

ISO 3951-1:2022, 계량형 샘플링 검사절차 - 제 1부

이민구* · 홍성훈**†

* 충남대학교 정보통계학과

** 전북대학교 산업정보시스템공학과

ISO 3951-1:2022, Sampling Procedures for Inspection by Variables - Part 1

Lee, Min Koo* · Hong, Sung Hoon**†

* Department of Information and Statistics, Chungnam National University

** Department of Industrial and Information Systems Engineering, Jeonbuk National University

ABSTRACT

Purpose: ISO (International Organization for Standardization) has published the third edition of ISO 3951-1:2022, *Sampling Procedures for Inspection by Variables-Part 1*. ISO 3951-1 is an AQL (Acceptable Quality Limit) type sampling scheme, and incorporates switching rules to move among normal, tightened, and reduced inspections. This paper examines the contents of ISO 3951-1:2022 and analyzes its characteristics.

Methods: The contents of ISO 3951-1:2022 and ISO 3951-1:2013 (the second edition of ISO 3951-1) are compared and analyzed in detail. The comparisons of ISO 3951-1:2022 and ISO 2859-1:2013 (the latest edition of *Sampling Procedures for Inspection by Attributes-Part D*) are also performed.

Results: The main changes of ISO 3951-1:2022 are as follows: i) procedures have been introduced to accommodate measurement uncertainty, ii) many of sampling plans are adjusted to improve the match between their OC (operating characteristic) curves and the OC curves of the corresponding plans of ISO 2859-1, iii) the form p^* for determining the acceptance of the lot is extended to all ranges of AQL and code letter values.

Conclusion: ISO 3951-1:2022 cancels and replaces ISO 3951-1:2013, which has been technically revised. KS Q ISO 3951-1:2019 that is Korean version of ISO 3951-1 was established as a Korean standard by conforming to ISO 3951-1:2013. Therefore, we need to revise it to ISO 3951-1:2022, as soon as possible.

Key Words: AQL, ISO 2859-1, ISO 3951-1, KS Q ISO 3951-1, Sampling Procedures

● Received 10 May 2024, 1st revised 5 June 2024, accepted 3 July 2024

† Corresponding Author(shhong@jbnu.ac.kr)

© 2024, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

치열한 경쟁 속에서 기업의 성패를 좌우하는 요소 중 하나로 품질의 중요성이 강조되고 있다. 만족스럽지 못한 제품이 고객에게 판매된다면 그로 인해 기업은 큰 손실을 떠안게 된다. 불량제품의 회수 및 폐기와 고객에게 새로운 제품 공급으로 인해 큰 비용 지출이 생기고, 제품의 판매량 감소와 기업의 이미지는 크게 하락할 수 있다. 기업은 이러한 점을 충분히 인식하고 있으며, 고품질 제품 생산을 위해 꾸준한 노력을 하고 있다. 품질검사 활동 역시 적극적으로 실시하고 있다. 기업은 고객에게 만족스런 제품 공급을 위해 생산과정의 여러 단계에서 품질검사를 하고 있다. 원자재 또는 반제품에 대해 원료로서의 적합성을 검사하는 수입검사, 제품 생산과정에서 불량품이 다음 공정에 투입되지 않도록 검사하는 공정검사, 고객에게 불량제품의 출하를 막기 위한 출하검사 등을 생각할 수 있다.

제품의 품질검사를 위해서는 전수검사 또는 샘플링 검사를 활용할 수 있다. 과거에는 검사비용 절감을 위해 샘플링 검사를 선호하였으나, 최근 들어서는 완벽한 품질 보증을 위해 전수검사가 널리 활용되는 추세에 있다. 레이저, 초음파 검사, 컴퓨터 비전, 패턴인식기법 등을 활용한 자동화된 검사 장치들이 많이 개발되었고, 스마트팩토리가 생산 현장에 정착되면서 정확하고 정밀한 측정 결과 수집이 가능해졌기 때문이다. 하지만, 이러한 흐름에도 불구하고 샘플링 검사 역시 품질검사의 한 축을 아직 유지하고 있다. 예를 들어, 전구의 수명검사는 필라멘트가 끊어질 때까지의 시간을 측정하므로 파괴검사를 수반한다. 이 경우 제품 품질검사를 위해서는 제품을 로트 단위로 구분한 후, 로트에서 일부의 샘플을 추출해 측정한 후, 그 결과를 합격판정기준과 비교해 로트의 합격 여부를 판정한다. 컨베이어 생산방식과 같이 공정이 흐름의 형태를 띠는 경우 로트단위로 제품 구분이 어려워 연속생산형 샘플링 검사를 활용하기도 한다.

샘플링검사방식은 품질특성에 따라 계수형과 계량형으로 구분되고, 샘플링 검사의 설계 방식에 따라 규준형, 선별형, 연속생산형, 그리고 조정형으로 구분된다. 한국공업규격 KS 표준은 오랫동안 계수 및 계량규준형, 계수선별형, 계수조정형, 연속생산형, 계수규준형 축차, 그리고 계량규준형 축차 샘플링 검사표준을 보유하고 있었다. 하지만, 1980년대 이후 세계 표준이 국제표준화기구 ISO(International Organization for Standardization) 표준으로 단일화되는 추세에 있다. 미국, 영국, 독일, 일본 등을 포함한 전 세계의 대다수 국가도 자국의 표준을 모두 ISO 표준으로 부합화하고 있음은 물론이다. 우리나라 샘플링 검사표준 역시 ISO 표준 체계를 상당수 국내 표준으로 부합화하여 계수치 축차 샘플링 검사방식(KS Q ISO 8422:2019), 계량치 축차 샘플링 검사방식(KS Q ISO 8423:2020), 계수형 샘플링검사(KS Q ISO 2859 시리즈), 계량형 샘플링검사(KS Q ISO 3951 시리즈)를 KS표준으로 제정하고 있다. KS Q ISO 2859 시리즈는 총 5개 파트의 표준으로 구성되는데, 각 파트별로 로트별 합격품질한계(AQL) 지표형 샘플링 검사 방식, 고토티 한계품질(LQ) 지표형 샘플링 검사, 스킵로트 샘플링 검사절차, 선언품질수준의 평가절차, 그리고 로트별 합격품질한계(AQL) 지표형 축차 샘플링 검사방식의 시스템으로 이루어져 있다. KS Q ISO 3951 시리즈 역시 총 5개 파트의 표준으로 구성되는데, 각 파트별로 단일 품질특성 및 단일 AQL에 대한 로트별 검사를 위한 합격품질한계(AQL) 지표형 1회 샘플링 검사, 독립 품질특성의 로트별 검사에 대한 합격품질한계(AQL) 지표형 1회 샘플링 검사, 로트별 검사를 위한 합격품질한계(AQL) 지표형 2회 샘플링검사 방안/스킵, 선언품질수준의 평가 절차, 그리고 계량형 검사(표준편차 기지)에 대한 합격품질한계(AQL) 지표형 축차 샘플링검사 방식에 대한 표준으로 이루어져 있다.

여러 샘플링 검사방식 중 국가 간 무역 거래에서 가장 널리 사용되는 표준이 로트별 합격품질한계(AQL) 지표형 샘플링 검사이다. 우리는 이 검사방식을 조정형 샘플링 검사라 칭한다. 조정형 샘플링 검사표준은 계수형 표준인 KS Q ISO 2859-1:1999와 계량형 표준인 KS Q ISO 3951-1:2019가 KS표준으로 제정되어 있다. 계수조정형 샘플링

검사표준 ISO 2859-1은 1989년과 1999년에 표준의 내용을 개정한 바 있는데, 이 내용에 대해서는 Hong and Lee(1996)와 Hong et al.(1999)에 의해 상세히 분석된 바 있다. KS Q ISO 2859-1:2019는 ISO 2859-1:1999의 내용을 국문으로 번역해 KS 표준으로 부합화한 것이다. 계량조정형 샘플링검사 표준 ISO 3951-1은 1981년 최초 제정, 1989년, 2013년, 그리고 2022년 개정을 거쳐 현재에 이르고 있는데, 1989년 개정판에 대해서는 Hong and Lee (1995)가 그 내용을 상세히 분석한 바 있다. 현재 계량 조정형 샘플링 검사표준 KS Q ISO 3951-1:2019는 ISO 3951-1:2013을 KS 표준으로 부합화한 것으로, ISO 3951-1:2022의 개정판 출간으로 KS 표준도 빠른 시일 내 부합화를 통한 개정 작업이 필요한 상황이다. 이 논문에서는 ISO 3951-1:2022의 최신 개정판 내용을 소개하고, 주요 개정 사항의 특성을 분석하려 한다. 과거 한국은 KS, 미국은 ANSI, 영국은 BS, 독일은 DIN, 일본은 JIS 등 자국의 독자적 국가 표준을 사용하였으나, 1990년 이후부터는 전 세계의 대부분 국가가 ISO 표준을 자국 언어로 번역해 국가 표준으로 부합화하고 있다.

이 논문에서는 2장에서 계량 조정형 샘플링 검사표준의 변천에 대해 살펴보고, 3장에서 ISO 3951-1:2022 표준의 구성, 내용, 그리고 주요 개정 사항을 소개하며, 4장에서 주 샘플링 검사표 구성 및 로트의 합격판정절차를 제시한다. 마지막으로 5장에서 엄격도 조정규칙과 그에 따른 종합 OC 곡선을 분석해 볼 것이다.

2. 계량조정형 샘플링 검사표준의 변천 과정

조정형 샘플링 검사는 공급되는 제품의 품질 수준에 따라 검사의 엄격도를 조정하는 검사이다. 즉, 군수품처럼 다수의 공급자로부터 연속적으로 제품을 구매할 때, 높은 품질의 제품 공급자에게는 수월한 샘플링 검사를 적용하여 공급자의 품질향상에 대한 의욕을 불어넣고, 낮은 품질의 제품 공급자에게는 까다로운 검사를 적용하여 로트의 합격 가능성을 낮춰 불량품의 납품을 억제하는 검사방식이다. 조정형 샘플링 검사는 국가 간 무역 거래에서 가장 널리 사용되는 샘플링 검사표준인데, 계수형과 계량형 두 가지 표준이 있다. 국제표준화기구 ISO는 계수조정형 샘플링 검사표준으로 ISO 2859-1:1999이, 계량조정형 샘플링 검사표준으로 ISO 3951-1:2022이 최신 버전으로 제정되어 있다. 우리나라에서는 ISO 2859-1:1999의 부합화 작업을 거쳐 KS Q ISO 2859-1:2019로 채택하였으며, 계량조정형 샘플링 검사표준 ISO 3951-1:2022는 아직 부합화 작업이 진행되지 않은 상태이다. 우리나라 표준인 KS Q ISO 3951-1:2019는 ISO의 2013년 표준인 ISO 3951-1:2013을 한글로 부합화한 것이다. ISO 3951-1:2022를 KS 표준으로 부합화하는 작업이 필요한 상황이다.

최초의 계량조정형 샘플링 검사표준은 미국 국방성에서 군수품 품질검사에 적용하기 위해 개발한 MIL-STD-414:1957이다. 미국규격협회인 ANSI(American National Standards Institute)와 미국품질관리학회인 ASQC(American Society for Quality Control)는 공동 작업을 수행하여 MIL-STD-414:1957를 일부 개정한 미국 민간표준 ANSI/ASQC Z1.9:1980을 제정하였고, 영국은 BS 6002:1979를 비슷한 시기에 제정하여 민간 영역에서도 조정형 샘플링 검사가 활발히 활용되었다. 비슷한 시기 국제표준화 기구 ISO도 계량조정형 샘플링 검사 표준인 ISO 3951 3951:1981을 제정하였다. ISO는 1989년 이 표준을 ISO 3951:1989로 개정하였는데, 이때쯤부터 미국, 영국, 독일 등 선진국 중심으로 자국의 국가 표준을 고집하지 않고, ISO 표준을 자국표준으로 부합화하는 작업이 시작되었다. 1980년대 이후 세계시장의 글로벌화가 빠르게 진행되면서 각국의 개별 표준들은 점차 의미를 상실하고 국제표준인 ISO 표준으로 통합하려는 ISO의 계획을 선진국 중심으로 전 세계 국가들이 따르기 시작한 것이다. Hong et al.(1995)은 ISO 3951:1989의 내용을 소개 및 분석하는 연구를 진행하였다. ISO는 1989년 개정판을, 2013년에 재개정판을 출간하였다. 재개정판부터 ISO 3951은 ISO 3951-1, ISO 3951-2, ISO 3951-3, 그리고 ISO 3951-4라는

4개의 개별 표준으로 확대 개편되었다. 4개의 개별 표준은 이 논문의 서론에 간략히 소개한 바 있다. 4개 개별 표준 중 첫 번째인 ISO-3951-1이 계량조정형 샘플링 검사표준이다. ISO는 2022년 ISO 3951-1의 내용을 또다시 개정하여 현재에 이르고 있다. 최신 개정판은 계수형 표준인 ISO-2859-1:1999와 계량형 표준인 ISO 3951-1:2022의 로트 크기 및 검사수준의 구분을 통일하였으며, 엄격도 조정규칙 및 로트의 합격확률 등에서 두 표준 간의 차이를 줄여 주는 방향으로 개정이 이루어졌다. 상세한 개선 사항들은 이 논문의 본문에서 소개할 것이다. <Figure 1>은 계량조정형 샘플링 검사표준의 변천 과정을 그림으로 나타낸 것이다.

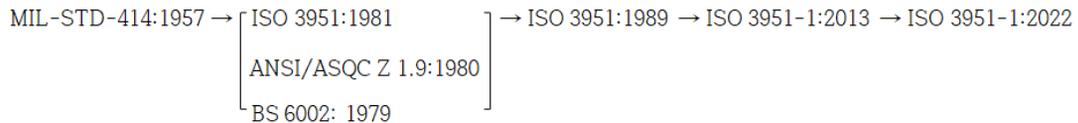


Figure 1. History of ISO 3951-1

3. ISO 3951-1:2022 표준의 구성

ISO 3951-1:2022(이하 ISO 3951-1이라 칭함. 즉, 연도 표시가 없으면 최신 표준인 2022년 버전을 칭하기로 함)은 합격품질한계(Acceptable Quality Limit; AQL)기반의 샘플링 검사이다. AQL은 “일련의 연속적인 로트가 합격판정 샘플링 검사에 투입되었을 때 허용 가능한 최악의 공정불량률 품질수준”이라 정의된다. 일반적으로 통계적품질관리의 샘플링 검사에서 사용되어 왔던 합격품질수준(Acceptable Quality Level; AQL)과는 정의가 약간 수정된 점에 주의하여야 한다. 합격품질수준 AQL의 정의는 “샘플링 검사의 목적상 만족스럽다고 생각되는 공정불량률의 상한”이라는 점을 생각한다면, 대동소이한 개념이라는 것을 알 수 있다. 하지만, ISO 3951-1에서 AQL은 합격품질한계를 의미하므로 앞으로 AQL은 특별한 언급이 없으면 합격품질한계를 뜻한다고 생각하면 되겠다.

ISO 3951-1은 표준의 전반적인 내용 설명을 위한 15개의 소절과 그 밖의 주 샘플링 검사표 및 로트의 합격여부 판정을 위한 예제로 구성되어 있다. 특히, 최신 개정판은 측정불확도 보정 절차 강화, 로트 합격판정 절차 중 하나인 형식 p*를 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사에서 전면 확대 적용, 부록에서 로트의 합격판정 절차 및 OC 곡선을 그리기 위한 다양한 R 패키지 소프트웨어 제공 등에서 ISO 3951-1:2013의 내용을 크게 수정 보완하였다.

ISO 3951-1 표준 활용을 위해서는 우선 로트 크기와 검사수준에 대응하는 샘플 문자를 <Table 1>에서 찾고, 이 샘플 문자와 AQL에 대응하는 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사를 주 샘플링 검사표에서 구하면 된다. 따라서, ISO 3951의 구성을 로트 크기, 검사수준, 샘플 문자, AQL, 그리고 주 샘플링 검사표 중심으로 설명하기로 한다.

3.1 로트 크기, 검사수준, 그리고 샘플 문자

검사에서 사용되는 로트 크기는 15등급으로 구분하고 최소 로트 크기는 2이상 8이하 구간이며, 최대 로트 크기는 500,001 이상으로 구분하고 있다. 로트 크기가 크면 샘플 크기 역시 커지도록 설계되어 있는데, 이는 로트 크기가 클수록 샘플 문자의 알파벳 순서가 B, C, ..., R 순으로 후순위 문자가 선택되도록 설계되어 있다. 샘플 문자는 B부터 R까지인데, 중간에 알파벳 I와 O를 생략하고, 총 15개 문자가 사용되고 있다. 검사수준은 샘플의 상대적인 크기에 따라 구분되는데, 일반검사수준 I, II, II와 특별검사수준 S-1, S-2, S-3, S4로 구분되어 있다. 별도의 지시가 없으면

일반검사수준 II를 사용하고, 수준 III은 로트에 대해 판단 오류를 줄이는 것이 중요하여 샘플 크기를 늘리기 위한 것이고, 수준 I은 그 반대의 경우로 판단 오류 가능성은 늘어나지만 샘플 크기를 줄이는 것이 필요한 경우 적용한다. 특별검사수준은 샘플 측정 비용이 비싸거나 파괴검사여서 샘플 크기를 최대한 줄여야 할 때 채택한다. 검사수준 S-1의 샘플 크기가 가장 작고, S-4가 S-2나 S-3보다 크게 설계되어 있다. ISO 3951:1989의 경우 검사수준이 일반검사수준 I, II, II, 특별검사수준 S-3, S-4 총 5가지로 구분된 바 있었으나, ISO 3951-1:2013부터 현재와 같은 7단계로 구분하였다. 계수조정형 샘플링 검사표준 ISO 2859-1:1999(이하 ISO 2859-1이라 칭함. 즉, 연도 표시가 없으면 최신 표준인 1999년 버전을 칭하기로 함) 분류 체계와 같도록 개정하여 현재에 이른 것이다. 로트 크기와 검사수준에 따른 샘플 문자 선택은 <Table 1>을 활용하면 된다. 계수형과 계량형 표준의 샘플 문자는 약간 다른 점이 있는데, ISO 2859-1은 <Table 1>의 샘플 문자 B 중 일부에서 샘플 문자 A를 사용하고 있다는 점이다. 샘플 문자가 알파벳 A쪽에 가까울수록 샘플 크기가 작고, R쪽에 가까우면 커지도록 검사방식이 설계되어 있는데, 계량형이 계수형과 달리 로트 품질 보증을 위해 필요한 샘플 크기가 작아서, 계량형 표준에서는 샘플 문자 A의 사용이 필요치 않은 이유라 판단된다. 그 외에는 두 표준의 샘플 문자가 구분이 일치한다.

Table 1. Sample Size Code Letters and Inspection Levels

Lot or batch sizes	Special Inspection levels				General Inspection levels		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2 to 8	B	B	B	B	B	B	B
9 to 15	B	B	B	B	B	B	C
16 to 25	B	B	B	B	B	C	D
26 to 50	B	B	B	C	C	D	E
51 to 90	B	B	C	C	C	E	F
91 to 150	B	B	C	D	D	F	G
151 to 280	B	C	D	E	E	G	H
281 to 500	B	C	D	E	F	H	J
501 to 1,200	C	C	E	F	G	J	K
1,201 to 3,200	C	D	E	G	H	K	L
3,201 to 10,000	C	D	F	G	J	L	M
10,001 to 35,000	C	D	F	H	K	M	N
35,001 to 150,000	D	E	G	J	L	N	P
150,001 to 500,000	D	E	G	J	M	P	Q
500,001 and over	D	E	H	K	N	Q	R

NOTE The sample size code letters and inspection levels in this document correspond to those given in ISO 2859-1 and ISO 2859-2.

3.2 AQL

AQL은 앞에서 소개한 바와 같이“일련의 연속적인 로트가 합격판정 샘플링 검사에 투입되었을 때 허용 가능한 최악의 공정불량률 품질 수준”이다. 제품의 품질특성에 따라 AQL이 지정되는데, AQL 값은 최소 0.01%부터 (10)1/5=1.585의 공비로 최대 10.0%까지, 총 16개 등급으로 구분되어 있다. 즉, ISO 3951-1에서 사용하는 AQL 값은 0.01, 0.015, 0.025, 0.04, 0.065, 0.10, 0.15, 0.25, 0.40, 0.65, 1.0, 1.5, 2.5, 4.0, 6.5, 그리고 10.0 (단위: %)의 총 16등급이다. 높은 수준의 품질이 요구되는 제품에 대해서는 작은 수치의 AQL을, 상대적으로 높은 불량률을 갖는 로트도 샘플링 검사에서 합격을 허용할 수 있는 경우에는 큰 값의 AQL을 선택한다.

계수조정형 샘플링 검사표준인 ISO 2859-1은 계량형과 달리 15, 25, 40, 65, 100, 150, 250, 400, 650, 그리고 1,000(%)의 AQL값을 추가로 선택할 수 있다. 하지만 이 AQL값은 불량률이 아닌 결점수에 기초해 로트의 합격여부를 판정하는 목적으로만 사용할 수 있다. 즉, ISO 3951-1과 ISO 2859-1 모두 불량률에 기초해 로트의 합격 여부 판정을 하려면 16등급의 AQL을 활용하도록 표준이 설계되어 있다. 두 표준의 차이가 전혀 없는 것이다.

4. 샘플링 검사 선택 및 로트의 합격여부 판정 절차

ISO 3951-1는 품질특성에 대한 규격이 한쪽만 주어졌는가 아니면 양쪽으로 주어졌는가에 따라 각각 서로 다른 합격판정절차를 따르게 된다. 한쪽 규격이란 규격 하한 또는 규격 상한 중 하나만 있는 경우이고, 양쪽규격이란 품질특성의 측정값이 너무 크거나 작아도 불량 처리되는 경우이다. 즉, 하나의 품질특성에 대해 규격 상한과 규격 하한이 모두 필요한 경우이다. 양쪽규격한계가 있는 경우 우리는 다음의 두 가지 상황을 생각할 수 있다. 첫째, 규격 상한과 규격 하한에 대해 같은 AQL이 지정되는 상황이다. 이를 결합된 양쪽규격한계를 갖는다고 말하는데, 규격 상한과 규격 하한을 벗어남으로 인한 손실이 서로 같다고 생각되는 경우이다. 제품의 특성에 따라서는 규격 상한과 규격 하한에 대해 서로 다른 AQL을 지정해야 할 수가 있다. 규격 상한과 규격 하한을 벗어남에 따른 손실이 서로 다르기 때문이다. 우리는 이러한 상황을 분리된 양쪽규격한계를 갖는다고 표현한다. ISO 3951-1에서는 결합된 양쪽규격한계를 갖는 경우 샘플링 검사를 선택할 수 있고, 분리된 양쪽규격한계를 갖는 상황에서는 ISO 3951-2:2013 표준(ISO 3951-2는 최신 버전이 2013년 개정판임)을 활용하여야 한다. 즉, ISO 3951-1은 품질특성에 대한 한쪽 규격만 존재하거나 결합된 양쪽규격을 갖는 경우만 사용될 수 있다.

ISO 3951-1은 로트의 합격여부 판정을 위해 형식 k (form k)와 형식 p* (form p*), 두 가지 방법을 쓸 수 있다. 두 방법 모두 같은 확률로 로트의 합격여부를 판정하므로, 품질검사원의 선호도에 따라 둘 중 하나를 선택하면 된다. 먼저 형식 k는 전통적인 계량형 샘플링 검사 형태로 샘플의 크기 n과 합격판정계수 k에 의해 로트의 합격여부를 판정하는 것이다. 즉, 로트에서 크기 n의 샘플을 추출해 샘플평균 \bar{x} 와 샘플표준편차 s의 식으로 표현되는 검정통계량을 구한 후, 이 값을 합격판정계수 k와 비교해 로트의 합격여부를 판정하는 방법이다. 형식 p*는 샘플의 크기 n과 최대 불량률 p*를 사용해 로트의 합격여부를 판정하는 방법이다. 즉, 로트에서 크기 n의 샘플을 추출하여 샘플 불량률의 추정치 \hat{p} 를 구한 후, 이 값이 p*보다 작으면 로트 합격, 그렇지 않으면 불합격시키는 방법이다. 로트의 크기, 검사수준, 그리고 AQL에 대응하는 형식 k와 형식 p* 샘플링 검사 선택은 각각 ISO 3951-1 표준의 Table 2 - Table 7과 Table 8 - Table 10에서 구할 수 있다.

로트의 합격여부 판정은 표준편차를 아는 경우와 모르는 경우 약간 다른데, 표준편차를 아는 경우는 표준편차 기지법, 모르는 경우는 표준편차 미지법을 적용하게 된다. 일반적으로는 공정의 표준편차를 모르기 때문에, 표준편차 미지법에서는 샘플에서 공정 표준편차를 추정하여, 추정값 $\hat{\sigma} = s$ 를 활용해 로트의 합격여부를 판정한다. 하지만, 샘플링 검사를 장기적으로 적용하다 보면, 표준편차에 대한 충분한 정보가 수집되고 장기적 관점에서 공정이 안정되어 있다고 판단되는 경우 여기서 얻은 표준편차를 공정표준편차 σ 라 판단하여, 표준편차 기지법을 적용할 수도 있다. 로트의 합격여부 판정에 필요한 샘플의 크기 측면에서 표준편차 기지법이 표준편차 미지법에 비해 장점을 갖고 있다. 하지만, 이러한 장점에도 불구하고, 표준편차 기지법 적용을 위해서는 공정의 안정과 검사책임자의 승인이 선행되어야 한다.

이 논문에서는 표준편차 미지법을 중심으로 샘플링 검사 선택 및 로트의 합격여부 판정 방법을 설명하려 한다. 표준편차 기지법의 경우도 대동소이한 방법을 적용하므로, 이 논문에서는 설명을 생략한다. 먼저, 형식 k를 설명한다. 형식 k를 적용하기 위해서는 제품 품질특성에 대해 한쪽 규격한계선만 존재하는지 아니면 양쪽규격한계선이 존재하는지를 우선 구분해야 한다. 각 상황에 따라 로트의 합격판정 절차가 약간 다른데, 한쪽 규격한계선이 존재하는 경우는 수치 방식 또는 그래프 방식을, 양쪽규격한계선이 존재하는 경우는 그래프 방식을 적용하여야 한다. 한쪽 규격한계선이 주어진 경우, 샘플링 검사 선택 및 수치 방식에 의한 로트의 합격판정 절차는 다음과 같다. 샘플링 검사 선택 전에 로트 크기, 검사수준, 그리고 AQL 값은 미리 결정되어 있어야 한다.

4.1 형식 k: 한쪽 규격한계선

ISO 3951-1 표준의 Table 2 - Table 7에 형식 k에 해당하는 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사의 주 샘플링 검사표가 제시되어 있다. Table 2 - Table 4는 표준편차 미지법, Table 5 - Table 7은 표준편차 기지법에 해당하는 주 샘플링 검사표이다. 이 논문의 <Table 2>는 ISO 3951-1의 Table 2에 해당하는 표로, 형식 k의 표준편차 미지법 보통검사에 해당하는 주 샘플링 검사표이다.

한쪽 규격이 주어진 경우는 수치 방법이나 그래프 방법을 선택적으로 사용할 수 있다. 이 절에서는 수치 방법을 설명하려 한다. 그래프 방법은 양쪽규격이 주어진 상황을 다루는 다음 절에서 설명할 것이다. 합격판정절차는 다음과 같다.

- a) ISO 3951-1의 부록 표로부터 n과 k를 선택한다.
- b) 로트에서 크기 n의 랜덤샘플을 뽑아 샘플평균 \bar{x} 와 샘플표준편차 s를 계산한다.
- c) $Q_U = (U - \bar{x})/k$ 또는 $Q_L = (\bar{x} - L)/k$ 을 계산하고, $Q_U \geq k$ 또는 $Q_L \geq k$ 이면 로트 합격, 그렇지 않으면 불합격 처리한다.

Table 2. Single sampling plans of form k for normal inspection – s–method

code letter	table- 2 Acceptance quality limit(in percent nonconforming)															
	0.01	0.015	0.025	0.04	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10.0
B	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k	n k
C																
D																
E																
F																
G																
H																
J																
K																
L																
M																
N																
P																
Q	63 3,288	101 3,219	110 3,167	102 3,016	132 2,867	159 2,782	207 2,615	244 2,508	293 2,388	348 2,268	424 2,114					
R	116 3,351	127 3,301	120 3,156	155 3,012	189 2,912	247 2,771	298 2,670	362 2,556	438 2,448	541 2,298						

예제 1) 어떤 기기의 가동온도에 대한 규격 상한이 $60^{\circ}C$ 로 규정되어 있고, 과거의 경험으로부터 가동온도는 정규분포를 따르는 것으로 알려져 있다. 로트 크기는 100이고, 공정표준편차는 모르므로 표준편차 미지법을 적용하려 한다. 검사수준은 II이고 AQL은 2.5%이다.

- a) <Table 1>에서 로트 크기 100과 검사수준 II에 해당하는 샘플 문자는 F가 정해진다. AQL 2.5%와 샘플 문자 F에 대응하는 보통검사는 <Table 2>로부터 $n=13$, $k=1.426$ 이 선택된다. 이 논문에는 제시하지 않았으나 ISO 3951-1 표준의 표로부터 까다로운 검사 $n=18$, $k=1.682$, 수월한 검사 $n=9$, $k=1.218$ 을 구할 수 있다.
- b) 로트로부터 $n=13$ 개의 샘플을 측정하여 결과 $53^{\circ}C$, $57^{\circ}C$, $49^{\circ}C$, $58^{\circ}C$, $59^{\circ}C$, $54^{\circ}C$, $58^{\circ}C$, $56^{\circ}C$, $50^{\circ}C$, $50^{\circ}C$, $55^{\circ}C$, $54^{\circ}C$, $57^{\circ}C$ 의 데이터를 얻었고, 이로부터 $\bar{x}=54.62^{\circ}C$, 그리고 $s=3.33^{\circ}C$ 로 계산되었다.
- c) $Q_U = (U - \bar{x})/s = (60 - 54.62)/3.33 = 1.616$ 이 되고, $k=1.426$ 이므로, $Q_U \geq k$ 가 성립하므로 로트를 합격 판정한다.

4.2 형식 k: 양쪽규격한계선

양쪽규격이 주어진 경우는 그래프 방법을 적용한다. 합격판정절차는 다음과 같다. 한쪽 규격이 존재할 때, 그래프 방법 적용 역시 같은 절차를 따른다.

- a) ISO 3951-1의 부록 표로부터 n 과 k 를 선택한다.
- b) 로트에서 크기 n 의 랜덤샘플을 뽑아 샘플평균 \bar{x} 와 샘플표준편차 s 를 계산한다.
- c) 다음 절차에 따라 로트의 합격여부를 판정한다.
 - 1) 만일 $\bar{x} < L$ 또는 $\bar{x} > U$ 라면 로트 불합격, 그렇지 않으면 다음 단계를 진행한다.
 - 2) ISO 3951-1 표준의 부록에서 제공하는 R패키지 프로그램 accCurve function을 실행해 구해진 도표에 (s, \bar{x}) 를 타점한다.
 - 3) 도표에 타점된 점이 합격영역 내에 있으면 로트 합격, 그렇지 않으면 로트 불합격 처리한다.

예제 2) 어떤 기기의 가동온도에 대한 규격 하한이 $60^{\circ}C$, 규격 상한이 $70^{\circ}C$ 로 규정되어 있고, 과거의 경험으로부터 가동온도는 정규분포를 따르는 것으로 알려져 있다. 로트 크기는 80이고, 공정표준편차는 모르므로 표준편차 미지법을 적용하려 한다. 검사수준은 II이고 AQL은 2.5%이다.

- a) <Table 1>에서 로트 크기 80과 검사수준 II에 해당하는 샘플 문자는 E가 정해진다. AQL 2.5%와 샘플 문자 E에 대응하는 보통검사는 <Table 2>로부터 $n=13$, $k=1.475$ 가 선택된다. 이 논문에는 제시하지 않았으나 ISO 3951-1 표준의 표로부터 까다로운 검사 $n=13$, $k=1.569$, 수월한 검사 $n=6$, $k=1.061$ 이 정해진다.
- b) 로트로부터 $n=13$ 개의 샘플을 측정하여 결과 $63.5^{\circ}C$, $61.9^{\circ}C$, $65.2^{\circ}C$, $61.7^{\circ}C$, $68.4^{\circ}C$, $67.1^{\circ}C$, $60.0^{\circ}C$, $66.4^{\circ}C$, $62.8^{\circ}C$, $68.0^{\circ}C$, $63.4^{\circ}C$, $60.7^{\circ}C$, $65.8^{\circ}C$ 의 데이터를 얻었고, 이로부터 $\bar{x}=64.223^{\circ}C$, 그리고 $s=2.7899^{\circ}C$ 로 계산되었다.
- c) $L < \bar{x} < U$ 이므로, ISO 3951-1의 부록에 제공된 통계 데이터 분석을 위한 R 패키지를 실행해 얻어진 도표인 <Figure 2>와 같이 (s, \bar{x}) 를 타점한다. 타점된 점이 합격영역을 벗어났으므로 로트는 기각 처리한다.

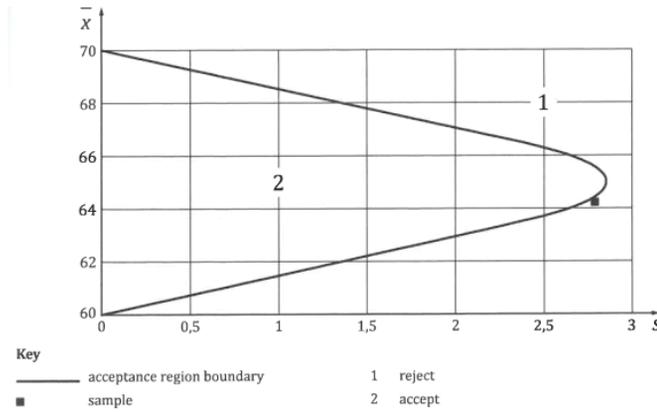


Figure 2. Example of the use of an acceptance diagram, s-method

4.3 형식 p^*

ISO 3951-1은 앞서 설명한 형식 k의 대안으로 형식 p^* 를 제시하고 있다. ISO 3951-1:2013에서도 형식 p^* 가 소개되기는 하였으나, 샘플 크기가 3 또는 4인 경우에만 제한적으로 사용할 수 있었다. 최신 버전인 ISO 3951-1에서는 보통검사, 까다로운 검사, 수월한 검사 모두에 대해 형식 k와 동일한 형태의 주 샘플링 검사표를 제시하고, 로트의 합격 판정 기준도 함께 제시하고 있다. 형식 k와 형식 p^* 어느 형식을 따르더라도 로트에 대한 합격판정결과는 같다. ISO 3951-1 표준의 Table 8 - Table 10에 각각 형식 p^* 에 해당하는 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사의 주 샘플링 검사표가 제시되어 있다. 이 논문의 <Table 3>은 ISO 3951-1의 Table 8에 해당하는 표로, 형식 p^* 보통검사 주 샘플링 검사표이다. 한쪽 규격 또는 양쪽규격한계선이 존재하는 경우 모두 동일한 절차에 따라 로트의 합격여부를 판정하면 된다. 형식 p^* 의 합격판정절차는 다음과 같다.

- a) ISO 3951-1의 부록 표로부터 n 과 p^* 를 선택한다.
- b) 로트로부터 크기 n 의 랜덤샘플을 뽑아 샘플평균 \bar{x} 와 샘플표준편차 s 를 계산한다.
- c) \bar{x} 와 s 값에 기초해 규격하한을 벗어나는 비율 \hat{p}_L 와 규격상한을 벗어나는 비율 \hat{p}_U 을 다음 식으로 추정한다.

$$\hat{p}_L = F_{B\left(\frac{n}{2}-1, \frac{n}{2}-1\right)} \left[\max \left\{ 0, \frac{1}{2} \left(1 - Q_L \frac{\sqrt{n}}{n-1} \right) \right\} \right], \tag{1}$$

Table 3. Single sampling plans of form p* for normal inspection (n_s sample size for s-method / n_o sample size for o-method)

code letter	table3- Acceptance quality limit(in percent nonconforming)															
	0.01	0.015	0.025	0.04	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10.0
B	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*	$n_s n_o$ p^*
C												6 4	9 6	9 6	6 5	7 5
D												0.0522	0.0872	0.1082	0.1946	0.3149
E											9 4	13 7	13 8	9 7	9 7	9 7
F											0.0328	0.0519	0.0647	0.1143	0.1961	0.2743
G											11 5	17 8	13 8	14 10	14 9	14 11
H										0.0196	0.0330	0.0414	0.0720	0.1245	0.1761	0.2771
I										18 6	28 10	30 11	27 13	30 16	32 16	33 19
J										0.0075	0.0127	0.0159	0.0275	0.0480	0.1094	0.1500
K										23 7	36 11	38 12	31 11	37 15	41 19	49 24
L										0.0048	0.0079	0.0098	0.0168	0.0256	0.0424	0.0678
M										28 7	44 12	47 13	40 13	48 17	54 21	63 27
N										0.0030	0.0050	0.0062	0.0107	0.0188	0.0269	0.0431
P										34 8	54 13	58 15	50 14	61 19	71 24	84 32
Q										0.0019	0.0031	0.0039	0.0066	0.0116	0.0167	0.0268
R										69 16	60 15	76 21	89 27	108 36	124 39	143 50
										0.0020	0.0041	0.0073	0.0105	0.0169	0.0234	0.0329
										47 9	75 15	82 17	71 17	93 24	110 30	137 40
										0.0007	0.0012	0.0015	0.0026	0.0046	0.0066	0.0108
										40 8	64 14	69 16	60 15	76 21	89 27	108 36
										0.0012	0.0020	0.0024	0.0041	0.0073	0.0105	0.0169
										55 10	88 17	96 19	88 19	112 26	134 33	171 45
										0.0005	0.0008	0.0009	0.0016	0.0029	0.0041	0.0066
										63 11	101 18	110 20	102 20	132 28	159 35	207 49
										0.0003	0.0005	0.0006	0.0010	0.0018	0.0026	0.0042
										116 19	127 21	120 22	156 30	189 38	247 54	298 64
										0.0003	0.0004	0.0006	0.0011	0.0016	0.0026	0.0036
										362 81	438 105	541 142	424 135	0.0171		
										0.0051	0.0071	0.0107				

$$\hat{p}_U = F_{B(\frac{n}{2}-1, \frac{n}{2}-1)} \left[\max \left\{ 0, \frac{1}{2} \left(1 - Q_U \frac{\sqrt{n}}{n-1} \right) \right\} \right]. \quad (2)$$

단, $F_{B(a,b)}(\cdot)$ 는 모수 a 와 b 를 갖는 베타분포의 누적분포함수이다. 참고로 표준편차를 알고 있다면,

$$\hat{p}_L = \Phi \left(-\frac{\bar{x}-L}{\sigma} \sqrt{\frac{n}{n-1}} \right) \text{과 } \hat{p}_U = \Phi \left(-\frac{U-\bar{x}}{\sigma} \sqrt{\frac{n}{n-1}} \right) \text{로 추정한다. 단, } \Phi(\cdot) \text{는 표준정규분포의}$$

누적분포함수이다.

- d) 규격 하한만 존재하는 경우 $\hat{p}_L \leq p^*$, 규격 상한만 존재하는 경우 $\hat{p}_U \leq p^*$, 양쪽규격이 존재하는 경우 $\hat{p}_L + \hat{p}_U \leq p^*$ 이면 로트 합격, 그렇지 않으면 불합격 처리한다.

예제 3) 형식 p* 설명을 위해 예제 2와 동일 예제를 사용한다. 어떤 기기의 가동온도에 대한 규격 하한이 $60^\circ C$, 규격 상한이 $70^\circ C$ 로 규정되어 있고, 과거의 경험으로부터 가동온도는 정규분포를 따르는 것으로 알려져 있다. 로트의 크기는 80이고, 공정표준편차는 모르고 있다. 검사수준은 II이고 AQL은 2.5%이다.

- a) <Table 1>에서 로트크기 80과 검사수준 II에 해당하는 샘플 문자는 E가 정해진다. AQL 2.5%와 샘플 문자 E에 대응하는 보통검사는 <Table 3>에서 $n_5=13$, $p^*=0.0647$ 이 선택된다. 형식 k에서 얻은 샘플 크기 n 과 같은 13임을 알 수 있다. AQL과 샘플 문자가 같으면 형식 k와 형식 p*의 샘플 크기는 같은 값이 되도록 주 샘플링 검사표가 설계되어 있다. 이 논문에는 제시하지 않았으나 ISO 3951-1 표준의 Table 9와 Table 10으로부터 까다로운 검사 $n_5=13$, $p^*=0.0519$, 수월한 검사 $n_5=6$, $p^*=0.1453$ 이 정해진다. <Table 3>에서 n_0 는 표준편차 지지법의 샘플 크기이다.

- b) 로트로부터 $n=13$ 개의 샘플을 측정한 결과 $63.5^\circ C$, $61.9^\circ C$, $65.2^\circ C$, $61.7^\circ C$, $68.4^\circ C$, $67.1^\circ C$, $60.0^\circ C$, $66.4^\circ C$, $62.8^\circ C$, $68.0^\circ C$, $63.4^\circ C$, $60.7^\circ C$, $65.8^\circ C$ 의 데이터를 얻었고, 이로부터 $\bar{x} = 64.223^\circ C$, 그리고 $s = 2.7899^\circ C$ 로 계산되었다.

- c) 규격하한을 벗어나는 불량률 추정치 $\hat{p}_L = F_{B(\frac{13}{2}-1, \frac{13}{2}-1)} \left[\max \left\{ 0, \frac{1}{2} \left(1 - \frac{4.223}{2.7899} \cdot \frac{\sqrt{13}}{12} \right) \right\} \right] = 0.0592$

$$\text{가 되고, 규격상한을 벗어나는 불량률 추정치 } \hat{p}_U = F_{B(\frac{13}{2}-1, \frac{13}{2}-1)} \left[\max \left\{ 0, \frac{1}{2} \left(1 - \frac{5.777}{2.7899} \cdot \frac{\sqrt{13}}{12} \right) \right\} \right]$$

=0.0116이 되어, $\hat{p}_L + \hat{p}_U = 0.0708$ 이 된다. $0.0708 > 0.0647 = p^*$ 이므로, 로트는 불합격 처리된다. 형식 k인 예제 2와 같은 결론을 얻게 된다. ISO 3951-1은 불량률 추정을 돕기 위해 부록에서 R 소프트웨어 패키지를 제공하고 있다.

5. 엄격도 조정규칙 및 종합 OC곡선

조정형 샘플링 검사는 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사를 독자적으로 사용하는 것이 아니라, 엄격도 조정규칙에 따라 각 검사방식을 선택적으로 사용하는 샘플링 시스템이다. 검사 시작 시에는 보통검사를 사용하나 공정불량률이 AQL보다 월등히 좋다고 판단되면 수월한 검사를, 반대로 AQL보다 나쁘다고 판단되면 까다로운 검사를

사용한다. ISO 3951-1에서 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사로 엄격도를 조정하는 규칙은 다음과 같다.

· 보통검사와 까다로운 검사

검사 시작 시에는 보통검사 사용한다. 보통검사서 연속된 5개 이하의 로트에서 두 로트가 불합격하면 보통검사를 중지하고 까다로운 검사로 엄격도 조정한다. 까다로운 검사서 연속 5로트가 합격하면 다시 보통검사로 전환한다.

· 보통검사와 수월한 검사

보통검사서 다음 4가지 조건이 모두 충족되면, 수월한 검사로 엄격도 조정한다.

- 1) 연속 10개의 로트 합격하고,
- 2) AQL이 한 단계 낮은 (예를 들어 1.0% 대신 0.65%) 샘플링 검사 기준에서도 로트 합격하고,
- 3) 공정이 통계적 관리상태에 있고,
- 4) 책임자가 수월한 검사가 바람직하다고 판단할 때.

수월한 검사서 다음 3조건 중 어느 하나라도 해당되면 보통검사로 엄격도 조정한다.

- 1) 로트가 불합격하거나,
- 2) 공정이 통계적 관리상태를 이탈했거나,
- 3) 수월한 검사가 타당하지 않은 다른 조건들이 보증될 때.

· 검사의 중지 및 재개

까다로운 검사서 불합격된 로트의 누계가 5개 로트에 도달할 때까지 보통검사로 엄격도 조정이 안 되면 검사를 중지한다. 검사중지 후 공급자가 품질을 개선하였다면 다시 검사를 재개할 수 있다.

최초의 계량조정형 샘플링 검사표준 MIL-STD-414의 엄격도 조정규칙은 계수형 표준인 ISO 2859-1과 상당한 차이가 있었다. 하지만, 미국 민간표준인 ANSI Z 1.9, ISO 3951:1981, ISO 3951:1989, ISO 3951-1:2013 등으로 개정을 거듭하면서 계수조정형 샘플링 검사표준인 ISO 2859-1과의 호환성을 확보하는 방향으로 수정되었다. <Table 4>는 ISO 3951-1, ISO 2859-1, 그리고 MIL-STD-414의 엄격도 조정규칙을 비교 분석한 것이다. <Table 4>에서 보는 바와 같이 ISO 3951-1과 ISO 2859-1은 보통검사서 수월한 검사로 엄격도 조정하기 위한 조건 하나만 차이가 있다. ISO 3951-1은 AQL이 한 단계 낮은 샘플링 검사에서도 합격해야 하지만, ISO 2859-1에서는 조정 점수가 30점 이상이면 수월한 검사를 적용할 수 있다. 그 외의 엄격도 조정규칙은 두 표준이 같다. 최초의 계량조정형 샘플링 검사 표준 MIL-STD-414는 현재의 ISO 3951-1과 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 특히, 검사의 중지와 재개 관련 규칙은 아예 존재하지도 않았다. MIL-STD-414는 샘플 데이터로부터 공정불량률을 추정한 후, 그 추정치가 AQL 보다 좋은지 나쁜지에 기초해 검사의 엄격도를 조정하는 특징이 있었다.

Table 4. Comparisons of Switching Rules

	ISO 3951-1	ISO 2859	MIL-STD-414
Normal → Reduced	<ul style="list-style-type: none"> • 10 successive lots have been accepted • these lots would have been accepted if the AQL had been one step tighter • production is in statistical control, and • reduced inspection is considered desirable by the responsible authority 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 successive lots have been accepted • Switching score is greater than or equal to 30 • production is in statistical control, and • reduced inspection is considered desirable by the responsible authority 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 successive lots have been accepted • the estimated percent nonconforming of 10 successive lots is less than the lower limit, and • production is in statistical control
Reduced → Normal	<ul style="list-style-type: none"> • lot not accepted • production not in statistical control, or • other conditions warrant 	the same	<ul style="list-style-type: none"> • lot not accepted • the estimated percent nonconforming is greater than the AQL • production not in statistical control, or • other conditions warrant
Normal → Tightened	<ul style="list-style-type: none"> • 2 or fewer consecutive lots not accepted 	the same	<ul style="list-style-type: none"> • the estimated percent nonconforming of 10 successive lots exceeds the AQL, and • the number of lots with estimated percent nonconforming greater than the AQL exceeds a T value in the tables in MIL-STD-414
Tightened → Normal	<ul style="list-style-type: none"> • 5 consecutive lots accepted 	the same	<ul style="list-style-type: none"> • the estimated percent nonconforming of lots under tightened inspection is less than or equal to the AQL
Tightened → Stop Inspection	<ul style="list-style-type: none"> • total 5 lots not accepted 	the same	None
Stop Inspection → Tightened	<ul style="list-style-type: none"> • Supplier improves quality 	the same	None

엄격도 조정규칙에서 살펴본 바와 같이 ISO 3951-1은 계수형 표준인 ISO 2859-1과의 호환성 확보를 위해 꾸준히 개정을 반복해왔다. <Table 1>의 샘플 문자표도 ISO 2859-1과 거의 같음은 이미 확인한 바 있다. ISO 3951-1과 ISO 2859-1은 AQL과 샘플 문자가 일치하면 로트의 합격확률 역시 거의 같도록 주 샘플링 검사표가 설계되어 있다. 예를 들어, AQL 1.5%, 샘플 문자 H일 때 ISO 3951-1의 보통검사는 n=27, k=1.636가 선택되고, ISO

2859-1 1회 샘플링 보통검사는 $n=50, c=2$ 가 선택된다. 공정불량률이 p 일 때, 한쪽 규격만 존재하는 경우 표준편차 미지 계량형 샘플링 검사의 로트 합격확률 $L(p)$ 는

$$L(p) = 1 - F_{t(n-1, z_p\sqrt{n})}(k\sqrt{n}), \tag{3}$$

이고, 계수형 샘플링 검사의 로트 합격확률은 이항분포를 활용해 다음과 같이 된다.

$$L(p) = \sum_{x=0}^c \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \tag{4}$$

단, 식 (3)에서 $F_{t(n-1, z_p\sqrt{n})}(\cdot)$ 는 자유도가 $n-1$ 이고 비중심성 모수가 $z_p\sqrt{n}$ 인 비중심 t분포의 누적분포함수 이고, $z_p = \Phi^{-1}(p)$ 이며, $\Phi^{-1}(\cdot)$ 는 표준정규분포 누적분포함수의 역함수이다.

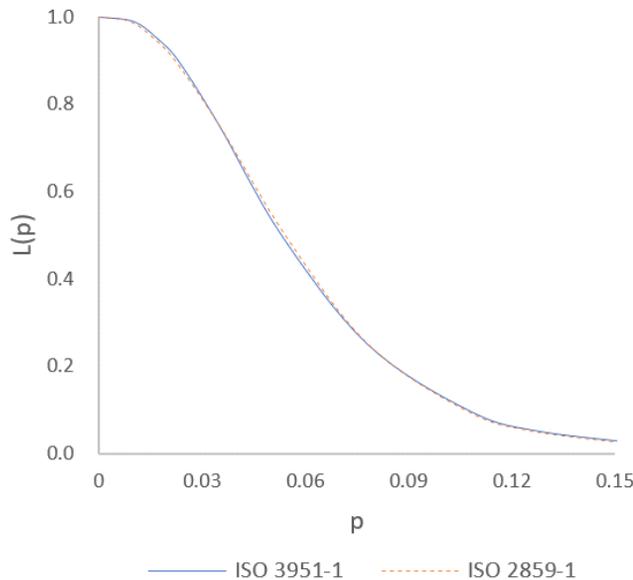


Figure 3. Normal Inspection OC Curves of ISO 3951-1 and ISO 2859-1 (AQL 1.5%, Sample Letter H)

<Figure 3>은 AQL 1.5%, 샘플 문자 H에 해당하는 계량형 및 계수형 샘플링 보통검사의 OC곡선을 그림으로 나타낸 것이다. <Figure 3>에서 실선은 계량형인 ISO 3951-1 그리고 점선은 계량형인 ISO 2859-1의 OC 곡선이다. 그림을 통해 두 곡선의 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있다. ISO 3951-1 주 샘플링 검사표의 설계 원칙은 AQL과 샘플 문자가 같으면 계량형과 계수형 두 OC곡선 사이의 면적이 최소가 되도록 샘플 크기 n 과 합격판정계수 k 를 결정 한 것이다. 특정 불량률 값에서 계수형과 계량형 샘플링 검사의 합격확률을 정확히 일치시킬 수는 없었는데, 그 이유는 계수형 및 계량형 샘플링 검사의 샘플 크기 n 이나 합격판정계수 c 가 자연수이기 때문이다. 그러므로 ISO 3951-1은 두 검사방식의 OC곡선으로 이루어진 공간의 면적을 최소화하는 기준을 사용한 것이다. 이를 통해 두 검사방식에 따른 로트 합격확률의 차이를 최소화 할 수 있었고, 두 검사방식의 상호 호환성을 최대한 높여준 것이다.

ISO 3951-1의 표준편차 기지법과 미지법의 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사 모두 AQL과 샘플 문자가 같으면 ISO 2859-1의 샘플링 검사와 OC곡선 측면에서 거의 유사한 특성을 갖도록 설계되어 있다. <Table 5>는 <Figure 3>의 OC곡선 자료로, ISO 3951-1과 ISO 2859-1 표준 부록표에서 뽑아 요약 정리한 것이다. <Table 5>에서 p_1 은 ISO 3951-1의 불량률이고 p_2 는 ISO 2859-1의 불량률이며, $L(p)$ 는 각 불량률에 대응하는 로트 합격확률이다.

Table 5. Normal Inspection OC Curve Values of ISO 3951-1 and ISO 2859-1

L(p)	1.0	0.99	0.95	0.90	0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	0.01
p_1	0	0.010	0.017	0.023	0.035	0.053	0.078	0.107	0.128	0.173
p_2	0	0.009	0.016	0.022	0.035	0.054	0.078	0.106	0.126	0.168

조정형 샘플링 검사는 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사를 독자적으로 사용하는 것이 아니라, 엄격도 조정규칙에 따라 각 검사방식을 선택적으로 사용하는 샘플링 시스템이다. 따라서, 장기적인 관점에서 로트의 합격확률을 고려해야 한다. 이를 종합 OC곡선 (Composite Operating Characteristic Curve)이라 부른다. 공정불량률 p 인 공정에서 로트가 구성되었다면 로트의 종합합격확률 $L(p)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$L(p) = P(N|p) \cdot L_N(p) + P(T|p) \cdot L_T(p) + P(R|p) \cdot L_R(p), \quad (5)$$

식 (5)에서 $L_N(p)$, $L_T(p)$, $L_R(p)$ 는 불량률 p 인 공정에서 로트가 형성된 경우 각각 보통검사, 까다로운 검사, 수월한 검사에서 로트가 합격될 확률이다. 또한, $P(N|p)$, $P(T|p)$, $P(R|p)$ 는, 공정불량률 p 인 공정에서 구성된 로트가 엄격도 조정규칙에 따라 장기적으로 조정형 샘플링 시스템을 적용했을 때, 각각 보통검사, 까다로운 검사, 수월한 검사에서 검사될 확률이다. $P(N|p)$, $P(T|p)$, $P(R|p)$ 는 보통 시뮬레이션 기법을 활용해 계산할 수 있다. 구체적인 종합 OC곡선 계산 및 그 형태는 Bai et al. (2009), Hong and Lee (1995), 그리고 Shilling and Sheesley (1984)를 참조하기 바란다. 조정형 샘플링 검사의 종합 OC곡선은 불량률이 AQL보다 작을 때는 보통검사의 OC곡선과 수월한 검사의 OC곡선 사이의 값을 갖게 되고, 불량률이 증가함에 따라 까다로운 검사의 OC곡선에 근접하게 됨이 알려져 있다. ISO 3951-1 역시 같은 형태의 종합 OC곡선을 갖는다. ISO 3951-1과 ISO 2859-1은 AQL 값과 샘플 문자가 같다면 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사의 개별 OC곡선 차이가 없도록 주 샘플링 검사표가 설계되어 있고, 엄격도 조정규칙 역시 거의 같으므로 종합 OC곡선 역시 차이가 거의 없다. 즉, 장기적인 관점에서 로트의 품질 보증 능력이 같다고 할 수 있다. 두 샘플링 검사표준의 상호 호환성이 완벽히 갖추어져 있다고 할 수 있다.

6. 결론

계량조정형 샘플링 검사 국제표준인 ISO 3951-1가 2022년 개정 출간되었다. 1981년 처음 ISO 표준으로 제정된 이후, 1989년과 2013년 개정을 거쳐 2022년 3차 개정판이 나온 것이다. 이 논문에서는 최신 개정판 ISO 3951-1:2022의 내용과 로트 합격판정절차, 그리고 개정 전 표준과의 차이점에 대해 살펴보았다. ISO 3951-1은 계수조정형 샘플링 검사표준인 ISO 2859-1과의 상호 호환성을 확보하는 방향으로 지속적 개정이 진행되었다. 세계 최초의 계량조정형 샘플링 검사표준인 MIL STD 414나 ISO 3951:1981과는 달리 로트 크기, 검사수준, 샘플 문자

등의 구분을 계수형 표준과 거의 같게 맞추었고, 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사의 로트 합격확률은 물론이고, 조정형 샘플링 검사표준의 핵심인 엄격도 조정규칙까지 ISO 2859-1과 대동소이하게 개정하였다. 이전 표준인 ISO 3951-1:2013에서 크게 보완된 부분을 요약하면, 측정불확도 보정 절차 강화, OC곡선 기반 측면에서 ISO 3951-1과 ISO 2859-1의 동등성 확보, 로트 합격판정 절차 중 하나인 형식 p^* 를 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사에서 전면 확대 적용, 부록에서 로트의 합격판정 절차 및 OC곡선을 그리기 위한 다양한 소프트웨어의 제공 등이라 할 수 있다. 따라서, 현재의 계량조정형 샘플링 검사에 대한 KS 표준인 KS Q ISO 3951-1:2019의 신속한 개정 작업을 하여야 할 것이다. 영국은 BS ISO 3951-1:2022, 그리고 독일은 DIN ISO 3951-1:2023으로 이미 부합화 작업을 마쳤다. 우리나라의 경우, ISO 3951-1:2013이 ISO 표준으로 개정된 지 6년만인 2019년에서야 KS Q ISO 3951-1:2019를 국내 표준으로 부합화한 바 있다. ISO 3951-1:2022을 국내 표준으로 부합화하는 작업을 서둘러야 할 것으로 판단된다.

계량조정형 샘플링 검사표준 ISO 3951-1은 전 세계 무역 거래에서 가장 널리 사용되는 샘플링 검사표준이다. 본문에서도 언급한 바와 같이 우리나라는 물론이고 미국, 영국, 독일, 일본 등 대다수 국가에서 이 표준을 자국표준으로 부합화해서 사용하고 있기 때문이다. 따라서, ISO에서는 이 표준을 지속 개정 보완하고 있다. 향후 개정이 진행된다면 다음과 같은 점의 보완이 필요하다고 생각된다. 첫째, 이 표준에서는 AQL 최소값이 0.01%로 되어 있다. 이 값은 1957년 제정된 최초의 계량조정형 표준 MIL STD 414 이후 변화가 없다. 지난 70여 년 동안 제품의 품질 수준은 괄목할만한 성장이 이루어져 왔다. 최근 들어서는 스마트팩토리와 공정 자동화 추세에 따라 제품의 품질수준은 % 단위가 아니라 ppm (parts per million) 단위로 관리하는 경우가 매우 많다. 계량조정형 샘플링 검사에서도 0.01% 보다 좋은 수준의 AQL에서도 적용할 수 있도록 표준의 보완이 필요하다고 생각된다. 둘째, 현재의 표준은 부록에 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사의 개별 검사방식에 대한 OC곡선을 표와 그림으로 제시하고 있다. 하지만, 조정형 샘플링 검사는 보통 검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사를 독자적으로 활용하는 것이 아니고, 엄격도 조정규칙에 따라 각 검사방식을 선택적으로 적용하는 샘플링 시스템이다. 즉, 로트의 품질수준에 따라 검사의 엄격도를 조정하여 장기적 관점에서의 종합 OC곡선이 필요하다. 향후 또 다른 개정판을 준비한다면 보통검사, 까다로운 검사, 수월한 검사의 개별 OC곡선은 물론이고 엄격도 조정규칙 적용에 따른 종합 OC곡선의 제시가 필요하다고 생각된다.

REFERENCES

- ANSI/ASQC Z1.9:1980. 1980. Sampling Procedures and Tables for Inspections by Variables for Percent Nonconforming. New York: American National Standards Institute.
- Bai, D.S., Hong, S.H., and Sohn, M.A. 1990. Variables Sampling Inspection Procedures and Tables with Severity Adjustment. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineering* 16(1):1-15.
- Bai, D.S., Riew, M.C., Kwon, Y.I., Yun, W.Y., Kim, S.B., Hong, S.H., and Choi, I.S. 2009. *Statistical Quality Control* 2nd ed. Seoul: Youngji Publishers; 335-367.
- BS ISO 3951-1. 2022. Sampling Procedures for Inspection by Variables-Part 1. London: British Standards Institute.
- DIN ISO 3951-1. 2023 Sampling Procedures for Inspection by Variables-Part 1. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- Hong, S.H., and Lee, S.H. 1995. ISO 3951, Sampling Procedures and Charts for Inspection by Variables for Percent Nonconforming. *Journal of Korean Society for Quality Management* 23(1):1-14.

- Hong, S.H., and Lee, S.H. 1996. ISO 2859-1:1989, Sampling Plans Indexed by Acceptable Quality Level for Lot-by-Lot Inspection. *Journal of Korean Society for Quality Management* 24(3):77–93.
- Hong, S.H., Lee, S.Y., and Choi, S.I. 1999. ISO/DIS 2859-1:1997, Sampling Plans Indexed by AQL for Lot-by-Lot Inspection. *Journal of Korean Society for Quality Management* 27(1): 135–150.
- ISO 2859-1. 1999. Sampling Procedures for Inspection by Attributes-Part 1. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 3951. 1981. Sampling Procedures and Charts for Inspection by Variables for Percent Defective. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 3951. 1989. Sampling Procedures and Charts for Inspection by Variables for Percent Nonconforming 2nd ed. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 3951-1. 2013. Sampling Procedures for Inspection by Variables-Part 1 2nd ed. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 3951-1. 2022. Sampling Procedures for Inspection by Variables-Part 1 3rd ed. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 3951-2. 2013. Sampling Procedures for Inspection by Variables-Part 2 2nd ed. Geneva: International Organization for Standardization.
- KS Q ISO 2859-1. 2019. Sampling Procedures for Inspection by Attributes-Part1. Seoul: Korean Standards Association.
- KS Q ISO 3951-1. 2019. Sequential Sampling Plans for Inspection by Attributes: Korean Standards Association.
- KS Q ISO 8422. 2019. Sampling Procedures for Inspection by Attributes. Seoul: Korean Standards Association.
- KS Q ISO 8423. 2019. Sampling Procedures for Inspection by Variables for Percent Nonconforming (Known Standard Deviation). Seoul: Korean Standards Association.
- MIL-STD-414. 1957. Military Standard, Sampling Procedures and Tables for Inspections by Variables for Percent Defective. Washington, D.C.: Department of Defense, U.S. Government Printing Office.
- Shilling, E.G., and Sheesley, J.H. 1984. The Performance of ANSI/ASQC Z1.9:1980 under the Switching Rules. *Journal of Quality Technology* 16(2):101–120.

저자소개

- 이민구** 87년 아주대학교 산업공학과 학사, 89년 KAIST 산업공학석사, 93년 KAIST 산업공학박사. 현재 충남대학교 정보통계학과 교수로 근무 중이며, 98년 8월부터 1년간 미국 Rutgers University 산업공학과에 방문교수, 2010년 7월부터 1년간 미국 산호세 주립대학 경영학과 방문교수. 주요관심분야는 6시그마, 품질경영 등이다.
- 홍성훈** 84년 고려대학교 산업공학과 학사, 86년 KAIST 산업공학석사, 91년 KAIST 산업공학박사. 1996년 12월부터 1년간 미국의 Rutgers University 산업공학과 방문교수, 2004년 7월부터 1년간 미국의 Clemson University 산업공학과 방문교수, 현재 전북대학교 산업정보시스템공학과 교수. 2020년 1월부터 2년간 한국품질경영학회 학회장 역임. 주요 관심분야는 6시그마, 품질경영, 고객만족, 신뢰성공학 등이다.