



## 회귀분석 교정법 연구 개발 경위와 성과

### 강필상

한전원자력연료(주) 시험분석부 부장



- 부산대 물리학과 졸업
- 한전원자력연료(86~)
- 방사선 관리, 산업 안전 및 환경 관리, 계량 관리, 우라늄물질 시험 분석 담당

한전원자력연료가 자체 개발한 '회귀분석 교정법'이 최근 국제표준화기구(ISO) 국제표준으로 확정됐다. 회귀분석 교정법은 다수의 표준을 사용해 장비를 교정하는 방법으로, 지금까지의 교정 방법은 교정 오차를 평가하기가 어렵고 분석 결과에 대한 오차 범위를 정확하게 알기 곤란했으나 한전원자력연료가 통계학에 근거한 오차 평가 이론을 자체 개발하고 이론이 적용된 회귀분석 교정법을 2014년 ISO구에 신규과제(프로젝트 리더 강필상 부장)로 제안하였고, 이후 ISO 위원회의 기술 검토 및 회원국 질의, 투표 등을 거쳐 지난 4월 국제표준으로 확정됐다. 회귀분석 교정법은 향후 원자력산업은 물론 전 세계 다양한 연구 및 산업 분야에서 활용될 전망이다.

### 회귀분석

실험실이나 산업 현장에서 길이, 무게 또는 어떤 물질의 화학 물질 함유량 등을 측정할 때는 물리량이 이미 알려져 있는 표준을 사용하여 측정 장비를 먼저 교정한다. 교정 후 측정 대상 물질로부터 감지한 전기적 또는 광학적 신호의 크기를 교정을 통해 결정한 비례식에 대입하여 측정 대상의 물리량을 알게 되는 것이다.

표준 한 개를 사용하여 교정하기도 하지만, 다수의 표준을 사용하여 회귀분석법으로 교정하기도 한다(여기서 물리량은 측정하여 결정하여야 할 '양(量)'을 의미).

회귀분석은 변수 간의 상관 관계를 규명하고 결과를 예측하는 통계학의 한 분야이며 1900년대 초 기본 이론이 정립된 이후 발전을 거듭하며 자연



과학, 의학, 사회과학 등 많은 분야에서 사용되고 있다.

교정 분야에서도 그것을 활용하고 있지만 통계 이론 측면에서 완전하지 못한 측면이 있다. 교정의 경우 최소제공법으로 회귀직선을 설정하는 방향이 보통의 회귀분석과 정반대이기 때문이다. '고전적 회귀' 또는 '역회귀' 등의 수정된 방법론이 고안되어 과거 수 십 년간 교정에 사용되어 왔으나 문제는 여전히 해결되지 않고 남아 있다고 할 수 있다.

### 연구 개발 경위

우리 회사는 최근 교정 상황과 일치하는 회귀 모형에 대한 통계학적 특성을 정확하게 규명하였고, 규명된 특성을 이론적 근거로 하는 새로운 회귀분석 교정법을 개발하여 이를 전 세계로 파급하기 위해 국제표준화까지 완료하였다.

원전 연료의 품질 측정 항목 중 가장 중요한 농축도를 지금은 TIMS라는 질량분석기로 측정하고 있지만 초창기(1990년경)에는 외국 원전 연료 제조사와 마찬가지로 우리 회사도 감마선분광기로 측정하였다.

외경 30인치 대형 실린더에 담겨 있는 육불화 우라늄의 농축도는 실린더를 투과하여 외부로 방출되는 감마선을 측정하는 일종의 비파괴검사로 측정하였고, 우라늄 분말이나 소결체의 농축도는 우라늄이 용해되어 있는 소량의 질산 용액을 분광기에 장입한 후 감마선을 측정하는 파괴 검사 방법으로 측정하였다.

검사자는 먼저 0.71%부터 4.5%까지의 농축도가 서로 다른 다섯 개의 우라늄 표준 물질을 사용하여 장비를 교정한 후 본격적으로 대상 물질의 농축도를 측정하였다.

그러나 시료에서 방출되는 감마선의 피크 크기를 교

정을 통해 설정한 회귀직선 방정식에 대입하여 농축도를 구할 수 있었지만, 그렇게 구해진 농축도의 신뢰도 및 오차(지금은 '불확도'라는 용어로 통일)를 정확하게 이해하지는 못했다. 당시에는 기술 자료에 소개되어 있는 공식을 사용하여 오차 범위를 짐작만 하는 정도였다.

1990년대 말 국제도량형위원회가 '측정값에 대한 오차 평가'의 중요성을 강조하고, 국내에서도 이를 반영하는 분위기가 확산됨에 따라 우리 회사도 정밀측정실에서의 측정 항목들에 대한 측정 오차 평가 절차를 수립하여 시행하게 되었다.

이러한 분위기에서 감마선분광기로 측정한 농축도의 오차 평가 공식을 재검토하게 되었고, 이 때 오차 성분들을 합성하는 계산 과정에 오류가 있으며 그로 인해 오차를 과대 평가하게 된다는 것을 발견하였으나, 산업계에서 광범위하게 적용되고 있는 기술 교범상의 그러한 오류를 발견자가 수정하고 수정 내용이 확산되도록 하기 위한 제도와 방법을 그 당시에는 알 수 없었다.

우리 회사는 대한전기협회가 주관하는 원자력기술 국제표준화 사업에 2008년부터 직원들이 개별 전문가로 참여하거나, 회사가 직접 국가기술표준원의 표준기술력향상사업 세부 과제 수행을 통해 국제표준화 활동을 수행하고 있다. 첫 3~4년 간은 우리 회사가 개발한 가돌리니아 함량 측정법의 국제표준화에 집중하여 ISO 표준으로 출판되도록 하는 데 성공하였다.

뒤이어, 그때까지 문제점이 있지만 어쩔 수 없이 수용할 수밖에 없었던 기존의 회귀분석 교정법을 바르게 수정하고 수정한 교정법을 ISO 표준으로 제정하여 확산시키도록 국제표준화 활동 방향을 정하였다.

먼저 우리 회사가 수정하고자 하는 회귀분석 교정법 초안과 과제 제안서(NP)를 ISO로 제출하여 2014년 4

월 신규 과제로 정식 채택되었다. 2015년 4월에는 기술성 검토용 표준안(CD)이 회원국 투표를 통과하였다.

이때까지는 비교적 순조롭게 진행되었으나 다음 단계인 질의 단계용 표준안(DIS)을 준비하는 도중 뜻밖으로 회귀분석을 교정 분야에 적용하는 데 근거가 되는 통계 이론에 문제가 있다는 것을 알게 되었다. 기존 통계 이론으로 유도한 기울기, 절편 등에 대한 개별 오차 성분 자체가 올바르지 않다는 것을 발견한 것이다. 교정의 경우 최소제곱법으로 회귀직선을 설정하는 방향이 보통의 회귀분석과 정반대이며, 이에 대한 통계 이론이 불완전하기 때문인 것으로 파악되었다.

문제를 해결하기 위해 먼저 관련 자료와 논문을 검색하여 검토하였다. 그 결과 이미 과거 수 십 년 전부터 ‘고전적 회귀’ 또는 ‘역회귀’라는 방법론을 적용하여 우리가 당면하고 있는 그러한 문제를 해결하려는 많은 시도가 있었고 논문도 발표되었다는 것을 알게 되었다. 그러나 두 가지 모두 이론적으로 완전한 해결책이 아니었다.

이러한 상황에서 어떤 방법론으로 유도한 오차 성분을 표준에 반영하는 것이 더 나을지 오래 동안 고심하던 중 회귀직선의 기울기와 절편 자체를 변수로 취급하는 기존 방식들과는 다르게 표준 측정 시 얻게 되는 개별 데이터를 변수로 취급하여 오차 성분을 유도하면 어떻게 하는 아이디어가 내부에서 제시되었고 실제로 그렇게 계산한 결과 모든 오차 성분을 올바르게 유도할 수 있었다. 교정 상황과 일치하는 회귀 모형에 대한 통계적 특성을 우리 회사가 최초로 정확하게 규명하게 된 셈이다. 새로 고안한 방법론은 별도의 논문으로 작성하여 학술지에 게재하였다.

약 2 년간 이와 같은 우여곡절을 거친 후 마침내

2017년 11월, 오차 성분을 정확하게 유도할 수 있는 계산식과 오차 성분을 올바르게 합성하여 평가하는 방법이 모두 반영된 질의 단계용 표준안(DIS)을 작성하여 ISO 사무국으로 제출하였고, 올해 4월 회원국 투표를 통과하였다.

ISO 사무국은 투표 시 회원국들이 표준안에 대해 수정 요구한 사항이 없는 것을 감안하여 FDIS 단계를 생략시키고 곧바로 국제표준으로 확정하였다.

## 결어

한 개의 표준만으로 장비를 교정할 경우, 시료의 물리량에 대한 측정값이 표준에 비해 현저하게 크거나 작으면 측정값이 가지는 오차를 정확하게 평가할 수 없다.

따라서 다수의 표준을 사용하여 측정값으로 주어질 것으로 예상되는 영역 전체를 교정함으로써 일정한 범위 내에서는 어떠한 측정값을 언더라도 그것의 오차를 정확하게 평가할 수 있도록 ‘영역 교정’하는 것이 바람직하다.

측정 분야 종사자들은 회귀분석이 이러한 영역 교정에 적용할 수 있는 가장 적합한 통계 이론인 것을 알고 있으며, 회귀분석 이론을 사용한 교정법을 개발하기 위해 많은 노력을 기울여 왔으나 부분적으로만 성공하였을 뿐 완전한 성공을 거두지는 못했다고 할 수 있다.

그런 관점에서 볼 때 우리 회사는 측정 분야 모든 종사자들이 지금까지 바라왔던 교정법을 개발하게 된 셈이다. 앞으로 우리 회사가 개발한 회귀분석 교정법이 국제표준 형식으로 확산되고, 조만간 모든 연구기관 및 산업계가 이를 현장에서 활용할 것으로 전망된다. 🍵