

우리나라 작업환경측정기관 분석능력에 관한 고찰

한국산업안전공단 산업보건연구원

박동욱 · 신용철 · 이나루 · 이광용 · 오세민

— Abstract —

A Study on the Evaluation of Analytical Performance for Industrial Hygiene Laboratory in Korea

Park D.W., Shin Y.C., Lee N.R., Yi G.Y., Oh S.M.

*Industrial Health Research Institute Korea Industrial Safety Corporation,
Kusan-Dong 34-4, Puk-ku, Incheon 403-120, Korea*

Quality Control programs for industrial hygiene laboratory have successfully been operated since the 1st round was initiated in April 1992. Three rounds have been completed. Overall analytical performance of participants was improved through a subsequent round.

The first round had a large variation among analytical results of all participants, 26.34%~504.22% of coefficient of variation. But the variation of analytical performance in the 2nd and 3rd rounds decreased to 40.42%~52.55% and 10.74%~20.98%, respectively. The difference of analytical performance among participants was decreased by operation of subsequent round.

By distribution of Running Performance Index (RPI), over 50% of participants belongs to Category 3 in the first round. The average percentage of participants assigned to Category 3 in the 2nd and 3rd round was decreased to 37.2%. A definite analytical performance improvement of participants seems to be obtained.

"A" and "B" group have more participants assigned to Category 3 than those of "C" group through the distribution of RPI by group divided to similar participant. By the distribution of RPI all participants, the percent of participant being over 200 RPI in the 1st round was 43%~52%, but decreased to 9%~29% and 9%~27%, in the 2nd and 3rd round, respectively.

These results mentioned above indicate that the analytical performance of all participants have been improved by subsequent Quality Control Program although newcomers joined and a few participants dropped out. But, there are some participants with poor analytical performance. Industrial Health Research Institute (IHRI) will offer service such

as education, communication and visitation to them, and improve quality of their analytical performance in the future.

Key Words : Quality Control Program, RPI.

I. 서 론

우리나라 작업환경측정기관에 대한 정도관리는 1992년 4월에 시작되었다. 측정자료의 신뢰성 및 정확성을 확보할 목적으로 매년 2회씩 실시하며 현재 3회까지 완료되었다. 작업환경측정을 포함한 산업위생과 관련되는 대상기관의 적극적인 참여를 통해 성공적으로 수행되어 왔다. 지금은 제 4회 정도관리가 진행되고 있다.

제 1회 정도관리의 실시 배경 및 방법 그리고 결과는 박 등(박두용 등, 1992)이 국제 정도관리 세미나를 통해 이미 보고한 바 있다. 또한 최근에 박 등(박동욱 등, 1993)이 제 2회 부터 제 3회까지의 정도관리의 종합적인 실적을 보고하여 우리나라 산업위생분야에서 정도관리의 확고한 정착을 강조했다. 그 동안 정도관리실시과정에서 우려 및 제도의 필요성에 대해서 적잖은 논란이 있었던 것은 사실이다. 또한 근로자, 사업장, 정부 등으로부터 우리나라 작업환경측정기관의 측정자료에 대한 정확도 및 신뢰도에 대한 우려의 목소리가 있었던 것도 부인할 수 없다. 그러나 그 동안의 정도관리는 모든 작업환경측정기관들의 성실한 참여와 노력, 노동부의 적극적인 지원 그리고 실시기관의 정도관리교육 및 서비스 등을 통해 현저한 참여율 및 분석능력의 향상을 볼 수 있었다.

정도관리의 참여기관을 보면 제 1회는 29개소였으나 제 3회는 52개소로 23개소가 증가되었으며 지금 실시중에 있는 제 4회는 78개소가 참여하여 제 1회와 비교해 보면 100% 이상 급격히 증가된 참가율이다. 한편 금속과 유기용제의 두 분야 모두 합격한 비율을 보면 제 1회가 31.0%에 불과하였으나 제 2회때 70.6% 그리고 제 3회때 71.2%로서 2배 이상의 현저한 합격율의 증가를 볼 수 있다(박동욱 등, 1993). 그리고 정도관리에 참

여한 대상기관들간의 분석능력의 편차도 많이 감소하고 제 1회때 일부 기관의 극단값들도 제 2회와 제 3회때는 많이 감소한 것으로 보고하고 있다(박동욱 등, 1993).

정도관리 실시시기와 새로 참여한 기관의 수등을 고려할 때 이러한 분석능력의 향상은 정도관리의 큰 성과가 아닐 수 없다. 우리나라 작업환경측정결과와 정확도 및 신뢰도를 증진할 수 있는 근간을 마련한 것으로 판단된다. 또한, 작업환경측정기관에 대한 정도관리를 통해 분석자료는 물론이고 또한 사업장에서 측정된 자료의 신뢰성을 확보할 수 있는 기술적, 제도적 장치를 마련했다는 데 큰 의의를 찾을 수 있다. 산업위생 및 보건분야에서 정도관리의 중요성을 재인식하는 계기가 된 것이다.

본 논문에서는 작업환경측정기관 정도관리에 참여한 기관들의 분석능력을 정도관리 분야 및 항목별로 종합적인 평가를 하고자 한다. 정도관리 실시 횟수별로 항목별 대상기관의 분석능력의 변이를 분석함으로써 각 기관들의 분석능력을 지수(Index)로 평가한다. 이러한 분석능력지수를 외국의 것과 비교하는 한편 대상기관의 분석능력의 관리지수로 활용하고자 한다.

이러한 분석자료는 각 대상기관 뿐 아니라 전체 기관들간의 분석능력을 종합적으로 비교 평가하여 관리할 수 있어 기관간 외부정도관리(External Quality Control)의 근본적인 목적을 달성할 수 있을 것이다. 우리나라 모든 작업환경측정기관의 분석능력의 평균화 및 측정자료의 신뢰성을 확보할 수 있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 방 법

가. 분석자료

제 1회 정도관리 때부터 제 3회까지의 모든 자료를 이용하여 분석하였다. 즉 정도관리에 참여한 모든 대상기관의 정도관리시료 및 기준실험실의 분석자료가 포함된다.

나. 표준화(Standardized Ratio: Y_s)

정도관리 시료는 농도수준이 다르므로 단지 분석자료만 가지고 대상기관들간의 직접적인 비교는 어렵다. 따라서 대상기관의 분석자료를 기준값으로 나누어 표준화 하였다(Groff, J.H. et al, 1991 ; Jackson, 1992 ; 박동욱 등, 1993).

다. 분석능력 지수(Performance Index: PI)

영국의 정도관리(Workplace Analysis Scheme for Proficiency: WASP)에서 사용한 통계적 방법으로 공식은 아래와 같다(Groff, J.H. et al, 1991 ; Jackson, 1992).

$$PI = \sum_{s=1}^i (Y_s - 1)^2 \times \frac{1000}{4}$$

여기서 대상기관의 분석자료는 항목당 4개이고 계수 10,000은 적은 수에 의한 비교를 피하기 위해서 도입된 것이다. 결국 PI는 대상기관의 분석자료에 대한 변이계수의 평방이다.

라. 분석능력의 구분

분석능력 지수를 평균한 RPI(Running Performance Index: RPI)에 따라 대상기관의 분석능력을 3개 범주(Category)로 구분하였다. 범주 1은 변이계수가 4% 이하(RPI=16)인 경우이고, 범주 2는 4% - 8% (RPI=16-65) 그리고 범주 3은 변이계수 8% 이상(RPI=65 이상)인 경우로 구분했다. 이러한 구분은 분석과정에서 허용할 수 있는 오차의 한계를 기준으로 한 것이다. RPI가 낮을 수록 분석능력은 양호한 것이다.

III. 결과 및 고찰

가. 작업환경측정기관간의 분석능력의 정확도

1) 기관간 분석능력의 변이

정도관리에 참여한 작업환경측정기관의 정도관리 대상 물질별 변이계수가 표 1에 제시되어 있다. 대상기관의 각 물질별로 농도별 분석결과를 기준값으로 표준화시킨 값의 변이를 분석한 자료이다.

Table 1. The Variation of Precision (CV) by Round and Analytes

Analyte	CV of Samples (%)			
	Round 1	Round 2	Round 3	Average
Cadmium	65.07	50.96	17.59	44.54
Lead	137.85	48.26	17.27	67.80
Benzene	504.22	40.42	20.98	188.54
Toluene	26.34	41.81	11.19	26.45
O-Xylene	51.87	52.55	10.74	36.39

물질별로 정도관리가 1회에서 3회로 거듭됨에 따라 작업환경측정기관들간의 분석자료의 변이가 크게 감소되고 있는 것을 볼 수 있다. 즉 제 1회 때는 26.34% - 504.22%의 큰 변이계수의 폭을 보이고 있으나 제 2회 때는 40.42% - 52.55% 그리고 제 3회는 10.74% - 20.98%로 큰 감소를 나타내고 있다.

특히 제 3회 정도관리 때는 변이의 폭이 가장 적은 것을 볼 수가 있다. 한편 물질별로 변이계수를 비교해 보면 벤젠이 가장 큰 것으로 분석되었다. 이것은 분석과정에서 추출용매인 이황화탄소(CS₂)에 불순물로서 벤젠이 함유되어 있거나 허용농도가 낮아 소량의 분석에 따른 오차 때문에 기관들간의 변이가 큰 것으로 판단된다(박동욱 등, 1993).

제 1회 때는 정도관리 물질의 농도수준이나 물질들간에 작업환경측정기관별로 분석능력의 차이가 컸으나 제 2회 및 제 3회의 연속적으로 정도관리가 시행되는 과정에서 변이의 폭이 작아진 것이다. 이것은 정도관리에 참여한 기관들간의 분석능력 차이가 점차 감소되고 있음을 의미한다.

이러한 변이 값은 미국 산업위생학회(American Industrial Hygiene Association: AIHA)의 PAT (Proficiency Analytical Testing) 프로그램의 기준 실험실의 정확도인 $4 \pm 2\%$ 와 비교하면 높은 편이나 새로 참여한 기관의 수와 실시 횟수 등을 감안하면 분석능력의 향상을 달성했다고 볼 수 있다. 그러나 이러한 값들은 올바른 분석을 위한 타당한 정확도에는 미치지 못하고 있다. 그러나 우리 산업 보건연구원은 앞으로 정도관리를 계속 시행하는 과정에서 대상 기관들의 분석능력을 타당한 수준까지 달성할 수 있도록 노력 할 것이다.

2) 분석능력의 지표

정도관리 횟수별 및 물질별로 대상기관의 분석능력을 3개 범주로 구분한 것이 표 2와 그림 1이다. 제 1회 정도관리때는 모든 물질이 범주 3에 속하는 기관의 분포가 가장 높아 대부분 50% 이상인 것으로 나타났다. 납과 크실렌의 경우에는 60%를 초과하고 있다. 반면에 분석능력이 매우 양호한 범주 1에 속하는 기관의 수는 적은 것을 볼 수 있다. 즉 제 1회때는 분석능력이 양호하다고 인정할 수 있는 범주 2와 범주 1에 해당하는

기관이 50% 이하인 것으로 나타났다.

그러나 제 2회와 제 3회 정도관리에서는 범주 1과 2에 분포한 기관의 수는 많고 상대적으로 범주 3에 해당하는 기관은 감소한 것으로 나타났다. 제 3회때는 벤젠을 제외하고는 분석능력이 양호하다고 인정할 수 있는 범주 2와 범주 1에 해당하는 기관이 57% 이상인 것으로 나타나 대상기관의 분석능력이 향상되었음을 보여 주고 있다. 그러나 벤젠은 단지 51%에 불과하다. 이것은 추출용매인 이황화탄소(CS_2)에 불순물로서 벤젠이 함유되어 있거나 허용농도가 낮음에 따른 소량의 분석에 따른 오차 때문이라 판단된다(박동욱 등, 1993).

작업환경 측정의 정확도는 시료채취부터 분석결과를 보고할 때까지 전체 오차로서 미국국립 산업안전보건연구원이나 미국산업안전보건청(U.S. Occupational Safety and Health Administration, OSHA)에서는 $\pm 25\%$ 이하를, 유럽기준은 $\pm 30\%$ 미만을 설정하고 있다(Eller, P.M. 1984, Taylor D.G. 1977, OSHA 1990, CEN 1991). 작업환경 측정의 전체오차는 시료채취에서 발생되

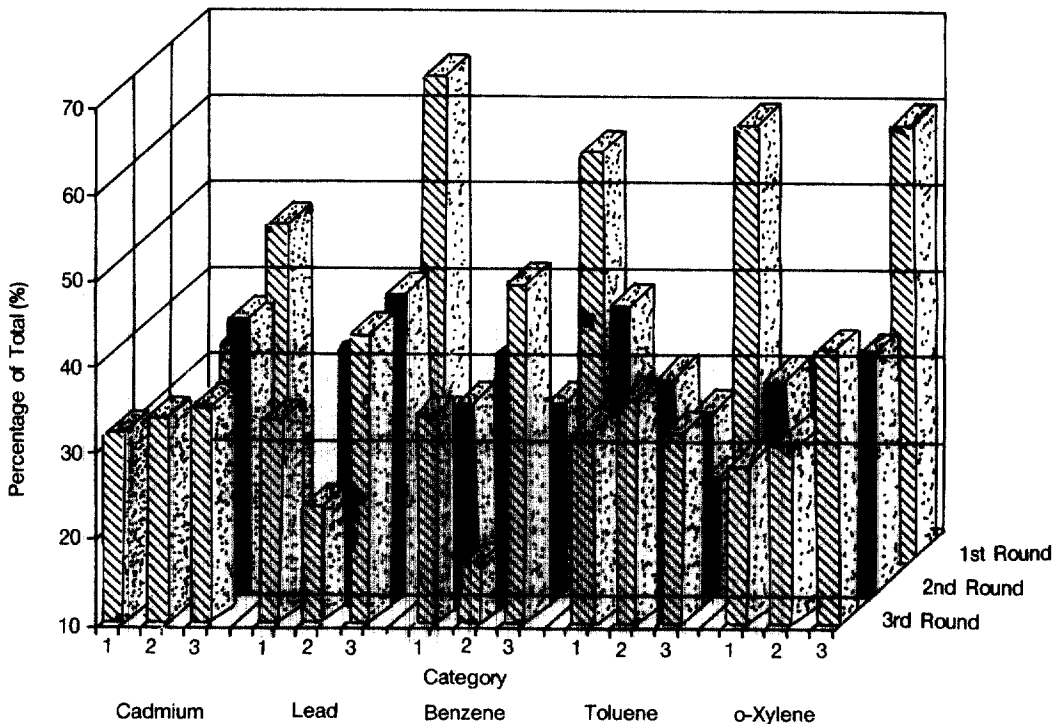


Fig. 1. Distribution Percentage of Participants to Each Performance Category by Round.

는 오차까지 포함되므로 분석에서 허용되는 오차의 한계는 이보다 더 낮아야 한다. 미국의 국립산업안전보건연구원의 분석능력평가제도(PAT program)의 유기용제와 금속의 합격 범위는 표준편차의 3배(3SD)이며, 표준편차의 크기는 대개 변이계수(CV)로 0.04±0.01이다. 영국에서 실시하고 있는 작업환경 측정시료의 분석능력평가제도(Workplace Analysis Scheme Proficiency, W-ASP)에서 분석능력이 적합한 것으로 판정하는 category 2의 범위는 표준편차의 2배(2SD)차의 2배(2SD)의 범위이며, 표준편차의 크기는 대개 변이계수(CV)로서 0.06이다(Groff, J.H. et al. 1991, 1992, Jackson 1992). 따라서 활성탄관의 유기용제나 막여과지상의 금속을 분석할 때의 최대한 허용할 수 있는 오차는 편견(Bias)이 없다고 가정할 때 ±10% 이하가 되어야 할 것이다.

이러한 기준에 적용하여 설명하면 표 2에서 범주 3에 속하는 기관은 분석과정에서 8% 이상의 오차를 포함하고 있으므로 시료채취를 아무리 잘한다 해도 올바른 작업환경측정 결과를 생산해 낼 수 없다고 할 수 밖에 없다. 더우기 정도관리의 시료는 기관에서 세심한 주의를 하게 마련이고 구성물질이 단순하고 분석하기 쉽기 때문에 오차의 허용범위를 더욱 엄격하게 적용할 필요가

있다.

정도관리가 실시됨에 따라 분석능력은 크게 향상된 것이 사실이나 제 2회와 제 3회에도 물질별로 범주 3에 속하는 기관이 22.9%에서 49.1%까지 매우 높은 분포를 보이고 있다. 영국의 제 4회부터 제 8회까지 정도관리에서는 범주 3에 속하는 기관이 31%~42%로써 우리보다 다소 낮으나 큰 차이는 없다(Groff, J.H. et al. 1991, 1992, Jackson 1992). 앞으로 산업보건연구원은 계속적인 정도관리와 교육 및 방문 등을 통해 범주 3에 속하는 기관들의 분석능력의 향상을 위해 힘쓸 것이다.

나. 작업환경측정기관의 그룹별 분석능력

1) 기관의 분류

정도관리에 참여한 작업환경측정기관을 3개 그룹으로 분류하였다. "A"그룹은 대학이나 부설연구소 및 병원이 해당된다. "B"에 포함되는 기관은 비영리법인 및 종합병원급 의료기관들이다. "C"로 분류된 기관들은 사업장 자체 측정기관과 자율적으로 참여한 기관 등이다.

2) 그룹별 분석능력

작업환경측정기관별로 물질별 분석능력의 범주 분포를 나타낸 것이 표 3이다. 제 1회 정도관리에서는 "A"그룹은 범주 3에 속하는 기관들이 물질별로 62%~85%이고, "B"그룹은 43%~86%로써 비교적 높은 분포의 범위를 보이고 있다. 이에 비해 "C"그룹은 범주 3에 속하는 기관은 33% 이하의 낮은 분포를 보이고 있다. 제 2회 정도관리에서는 "B"와 "C"그룹은 모두 물질별로 범주 3에 속하는 기관이 36% 이하로 제 1회와 비교하여 분포율이 낮아졌으나 "A"그룹은 42%~64%로써 여전히 높은 분포율을 보이고 있다. 제 3회 정도관리에서는 범주 3에 속하는 기관이 "A"그룹은 35% 이하로 제 1회와 제 2회에 비해 분포율이 감소하였다. "B"그룹은 39%~61%로 제 2회에 비해 다소 증가하였는데 이것은 제 3회 정도관리에 새로 참여한 일부 분석능력이 미흡한 비영리법인 및 병원의료기관이 증가한 때문으로 판단된다. 계속적으로 정도관리가 시행됨으로써 그룹별 분석능력의 평준화는 달성될 수 있으리라 판단된다.

Table 2. Distribution of Participants to Each Performance Category by Round (%).

Analyte	Performance Category	Round		
		1	2	3
Cadmium	1	6(20.7)	10(29.4)	19(31.7)
	2	9(31.0)	10(29.4)	20(33.3)
	3	14(48.3)	14(41.2)	21(35)
Lead	1	5(17.2)	6(17.6)	20(33.3)
	2	5(17.2)	12(38.2)	14(23.3)
	3	19(65.5)	15(44.1)	26(43.3)
Benzene	1	6(20.0)	11(31.4)	18(34.0)
	2	7(23.3)	13(38.2)	9(17.0)
	3	17(56.7)	11(31.4)	26(49.1)
Toluene	1	4(13.3)	15(42.9)	17(32.1)
	2	9(30.0)	12(34.2)	19(35.8)
	3	17(56.7)	8(22.9)	17(32.1)
O-Xylene	1	5(16.7)	12(34.3)	15(28.3)
	2	7(23.3)	12(34.3)	16(30.2)
	3	18(60.0)	11(31.4)	22(41.5)

다.

다. 작업환경측정기관별 분석능력

표 4는 RPI 및 횡수별로 대상기관의 분포를 나타낸 것이다. 정도관리에 참여한 모든 작업환경측정기관별 RPI에 의한 분석능력에 관한 내용이 표 5와 표 6이다. 일정 수준의 분석능력을 갖춘 산업위생실험실의 RPI는 대부분 10~200 범위내에 있다.

표 5와 표 6를 보면 RPI가 대부분 1000 이상의 극단값을 갖는 대상기관이 표시되어 있고 기관별로 물질별, 횡수별, 분석능력의 변화를 볼 수 있다. 연속해서 정도관리에 참여한 기관들의 대부분이 분석능력이 향상되어 가는 것을 알 수 있다. 또한 1000 이상의 RPI를 나타낸 기관들이 제 2회와 제 3회 정도관리를 실시하는 과정에서 분석능

력이 향상되어 RPI가 낮아지고 있음을 볼 수 있다.

한편 표 4에서 보는 바와 같이 물질별, 횡수별 RPI의 범위별 분포를 보면 제 1회 정도관리에서는 모든 물질에서 200 이상의 분석능력이 매우 미흡한 기관들이 43%~52%나 차지하고 있다. 제 2회와 제 3회 정도관리에서는 200 이상의 극단값을 가진 기관들이 9%~29%와 9%~27%로 그 분포율이 크게 감소하고 있다.

이것은 모든 기관별로 분석능력이 향상되었고 기관들간의 분석능력에 대한 차이가 감소되고 있음을 나타내는 결론이다. 외부 실험실간의 정도관리를 실시하는 목적이 달성되고 있는 것이다.

그러나 아직도 200 이상의 극단 값을 보고하는 분석능력이 미흡한 기관들이 있다. 이들은 계속적인 정도관리와 교육 및 방문을 통해 분석능력의 향상을 위해 노력해야 할 것이다.

Table 3. Distribution of Participants by Each Performance (category and Round (%)).

Analyte	Performance Category	Round 1			Round 2			Round 3		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Cadmium	1	2(15)	1(14)	3(33)	2(18)	6(55)	2(18)	6(35)	9(27)	4(40)
	2	1(8)	3(43)	5(56)	3(27)	1(9)	5(45)	5(29)	11(33)	4(40)
	3	10(77)	3(43)	1(11)	6(55)	4(36)	4(36)	6(35)	13(39)	2(20)
	Subtotal	13(100)	7(100)	9(100)	11(100)	11(100)	11(100)	17(100)	33(100)	10(100)
Lead	1	0(0)	2(29)	3(33)	1(9)	3(27)	2(18)	4(24)	12(36)	4(40)
	2	2(15)	0(0)	3(33)	3(27)	4(36)	5(45)	7(41)	5(15)	2(20)
	3	11(85)	5(71)	3(33)	7(64)	4(36)	4(36)	6(35)	16(48)	4(40)
	Subtotal	13(100)	7(100)	9(100)	11(100)	11(100)	11(100)	17(100)	33(100)	10(100)
Benzene	1	3(23)	0(0)	3(30)	4(33)	2(17)	5(45)	6(40)	7(25)	5(50)
	2	2(15)	1(14)	4(40)	3(25)	6(50)	4(36)	4(27)	4(14)	1(10)
	3	8(62)	6(86)	3(30)	5(42)	4(33)	2(18)	5(33)	17(61)	4(40)
	Subtotal	13(100)	10(100)	10(100)	12(100)	12(100)	11(100)	15(100)	28(100)	10(100)
Toluene	1	3(23)	0(0)	1(10)	4(33)	4(33)	7(64)	7(47)	7(25)	3(30)
	2	2(15)	1(14)	6(60)	3(25)	5(42)	4(36)	4(27)	9(32)	6(60)
	3	8(62)	6(86)	3(30)	5(42)	3(25)	0(0)	4(27)	12(43)	1(10)
	Subtotal	13(100)	7(100)	10(100)	12(100)	12(100)	11(100)	15(100)	28(100)	10(100)
o-Xylene	1	1(8)	1(14)	3(30)	4(33)	4(33)	4(36)	7(47)	5(18)	2(20)
	2	3(23)	0(0)	4(40)	2(17)	5(42)	5(45)	4(27)	7(25)	5(50)
	3	9(69)	6(86)	3(30)	6(50)	3(25)	2(18)	4(27)	16(57)	3(30)
	Subtotal	13(100)	7(100)	10(100)	12(100)	12(100)	11(100)	15(100)	28(100)	10(100)

A: University or hospital attached to it

B: Other hospital

C: Governmental and Industry participated voluntarily

Table 4. Distribution of RPI by Round and Analyte (%)

Analyte	Round	RPI			Total
		<65	65-200	200<	
Cadmium	1	6(21)	8(28)	15(52)	29(100)
	2	20(59)	6(18)	8(24)	34(100)
	3	38(63)	6(10)	16(27)	60(100)
Lead	1	10(34)	4(14)	15(52)	29(100)
	2	19(56)	5(15)	10(29)	34(100)
	3	34(57)	12(20)	14(23)	60(100)
Benzene	1	13(43)	4(13)	13(43)	30(100)
	2	21(60)	7(20)	7(20)	35(100)
	3	38(72)	8(15)	7(13)	53(100)
Toluene	1	12(40)	4(13)	14(47)	30(100)
	2	25(71)	5(14)	5(14)	35(100)
	3	35(66)	13(25)	5(9)	53(100)
o-Xylene	1	12(40)	5(17)	13(43)	30(100)
	2	22(63)	10(29)	3(9)	35(100)
	3	32(60)	11(21)	10(19)	53(100)

IV. 결 론

제 1회 작업환경측정기관에 대한 정도관리가 1992년 처음 도입되어 대상기관의 적극적인 협조를 통해 제 3회까지 성공적으로 실시되었다. 지속적인 정도관리의 실시를 통하여 참여기관들의 분석능력은 크게 향상되었다. 구체적인 분석능력의 향상 결과들을 요약하면 다음과 같다.

1. 작업환경측정 기관간 분석능력의 변이를 보면 제 1회 정도관리에서는 26.34%~504.22%의 큰 변이를 나타냈으나 제 2회와 제 3회에서는 40.42%~52.55% 및 10.74%~20.98%로 감소되었다. 이것은 작업환경측정 기관들간의 분석능력의 편차가 감소되었음을 의미한다.

2. 분석능력의 지표인 RPI의 범주별 분포를 보면 제 1회 정도관리에서는 범주 3에 속하는 기관이 50% 이상이었으나 제 2회와 제 3회에는 평균 37.2%로 감소되었다. 이것도 역시 작업환경측정 기관의 분석능력이 향상되었음을 나타낸 것이다.

3. 그룹별 RPI의 범주별 분포를 보면 "A"와 "B"그룹이 범주 3에 속하는 기관이 "C"보다 많은 것으로 나타났다.

4. 작업환경측정 기관별 RPI 분포를 보면 제 1

회 정도관리에서는 200 이상의 RPI를 갖는 기관이 43%~52%로 높았으나 제 2회와 제 3회에서는 9%~29%와 9%~27%로 그 분포율이 크게 감소하고 있다.

이상의 결과들을 볼 때 우리나라에서 정도관리가 연이어 시행되는 과정에서 참여한 작업환경측정 기관의 분석능력은 향상되었다.

참 고 문 헌

- 노동부(1992). 작업환경 측정의 정도관리에 관한 규정. 노동부고시 제 92-18호, 노동부.
- 박두용, 신용철, 박동욱, 오세민, 정규철: 제 1회 작업환경측정기관의 정도관리 실시결과. 국제학술대회 1992: 87-104.
- Paik NW: *Application and Evaluation of the American Industrial Hygiene Association (AIHA) Proficiency Analytical Testing (PAT) Program 1993.*
- Park DW, Shin YC, Lee NR, Oh SM, Chung KC, Park, DY: *The Kor J of Occup Med 1993; 5(2): 250-261.*
- CEN: *PrEN 482. General requirements for the performance of procedures for workplace measurement 1991.*
- Eller, P.M.: *NIOSH Manual of Analytical Methods, 3rd ed., DHHW (NIOSH) Publication 84-100, Cincinnati, OH. 1984.*
- Eller, P.M.: *Analytical Measurements in Patty's Indust-*

Table 5. The RPI of Participants by Round in the Metal Analyte

Participant	Cd, RPI			Pb, RPI		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
u-1	20	27	5	19	33	13
u-2	1000<	—	6	1000<	—	44
u-3	1000<	13	72	192	11	15
u-4	49	53	41	854	602	48
u-5	1000<	1000<	1	217	1000<	11
u-6	68	99	9	25	86	31
u-7	1000<	178	18	121	82	47
u-8	1000<	51	765	1000<	55	758
u-9	468	—	1000<	258	—	110
u-10	643	50	6	99	920	16
u-11	1000<	384	319	670	119	100
u-12	281	584	19	453	214	29
u-12	1000<	13	90	1000<	50	82
u-13	11	9	29	257	52	95
u-14	—	—	333	—	—	45
u-15	—	—	27	—	—	114
u-16	—	—	3	—	—	13
b-1	86	4	19	3	1	2
b-2	—	—	9	—	—	4
b-3	—	—	10	—	—	4
b-4	—	—	8	—	—	3
b-5	—	—	15	—	—	1
b-6	—	—	18	—	—	1
b-7	—	1	19	—	2	0
b-8	—	6	37	—	17	1
b-9	—	—	874	—	—	1000<
J-1	—	—	536	—	—	416
J-2	—	—	1000<	—	—	1000<
J-3	—	—	1000<	—	—	1000<
J-4	—	—	22	—	—	10
J-5	—	—	2	—	—	107
K-1	133	14	89	707	5	11
K-2	—	—	141	—	—	30
K-3	—	—	764	—	—	1000<
K-4	—	—	127	—	—	10
y-1	—	1000<	27	—	1464	129
y-2	1000<	1000<	1000<	1000<	1000<	1000<
y-3	1000<	305	14	1000<	399	46
y-4	—	13	257	—	33	792
y-5	88	173	2	173	61	19
y-6	—	—	48	—	—	87
y-6	—	—	163	—	—	176
y-7	—	—	1000<	—	—	1000<
y-8	1000<	45	8	7	224	13
y-9	—	—	1	—	—	95
y-10	—	—	27	—	—	116
y-11	—	—	301	—	—	805
y-12	—	—	40	—	—	33
y-13	—	—	1000<	—	—	742
y-14	—	—	28	—	—	32
SA-1	20	56	2	37	52	9
SA-2	—	33	1	—	19	15
SA-3	64	4	192	245	11	1000<
SA-4	1000<	6	36	14	741	39
SA-5	1000<	109	—	571	343	—
SA-6	—	84	—	—	4	—
SA-7	—	—	1000<	—	—	1000<
KI-1	68	18	24	250	24	30
KI-2	123	45	3	58	21	4
KI-3	77	626	28	12	120	995
KI-4	78	20	45	7	132	149
KI-5	21	262	9	37	47	12

- : not participated

Table 6. The RPI of Participants by Round in the Organic Solvent Analyte

Participant	Benzene, RPI			Toluene, RPI			Xylene, RPI		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
u-1	3	3	5	4	2	7	1	3	12
u-2	5	718	3	109	354	1	132	300	2
u-3	62	8	6	52	4	7	67	93	3
u-4	4	1	0	76	3	4	182	8	9
u-5	62	1000<	3	1000<	304	16	1000<	94	2
u-6	76	14	2	11	14	27	64	1	98
u-7	87	328	1	4	32	1	1000<	168	1
u-8	1000<	170	5	1000<	45	107	1000<	14	106
u-9	674	—	—	516	—	—	86	—	—
u-10	290	90	161	17	211	67	40	176	58
u-11	1000<	61	8	403	542	29	337	27	21
u-12	91	60	1000<	275	103	783	40	196	1000<
u-13	1000<	28	34	1000<	54	24	1000<	36	25
u-14	—	—	48	1000<	51	87	475	87	98
u-15	—	—	2	—	—	36	—	—	6
u-16	—	—	48	—	—	13	—	—	39
b-1	41	38	2	26	20	6	8	26	6
b-2	—	3	31	—	3	15	—	9	18
b-3	—	—	4	—	—	4	—	—	4
b-4	—	—	55	—	—	6	—	—	1
J-1	—	—	8	—	—	58	—	—	274
J-2	—	—	152	—	—	295	—	—	383
J-3	—	—	48	—	—	55	—	—	53
J-4	—	—	3	—	—	10	—	—	9
J-5	—	—	147	—	—	116	—	—	168
k-1	1000<	36	73	585	127	77	710	314	32
k-2	—	—	20	—	—	151	—	—	290
k-3	—	—	2	—	—	141	—	—	126
k-4	—	—	59	—	—	42	—	—	44
y-1	—	147	1000<	—	437	923	—	748	1000<
y-2	1000<	1000<	97	1000<	37	43	1000<	7	55
y-3	248	504	1000<	461	83	59	447	42	142
y-4	—	61	278	—	55	58	—	50	25
y-5	164	54	17	556	24	47	949	33	89
y-6	—	—	42	—	—	68	—	—	90
y-7	—	—	303	—	—	84	—	—	1000<
y-8	1000<	24	6	198	3	59	198	4	37
y-9	—	—	1	—	—	18	—	4	13
y-10	—	—	1	—	—	1	—	—	5
y-11	—	—	75	—	—	66	—	—	1000<
y-12	—	—	89	—	—	99	—	—	110
y-13	—	—	308	—	—	282	—	—	467
y-14	—	—	31	—	—	115	—	—	119
y-15	—	—	0	—	—	1	—	—	1
SA-1	22	5	3	23	3	4	22	12	3
SA-2	1000<	1	2	630	1	9	4	1	20
SA-3	231	266	1000<	38	22	2665	204	61	1000<
SA-4	10	41	3	40	8	16	24	35	37
SA-5	1000<	32	—	231	1	—	949	55	—
SA-6	—	3	—	—	46	—	—	40	—
SA-7	—	—	52	—	—	37	—	—	1000<
KI-1	53	42	39	2	55	24	8	67	27
KI-2	35	2	2	103	6	3	258	3	2
KI-3	63	15	28	28	2	44	7	63	105
KI-4	<1	47	22	26	15	43	46	<1	20
KI-5	<1	637	12	38	64	23	37	121	17

- : not participated

- rial Hygiene and Toxicology, Vol. IIIA, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. 1985.*
- Groff, J.H., Schlecht, P.C., Shulman, S.: *Laboratory Reports and Rating Criteria for the Proficiency Analytical Testing (PAT) Program 1991. DHHS (NIOSH) Pub. No. 91-102. NIOSH, Cincinnati, OH.*
- Groff, J.H., Schlecht, P.C.: *PAT Program Report: Background and Current Status, Appl. Occup. Environ. Hyg. 1991; 6 (3) 176-177.*
- Groff, J.H., Schlecht, P.C.: *PAT Program Report: Background and Current Status, Appl. Occup. Environ. Hyg. 1991; 6 (6) 413-414.*
- Groff, J.H., Schlecht, P.C.: *PAT Program Report: Background and Current Status, Appl. Occup. Environ. Hyg., 1991; 6 (9) 755-756.*
- Groff, J.H., Schlecht, P.C.: *PAT Program Report: Background and Current Status, Appl. Occup. Environ. Hyg., 1991; 6 (12) 1001-1002.*
- Groff, J.H., Schlecht, P.C.: *PAT Program Report: Background and Current Status, Appl. Occup. Environ. Hyg., 1991; 7 (6) 355-367.*
- Groff, J.H., Schlecht, P.C.: *PAT Program Report: Background and Current Status, Appl. Occup. Environ. Hyg., 1991; 7 (9) 572-573.*
- Jackson, H.M. and West, N.G.: *Initial Experience with the Workplace Analysis Scheme for Proficiency (WASP), Ann. Occup. Hyg. 1992; Vol. 36 (No. 5).*
- Kirchmer, T.C.: *Quality control in water analysis. Env. Sci. & Tech., Vol. 1983; 17 (4).*
- National Institute for Occupational Health and Safety: *NIOSH Manual of Analytical Methods, 2nd ed., 1977; DHEW (NIOSH) Publication No. 77-157-A,B,C, Washington D.C.*
- Occupational Safety and Health Administration OSHA Analytical Methods Manual, 1990; U.S. Dept. of Labor, OSHA, Salt Lake City, Utah.
- Taylor, D.G., Kupel, R.E. and Bryant, J.M.: *Documentation of the NIOSH Validation Tests, 1977; DHEW (NIOSH) Publication No. 77-185, Cincinnati, OH.:*