

측정분석 정도관리 향상 방안

이 광 우

한국표준과학연구원

1. 측정의 목적과 기능

1.1. 배경

우리 인간은 다른 동물과 달리 자연현상에 대하여 그 크기나 양 또는 변화하는 성질 등을 숫자로 표시할 수 있는 능력이 있으며, 이 측정능력은 인간사회 기본 조직의 일부를 담당하고 있다. 현재 상거래에 사용하는 계량법의 규칙 등은 아주 옛날 고대시대에도 사용하였다. 19세기 말의 산업혁명 후에는 보다 과학적인 단계가 성숙됨으로써 제품의 대량생산 및 유통에 관련된 주요 공업국가에서는 과학기술분야를 포함한 많은 측정분야에서의 정부의 참여가 크게 되었다. 과거 10~30년 사이에는 품질관리 및 품질보증은 물론 국민보건, 산업안전, 소비자 보호 및 환경오염예방 분야의 측정에서 정부의 규제 및 조정업무가 급속히 늘어나 측정분야의 정부 관여가 한층 강화되고 있다.

따라서 선진국인 미국, 영국, 독일 등은 이미 100년 전에 모든 측정에 관련된 표준을 설정하고 이를 유지

보급의 중심기관으로 미표준국(NBS, 현 NIST), NPL, PTB 등 표준연구기관을 설립하였으며, 우리나라는 1975년에 한국표준연구소(현 한국표준과학연구원)를 설립하였다.

1.2. 측정의 목적

측정은 개인의 일상생활이나 과학탐구, 사회문명 및 기술의 활용에 필요하다. 측정목적은 우리 인간이 자연세계에 관한 지식을 최대한 활용하는 데 있다. 따라서 측정은 우리 인간으로 하여금 자연세계를 말이나 문자로 표현하고(Describe), 자연현상의 변화 등을 예측하고(Predict), 정보를 주어 알게 하고(Communicate), 결론을 내려 의사결정을 하고(Decide), 자연현상을 조정 관리하고(Control) 또는 위험에 대한 대응조치(React)를 취할 수 있도록 한다.

이상의 기능 중 정보제공 및 의사결정 두 가지가 가장 중요하다. 보다 넓은 의미로서는 정보제공은 과거, 현재, 미래에 관한 자기 자신과 다른 사람간 정보교환

Table 1. Functions of measurements

Science	Personal	Social efficiency	Technology implementation
To Describe	Knowledge	Data Bases, Maps & Charts	Resource Location
To Predict	Prediction of Future	Public Planning & Forecasting	Engineering Design
To Communicate	Human Communication	Property Ownership & Political Boundaries	Interchangeability
To Decide	Decision Making (Action Selection)	Adjudication, Equity in Trade & Taxation, Payment of Wages	Quality Assurance
To Control	Action Initiation	Regulation & Policing	Process Control
To React	Hazard Warning	Hazard Warning	Fault Diagnosis

을 포함하여 똑같은 의사결정은 별개의 진행방법 중의 선택, 유지 또는 돌발사태 발생시의 원상복귀 조치 등을 포함된다. 측정의 기능을 요약하면 Table 1과 같다.

측정의 특수목적은 과학과 기술에서와 같이 자연세계에 관한 지식을 우리 인간이 최대로 활용하는 데 있다. 과학은 지식의 발전을 취급하므로 과학분야에서의 측정의 용도는 다른 분야에도 같은 양상이므로 과학적 활동에서의 측정의 목적을 먼저 알아보는 것이 유용할 것 같다.

1. 2. 1. 과학에서의 측정

과학은 조직적으로 지식을 얻기 위한 기본기술과 얻어진 지식의 조직체라고 할 수 있다. 과학에분야에서 측정의 가장 기본적인 활용은 현재와 과거의 정보(What is or was)을 표현하는 데 있다. 이러한 표현에 따라 진리와 지식에 대한 이해가 가능하게 된다.

과학의 이용과 과학에 의해 얻어진 지식의 최종시행은 미래에 일어날 사항을 예측할 수 있는 능력에 달려 있다. 과학정보는 개개인으로부터 생기고 있으나 다른 사람에게 정보전달을 하게 되면 더욱 중요하게 된다. 따라서 측정은 과학에 의해 개발된 지식과 이해를 전달하는 언어의 역할을 한다.

과학의 발전은 단순히 우발적으로 진행되지 않는다. 따라서 측정은 과학자로 하여금 별개의 진행과정 중에서 의사결정을 할 수 있는 지식을 제공한다. 과학자는 행동과정을 계획하고 그 중에는 아주 자세하게 계획되는 것도 있다. 따라서 사전에 계획된 과정을 잘 관리하는 것이 아주 중요하다. 사전에 계획된 과정을 관리하기 위하여 측정이 사용된다. 과학은 관리할 수 있는 것은 물론 관리할 수 없는 것도 연구한다. 관리할 수 없는 사태가 일어나면 과학자는 필요한 조치를 취할 준비를 하고 있어야 한다. 예기치 않은 사태가 일어날 때 과학자는 현사태를 측정함으로써 필요 조치를 취하게 한다.

과학의 세계에서 측정의 이용은 자연세계에서 현재, 과거 또는 미래의 지식정보를 표현하고, 예측하고, 전달하고, 결정하고, 관리하고 또 필요한 조치를 하는 데 있다.

위의 여섯 개 중에서 정보전달과 의사결정이 가장 기본이며, 넓은 의미로서는 이 두 가지 기능이 다른 네 가지 역할을 포함하기도 한다. 그럼에도 불구하고 정보 전달 및 의사결정의 의미를 앞에서 설명한 바와 같이 좁게 해석하고 측정의 목적 및 기능을 이야기할 때는

이상의 여섯 가지 모두를 사용하는 것이 대부분의 경우 더 유용할 것 같다.

1. 2. 2. 기술사회에서의 측정

측정의 여섯 가지 기능이 응용과학인 기술을 실용화하는 데에도 쓰인다. 특수한 예로서 한 가지 산업기술인 환경오염방지를 예를 들어 살펴보면 편리할 것 같다. 표현한다는 말은 측정결과로부터 오수처리하여야 할 폐수의 양, 질 등에 대한 정확한 정보를 준다. 예측한다는 것은 폐수처리 장치를 설계할 때와 같이 광학적 설계라는 말로 번역할 수 있다. 정보를 교환한다는 것은 침전조의 사양이 음료수 제조에서도 동일하게 사용할 수 있다는 점에서 기술의 호환성을 가능케 하며, 의사결정은 품질보증 기능과 관련이 있다: "처리된 폐수는 오염방지 규격에 합격인가?". 조절관리는 폐수 시설 가동에서 공정관리와 직접적인 관련이 있으며, 끝으로 대응조치는 결합진단으로 해석할 수 있다.

과학과 기술의 여러 분야에서의 측정의 중요도가 각각 다르다. 동식물의 분류와 해부처럼 관찰하는 과학 분야에서는 옛날부터 측정체계의 요구가 비교적 적었다. 그러나 천문학과 같은 관찰분야는 측정시스템의 요구가 대단히 많다. 실험자연과학은 측정능력의 바탕 위에 있으므로 오늘날 정밀측정능력 확보와 발전에 의존하지 않는 첨단과학분야는 있을 수 없다. 예로서 오늘날 정밀한 유전자 분석 등의 생화학 측정 없이 면밀한 문제를 해결하지 않고는 동식물 분류학이 발전할 수 없다.

가축가공이나 벽돌 제조 같은 아주 오래된 기술분야에서는 측정체계에 대한 요구가 적었다. 또한 금속제조 같은 것은 가장 수요가 많았지만 새로운 기술분야인 전자, 핵물리 등은 측정수요가 가장 많은 대표적인 예가 될 수 있다.

1. 3. 요약

측정은 자연세계에 관한 객관적 지식을 얻는 데 꼭 필요하다. 우리는 이 지식을 우리 생활의 여러 곳, 개인 사생활, 과학과 기술분야, 산업과 통상, 그리고 국가적 규제 등 여러 분야에서 관리와 정보교환을 하는 데 사용하고 있다. 우리 사회가 사용하는 측정자료는 국가 측정체계에 의하여 생산되는데, 이는 이를 위해 사용되는 모든 활동과 기술과정으로 이루어져 있다. 이러한 활동과 과정은 기술적인 면과 기구적인 면으로 설명하는

것이 유용하다. 작업을 완수하기 위하여는 조직적으로 일하는 사람과 도구가 있다. 기술적 도구(Soft-ware)는 측정량, 단위 및 표준의 기본적인 개념적 체계; 물리표준기, 측정기기 및 측정방법; 기준 자료와 기준 물질; 이상 모두에 관한 협약문서; 그리고 지식의 핵인 과학을 포함한다.

기구적인 면(Hard-ware)은 국가표준기관, 시험검사기관, 정부규제기관, 규격표준화 기관 및 기기제작회사가 포함된다. 이들 모두는 능력있고 교육받은 핵심인물인 사람에 의해 좌우된다. 이런 측정체계는 과거 30년간 과학기술 발전에 따라 주요 측정과학의 발전이 계속 복잡해지고, 또 통합되고 품질관리와 정보원이 더 좋아지고 자동화, 표준화 및 공고화가 되고 있다.

2. 측정 질보증의 뜻과 요구조건

2. 1. 측정결과와 불확도

측정자료의 수요가 점점 커지고 있다. 어떤 재료가 사용목적에 적합한지의 여부, 환경의 질, 개인의 건강 같은 문제도 측정결과에 의한 의사결정이 필요하다. 그러한 측정의 거의 대부분의 관련 재료, 제품 및 측정 대상의 화학적 성분을 측정하는 화학분석을 포함한다.

과거 수십년 동안에 화학분석에서는 극적인 변화가 이루어져 왔다. 지금은 대개의 측정이 인간사를 이해하는 과정에서 복잡한 기기를 사용하고 있다. 동시에 여러 분석자나 또는 여러 실험실이 얻는 측정결과들의 사결정 과정에 사용하기 위하여는 서로 관련지를 필요가 있다. 여기에는 지역, 국가 또는 국제 감시망 같은 것도 포함된다. 이러한 모든 것은 측정자료의 신빙성과 양립성에 대한 엄격한 요구가 포함된다. 측정자료의 질은 보통 최종사용 요구조건과 비교하여 측정결과와 불확도(Uncertainty)로서 평가한다. 측정결과가 일관성이 있고 최종사용 요구조건과 비교하여 불확도가 적으면 그 자료는 적절한 질이라고 생각한다. 너무 변화가 많거나 불확도 수준이 요구 조건을 초과하면 그 자료는 저질 또는 부적절한 질이라고 말한다. 이와 같이 측정자료의 평가는 상대적인 결정으로 한 조건에서는 양질인 것이 다른 경우에는 수용할 수 없는 것이 되기도 한다.

화학측정자료의 질은 두 가지 관점에서 판단해도 된다. 즉 측정된 파라미터의 확인의 정확도와 숫자로 된

측정결과와 정확도로 판단한다. 정성적인 확인은 합리적인 의심을 제거해야 한다. 즉, 분석자는 무엇을 측정했는지 명확히 말하고 그것을 증명할 수 있어야 한다. 특수장비나 방법에 따라 행한 실험적 측정이 경우에 따라 이용할 수도 있을지 모르지만 그 실험의 한계 등을 엄정히 고려한 후에 사용하여야 한다. 정량적인 측정은 항상 일정한 잣대의 값으로 계산(estimate)하고 어느 정도의 불확도를 포함한다. 따라서 측정을 할 때는 반드시 어떤 확률 범위 내에서 불확도값을 지정할 수 있어야 한다. 그러한 지정이 없으면 그 측정자료를 논리적으로 사용할 수 없다. 이 값을 얻기 위하여는 통계적으로 예측할 수 있게끔 측정을 해야 한다. 측정과학자의 경험에 의하면 측정보증계획을 잘 수립하고 지속적으로 수행함으로써 이 목적이 달성된다고 한다.

2. 2. 품질보증과 측정보증

질보증(Quality Assurance)은 분리되어 있지만 상호관련이 있는 두 개의 활동인 질관리(Quality Control)와 질평가(Quality Assessment)로 구성되어 있다. 둘 다 실제로 각각 시행되고 또 서로 조정되어야 한다. 위의 용어에 대한 정의를 내려보면 다음과 같다.

- 질(Quality) : 물체, 물건 또는 실체가 있건 없건 간에 이들의 주어진 목적에 대한 수납성과 적합성의 척도

- 질보증(Quality Assurance) : 어떤 제품이나 서비스의 사용자와 생산자에게 정해진 질의 표준을 만족한다는 보증을 주는 모든 활동

- 질관리(Quality Control) : 사용자의 요구조건을 만족시키게끔 제품이나 서비스의 질을 관리하기 위한 전반적 활동. 만족스럽고 적절하며 신뢰할 수 있고 경제적인 결과를 제공하는 데 그 목적이 있다.

- 질평가(Quality Assessment) : 질관리 활동이 효과적으로 수행되고 있음을 보증하는 전반적인 활동. 이것은 생산시스템의 수행작업과 생산제품의 질에 대한 지속적인 평가를 포함한다.

측정 질관리는 측정과정을 잘 조정(fine tune)하고 측정의 안정성과 재현성을 원하는 상태로 유지하는 데 그 목적이 있다. 따라서 측정과정은 산업에서의 생산공정과 고도의 유사성을 갖고 있다. 물론 측정에서도 고도의 유사성을 가지고 있다. 물론 측정에서도 고도의 재현성이 있는 제품(측정의 경우 측정 결과)을 생

산한다. 일단 측정의 재현성이 확립되면 측정정밀도를 정의하고 편기(Bias)도 확인하고 이를 제거하거나 보정을 할 수가 있으므로 요구되는 측정 결과의 질도 충분히 얻을 수 있다. 따라서 질평가는 측정관리가 성실히 수행되었다는 증거를 제공한다.

측정과정에서 대한 질보증의 일반적인 접근방법은 제품생산공정에서의 품질보증과 같으므로 가능하다면 생산공정의 품질보증에서 유용한 것으로 알려진 개념이나 기법을 사용하는 것이 좋다. 생산공정에서는 통계적 품질관리라고 하며 측정과학에서는 이 과정을 통계적 측정관리라고 부른다.

Fig. 1에 전형적인 생산공정에서 행하는 품질보증 과정을 보였으며 원하는 품질의 제품을 얻기 위하여 수행되고 유지하여야 할 관리의 종류와 관리수준을 명확히 보여주고 있다. 여기에서는 최종 제품을 무작위로 선정하여 제품규격에 따라 시험하고 검사한 후 그 제품트를 시판할 것인지, 버릴 것인지, 또는 공정에서의 개선조치를 취할 것인지를 선택하게 된다.

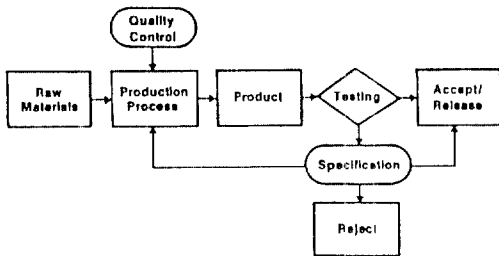


Fig. 1. Production Process quality assurance.

전형적인 측정과정에서의 질보증 양식은 Fig. 2에 나타내었다. 측정관리 과정은 측정시스템을 통계적 관리 상태로 잘 조정하고 유지함으로써 어떤 재료에 대한 수많은 측정을 하는 대신 한 순간의 측정자료가 그 시료를 대표할 수 있다고 생각한다. 그 후 질평가 과정은 생산된 자료의 질을 검토하는 데 사용한다. 불행하게도 미지시료에 대한 측정결과의 질을 충분히 검토하는 것은 본질적으로 불가능하다. 그러나 측정 시스템이 통계적 관리상태에 있고 시료와 유사한 기준물질과 같은 이는 시료가 있으면 미지시료와 동시에 측정하고 기준물질의 결과를 기준검정값과 비교하면 측정시스템의 측정능력을 확인하고, 실제 시료에 대한 측정결과의 측

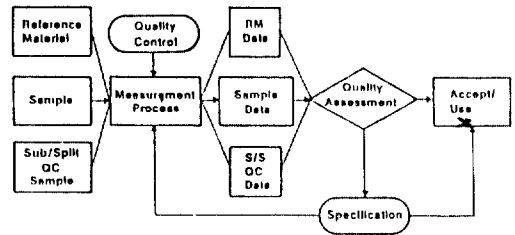


Fig. 2. Measurement process quality assurance.

정 정밀 정확도를 추정할 수 있다. 따라서 통계가 측정 보증의 핵심부분임이 명백하다.

사실 지금까지 여기서 설명한 것은 통계적 질보증에 관한 것으로 다음과 같이 볼 수 있다.

통계적	안전한 측정시스템으로부터 얻은 측정결과를 사용하여	정밀도 (Precision)
질	사용목적에서 원하는 수준의 질을	정확도 (Accuracy)
보증	달성하고 있음을 확률적 자신감을 갖고 보증한다.	불확도 (Uncertainty)

통계적 질보증이란 말은 보통 말할 때는 짧게 질보증이라고 한다.

2. 3. 측정보증에서의 기타 요구사항

여기서 논의한 것은 측정결과의 보증에 관한 것으로 사실 개개의 측정값의 질에 대하여 이야기하였다. 숫자 정보라는 집합체로서 고려하려면 또다른 측정 자료의 질에 대한 이야기가 있어야 할 것 같다. 미국 환경보호국(EPA)은 다음의 것을 제안하고 있다.

- 완전도(completeness) : 측정조건하에서 얻어져야 될 자료량에 대한 측정과정에서 얻어진 자료의 양
 - 대표도(representativeness) : 측정자료가 모집단의 특성, 성질의 변화량, 과정의 특성 또는 조작조건을 정밀하고 정확하게 대표하는 정도
 - 비교성(comparability) : 한 세트의 측정자료와 다른 자료와 비교할 수 있는 신뢰도, 즉 측정결과가 서로 일치하는 정도인 양립성(compatibility).
- 위의 각각을 정량화하여 숫자로 표시하기는 어려울지 몰라도 이들 특성은 과학적 해석을 하여 측정 자료들의 유용성을 검토할 때 꼭 필요하다.

위에서 언급한 요구들을 만족시킴과 동시에 모든 측정자료는, 첫째 기술적으로 완전하고, 둘째 법률적으로도 방어되어야 한다. 다시 말하면 어떤 타당한 반대질문이나 행동에 대하여 합법적이든 아니든 자기측정 결과에 대하여 변호할 수 있어야 한다. 이러한 요구에는 차이가 있지만 둘 다 만족시킬 필요가 있다. 처음 것은 필요조건이나 충분조건은 아니다. 이것은 조심스럽고 능력 있는 분석화학자가 반드시 하여야 할 모든 것이 포함된다. 두번째 것은 유효한 일을 수행했다는 증거를 포함한다. 이 두 목표를 달성하는 데 핵심이 되는 것은 측정보증을 잘 실시하는 데 있다. 따라서 모든 것을 기억해야 하는 부담도 덜고 실제 자세하게 수행한 일에 어떤 의심을 받거나 의문의 그림자를 지우기 위하여는 모든 것을 기록한 문서류가 필요하다. 질보증 실시를 잘 하지 않고는 엉성한 기술적 작업에 대하여 신용을 줄 수 없다. 사실 질보증 활동은 잘못이 있을 때 질이나쁘다는 것을 확인하는 데 도움이 된다. 그러나 불가능한 것은 아니지만 기록된 문서가 없으면 방어가 불가능하게 된다. 아주 넓은 의미로서의 법률적 변호가 문제가 될 때는 기술적 신뢰성이 항상 문제가 된다. 질보증 실시는 이것 역시 촉진시킨다. 사실 어디에서나 무엇을 측정했는지 의심을 하고 있는 사람이 있다는 사실을 알고 항상 측정을 하여야 한다. 문제가 있을 것으로 예상되면 그 문제에 해답을 해주고 별도의 노력 없이 실제 수행된 내용을 문서화되도록 실험계획을 재조정할 수 있어야 한다.

2. 4. 요약

이상의 측정 질보증에 관한 이야기를 끝내기 전에 질의 두 가지 면이 있음을 기억해야겠다. 첫째 실험계획의 질(Design Quality)로서 이것은 기대하고 있는 요구를 만족할 수 있는 계획이어야 하며, 이것은 제품을 생산하던, 서비스를 제공하던 또는 측정자료를 제공하던 사이에 그 생산과정으로부터 유용하고 쓸모 있는 것이어야 한다는 것이 꼭 필요하다. 둘째는 일치성의 질(conformance Quality)로서 실험계획의 질에 관련된 것이나 전자는 후자를 보증하지 못하나 후자는 전자없이 성취할 수 없다. 질 좋은 측정자료는 여러 가지 확립된 과정 중에서 어느 하나에 충실히 따르더라도 자동적으로 생산되는 것이 아니고 또 보장되지도 않는다. 그러나

- 측정과정을 이해하고
- 측정하기 위하여 무엇이 필요한지 이해하고
- 신뢰할 수 있는 측정결과를 얻기 위해 무엇을 해야 되는지를 이해하면 질 좋은 측정자료의 생산성이 향상된다.

좋은 질은 헌신적인 노력과 세세한 데까지 주의를 기울이고 또 잘 구성된 질보증 원리에 따라 실천함으로써만이 달성된다. 그러한 노력은 최고가 되고자 하는 야망과 질을 보장하게끔 하는 분위기를 조성을 동반한다.

질보증은 단순한 계획 이상이어야 한다. 즉 이것이 철적이고 생활의 일부가 되어야 한다. 기계적으로 수행하는 계획으로서의 질보증은 애초부터 실패로 끝난다. 그러나 한 개의 철학과 신념으로 할 때만이 성공의 기회가 있다. 계획과 철학의 두 가지로 접근할 때만 정말 좋은 질의 측정자료를 생산할 수 있는 최고의 기회가 주어진다.

3. 측정분석의 질보증 시행방법

환경오염물질 분석 등 화학측정에서 측정관리와 측정 결과의 평가 등 측정보증의 시행방법은 그 양이 방대하므로 별첨 부록에 있는 참고 도표로서 이해하기 바라며, 그 중 일부만 여기서 설명한다.

3. 1. 질 관리(Quality Control)

측정에서의 질 관리는 측정시스템에 의한 측정결과 의 재현성을 유지하기 위하여 사용되는 모든 기법을 다 포함한다. 이것은 측정결과를 충분히 이해하고 특정 측정의 경우 명확한 요구사항에 기초를 두고 미리 개발된 일련의 프로토콜(Protocol)을 사용하게 된다.

시료채취, 측정, 교정 및 결과처리 등에 대한 프로토콜, 즉 아주 엄밀하게 수행하여야 할 과정이 확립되어 있어야 하며, 만약 프로토콜을 엄밀히 따르지 않으면 이것은 별 소용이 없게 되므로 실험실 요원의 태도가 가장 중요한 원인이 된다. 따라서 분석자는 좋은 질의 측정결과를 생산하도록 고무시키고 분석자 자신이 직접 자기결과에 대한 가혹한 평가를 하여야 한다. 그럼에도 불구하고 질 관리 시스템을 잘 운영하려면 주기적이며 동시에 예고없이 질 관리가 잘 운영되고 있는지 확인하기 위한 감독 및 관찰하는 방법도 포함되어야 한다. 큰 실험실에서는 측정실 관리자 이외에 질 관

리 시스템의 운영을 관찰할 수 있는 질 관리 담당자 (QA officer) 또는 그룹을 두는 것이 좋다.

3. 1. 1. 관리도(Control Chart)

관리도는 간단히 결과를 평가하는 그림으로서 가장 간단한 예는 한 개의 기준시료를 선택하여 주기적으로 측정하고 그 결과를 그래프상에 순차적으로 플롯(Plot)하는 것으로, 측정값의 허용한계를 정하고 이 범위내에 모든 결과가 존재할 경우 측정시스템은 통계적 관리 상태에 있다고 가정한다. 관리도의 두번째 유용한 형은 일련의 측정에서 표준편차 또는 범위(두 측정치의 차)를 같은 방법으로 플롯하고 기대한 범위내에 그 값이 있을 경우 측정 정밀도가 관리상태에 있음을 나타낸다. 기준 시료에 대한 측정정밀도 및 정확도는 측정시스템이 관리상태에 있는 한, 실제 시료에서 얻어진 측정결과에도 전달된다.

\bar{X} -R 관리도 작성법을 간단히 소개하면 중앙선은 시험시료가 표준시료일 경우 표준시료의 검정치를 사용하고, 검정치가 확정되지 않는 시료일 경우에는 적어도 15회 이상의 각각 다른 날짜에 측정한 평균값을 사용한다. 표준편차 S 역시 15회 이상의 독립 측정값으로부터 구한다. 각각의 관리선은 Table 2와 같다.

Table 2. Control limits of X-R chart

Central line	\bar{X} (15회 이상 반복 측정값의 총평균)	
관리선	$UCL = \bar{X} + \frac{3S}{\sqrt{n}}$	$LCL = \bar{X} - \frac{3S}{\sqrt{n}}$
경고선	$UWL = \bar{X} + \frac{2S}{\sqrt{n}}$	$LWL = \bar{X} - \frac{2S}{\sqrt{n}}$
\bar{R}	15회 이상의 반복측정치 차의 총평균	
경고선	$UWL = 2.512 \bar{R}$	$LWL = 0$
관리선	$UCL = 3.267 \bar{R}$	$LCL = 0$

Table 2의 관리선에서 (\bar{x})은 기준시료의 반복측정 횟수를 나타내며 그 평균값은 (\bar{x}) 관리도에 점을 찍게 될 것이며, 만약 기준시료를 한 번씩만 측정할 경우 $n=1$ 이므로 이때는 그 측정값은 X 관리도표에 그리게 된다. 그리고 반복측정값의 차인 R은 R 관리도에 점을 찍어 나간다. 따라서 이 R값은 표준편차와 상관관계가 있으므로 표준편차 또는 정밀도 관리도라고 할 수 있다.

3. 1. 2. 기준물질의 사용주기

표준시료나 실제 시료의 반복측정의 최적 주기는 측정시스템의 안정성과 측정시스템이 통계적 관리에서 벗어날 때 일어날 위험도에 따라 다르다.

측정과정 중에서 측정정밀도나 편기의 갑작스런 변화는 각 실험작업반의 교체, 휴식시간 후, 장시간 작업 중단 후, 측정장치의 변화 및 조정, 새로운 검량선 작성 기준의 사용, 그의 다른 시약을 사용할 때 주로 많이 일어난다.

실제 시료를 측정할 때 표준시료를 효과적으로 이용하여 전 측정과정을 관리하는 측정순서 및 표준시료 사용주기의 예를 Table 3에 모았다. Table 2에서는 균질한 내부 관리시료(IRM)과 검정치가 확정된 표준기준물(SRM)을 사용하는 방법이고, Table 4는 제한된 수의 실제 시료의 2회 측정치와 동시에 표준기준물의 측정치를 사용하는 방법이다. 어느 경우이든 관리시료의 값이 얻어지는대로 즉시 기입하고 판단하여야 한다. 따

Table 3. QUALITY ASSESSMENT USING IQA SAMPLES DAILY/EVENT SCHEDULE CALIBRATION-FULL EXPECTED RANGE

* IQA ₀
TEST SAMPLES-GROUP 1
* IQA ₁
TEST SAMPLES-GROUP 2
* IQA ₂
* SRM
TEST SAMPLES-GROUP N-1
* IQA _{N-1}
TEST SAMPLES-GROUP N
* IQA _N
* CALIBRATION-MIDPOINT
NOTES
* --DECISION POINT
1. MAINTAIN CONTROL CHARTS
X-CONTROL CHART, IQA, SRM
R-CONTROL CHART, Δ IQA
2. SYSTEM MUST BE IN CONTROL AT DECISION POINTS
3. AT LEAST 2 GROUP : MAXIMUM OF 10 SAMPLES IN EACH GROUP
4. AT LEAST ONE SRM DURING EACH SEQUENCE/DAY

Table. 4. QUALITY ASSESSMENT USING DUPLICATES/SPLITS SEQUENCE SCHEDULE.

FULL CALIBRATION	
* CALIBRATION CHECK -MIDPOINT SAMPLE 1 * SAMPLE 1 D/S SAMPLE 2-9 SAMPLE 10 * SAMPLE 10 D/S * SAM or IQA SAMPLE 11-19 SAMPLE 20 * SAMPLE 20 D/S * CALIBRATION CHEK -MIDPOINT * CALIBRATION CHEK -MIDPOINT /DUPLI- NOTES * = DECISION POINT 1. MAINTAIN R-CONTROL CHART a. DUPLICATE MIDRANGE CALIBRATION b. DUPELCATE /SPLIT SAMPLE 2. X-CONTROL SRM, IQA 3. SYSTEM MUST BE IN CONTROL AT DE- CISION POINTS 4. IF MORE THAN 20 SAMPLES, REPEAT SE- QUENCE 5. IF LESS THAN 20 SAMPLES, DIVIDE INTO TWO GROUPS 6. AT LEAST ONE SRM PER SEQUENCE	

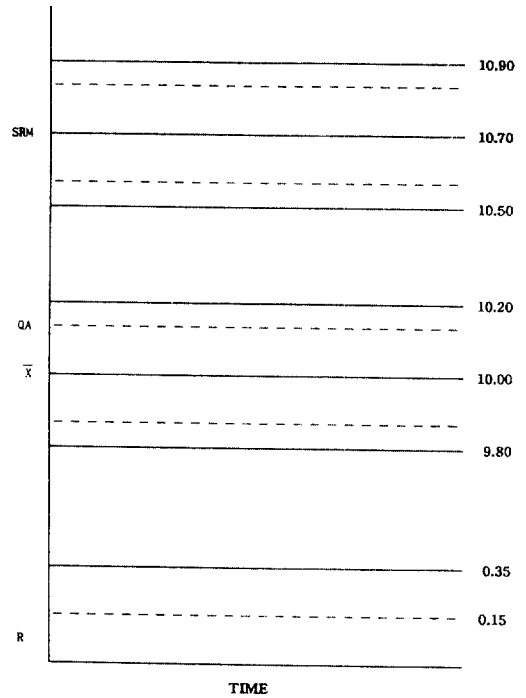


Fig. 3. X- R control chart

라서 순차적으로 측정하면서 중요한 의사 결정 단계를 *표로 표시하였다.

Table 2의 방법으로 내부 질 보증시료(IQA)와 표준 기준물(SRM) 각각의 X관리도와 IQA 시료측정값의 차 ΔIQA의 R관리도의 예를 Fig. 4에 모았다.

3. 2. 질 평가(Quality Assessment)

측정과정에 대한 질 관리가 제대로 수행되고 또한 얻어진 측정결과에 대한 평가를 하는 과정은 측정 실험실 내부의 자체평가와 표준기준물 사용 등 외부 평가 등으로 구분할 수 있다.

내부 질 평가는 주로 측정 정밀도를 관리하기 위한 것으로서 앞에서 이미 설명한 바와 같이 내부기준(관리) 시료와 관리도를 사용하며, 실험실내 측정시스템의 전반적인 질을 모니터한다. 따라서 반복 및 분할 시

료의 반복측정(Table 3 참조)은 시료채취 및 측정과정 모두의 재현성에 대한 유용한 정보를 제공한다. 분석기 술자나 측정장치의 교체, 또는 두 가지 모두의 상호 교체로 얻어진 결과를 비교하면 실험조작상의 안정성은 물론 잘못 조작 등을 확인할 수 있다. 또한 완전히 원리가 다른 측정방법으로 동일 시료를 분할하여 측정하면 현재 사용하고 있는 방법의 정밀, 정확도에 대한 확신도 줄 수 있고 또는 방법상의 편기의 존재도 찾아낼 수 있다.

외부 질 평가는 내부 평가로서는 확인하기 어려운 편기(Bias)를 찾아내어 측정의 정확도를 유지할 수 있기 때문에 공동분석에 참여하든지, 시료를 다른 실험실과의 교환 측정의 방법 등을 사용한다.

그러나 가장 간편하고 확실한 방법은 정확히 검정된 표준기준물을 자기 자신이 자기 기기와 측정방법으로 자기실험실에서 직접 측정하여 자기가 생산한 측정결과에 대한 정밀도 및 정확도를 평가하는 것이 가장 좋은 평가 수단이다.

환경측정망과 같이 특정 물질을 측정하는 조직망을 운영하는 경우에는 각 측정 실험실에 Proficiency 시험

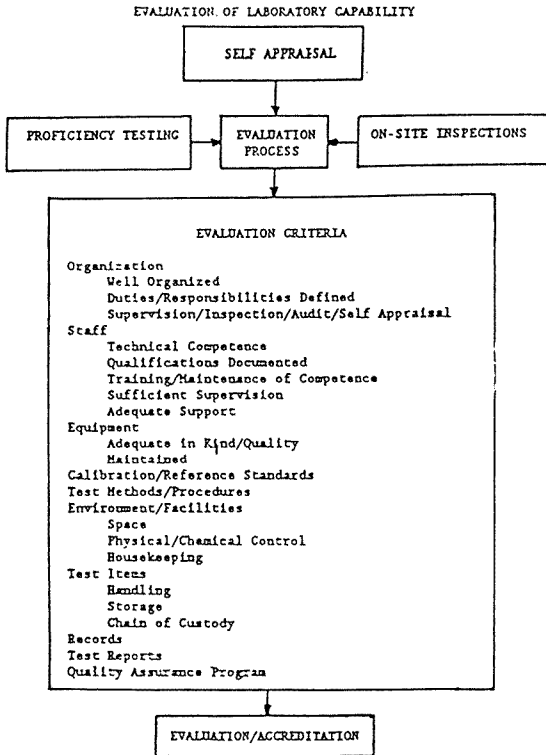


Fig. 4. Laboratory appraisal process.

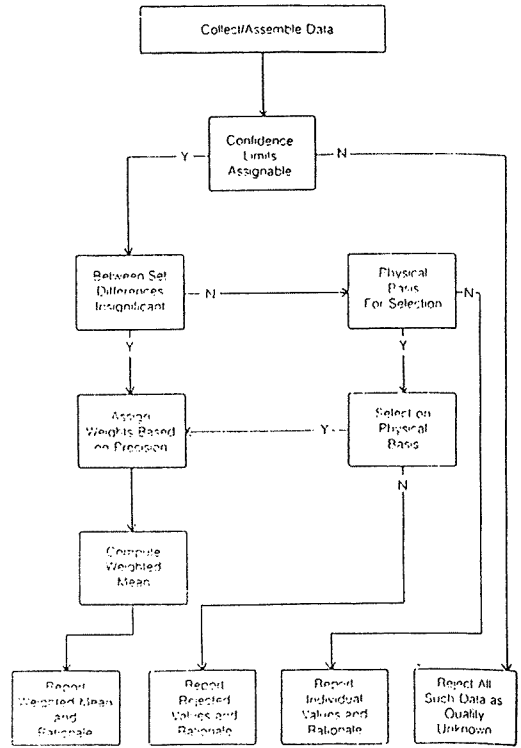


Fig. 5. Rationale for combining data sets.

또는 감사용 시료를 제공하여 각 실험실 측정 능력을 평가할 수도 있는데, 이때에는 최고의 수행능력보다 일상의 측정능력을 평가할 수 있도록 하여야 한다(Fig. 5 참조).

모든 실험실은 질 평가과정에서 얻어진 정보를 부지런히 사용하여 개선하도록 노력을 하여야 하며 잘못된 결과를 방어하거나 변명하지 않고 그 이유를 객관적으로 보다 철저히 규명하도록 하여야 한다. 이를 위하여 실험실 기록이나 자료를 잘 정리하여 기록 유지하면서 문제점을 확인하면 개선하기가 훨씬 쉬워진다. 이것은 측정결과 처리 프로토콜이 엄격히 수행되었음을 보장할 수 있기 때문에 아주 중요하다.

3. 2. 1. 측정결과의 관리

측정결과를 평가하고 검토한 후 발표하는 것은 측정보증 과정 중에서 아주 중요한 부분이다. 따라서 측정결과를 세심히 평가할 때까지는 결코 외부 사용목적으로 발표하여서는 절대로 안 된다(Fig. 5 참조).

어떤 결과이든 이를 발표할 때 꼭 필요한 사항은 그

결과에 대한 불확도 한계(Uncertainty limit)를 명기하여야 하며 이는 어느 정도 측정보증 작업이 필요하다. 공식적인 분석결과와 발표는 측정과정이 충분히 주의깊게 수행되고 불확도의 값을 검정할 수 있는 분석전문가에 의해 이루어져야 한다.

3. 2. 2. 측정보증의 실시

아무리 잘 계획되고 또 자세한 질 보증계획이 수립되어 있더라도 경영자로부터 최종 기능원까지 관련된 모든 사람이 참여하지 않으면 별 효과가 없다. 전자인 경영자는 시험시설, 장치 및 측정자의 훈련 등 모든 지원을 제공하고 또는 일을 제대로 수행하였을 경우 격려해 주는 임무를 갖고 있으며 후자인 측정 담당자는 질 좋은 측정결과를 얻기 위한 측정기술과 능력과 자신감을 갖고 있어야 한다.

어떤 사람은 모든 사람이 적극적으로 참여하여 측정 질 관리를 할 경우 공식적인 질 보증 계획이 필요하다고 생각할 수도 있지만, 많은 실험실의 경험을 볼 때 공식적인 측정 질 보증 계획을 수립하여 이를 수행하면

원하는 질의 측정결과를 얻는 데 좋은 지침이 된다는 것이 이미 증명된 바 있다.

끝으로 대학이나 연구소, 또는 현장에서 직접 측정에 참여하여 측정결과를 생산하는 사람은 우리 사회가 필요로 하는 객관적이고 쓸모 있는 정확한 측정결과를 얻는 데 최선을 다해 줄 것을 두 손 모아 빌어본다.

4. 수질측정의 정도관리

정확한 수질측정자료를 얻기 위해서는 모든 측정과정이 포함된 측정분석 정도관리가 필요하며 측정결과에 영향을 미칠 수 있는 시료채취, 운송 및 보관, 측정분석, 그리고 측정결과 정리단계에서 오차요인을 제거하는 노력이 필요하다.

본고에서는 이들 단계 중 측정분석단계에서의 정도관리를 중심으로 하여 수질측정의 자가측정 정도 향상방안에 대하여 검토함으로써 측정분석 요원의 측정기술 능력을 향상할 수 있는 방안을 강구하고자 한다.

표준시료 분석은 같은 분야의 측정시험실 간 측정치들을 비교 분석하고자 하는 계획으로 측정 보정제도를 수립하기 위한 기초작업이다. 한 시료에 대하여 두 가지 이상의 측정방법으로 어떤 성분의 값을 측정하였을 때 일반적으로 두 측정방법간의 측정값에는 오차가 있다. 또한 다른 실험실과의 동일한 시료 측정값을 서로 비교하였을 때에도 통계적 허용한도 내에서 서로 일치하지 않는 경우가 있다. 물론 동일한 측정방법, 동일한 분석자, 동일한 측정기기 및 동일한 환경 속에서 반복 측정하였다 하더라도 동일한 측정치가 나온다고는 할 수 없다. 이러한 측정과정에서의 특성을 감안하여 표준시료분석을 실시하여야 하며, 표준시료 분석의 목적은 여러 측정실험간 양립성의 정도를 알아보고 자기 측정치를 스스로 비교 검토하여 정확도와 신뢰도를 향상시키도록 하는 데 있다. 정도관리를 통해서 얻을 수 있는 효과는 여러 가지가 있겠으나 중요한 것은 다음과 같다.

① 각 측정요원들은 표준시료의 공동분석을 통하여 자기와 비슷한 분야에서 유사한 분석을 하고 있는 수많은 다른 측정실험실의 측정요원들과 비교하여 얼마만큼 정확한 측정을 하고 있는지를 알 수 있다.

② 기존 측정방법과 새로운 측정방법을 비교 시험하고자 할 때 서로 분담하여 측정함으로써 측정 횟수를

늘릴 수 있어 신뢰성을 높이고 실험실에서 나타날 수 있는 오차요인을 줄일 수 있으므로 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

③ 현재 사용되고 있는 측정방법이 옳은 것인지 아니면 개선을 필요로 하는 것인지를 알 수 있다.

④ 그밖에도 표준시료의 공동분석을 잘 계획하여 실시한다면 측정실험실간의 차이, 시료 종류상의 차이 등 측정치에 영향을 미치는 많은 요인들과 측정의 정확도에 미치는 영향을 통계적으로 평가할 수 있다.

수질측정치에 대한 정도관리 “예”는 국내의 경우 거의 찾아보기 어려운 실정이다. 따라서 수질측정정도관리 체계의 확립으로 보다 정확하고 신뢰성 있는 측정분석이 이루어지도록 종합적인 측정정도관리에 관한 시스템 구축이 시급히 요구되고 있다.

4. 1. 표준시료의 조제

*수돗물 중에 포함되어 있는 측정 대상항목의 측정 은 피피엠 또는 피피비 단위의 미량을 대상으로 하고 있으므로 표준시료 조제시에는 제반 사항을 면밀히 검토하여야 한다. 표준시료의 구비조건 중 가장 중요한 것은 조제에서 측정까지의 기간 중 대상성분이 변하지 않아야 하나 실제로는 시료의 조성, pH, 온도, 용기의 종류 등에 따라 경시적으로 변하는 경우가 있으므로 주의를 요한다.

4. 1. 1. 항목

대상항목이 전부 포함되어야 하나 정도관리 대상 실험실의 분석업무 과다 여부, 측정에 소요되는 장비의 유무, 표준시료 측정능력, 시료의 경시변화 등을 감안하여 대상 항목을 선정한다.

4. 1. 2. 방법

표준시료의 제조는 한 곳에서 만드는 것이 좋으며 측정정도 향상을 목적으로 하기 때문에 농도가 알려진 기지 시료를 먼저 측정하게 하고 그 후 미지 시료를 측정분석하게 할 수도 있다.

대상항목의 특성에 따라 중금속류, 시안, 케놀류 등으로 구분하여 조제하는 것이 좋으며 경시변화 및 운송시의 충격으로 인한 파손 등을 감안하여 유리제 앰플에 넣어 밀봉한 다음 스티로폼 상자에 넣어 안전하게 포장한 후 대상 측정기관에 송부한다. 표준시료 조제에서부터 측정까지의 기간 중에 대상항목의 분해, 흡착, 결정화, 불용성 염 형성 등에 의한 변화를 최소화하

기 위하여 보존제를 넣는 것이 좋다. 특별한 보존방법이 없는 경우에는 성분의 경시변화가 적게 일어나도록 밀봉, 밀봉, 차광, 냉동 등의 방법을 사용할 수 있다.

4. 1. 3. 농도범위

일반적으로 표준시료 조제농도 범위에 따라 측정오차에 차이가 있게 된다. 즉 측정방법의 검출한계농도 부근에서 측정값은 오차가 크게 되므로 표준시료의 조제농도는 대상항목의 자연계 함유농도, 수질기준, 측정방법별 검출 한계농도 등을 감안하여 항목별 농도 범위를 정하여야 한다. 일반적으로 표준시료의 조제농도 범위는 저농도와 고농도로 구분할 수 있으며 저농도의 조제농도 범위는 각 항목 시험방법별 검출한계농도와 수질기준 농도범위가 좋으며 고농도의 조제농도 범위는 표준시료 측정결과의 평가, 혼합 표준시료의 불용성 염 생성 등을 감안하여 정하여야 한다.

4. 1. 4. 표준시료의 안정도

대부분의 수질시료는 시료채취 후 시간의 경과에 따라 물리, 화학적인 변화를 일으켜 농도가 변하게 된다. 유기성 시료는 시료 중의 산화제 또는 환원성 물질이나 미생물의 영향으로 변하게 되고 중금속 이온은 유리용기벽에 흡착되거나 가수분해 등에 의해 그 농도가 변하므로 시료를 산성으로 하여 안정성을 갖게 한다. 즉 산 첨가의 효과는 가수분해 억제 뿐만이 아니고 유리벽에서 금속이온과 알칼리 또는 알칼리토금속류 금속과의 이온교환을 방지하고 유리 중의 수산이온에 의한 금속이온의 흡착 등을 방지함으로써 금속이온의 안정성에 기여하게 된다.

4. 2. 표준시료의 평가방법

4. 2. 1. 정밀도

정밀도란 오차분포의 폭을 의미하며 어떤 측정치 근에 있어서 중앙치 또는 평균치가 동일하더라도 변이의 정도, 즉 분포 사이가 반드시 동일하지 않다. 측정치 중에서 가장 큰 값과 가장 작은 값과의 차이를 변이의 폭이라고 하며, 이것은 측정 수에 따라서 크게 영향을 받는다.

측정 수가 적을 때는 변이의 폭이 작지만 측정 수가 많을수록 차차 커진다. 변이의 분포상태, 즉 분산도를 표시하자면 여러 가지 함수를 계산하게 되는데, 가장 많이 쓰는 것은 표준편차(Standard deviation) 및 변이계수이다.

가. 표준편차

모수 표준편차는 δ 로 표시하고 통계량 표준편차는 S 로 표시한다. 그리고 표준편차의 계산에는 다음과 같은 식이 이용되며 이외에도 도수분포법, 가설평균법, 변량자승법 등이 있다.

$$\text{평균 } x_M = \sum x / n$$

$$\text{평균평방(분산) } S^2 = \sum (x - x_M)^2 / (n - 1)$$

$$\text{편차평방화} = \sum (x - x_M)^2$$

$$\text{표준편차 } S = \pm (\sum (x - x_M)^2 / (n - 1))^{1/2}$$

나. 변동계수

표준편차의 평균치에 대한 비율을 %로 나타낸 것을 변이계수 또는 변동계수라고 하며 CV로 표시한다. 표준편차는 변이의 분산, 즉 분포상태를 표시하는 숫자인데, 어떤 두 집단에서의 표준편차를 비교하려고 할 때는 표준편차 계산의 기초가 되는 평균치가 집단에 따라 다르기 때문에 이것을 직접 비교할 수 없다. 이때 변이계수를 사용하면 평균치가 다르더라도 비교할 수가 있으며, 또 자료의 측정단위가 틀려도 편차의 정도를 무명수로 고쳐서 직접 비교할 수 있다.

$$CV = S/x_m \times 100(\%)$$

이다. 기타 통계측정

$$\text{범위 } R = \text{최대치} - \text{최소치}$$

$$\text{범위의 평균치 } R_M = \sum R/n$$

4. 2. 2. 정확도

정확도를 검토할 경우에는 모집단의 참값을 알아야 한다. 순수한 물질 또는 이론치가 판명된 경우에는 문제가 되지 않으나 일반적으로 불분명한 경우가 많다. 이런 경우 참값을 정의하지 않으면 안 된다. 예를 들면 권위 있는 분석연구소에서 여러 회 측정하여 얻은 값의 평균치를 참값으로 정의하거나, 여러 분석기관에 시료를 배포한 후 분석하여 이상치를 제외한 산술평균치를 취하거나 또는 어떤 매체를 통하여 그 시료의 참값으로 하는 경우가 있다. 정확도의 유무 판정은 정도를 기준으로 하여 통계적으로 검토하지 않으면 안 된다. 분포의 평균치와 참값과의 차를 논하는 것이기 때문에

일반적으로 평균치간의 검정을 행한다.

예) 시료 중 어떤 성분(x_i)의 함량이 2.10(참값)이며 이 시료를 어떤 분석실에서 8회 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다면 이 분석치는 정확도가 있는가 없는가?

측정 Data : 2.11, 2.04, 2.18, 2.00, 2.04, 2.12, 2.07, 2.09
 평균치 x_M 은 2.081, 불변분산 V 는 식 또는 다음과 같이 수치변환하여 구한다.

$$X = (x - 2.00) \text{로 하면}$$

$$V = 1/(n-1) \{ \sum Xi^2 - (\sum Xi)^2/n \}$$

$$1/7 \{ 10.075 - 0.622/8 \} = 0.00317$$

$$V^{1/2} = 0.0563 = 0.056$$

$V^{1/2}$ 는 대체로 정도에 상당하며 다음에는 참값 2.10과 평균값 2.08의 차는 차이가 있는 것인지 아니면 정확도 범위내에 있는지를 계산한다.

$$t_0 = (x_M - \mu) / (V/n)^{1/2} = (2.081 - 2.10) / (0.00317/8)^{1/2}$$

$$= -0.01875 / 0.0199 = -0.94$$

t_0 의 절대치를 t 분포표로부터 $t(\phi, \alpha)$ 와 비교한다. 위의 예에서 $\alpha=5\%$ (위험률)로 하면 $\phi=7$ 이기 때문에 t 분포표로부터

$$t(7, 0.05) = 2.365 \quad \therefore |t_0| < t(7, 0.05)$$

이 경우 만약 $|t_0| > t(7, 0.05)$ 이면 위험률 5%로써 평균치에 차가 있으며 이 분석치는 모평균 μ (참값)와 차가 있다고 할 수 있다. 위의 예에서 $|t_0| < t(7, 0.05)$ 이기 때문에 차이가 있다고 할 수 없다.

4. 3. 정확도 관리방법

수질측정치의 정확도 관리방법은 두 가지 목적에 따라 구분할 수 있다. 첫번째 방법은 수질측정능력 향상을 위한 예방보전적 관리이며 두번째 방법은 수질측정치들의 기본적인 특성을 도출해 내기 위한 관리방법이다. 예방보전적 관리방법의 대표적인 것은 관리도를 작성하는 방법이며 목적에 따라 여러 가지가 있다.

-X-R 관리도 : 특정치가 길이, 무게, 감도, 순도, 시간 등의 계량치로써 이들 특정치를 관리하고 해석하는

데 주로 사용된다.

-P 관리도, P_n 관리도 : 주로 불량률, 불량 개수 등 공정관리에 이용된다.

-C 관리도, U 관리도 : 제품의 결점 수, 기계의 고장수 등에 의한 공정을 해석 또는 관리할 때 사용한다.

X 관리도 : 개개의 계량적 data를 그대로 이용하는 것으로 1회에 1개의 data밖에 취할 수 없을 때 사용한다.

두번째 방법은 한 가지 수질측정 항목에 대해 각 측정실험실의 평균치와 표준편차, 변이계수(표준편차를 평균치로 나눈 값)를 구하여 비교하는 방법이며 나아가서 여러 측정실험실의 평균을 비교분석하는 방법은 측정치의 특성에 따라 Youden plot 방법, 선형 모형방법, 요인실험 분석법 등이 있다.

4. 3. 1. X-R 관리도

수질측정의 경시변화를 관리하기 위한 방법의 하나

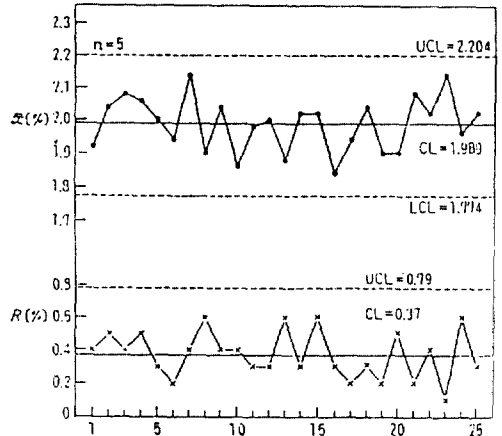


Fig. 6. X-R graph.

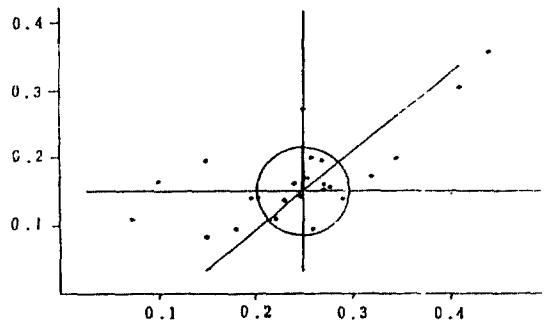


Fig. 7. Youden plot divided into two lines denoting medians of A and B.

Table 5. Data sheet of x_M - R graph

군번호	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_M	R	비고		
1	1.7	2.1	2.1	1.8	1.9	1.92	0.4			
2	1.9	1.9	2.0	2.4	2.0	2.04	0.5			
3	2.2	2.2	2.0	1.8	2.2	2.08	0.4			
4	2.0	2.0	2.3	2.2	1.8	2.06	0.5			
5	2.0	1.9	1.9	2.0	2.2	2.00	0.3			
6	2.1	1.9	1.9	1.0	1.9	1.94	0.2			
7	2.4	2.1	2.1	2.1	2.0	2.14	0.4			
8	1.8	1.8	1.6	2.1	2.2	1.90	0.6			
9	2.1	2.2	2.1	2.0	1.8	2.04	0.4			
10	1.6	1.8	1.9	2.0	2.0	1.86	0.4			
11	1.9	1.8	2.1	2.1	2.0	1.98	0.3			
12	2.0	2.0	2.1	2.1	1.8	2.00	0.3			
13	2.2	1.9	1.6	1.9	1.8	1.88	0.6			
14	1.9	2.2	2.0	2.0	2.0	2.02	0.3			
15	1.8	1.9	1.9	2.4	2.1	2.02	0.6			
16	1.8	1.7	2.0	2.0	1.7	1.84	0.3			
17	2.0	1.8	2.0	1.9	2.0	1.94	0.2			
18	2.2	2.2	1.9	2.0	1.9	2.04	0.3			
19	1.8	1.8	2.0	1.9	2.0	1.90	0.2			
20	2.1	1.7	1.8	1.7	2.2	1.90	0.5			
21	2.1	2.2	2.0	2.0	2.1	2.08	0.2			
22	2.0	1.9	1.9	2.3	2.0	2.02	0.4			
23	2.1	2.1	2.2	2.1	2.2	2.14	0.1			
24	2.3	1.7	1.8	1.9	2.1	1.96	0.6			
25	2.1	1.9	1.9	2.2	2.0	2.02	0.3			
限 界 線					비고	$\sum X_M=49.7$	$\sum R=9.3$			
x_M	$A_2R_M=0.577 \times 0.372=0.215$ UCL= $x_{MM}+A_2R_M=2.204$ CL= $x_{MM}=1.989$ LCL= $x_{MM}-A_2R_M=1.774$				비고	$X_{MM}=1.99$	$R_M=0.372$			
						係 數 表				
R	UCL= $D_4R_M=2.115 \times 0.372=0.79$ CL= $R_M=0.372$ LCL= $D_3R_M=(\text{고려하지 않음})$				비고	n	A_2	D_4	D_3	d_2
						2	1.880	3.27	-	1.13
						3	1.023	2.58	-	1.69
						4	0.729	2.28	-	2.06
						5	0.577	2.12	-	2.33

로 X-R 관리도가 이용되고 있다. Fig. 2는 수질측정시의 분석오차 관리를 위하여 표준시료를 매일 5회씩 분석한 측정치(Fig. 5)를 하나의 군($n=5$)으로 하여 작성한 관리도의 “예”이다. 그림에서 R 은 2개의 측정치의 차, 즉 평행분석(平行分析)의 정도를 나타내고 x_M 은

매일의 측정치 평균값 변화를 나타낸다. UCL, LCL은 관리한계선을 나타내고 이것보다 측정값이 벗어나지 않으면 신뢰성이 있음을 나타내고 이 점을 벗어나면 신뢰성이 없음을 나타낸다. R 관리도에서는 선이 전부 UCL보다 아래에 있기 때문에 관리상태에 있음을 나타

내고 있다. 즉 매일의 2개의 측정치 모두 이상치는 없으며 대체로 매일 같은 정도의 평행정도(平行精度)로 분석되고 있음을 나타내고 있다. 이에 반해 x_M 관리도에서는 UCL보다 1점, LCL보다 1점이 벗어나 있다. 이 두 점은 1일 2개의 측정값이 공통적인 원인으로 이상치를 나타내고 있으며 경시변화에 따른 평균치에 신뢰성이 없음을 보여주고 있다. 일반적으로 R 관리도에서는 정도(精度)의 신뢰성을, X 관리도에서는 정확도의 신뢰성을 검토할 수 있다.

4. 3. 2. Youden Plot법

이 방법은 복잡한 통계적 방법을 사용하지 않고 각 수질측정 대상기관에서 자기의 문제점을 직시할 수 있는 진단적 효과를 얻기 위한 결과의 요약 방법으로 좋다. 이 방법은 보통 쓰이는 직교좌표의 X-Y축에서 X축에는 A라는 측정결과를 표시하고 Y축에는 B라는 시료를 나타내면 각 실험실에서 측정한 A, B의 짝은 좌표에서 한 점으로 나타낼 수가 있다. 그 결과 X-Y좌표에는 참여한 측정실험실과 같은 숫자의 점들이 나타나고 이들 간의 전체적 결과를 쉽게 볼 수가 있다. 다음으로 A 측정치들의 중립수(Median)에서 X축에 수직되는 선을 구하고 마찬가지로 Y축에도 중립수의 직선을 X축과 평행하게 나타낸다. 이렇게 구해진 그래프를 Youden plot이라고 하며, 이는 통계학자 Youden의 이름을 따라서 부르는 것이다.

4. 4. 측정결과의 점수화

평가에는 절대평가와 상대평가로 구분할 수 있다. 절대평가는 표준시료의 참값을 알고 있을 경우에 가능하며 표준시료 조제농도값(참값)과 각 대상기관에서 표준시료 실측값과의 편차크기에 따라 각 측정값을 점수화하는 방법이다. 예를 들면 참값을 기준으로 하여 오차 %를 구하고 오차가 0일 때를 100, 100%일 때를 0으로 하고 그 사이를 100등분하여 편차 크기에 따라 점수를 배분하는 방법이다. 이것을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{점수} = (1 - |(x - X)/X|) \times 100$$

여기서 x 는 실측값이며 X 는 참값(일반적으로 표준시료 조제농도값을 사용할 수 있으나 경시변화가 있는 항목의 경우에는 사용할 수 없음)을 나타낸다. 위의 식은 오차 크기에 따라 일률적으로 점수를 배분한 "예"

이며 점수를 차등배분하는 경우도 있다.

상대평가는 표준시료의 측정결과가 정규분포를 이루고 있다고 가정하고 평균값 x_M 과 표준편차 s 를 구한 다음 x_M 을 100, $x_M \pm 3s$ 를 0으로 하고 그 사이를 100 등분하여 표준편차 크기에 따라 점수를 배분하는 방법이다. 이것을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{점수} = (1 - |(x_M - x)3s|) \times 100$$

여기서 x_M 은 측정값의 평균이며 x 는 실측값이고 s 는 표준편차를 나타낸다. 이 방법은 표준시료의 농도가 경시변화되어 참값을 알 수 없는 경우에 사용할 수 있으며, 측정값의 정확도는 비교할 수 없으나 측정실험실간의 분석능력은 비교할 수 있다. 또한 표준시료 농도에 따라 오차가 달라질 경우의 분석능력 평가에도 사용할 수 있다.

5. 결론

측정분석 요원의 측정분석 기술 능력을 향상시키기 위한 방안을 환경시료 채취, 환경시료 전처리, 그리고 측정정도관리를 통하여 검토하여 보았다.

측정분석 요원의 측정기술은 측정분석 정도관리를 통하여 측정결과의 신뢰성, 정도, 정확도를 검토하여 오차 요인을 저감하고, 측정결과를 X-R 관리도, Youden plot 등을 이용하여 평가함으로써 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

측정분석 결과의 오차는 시료채취, 시료운송, 시료보관, 보존방법, 시료용기 등과 전처리 방법에 따라 큰 차이를 나타낼 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 정확한 측정결과를 얻기 위해서는 측정분석단계 뿐만 아니라 시료채취, 보존, 운송단계 등도 주의를 하여야 하며 앞으로 측정 정도관리는 환경에 영향을 미칠 수 있는 이들 측정단계가 모두 포함되도록 하여야 할 것이다.

참고문헌

1. John K. Taylor, Quality Assurance of Chemical Measurements (1988), Lewis Publ.
2. Taylor/Stanly, STP 867, Quality Assurance for Environmental Measurements (1985), ASTM.
3. 기타 참고문헌 ; 1, 2 속에 많이 있음.