

측정 품질과 신뢰도 향상을 위한 교정주기 분석 프로그램의 개발 및 응용

박병선* · 안응환** · 조중재***

* 한국표준과학연구원 표준품질팀

** 한국표준과학연구원 지적자원경영팀

*** 충북대학교 정보통계학과

Development and Application of Calibration Interval Analysis Program for Measurement Quality and Reliability Improvement

Byoung-sun Park* · Ung-Hwan Ahn** · Joong-Jae Cho***

* Standards & Quality Management Team, Korea Research Institute of Standards and Science

** Technology Value Development Team, Korea Research Institute of Standards and Science

*** Department of Information Statistics, Chungbuk National University

Key Words : Calibration Interval, Measurement Quality, Measurement Reliability, Reactive Method, Maximum Likelihood Estimation Method

Abstract

In recent years, the widespread application of quality management and measurement reliability has put increasing emphasis on procedures for periodic instrument calibration. By optimizing calibration intervals, unnecessary calibrations can be minimized, thereby reducing costs. Moreover, optimizing intervals will improve compliance with regulatory directives while ensuring maximal compliance with reliability targets. In this paper, we present Calibration Interval Analysis Program developed using several establishment methodologies of calibration interval for measurement quality and reliability improvement. Also, we perform calibration interval analysis for some measurement instruments and analyse its results.

1. 서 론

과학기술의 급성장으로 최첨단 혁신 제품이 하루가 멀다하고 개발되고 있는 오늘날 산업현장에서 제품의 생산과 개발에 핵심요소인 성능시험이나 검사에 사용되는 각종 측정기들은 고유의 특성, 사용자 및 측정환경 관리상대, 사용빈도 등 복합 요인에 따라 원래의 성능에서 점차적으로 벗어나게 된다. 그러므로 이러한 측정기들은 생산제품의 품질관리 측면이나 측정 신뢰도의 향상 측면에서 기술적으로 체계적인 방식에 의해 관리되고 운영되어야 하며 주기적

인 점검 및 교정이 필수적이라 할 수 있겠다.

교정(calibration)이라 함은 명시된 조건에서 측정기 또는 측정시스템이 지시하는 양의 값, 또는 물질 척도(material measure)나 표준물질(reference material)이 나타내는 값과 이에 해당하는 양이 표준기에 의해 실현되는 값 사이의 관계를 설정하기 위한 일련의 작업을 의미한다.

측정기의 교정주기와 관련하여, 우리나라의 경우에는 국가교정기관인정제도 운영요령 제 41조(교정대상 및 주기)에서 “측정기를 보유 또는 사용하는 자가 자체적으로 교정주기를 설정하고자 할 때에는 측정기의 정밀정확도, 안전성, 사용목적, 환경 및 사용빈도 등을 감안하여 합리적으로 그 기준을 설정하여야 한

다. 다만 합리적으로 정할 수 없을 경우에는 기술표준 원장이 고시하는 교정주기를 준용한다.”에 의하여 자체 교정주기를 설정하여 사용하도록 하고 있다.

또한 최근 2005년 4월에 개정된 국가교정기관 지정제도 운영세칙 제6장에서는 측정기 교정 대상 및 주기와 관련하여 적용범위, 교정 대상, 교정주기 및 교정주기 설정을 위한 가이드를 제시하고 있으며, 국가교정기관인정제도 운영세칙 통합고시 제6장 측정기의 정확도 유지관리 지침에서는 다양한 교정주기 설정 방법들을 소개하고 있다.

하지만 이러한 법률적인 기틀과 가이드라인의 제시에도 불구하고, 실제 산업현장에서 사용되는 측정기들에 대하여 자체적으로 교정주기를 설정하여 관리하는 경우는 거의 없으며, 대부분 기술표준원에서 제시하는 권고 주기를 일률적으로 인용하여 사용하고 있는 실정이다. 이는 동일한 측정기라 할지라도 측정기가 갖고 있는 독특한 특성이나 상이한 사용조건, 사용자 숙련정도의 편차 등을 무시한 채 일률적인 교정주기를 적용·관리한다는 것으로써, 신뢰성 보장을 위한 이론적 배경이 없음을 물론 측정 신뢰성 저하 및 경제적 손실까지도 초래할 수 있게 된다.

이러한 심각성에도 불구하고 실제 산업현장에서 자체적인 주기 설정을 통한 측정기 관리를 하지 못하는 것은 제시된 교정주기 설정에 있어서 제반 절차 및 과정이 통계적인 기법을 근거로 산출되기 때문에 산업현장의 실무자들이 이론적 배경을 이해하고 이를 적용하는 데에 많은 어려움이 있고 개발의 노력과 비용 또한 부담이 되기 때문이라고 할 수 있다.

한편 측정기의 교정주기 설정과 관련하여 외국의 경우에는 세미나 및 연구발표 등을 통하여 이론적인 접근이 지속적으로 연구되고 있으며(Jackson, *et al.* (1987), Castrup(1989), Wyatt *et al.*(1991), Castrup *et al.*(1994), Carbone(2004), Macii *et al.*(2004), Nunzi *et al.*(2004) 등), NCSL RP-1(1996)에서는 최적 교정주기 설정과 관련하여 종합적으로 발표되는 등 활발한 연구활동이 이루어지고 있다. 반면에, 국내의 경우에는 교정주기 설정 방법의 이론적 개발 보다는 측정기의 주기 관리와 관련하여 몇몇 학자들에 의해 연구되었다(고종섭, 1984 ; 한국측정기기교정협회, 1995 ; 산업기술시험원, 2001 ; 한국표준과학연구원, 2004). 하지만 이러한 연구들은 산업현장에서 자체 주기 설정과 관련하여 쉽게 활용할 수 있는 틀이 제공되지 않음으로 인하여 실무자들이 현장

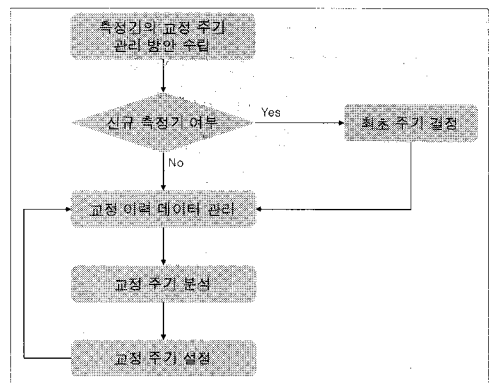
에서의 접근이나 적용이 어렵다고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 일반 산업현장에서 측정 품질 및 신뢰도 향상과 보다 효율적이고 체계적인 측정기의 교정주기 관리를 위하여, 지금까지 제안된 교정주기 설정 방법들 중에서 A3 방법과 MLE 방법을 이용하여 쉽게 활용할 수 있는 교정주기 분석 프로그램을 개발하였다. 또한 7개의 주요 측정기 선정 및 관련 교정 이력 데이터를 확보하여 이를 개발된 프로그램에 적용함으로써 다양한 주기 분석을 수행하고, 그 결과를 비교·분석하였다.

먼저 2장에서는 교정주기 설정의 일반적인 절차 및 데이터 요소에 대하여 살펴보고, 3장에서는 지금까지 제안된 교정주기 설정 방법들 중에서 개발 프로그램에 적용된 대표적인 주요 방법들을 소개하였다. 4장에서는 개발된 교정주기 분석 프로그램의 소개와 특징, 교정 이력 데이터 관리 및 주기 분석 수행 방법 등을 살펴보고, 5장에서는 주요 측정기에 대한 교정주기 분석 수행 및 결과를 비교·분석하였다. 마지막으로 6장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구에 대하여 논의하였다.

2. 교정주기 설정의 일반적인 절차 및 데이터 요소

교정주기를 설정하는 데에는 여러 가지의 관리적 기법과 기술적인 방법을 검토해야 하며, 이에 필요한 절차는 운영기관 또는 산업체의 현실과 여건에 적합하도록 개발하여야 한다. 일반적으로 측정기의 교정주기는 <그림 1>과 같은 절차에 의하여 설정·관리되며, 본 절에서는 각 단계별로 관련된 내용을 간략하게 소개하고자 한다.



<그림 1> 교정주기 설정의 일반적인 절차

2.1 측정기의 교정주기 관리 방안 수립

2.1.1 교정주기 관리 대상의 선택

교정주기 관리에서 가장 기본적으로 요구하는 사항은 주기 조정(축소 또는 확대)의 근거가 되는 교정 이력 데이터의 확보이며, 수용 가능한 수준에서의 교정 비용을 일정 수준에서 유지하면서 측정의 신뢰도를 보장하는 수단으로 조정이 이루어져야 한다는 것이다.

교정주기의 조정에서 관리 대상이 되는 측정기들을 개별적으로 관리할 것인가 또는 동질성의 어떤 그룹으로 관리할 것인가에 따라 다음과 같은 접근 방법들을 생각해 볼 수 있다.

- 일련번호에 의한 조정
- 모델넘버군에 의한 조정
- 기기등급에 의한 조정
- 파라미터에 의한 조정

2.1.2 교정주기 관리의 목표

측정기의 주기적 교정에 대한 동기 유발은 사용자가 수용할 수 있는 정확도를 교정주기가 완료되는 시점까지 원하는 신뢰성을 갖고 유지하여야 한다는 데 있다. 측정 신뢰도(measurement reliability)란 어떤 정해진 시점에서 측정기들이 허용차 이내로 정확도를 유지하고 있을 확률 즉, 측정기의 성능 특성이 각각의 특정 요건 내에서 수행되어지는 확률을 말하며, 이 때 원하는 측정 신뢰도를 목표 신뢰도(target reliability)라고 한다. 예를 들어, 주기 설정 대상 측정기에 대하여 교정주기가 완료되는 시점에서 교정 대상인 100개의 측정기들 중에서 85개의 측정기에 대한 측정치의 결과가 정해진 허용차 이내에 있었다면, 이 경우에 관측된 측정 신뢰도는 85%가 된다.

교정을 아주 짧은 시간마다 여러 번 실시하게 되면 측정 신뢰도 또는 측정 적응력을 높은 수준에서 유지할 수 있으나, 지나친 우려에 의해 빈번한 교정을 실시함으로써 과도한 비용을 유발시키고, 교정을 위한 회수 등의 시간 소요 등으로 인하여 측정기의 활용도 저하를 가져오게 된다.

한편 비용의 최소화와 높은 측정 신뢰도의 보장이라는 두 가지 주요 목표는 서로 상반 관계에 있으므로 교정주기를 결정함에 앞서 각 업체의 특수한 상황에 맞게 비용을 고려한 목표 신뢰도를 설정함으로써 교정주기를 관리할 필요성이 있다.

2.2 최초 주기의 결정

측정기가 최초로 사용되어지는 시점에서부터 교정을 위한 리콜(recall) 절차는 최초의 주기로부터 적용되어진다. 신규 측정기들은 교정 관리를 위한 관리 목록에 최초로 등록되어지기 때문에 교정 이력 데이터는 거의 사용이 불가하다. 최초 주기를 결정하기 위해서는 엔지니어링 분석이 필요하고 따라서 새로운 기기의 교정을 위한 회수 주기는 대략적일 수밖에 없다. 이러한 사항을 보완하기 위하여 최초 교정주기의 설정은 반드시 사용 가능한 유사 측정기의 교정 이력 데이터를 이용하여야 하며, 향후 정확한 새로운 데이터의 효과적 창출이 가능하여야 하며, 가능하다면 주기의 갱신이 가능하여야 한다.

이러한 최초 주기 설정 방법의 종류를 우선 순위가 높은 것부터 소개하면 <표 1>과 같으며, 적절한 방법을 채택함으로써 유용한 최초 주기를 설정할 수 있다.

<표 1> 최초 교정주기의 결정 방법의 종류

종류	개요
기기 등급에 의한 방식	<ul style="list-style-type: none"> • 기기등급 수준에서 교정주기 활용이 가능하고 관리 대상이 되는 측정기가 기존의 등급으로 구분이 가능한 경우 추천되는 방법
엔지니어링 분석 방식	<ul style="list-style-type: none"> • 기존의 관련 데이터가 충분하지 못하거나 기기등급에 의한 교정주기의 활용이 불가능할 경우 추천되는 방법 • 유사품목 - 관련 모델의 주기 사용 • 제조사 제공 데이터 및 권고 주기의 사용 • 장비의 형식 분석(Design Analysis)
차용 주기 방식	<ul style="list-style-type: none"> • 기기등급에 의한 주기의 활용이 불가능하고 또한 엔지니어링 분석 역시 적용이 불가능한 경우 권고되는 방법 • 공인된 외부 자료의 활용 • 서로 상이한 사용환경에서 야기되는 여러 심각한 문제가 있음
일반 주기 방식	<ul style="list-style-type: none"> • 관리하는 모든 측정기들에 대해 똑같은 단일 주기를 지정하는 방법

2.3 교정 이력 데이터 관리

2.3.1 교정 이력 데이터 관리 요건

교정주기의 결정은 교정 실시 이후 경과시간에 따른 관측되어진 허용차 이내의 측정기 수의 백분율

로 정리된 데이터에 근거한다. 이러한 데이터는 교정 결과로부터 수집되어지며 교정 이력을 구성하게 된다. 교정 이력은 각각의 서비스 활동에 대한 교정 검사 일정이 동반되어지고 지속적인 활동의 결과로 저장되어 진다. 일반적으로 교정주기 분석을 위한 측정기의 교정 이력은 일련번호 수준에서 데이터가 관리되어지고 이러한 데이터에서의 간단한 변환을 통해 분석이 되어질 데이터를 구성하는 것이 바람직하다. 이러한 과정에서의 교정 이력 데이터가 갖추어야 할 관리요건은 전 과정을 통하여 정확한 교정 주기가 산출되어질 수 있도록 보장하여야 한다. 일반적으로 측정기의 주기 분석을 위한 교정 이력 데이터는 최소한 연속성(continuity), 완전성(completeness), 일관성(consistency)을 유지하여야 한다.

2.3.2 요구되는 데이터 요소

교정주기의 조정 및 설정의 하부 기반은 측정기들에 대한 확인, 유지 보수, 교정 이력 데이터로 구성되어진 데이터 요소들의 기초적인 조합으로 이루어진다. <표 2>는 이러한 필수적인 데이터 요소들에 대한 목록과 여건을 정리한 것이며, 측정기들의 구분을 위한 확인 요소와 교정주기 설정 및 신뢰성 분석을 위하여 요구되어지는 기술적 데이터의 요인으로 구분하여 제시하였다. 또한 요소들의 활용 정도에 따라 크게 필수(N), 보조(S), 선택(O)으로 구분·표시하였다.

<표 2> 요구되는 데이터 요소

구분	항목
확인 요소	<ul style="list-style-type: none"> 측정기명/형식(N) 제조사(N) 모델/파트 넘버(N) 일련번호(N) 현재 사용처(O)
기술적 요소	<ul style="list-style-type: none"> 최근 교정일(N) 교정 의뢰일(N) 교정기관 및 교정자(O) 차기 교정일(S) 교정 완료일(N) 사용된 교정절차(N) 수거시 상태(N) 교정/수리 소요시간(O) 변수 데이터(S) 조정/수리(S)

3. 주요 교정주기 설정 방법의 소개

지금까지 제안되고 소개된 방법들로는 앞의 2장에서 소개된 최초 주기 결정 방법의 종류를 포함하여 교정 이력 데이터를 바탕으로한 반응(Reactive) 방법과 최우추정(Maximum Likelihood Estimation : MLE) 방법 등이 있다.

반응 방법은 최근 교정으로부터의 데이터에 반응하여 주기를 설정하는 것으로, NCSL RP-1(1996) 보고서에서 명명되었다. 이 방법은 정해진 알고리즘에 의해 교정 결과(허용차 이내/초과)에 반응하여 주기 설정이 이루어지며, 비교적 사용하기 쉬운 장점을 갖는 반면, 요구하는 목표 신뢰도에 일치하는 주기를 설정하는 점에서 볼 때 비효율적이고 대개 오랜 기간이 요구되는 단점을 갖는다. 대표적인 반응 방법들로는 A1, A2, A3 등 세 종류가 있다. A1 방법은 대상 측정기에 대한 허용차 초과 여부의 관측 결과에 따라 주기를 설정하고, A2 방법은 대상 측정기에 대한 종전의 주기 조정량까지 고려하여 주기를 설정하며, A3 방법은 대상 측정기에 대한 주기를 통계적으로 검정함으로써 주기의 조정 여부를 판단하고 설정한다.

MLE 방법은 시간에 따른 측정 신뢰도의 변화를 모델화하거나 예측하여 주기를 설정한다. 이 방법은 반응 방법에 비해 정확한 주기 설정이 가능하다는 장점을 갖는 반면, 데이터를 축적하는데 이용된 그룹화의 동질성에 따라 달리 요구되긴 하지만 분석을 위해 대량의 데이터를 요구하는 단점이 있다.

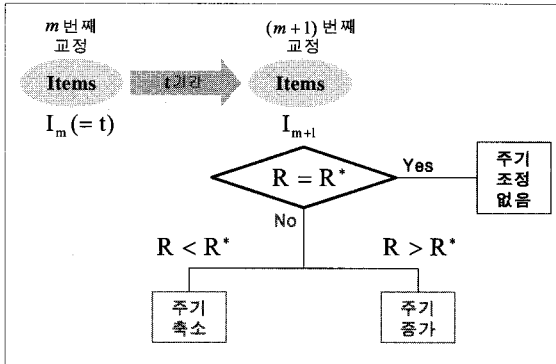
본 장에서는 지금까지 제안되고 소개된 교정주기 설정 방법들 중에서 본 연구에서 개발된 프로그램에 적용된 A3 방법과 단순 접근(simple approach)을 포함한 MLE 방법에 대하여 소개하기로 한다.

3.1 A3 방법(Interval Test Method)

이 방법은 할당된 주기의 조정 수행에 앞서 먼저 통계적인 검정을 통하여 주기 조정 여부를 판단하고, 조정이 필요하다고 판단되는 경우에 주어질 알고리즘에 의해 주기를 조정하고 설정한다. 구체적으로 이 방법의 개념도를 <그림 2>에 제시하였다.

<그림 2>에서 n 개의 대상 측정기들에 대한 m 번째 교정에서 할당된 주기가 t 라고 하면, 각각의 기기들은 t 기간 이후에 $(m+1)$ 번째 교정을 의뢰할

것이다. 이 때 의뢰된 n 개의 기기들의 상태 즉, 허용차 초과 여부의 관측값을 바탕으로 측정 신뢰도 R 과 사용자가 원하는 목표 신뢰도 R^* 간에 유의한 차이가 있는지에 대한 통계적인 검정을 수행하고, 유의한 차이가 있다고 판단되는 경우에 한하여 주기 조정을 수행한다. 이를 위한 검정 절차는 <표 3>에 제시되어 있다.



<그림 2> A3 방법의 개념도

<표 3> 유의성 검정 절차

[1] $H_0: R = R^*$ vs $H_1: R \neq R^*$
 [2] R 에 대한 $100 \times C\%$ 신뢰구간: (R_L, R_U)
 단, $\sum_{k=0}^g \frac{n!}{k!(n-k)!} R_U^k (1-R_U)^{n-k} = \frac{1-C}{2}$,
 $\sum_{k=g}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} R_L^k (1-R_L)^{n-k} = \frac{1-C}{2}$,
 $0 < g < n$
 [3] 만일 $R^* \notin (R_L, R_U)$ 이면, R 과 R^* 간에 유의한 차이가 있다고 판정

통계적인 검정 수행에 의해 주기 조정이 필요하다고 판단된 이후에 $R > R^*$ 이면 주기 증가를, $R < R^*$ 이면 주기 축소 조정을 수행하고 최종 추천 주기를 설정하게 된다. 우선 주기 조정을 위한 알고리즘은 <표 4>와 같다.

<표 4> 주기 조정 알고리즘

```

If  $R > R^*$  Then '주기 축소
If  $C = 1$  Then
 $I_{trial} = 2I_{avg}$ 
Else
 $y = (R - R^*) / (1 - C)$ 
If  $y > 25$  Then
    
```

```

 $I_{trial} = \text{Max}(I_{max}, I_{avg})$ 
Else
 $I_{trial} = \text{Int}(10^y I_{avg} + 0.5)$ 
End If
End If
Else '주기 증가
 $I_{trial} = \text{Int}[10^{(R - R^*)C} I_{avg} + 0.5]$ 
End If
    
```

<표 5> 주기 설정 알고리즘

```

If  $I_{trial} > 2I_{avg}$  Then
 $I_{rec} = 2I_{avg}$ 
Else If  $I_{trial} > 1.2I_{long}$  and  $I_{long} > 0$  Then
 $I_{rec} = 1.2I_{long}$ 
Else If  $I_{trial} < I_{avg}/2$  Then
 $I_{rec} = I_{avg}/2$ 
Else
 $I_{rec} = I_{trial}$ 
End If

If  $I_{rec} > 1.2I_{long}$  and  $I_{long} > 0$  Then
 $I_{rec} = 1.2I_{long}$ 
End If

If  $I_{rec} > I_{max}$  and  $I_{max} > 0$  Then
 $I_{rec} = 1.2I_{max}$ 
End If

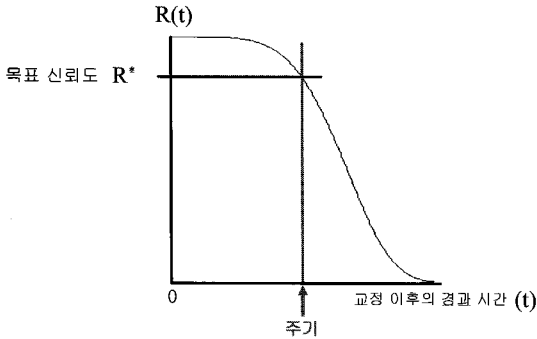
If  $I_{rec} < I_{min}$  Then  $I_{rec} = I_{min}$ 
    
```

<표 4>에 제시된 알고리즘에 의해 1차적으로 조정된 주기 I_{trial} 을 산출하고, 몇 가지 제약사항을 고려함으로써 <표 5>에 제시된 알고리즘에 의해 최종적으로 주기가 추천되도록 하고 있다.

3.2 MLE 방법

<그림 3>은 측정기의 교정 이후의 경과 시간에 따른 측정 신뢰도의 변화를 나타낸 것으로, 측정 신뢰도가 교정 이후의 시간 경과에 따라 감소한다는 것을 보여주고 있다. 이 수치에 대비한 시간의 도표화는 측정 신뢰도가 시간에 따라 변화하는 함수로 모델화 될 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 함수를 결정하고 이로부터 주기를 예측하고자 하는 것이 MLE 방법의 기본 개념이자 주요 목적이라 할 수

있다.

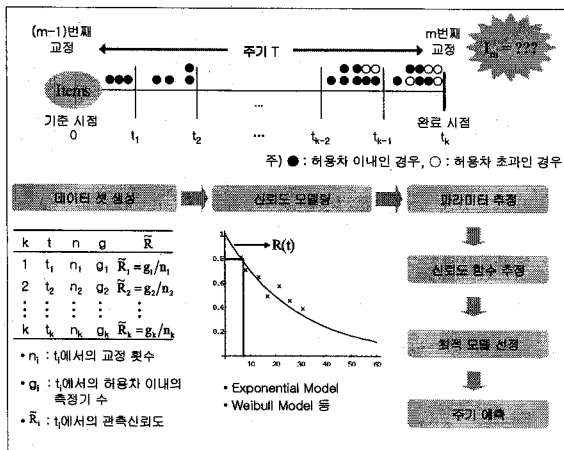


<그림 3> 시간에 따른 측정 신뢰도의 변화

이러한 MLE 방법은 교정 이후의 경과 시간에 따른 측정 신뢰도 모델링을 위하여 다양한 신뢰도 모델을 이용하고, 우도함수(likelihood function) 구성 시 이항분포의 확률밀도함수를 채택하고 있다. 이 방법에 대한 개념과 절차를 도식화하여 제시하면 <그림 4>와 같다.

3.2.1 시간 급수의 분석

먼저 주기적 교정을 받는 기기 모집단은 다양한 시간에 교정을 실시하는 표준실로 회수되어 진다. 이런 시간들의 대부분은 이들 측정기들에 지정된 교정주기에 어느 정도 근사하리라고 간주되어지지만 반드시 그렇다는 보장은 없다.



<그림 4> MLE 방법의 개념과 절차

보통 최종 교정 이후 경과된 시간에 대해 여러 가지 이유로 다양한 서로 다른 값들을 갖게 된다. i 번

째의 이러한 시간에 대한 값은 <그림 4>에서 t_i 로 표시되었다.

몇 개의 측정기들이 동일한 경과시간에 매우 근접한 시간대에서 교정을 받기 위해 회수되었을 때, 이 경과시간 t_i 에 또는 근사한 시간에 도달하는 측정기들의 수를 n_i 라 표시하자. 각 측정기를 교정한 이후에 측정기가 허용치 이내에 있는지 그렇지 않은 지가 결정되어진다. 경과시간 t_i 내에서 허용치 이내로 판정되어진 측정기들의 숫자를 g_i 로 표시하였으며, 이로부터 관측 신뢰도 \bar{R}_i 를 계산함으로써 시간 급수 데이터 셋을 생성할 수 있다.

이러한 시간 급수를 분석하기 위하여, 모델은 확률 과정이라고 가정되고 파라미터들에 의해 특징지어지는 수학적 함수이다. 함수의 형태는 파라미터가 관측된 시간 급수 $\{R(t), t \in T\}$ 에 근거하여 추정될 동안에 열거된다. 따라서 확률 프로세스에 대한 확률법칙을 결정하는 문제는 시간 급수를 위한 정확한 함수의 형태를 선택하고 함수에 포함된 파라미터를 추정하는 문제가 된다.

3.2.2 측정 신뢰도 모델링

많은 응용에 있어서 어떤 주어진 t 에 대한 $R(t)$ 의 변화는 교정주기에 있어서 유용한 통계치이다. 이 변화는 교정주기 설정 및 조정에 대한 최적 선택을 하는 경우 이러한 설정된 교정주기의 신뢰도가 어느 정도인지를 알 수 있기 때문이다. 이러한 변화를 설명하기 위하여 많은 신뢰도 모델들이 유용하게 사용되어 왔으며, 본 연구의 프로그램 개발에서는 허용차 초과 비율이 시간에 따라 일정한 파라미터에 적용 가능한 지수 모델만을 고려하였다. 이러한 지수 모델 함수와 일차 미분함수를 소개하면 다음과 같다.

$$R(t, \theta) = e^{-\theta t}, \quad \frac{\partial R}{\partial \theta} = -te^{-\theta t} \quad (1)$$

3.2.3 파라미터 및 신뢰도 함수 추정

① 단순 방법에 의한 파라미터 추정

식 (1)에서 주어진 실패 비율(failure rate) 파라미터 θ 를 추정하는 단순 방법은 다음과 같다. 첫째,

1) NCSL RP-1(1996) 보고서에서는 지수 모델 이외에 와이블 모델 등 9개의 모델을 추가적으로 소개하고 있다.

시험되어지는 계측기의 총 수 N , 허용공차 이내의 적합한 통과 측정기들의 수 G 와 시험 간격의 평균 시간 T 를 구한다. 이는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$N = \sum_{i=1}^k n_i, \quad G = \sum_{i=1}^k g_i, \quad T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i t_i \quad (2)$$

여기서 k 는 고려 중인 시간 구간의 수이다. 이 때 평균 시간 T 동안의 허용차 이내에 있을 확률은 대략적으로 다음 식과 같아진다.

$$Pr(\text{No failure before } T) = \frac{G}{N} \quad (3)$$

식 (1)을 이용하면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$G/N = e^{-\theta_0 T} \quad (4)$$

여기서 θ_0 는 식 (1)에 있는 θ 의 단순 방법에 의한 추정치를 나타낸다. θ_0 에 대한 식 (4)의 해는 다음과 같이 얻어진다.

$$\theta_0 = -\frac{1}{N} \ln(G/N) \quad (5)$$

이와 같은 방법으로 얻어진 추정값은 다음에 논의하게 될 MLE 방법을 이용하여 얻어지게 되는, 보다 정확한 추정값에 놀랄 정도로 근사하다.

② MLE 방법에 의한 파라미터 추정

이제 보다 정확한 추정값을 산출하기 위하여 식 (1)에 주어진 것과 같이 지수 실패 비율(exponential failure rate) 파라미터 θ 의 최우추정 방법을 도입한다.

t_i 의 주기간격이 경과한 후 n_i 의 측정기들 중 g_i 의 측정기들이 시험을 통과할 확률은 단순히 이항분포 법칙(binomial probability law)에 의해 주어지며, 이는 수학적으로 다음과 같이 표현된다.

$$Pr(G_i \text{ passes}) = \frac{n_i!}{g_i!(n_i - g_i)!} R(t_i, \theta)^{g_i} [1 - R(t_i, \theta)]^{n_i - g_i} \quad (6)$$

이 식을 이용하면 우도함수는 다음 식과 같이 주어진다.

$$L = \prod_{i=1}^k \frac{n_i!}{g_i!(n_i - g_i)!} R(t_i, \theta)^{g_i} [1 - R(t_i, \theta)]^{n_i - g_i} \quad (7)$$

이 때 최우 추정값은 θ 에 대하여 L 의 log의 미분계수를 0으로 설정함으로써 얻어진다.

$$F(\theta) = \frac{\partial}{\partial \theta} (\ln L) = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - g_i)t_i}{(e^{\theta t_i} - 1)} - g_i t_i = 0 \quad (8)$$

θ 의 최우 추정값을 얻기 위해 식 (8)을 θ 에 대하여 풀어야 한다. 만약 $k=1$, $n_1=N$, $g_1=G$, $t_1=T$ 라고 설정하면, 식 (8)에 대한 해는 식 (5)에서 주어진 것과 같이 정확히 θ_0 가 된다.

불행하게도 식 (8)은 $k=1$ 을 제외하고는 정확히 해가 구해지지 않는다. 따라서 대부분의 경우에 있어서 뉴턴-랩슨법과 같은 반복(루프)기술을 이용하여 θ 에 대한 해를 구하는 것이 필요하다.

먼저 θ 의 최초 추정값이 필요하다. 최상의 후보는 식 (5)에서 주어진 단순 방법의 추정값 θ_0 가 된다. 다음에는 θ 에 대하여 $F(\theta)$ 의 미분계수를 정하는 것이 필요하다. 이것은 다음과 같이 주어진다.

$$F'(\theta) = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - g_i)t_i^2}{(e^{\theta t_i} - 1)^2} e^{\theta t_i} \quad (9)$$

다음으로 아래 식에 의해 θ 에 대한 해를 반복적으로 구한다.

$$\theta_k = \theta_{k-1} - \frac{F(\theta_{k-1})}{F'(\theta_{k-1})} \quad (10)$$

이 과정은 θ_k 에서의 상대변화가 무시될 수 있을 때까지 즉 컴퓨터가 지시할 수 있는 최소 숫자 분해능까지 편차가 작아질 때까지 반복되어진다. 본 연구의 개발 프로그램에서는 다음과 같은 때까지의 반복과정에 의해 계산하였다.

$$\frac{F(\theta_k)/F'(\theta_k)}{\theta_k} \leq 0.00001 \quad (11)$$

θ_k 의 최종값은 식 (1)에 있는 θ 의 MLE 방법에 의한 추정치 $\hat{\theta}$ 로서 채택되어진다.

③ 신뢰도 함수 추정

식 (1)에 있는 파라미터 θ 의 단순 방법과 MLE 방법에 의한 추정 결과인 θ_0 와 $\hat{\theta}$ 가 각각 구해지면, 이로부터 적용된 신뢰도 함수를 각각 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{R}(t, \hat{\theta}) = e^{-\hat{\theta}t}, \quad \bar{R}(t, \hat{\theta}) = e^{-\hat{\theta}t}$$

3.2.4 적합성 검정 및 모델 선택

단순 방법과 MLE 방법에 의하여 모델링이 정해지면 이를 선택해야 하며, 이는 측정 신뢰도에 대한 허용차 초과 분석을 통하여 교정에 관한 제반 요인을 파악하고 난 후, 이에 따른 여러 가지 형태의 모델을 만들어서 산업계 현장에 적합한 형태를 선택해야 한다. 이러한 신뢰도 모델링은 수학적으로 불확실한 성장 과정의 모형을 사용함으로써 가능하다. 이는 MTE(Measuring and Test Equipment) 디자인의 공학적 분석, 안정된 부품, 사용자의 사용 형태 및 근접한 신뢰도 모델의 차이점 등으로부터 적절한 결정이 수월하게 된다. 대부분의 예에서는 그와 같은 것은 이용 불가능하며, 이 경우에 적합하고 신뢰할 수 있는 모델은 데이터가 가장 알맞은 모델과 허용차 초과 시간 급수로부터 생존할 수 있는 모델을 비교하는 것에 의해서 결정된다.

① 적합성 검정

신뢰도 모델에 대한 적합성 검정은 ‘적합결여(lack of fit)’ 오차로서 $\hat{R}(t, \hat{\theta})$ 와 $\bar{R}(t_i)$, $i=1, 2, \dots, k$ 사이의 부적합성으로 발생한 오차와 표본의 포인터 주위에서 발견된 적합성의 고유한 순수 오차로서 언급된 오차들을 비교한다. ‘적합결여’ 오차의 산포가 ‘순수’ 오차의 산포에 비해 상대적으로 크면 선택되는 모델은 부적합한 것으로 볼 수 있다. 이를 위한 분산분석표가 <표 6>에 제시되어 있다.

<표 6> 적합성 검정을 위한 분산분석표

요인	df	SS	MS	F_0	p
적합결여 오차	$k - m$	LSS	$MS_L = \frac{LSS}{k - m}$	$F_0 = \frac{MS_L}{MS_E}$	$Pr(F \geq F_0)$
순수 오차	$n - k$	ESS	$MS_E = \frac{ESS}{n - k}$		
잔차	$n - m$	RSS			

단, $ESS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{R})^2 = \sum_{i=1}^k n_i R_i (1 - R_i)$,
 $RSS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - R_i)^2 = \sum_{i=1}^k n_i (R_i - 2R_i R_i + R_i^2)$,
 $LSS = RSS - ESS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (R_i - R_i)^2 = \sum_{i=1}^k n_i (R_i - R_i)^2$,
 $F \sim F(k - m, n - k)$.

만약 적합결여의 데이터가 고유분산에 대해 크다면 즉, LSS가 ESS 보다 크면, 그 모형은 적당하지 않다고 할 수 있다. ESS에 비해 증가된 LSS의 결과는 F_0 의 증가된 값이 포함된 결과이고, 변수 F_0 는 신뢰도 모델의 적합성 측정을 할 수 있다. 따라서 F_0 의 값이 크면 클수록 즉, p 값이 작을수록 또는 기각 신뢰수준(rejection confidence level) $(1 - p)$ 값이 클수록 모델은 적합하지 않은 것으로 판단할 수 있다.

② 모델 선정 기준

신뢰도 모델에 대한 적합성 시험이 이루어지면 측정 신뢰도 모델링을 가장 잘 나타내는 모델을 선택하는 과정에 임하게 된다. 최초에는 최적의 모델은 신뢰도 모델에 대한 적합성 검정에서 가장 낮은 거부 신뢰수준을 갖는 모델이 될 것이라고 추정할 수 있다. 신뢰도 모델에 대한 적합성 검정에 의한 거부 신뢰수준이 모델을 선택하는 데 있어서 확실히 중요한 요소가 된다고 하더라도, 경제적(economic) 또는 민주적(democratic) 기준 등 또 다른 사항들을 고려할 필요성이 대두된다. 이러한 사항을 종합적으로 고려한 측도로, 다음과 같이 정의 되어지는 각각의 신뢰도 모델에 대한 G 값을 계산함으로써 신뢰도 모델을 선정하는데 활용할 수 있다.

$$G = \frac{N_G}{C} t_R^{1/4} \tag{12}$$

여기서 C 는 모델에 대한 거부 신뢰수준이고, N_G 는 모델이 속하는 그룹의 크기, 그리고 t^k 은 다음으로부터 얻어진다.

$$\hat{R}(t_k, \hat{\theta}) = 1 - R^* \tag{13}$$

여기서 R^* 는 목표 신뢰도이다. 식 (12)의 G 는 어떠한 수리적 이론의 전개로 나온 결과는 아니며, 실제 경우의 실험과 전문가적 분석에 의해 결정된 것이다.

3.2.5 교정주기 결정

① 교정주기 계산

일단 신뢰도 모델이 선택되면, 정해진 EOP(End Of Period) 목표 신뢰도 R^* 에 부합한 교정주기 간격 T 의 계산은 식 (14)로부터 얻을 수 있다.

$$\hat{R}(T, \hat{\theta}) = R^* \quad (14)$$

T 의 해가 직접 계산이 가능하다면 다행이지만, 지수 모델 이외에 다른 모델을 고려하는 경우에 일반적으로 그렇지 않은 경우가 발생한다. 이 때 추천된 방법으로는 두 번의 과정을 포함한 한계이다. 우선적으로 뉴턴-랩슨법을 사용하여 T 의 해를 푸는 방법으로서, 만약 해가 수렴하지 않는다면, T 의 값이 $\hat{R}(T, \hat{\theta}) > R^*$ 이 될 때까지 증가시켜 trial-and-error 방법에 의해 T 를 얻는다.

② 교정주기 신뢰한계

T 에 대한 상한과 하한 신뢰한계는 지정된 교정주기 간격이 요구되어지는 경계들을 표시하기 위하여 계산된다. 특정한 신뢰도 모델에 대한 한계를 평가하는 방법이 있다 하더라도 검증 받은 데이터의 분석을 적용한 임의 모델을 위한 한계를 계산할 가치가 일반적인 방법은 없다. 따라서 교정주기 간격에 적용할 수 있는 직접적인 방법을 공식화하는 것을 시도하는 것보다는 오히려 신뢰도의 측정을 제한함으로써 효과적인 결과를 얻을 수 있다.

T 에 대한 상한과 하한 한계를 τ_u 와 τ_l 로 표시할 때, 이는 각각 다음의 관계식으로부터 신뢰수준 $1-\alpha$ 에 대하여 계산된다.

$$\hat{R}(\tau_u, \hat{\theta}) + z_\alpha \sqrt{Var[\hat{R}(\tau_u, \hat{\theta})]} = R^* \quad (15)$$

$$\hat{R}(\tau_l, \hat{\theta}) - z_\alpha \sqrt{Var[\hat{R}(\tau_l, \hat{\theta})]} = R^* \quad (16)$$

단, z_α 는 다음 식으로부터 얻어진다.

$$1 - \alpha = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-z_\alpha}^{\infty} e^{-\xi^2/2} d\xi$$

식 (15)와 식 (16)은 이항분포를 따르는 $\hat{R}(t, \hat{\theta})$ 에 대하여 정규 근사화에 근거하여 구한 것이고, 또한 주기 T 대신에 추정된 신뢰도 함수 $\hat{R}(t, \hat{\theta})$ 를 취급하기 때문에 대략적인 상한과 하한 한계를 제공한다 하는 것에 유의해야 한다.

4. 교정주기 분석 프로그램

앞서 살펴보았듯이 측정기에 대한 교정주기는 여러 가지 방법에 의해 설정 가능하므로, 자체적으로

주기를 설정하고자 하는 해당 업체 및 기관에서는 각각의 실정에 적합한 방법을 선택하여 활용할 수 있다. 하지만 A3 방법이나 MLE 방법에 의한 교정주기 설정에 있어서 제반절차 및 과정이 통계적인 기법을 근거로 산출되기 때문에 산업현장의 실무자들이 이를 적용하는 데에는 많은 어려움이 있을 수 있다. 따라서 이러한 어려움을 해소할 수 있는 프로그램을 개발하여 사용자가 기본적인 개념의 이해를 통하여 간편하고 정확하게 교정주기를 산출할 수 있는 도구의 필요성이 절실히 요구되며, 이를 위해 본 연구에서는 여러 가지 주기 설정 방법들 중에서 A3 및 MLE 방법에 의한 교정주기 분석 프로그램을 개발하였다. 개발 프로그램은 PHP를 기반으로 웹(web) 상에서 운영되도록 구현하였고, DB는 MySQL를 사용하였다. 이 장에서는 개발된 교정주기 분석 프로그램의 특징과 주요 기능들을 소개하고자 한다.

4.1 교정주기 분석 프로그램 소개

개발된 프로그램의 사용을 위하여 관리자 로그인 을 하게 되면 <그림 5>와 같은 초기화면을 볼 수 있는데, 이 화면은 크게 교정 이력 데이터 관리(업체/기관 및 측정기 정보, 교정 이력 데이터 관리) 부분과 교정주기 분석(A3 및 MLE) 부분으로 구성하였다.



<그림 5> 교정주기 분석 시스템의 초기 화면

4.2 교정주기 분석 프로그램의 특징

- ① 한글 지원
본 연구에서 개발한 교정주기 분석 프로그램의

가장 큰 특징은 언어가 한글이라는 것이다. 기존의 상용화된 주기 분석 프로그램들은 모두 영어를 사용하므로 사용자들이 불편을 느끼는 경우가 많았으나, 본 프로그램은 한글로 작성되어 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하였다.

② 데이터 베이스

본 프로그램은 모든 교정 관련 정보를 데이터베이스화한다. 교정 의뢰기관/업체, 측정기 정보(측정기명, 제조사명, 모델명, 스펙 정보), 교정 성적 데이터(교정 성적서에 기록되는 모든 데이터 및 교정 결과 값) 등이 모두 데이터베이스화되어 언제든지 검색하여 열람할 수 있도록 하였다. 데이터베이스는 MS사의 MySQL을 사용하였다

③ 교정 이력 데이터 파일 가져오기(Import)/내보내기(Export) 기능 제공

본 프로그램에서는 교정 이력 데이터의 보다 편리하고 효율적인 관리를 위하여 대상 측정기의 교정 이력 데이터가 외부 파일(*.csv)로 존재하는 경우에는 이를 본 프로그램으로 가져오기(Import)를 할 수 있는 기능과 DB에 저장된 전체 또는 특정 측정기의 교정 이력 데이터를 외부 파일(*.xls)로 내보내기(Export)를 할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

④ 웹 기반의 편리한 사용자 인터페이스 환경

개발된 교정주기 분석 프로그램은 PHP를 기반으로 웹(web)상에서 운영되도록 구현함으로써, 이미 익숙하게 사용하고 있는 인터넷 환경과 같은 그래픽 인터페이스를 통해 사용자가 편리하게 작업을 수행할 수 있도록 하였다.

⑤ 과거 교정 이력 데이터의 검색 기능

본 프로그램에서는 일련번호, 모델, 제조사, 측정기 등과 같이 다양한 조건 하에서 교정 이력 데이터를 검색할 수 있는 기능을 제공함으로써 과거 교정 이력 데이터의 추이 변화 등을 식별 가능하도록 하였다.

⑥ 분석 결과에 대한 유효성 검증 실시

주기 분석 수행 결과에서 제공되는 다양한 값들에 대한 유효성을 가능한 모든 도구(MS Excel, ISG 제공 A3 Interval Tester 프로그램, Mathematica,

통계패키지 Minitab 등)들을 활용하여 검증하였다.

4.3 교정 이력 데이터 관리

측정기의 교정주기 분석을 위해서는 기본적으로 측정기 및 업체/기관 정보와 교정 이력 데이터가 필수적으로 요구된다. 이를 간편하게 관리할 수 있는 부분을 포함하여 프로그램을 개발하였으며, 이 절에서는 이러한 부분의 세부항목의 간단한 소개와 개발 화면을 소개하고자 한다.

4.3.1 업체/기관 정보 관리(<그림 6>)

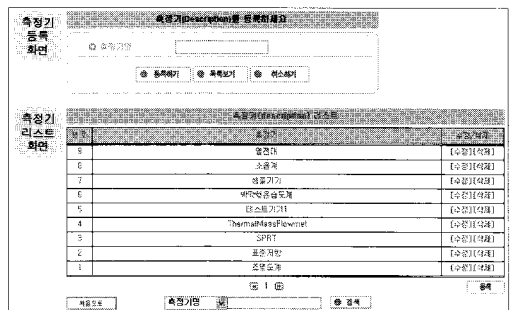
이 화면에서는 신규 업체/기관 등록과 기 등록된 업체/기관 정보 열람 및 수정, 삭제 등의 작업을 수행한다.



<그림 6> 업체/기관 정보 등록 및 리스트 화면

4.3.2 측정기 정보 관리(<그림 7>)

이 화면에서는 신규 측정기들을 등록하고 기등록된 측정기들의 정보 열람 및 수정, 삭제 등을 수행한다.

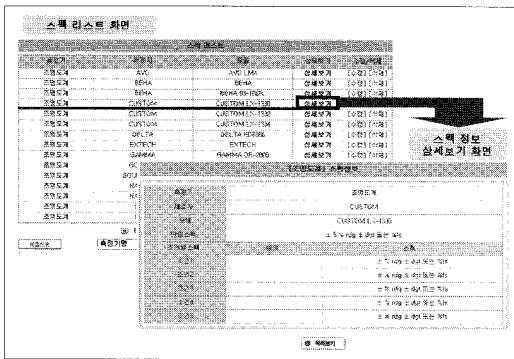


<그림 7> 측정기 등록 및 리스트 화면

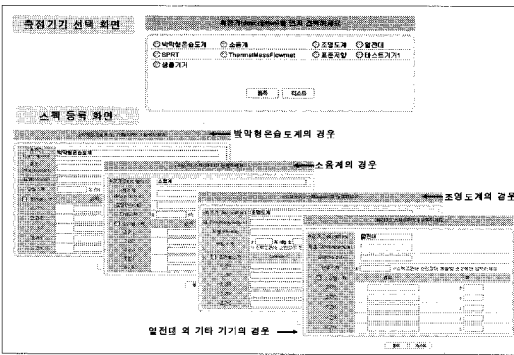
4.3.3 스펙 정보 관리(<그림 8>, <그림 9>)

이 화면에서는 다음과 같은 작업을 수행할 수 있다.

- 기등록된 측정기별 스펙 정보 열람 및 수정, 삭제
- 측정기별 스펙 정보의 신규 등록

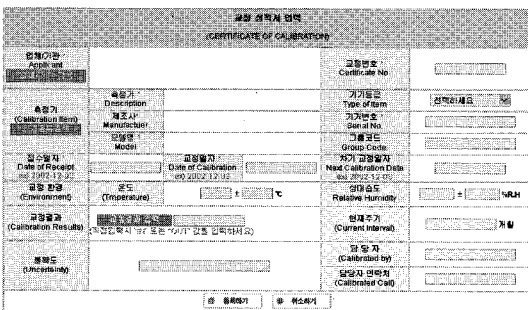


<그림 8> 스펙 리스트 및 상세보기 화면

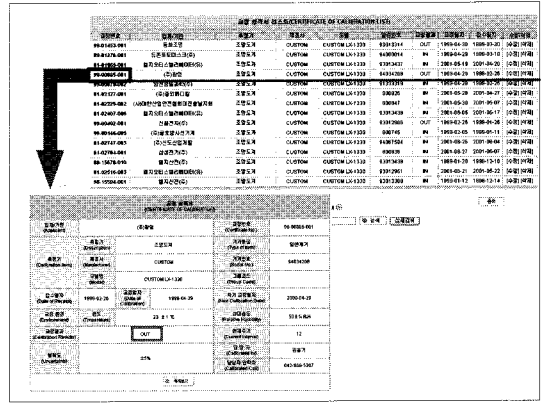


<그림 9> 스펙 정보 등록 화면

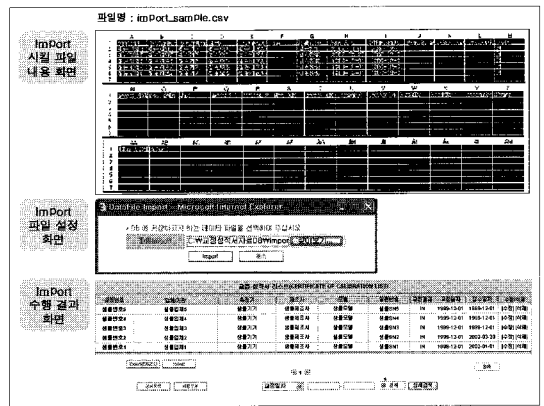
4.3.4 교정 성적서 관리(<그림 10>~<그림 13>) 이 화면에서는 측정기의 교정 성적서 데이터 등록과 기등록된 교정 성적서 데이터 열람 및 수정, 삭제 등을 수행할 수 있다. 또한 외부파일(*.csv)로 존재하는 교정 성적서 데이터 파일 가져오기와 DB에 저장된 교정 성적서 데이터를 외부 파일(*.xls)로 내보내기 기능도 수행할 수 있다.



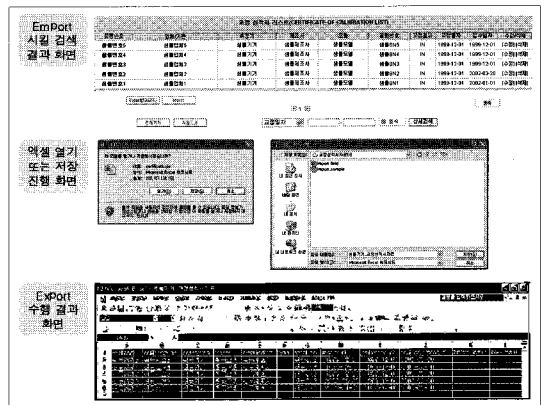
<그림 10> 교정 성적서 데이터 등록 화면



<그림 11> 교정 성적서 리스트 및 상세보기 화면



<그림 12> 교정 성적서 데이터 Import 처리 화면



<그림 13> 교정 성적서 데이터 Export 처리 화면

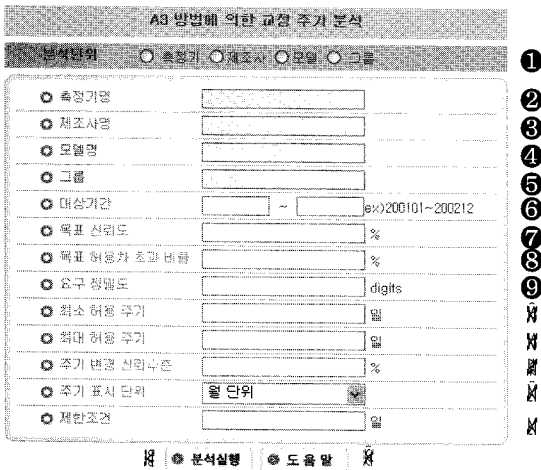
4.4 교정주기 분석

이 절에서는 앞서 소개된 교정 이력 데이터 관리에 의해 입력된 측정기의 교정 이력 데이터를 바탕으로, 본 연구에서 개발된 A3 및 MLE 방법(단순 방

법 포함)에 의한 교정주기 분석 프로그램을 이용하여 주기 분석을 수행하는 방법을 소개하고자 한다.

4.4.1 A3 방법에 의한 교정주기 분석

A3 방법에 의하여 교정주기 분석을 수행하고자 하는 경우, <그림 5>의 초기화면 하단부에 있는 [A3] 버튼을 클릭하면 <그림 14>와 같은 A3 방법의 분석 초기화면을 볼 수 있다.

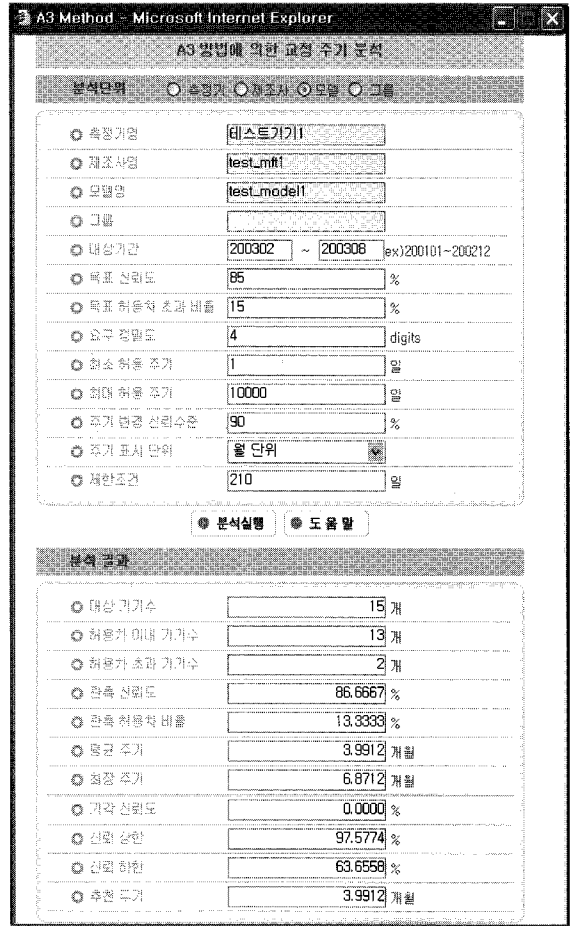


<그림 14> A3 분석 방법의 초기화면

분석을 위한 각 부분의 내용을 <그림 14>에서 제시된 항목 번호순으로 정리하면 다음과 같다.

- ① : 교정주기 분석 단위 및 대상 측정기/제조사/모델/그룹 선택
- ②~⑤ : 분석 단위 및 대상 측정기/제조사/모델/그룹 선택에 의해 자동 입력되는 부분
- ⑥ : 분석할 대상 기간을 년월 형태로 입력
- ⑦ : 목표로 하는 측정 신뢰도 값을 % 형태로 입력
- ⑧ : 목표로 하는 허용차 초과 비율(= (100 - 목표 신뢰도) %)로 자동 입력 됨
- ⑨ : 분석 결과 값들을 표시할 소수점 이하 자릿수 지정
- ⑩ : 최소한 허용 가능한 주기를 “일” 단위로 입력
- ⑪ : 최대한 허용 가능한 주기를 “일” 단위로 입력
- ⑫ : 주기 변경 검정시 사용할 신뢰수준(= 1 - 유의수준)을 % 형태로 입력
- ⑬ : 분석 결과 중 주기 관련 값들에 대한 표시 단위를 해당 항목 중에서 선택
- ⑭ : 재의뢰시간²⁾에 대한 제한조건을 설정하고자 하

- 는 경우 “일” 단위로 입력
- ⑮ : 설정된 기준에 따라 분석을 수행
- ⑯ : <A3 방법에 의한 교정주기 분석> 수행을 위한 도움말 제공



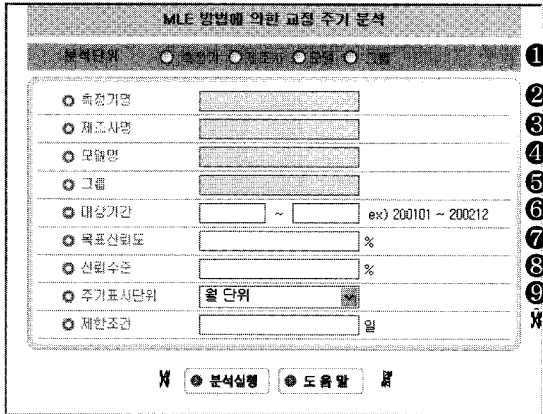
<그림 15> A3 방법의 분석 수행 화면(예시)

앞의 <그림 15>는 특정 모델에 대하여 A3 분석 방법에 의한 분석 대상과 기준 설정 및 분석 결과의 예시를 보여주는 화면이다.

4.4.2 MLE 방법에 의한 교정주기 분석

MLE 방법에 의하여 교정주기 분석을 수행하고자 하는 경우, <그림 5>의 초기화면 하단부에 있는 [MLE] 버튼을 클릭하면 <그림 16>과 같은 MLE 방법의 분석 초기화면을 볼 수 있다.

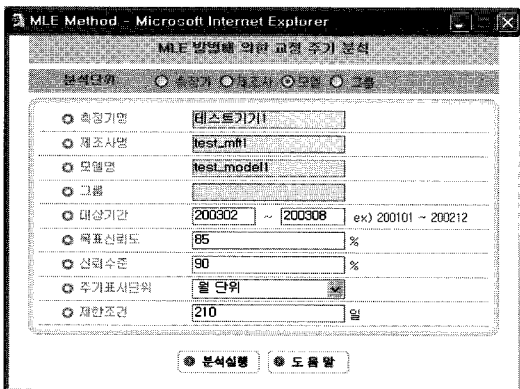
- 2) 재의뢰시간은 연속적인 교정 재의뢰들 간에 경과된 시간을 의미한다.



<그림 16> MLE 분석 방법의 초기화면

분석을 위한 각 부분의 내용을 <그림 16>에서 제시된 항목 번호순으로 정리하면 다음과 같다.

- ① : 교정주기 분석 단위 및 대상 측정기/제조사/모델/그룹 선택
- ②~⑤ : 분석 단위 선택에 의해 자동 입력되는 부분
- ⑥ : 분석할 대상 기간을 년월 형태로 입력
- ⑦ : 목표로 하는 측정 신뢰도 값을 % 형태로 입력
- ⑧ : 파라미터 및 주기에 대한 신뢰한계 설정을 위한 신뢰수준 값을 % 형태로 입력
- ⑨ : 분석 결과 중 주기 관련 값들에 대한 표시를 일 단위로 지정
- ⑩ : 재의뢰시간에 대한 제한조건을 설정하고자 하는 경우 “일” 단위로 입력
- ⑪ : 설정된 기준에 따라 분석을 수행
- ⑫ : <MLE 방법에 의한 교정주기 분석> 수행을 위한 도움말 제공

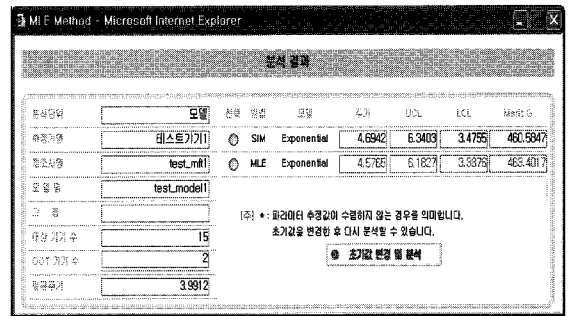


<그림 17> MLE 방법의 분석 대상 및 기준 설정 화면 (예시)

<그림 17>은 특정 모델에 대하여 MLE 분석 방법에 의한 분석 대상 및 기준 설정의 예시를 보여주는 화면으로, 설정된 대상 및 기준에 따라 수행된 분석 결과가 <그림 18>~<그림 20>에 제시되어있다. 각각에 대하여 세부적으로 살펴보기로 한다.

① 전체 분석 결과 요약

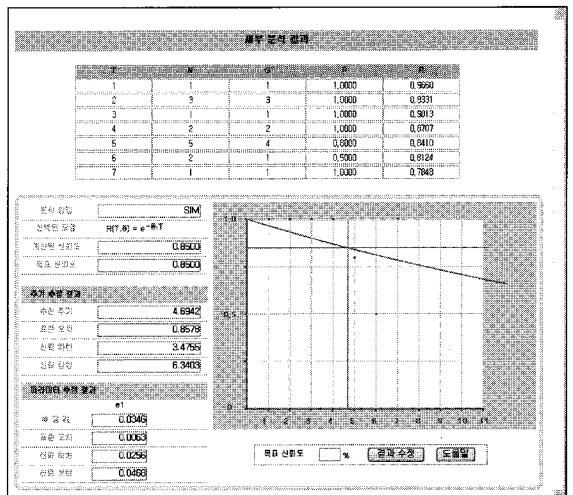
<그림 18>은 전체적인 분석 결과에 대한 요약 화면으로, 분석 대상에 대한 기본 정보 및 관측값, 신뢰도 모델별 주기 분석 요약 결과를 보여준다.



<그림 18> MLE 방법에 의한 전체 분석 결과 요약 화면

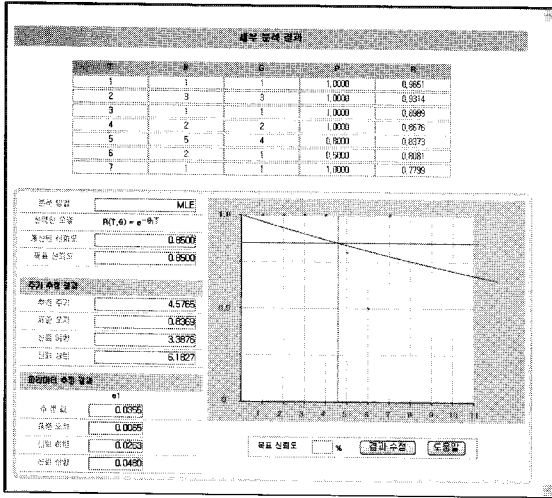
② 지수 모델(SIM)에 대한 세부 분석 결과

<그림 19>는 지수 모델에 대하여 SIM(단순추정) 방법을 적용했을 때의 주기 분석에 대한 세부 분석 결과로, 파라미터 및 주기 추정 등에 대한 상세한 정보를 확인할 수 있다.



<그림 19> MLE 방법에 의한 세부 분석 결과 화면 : 지수-SIM

③ 지수 모델(MLE)에 대한 세부 분석 결과
 <그림 20>은 지수 모델에 대하여 MLE 방법을 적용했을 때의 주기 분석에 대한 세부 분석 결과로, 역시 파라미터 및 주기 추정 등에 대한 상세한 정보를 확인할 수 있다.



<그림 20> MLE 방법에 의한 세부 분석 결과 화면 : 지수-MLE

5. 주요 측정기에 대한 교정주기 분석 수행 및 결과

본 장에서는 일반적으로 산업현장에서 사용되는 측정기들에 대하여 현재 적용되고 있는 주기의 적정성을 확인하고 개발된 프로그램에 의한 주기 분석 결과의 타당성을 검토하기 위하여, 몇몇 주요한 측정기를 선정하고 한국표준과학연구원에서 보유하고

있는 관련 교정 이력 데이터를 수집하여 각 측정기별로 A3 방법과 MLE 방법에 의한 주기 분석을 수행하고, 그 결과를 비교·분석하였다.

분석 대상 측정기로는 환경 관련 분야에서 3개의 측정기(소음계, 조명도계, 박막형온습도계)와 기타 4개의 측정기(열전대, SPRT, Thermal Mass Flowmeter, 표준저항)를 선정하였다. 먼저 선정된 측정기들에 대한 교정 이력 데이터의 확보는 <표 7>에 제시된 바와 같이 각 측정기별 현재 적용 주기를 고려하여 일련번호 단위로 최소한 연속 2회 이상의 교정 기록이 포함되도록 기간을 설정하여 수집하였으며, 이를 개발된 프로그램에 입력하여 교정 이력 DB를 생성하였다.

다음으로 교정주기 분석을 위해 필수적인 기기상태 즉, 허용차 초과 여부에 대한 관측값의 생성은 측정기별 해당 부서와의 논의 및 관련 근거 자료를 바탕으로 <표 8>과 같은 기준에 의해 생성하였다.

선정된 각 측정기에 대해 확보된 교정 이력 데이터를 바탕으로 개발된 프로그램에 의한 교정주기 분석은 최대 4가지 분석 단위(측정기, 제조사, 모델, 그룹)로 분석이 가능하며, 요구되는 데이터의 수(A3 방법의 경우에는 제한이 없지만, MLE 방법의 경우에는 최소 30개 이상)를 고려하여 각 분석 단위별로 분석 대상 수량이 15 대 이상인 경우에 한하여 분석을 수행하였다. 이 때 측정기별로 분석 수행시 설정된 분석 대상 및 기준은 <표 9>와 같다.

개발된 프로그램에 의해 수행된 분석 결과를 각 측정기별로 제시하면, <표 10>~<표 16>과 같다. 각각의 분석 결과를 살펴보면, 분석 단위별로 A3 방법에서 1개 및 MLE 방법에서 2개의 추천 주기

<표 7> 측정기별 교정 이력 데이터 확보 현황

측정기명	현재 적용 주기 (단위 : 월)	데이터 수집 기간	입력 건수	제조사수	모델수
소음계	18	1999.01~2003.12	2,987	40	131
조명도계	12	1999.01~2003.12	3,632	35	84
박막형온습도계	12	1999.01~2003.12	496	3	34
열전대	12	2002.01~2004.12	62	-	1
SPRT (표준백금저항온도계)	18	2001.01~2004.12	101	10	16
Thermal Mass Flowmeter	6	2003.11~2005.09	231	2	3
표준저항	18	2000.07~2004.12	1,093	7	14

<표 8> 측정기별 허용차 초과 여부의 판단 기준

측정기명	허용차 초과 여부의 판단 기준	비 고
소음계	±1.5 dB을 벗어나는 경우, 허용차 초과로 판단	KS C 1502
조명도계	±5 %를 벗어나는 경우, 허용차 초과로 판단	해당 부서와의 협의
박막형온습도계	±1.6 %를 벗어나는 경우, 허용차 초과로 판단	해당 부서와의 협의
열전대	일련번호 단위의 전체 교정 기록에 대해 1,000 ℃에서의 값을 첫 교정을 기준으로 하여 그 차이가 불확도 보다 큰 경우, 허용차 초과로 판단	해당 부서와의 협의
SPRT (표준백금저항온도계)	물의 삼중점 값의 경년 변화가 불확도 보다 큰 경우, 허용차 초과로 판단	해당 부서와의 협의
Thermal Mass Flowmeter	±1 % F.S를 벗어나는 경우, 허용차 초과로 판단	해당 부서와의 협의
표준저항	각 제조사에서 제공하는 매뉴얼에서 Accuracy 또는 Stability를 기준으로 허용차 초과 여부 판단	해당 부서와의 협의 및 기기 매뉴얼

<표 9> 측정기별 분석 대상 및 기준

측정기명	대상 기간*	제한조건* (단위 : 일)	기타 항목들
소음계	200207~200312	730	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 목표 신뢰도* : 85 (%) ◦ 요구 정밀도* : 4 ◦ 최소 허용주기* : 1 (일) ◦ 최대 허용주기* : 10000 (일) ◦ 주기 표시 단위* : 월단위 ◦ 주기 변경 신뢰수준* : 90 (%) ◦ 신뢰수준* : 90 (%)
조명도계	200301~200312	548	
박막형온습도계	200301~200312	548	
열전대	200401~200412	548	
SPRT(표준백금저항온도계)	200307~200412	730	
Thermal Mass Flowmeter	200502~200507	274	
표준저항	200307~200412	730	

주) * A3 및 MLE 공통 적용 항목, † A3 적용 항목, ‡ MLE 적용 항목

<표 10> 교정주기 분석 수행 결과 : 소음계의 경우

분석 단위	제조사	모 델	대상 기기 수	IN 기기 수	관측 신뢰도 (단위 : %)	평균 주기	추천주기		
							A3	MLE	
								지수 SIM	지수 MLE
측정기			374	276	73.79	18	14	10	10
제조사	Lucas		20	19	95.00	17	17	55	55
	Ono sokki		30	28	93.33	8	18	43	43
	Onsoku		54	16	29.62	18	9	2	2
	Rion		82	72	87.80	19	19	24	24
	Tes		17	15	88.23	12	18	25	24
	Yokogawa		115	98	85.21	18	18	19	19
모 델	Yokogawa	3604	93	79	84.94	18	18	18	18
	Onsoku	OS-11	54	18	33.33	18	9	3	3
	Rion	NA-24	27	23	85.18	19	19	20	20
	Ono sokki	LA-210	18	16	88.88	18	18	25	25
	Yokogawa	3604A	22	18	81.81	18	18	15	15

<표 11> 교정주기 분석 수행 결과 : 박막형온습도계의 경우

분석 단위	제조사	모델	대상 기기 수	IN 기기 수	관측 신뢰도 (단위 : %)	평균 주기	추천주기		
							A3	MLE	
								지수 SIM	지수 MLE
측정기			55	11	20.00	13	6	1	1
제조사	Testo		27	7	25.92	12	6	2	2
	Vaisala		25	3	12.00	13	7	1	1

<표 12> 교정주기 분석 수행 결과 : 조명도계의 경우

분석 단위	제조사	모델	대상 기기 수	IN 기기 수	관측 신뢰도 (단위 : %)	평균 주기	추천주기		
							A3	MLE	
								지수 SIM	지수 MLE
측정기			311	248	79.74	12	11	9	9
제조사	Tokyo		33	26	78.78	13	13	9	9
	Custom		17	15	88.23	13	13	17	17
	Hioki		64	50	78.12	13	13	9	9
	Minolta		31	24	77.41	13	13	8	8
	Tes		34	31	91.17	12	12	22	22
	Topcon		25	21	84.00	13	13	12	12
	Yokogawa		66	57	86.36	12	12	14	14
모 델	Tokyo	ANA F9	26	21	80.76	13	13	10	10
	Hioki	3421	16	12	75.00	12	12	7	7
	Hioki	3422	24	18	75.00	13	13	7	7
	Hioki	3423	24	20	83.33	13	13	12	12
	Tes	1330	20	19	95.00	12	12	41	41
	Topcon	IM-2D	19	17	89.47	13	13	19	19
	Yokogawa	3281	45	37	82.22	13	13	11	11

<표 13> 교정주기 분석 수행 결과 : Thermal Mass Flowmeter의 경우

분석 단위	제조사	모델	대상 기기 수	IN 기기 수	관측 신뢰도 (단위 : %)	평균 주기	추천주기		
							A3	MLE	
								지수 SIM	지수 MLE
측정기			60	31	51.66	6	3	2	2
제조사	Volumetrics		28	13	46.42	6	3	1	1
	Jain-LRM		32	18	56.25	7	4	2	2
모 델	Volumetrics	14342-3	16	8	50.00	6	3	2	1
	Jain-LRM	V2.0	32	17	53.12	7	3	2	2

<표 14> 교정주기 분석 수행 결과 : 열전대의 경우

분석 단위	제조사	모델	대상 기기 수	IN 기기 수	관측 신뢰도 (단위 : %)	평균 주기	추천주기		
							A3	MLE	
								지수 SIM	지수 MLE
모델	-	S-Type	28	27	96.42	13	13	59	59

<표 15> 교정주기 분석 수행 결과 : SPRT의 경우

분석 단위	제조사	모델	대상 기기 수	IN 기기 수	관측 신뢰도 (단위 : %)	평균 주기	추천주기		
							A3	MLE	
								지수 SIM	지수 MLE
측정기			15	6	40.00	19	10	4	4

<표 16> 교정주기 분석 수행 결과 : 표준저항의 경우

분석 단위	제조사	모델	대상 기기 수	IN 기기 수	관측 신뢰도 (단위 : %)	평균 주기	추천주기		
							A3	MLE	
								지수 SIM	지수 MLE
측정기			224	164	73.21	18	14	9	9
제조사	Guildline		39	14	35.89	19	10	3	3
	IET		42	34	80.95	18	18	15	15
	L&N		18	9	50.00	13	6	3	3
모델	ESI	SR1	46	43	93.47	19	19	48	48
	Fluke	742A	34	25	73.52	19	19	10	10
	Guildline	9330	23	7	30.43	21	10	3	3
	IET	SRL	37	29	78.37	18	18	12	12
	Tinsley	5685A	19	18	94.73	19	19	58	59
	YEW	2792	26	21	80.76	19	19	15	15
그룹	SR-1		24	17	70.83	19	19	9	9
	SR-10		24	19	79.16	19	19	13	13
	SR-100		25	17	68.00	19	13	8	8
	SR-1K		25	15	60.00	18	11	6	6
	SR-10K		26	19	73.07	19	19	10	10
	SR-100K		19	12	63.15	18	12	7	7
	SR-1M		20	16	80.00	19	19	14	4
	SR-10M		16	13	81.25	20	20	16	16

결과를 확인할 수 있다. 이 때 주기 설정을 위해 어떤 결과를 활용할 것인가에 대한 문제가 고려되어야 할 것이다. 1차적으로 A3 방법에 비해 정확한

주기 설정이 가능한 것으로 알려진 MLE 방법에 대한 결과를 고려할 수 있지만, MLE 방법들은 분석을 위해 대량의 데이터를 요구한다는 점을 간과해서는

안될 것이다. 따라서 분석 대상 수량이 대체적으로 30개 이상인 경우에는 MLE 분석 방법의 결과를, 그렇지 않은 경우에는 A3 방법에 의한 추천 주기 결과를 고려하는 것이 바람직하다고 하겠다. 참고로 제시된 표들의 MLE 방법에 대한 추천 주기 결과 중에서 “굵은 글씨”는 신뢰도 모델의 선정 기준 G 값에 의해 선택된 결과를, 그리고 “음영” 부분은 제시된 추천 주기 결과들 중에서 분석 대상 기기 수를 고려하여 최종적으로 권고되어질만한 추천 주기를 표시한 것이다. 이러한 결과들은 <표 8>과 <표 9>에서 제시된 사항을 기준으로 수행된 분석결과이며, 일반 산업체 및 기관에서는 자체적으로 설정된 기기별 허용차라든가 목표 신뢰도의 변경 등 현장의 상황에 맞게끔 그 기준을 변경하여 분석을 수행할 수 있다. 이 때 개발된 프로그램에 의해 수행된 분석 결과에 전적으로 의존하기 보다는 실제로 대상 측정기를 사용하고 있는 실무자나 관련 전문가 등의 의견 등을 종합적으로 고려하는 것 역시 최적의 교정 주기를 설정하는데 있어서 중요한 요소라고 할 수 있을 것이다.

6. 결 론

일반 산업현장에서 사용되고 있는 측정기의 교정 대상 및 주기와 관련하여 국가교정기관인정제도 운영요령 및 운영세칙에서는 측정기의 정밀정확도, 안정성, 사용목적, 환경 및 사용빈도 등을 감안하여 과학적이고 합리적인 기준을 제시함으로써 자체적으로 교정주기를 설정할 수 있다고 명시하고 있으며, 교정주기 설정을 위한 가이드라인 및 다양한 교정주기 설정 방법들을 소개하고 있다. 그럼에도 불구하고 실제 현장에서는 사용되는 측정기에 대하여 경험적으로 주기 조정의 필요성을 인식하면서도 자체적인 주기를 설정하여 관리하는 경우는 거의 없는 실정이다. 이는 제시된 교정주기 설정에 있어서 제반 절차 및 과정이 통계적인 기법을 근거로 산출되기 때문에 산업현장의 실무자들이 이론적 배경을 이해하고 이를 적용하는 데에 많은 어려움이 있을 뿐만 아니라 개발의 노력과 비용 또한 부담이 되기 때문이라 사료된다.

따라서 본 논문에서는 산업현장의 실무자들이 교정주기 설정에 대한 기본적인 개념의 이해를 위한 지침서와 이를 통하여 간편하고 정확하게 교정주기를

산출할 수 있는 프로그램 및 매뉴얼을 개발하였다. 또한 샘플 데이터에 대하여 다양한 도구들을 활용하여 개발된 프로그램에 대한 유효성을 검증하고, 분석 대상으로 선정된 주요 측정기에 대한 교정 이력 데이터를 확보하여 이를 개발된 프로그램에 적용하여 측정기/제조사/모델/그룹별 분석을 수행하여 결과를 비교·분석함으로써 프로그램의 타당성과 활용성을 확인하였다.

만일 산업체 및 교정기관에서 측정기의 교정주기 설정을 위해 관련 인원에 대한 실무적인 교육이 제도적으로 활성화되고 경험적인 데이터의 수집과 분석이 충분히 이루어진다면, 산업현장에서 사용되고 있는 측정기에 대하여 과학적이고 합리적인 기술기준을 제시할 수 있는 자체 교정주기를 설정하여 보다 효율적이고 체계적으로 측정기들을 관리함으로써 산업측정 품질 및 신뢰도의 향상과 경제적 효과를 기대할 수 있을 것이다.

끝으로 본 논문에서 아직 다루지 못한 측정기의 사용 환경, 사용 빈도 등을 고려한 그룹 단위의 교정주기 분석 수행이나 추가 측정기들에 대한 다양한 상황 하에서의 교정주기 산출 시험 및 분석 등은 향후 연구로 남기겠다.

참 고 문 헌

- [1] 고종섭(1984), “측정오차가 증가하는 자동계측기의 최적 교정시기 결정에 관한 연구”, 「한국품질관리학회지」, 12권, 2호, pp. 33-36.
- [2] 산업기술시험원(2001), 「산업현장 측정기의 정확도 유지관리를 위한 측정기술 기준 개발 연구」, 기술표준원.
- [3] 한국측정기기교정협회(1995), 「교정검사 최적 주기 설정 및 조정에 관한 기술 기준 개발 연구」, 공업진흥청.
- [4] 한국표준과학연구원(2004), 「산업측정 신뢰도 제고 사업(1차년도)」, KRISS/IR--2004-072, pp. 174-198.
- [5] Carbone, P.(2004), “Performance of Simple Response Method for the Establishment and Adjustment of Calibration Intervals”, *IEEE Transactions. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 53, No. 3, pp. 56-76.
- [6] Castrup, H.(1989), “Calibration Require-

- ments Analysis System”, *Proceedings of the NCSL 1989 Workshop and Symposium*, Denver.
- [7] Castrup, H. and Johnson, K. M.(1994), “Techniques for Optimizing Calibration Intervals”, *Proceedings of the ASNE Test & Calibration Symposium*, Arlington.
- [8] Jackson, D. and Castrup, H.(1987), “Reliability Analysis Methods for Calibration Intervals : Analysis of Type III Censored Data”, *Proceedings of the NCSL 1987 Workshop & Symposium*, Denver.
- [9] Macii, D., Tavella, P., Perone, E., and Carbone, P.(2004), “Accuracy Comparison Between Techniques for the Establishment of Calibration Intervals : Application to Atomic Clocks”, *IEEE Transactions. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 53, No. 4, pp. 1167-1172.
- [10] National Conference of Standard Laboratories(1996), “Establishment and Adjustment of Calibration Intervals”, *Recommended Practice RP-1*.
- [11] Nunzi, E., Panfilo, G., Tavella, P., and Carbone, P.(2004), “Stochastic and Reactive Methods for the Determination of Optimal Calibration Intervals”, *Technical Report #DIT-04-059*.
- [12] Wyatt, D. and Castrup, H.(1991), “Managing Calibration Intervals”, *Proceedings of the NCSL 1991 Workshop and Symposium*, Albuquerque.