

Sykam 이온 크로마토그래피와 컬럼 후 유도체화법을 이용한 식수 내 6가 크로뮴 분석 방법

Determination of Hexavalent Chromium in drinking water by post column dervatization with Sykam S 153 Ion Chromatography System

By Ajoo Scientifics

소개

일상생활에서 **크로뮴(Cr, Chromium)**은 다양한 목적과 방법에 맞게 광범위하게 사용되고 있습니다. 아름다운 광택과 뛰어난 내화학성 및 물리적 성질 때문에 철강 산업 전반적으로 광범위하게 사용되는 금속 중 하나입니다. 토양 및 바위에 존재하는 미량의 크로뮴은 자연스럽게 강, 하천, 하수 등에 녹아 들어 이온 형태로 존재하게 됩니다. 또한 산업 전반적인 오염 등에 의해 식수 내에 크로뮴이 유입될 수 있습니다.

크로뮴은 두가지 이온 형태로 존재할 수 있으며 3가 크로뮴 이온 (trivalent Chromium, Cr(III))은 체내에서 사용되는 필수 원소 중 하나로서 상대적으로 그 독성이 적은 편이며 당 대사에 관여하는 물질이기에 일부 영양제 및 치료제에 사용되기도 합니다. 하지만 두번째 이온 형태인 6가 크로뮴 이온(Hexavalent Chromium, Cr(VI))은 그 이온의 특성상 생체 독성이 매우 강한 물질입니다. 장기간 노출 시 중독 증세와 궤양이 발생할 수 있으며 잠재적 발암성 물질로 간주되는 위험 물질로써 각별히 유의해야 합니다.

이러한 6가 크로뮴의 위험성을 의식해 국제적으로 크로뮴 총량 혹은 6가 크로뮴의 함량은 엄격히 제한되고 있는데 유럽 연합은 식수 내 크로뮴의 총 함량을 0.05 mg/L 이하로 제한하고 있으며^[1] 미국 환경보호청(EPA)에서는 총 크로뮴의 최대 허용 농도(MCL, Maximum Contaminant Level)가 0.01 mg/L 이하일 것을 지정하고 있습니다.^[2] 한국에서는 환경정책기본법 시행령 제2조 별표1 환경 기준에서 6가 크롬 함량을 0.05 mg/L 로 제한하고 있습니다.^[3]

본 문서는 Sykam 이온 크로마토그래피 시스템 및 Sykam 음이온 분리 컬럼 A05를 통해 구성된 컬럼 후 유도체화법 분석 시스템으로 EPA Method 218.7^[4]에서 제시하는 식수 내 6가 크롬 분석법을 제시하며 검정합니다.

장비

본 어플리케이션 및 분석에서 사용된 장비 구성은 아래와 같습니다.

장비 종류	장비 명
이 동 상 펌 프	S 1130 Gradient Pump
반 응 액 펌 프	S 1130 Isocratic Pump
오 토 샘플 러	S 5300 Auto Sampler
검 출 기	S 3250 UV/Vis Detector
컬 럼 오븐	S 3120 Conductivity Detector
반 응 코 일	Sykam Reaction Coil, 0.3 mm x 14 m, FEP

이동상 펌프에 사용된 S 1130 Gradient Pump 는 반응액 펌프와 동일한 S 1130 Isocratic Pump 로 대체될 수 있습니다.

S 3120 Conductivity Detector 는 컬럼 및 코일 온도 유지를 위해 사용됐으며 S 4120 혹은 S 4115 Sykam Column Oven 으로 대체될 수 있습니다.

반응의 최적화를 위해 반응 코일은 Sykam Reaction Coil (Art. No. S000211)이 사용됐으며 반응 코일은 온도 제어를 위해 컬럼과 함께 30도로 유지됐습니다. 반응액의 원활한 공급을 위해 2개의 Sykam Back Pressure Valve(S012150)가 사용됐으며 자세한 구성은 하단의 장비 구성도에서 확인 가능합니다. 실내 온도가 일정하게 유지된다면 별도의 Reactor Oven 없이 유도체화를 진행해도 무관합니다.

만약 Sykam 통합형 유도체화 반응 시스템인 Sykam S1134 Dual Pump system 을 가지고 있다면 두개의 펌프와 반응 코일 및 검출기는 하나의 통합형 유도체화 반응 시스템으로 대체될 수 있습니다.

시약 및 표준액

분석에 사용될 모든 유도체화 용액 및 이동상은 ACS 등급 등의 분석용 등급 이상의 화학제품이 사용되어야 합니다.

만약 상업적으로 준비된 6가 크롬 표준액이 아닌 염 형태의 화합물로 직접 준비한다면 반드시 ACS Reagent 등급 이상의 염을 사용해야 하며 표준액 제조 후 적정 및 기타 방법 등으로 함량을 측정해야 합니다. 본 어플리케이션 노트에서 사용된 표준품은 상업적으로 준비된 표준 용액을 사용하였으며 사용된 시약 정보는 아래와 같습니다.

- 증류수(H₂O, ASTM D1193-06, > 18.2 MΩ·cm)
- 황산 암모늄((NH₄)₂SO₄, GR grade, > 99.5 %), KANTO(O1332-1B)
- 암모니아수(NH₄OH, 28-30%, for analysis EMSURE® ACS, Reag. Ph Eur), Merck (1.05423)
- 메탄올(CH₃OH, HPLC grade, > 99.9 %), 대정화금(5558-2304)
- 1,5-DIPHENYLCARBAZIDE (C₁₃H₁₄N₄O, ACS reagent grade), Sigma-Aldrich (259225)
- 황산(H₂SO₄, ACS reagent, 95.0-98.0%), Sigma-Aldrich(258105)
- 6 가 크롬 표준액(Cr(VI) Standard Solution, 1000 ppm, TraceCERT®), Supelco(19036)

크로마토그래피 분석 조건

Method Validation 1 (Sykam A05)

Column:	Sykam A05 (250 x 4.0 mm), Analytical column
Eluent:	Ammonium Sulfate 15 g/L Ammonium Hydroxide (28-30 %) 7 ml/L
Reagent:	100 mL/L Methanol 500 mg/L 1,5-Diphenylcarbazide 30 mL/L Sulfuric Acid
Eluent Flow Rate:	0.7 ml/min
Reagent Flow Rate:	0.3 ml/min
Run Time:	10 min, Sequence Idle time: 2 min
Temperature:	45 °C
Injection Volume:	1000 µL (full loop injection)
Reaction Coil:	1000 µL
Detection:	530 nm Photometric detection
Backpressure 1:	130 bar (1,885 psi)
Backpressure 2:	25 bar (362 psi)
Noise:	< 0.08 mAU (12 – 13 min ASTM Noise)

이동상, 유도체화 용액 및 보존 용액 준비

이동상 준비 방법

반드시 니트릴 재질의 보호 장갑과 보호경 및 실험복을 착용합니다. 암모니아수는 유독한 증기를 방출할 수 있으므로 반드시 충분한 환기가 가능한 장소 혹은 후드 안에서 이동상을 제조해야 합니다. 먼저 2000 mL 용량의 볼륨 플라스크를 준비한 뒤 신선한 증류수로 충분한 세척 및 건조를 합니다. 완전히 건조된 볼륨 플라스크에 신선한 증류수 약 1,500 mL 를 준비합니다. 이 용액에 황산 암모늄 30 g 을 녹인 후 충분히 교반 하여 용액이 투명해질 때까지 녹입니다. 이후 14 ml 의 암모니아수를 첨가한 뒤 다시 충분히 교반 합니다. 충분한 교반 후 플라스크의 눈금에 맞게 천천히 증류수를 부어 2000 mL 까지 정용 합니다.

이후 충분한 교반 과정을 거친 후 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 혹은 폴리프로필렌(PP) 재질의 이동상 병을 준비해 이동상을 담습니다. 만약 병의 색상이 투명한 색상일 경우 알루미늄 호일 등으로 감싸 빛으로부터 차폐합니다.

준비된 이동상은 상온에서 최대 3일까지 안정적입니다.

유도체화 용액 준비 방법

반드시 니트릴 재질의 보호 장갑과 보호경 및 실험복을 착용합니다. 황산 용액은 격렬한 발열 및 유독 가스를 방출할 수 있으므로 반드시 충분한 환기를 확보하거나 후드 안에서 제조합니다. 먼저 100 mL, 1000 mL 용량의 볼륨 플라스크와 100 mL 의 매스 실린더를 준비한 뒤 신선한 증류수로 충분한 세척 및 건조를 합니다. 완전히 건조된 1000 mL 용량의 볼륨 플라스크에 신선한 증류수 약 700 mL 를 준비합니다.

완전히 건조된 100 mL 의 매스 실린더에 30 mL 의 황산 용액을 준비합니다. 이후 증류수가 준비된 1000 mL 볼륨 플라스크에 벽면을 타고 천천히 황산 용액을 흘려 녹입니다. 이 과정 중에서 열이 발생하므로 가능하다면 아이스 배스에서 진행합니다.

완전히 건조된 100 mL 볼륨 플라스크에 메탄올 약 70 mL 를 준비합니다. 500 mg 의 1,5-DIPHENYLCARBAZIDE 를 넣은 후 충분한 교반 합니다. 이때 40 °C 정도로 가열하거나 초음파를 이용해 녹일 수 있습니다. 모든 디페닐카르바지드가 녹아 용액이 투명한 상태가 되면 눈금에 맞춰 100 mL 로 맞춥니다. 이후 준비된 용액 100 mL 를 1000 mL 볼륨 플라스크에 넣은 후 충분히 교반 합니다. 이어서 증류수를 눈금에 맞게 부어 1000 mL 용량에 맞춥니다. 제조된 유도체화 용액은 이동상과 동일하게 빛으로부터 차폐하며 상온에서 3일간 안정적입니다.

보존 용액 준비 방법

보존 용액은 시료 및 표준액 내 존재하는 6가 크로뮴의 조성 안정화를 위해 투입됩니다. 염소에 의한 방해 및 6가 크로뮴의 3가 크로뮴으로의 환원 등을 방지합니다. 본 어플리케이션 노트에서 분석된 모든 공시험체, 표준액, 샘플에 1 ml/100 ml 농도의 보존용액이 첨가되었습니다.

반드시 니트릴 재질의 보호 장갑과 보호경 및 실험복을 착용합니다. 암모니아수는 유독한 증기를 방출할 수 있으므로 반드시 충분한 환기가 확보된 장소 혹은 흡 후드 안에서 제조해야 합니다. 증류수로 세척 후 건조된 100 mL 볼륨 플라스크를 준비합니다.

100 mL 볼륨 플라스크에 약 70 mL의 증류수를 넣은 후 3.3 g의 황산 암모늄을 투입합니다. 교반 후 6.5 mL의 암모니아수를 넣은 뒤 다시 교반 합니다. 충분한 교반 후 플라스크의 눈금에 맞게 증류수를 부어 100 mL 눈금에 맞춥니다.

이 보존액은 상온에서 한달간 안정합니다.

샘플

본 어플리케이션 노트에서 분석된 샘플은 다음과 같습니다.

No.	샘플
1	군포 지역 수돗물
2	화성시 지역 지하수
3	백산수
4	제주 용암수
5	삼다수
6	아이시스 8.0

시료 수집에 사용된 모든 초자 및 플라스틱 용기는 0.1 M 질산으로 침전 및 세척 후 크로뮴 오염이 없는 것으로 확인된 증류수로 세척되었습니다. 수돗물은 수도를 연 뒤 5분 후 500 ml HDPE 용기에 담았으며 지하수 역시 흐르는 지점을 기준으로 동일한 과정을 통해 수집했습니다. 상업용 음용수인 3, 4, 5, 6, 샘플의 경우 각각 다른 곳에서 제품을 구매하였으며 제품을 개봉한 뒤 바로 분석했습니다.

모든 샘플은 분석 전에 1 ml/100 ml 농도로 보존 용액이 첨가됐으며 pH는 8.5 ~ 9.5 범위 내로 측정했습니다. 마지막으로 PES 0.22 µm 공극 사이즈의 시린지 필터로 여과했습니다.

표준액

본 어플리케이션 노트에서 분석된 표준액은 다음과 같습니다.

표준 원액(Cr(VI) Standard Stock Solution)

세척 및 건조된 100 mL 볼륨 플라스크에 증류수 약 70 mL를 넣은 뒤 보존 용액 1 mL를 넣습니다. 이후 1000 mg/L 농도의 6가 크롬 표준액 100 µL를 넣습니다.

이후 증류수를 볼륨 플라스크 눈금에 맞춰 붓습니다. 1 mg/L로 준비된 이 용액을 6가 크롬 표준 원액이라고 합니다.

분석 표준액

준비된 표준 원액을 다음 표와 같이 희석합니다.

No	이름	투입용액	투입량(ml)	최종용량(ml)	농도(µg/L)
1	표준액 1	표준 원액	2	100	20
2	표준액 2	표준액 1	1	100	0.2
3	표준액 3	표준액 2	10	100	0.02

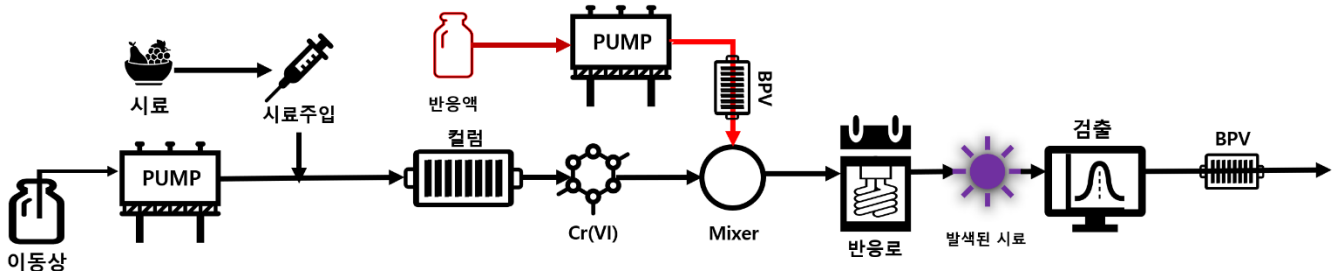
준비된 표준액을 이용해 다음과 같이 희석된 표준액을 준비합니다.

No	이름	투입용액	투입량(ml)	최종용량(ml)	농도(µg/L)
1	표준액 4	표준액 1	25	50	10
2	표준액 5	표준액 4	25	50	5
3	표준액 6	표준액 4	5	50	2
4	표준액 7	표준액 4	2.5	50	1
5	표준액 8	표준액 7	25	50	0.5
6	표준액 9	표준액 2	25	25	0.1
7	표준액 10	표준액 2	12.5	50	0.05
8	표준액 11	표준액 10	25	50	0.025

0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20 µg/L 농도의 표준액이 교정 곡선 작성을 위한 표준액으로 분석됐으며 0.2, 0.1 µg/L 농도의 표준액이 분석법 검출 한계(MDLs, Method Detection Limit) 평가를 위해 각각 7회 반복 분석했습니다.

장비 안정화 및 분석

먼저 장비의 구성은 아래와 같이 구성합니다.



Sykam T-mixer와 반응액 펌프의 원활한 공급과 안정적인 베이스라인 형성을 위한 압력 형성을 위해 2개의 Back Pressure Valve(S012150)을 그림과 같이 설치합니다. 이들은 동등한 역할을 할 수 있는 Mixer와 Back Pressure Coil로 대체될 수 있습니다.

먼저 이동상 및 반응액 펌프를 각각 25 ml가량 충분히 퍼지합니다. 특히 반응액은 메탄올과 황산 용액이 충분히 섞이지 않을 경우 지속적인 기포가 발생해 반응액 펌프의 압력 흔들림을 유발할 수 있습니다. 그런 다음 S3250(S3245) UV/Vis 검출기의 전원을 켜고 10 분간 예열합니다. 컬럼 오븐 온도를 45도로 설정한 후 이동상 펌프의 유속을 0.2 ml/min에서 시작해 5분 간격으로 0.3, 0.5, 0.7 ml/min으로 증가시킵니다. 이동상의 유속이 0.7 ml/min 일 때 반응액 펌프의 유속을 0.3 ml/min으로 설정합니다. 각 펌프에 걸리는 압력은 사용하는 코일 및 압력 밸브의 종류와 상태에 따라 상이하지만 일반적으로 이동상 및 반응액 펌프의 압력은 각각 120, 20 bar 정도가 유지됩니다. 이때 압력의 흔들림과 그에 따른 압력 편차는 각각 3, 1 bar 이내여야 합니다. 만약 충분한 퍼지 이후에도 이 이상의 압력 흔들림이 1시간 이상 발생하는 경우 펌프 헤드 내의 체크밸브 혹은 압력 실 점검 및 교체가 필요합니다. 1시간 정도의 충분한 안정화 후 베이스라인 노이즈 평가를 위해 Bypass 분석을 2회 실행합니다. 육안 상 가장 평평한 1분 구간의 ASTM Noise가 0.05 mAU 이하여야 합니다. 본 분석에서는 8 - 9 분 사이의 ASTM Noise는 0.0413 mAU로 측정됐습니다. 충분한 안정화 거쳐 안정적인 베이스라인 얻었다면 이제 시퀀스를 작성한 뒤 분석을 시작합니다. 장비에 대한 자세한 사용법은 (주)아주과학 이온 크로마토그래피 사용법을 참고합니다.

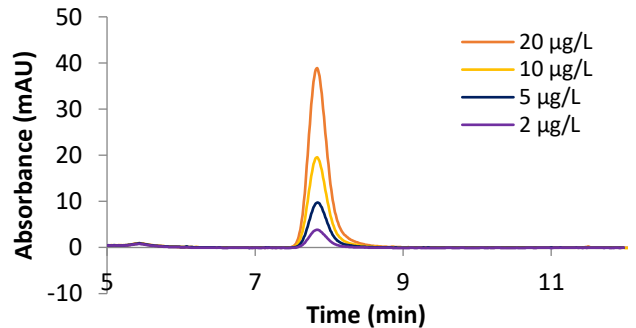
결과 및 논의

분석된 표준액의 크로마토그램은 다음과 같습니다.

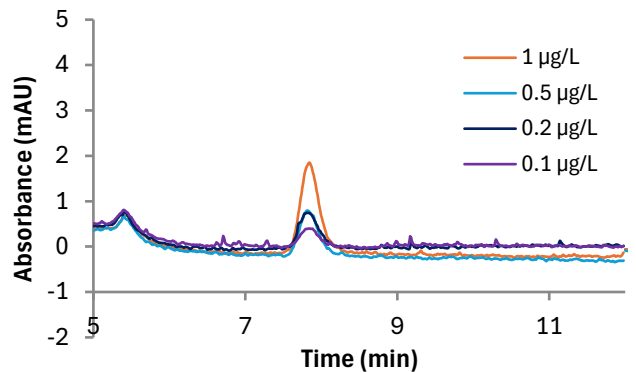
Column: Sykam A05
 Eluent: 15 g/L Ammonium Sulfate + 7 mL/L Ammonium Hydroxide
 Reagent: 100 mL/L Methanol + 500 mg/L 1,5-Diphenylcarbazide + 30 mL/L Sulfuric Acid
 Eluent Flow: 0.7 mL/min
 Reagent Flow: 0.3 mL/min
 Temperature: 45 °C
 Detection: 530 nm Photometric Detection
 Inj. Vol.: 1000 µL (Full Loop Injection)
 Reaction Vol.: 1000 µL

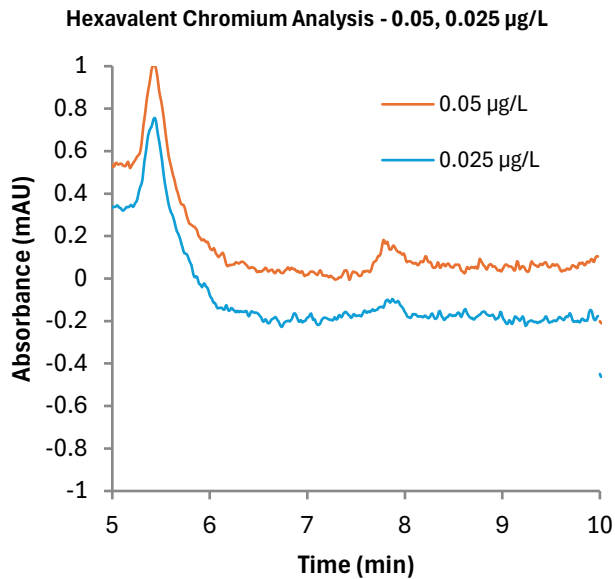
Peak: Cr(VI) 20, 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.01, 0.05, 0.025 µg/L

Hexavalent Chromium Analysis - 20, 10, 5, 2 µg/L



Hexavalent Chromium Analysis - 1, 0.5, 0.2, 0.1 µg/L





머무름 시간(RT; Retention Time)과 피크 면적(Area)는 다음 표와 같습니다.

농도(µg/L)	머무름 시간(min)	면적(mAU*sec)
20	7.838	662.657
10	7.840	333.656
5	7.848	166.608
2	7.845	66.707
1	7.847	34.503
0.5	7.820	17.495
0.2	7.858	7.384
0.1	7.863	3.589
0.05	7.787	1.900
0.025	7.877	0.940

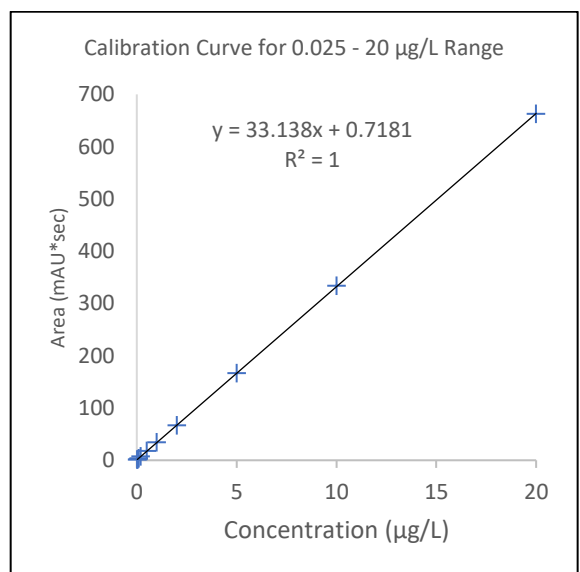
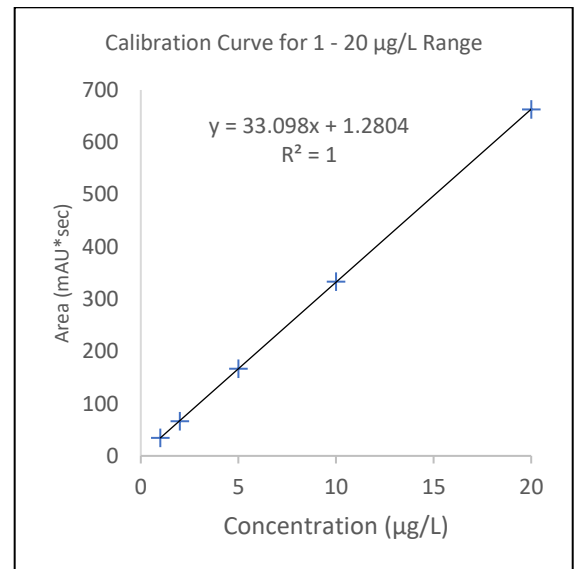
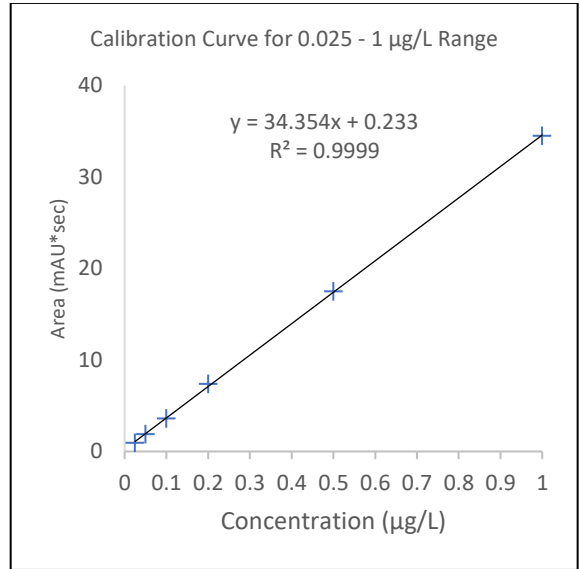
모든 표준액은 각 1회 주입되었습니다. 전체 표준액 농도 범위에서 상관 계수 Correlation Coefficient(r) 및 결정계수 Determination Coefficient(R²)는 각각 0.999⁹⁹⁴, 0.999⁹⁸¹를 얻었습니다.

20, 10, 5, 2, 1 µg/L 표준액은 각각 1회 주입됐으며 머무름 시간 상대 표준편차(RSD)는 0.06%로 안정적인 피크 머무름 시간을 얻을 수 있었으며 Correlation Coefficient(r) 및 Determination Coefficient(R²)는 각각 0.999⁹⁹⁴, 0.999⁹⁷⁹를 얻었습니다.

1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05, 0.025 µg/L 표준액 역시 각 1회 주입됐으며 이 범위에서 계산된 Correlation Coefficient(r) 및 Determination Coefficient(R²)는 각각 0.999⁹¹², 0.999⁶⁸를 얻었습니다.

전체 범위 및 개별 세부 범위에서 상관 계수가 0.999 이상으로 신뢰도 있는 결과를 얻을 수 있었습니다.

다음 그래프들은 각 표준액 농도 구간 별 세부 데이터입니다.



분석법 검출 한계(MDLs; Method Detection Limit) 평가를 위해 0.2, 0.1 µg/L 농도의 표준액이 각 7회 반복 분석되었습니다.

분석법 검출 한계의 산출 방식은 USP Method 218.7 Section 9.2.6에 의거해 산출되었습니다.

$$MDL = t \times SD$$

SD: 표준 편차

t: (n-1)자유도, 신뢰도 99% 수준의 student t 값, ~3.143

분석법 보고 한계(MRLs; Method Report Limit)는 다음과 같은 산출 방식으로 결정되었습니다.

$$MRL = 3 \times MDL$$

분석 농도	0.2 µg/L	
회차	면적 [mAU.s]	함량 [µg/L]
1	7.226	0.218
2	7.384	0.222
3	7.320	0.221
4	7.697	0.232
5	7.375	0.222
6	7.325	0.221
7	7.491	0.226
평균	7.403	0.223
표준 편차	7.787	1.900
RSD [%]	2.06	2.03
MDL	0.014 ₂₅ µg/L	
MRL	0.042 ₇₅ µg/L	

분석 농도	0.1 µg/L	
회차	면적 [mAU.s]	함량 [µg/L]
1	4.570	0.138
2	4.570	0.138
3	4.551	0.137
4	4.360	0.131
5	4.473	0.135
6	4.401	0.133
7	4.422	0.133
평균	4.478	0.135
표준 편차	0.086863	0.002769
RSD [%]	2.26	2.39
MDL	0.010 ₅₇ µg/L	
MRL	0.030 ₁₇ µg/L	

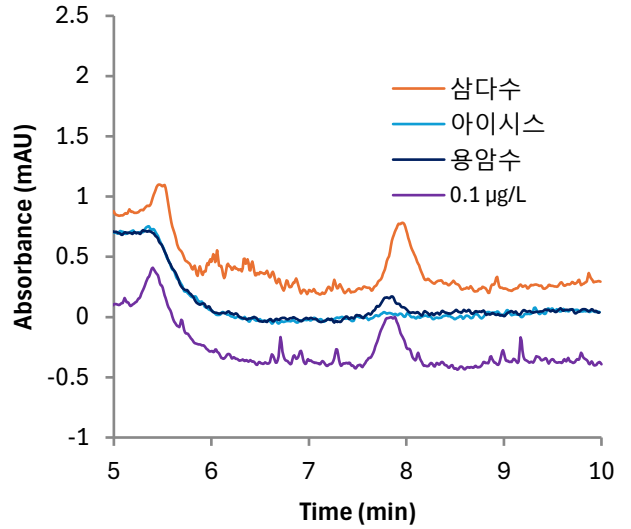
최종적으로 0.03 ~ 0.042 µg/L 농도의 MRL 값이 산출되었습니다. 이는 일반적인 제한 기준인 10 µg/L 값보다 훨씬 낮은 검출, 보고 한계 값을 얻었습니다.

샘플 분석 결과

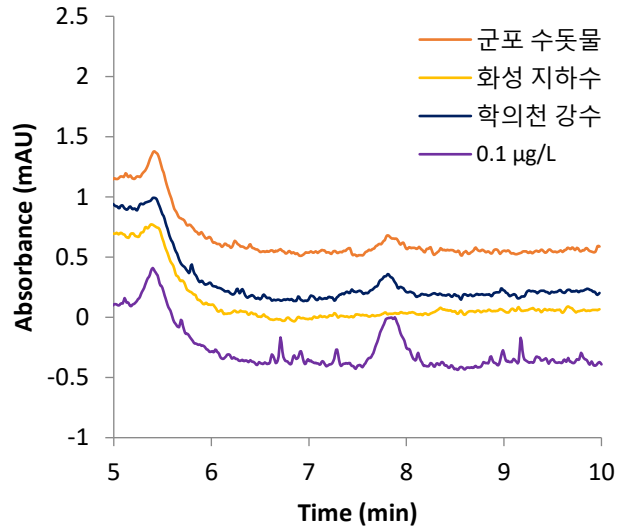
환경정책기본법 시행령에서는 수질 관련 제한 사항으로 6가 크롬의 함량을 50 µg/L 이하일 것으로 제한하고 있습니다. 모든 시료는 본 문서에서 언급된 방식으로 준비 및 분석되었습니다.

다음은 식수 및 수돗물, 지하수, 강수에 대한 분석 결과입니다.

Hexavalent Chromium Analysis - Drinking Water



Hexavalent Chromium Analysis - Ground, Tab, River



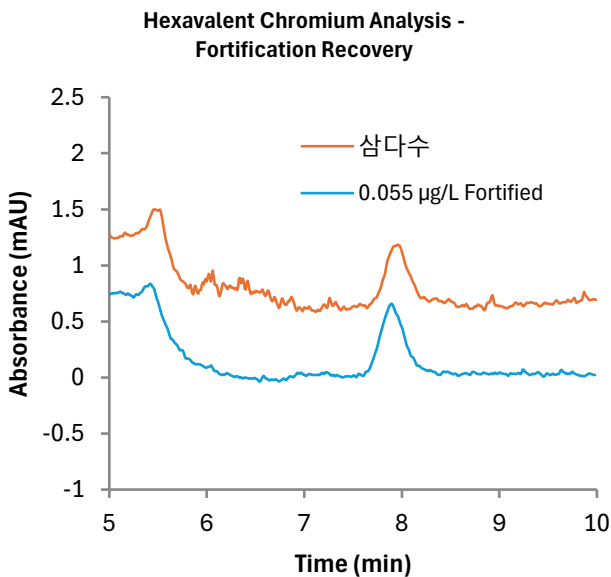
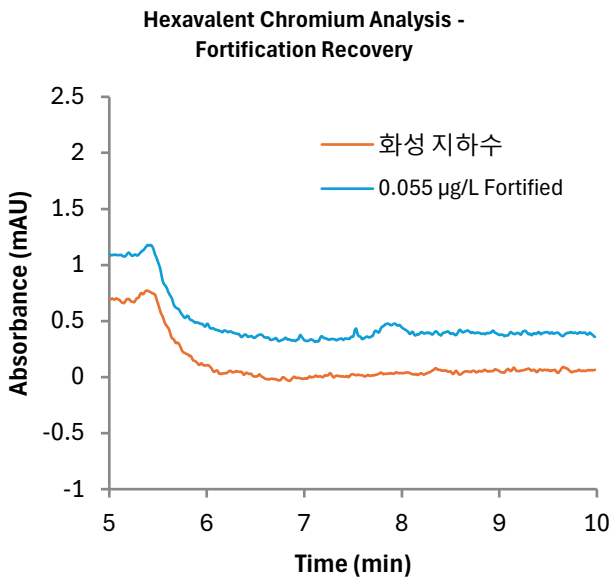
시료	함량 [µg/L]	시료	함량 [µg/L]
삼다수	0.274	군포 수돗물	0.102
아이시스 8.0	< MRL	화성 지하수	N.D.
제주 용암수	0.086	학의천 강수	0.075

분석된 모든 샘플에서 1 µg/L 이하의 6가 크롬이 검출되었습니다. 이중 아이시스 8.0 에서는 약 0.0301 µg/L의 6가 크롬이 검출됐으며 이는 산출된 보고 한계(MRL) 보다 낮은 값입니다. 화성 지하수에서는 검출 한계 이상의 피크가 보고되지 않았습니다.

시료 첨가(Fortification)를 통한 회수율 평가를 위해 다음과 같이 샘플에 1 mg/L 농도의 6가 크롬 표준액이 첨가되었습니다.

시료	목표 농도 [µg/L]	첨가량 [µL]	최종용량 [mL]
삼다수	0.05	25	500
화성 지하수	0.05	25	500
군포 수돗물	0.05	25	500

다음은 시료 첨가에 결과에 대한 크로마토그램입니다.



첨가 및 회수율은 EPA 218.7의 Section 9.3.4.2 항목의 계산식을 이용해 평가되었습니다.

$$\%R = \frac{(A - B)}{C} \times 100$$

- A: 첨가 샘플 내의 농도
- B: 미첨가 샘플 내의 농도
- C: 첨가 농도

시료	A [µg/L]	B [µg/L]	회수율 [%]
삼다수	0.274	0.323	98.0
화성 지하수	N.D.	0.514	102.8
군포 수돗물	0.102	0.147	90.0
공시험체	N.D.	0.052	104.0

세가지 시료 및 실험실 공시험체(LB; Laboratory Blank)에 0.05 µg/L 농도로 첨가했을 때 회수율은 90.0 ~ 104.0 %로 적합한 범위 내로 회수가 되었습니다.

요약 및 결론

Sykam 이온 크로마토그래피 시스템을 기반으로 구성된 컬럼 후 유도체화 분석 시스템 및 Sykam 음이온 분리 컬럼 Sykam A05는 식수 내 6가 크롬 분석에 매우 적합하며 뛰어난 성능을 보였습니다. 0.025 - 20 µg/L 농도 범위에서 0.999 이상의 상관 계수를 얻었으며 1 µg/L 이상 농도 범위에서 0.1 % 이하의 머무름 시간 RSD 값을 얻었습니다. 또한 0.025 - 1 µg/L 농도 범위에서 0.999 이상의 상관 계수를 얻었습니다. 이를 통해 0.2, 0.1 µg/L 농도의 표준액의 반복 분석을 통해 0.014, 0.010 µg/L 농도의 분석법 검출 한계(MDLs; Method Detection Limit)을 얻을 수 있었습니다. 샘플 및 공시험체에 표준액을 첨가 강화했을 때 90 ~ 104 %의 회수율을 얻었습니다. 이는 시스템이 뛰어난 정확성, 재현성, 직선성을 보이며 이에 따라 EPA 218.7 Method에서 요구하는 6가 크롬 분석 조건을 만족함을 알 수 있습니다.

참조

- [1] *Directorate-General for Environment*. Brussels: European Commission 4 June 2025.
- [2] Safe Drinking Water Act – Chromium in drinking water
- [3] 환경정책기본법 시행령 제2조 별표 1 환경 기준 – 수질 및 수생태계 항목 중 가. 하천 1) 사람의 건강 보호 기준
- [4] EPA Method 218.7 – DETERMINATION OF HEXAVALENT CHROMIUM IN DRINKING WATER BY ION CHROMATOGRAPHY WITH POST-COLUMN DERIVATIZATION AND UV-VISIBLE SPECTROSCOPIC DETECTION, U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY CINCINNATI; OHIO 45268

www.ajoo.com

©2025 Ajoo Scientifics Inc. All rights reserved. This information is presented as an example of the capabilities of the products of Sykam GmbH. It is not intended to encourage the use of these products in any manner that might infringe the intellectual property rights of others. Specifications, terms and pricing are subject to change. Not all products are available in all countries. Please Consult your local distributor for details.

