을 확인할 수 있었다.

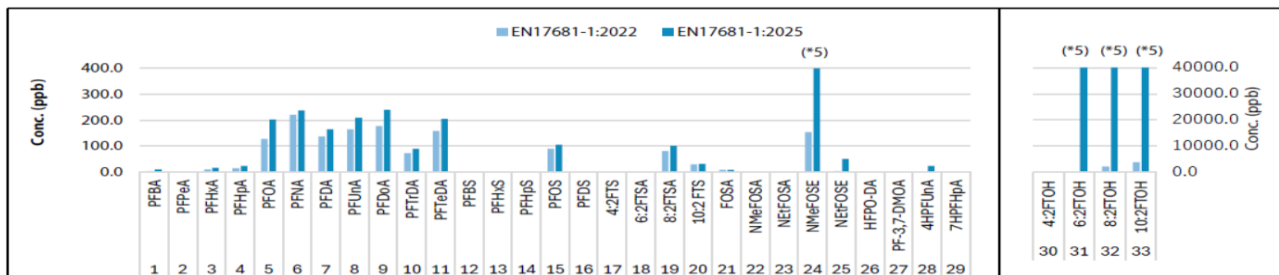


그림 11. LC-MS/MS를 이용한 EN 17681-1:2022 및 EN 17681-1:2025 분석법의 샘플 분석 결과 비교

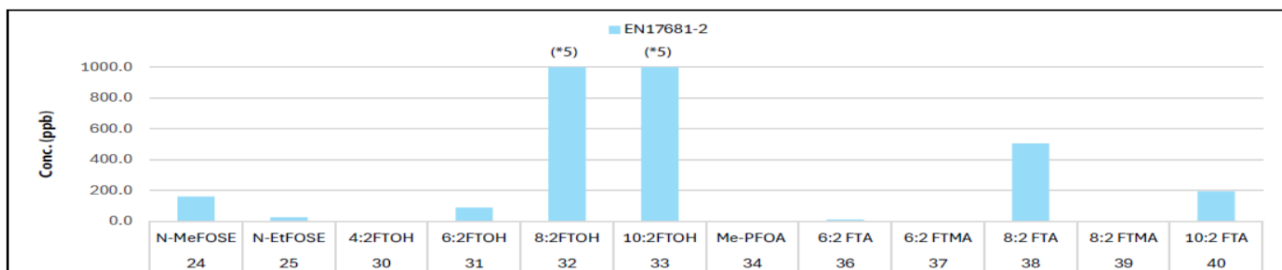


그림 12. GC-MS/MS를 이용한 EN 17681-2 분석법의 샘플 분석 결과

*5 해당 화합물들은 각각의 검량선 상한 농도를 초과하는 수준으로 검출되었다. 그림 11 및 그림 12에서는 샘플 간 비교를 용이하게 하기 위해 검량선의 최대 농도 범위까지만 결과를 표시하였다.

■ 참조

- 1) EUR-Lex - 02019R1021-20251203 - EN - EUR-Lex
- 2) EN 17681-1:2025 Textiles and textile products - Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) - Part 1: Analysis of an alkaline extract using liquid chromatography and tandem mass spectrometry
- 3) EN 17681-2:2022 Textiles and textile products - Organic fluorine - Part 2: Determination of volatile compounds by extraction method using gas chromatography

GCMS-TQ, Nexera, LabSolutions, and Shim-pack Scepter are trademarks of Shimadzu Corporation or its affiliated companies in Japan and/or other countries.

No. 01-01108-EN



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.