

SYKAM 이온 크로마토그래피 시스템을 이용한

식수(음용수) 및 자연수 내 무기물 음이온 함량 분석법

Dr. Niko Fischer, Dr. Sarah Linert
Sykam GmbH, Eresing (Germany)

서문

인류에게 깨끗한 식수를 공급하는 것은 전세계적으로 매우 중요한 과제 중 하나입니다. 따라서 자연의 수자원을 감시하고 보호하는 것 또한 인류 보존을 위해 매우 중요한 요소입니다. 지난 수십년간 많은 국가들은 자연 및 수자원 관리를 위해 엄격하게 관리 감독을 강화해왔습니다. 예컨대 유럽 연합은 음용수 지침(Drinking Water Directive) 98/83/EC^[1]를 1998년에 제정했으며 현재 2020년 12월 2020/2184^[2]로 지속적인 갱신을 하고 있습니다. 이 지침의 목적은 인간이 섭취하는 음용수 내의 오염에 의해 인간의 건강을 해칠 수 있는 가능성을 방지하기 위해서입니다. 비슷한 개념으로 미국에서는 안전한 식수법(Safety Drinking Water Act, SDWA) ^[3]를 제정했는데, 이는 식수의 무결성과 안전을 보장하기 위해서 제정됐습니다. 또한 천연 수자원 보호를 위한 규정이 제정됐는데, 유럽 연합의 경우 2000/60/EC^[4]가 그 목적입니다. 이 지침의 목적은 내륙 표면수, 전이수, 연안수 및 지하수를 보호하기 위한 프레임워크를 수립하여 추가적인 악화를 방지하고 수생 생태계의 상태를 보호 및 개선하는 것입니다. 또한 미국의 청정수법(CWA)는 오염 물질이 자연수로 배출되는 것을 줄이고 방지하는 것을 목적으로 합니다. 세계의 다른 지역에서도 이와 비슷한 규정을 채택하여 건강 및 환경 기준이 제정돼 왔습니다. 예를 들어 한국은 먹는 물의 수질 기준 제2조 등을 통해 제한하고 있습니다.

이온 크로마토그래피(IC)는 전세계적으로 식수 및 자연수 내의 이온 오염 물질을 측정하는 가장 대표적인 방법입니다. 대표적으로 국제 표준화 기구(ISO), 미국재료시험학회(ASTM), 미국수도협회(AWWA), 환경보호청(EPA) 및 여러 국가와 국제 표준 기관에서 검증 및 발표한 표준 분석방법입니다. 식수 및 자연수 내 이온 오염 물질의 함량은 유럽 연합의 음용수 지침(DWD)에 따라 최대 오염 물질 기준(MCL)으로 규제되며, 지속적인 모니터링과 관리가 요구됩니다.

미국에서는 불소, 아질산염, 질산염과 같이 식수 섭취로 인해 발생할 수 있는 잠재적 건강 영향을 나타내는 이온 오염물질의 최대 오염 물질 기준이 국가 1차 음용수 기준(National Primary Drinking Water Standard)^[5]에 명시되어 있습니다. 대표적인 다른 무기물 음이온인 염소, 황산염의 경우 2차 오염 물질로써 국가 2차 음용수 기준(National Secondary Drinking Water Standard)에서 관리 됩니다. 자연수 내의 음이온 분석을 위해 수많은 이온 크로마토그래피 분석법이 발간됐습니다. 대표적으로 EN ISO 10304-1^[6](기술 위원회 ISO/TC 147, "수질"), EPA 300.1^[7], ASTM D4327^[8] 등이 있습니다.

본 어플리케이션 노트 Sykam AN07에서는 물의 전기 분해 반응을 이용하는 전기화학 자기재생 서프레스어가 장착된 Sykam 이온 크로마토그래피 S 151 Plus 시스템을 활용합니다. 본 문서에서 제시하는 분석법은 EPA 300.1 개정판 1.0, EN ISO-10304-1:2009-07, ASTM D4327-17의 테스트 요구 사항을 충족합니다. 또한 EPA의 대체 시험 절차인 ATP 프로그램, 사례 번호 D07-0012는 이동상의 전기 분해 방법을 승인했습니다. 본 문서에서는 두개의 음이온 분리 컬럼 Sykam A07(150 x 2.6 mm) 및 Sykam A08(125 x 2.6 mm)를 사용해 분석법 검정을 진행하였습니다.



분석 장비

본 어플리케이션 노트에서 사용된 이온 크로마토그래피 장비는 단일 채널 전도도 검출기를 사용하는 Sykam S 151 Plus에 기반하고 있습니다. 분석에 사용될 장비는 동등하거나 그 이상의 스펙의 장비로 대체될 수 있습니다.

- S150+ Ion Chromatography Module including a column oven, one-channel conductivity detector and electrochemical self-regenerating anion suppressor module
- S1130 Quaternary Gradient Pump (PEEK) including 4-channel degasser
- S5300 Automatic Sample Injector with S6115 injection valve (PEEK)
- S7150 Reagent Organizer with four eluent bottles (2 x 2000 mL, 2 x 1000 mL)
- Clarity advanced chromatography software for Windows (DataApex)

S 1130 그래디언트 펌프는 단일 채널 펌프로 대체할 수 있으며 전체 장비는 S 153 Plus 및 S 155 Plus로 장비가 대체될 수 있습니다.

시약 및 표준액

이동상 및 표준액 준비에 사용될 제품은 ACS, p.a. 등의 분석용 등급 이상을 사용해야 합니다. 본 분석에 사용된 상업 제품은 다음과 같습니다.

- Deionized water, Type I reagent grade, 0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ conductivity (10 $\text{k}\Omega/\text{cm}$ resistivity) or better
- Sodium carbonate (Na_2CO_3 , anhydrous, for analysis, ACS, ISO, Reag. Ph Eur), Merck (1.06393)
- Sodium thiocyanate (NaSCN , ACS reagent, $\geq 98.0\%$), Sigma-Aldrich (251410)
- Fluoride standard solution 1000 mg/L (traceable to SRM from NIST NaF in H_2O 1000 mg/L F Certipur®), Merck (1.19814)
- Chloride standard solution 1000 mg/L (traceable to SRM from NIST NaCl in H_2O 1000 mg/L Cl Certipur®), Merck (1.19897)
- Nitrite standard solution 1000 mg/L (traceable to SRM from NIST NaNO_2 in H_2O 1000 mg/L NO_2 Certipur®), Merck (1.19899)
- Bromide standard solution 1000 mg/L (traceable to SRM from NIST NaBr in H_2O 1000 mg/L Br Certipur®), Merck (1.19896)
- Nitrate standard solution 1000 mg/L (traceable to SRM from NIST NaNO_3 in H_2O 1000 mg/L NO_3 Certipur®), Merck (1.19811)
- Phosphate standard solution 1000 mg/L (traceable to SRM from NIST KH_2PO_4 in H_2O 1000 mg/L PO_4 Certipur®), Merck (1.19898)
- Sulfate standard solution 1000 mg/L (traceable to SRM from NIST Na_2SO_4 in H_2O 1000 mg/L SO_4 Certipur®), Merck (1.19813)

만약 액체 상태로 제조된 이온 표준액이 아닌 소듐 및 포타슘 염 형태의 고체염을 녹여 준비할 경우 다음과 같은 ACS 등급 혹은 그 이상의 제품 사용을 강하게 권장합니다. 제조에 무수물 염이 사용될 경우 필요시 건조 오븐에서 진행합니다.

- Sodium fluoride (NaF , for analysis EMSURE, Reag. Ph Eur), Merck (1.06449)
- Sodium chloride (NaCl , for analysis EMSURE, ACS, ISO, Reag. Ph Eur), Merck (1.06404)
- Sodium nitrite (NaNO_2 , for analysis EMSURE, ACS, Reag. Ph Eur), Merck (1.06549)
- Sodium bromide (NaBr , ACS reagent, $\geq 99.0\%$), Sigma-Aldrich (310506)
- Sodium nitrate (NaNO_3 , for analysis EMSURE, ACS, ISO, Reag. Ph Eur), Merck (1.06537)
- Potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4 , for analysis EMSURE, ISO), Merck (1.04873)
- Sodium sulfate (Na_2SO_4 , anhydrous, for analysis EMSURE, ACS, ISO, Reag. Ph Eur), Merck (1.06649)

샘플

분석법 검정을 위해 8개의 식수 샘플이 두가지 컬럼으로 각각 분석됐습니다(Table 1).

Table 1. List of samples analyzed.

No.	Name
1	Drinking Water (Augsburg)
2	Drinking Water (Riesen (Steingaden))
3	Mineral Water (VIO, Coca-Cola)
4	Mineral Water (Adelholzener)
5	River Water (Donau)
6	River Water (Illach)
7	Mineral Water (RAPP)
8	Mineral Water (St. Leonhard)

식수 샘플과 강물 샘플은 석회질 토양이 우세한 지질 구조를 가지는 남부 독일 알프스 북부 산기슭에서 채취됐습니다. 식수 샘플 1 및 2는 각각 아우크스부르크 상수도 공급 업체와 리젠 슈타인가덴 지역 수도물입니다. 광천수 샘플인 3, 4는 코카콜라 국제 기업과 지역 식수 공급 업체에서 판매 중인 식수 샘플입니다. 광천수 샘플 7, 8은 어플리케이션 노트 AN01과의 직접 비교를 위해 분석됐습니다. 모든 샘플은 두개로 반복 채취됐으며 샘플 채집은 모두 세척된 PE 병에 담아 밀봉 후 즉시 4도씨에서 보관됐습니다.

크로마토그래피 조건

Method Validation 1 (Sykam A07)

Columns:	Sykam A07 (150 x 2.6 mm), Analytical column Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm), Guard column
Eluent:	4.0 mM Na ₂ CO ₃ , 25 μM NaSCN
Flow Rate:	1.0 mL/min
Run Time:	20 min
Temperature:	60 °C
Injection Volume:	50 μL (full loop)
Detection:	Suppressed Conductivity, Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor
Suppressor Current:	40 mA
Backpressure:	51 bar (740 psi)
Base Conductivity:	19 μS/cm
Noise:	< 2 nS/cm

Method Validation 2 (Sykam A08)

Columns:	Sykam A08 (125 x 2.6 mm), Analytical column Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm), Guard column
Eluent:	3.5 mM Na ₂ CO ₃ , 25 μM NaSCN
Flow Rate:	1.2 mL/min
Run Time:	14 min
Temperature:	60 °C
Injection Volume:	50 μL (full loop)
Detection:	Suppressed Conductivity, Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor
Suppressor Current:	50 mA
Backpressure:	69 bar (1000 psi)
Base Conductivity:	21 μS/cm
Noise:	< 5 nS/cm

이동상 및 표준액 준비

음이온 표준 원액 (1000 mg/L)

음이온 분석을 위한 일곱 가지 무기물 음이온인 불소, 염소, 아질산염, 브로민, 질산염, 인산염, 황산염은 “시약 및 표준액” 항목에서 언급한 상업 제품 사용을 권장하고 있습니다. 만약 나열된 7가지 이온이 모두 분석될 필요가 없다면 해당 이온은 배도 무관합니다. 1000 mg/L 농도의 표준 원액은 최소 한달 이상 4 °C 이하 조건에서 안정적입니다.

Table 2. Preparation of standard stock solutions (1000 mg/L).

Analyte	Compound	Amount (g)
Fluoride	Sodium fluoride (NaF)	2.210
Chloride	Sodium chloride (NaCl)	1.648
Nitrite	Sodium nitrite (NaNO ₂)	1.500
Bromide	Sodium bromide (NaBr)	1.288
Nitrate	Sodium nitrate (NaNO ₃)	1.371
Phosphate	Potassium dihydrogen phosphate (KH ₂ PO ₄)	1.433
Sulfate	Sodium sulfate (Na ₂ SO ₄)	1.479

분석 표준 용액

농도가 1000 mg/L 이하인 모든 음이온 표준 용액은 1000 mg/L 표준 원액을 희석하여 매일 신선하게 제조했습니다. 각 음이온의 농도가 5, 10, 20, 50, 100, 200 μg/L 농도의 표준액을 준비하였고 방법 검출 한계(Method Detection Limit; MDL) 평가를 위해 10 mg/L 농도의 표준액이 예비로 준비했습니다. 표 3은 방법 검출 한계를 계산하기 위해 준비한 혼합 음이온 표준액의 농도와 머무름 시간 안정성 및 피크 넓이 정밀도 평가를 위한 품질 관리 샘플(QCS)의 농도입니다.

Table 3. Concentrations of the MDL_s and QCS standards for both method validations.

Analyte	MDL _s Calculation Standard (μg/L)		QCS for Precision (mg/L)	
	A07	A08	A07	A08
Fluoride	10	10	2	2
Chloride	10	10	10	10
Nitrite	50	75	2	2
Bromide	50	75	2	2
Nitrate	50	75	20	20
Phosphate	250	250	2	2
Sulfate	100	150	30	30

예상되는 식수 및 자연수의 농도를 포함하는 검정 곡선 작성을 위해 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10, 20, 50, 100 mg/L 농도의 표준 용액을 준비했습니다. 이때 불소는 감도를 고려해 0.2 배의 농도인 0.02 ~ 20 mg/L 농도가 준비했습니다.

이동상

이동상은 이동상 제조를 위해 이동상 농축액을 통해 제조했습니다. 0.5 M 농도의 Na₂CO₃ 용액 이동상 농축액으로 사용했으며 25 mM 농도의 NaSCN 용액이 첨가 농축액으로 사용했습니다.

두 용액 모두 개봉 후 즉시 사용 가능한 상업적 제품을 구매하여 사용하는 것이 권장되며 상업 제품 구매가 어려운 경우 직접 제조하여 사용할 경우 반드시 ACS Reagent 혹은 그 이상의 등급 제품 사용이 권장됩니다.

긴 시퀀스 시간의 분석을 고려해 이동상은 2,000 mL가 제조됐으며 공기 중의 이산화 탄소 흡수에 의한 변성을 방지하기 위해 S7130 이동상 보관 장치에서 99.999% 순도의 질소 가스 혹은 아르곤 가스로 보호했습니다. 만약 S 7130 등의 이동상 전용 보관 장치가 없다면 적합한 이산화 탄소 포집기를 사용해도 무관합니다.

이온 크로마토그래피 시스템 준비

재현성 있는 결과를 얻기 위해서는 온 크로마토그래피 시스템, 특히 전기 화학 서프레스가 충분히 안정화되어야 합니다. 만약 장비가 처음 설치됐거나 3주 이상 가동되지 않은 경우, 장비는 전체적으로 매우 조심스럽게 안정화가 시작되어야 합니다. 먼저 컬럼을 유니온 커넥터로 교체한 뒤 증류수를 준비합니다. 증류수를 유속 0.3 ml/min으로 약 30분간 흘려준 뒤 펌프를 중단합니다. 펌프를 중단하고 약 30분 정도 휴지기를 줍니다. 이 휴지 시간 동안 서프레스 멤브레인에 충분한 수분이 공급되고 안정화됩니다. 적합한 이동상으로 교체하고 분석법상 적합한 컬럼 온도로 설정합니다. 처음 유속을 0.3 ml/min으로 시작해 3분 간격으로 0.2씩 올려 최종 유속으로 올립니다. 예를 들어 Sykam A07은 1.0 ml/min, Sykam A08은 1.2 ml/min입니다. 빠른 안정화를 원한다면 서프레스 전류값을 100 mA로 올린 후 2시간가량 흐르게 하며 이상적으로는 유속을 0.3 ml/min, 전류를 20 mA로 설정해 12시간 이상 흘려줍니다. 만약 시스템이 충분히 안정화됐다면 베이스라인 전도도는 20 ~ 23 uS/cm 범위에서 안정적이며 베이스라인 평가를 위한 10분 주기 ASTM Noise는 5 nS/cm 이하입니다. 만약 시스템의 사용 주기가 일주일 이내라면 분석 종료 후 그대로 방치해도 되지만 7일 이상 미사용시 분석이 끝난 후 컬럼을 다시 유니온으로 교체한 뒤 다시 증류수로 시스템을 30분간 세척합니다. 가장 이상적인 것은, 미사용시에도 유속을 0.1 ml/min, 전류를 5 mA로 설정해 지속적으로 흐르게 하는 것입니다. 이는 언제나 시스템이 30분 이내로 안정화되게 하는 이상적인 방법입니다. 오토샘플러에 사용되는 용액은 반드시 매번 신선한 증류수로 교체합니다. 만약 새로운 컬럼을 사용하는 경우 반드시 컬럼 매뉴얼에 따라 컬럼 내 보관 용액을 제거해야 합니다.

샘플 준비

모든 식수 및 자연수 샘플은 0.45 µm 크기의 PES 혹은 RC 재질의 시린지 필터로 필터링 돼야 합니다. 여과 용액의 첫 1 ml는 반드시 버려야 하며 이는 샘플의 질소 반응, 박테리아 반응 등에 의한

질산염, 아질산염 변성을 방지할 수 있으며 여과된 샘플은 반드시 24 시간 내에 분석돼야 하며 4 °C에서 보관돼야 합니다.

결과 및 논의

식수 및 자연수 내 무기물 음이온 분석을 위한 분석법 검정은 EPA 300.1 개정판 1.0에 따라 진행됐으며 이는 이 분석법들의 모든 요건 및 품질 관리 매개변수에 관한 ISO EN 10304-1:2009-07 및 ASTM D4327-17의 요건을 충족합니다. 이 분석법들은 Sykam A07 및 A08 중 원하는 컬럼을 사용하여 분리 성능을 개선하거나 가동 비용을 절감할 수 있습니다. 다음은 Sykam IC S151-AG Plus와 Sykam A07 및 A08 컬럼을 사용한 분석법 검정을 위해 방법 검출 한계(MDLs) 및 MDLs⁹를 계산하며 직선성(LCR)¹⁰, QCS 샘플 주입을 통한 정밀성 및 정확도를 평가합니다. 또한 외부 대조 샘플(ECS)를 이용해 교정 표준 및 기기 성능의 검증, 실험실 공시험체(LRB) 및 실험실 강화 공시험체(LFB) 주입을 통한 실험실 성능, 실험실 반복 분석 및 각 샘플에 대한 첨가를 통한(LFM) 회수율 평가가 이뤄졌습니다.

Sykam A07 (150 x 2.6 mm), Sykam A08 (125 x 2.6 mm) 컬럼은 모두 10 µm 크기의 Styrene-Divinylbenzen 고분자에 트리메틸암모늄이 이온 교환기를 사용하는 컬럼으로 큰 컬럼 용량으로 설계됐습니다. 만약 7가지 표준 음이온을 모두 분석하거나, 과량의 음이온 분석이 필요한 경우 Sykam A07 컬럼이 추천되는데, 특히 빠르게 용출되는 불소 혹은 염소와 아질산염의 세밀한 분리가 필요한 경우 Sykam A07 컬럼이 추천됩니다. Sykam A07 컬럼은 높은 Signal-to-Noise 비율을 가져 10 ppb 이하의 표준 음이온에서 10 ppm 까지의 미량 분석에 적합합니다. 이는 표 5에 나열된 방법 검출 한계(MDL)을 통해 알 수 있습니다. 만약 간편한 분리 및 아질산염 혹은 브로민이 없다고 알려진 샘플 혹은 1 ppm 이상의 샘플을 분석하는 경우 Sykam A08 컬럼이 추천됩니다.

Table 4. Column performance parameters of Sykam A07 and Sykam A08 at the chromatographic conditions listed above (5 mg/L mixed anion standard).

Analyte	Retention time (min)		Resolution R		Peak Symmetry	
	Sykam A07	Sykam A08	Sykam A07	Sykam A08	Sykam A07	Sykam A08
Fluoride	1.42	1.12	-	-	1.37	1.72
Chloride	2.83	2.27	6.98	5.59	1.14	1.34
Nitrite	3.94	3.03	3.55	3.05	1.24	1.40
Bromide	5.83	4.25	4.07	3.60	1.24	1.40
Nitrate	8.03	5.65	3.24	2.85	1.35	1.49
Phosphate	10.97	8.54	2.76	2.64	1.09	1.17
Sulfate	14.79	11.47	2.58	2.14	1.12	1.22

Column: Sykam A07 (150 x 2.6 mm) and Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm)
 Eluent: 4.0 mM Na₂CO₃, 25 μM NaSCN
 Flow Rate: 1.0 mL/min
 Inj. Vol.: 50 μL
 Detection: Suppressed Conductivity, Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor (40 mA)

Peaks:	A	B
1. Fluoride	1.0 mg/L	10 μg/L
2. Chloride	5.0	10
3. Nitrite	5.0	50
4. Bromide	5.0	50
5. Nitrate	5.0	50
6. Phosphate	5.0	250
7. Sulfate	5.0	100

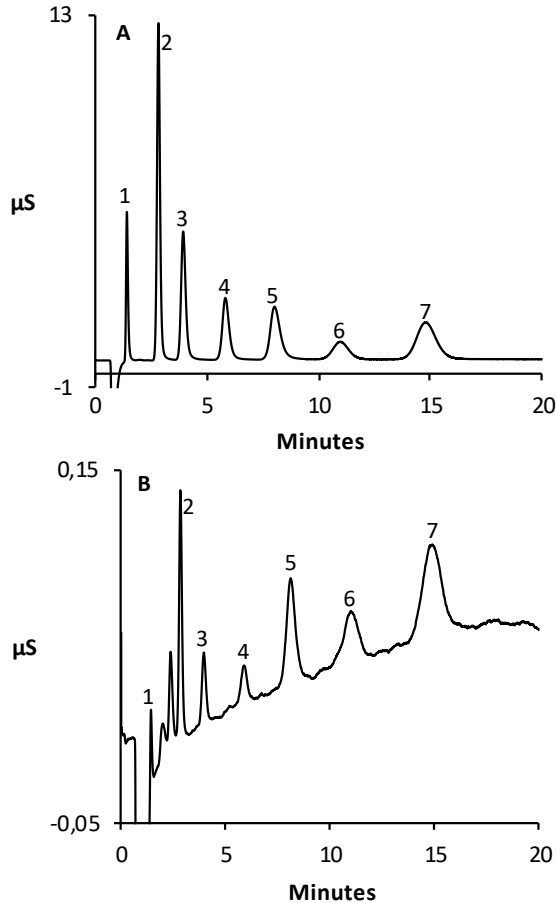


Figure 1. Separation of A) a 5.0 mg/L inorganic anion standard (Fluoride 1.0 mg/L) and B) the MDL_s Calculation Standard using a Sykam A07.

두 컬럼 모두 ISO EN 10304-1에서 요구한 분석법 성능 평가 조건인 모든 음이온 분리도(R) 1.3 이상을 얻을 수 있었습니다. 모든 피크들이 베이스라인 사이에 분리돼 적분하기 매우 좋은 피크 모양을 얻을 수 있었습니다. Figure 1, 2는 낮은 5 mg/L 및 MDL_s 계산을 위한 표준액 분석 크로마토그램입니다.

Method Detection Limits MDL_s and MDL_B

먼저, 시료 주입에 기반한 분석법 검출 한계(MDL_s)는 5, 10, 20, 50, 100, 200 μg/L 농도의 혼합 음이온 표준액 주입을 통해 평가했습니다. 각 이온 및 농도에서 Signal-to-noise 비율이 3~5 사이인 값이 결정되고 추정했습니다.

Column: Sykam A08 (125 x 2.6 mm) and Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm)

Eluent: 3.5 mM Na₂CO₃, 25 μM NaSCN
 Flow Rate: 1.2 mL/min
 Inj. Vol.: 50 μL
 Detection: Suppressed Conductivity, Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor (50 mA)

Peaks:	1.0 mg/L
1. Fluoride	1.0 mg/L
2. Chloride	5.0
3. Nitrite	5.0
4. Bromide	5.0
5. Nitrate	5.0
6. Phosphate	5.0
7. Sulfate	5.0

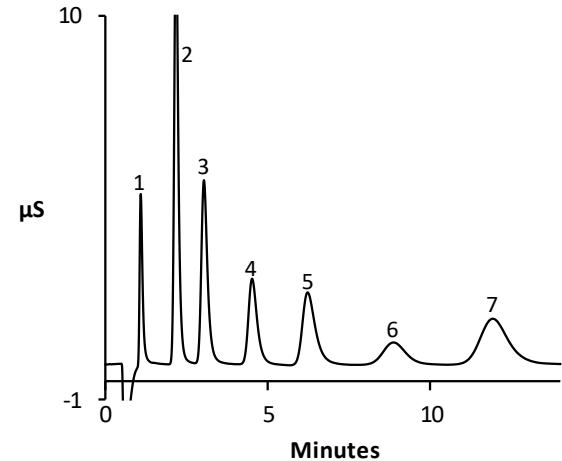


Figure 2. Separation of a 5.0 mg/L inorganic anion standard (Fluoride 1.0 mg/L) using a Sykam A08.

평가된 분석법 검출 한계 값에서 5를 곱한 농도의 표준액이 MDL_s 계산을 위해 최종적으로 준비했습니다. (Table 3) 해당 표준액은 7번 반복 주입 후 MDL_s 평가는 다음과 같은 공식으로 평가했습니다.

$$MDL_s = t \times SD$$

t는 (n-1)의 자유도에서 99%의 신뢰도를 가지는 Student t 값이며 이는 약 3.142613 입니다. SD는 각 이온의 7회 반복 주입 결과값의 표준 편차입니다. Sykam A07 및 A08을 통해 계산된 분석법 검출 한계는 Table 5, 6에 기입했습니다. MDL_s와는 반대로, MDL_B는 공시험체(Blank) 반복 주입을 통해 계산됩니다. 이는 실험실 공시험체(LRB)를 주입했을 때 특정 이온의 결과값이 유의미하게 나올 경우 평가됩니다. 이 경우 공시험체가 7회 반복 주입됐으며 평균적으로 염소가 Sykam A07, A8 컬럼에서 각각 3.8, 21.1 μg/L이 검출했습니다. 염소 함량 평가는 분석법 검출 한계로 MDL_s가 아닌 MDL_B로 평가했으며 MDL_B 다음과 같은 수식으로 계산했습니다.

$$MDL_B = X + t \times SD$$

X는 공시험체의 평균 값이며 t, SD는 MDL_s와 동일합니다^[9]. Sykam A07 및 A08의 MDL_B는 각각 9.0, 35.2 μg/L 로 계산했습니다. 두 컬럼 간의 큰 차이의 원인은 두 검정 과정 중 이온 교환 카트리지를 교환한 것이 원인으로 추정됩니다.

Linearity (LCR)

직선성 평가를 위해, 7종 혼합 음이온 표준액이 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10, 20, 50, 100 mg/L(불소의 경우 0.02 - 20 mg/L) 농도의 표준액이 주입되었습니다. 첨가(Fortified) 샘플 정량을 위해 각 이온들의 교정 범위는 선형 범위로 제한되었습니다. 따라서 분석된 모든 표준액이 사용된 게 아닌 각 이온 별로 선형 범위 내의 데이터만 사용됐으며 Figure 3는 각 이온과 컬럼 별로 교정 곡선을 나타내며 제외된 데이터는 빨간색 가위표로 표기되었습니다. 염소, 아질산염, 질산염 및 황산염은 Sykam A07 컬럼 기준 0.1 - 50 mg/L 및 0.1 - 100 mg/L 범위의 넓은 농도 범위로 평가된 반면 브로민과

인산염의 경우 최대 농도에서 직선을 벗어났습니다. 다만 불소, 인산, 브로민의 경우 식수 및 자연수에서 적은 mg/L 혹은 µg/L 농도가 존재하는 경우가 많아 0.02-20 mg/L 혹은 0.1 - 20 mg/L 농도 범위의 교정 곡선이 사용되었습니다. Sykam A08을 이용한 검정에서 직선성 평가 범위는 불소를 제외하고 0.1 - 50 mg/L 혹은 0.1-100 mg/L로 평가됐으며 불소는 0.02 - 20 mg/L로 평가되었습니다. 인산염의 경우 MDLS 값이 179.8 µg/L이기에 0.1 mg/L 농도의 표준액은 제외되었습니다. Table 5, 6은 각 이온의 교정 범위와 상관 계수(r²) 값이 기입돼 있습니다. 도은 이온들의 상관 계수는 0.999 이상으로 매우 정확한 값을 얻었습니다.

Table 5. Linearity, MDL_s, retention time and peak area precision for Sykam A07.

Analyte	Calibration range (mg/L)	Linearity (r ²)	Calculated MDL _s (µg/L)	Retention Time Precision (RSD, %)	Peak Area Precision (RSD, %)
Fluoride	0.02 - 20	0.9999	1.2	0.44	0.45
Chloride	0.1 - 100	0.9994	0.5*	0.24	0.59
Nitrite	0.1 - 100	1.0000	11.9	0.17	1.04
Bromide	0.1 - 20	0.9999	9.7	0.14	0.65
Nitrate	0.1 - 50	0.9995	7.5	0.10	0.53
Phosphate	0.1 - 20	0.9999	62.4	0.12	0.97
Sulfate	0.1 - 50	0.9998	19.9	0.08	0.64

*Value not valid, MDL_b is used instead

Table 6. Linearity, MDL_s, retention time and peak area precision for Sykam A08.

Analyte	Calibration range (mg/L)	Linearity (r ²)	Calculated MDL _s (µg/L)	Retention Time Precision (RSD, %)	Peak Area Precision (RSD, %)
Fluoride	0.02 - 20	0.9999	1.1	0.59	0.29
Chloride	0.1 - 100	0.9996	1.7*	0.30	0.28
Nitrite	0.1 - 100	0.9999	12.4	0.23	0.83
Bromide	0.1 - 50	0.9998	44.1	0.16	0.95
Nitrate	0.1 - 50	0.9996	50.8	0.12	0.43
Phosphate	0.2 - 50	0.9998	179.8	0.19	8.23
Sulfate	0.1 - 50	0.9999	68.6	0.09	0.23

*Value not valid, MDL_b is used instead

Precision (QCS) and Instrument Performance (ECS)

Sykam A07, A08 컬럼을 통해 각각 7종 및 6종 음이온의 머무름 시간(RT; Retention Time) 및 피크 넓이는 Table 3의 품질 관리 표준액(QCS) 분석을 통해 평가되었습니다. Table 5, 6은 각 이온의 머무름 시간 및 피크 넓이의 상대 표준 편차(RSD)를 나타냅니다. 모든 이온들의 머무름 시간 RSD는 1.0 % 이하이며 넓이의 RSD 또한 2.0 % 이하를 얻었습니다. 이는 Sykam IC S151 Plus와 Sykam A07 및 A08 컬럼의 우수한 정확성 및 정밀성을 의미합니다. 다만 Sykam A08 컬럼을 통한 분석에서 인산염만 높은 넓이 편차를 보였는데, 이는 반복 분석 결과 중 하나에서 베이스라인 흔들림이 발생해 피크 넓이에 영향을 줬 높은 RSD가 도출된 것으로 추정됩니다. 분석 전에 새로운 교정이 시행되지 않았다면 QCS 분석을 통해 교정 표준물질의 허용 여부와 기기의 성능 점검을 수행할 수 있습니다. 본 외부 교정 표준액(ECS; External Calibration Standard) 분석을 통해

기기 성능을 확인(Verified)했습니다. ECS는 1000 mg/L 단일 이온 표준 원액을 통해 준비됐으며 기존에 사용하던 표준 원액과 다른 상업용 제품 등을 통해 준비돼야 합니다. 반대로 QCS는 교정을 위해 사용된 표준액과 같은 표준 원액으로 제조됐습니다. 만약 기기 성능 확인에 QCS를 사용하는 경우 ECS와 QCS의 상대 백분율 차이(RPD; Relative Percent Differences)는 15% 이내여야 합니다.

Table 7. Relative Percent Differences (RPD) of QCS and ECS.

Analyte	Sykam A07 - RPD (%)	Sykam A08 - RPD (%)
Fluoride	+1.4	-2.6
Chloride	-0.8	-1.6
Nitrite	-0.3	-4.8
Bromide	-1.7	-5.5
Nitrate	-0.4	-1.0
Phosphate	+0.2	-7.8
Sulfate	-0.4	-1.1

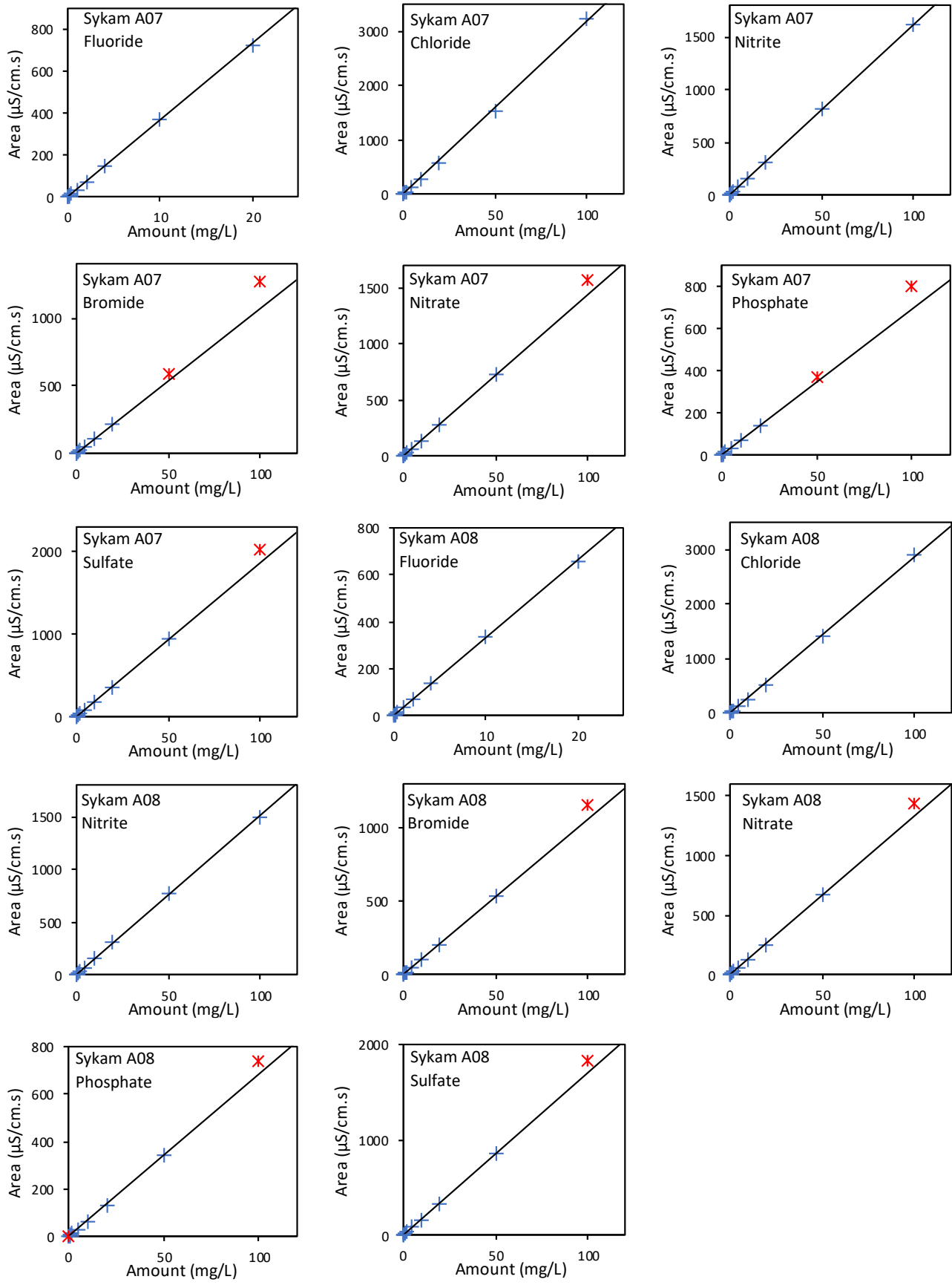


Figure 3. Calibration plots of the seven standard anions indicating the LCR used for calibration of the samples.

Sample Analysis

준비된 8개의 샘플은 동일한 샘플이 Sykam A07 및 A08을 통해 각각 두개의 바이알로 분석되었습니다. 흥미롭게도 모든 샘플에서 불소는 최소 보고 한계(MRL)값 이하로 검출되었습니다. 이때 최소 보고 한계(MRL)이란, 각 이온을 정량할 수 있는 최소 농도인데, 보통 교정 범위의 가장 낮은 농도의 표준액과 동일하거나 조금 더 높은 농도이며 반드시 MDL 보다 높아야 합니다. Table 8은 교정 범위에 기반한 각 이온의 MRL 값을 제시하는 표입니다.

Table 8. Minimum Reporting Levels based on the LCR and MDL.

Analyte	Sykam A07 – MRL (mg/L)	Sykam A08 – MRL (mg/L)
Fluoride	0.02	0.02
Chloride	0.10	0.10
Nitrite	0.10	0.10
Bromide	0.10	0.10
Nitrate	0.10	0.10
Phosphate	0.10	0.20
Sulfate	0.10	0.10

샘플 내 염소, 아질산염 및 황산염 농도는 일반적으로 30 mg/L 이하로 나타났으며 처음 분석된 샘플과 복제 샘플 사이에서 큰 차이가 없었으며 이는 본 분석법의 완전성(Robustness)가 뛰어난 것을 의미합니다.

Column: Sykam A07 (150 x 2.6 mm) and Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm)
 Eluent: 4.0 mM Na₂CO₃, 25 µM NaSCN
 Flow Rate: 1.0 mL/min
 Inj. Vol.: 50 µL
 Detection: Suppressed Conductivity, Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor (40 mA)

Peaks:

1. Fluoride	0.14 mg/L
2. Chloride	18.6
3. Bromide	0.04 (< MRL)
4. Nitrate	0.31
5. Sulfate	23.1

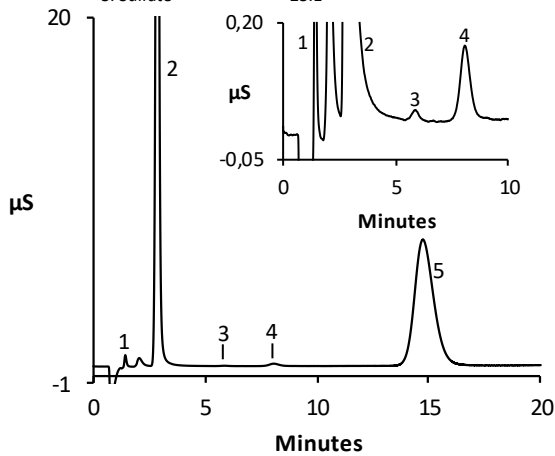


Figure 4. Determination of anions in mineral water (VIO) using the Sykam A07.

Figures 4 – 7는 Sykam A07, A08 컬럼을 통해 각각 분석된 샘플들의 전형적인 크로마토그램입니다. 샘플 바이알이 다른 날짜에 수집 및

제조됐지만 A07, A08 분석간 큰 차이가 없는 것으로 확인되었습니다. 이는 두 방법 모두 동등하게 사용될 수 있음을 의미합니다. EPA 300.1에 따른 중복 분석의 RPD는 MRL의 10배 농도 이하 범위에서 ± 20 % 이내여야 하며 MRL의 10 배 농도 이상부터 교정 최대 농도 사이에서는 ± 10 % 이내여야 합니다.[7] 모든 반복 분석 결과에서 이 제한 수치 이내의 값을 얻었습니다.

Column: Sykam A07 (150 x 2.6 mm) and Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm)
 Eluent: 4.0 mM Na₂CO₃, 25 µM NaSCN
 Flow Rate: 1.0 mL/min
 Inj. Vol.: 50 µL
 Detection: Suppressed Conductivity, Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor (40 mA)

Peaks:

	A	B
1. Fluoride	0.07 mg/L	0.10 mg/L
2. Chloride	4.0	29.2
3. Nitrite	-	0.02 (< MRL)
4. Bromide	-	0.01 (< MRL)
5. Nitrate	2.9	9.3
6. Phosphate	-	0.08 (< MRL)
7. Sulfate	3.1	29.7

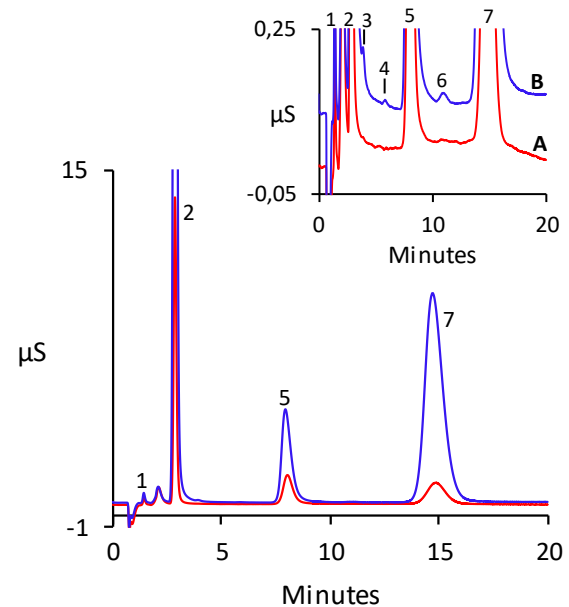


Figure 5. Determination of anions in river water (Illach (A) and Donau (B)) using the Sykam A07.

각 검정 내 초기 샘플과 중복 샘플의 뛰어난 일관성 그리고 결과의 우수한 일관성은 Sykam A07 및 A08 컬럼이 식수 및 자연수 샘플 분석에 매우 적합함을 의미합니다. 또한 도출된 결과의 재현성이 매우 뛰어났으며 Table 9는 분석된 8개의 식수 및 자연수 샘플 분석 결과의 요약과 반복 분석의 평균 값과 RPD값을 보여줍니다.

Table 9. Analysis results (mg/L) and RPD (%) of duplicate analyses of both validations.

Analyte	Drinking Water Augsburg		Drinking Water Riesen (Steingaden)		Mineral Water VIO		Mineral Water Adelholzener	
	A07	A08	A07	A08	A07	A08	A07	A08
Fluoride	0.11 (0.2)	0.11 (3.8)	0.09 (0.1)	0.07 (-1.3)	0.14 (-0.8)	0.15 (-0.7)	0.19 (0.8)	0.17 (-1.0)
Chloride	6.0 (-0.7)	5.9 (-0.8)	2.5 (-0.4)	2.5 (0.0)	18.6 (-0.5)	18.1 (0.1)	16.3 (0.1)	15.7 (-0.7)
Nitrite	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bromide	< MRL	n.d.	< MRL	n.d.	< MRL	< MRL	< MRL	n.d.
Nitrate	4.7 (-0.7)	4.5 (-3.7)	3.8 (0.3)	3.6 (-0.6)	0.31 (0.9)	0.29 (0.8)	< MRL	n.d.
Phosphate	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sulfate	21.5 (0.4)	20.5 (0.7)	3.7 (-2.0)	3.5 (-0.7)	23.1 (-0.2)	22.1 (-0.6)	29.3 (-0.2)	27.7 (-1.1)
Analyte	River Water Donau		River Water Illach		Mineral Water RAPP		Mineral Water St. Leonhard	
	A07	A08	A07	A08	A07	A08	A07	A08
Fluoride	0.10 (-0.1)	0.08 (-2.7)	0.07 (-0.3)	0.06 (0.1)	0.04 (-0.5)	-	0.06 (1.2)	-
Chloride	29.2 (-0.2)	24.0 (-0.5)	4.0 (0.1)	4.8 (0.2)	0.41 (-1.1)	-	16.6 (-0.5)	-
Nitrite	< MRL	< MRL	n.d.	n.d.	n.d.	-	n.d.	-
Bromide	< MRL	< MRL	n.d.	n.d.	n.d.	-	< MRL	-
Nitrate	9.3 (-0.3)	9.1 (1.0)	2.9 (2.4)	3.3 (6.4)	< MRL	-	1.8 (0.3)	-
Phosphate	< MRL	< MRL	n.d.	n.d.	n.d.	-	n.d.	-
Sulfate	29.7 (-0.5)	24.1 (-0.5)	3.1 (-0.6)	3.1 (-1.8)	10.8 (-1.0)	-	6.2 (-1.2)	-

Column: Sykam A08 (125 x 2.6 mm) and Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm)
 Eluent: 3.5 mM Na₂CO₃, 25 µM NaSCN
 Flow Rate: 1.2 mL/min
 Inj. Vol.: 50 µL
 Detection: Suppressed Conductivity, Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor (50 mA)
 Peaks:
 1. Fluoride 0.07 mg/L
 2. Chloride 2.5
 3. Nitrate 3.6
 4. Sulfate 3.5

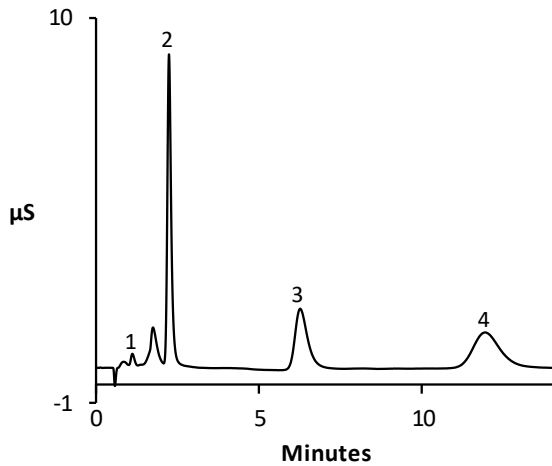


Figure 6. Determination of anions in drinking water (Riesen) using the Sykam A08.

교정 확인을 위한 표준액이 시퀀스 처음, 중간, 마지막에 삽입돼 분석됐는데, 시퀀스 시작과 끝 그리고 매 10번 주입마다 교정 확인을 위한 표준액이 주입됐습니다. 농도는 최대 교정 범위의 5% 농도의 용액이 주입됐습니다. EPA 300.1에서는 이 주입된 용액의 결과의 편차가 ±15 % 일 것을 요구합니다.¹⁷⁾ 처음 검정에서 초기 교정 확인 표준액의 편차는 9.2 % 이내였으며 두번째 검정에서는

최대 4.0 % 였습니다. 대부분의 경우 2.0 % 이하였습니다. 평가는 교정 표준액과 확인 표준액의 넓이를 직접 비교하여 진행했습니다.

Column: Sykam A08 (125 x 2.6 mm) and Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm)
 Eluent: 3.5 mM Na₂CO₃, 25 µM NaSCN
 Flow Rate: 1.2 mL/min
 Inj. Vol.: 50 µL
 Detection: Suppressed Conductivity, Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor (50 mA)
 Peaks:
 1. Fluoride 0.17 mg/L
 2. Chloride 15.7
 3. Sulfate 27.7

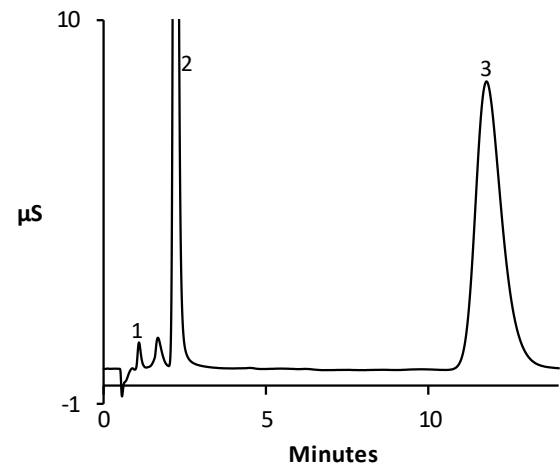


Figure 7. Determination of anions in mineral water (Adelholzener) using the Sykam A08

Analyte Recovery in Fortified Water Samples

환경 분석에 사용되는 분석법의 성능 평가는 단일 작업자, 다중 작업자 정밀도와 첨가 샘플(Laboratory Fortified Matrix, LFM)의 편향 분석을 통해 평가됩니다. Table 10, 11은 식수 및 자연수 샘플에 무기물 음이온 첨가한 용액의 회수율 평가를 통한 단일 작업자 정밀도 평가를 나타냅니다. EPA 300.1에 명시된 것과 거의 동일한 농도의 표준액이 첨가에 사용되었습니다. 분석법에서 이상적으로는 샘플에 첨가된 음이온이 분석됐을 때 첨가된 양만큼 농도가 증가해야 한다고 명시합니다. Figure 8은 아우크스부르크 식수 샘플의 음이온 첨가 전후 크로마토그램의 예시입니다. EPA 300.1에서는 첨가될 이온의 농도가 미첨가 샘플 농도보다 높되 5배 이하여야 한다고 명시합니다. 따라서 샘플 내 특정 이온 농도가 최대 교정 농도의 50%를 초과하는 시료의 경우 회수율이 평가되지 않았습니다. 검출되지 않았거나 MRL 미만으로 검출된 샘플의 경우 최소 보고 한계(MRL) 농도의 5배 이상이 첨가돼야 합니다. 또한 실험실 첨가 공시험체(Laboratory Fortified Blank, LFB)는 검정 과정에서 분석된 샘플 전체에서 발견된 각 이온의 최고 농도로 첨가합니다. Table 12는 Sykam A07 및 A08 분석법 검정에서의 LFB 회수율 평가 표입니다.

Table 12. Recovery Data of the Laboratory Fortified Blank (LFB).

Analyte	LFB – Sykam A07		LFB – Sykam A08	
	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)
Fluoride	0.5	101.7	0.5	101.0
Chloride	30	99.2	25	93.1
Nitrite	2	100.7	2	86.3
Bromide	2	99.2	2	96.0
Nitrate	10	98.9	10	93.3
Phosphate	5	102.3	5	91.6
Sulfate	30	105.2	30	99.9

EPA 300.1에서 제안하는 회수율은 LFM의 경우 $\pm 25\%$ 이내이며 첨가된 농도가 MRL의 10배 이하인 경우 $\pm 15\%$ 이내입니다.⁷⁾ LFM 결과에서 모든 첨가 샘플의 회수율이 $\pm 25\%$ 범위 내였습니다. LFB의 회수율 범위 역시 86-105%로 허용 범위 내였습니다. 다만 Sykam A07 컬럼을 통한 VIO, Adelholzener 및 Donau 강물 샘플 및 Sykam A08 컬럼을 통한 Adelholzener 샘플 내의 황산염 이온의 농도가 교정 최대 범위를 벗어났기 때문에 회수율 평가가 이뤄지지 않았습니다.

Table 10. Recovery Data from fortified Drinking and Natural Water Samples using the Sykam A07.

Analyte	Drinking Water Augsburg		Drinking Water Riesen (Steingaden)		Mineral Water VIO		Mineral Water Adelholzener	
	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)
Fluoride	0.5	99.8	0.5	97.5	0.5	102.9	0.5	100.8
Chloride	7	99.7	3	92.0	20	109.1	20	108.3
Nitrite	2	97.1	2	93.9	2	106.7	2	104.2
Bromide	2	99.8	2	100.1	2	99.5	2	100.0
Nitrate	5	100.0	4	101.5	2	92.2	2	92.2
Phosphate	5	103.7	5	104.5	5	104.1	5	104.8
Sulfate	25	114.6	4	102.2	25	(114.6)*	30	(116.7)*
Analyte	River Water Donau		River Water Illach		Mineral Water RAPP		Mineral Water St. Leonhard	
	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)
Fluoride	0.5	100.3	0.5	100.9	0.5	100.6	0.5	99.5
Chloride	30	110.7	5	97.6	1	96.2	20	108.7
Nitrite	2	89.3	2	97.1	2	92.9	2	103.6
Bromide	2	99.4	2	100.6	2	96.7	2	99.3
Nitrate	10	106.5	3	100.4	2	91.3	2	98.2
Phosphate	5	103.4	5	105.8	5	103.5	5	104.5
Sulfate	30	(117.8)*	4	102.8	11	108.3	7	108.0

*Concentration of fortified sample is above the highest calibration level

Table 11. Recovery Data from fortified Drinking and Natural Water Samples using the Sykam A08.

Analyte	Drinking Water Augsburg		Drinking Water Riesen (Steingaden)		Mineral Water VIO	
	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)
Fluoride	0.5	95.6	0.5	92.3	0.5	97.7
Chloride	6	94.9	3	86.6	20	101.7
Nitrite	2	88.0	2	88.9	2	84.3
Bromide	2	94.6	2	86.3	2	93.4
Nitrate	5	96.1	4	91.9	2	90.3
Phosphate	5	87.6	5	91.3	5	92.5
Sulfate	25	107.5	4	99.9	25	108.0
Analyte	Mineral Water Adelholzener		River Water Donau		River Water Illach	
	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)	Amount added (mg/L)	Recovery (%)
Fluoride	0.5	96.3	0.5	95.4	0.5	94.4
Chloride	20	100.7	25	102.3	5	93.1
Nitrite	2	83.9	2	84.3	2	86.3
Bromide	2	94.0	10	94.0	4	96.0
Nitrate	2	93.5	2	99.4	3	93.3
Phosphate	5	90.1	5	91.6	5	91.6
Sulfate	30	(108.9)*	25	107.3	4	99.9

*Concentration of fortified sample is above the highest calibration level

Column: Sykam A07 (150 x 2.6 mm) and Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm)
 Eluent: 4.0 mM Na₂CO₃, 25 µM NaSCN
 Flow Rate: 1.0 mL/min
 Inj. Vol.: 50 µL
 Detection: Suppressed Conductivity, Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor (40 mA)

Peaks:	A	B
1. Fluoride	0.11 mg/L	0.61 mg/L
2. Chloride	6.0	12.7
3. Nitrite	-	1.9
4. Bromide	0.01 (< MRL)	2.0
5. Nitrate	4.7	9.5
6. Phosphate	-	5.2
7. Sulfate	21.5	49.1

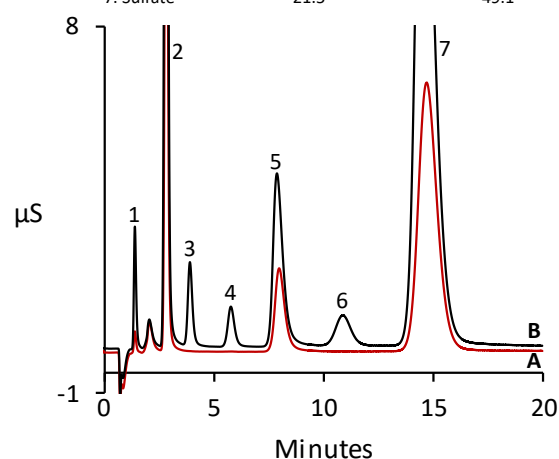


Figure 8. Determination of anions in unspiked (A) and spiked (B) drinking water samples from Augsburg using a Sykam A07.

Column: Sykam A07 (150 x 2.6 mm) and Sykam AGC-04 (20 x 2.6 mm)
 Eluent: 4.0 mM Na₂CO₃, 25 µM NaSCN
 Flow Rate: 1.0 mL/min
 Inj. Vol.: 50 µL
 Detection: Suppressed Conductivity, Sykam Chemical Anion Suppressor (80 rpm, A) and Electrochemical Self-Regenerating Anion Suppressor (40 mA, B)

Peaks:	A	B
1. Fluoride	0.05 mg/L	0.06 mg/L
2. Chloride	16.0	16.6
3. Bromide	-	0.009 (< MRL)
4. Nitrate	1.7	1.8
5. Sulfate	6.1	6.2

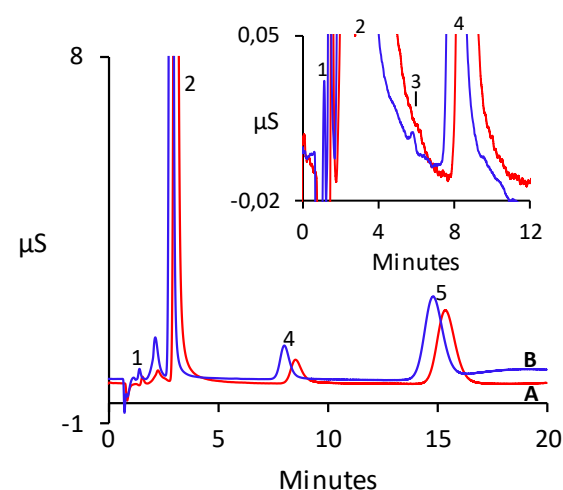


Figure 9. Determination of anions in mineral water samples (St. Leonhard) using a Sykam A07 with the Sykam chemical anion suppressor (A) and the electrochemical self-regenerating anion suppressor (B).

Comparison of chemical and electrochemical suppression

Sykam 이온 크로마토그래피 S 150 Plus 시리즈에 사용된 서프레션 기술은 물의 전기화학적 전기 분해 기술에 기반합니다. 이 기술은 기존의 Sykam 이온 크로마토그래피 S 150 시리즈에서 사용되는 화학적 서프레서와 비교해 다양한 장점이 있습니다.

먼저 전기 화학적 자기 재생이 가능합니다. 이는 기존에 사용자가 주기적으로 화학 서프레서의 재생 용액을 교체해야 하는 것에 비해 매우 편리한 유지보수를 가능케 합니다. 또한 이러한 방식은 뛰어난 베이스라인 노이즈를 얻을 수 있게 하는데, Sykam A07 컬럼을 기준으로 기존의 화학 서프레서는 5 nS/cm 수준의 베이스라인 노이즈를 유지했다면 전기화학 서프레서의 경우 2 nS/cm 수준의 베이스라인 노이즈를 얻을 수 있었습니다. 이러한 낮은 베이스라인 노이즈는 브로민, 질산염 등 식수 및 자연수에서 30 µg/L 이하의 극미량 존재하는 이온에 대한 분석을 가능하게 합니다. 이러한 비교는 Figure 9에서 확인 가능한데 두 크로마토그램 모두 동일한 St. Leonhard의 광천수 샘플 분석 크로마토그램이며 빨간 선 A는 화학 서프레서를 통해, 파란선 B는 전기화학 서프레서를 통한 분석 결과입니다. 전기화학 서프레서를 통한 분석에서는 9 µg/L라는 매우 낮은 농도의 브로민을 검출할 수 있는 반면 화학 서프레서는 검출하지 못했습니다.

요약

Sykam A07 및 A08 컬럼은 모두 식수 및 자연수 내 무기물 음이온 분석에 매우 적합한 성능을 보입니다. 이들은 EPA 300.1, ASTM D4327 및 ISO EN 10304-1에서 제시하는 조건을 모두 만족했습니다. 이는 본 어플리케이션 노트에서 제시하는 분석법들의 검출 한계, 분리도, 직선성 및 정밀성 평가를 통해 검증되었습니다. 첨가된 샘플에서 뛰어난 회수율 평가 결과를 얻었으며 첨가된 공시험체에서도 합리적인 회수율 평가 결과를 얻었습니다. 두 컬럼 모두 매우 큰 컬럼 용량(Capacity)를 가지며 직선성 범위가 두 자릿수 이상으로 매우 넓은 범위를 보여 별다른 샘플의 희석 없이 직접 주입을 통해 최대 100 mg/L 농도의 염화물이나 기타 무기물 음이온들을 분석할 수 있었습니다. Sykam A07 컬럼은 모든 무기물 음이온에서 높은 분리도를 보였으며 이를 통해 복잡한 매트릭스

혹은 매우 높은 농도를 가지는 샘플 역시 분석이 가능합니다. 만약 매우 낮은 mg/L 농도의 무기물 음이온 분석에 관심있는 경우 Sykam A07 컬럼이 추천됩니다. Sykam A08 컬럼은 빠른 분리를 위한 컬럼으로써 분석 시간을 절약하는데 도움을 줄 수 있으며 특히 염소, 질산염, 황산염같이 흔하게 분석되는 이온에 중점을 둔다면 추천됩니다.

References

- [1] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 03. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.
- [2] Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16th December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast).
- [3] Safe Drinking Water Act (Title XIV of the Public Health Service Act, Chapter 373 of the 78th Congress).
- [4] Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- [5] www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations.
- [6] EN ISO 10304-1:2009: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie – Teil 1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat.
- [7] Method 300.1 – Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography, Revision 1.0, National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OHIO 45268.
- [8] ASTM International: Designation D4327-17, Standard Test Method for Anions in Water by Suppressed Ion Chromatography.
- [9] 40 CFR Appendix -B-to-Part-136 – Definition and Procedure for the Determination of the Method Detection Limit – Revision 2.
- [10] DIN 38402-51 – Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Allgemeine Angaben (Gruppe A) – Teil 51: Kalibrierung von Analyseverfahren – Lineare Kalibrierfunktion (A51).

www.sykam.com

©2022 Sykam GmbH. 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 use of these products in any manners 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.

SYKAM
CHROMATOGRAPHY