

군수업체 시험 데이터 및 시험 시스템 유효성 점검을 위한 제언

정일한¹, 주진찬², 김성곤², 조형환¹, 안남수^{*}

¹울산과학기술대학교 산업경영과

²국방기술품질원 대전센터

Verification Method to Detect the Fake Test Data in Military Supplies

Ilhan Chung¹, Jinchun Joo², Sunggon Kim², Hyeongwan Cho¹, Namsu Ahn^{*}

¹Department of Industrial Management, Ulsan College

²Daejeon center, Defense Agency for Technology and Quality

요약 최근 발생한 원전부품 시험성적서 위변조 사건은 국민들에게 많은 충격을 가져왔다. 또한 케이블 제조회사들은 부당한 이득을 취득할 목적으로 시험 데이터를 위조했으며 군수분야에서도 시험성적서를 위조하여 불량부품을 납품한 사례도 발견되었다. 성적이 위조된 부품은 무기체계 운용에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 이는 국가안보에 직결된다는 점에서 매우 중요한 사안이다. 본 연구에서는 군수업체의 시험데이터 위조 가능성을 검출할 수 있는 통계적 이론 기반의 방법론을 확립하고 이를 엑셀 툴을 활용하여 유효성 검증 툴을 개발하였다. 또한 군수업체 시험시스템의 전반적인 개선을 목적으로 기존의 시험시스템 요구사항들을 반영한 체크리스트 기반의 검증 도구 역시 개발하였다. 본 유효성 검증 툴을 활용하여 위조된 시험 성적서의 검출 및 검증을 통해 불량부품 사용을 사전에 차단함으로써 군수품 품질보증에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

Abstract Recently, fake test data of power cables in nuclear power plants was a terrible shock to the citizens. Some cable companies manipulated the test data to make unfair profits. In addition, fake test data cases were found in military supplies. The fake test data cases focused on parts of army's tank, armored car. This paper propose a new method that can detect fake test data using known statistical methods. In addition, the method was implemented in Microsoft Excel to allow easy use. Lastly, a check sheet was proposed to check the validity of the test system of military suppliers. By detecting and checking the fake test data, it is expected that our new method will play an important role in quality assurance of military supplies.

Keywords : Normality Test, Control Chart, Benford's Law, Dixon's Q-test, Test Data

1. 서론

군수품에 대한 품질보증을 수행하는 국방기술품질원(이하 기품원이라 칭함)에서는 업체의 시험장비 및 시험 시스템(시험요원, 시험절차, 표준물질 등)을 활용하여 원자재의 적합성 여부 판정 및 완제품에 대한 성능 데이터를 획득하고 있다. 만약 업체의 시험장비와 시스템이 계약요구조건 및 국방규격 등에서 요구하는 품질특성을 시

험하는데 충분하지 못할 경우 국가공인 시험기관(KOLAS, Korea Laboratory Accreditation Scheme) 및 동등 이상의 시험시스템을 갖춘 외부 시험기관을 통해 시험을 실시하고 있다[1]. 이후 기품원에서는 획득된 데이터에 근거하여 국방규격과의 합치 여부를 확인·검증함으로써 군수품에 대해 합부 여부를 판단하고, 합격된 군수품에 한해 소요군에 납품되도록 하고 있다.

하지만, 최근 군수분야에서도 언론에 보도된 원전부

*Corresponding Author : Namsu Ahn (Ulsan College)

Tel: +82-10-6590-0423 email: anahn@uc.ac.kr

Received November 3, 2015

Accepted March 3, 2016

Revised (1st December 10, 2015, 2nd December 15, 2015)

Published March 31, 2016

품 시험성적서 위조[2] 및 공항철도 연계시설 확충사업의 레일제결장치 성적서 위조[3] 등과 같은 수천 건의 위·변조성적서가 발견되었다. 성적이 위변조된 부품은 특히 전차, 전투장갑차 등 육군의 주력장비에 집중된 것으로 나타났다. 급변 시험성적서 위변조 행위가 드러난 것은 상대적으로 단순하고 위험도가 낮아 계약업체에 시험평가를 위임한 품목들이지만, 첩단 무기류는 나사 하나만 잘못돼도 작동을 멈추거나 엉뚱한 결과를 낼 수 있으므로 사전에 철저한 검증을 통해 이를 검출하는 노력이 필요하다[4].

따라서 본 연구에서는 군수업체의 시험데이터 기반 행위를 검출할 수 있는 통계적 이론 기반의 방법론을 확립하고 이를 구현한 가칭, 시험데이터 유효성 검증 툴을 개발하고자 한다. 또한 군수업체 시험시스템의 전반적인 개선을 목적으로 기존의 시험시스템 요구사항들을 반영한 체크리스트 기반의 검증 도구 역시 개발하고자 한다.

본 연구를 통해 군수업체 검사시스템의 전반적인 수준을 향상시키고, 최소한 군수분야에서의 성적서 위변조는 절대 안 된다는 인식을 업계 전반에 확산시키는 효과를 가져 오기를 기대한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 2장에서는 유사연구 및 관련 문헌조사, 그리고 군수분야 시험데이터 획득 및 실패모드에 대해서 정의한다. 이어지는 3장에서는 위조된 데이터를 통계적으로 검출할 수 있는 방법론을 확립하고 이에 대한 적합성에 대해 설명하며, 또한 구축된 방법론을 Microsoft Excel을 활용하여 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 개발한 툴을 소개하고자 한다. 또한 구축된 방법론과 개발한 툴을 실제 군수업체 시험데이터에 적용한 사례들에 대해 설명한다. 4장에서는 군수업체의 시험시스템 점검을 위해 개발된 체크리스트 기반의 툴에 대해 설명하고자 한다. 끝으로 5장에서는 결론 및 향후 연구방향에 대해서 언급함으로써 본 논문을 마무리 한다.

주의할 점은, 본 논문에서 실제 구축된 이론 및 툴에 대한 상세 동작방법론에 대한 설명은 되도록 간략히 기술하고자 한다. 이는 본 논문의 기술 의도와는 달리 발생 가능한 본 논문의 악용가능성을 방지하기 위함이다. 또한 기품원은 위·변조 데이터의 검출을 통한 군수분야 문제점을 파악하는 수사기관이 아니라 군수품에 대한 품질보증기관이다. 따라서 위·변조된 시험데이터의 검출을 통한 군수분야 문제점 도출이 보다는 군수업체 시험시스

템의 전반적인 개선 및 향상이 본 논문의 주요 목적이기 때문이다.

2. 시험데이터 획득 및 실패모드 정의

본 문단에서는 시험데이터 위변조 행위를 검출할 수 있는 이론적 방법론에 대해 관련자료 및 선행연구조사를 진행하였다. 이후 군수분야에서의 시험데이터 획득형태에 대한 분류 및 시험데이터의 위조 행위가 발생 가능한 경우(이후 실패모드라 칭함)에 대해 정의하였다.

먼저 지금까지 알려진 검출이론을 살펴보면 데이터의 첫 번째 자릿수 분포를 통해 위조 여부를 판별하는 Benford의 법칙이 있다. 이는 회계분야 데이터의 위조를 검출하는데 사용되었다고 알려져 있다[5, 6]. 또한 스위스 은행에서는 위폐 감별을 위해 다변량 분석기법의 하나인 Two-Sampling Hotelling's T-Square기법을 사용했다고 알려져 있다[7].

일반적으로 논문의 표절이나 컴퓨터 프로그램의 소스 코드 표절 여부를 검출해 주는 프로그램[8] 및 웹사이트[9]는 다수 존재한다. 하지만 시험데이터 자체에 대한 위조 여부를 판단할 수 있는 이론 및 툴에 대해서는 관련 연구가 상대적으로 미약한 편이다. 따라서 본 연구는 시험데이터의 위조여부를 판단하는 이론 및 툴 개발을 촉진시키는 좋은 사례가 될 것으로 판단된다.

다음은 군수분야에서의 시험데이터 획득형태에 대해 분류하고자 한다. 기품원에서 군수업체의 시험데이터를 획득하는 방법은 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째로 유효성이 확보된 군수업체 자체 시험장비를 사용한 데이터의 획득, 두 번째로 업체에서 공인기관에 시험의뢰 후 입수된 성적서를 기품원에 제출함에 따라 얻게 되는 데이터의 획득, 마지막으로 기품원이 직접 국가공인 시험기관(KOLAS 인증기관) 또는 동등 이상의 시험기관에 시험 의뢰 후 데이터를 획득하는 형태이다. 신뢰성 측면에서 본다면 공인기관에서 획득된 시험데이터가 군수업체 자체시험을 통해 획득된 데이터보다 신뢰성이 뛰어나다고 판단할 수 있으나, 최근 원전부품 시험성적서 위조사례에서 볼 수 있듯이 일부 업체에서 실제 시험을 실시하지 않고 공인기관 성적서 자체를 위조하여 제출하는 경우가 존재하므로, 이 역시 철저히 검증할 수 있는 방법이 필요하다. 물론 제출된 성적서를 발급기관에 문

의하여 진위여부를 판단할 수는 있으나, 그에 필요한 시간과 노력의 양은 효과성 및 효율성 측면에서 좋은 방법이라고 보기 어렵다.

기품원에서는 군수품목의 특성에 따라 품질보증활동의 심도와 범위를 결정하는데 이러한 형태는 크게 4가지(I형 ~ IV형)로 나뉜다[1]. 앞에서 언급한 품질보증형태별 시험데이터 획득방법을 정리하면 Fig. 1과 같다. 단순 품질보증형(I형)의 경우 공인기관 성적서나 신뢰성이 확보된 업체 자체에서 발급한 시험성적서를 통해 시험데이터를 확보하게 된다(선택품질보증형(II형)의 경우는 I형과 유사하다). 표준품질보증형(III형) 및 체계품질보증형(IV)의 경우 군수업체에서 1차로 시험한 결과를 공인시험기관에 재의뢰 또는 기품원 품질보증원 입회하에 추가 시험을 실시한 후 시험 데이터를 확보하게 된다.

2차, 3차로 진행되는 기품원 입회 또는 공인시험기관 시험의 경우 데이터의 신뢰성 저하 우려가 상대적으로 적으나, 군수업체 자체 시험의 경우 시험 데이터의 신뢰성이 저하되는 경우가 존재 할 수 있다.

이러한 데이터의 신뢰성을 저하시키는 행위를 실패모드(Failure Mode)로 정의하면 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 사용자가 임의로 데이터를 조작하는 의도적인 오류이며 두 번째는 시험 및 측정시스템 붕괴에 따른 비의도적인 오류이다.

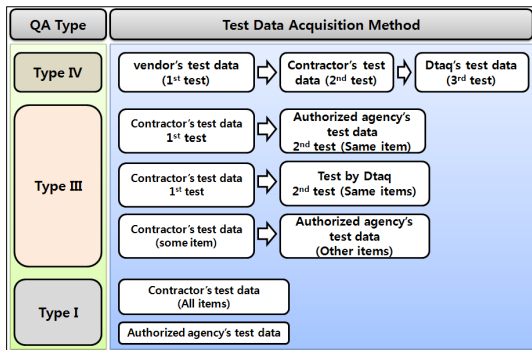


Fig. 1. Classification of data acquisition in military supplies

의도적인 오류를 세부적으로 분류해 보면, 신뢰성이 확보된 이전 데이터의 전체적인 재사용(소위 Copy & Paste), 이전 데이터의 일부 재사용, 규격 범위 내에서의 전체 또는 일부 시험데이터의 Random 생성, 이전 데이터에 일정 값의 합 또는 차를 이용한 소위 Data Shift를

통한 데이터 생성, 그리고 규격을 만족하지 않는 일부 데이터 삭제 등으로 구분할 수 있다.

비의도적인 오류는 시험 시스템 자체적인 문제로 인한 오류, 시험요원의 숙련도 미숙, 제어되지 못한 시험환경, 시험방법의 일관성 부족 그리고 교차오염 등에 따라 발생하는 사용자의 의지와는 상관없이 발생할 수 있는 오류 등을 의미한다. 이러한 비의도적인 오류의 경우 사용자는 본인의 시험시스템 오류를 인지하지 못하므로 의도적인 오류보다 더 큰 문제를 발생시킬 수 있다.

이러한 실패모드들을 그림으로 나타내면 Fig. 2와 같다. 본 논문에서는 의도적인 오류는 통계적인 이론을 활용한 검출을 목표로 삼으며, 비의도적인 오류는 시험 시스템 점검을 통한 검출 및 개선을 목표로 삼고자 한다.

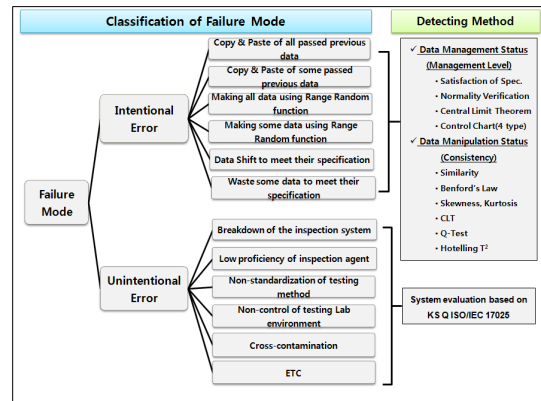


Fig. 2. Definition of failure mode and detection method

단, 의도적인 오류 검출을 위해서는 우선 전제조건이 필요하다. 데이터를 임의로 조작하게 되면 데이터의 일관성(Consistency)이 떨어지게 되고, 이러한 일관성 저하여부는 통계적으로 검출이 가능하다는 것이다.

3. 의도적인 시험데이터 오류 검출방법

본 문단에서는 의도적인 시험데이터의 오류를 검출할 수 있는 통계적인 이론 및 방법에 대해 설명하고자 한다.

의도적인 오류를 검출하기 위해 본 연구에서는 크게 데이터 관리상태 확인과 데이터 조작여부를 확인하는 부분으로 나누어 접근하였다. 획득된 데이터의 관리 상태는 데이터와 규격과의 차이를 비교하는 규격만족도 확

인, 특정 로트 내 시험 데이터의 정규분포 준수여부를 확인하는 정규성 검정, 그리고 연속된 로트들의 데이터 관리 상태를 확인하는 관리도 검정 등으로 확인이 가능하다고 판단되었다. 또한 데이터의 조작여부 확인은 이전 로트 데이터와의 유사도를 확인하는 유사성(Similarity) 검정, 이전로트 시험데이터들의 평균값과 편차값의 차이 비교, Benford의 법칙[9]을 이용한 데이터의 분포 확인, 이전 로트들의 데이터 분포에서 획득된 왜도(Skewness)와 첨도(Kurtosis) 값의 경향 분석 그리고 이상치 데이터 검정을 위해 사용되는 Q-Test 검정[10] 등을 활용하면 검출이 가능하다고 판단하였다 (Fig. 2 참조).

다만, 본 논문에서 적용된 통계 이론들은 실제 군수업체 시험데이터 위조여부 확인을 위해 현실에 맞게 일부 수정 적용하였다.

첫 번째 적용된 이론은 Benford의 첫째 자릿수 법칙이다. 이 법칙은 자연현상 및 물리학 상수 등에 사용되는 숫자들의 첫 번째 자릿수는 숫자크기에 따라 등장하는 빈도가 다름을 나타낸다. 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$P(d) = \log\left(1 + \frac{1}{d}\right), \text{ where } d \text{ is digit } (\in 1, \dots, 9)$$

Benford의 법칙은 신용카드 고지서, 전기요금 고지서, 집 주소, 주가, 사망률, 강의 길이, 물리학 및 수학의 상수 등에 적용이 가능하다고 알려져 있다. 하지만, 이를 군수업체의 시험데이터 유효성 검증에 바로 적용하기에는 어려운 점이 존재한다. 왜냐하면 군수품의 품질특성에는 규격 한계치 값이 존재하기 때문이다. 예를 들어 김자반 구매요구서[11]의 경우 원재료, 재료비율 그리고 완제품에 대해 품질기준이 존재한다. 원재료 중 원료인 김에 대해서는 청태 혼입량이 0%이하, 재료비율(%) 중 옥배유에 대해서는 0%이하, 완제품의 품질기준중 산가는 0%이하를 요구하고 있다. 따라서 Benford의 법칙을 바로 군수업체의 시험데이터에 적용하기에는 곤란하다. 예를 들어, 규격의 요구조건이 9.0 ~ 10.0이면, 해당 업체의 데이터는 항상 9.x의 형태로 Benford의 법칙에 어긋날 것이기 때문이다(Benford 법칙에 따르면 첫째 자리에 9가 등장할 확률은 4.6%에 불과하다.).

본 논문에서는 먼저 규격 및 품목에 구매받지 않고 다양한 군수업체의 시험 데이터를 수집 후 어떠한 법칙이

존재하는지 살펴보았다. 결론적으로 Benford의 법칙과는 다른 법칙이 성립함을 찾을 수 있었다. 즉 자릿수의 위치와는 무관하게 특정 숫자들의 등장빈도가 다른 숫자들에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

두 번째로 적용한 이론은 이상치(outlier)를 검출하기 위한 방법으로 Dixon's Q-test이다. 이 이론을 적용하기로 한 이유는 관찰된 시험데이터가 10개 이하이고 이중 1개만이 규격 불일치 현상을 보였을 경우 업체에서는 이 하나의 데이터를 규격 내에 들어오는 수치로 수정할 수 있는 가능성이 존재한다고 판단하였기 때문이다. 일반적으로 Dixon's Q-test는 데이터의 수가 적을 경우 보다 정확한 것으로 알려져 있다. 테스트 절차는 먼저 데이터를 오름차순으로 정렬한 후, 의심이 되는 데이터를 선택하면 이 값과 바로 옆에 위치한 값의 차이를 범위로 나눠 줌으로써 소위 Q값을 구하게 된다. 그리고 여기서 구한 Q값을 이미 신뢰수준별로 정의된 Q값과의 비교를 통해 이상치 여부에 대한 판단을 내린다. 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

$$Q = \frac{\text{이상치 의심데이터} - \text{가장 근접한 데이터}}{\text{Max(데이터집합)} - \text{Min(데이터집합)}}$$

Dixon's Q-test 역시 원 논문에서와 같이 관측된 데이터의 수가 2 ~ 10일 경우와 매우 큰 값일 때만 신뢰수준별 비교 값을 제공함으로써, 관측 데이터의 수가 10개 이상일 경우 적용이 곤란한 점이 존재하였다. 또한 데이터의 수가 적을시 상대적으로 이상치 여부를 민감하게 판정하는 경향이 존재하였다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 먼저 샘플수와 신뢰수준 95%에 따른 추세선을 확인한 후 가장 적합도가 높은 추세함수를 구한다. 이후 이 함수를 이용하여 샘플수 및 신뢰수준별 Q값을 구하게 된다. 이 때 수식을 통하여 구한 Q값과 추세선을 통하여 구한 Q값 간의 차이가 유의하게 크다고 판단되었을 경우에만 이상치 데이터로 판정하였다.

세 번째로 적용된 이론은 정규성 이탈 검정 및 왜도, 첨도분석이다. 본 논문에서는 KS Q ISO 5479 데이터의 통계적 해석 - 정규성 이탈검정[12]을 토대로 통계적 품질관리 교재[13]에 기술된 정규분포의 정규성 적합도 검정 관련 내용을 엑셀로 구현하였다. 이 때 적용되는 귀무가설은 “데이터가 정규분포를 만족한다”이며, 대립가설은 “데이터가 정규분포를 따르지 않는다”가 된다. 이

를 위해 데이터를 계급별로 나누고 각 계급별 관측도수와 기대도수를 구한 후 이 값들 간의 차이를 카이제곱 분포를 사용하여 정규성 유무를 판정하였다. 추가적으로 데이터가 정규분포를 따를 시에는 해당 로트의 왜도값(분포의 비대칭 정도를 나타냄)과 첨도값(분포의 날카로움 정도를 나타냄)을 구하여 이전 로트의 왜도 및 첨도값과 비교함으로써 그 값들의 유사도가 높을 경우 데이터의 일관성이 낮다고 판단하였다. 이는 이전 로트 전체 데이터의 재사용 혹은 상당부분 데이터의 재사용 여부를 검출하기 위함이다. 왜도 및 첨도 값의 계산은 일반적으로 알려진 통계학 서적[14]을 참조하여 계산하였다.

네 번째로 적용된 관리도 기법은 여러 로트의 데이터가 확보되어 있을시 데이터의 관리성 여부를 검증하기 위해 사용되는 방법이다. 본 논문에서는 4종류의 관리도(Table 1)를 구현하였고 일반적으로 적용되는 관리도 이상 탐지기법 규칙 8가지(Table 2)를 군수품 현실에 맞게 수정·구현하였다. 참고로 본 논문에 적용된 관리도는 모두 표준편차를 모른다는 가정 하에 진행하였다. 각 관리하한 및 상한의 세부 기호는 일반적인 통계학 서적에 나와 있으므로 이를 참조하면 된다. \bar{X} 와 R관리도는 로트를 구성하는 데이터가 여러 개일 경우 적용하며, \bar{X} 와 R_m 관리도는 로트에서 측정하는 데이터가 1개일시 적용된다. 일반적으로 대부분의 무기체계는 로트별로 합격품 질한계수준(AQL, Acceptable Quality Level)이 정해져 있어 해당 샘플링 표를 통해 샘플수와 합격판정기준을 구하나, 상당수의 비무기체계(식품류 및 섬유류 등)에서는 이화학 및 성능시험을 로트당 1회만 실시하는 경우가 많으므로 이를 관리도에 적용하였다.

Table 1. Control charts to check test data

Class	Low Control Limit(LCL)	Center Line (CL)	Upper Control Limit (UCL)
\bar{X}	$\bar{X} - \left(\frac{3}{\sqrt{n}}\right)\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)$	\bar{X}	$\bar{X} + \left(\frac{3}{\sqrt{n}}\right)\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)$
R	$\bar{R} - 3d_3\bar{R}/d_2$	\bar{R}	$\bar{R} + 3d_3\bar{R}/d_2$
X	$\bar{X} - 3\frac{\bar{R}_m}{d_2}$	\bar{X}	$\bar{X} + 3\frac{\bar{R}_m}{d_2}$
R_m	$\bar{R}_m - 3d_3\bar{R}_m/d_2$	\bar{R}_m	$\bar{R}_m + 3d_3\bar{R}_m/d_2$

Table 2. Abnormal cases in control chart

No.	General abnormal criteria
1	Any single data point falling above or below the $\pm 3\sigma$ limit
2	Six consecutive data points increase or decrease
3	Two points exist in the zone A of the three points
4	Fifteen consecutive data points falling in the zone C
5	Nine consecutive data points exist above or below the centerline
6	Every 14 points exist up and down continuously
7	Four points exist in the zone B or C of the five points
8	Eight consecutive data points falling in the zone A or B, not C

관리도의 이상원인 판정기준은 Table 2와 같다. 이때, 중심선에서 관리한계선까지 거리를 3등분하여 중심선부터 거리가 일등분인 지역은 C, 거리가 일등분에서 이등분인 지역은 B, 거리가 이등분에서 삼등분에 해당하는 지역은 A로 나타내었다.

일반적으로 사용되는 관리도의 이상원인 기준은 군수업체의 시험데이터 검증에 적용하기에 다소 무리가 존재한다. 이는 군수업체가 방위사업청과 계약시 수량이 한정되는 경우가 많아 로트의 크기가 크지 않기 때문이다. 심지어는 1개의 로트로 계약이 완료되는 경우도 존재한다. 따라서 이상판정 기준을 현실에 맞게 수정하였고, 이를 적용하였다.

이렇게 군수업체 시험데이터의 적합성을 검출하기 위해 수정된 이론들은 Microsoft Excel 2003의 VBA(Visual Basic Application) 기능을 활용하여 검증 틀로 구현하였다(Fig. 3).

먼저 시작화면을 통해 업체명과 검증하고자 하는 품질특성의 개수 및 로트수를 입력하면, 엑셀은 데이터를 입력 할 수 있는 워크시트를 생성해준다. 이 워크시트에 획득된 데이터 값을 입력한 후, 실행 버튼을 누르면 각 서브모듈별로 데이터를 검정하고, 이상유무를 판단한 후, 그 중요도에 따라 심각도를 시각적으로 표시해준다. 녹색은 이상이 없음을 나타내며, 주황은 점검 권장, 적색은 점검이 반드시 필요함을 나타낸다. 각 모듈의 이상유무 및 중요도에 따라 데이터를 두 가지 관점, 즉 데이터의 일관성 유무 및 관리수준을 기준으로 판정한다. 이 때 판정수준은 크게 3가지로 나뉘며, 점검 필요, 점검 권장, 점검 불필요로 표현된다.

개발된 검증 틀에는 각 품질특성별로 규격한계치 값(규격상한 및 하한)과 측정 데이터의 범위를 시각적으로 표시해 주는 부분 역시 구현되었다. 또한 사용자가 만드

시 알아야 되는 사항, 예를 들어 규격 불일치 발생 등, 발생 시에는 팝업창으로 사용자에게 알려주는 기능을 별도 추가하였다.

실제 Dummy 데이터를 입력하여 분석해본 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Dummy 데이터에 대한 규격한계치 및 로트별 데이터는 아래 Table 3과 같다.

Table 3. Dummy test data

Lower Spec' Limit (LSL)	Upper Spec' Limit (USL)	Lot 1	Lot 2
1	10	1, 3	2, 5

위 데이터를 본 연구에서 개발된 점검툴을 활용하여 점검시 데이터의 일관성이 낮으며, 데이터의 관리수준 역시 낮음을 알 수 있다(Fig. 3참조).

마지막으로 실제 시험데이터를 입력하여 점검한 결과를 간략히 소개함으로써 본 단락을 마무리 하고자 한다.

첫 번째 사례는 ○○ 식품업체의 비엔나 소시지 사례이다. 해당 업체의 경우 특정 품질 특성치 항목에서 규격 불일치가 발생하였다. 해당 로트에서 규격 불일치가 발생하였지만, 만일 관리도 기법을 적용하여 데이터를 관리하였다면 충분히 예방이 가능한 사례였다. ○○품질특성에 영향을 끼치는 인자에 대한 데이터를 시간에 따라 표현시 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다. 규격 불일치가 발생한 로트는 붉은색 수직선으로 표현하였으며(마지막 2일치 데이터), 만일 관리도의 이상 징후 탐지 기법을 적용하였다면, 검은색 수직선 로트부터 검출이 가능하였을 것으로 판단된다. 즉, 데이터는 이상 징후를 보였으나, 규격은 충족함에 따라 업체는 계속 납품을 하였고, 규격 불일치가 발생되고 나서야 이상 징후가 있었음을 파악하게 된 사례였다. 해당 업체는 규격 불일치가 발생됨에 따라 엄청난 금전적 손실을 감수하여야만 했다는 점에서 사전에 관리도 기법을 적용하였으면 하는 아쉬움이 남는다.

	A	B	C	D	E	F	G
1	CHECK	RESET	Vendor	A			
2			Number of Quality Characteristics	1			
3			Number of LOT	2			
4							
5		LSL(>=)	USL(<=)	LOT_1_Average	LOT_1_Range	LOT_2_Average	LOT_2_Range
6	Characteristic_	1	10	2	2	3.5	3
7							
8			Checking Lights	Criteria			
9	Spec. satisfaction check:			Spec. meet or not			
10	Benford check:			Safety Factor 50%			
11	Normality Verification check:			Level of significance	Level of significance 5%		
12	CLT check:			Level of significance 5%			
13	Q-Test check:			Level of significance 5%			
14	Control Chart X check:			Rule of Control Chart			
15	Control Chart S check:			Rule of Control Chart			
16	Control Chart I check:			Rule of Control Chart			
17	Control Chart MR check:			Rule of Control Chart			
18	Skewness, Kurtosis check:			Similar level less than 99%			
19	Similarity check:			Similar level less than 95%			
20	Hotelling T2 check:			Similar level less than 10%			
21	Cpk check			0.67 & 1.33			
22	Cpk Control Chart check:			Fluctuation rate less than 15%			
23							
24	Verification Re	Low the data consistency	<Recommend to check>	Data is not controlled	<Need to check>		
25							

Fig. 3. Korea Defense Data Conformation Verification Tool

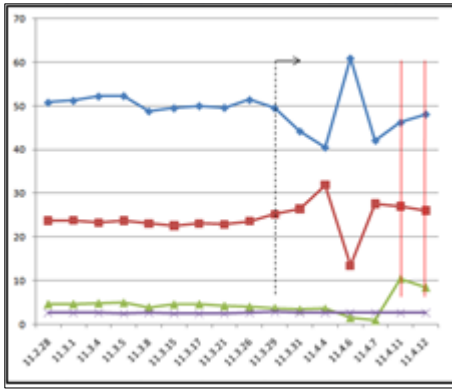


Fig. 4. Control chart of sausage's average data

두 번째 사례는 한 로트를 구성하는 데이터가 정규분포를 따르지 않는 경우이다. 일반적으로 한 로트를 구성하는 제품들은 품질특성들이 균일한 제품들의 집합을 일컫는다. 예를 들어, 식품업체의 경우 제조일 혹은 제조시간으로 로트를 구성한다. 로트를 구성하는 또 다른 목적은 제품이 소비자에게 전달된 이후, 추적성을 확보하고자 하는 것이다. 로트 내 제품의 품질특성이 균일하다는 의미를 모든 측정데이터가 동일하다로 간주하기는 현실적으로 어렵다. 따라서 본 검증 틀에서는 한 로트를 구성하는 품질특성의 데이터가 정규분포 및 정규분포에 준하는 분포를 따른다고 가정하였다.

실제 ○○업체의 1개 로트에 대한 측정 데이터를 분석한 결과 정규분포를 따르지 않는 결과가 나왔다. 이에 대한 판단을 돕기 위해 데이터의 분포를 히스토그램으로 나타내면 Fig. 5와 같다.

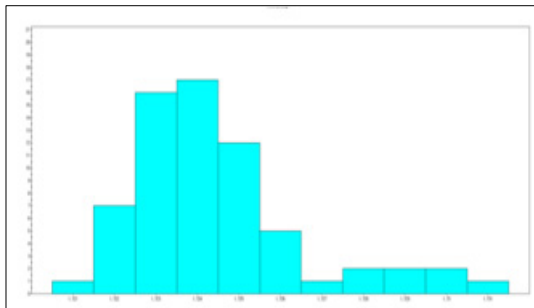


Fig. 5. Histogram of quality data

즉, 분석결과 공정능력지수 값은 우수하나, 데이터는 정규분포를 따르지 않는 경우, 즉 두 종류의 데이터 분포

형태를 발견하였다. 당시의 작업일지를 추가 분석해본 결과, 해당 로트 작업시 2개의 서로 다른 프레스에서 작업한 원자재들로 하나의 로트를 구성하였음을 알 수 있었다. 후속 조치로 품질에 영향을 미치는 요인을 5MIE(Man, Machine, Material, Method, Measurement, Environment) 관점에서 작업조건을 시각적으로 분석하여 관리하는 것을 업체에게 권장하였다.

다음 사례는 로트별 측정데이터 값이 동일한 경우이다. ○○업체의 경우 구매요구서로 계약을 하였고, 매 로트별 자체 시험성적서를 기품원에 제출하는데 특정 품질 특성의 측정데이터가 매 로트별로 동일하였다. 이는 시험데이터 유효성 검증틀에서 데이터의 일관성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 이러한 이유가 발생한 원인을 찾기 위해 관련 자료를 분석해본 결과 해당 품질특성의 시험 방법이 폐지되어 국내에서는 시험이 가능한 기관이 존재하지 않았다. 추정결과, 외부기관을 통한 시험이 불가능함에 따라 해당 업체에서는 자체 시험을 실시하였으며, 로트를 구성시 제조로트와 납품로트를 구별함에 따라 이러한 현상이 발생하였음을 알 수 있었다. 즉 납품로트는 약 6개월분의 생산량으로 구성하고 이 생산량에 대해 한번의 시험만을 실시하여 지속적으로 납품을 실시한 것이다. 해당업체에는 이러한 사실을 통보하였고, 제조로트와 납품로트간 일치를 요구하였다.

다음 사례는 업체가 자체 시험 성적서 측정값을 수정하여 기품원에 제출한 경우이다(실제 수치값은 다름). 해당 규격치와 측정값을 표현하면 Table 4와 같다.

Table 4. Cases of test data disagreement

Characteristics	LSL	USL	Vendor's fake data	Original data
Thickness	3	5	3.2	2.8

시험데이터 검증틀로 검증결과 데이터의 일관성이 매우 낮은 값이 나와 점검이 필요한 것으로 판정하였다.

4. 비의도적인 시험데이터 오류 검출 및 개선 방법

본 문단에서는 비의도적인 시험데이터의 오류를 검출할 수 있는 관련 이론 및 방법에 대해 설명하고자 한다.

비의도적인 오류의 검출 및 개선을 위해서는 측정 장비의 반복성 및 재현성을 평가하는 Gage R&R 분석, 시험에 영향을 주는 이전데이터 혹은 다른 특효요인들과의 상관분석, 그리고 군수업체 시험시스템의 적절성 및 유효성을 평가하는 시험 시스템 평가[1] 등을 수행하면 이러한 오류들에 대한 검출 및 개선이 가능하다고 판단하였다.

먼저 관련 규정에서 요구하고 있는 군수업체의 시험 시스템 요구조건에 대해 알아보고자 한다.

일차적으로 군수업체는 방위사업청과 계약을 맺을 시 계약금액, 납기 및 납지부대 외에 추가적인 요구사항을 특수조건으로 묶어서 계약을 집행한다. 이 특수조건은 모든 계약품목에 공통적으로 적용되는 공통조건과 품목별로 달리 계약되는 추가조건으로 구성된다. 특수조건 중 공통조건 제7조(감독 및 검사)에 의하면, “‘을’은 품질보증형태별로 품질보증기관이 정한 규정에 따라 KDS 0050-9000(품질경영시스템 요구서)의 요구사항에 충족하는 품질경영시스템의 수립/이행과 품질보증기관의 평가 및 시정조치에 따라야 한다”라고 명시되어 있다. (여기서 품질보증기관은 국방기술품질원을 말한다.)

KDS 0050-9000[15]은 ISO 9001[16]을 참조로 작성된 국방분야 품질경영시스템 요구서로 7.6.1 내부시험 조항에 의하면 아래와 같은 사항을 요구하고 있다.

- a) 시험 장비, 시설 및 환경조건과 시험절차의 적절성
- b) 시험 인원의 적격성
- c) 시험 방법의 유효성 확인
- d) 국가측정표준 또는 국제측정표준과의 측정 소급성 보장
- e) 관련된 품질기록의 검토

비고 1. KS Q ISO/IEC 17025 요구사항 참조

KS Q ISO/IEC 17025[17](이하 17025라 칭함)는 시험기관 및 교정기관의 자격에 대한 일반 요구사항을 담고 있는 문서이다. 따라서 군수업체는 계약을 맺음과 동시에 17025에 따른 시험시스템을 구축해야 함을 알 수 있다.

추가적으로 미 군수품 품질보증기관인 DCMA (Defense Contract Management Agency)의 경우, 품질경영시스템(ISO 9000, Quality Management Systems) 혹은 검사시스템(MIL-I-45208[18])의 구축을 요구하는

것으로 알려져 있다. 관련 자료를 추가적으로 검색한 결과 교정시스템 요구사항(MIL-STD-45662[19])도 존재함을 알 수 있었다.

따라서 본 논문에서는 군수업체의 시험데이터 이상 발견시, 해당 업체의 군수시스템을 점검할 수 있는 툴을 개발하였다. 이 툴은 KS Q ISO 17025, MIL-I-45208 및 MIL-STD-45662의 내용을 종합하여 체크리스트 형태로 개발하였다. 또한 국내 중소 군수업체의 특성을 감안하여, 필수적으로 구축 및 실행되어야 하는 항목을 M(Mandatory)으로, 그 외의 항목은 O(Optional)로 구분하였다. 본 툴은 전 단락과 마찬가지로 Microsoft Excel 기반의 툴로써 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 작성하였다. 실제 툴의 구성화면은 아래 Fig. 6과 같다.

KS Q ISO/IEC 17025 Check List						
5.10 Reporting the results		Results		Importance	Remark	
Items	Requirements	YES	NO			
5.10.2	Test reports and calibration certificates (Unless the laboratory has valid reasons for not doing so: a) a title (e.g. "Test Report" or "Calibration Certificate"); b) the name and address of the laboratory, and the location where the tests and/or calibrations were carried out, if different from the address of the laboratory; c) Unique identification of the test report or calibration certificate (such as the serial number), and on each page an identification in order to ensure that the page is recognised as a part of the test report or calibration certificate, and a clear identification of the end of the test report or calibration certificate; d) the name and address of the customer; e) identification of the method used; f) a description of the condition of, and unambiguous identification of the item(s) tested or calibrated; g) the date of receipt of the test or calibration item(s) where this is critical to the validity and application of the results, and the date(s) of performance of the test or calibration; h) reference to the sampling plan and procedures used by the laboratory or other bodies where these are relevant to the validity or application of the results; i) the test or calibration results with, where appropriate, the units of measurement; the name(s), function(s) and signature(s) or equivalent identification of person(s))				M	
5.10.3	Test reports (In addition to the requirements listed in 5.10.2, shall test reports, where necessary for the interpretation of the test results, include the following: a) deviations from, additions to or exclusions from the test method, and information on specific test conditions, such as environmental conditions; b) where relevant, a statement of compliance/non-compliance with requirements and/or specifications; c) where applicable, a statement on the estimated uncertainty of measurement information (on uncertainty is needed in test reports when it is relevant to the validity or application of the test results, when a customer's instruction so requires, or when the uncertainty affects compliance to a specification limit) d) where appropriate and needed, opinions and interpretations (see 5.10.5) e) additional information which may be required by specific methods, customers or groups of customers.				M	
5.10.3.2	In addition to the requirements listed in 5.10.2 and 5.10.3.1, shall test reports containing the results of sampling include the following, where necessary for the interpretation of test results: a) the date of sampling; b) unambiguous identification of the substance, material or product sampled (including the name of the manufacturer, the model or type of designation and serial numbers as appropriate); c) the location of sampling, including any diagrams, sketches or photographs; d) a reference to the sampling plan and procedures used.				M	

Fig. 6. Check sheet to check the validity of test system

5. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 최근 군수분야 및 원전, 철도분야에서 일어난, 소위 시험데이터의 위변조를 검출하기 위한 방법론의 정립 및 툴 개발을 제시하였다. 개발된 툴은 시험데이터의 관리상태 및 일관성 여부를 검증하여 사용자에게 데이터의 완결성 여부를 알려주도록 하였다. 추가적으로 군수업체의 시험시스템 역시 점검할 수 있는 체크리스트 기반의 평가툴을 개발하였다. 기존의 연구된 이론 및 시험 방법론들이 존재하지만, 이를 군수업체 시험

데이터 유효성 점검에 바로 활용하기에는 어려운 점이 존재하여 이를 현실에 맞게 수정 적용하였으며, 군수분야 선진국인 미국의 시험시스템 점검 항목 역시 포함하였다.

다만, 현재의 연구결과는 엑셀기반의 틀로서 사용자가 수작업으로 데이터를 입력해야 하는 불편함이 존재하므로, 이를 자동화 해주는 전산체계의 개발이 필요하다. 또한 본 틀의 지속적인 개선, 사용자 편의성 개선 등 역시 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Division of Policy & Planning, "Regulation of Defense Quality Management", Defense Agency for Technology and Quality, Apr. 2, 2015.
- [2] SiYeon Kim, "The fake test data of parts in nuclear power plant", www.ohmynews.com, 2014. 06.24.
- [3] JaeHo Jeon, "Ministry of Land Infrastructure and Transport uncover the fake test data of parts in railway cooperation", www.chosun.com, 2015.6.9.
- [4] JaeSung Choi, "Defense Quality Management Principles", Defense Agency for Technology and Quality, 2015.4.21.
- [5] Bolton, R. J. and Hand, D. J., "Statistical Fraud Detection : A Review", 2002.
- [6] Hill, T. P., "The Difficulty of Faking Data", 1999.
- [7] Two-Sample Hotelling's T-Square, Accessed Oct. 25, 2013 <http://www.sites.stat.psu.edu/~ajw13/stat505>
- [8] DiffDoc, Softinterface. Inc.
- [9] Text compare, 2013, Accessed Oct. 25, 2015 <http://www.text-compare.com>.
- [9] Benford, F., "The Law of Anomalous Numbers", Proceedings of the American Philosophical Society 78, 551-572, 1938.
- [10] Dean, R. B. and Dixon, W. J., "Simplified Statistics for Small Numbers of Observations", Anal. Chem. Vol. 23, No. 4, 1951.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ac60052a025>
- [11] Defense Acquisition Program Administration, "Seaweed Purpura Purchase requirement", 8915-7006, 2010.4.9.
- [12] Korea Agency for Technology and Standards(KATS), "Statistical interpretation of data—Tests for departure from the normal distribution", KS Q ISO 5479, 2009.
- [13] KyungChul Yeom, YoungBae Jung, "Statistical Quality Control", SungAnDang, 2010.
- [14] HyungJin No, "Statistical Quality Control", HanYool, 2010.
- [15] Defense Agency for Technology and Quality, "Quality Management System Requirement", KDS 0050-9000, 2015.10.

- [16] International Standard Organization(ISO), ISO-9001, Quality Management System - Requirements, 2008.
- [17] Korea Agency for Technology and Standards(KATS), "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories", KS Q ISO/IEC 17025, 2006.
- [18] Department of Defense, "Inspection System Requirements", MIL-I-45208, 1961.
- [19] Department of Defense, "Calibration Systems Requirements", MIL-STD-45662, 1962.

정 일 한(Ilhan Chung)

[종신회원]



- 2009년 9월 : 부산대 산업공학과 (공학박사)
- 2004년 6월 ~ 2010년 8월 : 현대 로템(주) 기술연구소 주임연구원
- 2010년 9월 ~ 2011년 10월 : 포스코 생산성연구센터 총괄직
- 2011년 10월 ~ 2014년 3월 : 국방 기술품질원 선임연구원
- 2014년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 산업경영과 교수

<관심분야>

품질공학, 신뢰성공학, 수리부속/군수 최적화

주 진 천(Jinchun Joo)

[정회원]



- 1996년 2월 : 포항공과대학교 전산학과 (석사)
- 1996년 00월 ~ 2005년 12월 : 국방과학연구소 연구원
- 2011년 8월 : 광운대학교 방위사업학과 박사과정 수료
- 2006년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

탄약류 품질보증, 통계적 품질관리

김 성 곤(Sunggon Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한양대학교 기계공학과 (석사)
- 2003년 2월 ~ 2012년 7월 : 삼성전자 컴퓨터시스템 사업부 책임연구원
- 2012년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

기동류 품질보증, 통계적 품질관리, 품질경영시스템

조 형 환(Hyeonghwan Cho)

[준회원]



- 2001년 3월 : 울산과학기술대학교 산업경영학과 입학
- 2015년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 산업경영과 졸업 예정 및 울산대학교 산업경영공학부 편입 예정

<관심분야>

품질경영, 생산관리, 린생산시스템

안 남 수(Namsu Ahn)

[종신회원]



- 2004년 12월 : 펜실베이니아주립대 산업공학과 (공학석사)
- 2010년 1월 : KAIST 산업 및 시스템 공학과 (공학박사)
- 2010년 2월 ~ 2010년 12월 : LG 전자 선임연구원
- 2011년 1월 ~ 2015년 2월 : 국방기술품질원 선임연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 산업경영과 교수

<관심분야>

품질경영, 최적화 이론, 생산스케줄링
