

환경숙련도 시험에서의 평가기준 설정

김명옥¹ · 정인영² · 이혜리¹ · 김금희¹ · 최성현¹ · 이두희¹ · 이원석¹ · 최종우^{1,†} · 권오상³

¹국립환경과학원 환경측정분석센터, ²국립환경과학원 화학물질연구과, ³국립환경과학원 환경기반연구부

Evaluation Criteria for Proficiency Testing in Environmental Samples of Water, Drinking Water, Waste and Soil Field

Myeong-Ock Kim¹, In-Young Chung², Hye-Ri Lee¹, Kum-Hee Kim¹, Sung-Hun Choe¹,
Doo-Hee Lee¹, Won-Seok Lee¹, Jong-Woo Choi^{1,†}, Oh-Sang Kwon³

¹Environmental Measurement and Analysis Center, National Institute of Environmental Research,
Research Complex, Incheon, 404-708, Korea

²Chemicals Research Division, National Institute of Environmental Research,
Research Complex, Incheon, 404-708, Korea

³Environmental Infrastructure Research Department, National Institute of Environmental Research,
Research Complex, Incheon, 404-708, Korea

Received January 16, 2015/Revised February 14, 2015/Accepted February 24, 2015

This study was performed in order to establish a reasonable assigned value and target standard deviation in various matrices from proficiency test results. RPDs between manufactured PT sample concentrations and robust or normal averages were lower than 5% in almost all items except in water, drinking water, waste and soil and 5% to 9.5% in organic solvents and organo-phosphate pesticides. Robust averages and robust standard deviations from 2002 to 2012 were calculated and Coefficient of variation (CV) was used as statistical tools to find the target standard deviation in each fields. As a result, CV of all items except mercury and arsenic showed less than 10% in water and drinking water fields. CV of mercury and arsenic was less than 20%. Most items of heavy metal in waste and soil showed less than 15%. Therefore, it is determined to be reasonable that the standard deviation of future itemized goal is calculated by multiplying the coefficient of variation of the statistical processing results during 11 years. These results will contribute to providing reliable evaluation criteria and relevant information when establishing the PT evaluation guidelines according to ISO 17043 in various fields.

Key words: Proficiency testing, Coefficient of variances, RPDs, ISO17043

1. 서 론

최근 세계 시험검사 시장 규모는 자유무역과 시장 개방에 따라 무역량이 증가되고 시험 결과의 활용이 늘어남에 따라 계속 증가하는 추세이다.^{1,2)} 시험기관은 생산된 시험 결과의 국제적 상호인정을 위하여 시험기관의 자격에 관한 요구사항인 국제표준 ISO/IEC 17025³⁾를 준수하도록 요구 받고 있다. 또한 시험기관이 생산

하고 있는 시험결과의 정확성과 재현성을 확보하기 위하여 국제표준에 따라 표준물질을 이용하여 실험실간 비교실험을 실시하는 숙련도시험(proficiency testing, PT)이 활용되고 있다. 국제표준 ISO/IEC 17043⁴⁾는 숙련도시험 결과의 신뢰성을 확보하기 위한 일반적인 요구사항을 제시하고 있으며, ISO/IEC 13528⁵⁾은 숙련도 시험 결과의 통계적 평가기법을 제시하고 있다. 숙련도 시험 운영기관(PT provider)은 이러한 국제표준에 따른

[†]To whom correspondence should be addressed.

숙련도시험 평가기준의 객관성과 적합성을 확보하도록 노력하여야 한다.⁶⁾

국립환경과학원은 1983년부터 환경분야 숙련도시험을 시행하여 왔고, 숙련도시험의 평가는 2009년까지 표준시료 제조값에 대한 오차율과 Normal z-score로 평가하였다. 그러나 오차율은 표준시료 기준값의 정확성이 요구되며, Normal z-score는 이상값(outlier)의 영향을 크게 받아서 이상값이 존재하면 정규분포를 가정한 Normal z-score에 따른 평가결과도 신뢰할 수 없는 문제점이 있다.^{7,8)} 이에 2010년부터 숙련도시험의 평가방법은 국제적인 프로토콜인 ISO/IEC 17043 및 ISO/IEC 13528, NATA에서 제안한 통계적 방법⁹⁾을 도입하였다. 평균과 표준편차의 추정에 이상값의 영향을 최소화하기 위해 로버스트 z-score로 평가하는 방식으로 평가방법을 전환하였다. 이 방법은 기존의 자료분석 과정에서 Cochran이나 Dixon 및 Thompson의 검정법을 이용하여 이상치 존재여부를 판단해야 하는 절차를 없애주는 장점이 있다.¹⁰⁾

국제적으로 사용되는 숙련도시험 평가는 시험기관들의 로버스트 평균값과 표준편차를 이용한 z-score를 산출하여 이루어지고, 이 때 시험기관이 갖는 불확도 및 분석오차 등을 감안하고자 변동계수를 이용하여 목표표준편차를 산출함으로써 숙련도시험 평가를 하고 있다. 그러므로 각 분야와 항목별 설정값과 목표표준편차를 적절하게 산출하여 숙련도시험에 참가하는 시험기관들을 합리적으로 평가하는 것이 숙련도를 평가함에 있어 가장 중요한 요소라 할 수 있다. 독일의 European Proficiency Testing International System (EPTIS)¹¹⁾와 미국의 National Air Toxics Trends Stations (NATTS)¹²⁾의 경우 실내공기질 분야 유기용제 항목의 숙련도시험 결과 평가 시 설정값은 참가기관의 로버스트 평균을 적용하고, 목표표준편차를 각각 15%, 25%로 정하고 있는 등 각 매질별, 항목별 숙련도 운영기관의 숙련도 평가 기준에 차이가 있다.

본 연구는 각국의 숙련도 운영기관이 각각의 숙련도 시험 평가기준을 확립하고 있음을 고려하여 국립환경과학원이 수행한 지난 11년간(2002~2012년) 수질, 먹는물, 폐기물, 토양 분야의 숙련도시험 평가 자료를 통계적으로 해석하여 국제 기준에 부합하면서 우리 실정에 맞는 숙련도시험 평가기준을 제시하고자 수행하였다. 연구결과 통계적 결과를 바탕으로 분야별 항목별 시험방법의 난이도, 숙련도시험 참가기관의 분석 수준 등을 고려한 설정값과 목표표준편차를 산출하는 기준

을 제시하여 숙련도시험의 신뢰도와 투명성을 확보하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 표준물질 제조 및 분석방법

수질, 먹는물, 폐기물분야 숙련도시험 표준물질(reference materials, RM)은 표준물질 제조 및 인증을 위한 통계처리 원칙인 국제표준 ISO Guide 35¹³⁾에 따라 우리나라 인정기구 KOLAS(Korea Laboratory Accreditation Scheme)에서 인정한 표준물질 생산기관이 제조한 표준물질을 구매하여 매년 1회 약 500개 시험기관(수질 350, 먹는물 100, 폐기물 50여개)의 분석결과를 평가자료로 활용하였다. 각 분야별 숙련도시험 시료의 분석방법은 수질 분야는 수질오염공정시험기준(환경부 고시 제2014-163호), 먹는물 분야는 먹는물공정시험기준(환경부 고시 제2013-136호), 폐기물 분야는 폐기물공정시험기준(환경부 고시 제2014-31호)을 각각 따랐다. 한편, 토양분야의 숙련도시험 시료는 각 항목별로 원하는 농도를 얻기 위하여 오염된 지역의 토양과 오염되지 않은 지역의 토양을 섞은 다음 pin mill로 분쇄하고 100 메쉬인 표준체로 체거름하여 제조하였다. 제조된 시료는 ISO 13528에 따라 균질성 및 안정성을 검증한 다음 숙련도시험을 위하여 약 70개 시험기관에 배포하였고, 시료 중의 성분은 토양오염공정시험기준(환경부 고시 제2013-113호)에 따라 분석하였다.

2.2. 로버스트 평균 및 표준편차 산출

시험기관이 제출한 측정값은 ISO/IEC 17043 및 ISO/IEC 13528 부속서 C에 따라 평균과 표준편차의 추정에 이상값의 영향을 최소화하기 위한 통계기법인 로버스트 분석을 통하여 평가하였다. 로버스트 분석에서 로버스트 평균은 시험기관이 제출한 측정값의 중앙값(median)이며, 로버스트 표준편차는 시험기관의 측정값에서 로버스트 평균을 뺀 값의 절대값의 중앙값 즉 절대편차중앙값(median absolute deviation)에 통계적 상수인 1.483을 곱하여 구하였다.

2.3. 제조값과 로버스트 평균값의 비교를 통한 설정값 검토

ISO/IEC 17043에 따르면 설정값은 매질과 측정대상의 특성 등을 고려하여 숙련도시험(proficiency testing materials)의 제조농도, 인증표준물질(Certified Refer-

ence Materials)의 농도, 숙련도시험에 참가한 시험기관에서 제출한 농도를 통계 처리하여 구한 로버스트 평균값 등 다양한 방법으로 구할 수 있다. 본 연구에서 설정 값은 지난 11년간 시험기관에서 제출한 숙련도시험 자료를 분석하여 수질, 폐기물, 토양 3개 분야는 로버스트 평균값을 먹는물 분야는 대부분의 항목의 시험기관 표준편차가 0이므로 로버스트 통계가 적용이 되지 않기 때문에 노말 평균값을 구하여 설정하였다. 이 때 객관적인 평가기준의 타당성은 항목별 시료의 제조값과 설정 값들 사이에 차이가 있었는지 상대차이백분율(RPD)을 통하여 검증하였다.

2.4. 변동계수를 적용한 목표표준편차 설정

ISO 13528에 기술된 바와 같이 표준편차는 전문가 판단 또는 숙련도시험의 이전 라운드 추정 또는 경험을 근거로 한 기대치(인식에 의함), 통계모델 추정(일반모델), 정밀도 실험결과 또는 참가자 결과를 근거로 한 로버스트 표준편차를 사용하여 계산할 수 있다. 본 연구에서는 시험기관들이 제출한 시험결과의 로버스트 표준편차를 계산하고, 변동계수의 추이를 살펴봄으로써 합리적인 목표표준편차를 산출하고자 하였다. 이 때 변동계수는 표준편차를 설정값으로 나누어 구할 수 있고, 이러한 변동계수를 적용하는 것은 시험기관의 분석 수준, 시험의 난이도 등을 감안하여 보정하기 위한 계수로 생각할

수 있다. 따라서 수질, 먹는물, 폐기물, 토양 분야에서 항목별로 지난 11년간의 변동계수 추이를 파악하여 목표표준편차를 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분야별 항목별 제조값과 로버스트 평균값의 비교를 통한 설정값 검토

3.1.1. 수질 및 먹는물 분야

수질 및 먹는물 분야 숙련도 시료의 항목별 제조값과 로버스트 평균값의 차이를 비교하여 설정값의 타당성 및 시료 제조의 안정성을 검토하였다(Table 1). 2002년부터 2012년까지의 숙련도시험 결과를 검토한 결과 수질 분야는 숙련도 시료의 제조값에 대한 로버스트 평균값의 상대차이백분율(RPD)은 망간을 제외하고 평균 1.3~3.8%로 낮게 나타났고, 먹는물 분야는 노말 평균값의 상대차이백분율은 평균 0.5~4.7%로 수질 분야와 비슷한 경향을 보였다. 다만, 먹는물 분야의 벤젠 항목의 경우 상대차이백분율이 22.2%로 매우 높았으며 제조값과 노말 평균값이 각각 0.015 mg/L, 0.012 mg/L이었다. 벤젠은 먹는물 수질기준이 0.01 mg/L이며 이를 반영한 숙련도시료의 제조농도가 매우 낮기 때문에 상대차이백분율이 다른 항목에 비하여 높게 나타난 것으로 판단된다.

미국 TNI의 숙련도시험 공급기관인 ERA(Environ-

Table 1. Relative percent deviation between manufactured concentrations and robust/normal averages in Water & Drinking water fields (2002~2012)

Water field					Drinking water field				
Item	N ¹⁾	Range of MC ²⁾ (mg/L)	Average of RPD ³⁾ (%)	Range of RPD ³⁾ (%)	Item	N ¹⁾	Range of MC ²⁾ (mg/L)	Average of RPD ³⁾ (%)	Range of RPD ³⁾ (%)
BOD	2874	12.1~92.4	1.25	0.02~5.27	NH ₄ -N	901	0.25~0.85	1.6	0~10.2
COD	2872	8.3~42.1	2.32	0.54~4.31	F ⁻	901	0.55~1.80	1.7	0~8.7
TN	2744	2.0~32.0	2.13	0.01~9.25	CCL ₄	901	0.04~0.13	3.1	0~8.7
TP	2710	0.3~8.3	3.64	1.58~5.94	Benzene	901	0.004~0.045	4.7	0~22.2
CN	1839	0.3~2.4	3.11	0.05~6.53	Parathion	901	0.03~0.13	3.5	0.1~8.8
Phenols	1925	0.7~4.1	1.92	0~8.76	NO ₃ -N	544	0.6~1.8	1.4	0~7.8
SS	643	20.0~80.0	2.71	1.81~4.21	Cl ⁻	554	6.0~18.0	1.1	0~5
Cd	1856	0.1~2.5	2.27	0.02~12.02	SO ₄ ²⁻	544	0.7~18.0	1	0~6.1
Pb	1851	0.3~2.8	2.08	0~7.46	Diazinon	470	0.03~0.12	4.7	0~12.1
Cr	1885	0.2~3.0	1.97	0.17~7.83	Pb	820	0.04~0.18	2.4	0~6.6
Cu	1008	0.4~2.7	2.43	0.35~5.36	Hg	814	0.004~0.028	4.1	0~12.5
Hg	1838	0.01~1.80	3.79	0.02~16.5	As	823	0.04~0.18	1.9	0~8.7
As	1842	0.1~2.7	1.84	0.08~15.4	Cd	241	0.008~0.023	1.5	0~4.4
Mn	313	0.8~2.0	0.81	0.15~1.64	Cr	387	0.15~0.36	0.5	0~1.2

*1)N: number of participating laboratories, 2)MC: manufactured concentration

3)RPD= |Robust averages-manufactured concentration / manufactured concentration|×100

mental Resource Associates)의 2011년 및 2012년 수질 분야 숙련도시험 결과보고서에 따르면^{14,15)} 제조값과 로버스트 평균값의 상대차이백분율은 총질소, 총인이 평균 1.5~5.5%, 카드뮴, 크롬, 구리, 납, 수은, 비소 등 중금속이 평균 0.1~3.1%였다. 먹는물 분야의 결과보고서에 따르면^{16,17)} 상대차이백분율이 카드뮴, 크롬, 구리, 납, 수은, 비소 등 중금속이 평균 0.8~4.4%의 결과를 나타냈다. 따라서 시험방법 고유의 특성과 숙련도시료 제조값의 불확도를 고려할 때 우리나라의 숙련도 평가결과는 미국과 비교하여 신뢰성 있는 결과로 판단된다. 한편, 총질소, 총인, 수은, 비소와 같이 일부 항목의 제조값과 로버스트 평균값의 상대차이백분율이 5%보다 크게 나타나는 경우는 항목에 대한 시험기관별 분석 능력의 차이와 항목이 갖는 특성과 숙련도시료의 제조농도의 영향이 반영된 결과라고 판단된다. 이러한 결과는 국제적으로 화학시험의 숙련도시험 평가시 로버스트 평균값과 제조값의 차이를 항목 및 매질의 특성에 따라 3~15%까지 인정하고 있기 때문에¹⁸⁾ 숙련도 평가 결과의 신뢰도에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

3.1.2. 폐기물 및 토양 분야

폐기물 및 토양 분야 숙련도 시료의 항목별 제조값과 로버스트 평균값의 차이를 비교하여 설정값의 타당성 및 시료 제조의 안정성을 검토하였다(Table 2). 2002년부터 2012년까지의 폐기물분야 숙련도 시료의 제조값에

대한 로버스트 평균값의 상대차이백분율은 평균 2.7~9.5%로 대부분 5% 이하 수준이었으나 유기용제 및 유기인 항목이 평균 5% 이상이었는데, 이는 휘발성 물질임을 감안하면 안정성이 낮은 항목특성이 반영된 결과로 판단된다. 토양 분야는 2010년에 숙련도시험 매질을 실제현장과 동일한 오염된 토양(광미)을 사용하였기 때문에 2010~2012년의 결과를 표에 정리하였다. 유기용제 항목이 상대차이백분율이 최대 30%까지 나타남으로써 이 역시 매질의 특성과 기관들의 분석 능력의 차이 등의 이유로 인해 상대차이백분율이 크게 나타나는 것으로 해석할 수 있고, 이에 반해 중금속 항목은 유기용제 항목에 비해 비교적 분석이 쉬운 항목 특성상 평균 3.3~8.0%로 안정된 결과가 나타났으며 폐기물 분야와 유사한 경향을 보였다. 미국 ERA의 토양 분야의 숙련도 프로그램 결과¹⁹⁾를 보면 카드뮴, 구리, 납 항목은 제조값에 대한 로버스트 평균값의 상대차이백분율이 평균 9.4~24.3%로 우리나라보다는 높은 결과를 보였다. 따라서 수질 분야나 먹는물 분야 보다 매질이 복잡한 토양분야 숙련도 시료 농도의 제조값에 대한 설정값의 상대차이백분율이 커짐을 알 수 있었다.

3.2. 분야별 항목에 따라 변동계수를 적용한 목표표준편차 설정

3.2.1. 수질 및 먹는물 분야의 목표표준편차 설정

2002년부터 2012년까지 수질 분야에 대한 연도별 농

Table 2. Relative percent deviation between manufactured concentrations and robust averages in waste (2002~2012) & soil fields (2010~2012)

Waste field					Soil field				
Item	N ¹⁾	Range of MC ²⁾ (mg/L)	Average of RPD ³⁾ (%)	Range of RPD ³⁾ (%)	Item	N ¹⁾	Range of MC ²⁾ (mg/L)	Average of RPD ³⁾ (%)	Range of RPD ³⁾ (%)
TCE	184	10.0~80.0	5	0.3~16.1	Benzene	184	1.2~7.8	6.6	0.1~30.6
PCE	160	15.0~75.0	5.7	0.7~10.8	Toluene	184	12.6~36.6	4.2	0.08~30.3
Pb	358	1.3~11.8	6.2	0.12~18.2	Ethylbenzene	184	13.2~49.9	3.1	0.37~12.0
Cr	333	0.6~17.5	4.8	0.06~15.6	Xylene	184	15.0~84.7	5.1	0.03~16.4
Cu	332	2.2~19.8	3.2	0.05~12.2	TPH	184	592.1~1603.2	10.1	5.17~16.3
Cd	226	1.8~12.2	3.2	1.1~5.2	Cd	157	3.2~14.1	4.0	0.15~11
TCFM ^{a)}	68	8.0~25.0	8.1	1.52~13.7	Zn	157	98.3~1263.7	5.7	0.18~8.8
1,2-DE ^{b)}	68	5.0~25.0	2.7	0.93~7.2	Pb	157	133.3~1050.1	3.3	0.04~8.6
2-CP ^{c)}	68	8.0~20.0	9.5	2.3~16.9	Cu	157	28.4~80.1	8.0	2.4~14.6
Parathion	68	1.0~9.0	6.8	1.05~19.3					
Diazinon	68	1.5~8.0	5.2	0.66~13.0					
EPN	68	2.0~8.0	4.2	0~11.0					

*1)N: number of participating laboratories, 2)MC: manufactured concentration

a)Trichlorofluoromethane, b)1,2-Dichloroethane, c)2-Chlorophenol

3)RPD= $|Robust\ averages - manufactured\ concentration| / manufactured\ concentration \times 100$

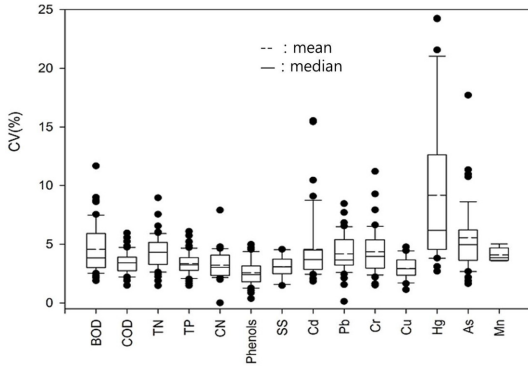


Fig. 1. Coefficient of variation for all PT items in water field (2002~2012).

도군별 변동계수 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 여기서 박스그래프의 점선은 평균을 의미하고, 실선은 중앙값을 의미한다. 수질 분야의 경우 항목특성상 분석이 어려운 수은, 비소가 20%의 변동계수를 나타낸 결과를 제외하고, 모든 항목에서 11년간 변동계수가 10% 미만으로 나타났다. 이는 수질분야 일부 항목을 제외하고 평가할 때 로버스트 평균값의 10%에 해당하는 값을 목표표준편차를 주는 것이 적당하다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 향후 속련도시험을 평가할 때 객관적인 판단 근거의 초석을 마련한 것으로 생각할 수 있다. 반면, 수은과 비소와 같이 안정성이 낮고 분석방법이 어려운 항목은 목표표준편차 설정시 로버스트 평균값의 20%에 해당하는 값으로 하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

먹는물 분야의 경우 이온 항목은 2002년부터 2012년의 변동계수 변화를 Fig. 2에 나타냈고, 유기용제 항목과 중금속 항목은 2002~2007년, 2008~2012년으로 나눠 연도별 농도군별 변동계수 변화를 각각 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

이온 항목은 항목별 몇몇 농도군이 최대 19%를 보인 것을 제외하고는 암모니아성 질소가 10% 미만, 질산성 질소가 최대 7.9%, 염소 이온이 최대 6.3%, 황산 이온이 최대 9%의 변동계수를 나타내었다. 이러한 결과는 먹는물 분야 이온 항목의 변동계수를 10%로 노말 평균값의 10%에 해당하는 목표표준편차를 주는 것이 적당하다는 것으로 판단할 수 있다. 또한 클로로폼, 벤젠, 파라티온 항목의 2002~2007년의 변동계수는 20% 미만으로 나타났고, 중금속 항목은 납과 비소가 15% 미만, 수은은 20% 미만의 변동계수로 수질 분야와 유사한 경향을 나타내었다. 반면 2008~2012년까지

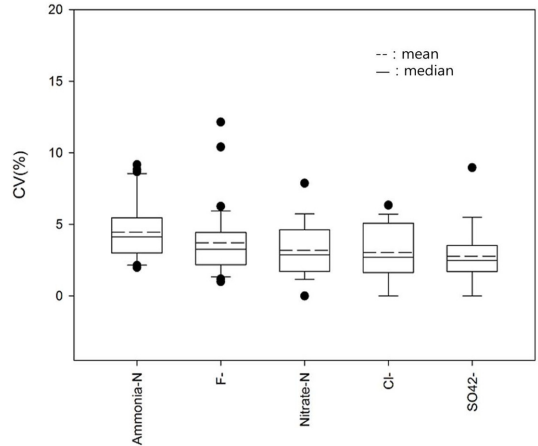


Fig. 2. Coefficient of variation for ion compound PT items in drinking water field (2002~2012).

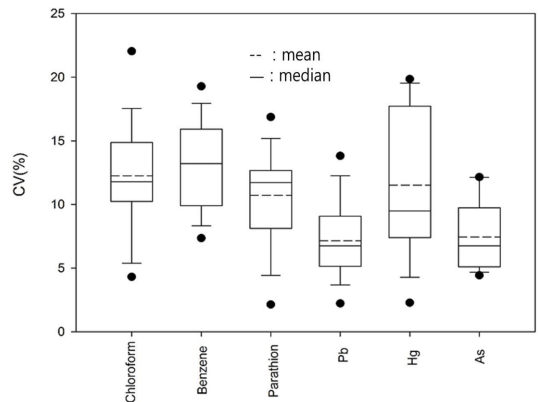


Fig. 3. Coefficient of variation for VOCs, organo-phosphate pesticides & heavy metal compound PT items in drinking water field (2002~2007).

는 유기용제 항목이 10% 미만으로 지난 5년간 속련도가 향상되었음을 알 수 있었고, 중금속 항목 중 납과 비소가 10% 미만으로 향상되었음에 비해 수은은 15% 미만으로 여전히 높은 변동계수를 보였다. 카드뮴과 크롬은 2012년에 정규항목으로 처음 시행되었고, 다른 중금속 항목과 마찬가지로 10% 미만이었다. 이러한 결과로부터 먹는물 분야 유기용제 전항목과 수은 항목의 목표표준편차는 노말 평균값의 15%로 그 외 항목은 10%로 정하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

3.2.2. 폐기물 및 토양분야 목표표준편차 설정

폐기물 분야는 유기용제 항목과 유기인 항목은 2009

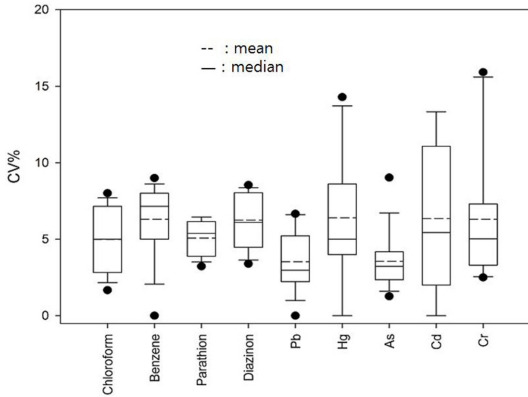


Fig. 4. Coefficient of variation for VOCs, organo-phosphate pesticides & heavy metal compound PT items in drinking water field (2008~2012).

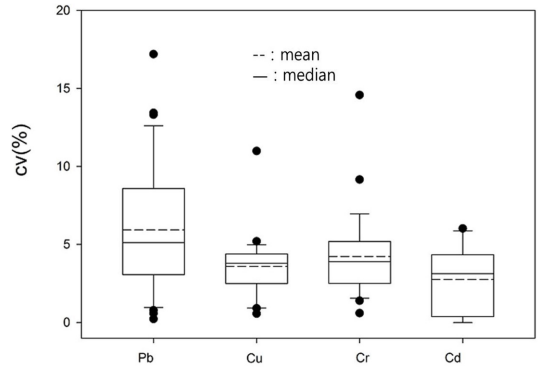


Fig. 6. Coefficient of variation for heavy metal compound PT items in waste field (2002~2012).

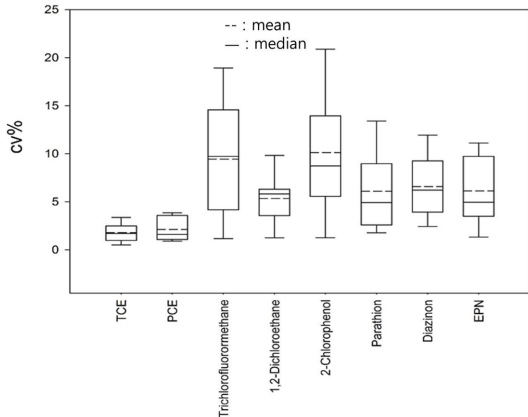


Fig. 5. Coefficient of variation for VOCs & organo-phosphate pesticides compound PT items in waste field (2009~2012).

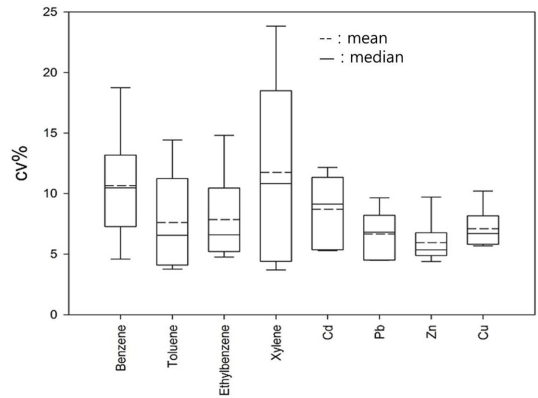


Fig. 7. Coefficient of variation for VOCs & heavy metal compound PT items in soil field (2010~2012).

년부터 정규항목으로 시행되었기 때문에 2009~2012년의 변동계수를 Fig. 5에 나타내었고, 중금속 항목(2002~2012년)의 변동계수는 Fig. 6에 나타내었다. 유기용제, 유기인 항목은 중금속 항목과 달리 2-클로로페놀이 2010년에 20%를 나타낸 것을 제외하고, 변동계수가 15% 미만으로 나타났고, 중금속 항목 중 납은 2006년에 1개 농도군이 13.3%, 2010년에 1개 농도군이 17.1%, 2011년에 1개 농도군이 13.4%, 구리 항목은 2011년에 1개 농도군이 11%, 크롬이 2005년에 1개 농도군이 14.6%를 제외하고 대부분의 중금속 항목의 변동계수가 10%으로 나타났다. 이러한 결과로부터 폐기물 분야 유기용제 항목과 유기인 항목의 목표표준편차는 로버스트 평

균값의 15%로 중금속 항목은 10%로 설정하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

토양 분야의 변동계수를 살펴본 결과(Fig. 7) 유기용제항목과 중금속 항목 모두 변동계수가 최소 3.4%~최대 23.8%로 폐기물분야와 달리 편차가 심한 것으로 나타났다. 이는 복잡한 매질일수록 시험기관들의 측정값의 편차가 심한 것으로 판단할 수 있고, 토양 분야는 변동계수를 15%로 두어 시험기관들의 숙련도가 향상될 때 숙련도 평가기준을 점차 강화하는 방법을 적용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 객관적이고 신뢰성 있는 숙련도시험 평가

Table 3. Suggest of target standard deviation of various fields

Item	Field	water	drinking water	waste	soil
VOCs		10% of robust average	15% of robust average	15% of robust average	15% of robust average
Heavy-metal		10% of robust average	10% of robust average (except mercury, arsenic 20%)	10% of robust average (except mercury 20%)	10% of robust average
organo-phosphate pesticides		10% of robust average	10% of robust average	15% of robust average	15% of robust average

방법을 확립하기 위하여 수질, 먹는물, 폐기물, 토양 분야의 국내의 숙련도 운영기관의 숙련도시험 결과 평가 시 사용되는 통계처리 방법을 적용하여 지난 11년간의 숙련도시험 평가자료를 통계적으로 해석하고 분야별 항목별 평가기준을 제시하고자 수행하였으며 연구결과는 다음과 같다.

설정값의 타당성 검증을 위한 제조값에 대한 평균값의 상대차이백분율을 비교한 결과 모든 분야에서 5% 이하의 범위로 나타났으며 이는 미국의 TNI에서 운영하고 있는 숙련도프로그램의 상대차이백분율과 비슷한 결과이다. 한편, 일부 항목의 제조값과 로버스트 평균값의 상대차이백분율이 5%보다 크게 나타나는 경우가 있었는데 이는 항목에 대한 기관별 분석 능력의 차이와 항목이 갖는 특성이 반영된 결과라고 판단되어지나, 국제적으로 화학시험의 숙련도시험 평가시 로버스트 평균값과 제조값의 차이를 항목 및 매질의 특성에 따라 3~15%까지 인정하고 있기 때문에 숙련도 평가에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 다만, 향후 연구에서는 보다 더 정확한 숙련도 평가가 될 수 있도록 차이에 대한 원인 규명하는 절차가 보완되어야 할 것으로 생각된다.

각 분야별 항목별로 변동계수를 적용하는 것은 시험방법의 난이도와 분석오차 등을 보정해 주는 수단이 되므로 본 연구에서는 지난 11년간의 숙련도평가에서의 변동계수의 추이를 살펴보고, 변동계수를 적용한 합리적인 목표표준편차를 제시하고자 하였다(Table 3).

수질 분야 변동계수는 수은 20 %를 제외한 모든 항목에서 10% 이하로 나타났고, 먹는물 분야는 일반항목 및 중금속, 유기용제 항목의 변동계수가 10% 미만으로 나타났기 때문에 목표표준편차는 노말 평균값의 10%로 산출함이 타당한 것으로 판단된다. 단, 수은 항목은 분석방법이 어렵고, 안정성이 낮아 노말 평균값의 20%가 적당할 것으로 판단된다.

폐기물 분야와 토양 분야는 유기인 및 유기용제 항목

은 물질의 특성상 안정성이 낮아 변동계수가 15% 미만으로 나타나 이를 반영한 목표표준편차는 로버스트 평균값의 15%가 적당할 것으로 판단된다. 중금속의 경우 일부 10%를 넘는 변동계수가 나타나기는 하였으나 지난 11년간 변동계수가 10% 미만으로 나타나 목표표준편차는 로버스트 평균값의 10%가 적당할 것으로 사료된다. 따라서 향후 수질, 폐기물, 토양 분야는 설정값을 시험기관의 로버스트 평균값으로 먹는물 분야는 노말 평균값으로 결정하고, 목표표준편차는 수질분야는 수은을 제외한 모든 항목을 로버스트 평균값의 10%, 먹는물 분야는 노말 평균값의 10% 이내로 결정하는 것이 타당할 것이다. 또한 폐기물 분야와 토양 분야는 유기인 및 유기용제 항목은 로버스트 평균값의 15%, 중금속 항목은 로버스트 평균값의 10% 이내로 결정할 것을 제안하고자 한다. 이러한 결과는 향후 환경 분야뿐만 아니라 다른 부처에서의 숙련도시험 평가 시 객관적이고 신뢰성 있는 평가기준을 마련하고, 정보를 제공하는데 기여할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김우일, 권명희, 전태완, 김동훈, 전진원, 심기태, 연진모, “폐절연유를 이용한 숙련도 평가용 PCBs 표준물질의 적용성 평가”, *한국환경분석학회지*, **2010**, 23(3), 247-254.
2. 박경환, “숙련도시험을 통한 시험환경 신뢰성 향상에 관한 연구”, *건국대학교 벤처전문기술학과 석사논문집*, **2008**, 1-2.
3. ISO/IEC 17025, “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”, **2005**, 2nd edition, 1-28.
4. ISO/IEC 17043, “Conformity assessment-General requirements for proficiency testing”, **2012**, 1nd edition, 1-39.
5. ISO/IEC 13528, “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”, **2002**. 1-66.

6. 장희라, 박효경, 임엽주, 김광호, 김찬섭, 김균, “농약 이화학시험 분석기관의 숙련도시험을 통한 정도관리체계 확립 연구”, *농약과학회지*, **2012**, 16(4), 350-356.
7. Qi Zhou, Jianping Xu, Wei Xie, Shaonan Li, and Xiaopeng Li. “Use of robust zB and zW to evaluate proficiency testing data”, *Clinica Chimica Acta.*, **2011**, 412: 936-939.
8. Qi Zhou, Shaonan Li, Xiaopeng Li, Wei Wang, and Zhiguo Wang, “Detection of outliers and establishment of targets in external quality assessment programs”, *Clinica Chimica Acta*, **2006**, 372, 94-97.
9. Proficiency testing Australia, <http://www.pta.asn.au/documents>, December 2014.
10. 이낙영, “숙련도시험자료에 대한 통계적 분석방법”, *충남 과학연구지*, **2001**, 28(1), 12-18.
11. IFA, <http://www.dguv.de/ifa/proficiency-testing>, July 2013.
12. Kenneth J. Caviston, “National Air Toxics Trends Stations (NATTS) Proficiency Testing Program”, *Data Report*, U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and standards Research triangle Park Publishing, U.S. **2005**, 1st edition, 1-26.
13. ISO Guide 35, “Certification of reference materials- General and statistical principles”, **2006**. 3rd edition, 1-64.
14. Environmental Resource Associates (ERA), “Performance report of water pollution”, **2011**. 1-18.
15. Environmental Resource Associates (ERA), “Performance report of water pollution”, **2012**. 1-10.
16. Environmental Resource Associates (ERA), “Performance report of water supply”, **2011**. 1-14.
17. Environmental Resource Associates (ERA), “Performance report of water supply”, **2012**. 1-13.
18. M. Thompson, Stephen L. R. Ellison, and Roger Wood, “The international harmonized protocol for the proficiency testing of analytical chemistry laboratories (IUPAC Technical Report)”, *Pure Appl. Chem.*, **2006**. 78(1), 145-197.
19. Environmental Resource Associates (ERA), “Performance report of soils & hazardous waste”, **2011**. 1-13.