

## 수질 중 중금속(Cr, Ba) 숙련도 시험 평가

송대성<sup>1</sup> · 이정엽<sup>1</sup> · 이종운<sup>2</sup> · 서대근<sup>1</sup> · 최재원<sup>1</sup> · 김윤석<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup>한국수자원공사 수질연구센터

<sup>2</sup>전남대학교 에너지자원공학과

## Proficiency Testing of Heavy Metals (Cr, Ba) in Water

Dae-Sung Song<sup>1</sup>, Jeong-Yeop Lee<sup>1</sup>, Jong-un Lee<sup>2</sup>, Dae-Keun Seo<sup>1</sup>,  
Jaewon Choi<sup>1</sup>, and Yun S. Kim<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup>Water Quality Analysis Center, K-water Convergence Institute, Daejeon 34350, Korea

<sup>2</sup>Department of Energy & Resource Engineering, Chonnam National University, Gwang-ju 500-757, Korea

Received March 6, 2018/Revised March 8, 2018/Accepted March 15, 2018

In this study, the analytical techniques of 51 domestic and international institutions were assessed based on the proficiency testing of heavy metals. The proficiency testing samples that were prepared and distributed for this study were barium and chromium, of which their homogeneity and stability in water were ensured. Thirty-eight institutions and 45 institutions participated and submitted their results obtained from the analysis of barium and chromium, respectively. A statistical assessment on the proficiency test was conducted on the basis of the z-score and the results obtained are as follows: for barium, 1 institution was assessed as unsatisfactory and 6 as doubtful, and for chromium, 6 were assessed as unsatisfactory and 4 as doubtful. The testing institutions that had doubtful or unsatisfactory results need to consider the cause of causal analysis inaccuracies, including reference materials, glassware, inspection of the testing equipment and recalibration, test procedure reviews, tester training, and continuous participation in proficiency tests of relevant areas in order to promote efforts for improving and taking preventive measures for performance improvement.

**Key words:** Proficiency testing, Chromium, Barium, Homogeneity, Stability

### 1. 서 론

세계화 시대에 발맞춰 각 국의 수출 품목에 수반되는 데이터가 상호 시장에서 공동으로 인정받게 하기 위한 절차는 반드시 필요하다. 이는 교역 상대 국가에서 데이터 수용에 필요한 재시험 같은 행위를 생략하게 함으로써 비용 절감뿐만 아니라 제품에 대한 신뢰도를 향상시키는 중요한 절차이기 때문이다.<sup>1)</sup> 이러한 절차를 향상시키기 위해 각 국은 국제적으로 인정받는 인정시스템이 필요하며 현재는 ISO/IEC 17025<sup>2)</sup>나 ISO9001<sup>3)</sup> 같은 국제 표준에 의해 보장받고 있다.<sup>1)</sup>

각 시험검사 인정기관들의 공정성과 역량 등 적합성

평가가 이루어질 수 있도록 유도하는 국제협력체인 ILAC은 상호인정협력(MRA)를 통해 인정기관들에서 생산되는 데이터에 대해 국제적인 확인 및 수용을 뒷받침하고 있다.<sup>1)</sup> 이렇듯 한 번의 시험을 통해 어디에서든지 수용 가능한 데이터의 보장을 위해 숙련도 시험(proficiency testing)의 필요성도 강조되고 있다. 숙련도 시험이란 시험기관 간 비교를 통하여 참가자의 수행도를 평가하는 것으로 ISO/IEC 17043<sup>4)</sup>에 숙련도 시험 적합성 평가를 위한 일반 요구사항이 제시되고 있다. 각 시험소가 기술적 역량을 인정받기 위해서는 상기된 국제표준 등의 인증 프로세스를 통해 공인된 방법들을 보장받고 이를 이용하는 사용자들에게 제공함으로써 올바른 결정

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

을 할 수 있도록 유도할 수 있을 것이다.

최근 국내에서도 시험기관들의 신뢰성 확보를 위한 절차가 크게 강조되고 있으며 한국인정기구(KOLAS)를 통해 국가표준기본법에 따른 국내의 교정기관 및 시험기관 인정제도를 운영하고 있다.<sup>5)</sup> KOLAS에서는 등록된 공인시험기관들이 중분류 기준으로 3년에 1회 이상 숙련도 시험에 참가하도록 요구하고 있으며, “공인기관 인정제도 운영요령” 및 ILAC G 13, KS Q ISO/IEC 17043, KS Q ISO/IEC 17025 등의 국제표준 또는 국제기구에서 정한 숙련도시험 운영기관 인정제도에 의거 숙련도시험 운영기관을 지정하고 있다. 현재 K-water 수질연구센터는 수질분야 숙련도시험 운영기관으로 인정되어 운영되고 있으며 수질분야 시험기관의 수행능력을 국제표준을 통해 비교·검토를 함으로써 매해 평가하고 있다.

수질분야의 여러 항목 중 중금속류는 각국의 수질기준에 반드시 포함되는 항목으로 음용수 등으로 인체에 직접 섭취되거나, 먹이사슬에 의해 간접적으로 섭취되는 등 다양한 경로로 인간에게 노출된다. 특히 중금속류는 분해가 쉽게 되지 않기 때문에 오랜 기간 체내에 잔류하여 피해발현되므로 사전에 음용수로 적합하지 판단 여부는 너무나도 중요한 문제이다. 결국 이러한 과정은 수질분야 시험기관의 분석수행능력 검증으로 귀결되며, 품질 보증 관점에서 볼 때 각각의 분석기관의 시험 분석법이나 분석 과정에 수반되는 여러 불확도를 제거하기 위해 숙련도 시험은 꼭 필요한 과정이다.

따라서 본 연구에서는 수질 중 중금속 분석기관의 수행능력을 평가하기 위해서 수질분야 숙련도 프로그램을 개발한 후 숙련도 시료의 유효성 검증을 위해 조제된 시료의 균질성과 안정성 평가를 함으로써 국내의 시험기관에 적용 가능성을 확인하고자 하였다. 또한 숙련도 시험 참여기관에서 제출한 결과값을 근거로 한 수행도 평가를 통해 각 시험기관의 분석수행능력을 검증하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 표준물질 및 분석방법

숙련도 시험용 시료 조제는 한국표준과학원(KRIS)에서 구매한 인증표준물질(CRM)인 크롬(Cr)과 바륨(Ba)을

사용하였으며 각각의 인증값 및 확장불확도는 크롬(1 019.2 mg/L,  $\pm 1.2$  mg/L), 바륨(1 000.5 mg/L,  $\pm 0.9$  mg/L) 이다.

시료의 분석은 ICP-OES(8300DV, Perkin Elmer, 미국)로 하였으며 세부적인 분석기기조건은 Table 1에 제시하였다. 분석 시 사용되는 항목별 파장선택은 KS I ISO 11885 : 2008<sup>6)</sup>, Standard Methods<sup>7)</sup> 및 수질오염 공정시험기준<sup>8)</sup>를 참조하여 선택하였다.

### 2.2. 숙련도 시험용 시료 조제

숙련도 시험용 시료 조제는 KS Q ISO Guide 30<sup>9)</sup> 및 KS I ISO 11885:2008의 표준용액 조제 절차 및 시험방법을 참조하여 수행하였다. 시험기관들의 수질 중 중금속 분석에 일반적으로 사용하는 장비인 원자흡광광도계(AAS)나 유도결합플라즈마 원자발광분석계(ICP-OES) 등을 사용할 수 있도록 항목을 선정하였으며, 지하수, 하천수, 폐수 등 수질 중 중금속의 분석농도를 고려하여 농도범위를 설정하여 혼합시료로 만들었다. 이 때 사용된 희석수는 정제된 탈이온수(18.2 M $\Omega$ ·cm)를 사용하였고 조제된 시료는 0.5% 질산 수용액이 되도록 하였으며 사용된 질산은 sigma-aldrich사의 질산(ACS reagent, 99.999%)을 사용하여 시약에 의한 오염을 최대한 배제하였다.

시료의 조제는 참가기관 수 및 균질성, 안정성 평가를 고려하여 조제량을 정하였으며, 조제 과정은 2 L 부피 플라스크에 0.5% (부피 분율) 질산 수용액 1/2 정도 채운 후 크롬(Cr)과 바륨(Ba) 표준원액 1 000.0 g, 800.0 g을 각각 취하여 2 L 부피 플라스크에 넣은 후 2 L 부피 플라스크의 눈금까지 0.5% 질산 수용액을 채웠다. 배합된 수용액을 10% 질산을 이용해 미리 세척한 10 L HDPE bottle에 옮겨 담은 후 0.5% 질산 수용액 4 L를 bottle에 채워 총 6 L로 만들었다.

조제된 숙련도 시험용 시료를 잘 세척된 피펫을 이용해 20 mL씩 분취해 미리 준비한 30 mL HDPE 용기에 각각 넣은 후 테프론 실리콘 테이프를 이용해 밀봉한 용기에 번호를 부여(#1~#300)한 후 랜덤 함수를 이용 난수로 균질성 확인용 시료 12개 및 안정성 확인용 시료 96개를 선정하였다. 균질성 확인용 시료는 병

Table 1. The analytical conditions of ICP-OES

Elements	Wavelength (nm)	Plasma (L/min)	Aux (L/min)	Neb (L/min)	Power (watts)	View Dist	Plasma View
Cr	267.72	15	0.2	0.65	1300	15.0	Axial
Ba	455.40	15	0.2	0.65	1300	15.0	Radial

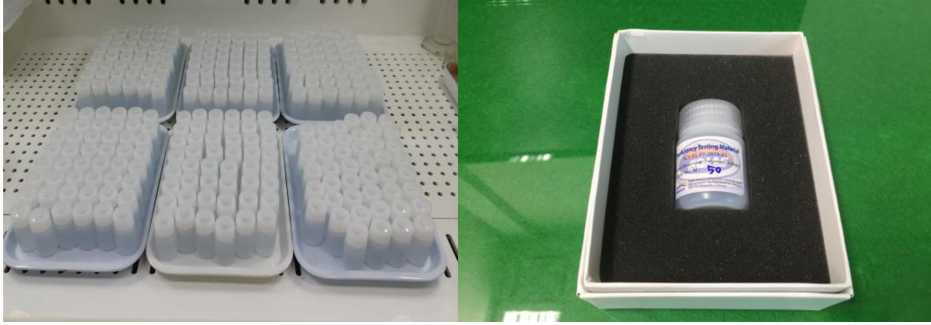


Fig. 1. Preparation of proficiency testing samples.

내 상하로 2회 분취하여 즉시 시험하였으며, 안정성 확인용 시료는 시료 배송 과정 및 시험기관 현지 기온을 고려하여 냉장(4°C), 상온(20°C), 고온(35°C)에서 분리 보관하여 일정 시간 간격으로 안정성 평가를 수행하였다. 이 때 모든 시험은 ICP-OES를 이용 3반복 조건으로 시험하였으며, 측정의 추세(drift)와 시료의 추세(drift)가 분리될 수 있도록 무작위 순서로 시험하였다.

### 2.3. 숙련도 시료 배포

위와 같이 조제된 시료는 KS Q ISO 13528<sup>10)</sup>에 따라 균질성, 안정성 평가를 통해 유효성 검증을 완료한 후 참여기관에 배포하였다. Fig. 1과 같이 혼합시료(20 mL)로 제공된 시료를 10배 희석하여 별도의 환산과정 없이 시험결과를 제출하도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 숙련도 시료의 유효성 검토

#### 3.1.1. 균질성 평가

한 배치에서 한 부분과 다른 부분의 특성 차이가 없다면 그 배치는 균질성을 갖는다고 할 수 있다. 이러한 균질성을 평가하기 위해 KS I ISO Guide 35<sup>11)</sup>를 참조하였으며 일원 분산 분석(ANOVA)을 통해 그룹 간의 균질성을 평가하였다.

ISO 13528 부속서 B에 제시된 균질성 및 안정성 점검 표본(g)을 참고하여 숙련도 시료를 난수로 12개(g≥10) 병을 선정하고, 각 병마다 상하로 2회(g=2)씩 분취하여 총 24개 시료에 대해 정밀하게 10배 희석한 후 유도결합플라즈마 원자발광분석계(ICP-OES)로 분석하였다. 분석된 결과값을 통해 시료의 평균 농도, 표준편차, 상대표준편차를 계산(Table 2)하였으며, KS Q ISO

13528<sup>10)</sup>에 따라 숙련도 시료의 균질성을 평가하였다.

일반적으로 시료 간 표준편차( $S_s$ )가 숙련도 시험에 대한 표준편차( $\hat{\sigma}$ )에 0.3을 곱한 값과 비교하여 적거나 같다면(식 1) 그 시료는 적절하게 균질하다고 본다.

$$S_s \leq 0.3 \hat{\sigma} \quad (1)$$

여기서 숙련도 시험에 대한 표준편차( $\hat{\sigma}$ )를 결정하기 위한 방법으로 ISO 13528<sup>10)</sup>에서는 규정값에 의한 방법, 인지에 의한 방법, 일반모델에 의한 방법, 정밀 실험의 결과에 의한 방법, 숙련도시험에서 얻은 데이터로부터 얻는 방법 등을 제시하고 있다. 본 연구에서는 일반모델에 의한 방법을 사용하였으며 Horwitz equation (식 2)을 이용하였다.

$$\hat{\sigma} = 0.02C^{0.8495} \quad (2)$$

크롬과 바륨의 시료 간 표준편차( $S_s$ )와 숙련도 시험에 대한 표준편차( $\hat{\sigma}$ ) 값이 각각 크롬(0.008, 0.159), 바륨

Table 2. The homogeneity data for proficiency testing samples (Cr, Ba)

	Cr	Ba
Mean	0.994	0.824
Standard deviation	0.010	0.006
Relative standard deviation	1.018	0.676
$S_s$ (between groups)	0.008	0.002
$S_w$ (within groups)	0.013	0.005
ref. for $\hat{\sigma}_t$	Horwitz	Horwitz
Target $\hat{\sigma}_t$	0.159	0.136
F	0.174	1.177
F critical	2.717	2.717
F < F critical	Pass	Pass
$S_s / \hat{\sigma}$	0.050	0.012
Critical $S_s / \hat{\sigma}_t$	0.3	0.3
$S_s / \hat{\sigma} < \text{critical } S_s / \hat{\sigma}_t$	Pass	Pass

(0.002, 0.136)으로 식 (1)을 만족하여 본 연구의 숙련도 시료에 대한 균질성이 확보되었음을 확인하였다.

균질성 평가의 기본 모델은 그룹 간의 일원 분산 분석법(ANOVA)이므로 이를 통한 수행도 평가도 하였다. 분산 분석은 두 개 혹은 그 이상의 모집단 사이의 한 개의 검증변수에 대한 통계적 유의성을 검증하는 분석 기법으로, 이를 통해 얻은 결과로 각 표본들이 동일한 평균을 가지는 모집단에서 추출되었는지를 추정할 수 있다<sup>12)</sup>. 분산 분석은 엑셀(Excel)을 이용 F-검증(일원배치 분산 분석)으로 계산하였으며 유의 수준 0.05에서 F 값이 F 기각치보다 작을 경우 균질성이 확보되었다고 할 수 있다. 본 연구에서 크롬의 F 값이 0.842, F 기각치는 2.717, 바륨의 F 값은 0.451, F 기각치 값은 2.717로 두 항목 모두 F 값이 F 기각치보다 작으므로 숙련도 시료의 균질성을 확인하였다(Table 3).

### 3.1.2. 안정성 평가

숙련도 시료의 안정성 평가를 위해서는 시료의 유효 기간을 확인하기 위한 물질의 장기 안정성 평가와 운송 조건 등에서 발생할 수 있는 안정성을 시험하기 위한 단기 안정성을 고려하여야 한다<sup>11)</sup>. 이러한 안정성 평가를 통해 시료의 사용 기간에 대한 불확실성을 제거할 수 있으며, 시료의 저장 조건과 운송 방법 등을 결정하기 위한 중요한 자료가 된다.

본 연구에서는 장·단기 안정성 평가를 위해 시료 조제 후 3개월간 5시점(시작, 2주, 3주, 시료 배포 시, 숙련도 평가 종료 시)으로 운영 시기 및 예상 참가 시험기관들의 현지 기온을 고려하여 냉장(4°C), 실온(20°C), 가

온(35°C) 조건으로 설계하여 수행하였다. 각각의 조건에 8개(g≥3, ISO 13528 부속서 B)의 시료를 난수로 선정하여 분석하였으며, 사용된 시료는 폐기조치하였다.

안정성 평가를 위한 측정 기준은 균질성 점검에서 얻어진 평균값에서 안정성 점검을 통해 얻어진 평균값을 뺀 절대값이 균질성 평가 시 사용되었던 숙련도 시험에 대한 표준편차( $\hat{\sigma}$ )에 0.3을 곱한 값보다 같거나 작으면 식 (3) 시료는 적절히 안정하다고 판단한다.

$$|\bar{x}\dots+\bar{y}\dots| \leq 0.3 \hat{\sigma} \tag{3}$$

시험 결과 크롬과 바륨 모두 (Table 4)와 같이 0.3  $\hat{\sigma}$  보다 작으므로 숙련도 시료로써 유효할 수 있는 안정성이 확보되었다.

## 3.2. 수행도 평가

### 3.2.1. 설정값과 표준편차의 결정

유효성 검증이 완료된 숙련도 시료는 각 시험기관에 배포되었으며, 각 시험기관의 수행도 평가를 위해서 설정값과 표준편차를 설정하였다. ISO 13528에 의하면 설정값 결정 방법으로 수식화(formulation), 인증기준값(certified reference values), 기준값(reference values), 전문시험소들로부터의 일치값(consensus values from expert laboratories), 참가자들의 일치값(consensus values from participants) 등을 제시하였다. 또한 표준편차 결정 방법으로 규정값(범규 등의 요구사항), 인지에 의한 방법, 일반모델, 정밀 실험의 결과, 숙련도시험에서 얻은 결과 등을 제시하였으며, 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 참가자들의 일치값을 설정값(X)으로, 숙련도시험에서 얻

**Table 3.** Analysis of variance table (ANOVA)

Elements	Item	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Cr	Between groups	0.000 32	11	2.9E-05	0.174	0.997	2.717
	Within groups	0.002 03	12	0.000 17			
	Total	0.002 35	23				
Ba	Between groups	0.000 37	11	3.4E-05	1.177	0.390	2.717
	Within groups	0.000 34	12	2.9E-05			
	Total	0.000 71	23				

**Table 4.** Estimation of stability of Cr, Ba

	Formular	Cr	Ba
Ave. of homogeneity	$\bar{x}\dots$	0.994	0.824
Ave. of stability	$\bar{y}\dots$	1.001	0.826
Difference	$ \bar{x}\dots-\bar{y}\dots $	0.007	0.003
Target $\hat{\sigma}$		0.159	0.136
0.3 $\hat{\sigma}$		0.048	0.041
difference < 0.3 $\hat{\sigma}$		Pass	Pass

**Table 5.** Estimation of assigned value and standard deviation

	Cr	Ba
Assigned value	1.001	0.831
Uncertainty on the assigned value	0.006 8	0.008 1
Standard deviation ( $\hat{\sigma}$ )	0.032 6	0.036 3
$0.3 \times \hat{\sigma}$	0.009 8	0.010 9
$U_x \leq 0.3 \hat{\sigma}$	Pass	Pass

**Table 6.** Interpretation of z-score

Range	Assessment
$ z  \leq 2$	Satisfactory or acceptable
$2 <  z  < 3$	Questionable
$ z  \geq 3$	Unsatisfactory or unacceptable

은 결과를 표준편차( $\hat{\sigma}$ )로 계산하였다.

$$U_x \leq 0.3 \hat{\sigma} \tag{4}$$

설정값의 불확도 제한 지침<sup>10)</sup>에 따르면 설정값의 표준불확도( $U_x$ )가 식 (4)를 만족한다면 설정값의 표준불확도는 무시할 만하며, 숙련도 시험 결과의 해석에 포함될 필요가 없다고 규정하고 있다. 각 시험기관에서 제출된 시험결과를 토대로 설정값과 표준편차를 비교해보았을 때, 식 (4)를 만족해(Table 5) 참여기관에 기관에 대한 수행도 평가를 실시하였다.

### 3.2.2. 수행도 평가

숙련도 시험의 수행도 평가는 참여기관이 제출한 결과값을 사용하였으며, 가장 일반적인 방법인 robust z-score를 적용하였다(Table 6).

$$Z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}} \tag{5}$$

$z$  = z-score

$x$  = the participant's reported result

$X$  = the assigned value

$\hat{\sigma}$  = the standard deviation for proficiency assessment

식 (5)와 같이 산출한 z-score 수행도 평가 결과를 Table 7에 나타내었다. 크롬 항목의 경우, 45개 국내의 기관이 참가하여  $|z| \leq 2$ 를 만족한 기관은 35개,  $2 < |z| < 3$ 인 의심기관은 4개,  $|z| \geq 3$ 으로 불만족인 기관은 6개이었다. 바륨 항목의 경우 38개 시험 기관이 참가하여  $|z| \leq 2$ 로 수행도 평가를 만족한 기관은 31개,  $2 < |z| < 3$ 인 의심기관은 6개,  $|z| \geq 3$ 으로 불만족인 기관은 1개이었다. 각 시험기관별 z-score 분포현황을 Fig. 2에 나타내었다.

한편, 숙련도 시험 참가기관들에게 결과 보고서 제출 시 측정불확도를 함께 제출하도록 요구하였으며, 시험기관별 측정불확도 범위는 Fig. 3에 나타내었다.

위와 같이 z-score에 의한 의심 기관을 포함하여 측정 불확도를 제출하지 않거나 그 크기가 지나치게 큰 기관의 경우 시험 절차 및 시험에 영향을 미치는 요소에 대한 내부검증이 필요해 보인다. 또한 z-score가 불만족인 기관의 경우 쉽게 발생 가능한 데이터 환산 오류 문제와 시험 과정에서 일어날 수 있는 시료 희석 문제, 교차 오염, 부적절한 장비 운전 조건 등에 대한 검토가 필요해 보인다.

## 4. 결 론

숙련도 시료의 유효성 검증을 위해 균질성 및 안정성 평가를 각각 수행하였으며 ISO 13528에 의한 균질성 평가 결과 시료 간 표준편차( $S_j$ )가 크롬 0.008, 바륨 0.002로 숙련도 시험에 의한 표준편차( $\hat{\sigma}$ )보다 작아 시료의 균질성을 만족하였다. 또한 ISO Guide 35에 따른 F-검증을 통한 일원 분산 분석(ANOVA)에서도 크롬의 F 값이 0.842, 바륨의 F 값이 0.451로 F 기각치보다 작아 숙련도 시험용 시료가 충분히 균질하다는 것을 확인하였다.

안정성 평가를 위해 3개월간 5시점으로 3개의 조건(냉장, 실온, 가혹)에서 안정성 모니터링을 수행하였다. 분석 결과 ISO 13528에서 제시한 균질성 평균과 안정성 평균의 차이가  $0.3 \hat{\sigma}$ 보다 작아 장기 안정성과 단기 안정성을 만족하였다. 이는 숙련도 시료로 시험 기간 동안 유효하다는 것을 검증함으로써 숙련도 시료의 유효

**Table 7.** Result of performance assessment for proficiency testing

Element	Satisfactory	Questionable	Unsatisfactory	Participants
	$ z  \leq 2$	$2 <  z  < 3$	$ z  \geq 3$	
Cr	35	4	6	45
Ba	31	6	1	38

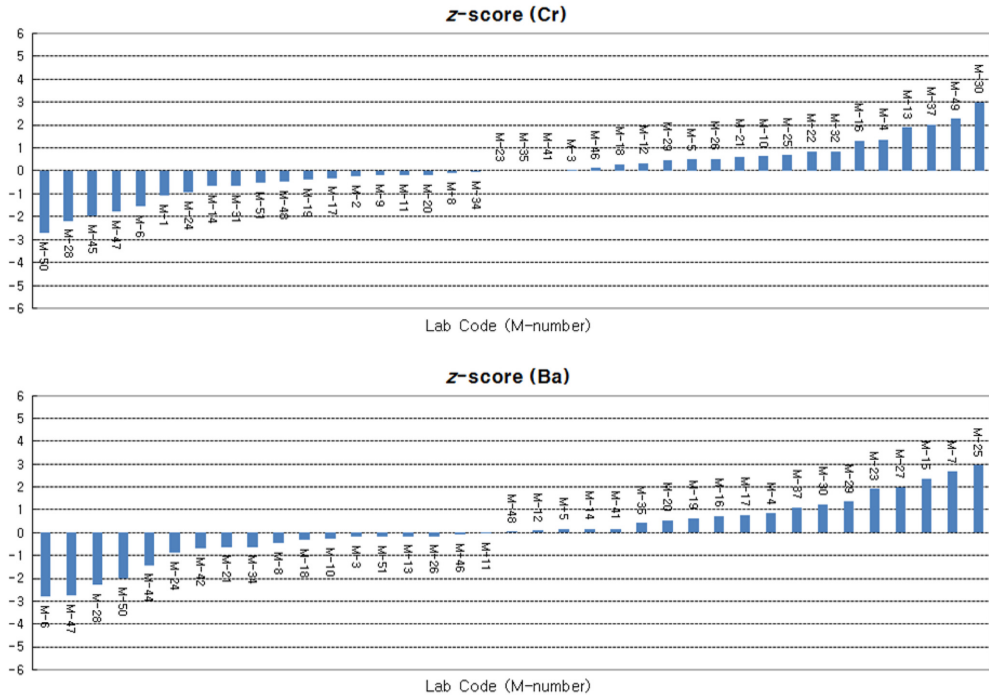


Fig. 2. Z-scores of formulation of Cr and Ba.

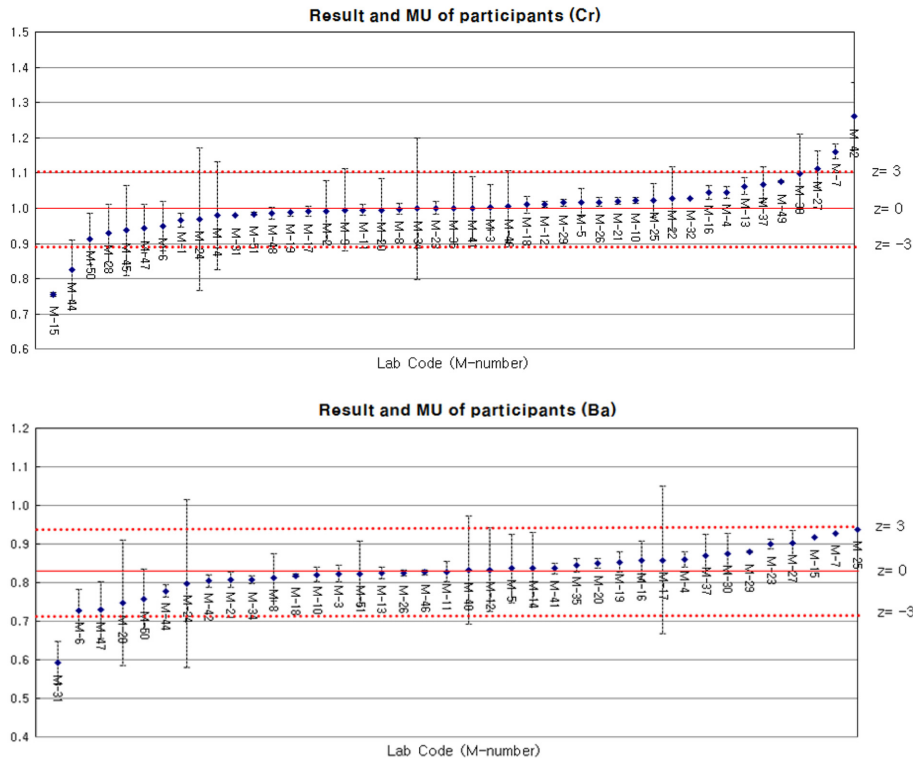


Fig. 3. Range of MU (measurement of uncertainty) of participants.

성을 확보하였다.

유효성이 검증된 시료는 국내외 45개 기관에 배포되어 수행도 평가를 하였다. 수행도 평가를 하기 위해 참가자들의 일치값을 설정값(X)으로, 숙련도 시험에서 얻은 결과를 표준편차( $\hat{\sigma}$ )로 계산하였으며, 가장 일반적으로 사용하는 robust z-score 산출을 통해 각 참여기관의 수행도 평가를 하였다. 평가 결과 대부분의 참여기관이 정규분포를 따랐으나 크롭의 경우 6개 기관(13%), 바륨의 경우 1개 기관(3%)의 기관의 수행도 평가가 불만족으로 나타났다. 또한 몇몇 기관에서 z-score가 의심범위를 보였으며, 측정불확도의 범위가 지나치게 크게 나타나는 기관들이 있었다.

이러한 결과로 미루어 볼 때 부적합 기관 및 의심 기관들의 분석 수행능력 향상을 위해서는 내부 평가 및 정도관리 시스템 확립을 통한 품질보증이 필요해 보이며, 기술적 역량 개선을 위한 직원 교육 및 주기적인 숙련도 시험 참가가 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 연구는 국가기술표준원의 KOLAS 숙련도시험의 일환으로 수행되었습니다(PT-2015-21).

### 참고문헌

1. ILAC, <http://ilac.org>, August 2017.
2. ISO/IEC 17025, "General requirements for the competence of testing and calibration in laboratories", 2005.
3. ISO 9001, "Quality management system - requirements", 2015.
4. ISO/IEC 17043, "Conformity assessment-General requirements for proficiency testing", 2010.
5. 국립전파연구원, "비교숙련도 품질시스템 개발에 관한 연구", 2016, 15-16.
6. KS I ISO 11885, "수질-유도결합플라즈마 원자발광분석법(ICP-OES)에 의한 선택원소 측정 방법: 2008.
7. Eugene W. Rice et al. "Standard Methods for the examination of water and wastewater -3120", 2012, 22<sup>nd</sup> edition.
8. 수질오염공정시험기준, 2015.
9. KS Q ISO Guide 30, "표준물질 관련 용어 및 정의", 2005.
10. ISO 13528, "Statistical methods for use in proficiency testing in the laboratory comparisons", 2015.
11. ISO Guide 35, "Reference materials - General and statistical principles for certification", 2006.
12. 이정엽, 최원석, 정영철, 최재원, 김윤석, "수질 중 유기인계 농약류, "Diazinon과 Parathion의 숙련도 시험용 시료 개발", *한국환경분석학회지*, 2017, 20, 81-86.