

計量調整型 샘플링 檢査에 關한 研究†

裊道善* · 洪性勳* · 孫美愛**

Variables Sampling Inspection Procedures and Tables with Severity Adjustment

Do-Sun Bai*, Sung-Hoon Hong*, and Mi-Ae Sohn**

Abstract

An AQL type variables sampling system with switching rules is proposed. Comparative studies of existing variables sampling standards - MIL-STD-414, ANSI Z1.9, ISO 3951, and BS 6002 - are made, and simulation studies on switching procedures are conducted. Based on comparative and simulation studies, a variables sampling standard for Korean industry is proposed. The master sampling tables of the proposed standard are taken from the variables standard ANSI Z 1.9 and the switching rules are matched to the attributes standard KS A 3109 to enable us to move between the proposed variables standard and KS A 3109. Composite OC and ASN curves of the proposed standard are calculated for selected combinations of lot sizes and AQL's and they are compared with those of ANSI Z1.9.

1. 序 論

産業이 發展되면서 製品의 品質에 對한 重要性이 強調되고 이를 위해 여러 種類의 品質管理 技法들이 開發되었으며, 現在 이러한 技法들은

産業現場에서 널리 利用되고 있다. 우리나라에서도 1961年 工業標準化法이 制定된 이래, 生産性 向上과 製品의 品質을 높이기 위한 手段으로 여러 種類의 品質管理 技法들이 使用되어 왔고, 그들 중 샘플링 檢査技法이나 管理圖 技法 등은

* 韓國科學技術院 産業工學科

** 韓國國防研究院

† 本 研究은 韓國科學財團의 支援에 의하여 遂行되었음

韓國工業規格(Korean Standards: KS)으로 制定되어 있다. KS 規格 중에서 샘플링 檢査에 關한 規格은 通則인 KS A 3101, 計數型 規格 6가지, 計量型 規格 3가지 등 總 10개의 規格으로 이루어져 있다.

여러 種類의 샘플링 檢査方式中的 하나인 調整型 샘플링 檢査方式은 供給되는 製品의 品質水準에 따라서 檢査의 嚴格度を 調整함으로써 生産者에게 製品의 品質向上에 對한 意慾을 鼓吹시킬 수 있으며, 生産者와 消費者를 동시에 保護할 수 있다는 長點 때문에 産業現場에서 가장 널리 使用되고 있다. 그러나 우리나라 工業規格에는 計數調整型 샘플링 檢査方式에 對한 規格(KS A 3109)은 있으나 計量調整型 샘플링 檢査方式에 對한 規格은 制定되어 있지 않다. 따라서 檢査對象이 되는 製品의 品質特性值가 計量型 데이터로 얻어지는 製品에 대해서 調整型 샘플링 檢査方式을 適用하기 위해서는 얻어진 데이터를 計數型 데이터로 變換해 計數調整型 規格을 利用하거나, 外國의 計量調整型 規格을 그대로 利用하고 있는 것이 現實이다. 그러나 計量型 데이터로 얻어지는 製品에 대해 計數調整型 샘플링 檢査方式을 適用하는 경우 計量型에 비해 샘플의 크기가 顯著히 커진다는 短點이 있고, 또한 國內産業體에서 計量調整型 샘플링 檢査를 使用하고자 할때 그에 대한 選擇基準을 제시하기 위하여 우리나라의 工業規格에도 그 一部로 計量調整型 샘플링 檢査規格이 包含되어야 할 것이라 생각된다. 이에 本論文에서는 外國의 計量調整型 샘플링 檢査規格들인 美國 軍用規格 MIL-STD-414, 英國規格 BS 6002, 美國 民間規格 ANSI Z1.9, 國際規格 ISO 3951 등과 計數型 規格인 KS A 3109의 內容을 比較, 分析하여 KS A 3109와 相互 호환성 있게 使用될 수 있는 새로운 計量調整型 샘플링 檢査規格을 提案하고자 한다.

2. 計量調整型 샘플링 檢査規格들의 比較

現在 널리 利用되고 있는 計量調整型 샘플링 檢査規格인 美國 軍用規格 MIL-STD-414 (1957), 英國規格 BS 6002(1979), 美國 民間規格 ANSI Z1.9(1980), 國際規格 ISO 3951(1981) 등에 대한 內容을 比較하였다. 이 規格들중 BS 6002와 ISO 3951은 規格의 內容이 同一하고, 나머지 3가지 規格들은 여러가지 差異點이 있다. 本節에서는 이 規格들의 構成, 主 샘플링 檢査表, 合格判定 節次 및 嚴格度 調整法則 등을 比較하였다.

2.1. 規格의 構成

MIL-STD-414와 ISO 3951은 4개의 節로 ANSI Z1.9은 5개의 節로 이루어져 있다. MIL-STD-414와 ANSI Z1.9은 節 A에서 샘플링 檢査方式의 一般的인 事項으로 規格의 適用範圍, 缺點의 分類, 不良率, AQL, 合格判定 基準 등을 說明하고 있으며, 節 B, C, D에서는 각각 標準偏差法, 範圍法, 그리고 分散을 알고 있는 경우에 관한 샘플링 檢査方法을 說明하고 있다. 또한 ANSI Z1.9의 節 E에서는 計數型 規格인 ANSI Z1.4와 同時에 使用할 수 있도록 比較表를 제시하였다. 그러나 ISO 3951은 1節에서 샘플링 檢査에 관한 一般事項을 規定하고, 2節에서는 AQL의 選擇 및 計數型과 計量型 샘플링 檢査 사이의 選擇基準, 3節에서는 計量型 샘플링 檢査方式의 選擇方法을 說明하고 있으며, 4節에서는 表와 그래프를, 附錄에는 主 샘플링 檢査表와 合格判定 曲線 등을 두고 있다. 規格의 構成 및 使用하는 用語의 差異點, 로트의 크기, 檢査水準, AQL, 그리고 試料文字 등의 分類는 表 1과 같다.

表 1. 規格의 構成

	A. MIL-STD-414	B. ANSI Z 1.9	C. ISO 3951(BS6002)
1. 構 成	4개의 節	5개의 節(節 E 追加)	4개의 節
2. 用 語	Defect Defective Percent Defective	Nonconformity Nonconformance Percent Nonconforming	Nonconformity 또는 Defect Nonconformance 또는 Defective Percent Nonconforming 또는 Percent Defective
3. 로트의 크기	17 段階	16 段階(MIL-STD-105D 와 同一)	15 段階(B의 281-400, 401-500을 하나로 묶음)
4. 檢査水準	5 水準 (I, II, III, IV, V)	5 水準 (S-3, S-4, I, II, III)	B 와 同一
5. AQL	14 段階	11 段階(A에서 0.04, 0.065, 15% 除外)	B 와 同一
6. 試料文字	16 分類	14 分類	B 와 同一

2.2. 主 샘플링 檢査表

計量調整型 샘플링 檢査規格들은 대체로 MIL-STD-414(1957)의 主 샘플링 檢査表를 그대로 또는 약간 수정하여 사용하고 있다. 특히 最近에 制定 또는 改正된 BS 6002(1979), ANSI Z1.9(1980), 그리고 ISO 3951(1981) 등은 同一한 主 샘플링 檢査表를 사용하고 있는 바, 이들의 主 샘플링 檢査表는 MIL-STD-414(1957)의 表를 약간 수정하여 만들어진 것이다.

2.3. 合格判定 節次 및 基準

合格判定 節次는 表를 이용해 로트의 合格與否를 判定하는 경우와 그래프를 이용해 로트의 合格與否를 判定하는 경우로 大別된다. 表를 이용하여 로트의 合格與否를 判定하는 檢査規格이

MIL-STD-414와 ANSI Z 1.9이고, ISO 3951과 BS 6002는 表와 그래프 두가지 方法을 모두 使用하도록 되어 있다. 그러나 表를 이용하는 ANSI Z 1.9, 그래프를 이용하는 ISO 3951과 BS 6002는 同一한 主 샘플링 檢査表에 基礎하여 만들어진 規格이기 때문에 어떤 方法을 使用하든 同一한 合格確率을 얻게 된다(Schilling [1974]). 그러므로 ISO 3951과 BS 6002는 자세한 合格判定 節次가 필요 없는 경우는 그래프를 이용해 合格判定을 하고, 不良率의 推定値가 必要하거나 그래프로 合格判定한 結果를 確認할 必要가 있을 경우 表를 이용해 合格判定을 確認할 수 있도록 規格이 만들어져 있다.

2.4. 嚴格度 調整法則

規格들의 特徵을 嚴格度 調整法則을 基準으로 比較하면 BS 6002, ANSI Z1.9, ISO 3951 등

3가지 規格의 嚴格度 調整法則은 同一하고, MIL-STD-414 만이 差異가 있다. MIL-STD-414는 計數型에 관한 美國 軍用規格 MIL-STD-105D의 前身인 MIL-STD-105A와 嚴格度 調整法則이 同一하고, BS 6002, ANSI Z 1.9, ISO 3951 등은 計數型 規格인 BS 6001, ANSI Z 1.4, ISO 2859 등과 同時에 使用이 可能하도록 嚴格度 調整法則이 設計되어 있다. 表 2는 이들 規格의 嚴格度 調整法則에 대한 比較表로서, MIL-STD-414가 보다 複雜한 規則을 갖는다는 것을 알수 있다.

調整型 샘플링 檢査方式은 普通檢査, 까다로운 檢査, 수월한 檢査의 3가지 檢査方式이 독자적으로 使用되는 것이 아니라, 表 2에서와 같은 嚴格度 調整法則에 의하여 각 檢査方式들이 相互 聯關되어 使用되기 때문에 로트의 '綜合 合格確率' 및 '綜合 ASN'은 調整型 샘플링 檢査方式의 遂行度を 評價하는 重要한 基準이 된다. 로트

不良率 p 의 函數로서

$P\{R\}$: 수월한 檢査에서 檢査받는 로트의 比率

$P\{N\}$: 보통 檢査에서 檢査받는 로트의 比率

$P\{T\}$: 까다로운 檢査에서 檢査받는 로트의 比率

이라고 定義하면, 綜合 合格確率 P_a 와 綜合 ASN은 다음식으로 計算된다.

$$P_a = Pa_1 \cdot P\{R\} + Pa_2 \cdot P\{N\} + Pa_3 \cdot P\{T\} \quad (1)$$

$$ASN = n_1 \cdot P\{R\} + n_2 \cdot P\{N\} + n_3 \cdot P\{T\} \quad \dots (2)$$

단 Pa_1 : 수월한 檢査에서의 로트의 合格確率

Pa_2 : 普通 檢査에서의 로트의 合格確率

Pa_3 : 까다로운 檢査에서의 로트의 合格確率

n_1 : 수월한 檢査에서의 샘플의 크기

n_2 : 普通 檢査에서의 샘플의 크기

n_3 : 까다로운 檢査에서의 샘플의 크기

表 2. 嚴格道 調整法則의 比較

	MIL-STD-414	ANSI Z 1.9 (ISO 3951/BS 6002)
普通 → 까다로운	k 로트중 \hat{p}_i 가 AQL 보다 큰 로트의 數가 T 이상이고, $\hat{p} = \sum_{i=1}^k \hat{p}_i / k > AQL$	連續 5로트중 2로트 以上 不合格
까다로운 → 普通	$\hat{p} < AQL$	連續 5로트 合格
普通 → 수월한	連續 k 로트가 普通檢査에서 合格되고, \hat{p} 이 規格에서 제시하는 限界 不良率 보다 작고, 工程이 安定되어 있을때	連續 10 로트가 普通檢査에서 合格되고 工程이 安定되어 있을때
수월한 → 普通	1 로트라도 不合格 되거나, $\hat{p} > AQL$, 또는 工程이 不安定 할때	1 로트라도 不合格 되거나, 工程이 不安定 할때

T: MIL-STD-414의 表로부터 얻을 수 있는 값

\hat{p}_i : i 번째 로트로부터 推定한 工程 不良率의 推定量

$\hat{p} = \sum_{i=1}^k \hat{p}_i / k$: k 로트로부터 推定한 工程 不良率의 算術平均(一般的으로 $k=10$ 을 使用하지만 5 또는 15를 使用하는 경우도 있다)

이다. 式(1)과 (2)에서 얻어진 Pa 와 ASN 을 不良率 p 의 函數로 하여 그래프로 그린 것이 綜合 OC 曲線(Composite Operating Characteristic Curve)과 綜合 ASN 曲線(Composite Average Sample Number Curve)으로, Stephens 와 Larson(1967), 그리고 Schilling 과 Sheesley(1978)는 마코브 사슬(Markov Chain) 技法을 利用하여 計數型 規格인 MIL-STD-105D 에 대한 綜合 OC 曲線을 구하였고, Koyama 등(1970)은 시뮬레이션(Simulation) 方法을 使用하여 日本의 計數調整型 規格인 JIS Z 9015 에 대한 綜合 OC 曲線을 구하였다. 計量型 規格에 대한 研究로는 Schilling 과 Sheesley(1984)에 의하여 ANSI Z1.9 에 대한 綜合 OC 曲線 및 綜合 ASN 曲線 등이 計算된 바 있다.

3. 計量調整型 샘플링 檢査規格의 提案

새로운 計量調整型 샘플링 檢査規格을 提案하기 위해서는 로트의 크기, AQL, 試料文字, 主 샘플링 檢査表, 嚴格度 調整法則, 合格判定 節次 등을 提案하여야 한다. 計量調整型 샘플링 檢査에 관한 既存의 外國 規格들은 로트의 크기, AQL, 試料文字 등의 分類에 있어서 모두 同一하지는 않으나, 最近에 改正 또는 制定된 BS 6002(1979), ANSI Z1.9(1980) 그리고 ISO 3951(1981) 등은 試料文字와 AQL 값이 같은 경우는 모든 規格이 同一한 샘플링 檢査方式(샘플의 크기 n 과 合格判定 係數 k, 또는 最大許容不良率 M)을 주도록 主 샘플링 檢査表가 設計되어 있으며, 이 規格들은 計數調整型 샘플링 檢査規格과 相互 호환성 있게 使用이 可能하도록 BS 6001, ANSI Z1.4, ISO 2859 등과 嚴格度 調整法則이 同一하다. 또한 産業現場에 대

한 說問調查로부터 새로운 計量調整型 샘플링 檢査規格이 提案될 경우, 그 規格은 우리나라 計數型 規格인 KS A 3109 와 서로 호환성 있게 使用될 수 있도록 規格이 設計되어야 한다는 結論을 얻을 수 있었다(參考文獻 [14]). 그러므로 本論文에서는 로트의 크기, AQL, 試料文字 등의 分類와 主 샘플링 檢査表는 美國 民間規格인 ANSI Z1.9(1980)의 內容을 따르고, 嚴格度 調整法則은 計數型 規格인 KS A 3109 와 同一한 計量調整型 샘플링 檢査規格을 提案하고자 한다. 또한 ANSI Z1.9에서는 製品의 品質特性值에 대한 標準偏差를 모르는 경우 標準偏差法과 範圍法의 두가지 方法을 모두 使用하고 있으나, 本論文에서는 範圍法은 使用하지 않고 標準偏差法만을 使用하는 規格을 提案한다. 一般적으로 範圍法은 標準偏差法에 비해 計算이 簡單하다는 長點이 있으나, 요즘은 産業體의 生産現場에도 卓上容 電子計算機나 퍼스널 컴퓨터 등이 많이 普及되어 있어서 샘플의 標準偏差를 計算하는데 어려움이 없으며, 또한 標準偏差法을 使用할 경우 範圍法에 비해서 샘플의 크기가 작아진다는 長點이 있기 때문에 本論文에서는 範圍法은 使用하지 않고 標準偏差法만을 使用하였다. 本論文에서 提案된 規格의 內容은 다음과 같다.

3.1. 로트의 크기, AQL, 試料文字 및 檢査水準

로트의 크기, AQL, 試料文字 및 檢査水準 등의 區分은 ANSI Z1.9과 同一하게 區分하여 使用한다. 즉 로트의 크기는 16分類, AQL은 11分類, 試料文字는 14分類, 檢査水準은 普通檢査 3水準(I, II, III)과 特別檢査 2水準(S-3, S-4)으로 分類한 값을 使用한다. 로트의 크기, 檢査水準 및 그에 따른 試料文字들은 ANSI Z1.9의

表 A-1과 表 A-2와 같다.

3.2. 主 샘플링 檢査表 및 合格判定 節次

主 샘플링 檢査表는 ANSI Z 1.9에 準해서 設計한다. 로트의 合格判定 節次는 品質特性值의 標準偏差를 아는 경우와 모르는 경우로 나뉘어, 標準偏差를 아는 경우는 標準偏差 既知法, 모르는 경우는 標準偏差를 推定하여 使用하는 標準偏差法을 적용하는데, 適用方法은 거의 同一하므로 여기서는 標準偏差法에 대해서만 說明하기로 한다.

로트의 合格與否는 合格判定 係數 k를 基礎로 한 形式 1과 最大 許容不良率 M을 基礎로 하는 形式 2의 두가지 方法을 使用할 수 있는데, 規格限界線이 한쪽인 경우는 두가지 方法을 모두 使用할 수 있고 規格限界線이 양쪽으로 주어지는 경우는 形式 2만을 使用할 수 있다. 또한

양쪽 規格限界線에 대해서는 規格上限과 規格下限에 同一한 AQL이 指定된 경우와 서로 다른 AQL이 指定된 경우 合格判定 節次에 差異가 있다. 表 3은 위의 여러 경우에 대해 表를 使用할 경우 로트의 合格判定 節次를 제시하고 있으며 表에서 使用한 記號는 다음과 같다.

n : 샘플의 크기

$v : \sqrt{n/(n-1)}$

$k_U(k_L)$: 規格上限(下限)에 대한 合格判定 係數

$M_U(M_L)$: 規格上限(下限)에 대한 最大 許容 不良率

\bar{X} : 샘플의 平均

S : 샘플 標準偏差

U(L) : 규격의 上限(下限)

Z_U, Z_L, Q_U, Q_L : 品質指數 (Quality Index)

MSD(Maximum Standard Deviation): 最大 標準偏差

表 3. 合格判定 節次 및 基準

	한쪽 規格 限界線		양쪽 規格 限界線	
	形式 1	形式 2	同一한 AQL	다른 AQL
段階 1	表로부터 n, k 決定	表로부터 n, M 決定	表로부터 n, M 決定	表로부터 n, M_U, M_L 을 決定
段階 2	n개의 샘플을 抽出, \bar{X} 와 S를 計算	n개의 샘플을 抽出, \bar{X} 와 S를 計算	n개의 샘플을 抽出, \bar{X} 와 S를 計算하여 $S > MSD$ 면 不合格	n개의 샘플을 抽出, \bar{X} 와 S를 計算하여 $S > MSD$ 면 不合格
段階 3	$Z_U = (U - \bar{X})/S$ 또는 $Z_L = (\bar{X} - L)/S$ 를 計算한다.	$Q_U = (U - \bar{X})/vS$ 또는 $Q_L = (\bar{X} - L)/vS$ 를 計算한다.	$Q_U = (U - \bar{X})/vS$ 와 $Q_L = (\bar{X} - L)/vS$ 를 計算한다.	$Q_U = (U - \bar{X})/vS$ 와 $Q_L = (\bar{X} - L)/vS$ 를 計算한다.
段階 4	$Z_U \geq k$ 또는 $Z_L \geq k$ 이면 合格	$Q_U(Q_L)$ 로부터 不良率 $\hat{p}_U(\hat{p}_L)$ 를 推定하여 $\hat{p}_U(\hat{p}_L) < M$ 이면 合格	Q_U 와 Q_L 로부터 不良率 \hat{p}_U 와 \hat{p}_L 를 推定하여 $\hat{p}_U + \hat{p}_L < M$ 이면 合格	Q_U 와 Q_L 로부터 不良率 \hat{p}_U 와 \hat{p}_L 를 推定하여 $\hat{p}_U < M_U, \hat{p}_L < M_L$ 이고 $\hat{p}_U + \hat{p}_L < \max(M_U, M_L)$ 면 合格

3. 3. 嚴格度 調整法則

計量型 規格의 嚴格度 調整法則을 提案하기에 앞서 먼저 計數型 規格인 KS A 3109(1984)의 嚴格度 調整法則을 살펴보면 다음과 같다. 改定되기 전 KS A 3109(1971)의 嚴格度 調整法則은 MIL-STD-105D(1963)와 同一였으나, KS A 3109(1984)로 改定되면서 JIS Z 9015(1980)의 嚴格度 調整法則과 同一하게 수정되어서 現在에 이르고 있다. 그 結果는 그림 1에 圖示되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이 KS A 3109의 普通檢査에서는 檢査한 로트의 不合格한 경우, 不合格 로트를 包含해 最近 5 로트에서 發見된 不良品의 總수를 限界個數와 比較해 普通檢査에 남아 있을 것인가 까다로운 檢査로 넘어갈 것인가를 決定하고 있다. 또한 連續 10 로트가 合格한 경우도 샘플속의 不良品의 總수를 限界個數와 比較해 수월한 檢査로 넘어갈 것인지를 決定하고 있다. 그러므로 計量調整型 規格에서도 普通檢査에서 수월한 檢査 또는 까다로운 檢査로 嚴格度 調整을 하기 위해서 로트로부터 推定한 工程 不良率을 限界 不良率과 比較하는 嚴格度 調整法則을 提案하고자 한다.

다음은 本 論文에서 提案하고자 하는 嚴格度

調整法則의 內容이며, 그림 2는 이것을 그림으로 圖示한 것이다.

1) 普通檢査에서 까다로운 檢査로의 變更

普通檢査에서 檢査한 로트가 不合格한 경우 檢査한 로트의 總數가 5개 미만이면 普通檢査에 머물고, 5개 以上이면 不合格된 로트를 包含한 最近 5개의 로트로부터 工程 不良率을 推定하여 그 값이 AQL 보다 크면 까다로운 檢査로 넘어간다. 調整型 샘플링 檢査方式은 嚴格圖 調整法則을 통해서 生産者와 消費者를 同時에 保護하기 위한 規格이므로 AQL 보다 상당히 큰 不良率을 갖는 品質의 로트는 까다로운 檢査에서 檢査를 받는 比率이 수월한 檢査나 普通檢査에서 檢査를 받는 比率보다 커야 한다.

2) 까다로운 檢査에서 普通檢査로의 變更

까다로운 檢査에서 連續 5개의 로트가 合格하면 普通檢査로 넘어간다.

3) 普通檢査에서 수월한 檢査로의 變更

普通檢査에서 連續 10개의 로트가 合格되고, 合格된 10개의 로트로부터 推定한 工程 不良率을 表에서 제시하는 限界 不良率 값과 比較해서 그 값보다 작을 경우 수월한 檢査로 넘어간다. 本 論文에서는 嚴格度 調整法則에 따른 長期的인 觀點에서의 規格의 遂行度를 評價하고, 그 結果에 基礎하여 限界 不良率 값들을 決定하였다.

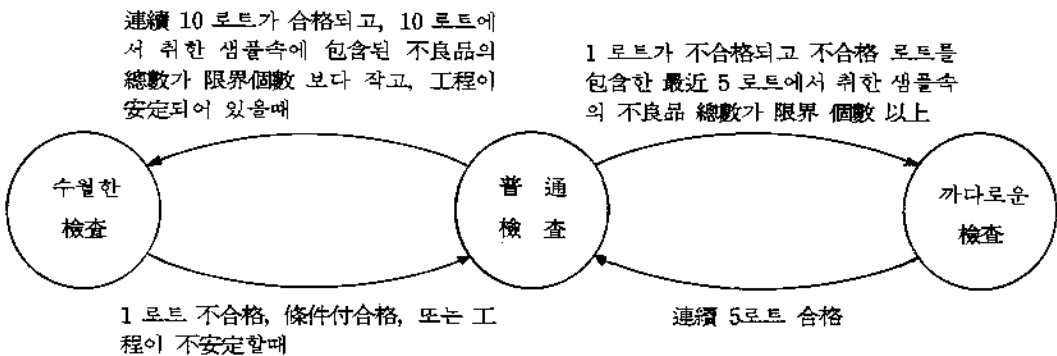


그림 1. KS A 3109(1984)의 嚴格度 調整法則

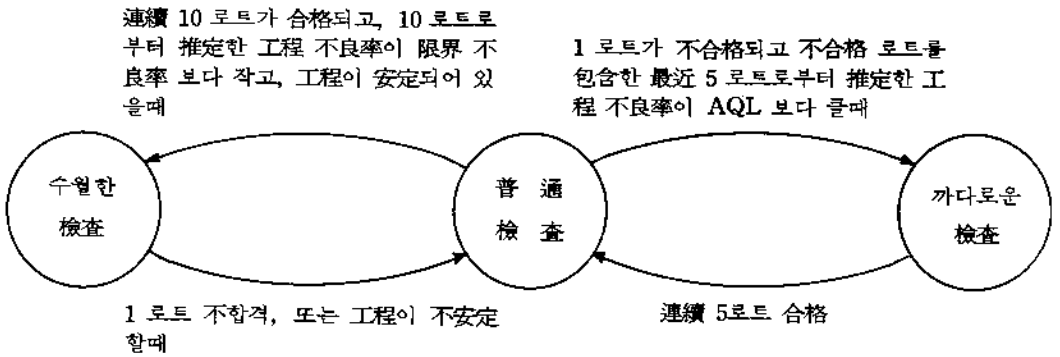


그림 2. 提案된 計量調整型 規格의 嚴格度 調整法則

既存의 計量調整型 샘플링 檢査規格들인 BS 6002, ANSI Z1.9, 그리고 ISO 3951 등에서는 不良率이 AQL 인 로트가 檢査에 出荷되는 경우 試料文字에 따라 약간의 差異는 있으나 거의 대부분의 샘플링 檢査方式에서 約 50% 以下만이 普通檢査에서 檢査를 遂行하고 나머지는 수월한 檢査와 까다로운 檢査에서 檢査를 遂行하게 된다. 특히 수월한 檢査에서 檢査를 遂行할 確率은 대부분의 경우 約 40%를 超過하고 있다. 그러나 AQL의 정의가 “샘플링 檢査에서 合格되어도 좋을 不良率의 上限”이고, 調整型 샘플링 檢査方式은 供給되는 製品의 品質이 AQL 보다 상당히 좋다고 認定될 때 수월한 檢査를 適用하고 不良率이 AQL 程度인 로트에 대해서는 普通檢査를 適用하도록 되어 있기 때문에, Koyama 등(1970)에 의하여 指摘된 바와 같이 수월한 檢査에서 約 40% 以上の 높은 比率로 檢査를 받는다는 것은 合理的이지 못하다. 이러한 問題點을 除去하기 위하여 本 論文에서는 不良率 AQL 인 로트가 수월한 檢査에서 檢査를 받는 比率를 約 10-20% 程度로 낮추고, 普通檢査에서 檢査를 받는 로트의 比率이 커지도록 限界 不良率 값을 決定하였다.

本 論文에서는 이러한 條件이 滿足되는 限界 不良率 값을 決定하기 위하여 限界 不良率의 여

러 값에 대하여 規格의 遂行度를 評價한 結果, 다음 式에 基礎하여 限界 不良率 값을 決定하였다. 限界 不良率 값들은 \hat{p}_{mvue} 를 連續된 k 개의 로트로부터 推定한 工程 不良率의 最小分散 不便推定量이라고 할 때

試料文字 J 以下 :
 $P\{\hat{p}_{mvue} < \text{限界 不良率} \mid p = AQL\} = 0.01$
 試料文字 K 以上 :
 $P\{\hat{p}_{mvue} < \text{限界 不良率} \mid p = AQL\} = 0.005$
 (3)

(단 普通檢査에서 샘플의 크기가 3 以下인 경우는 例外로 두번째 식에 基礎하여 限界 不良率 값을 구하였다.)

의 式에 基礎하여 決定하였다. 製品의 品質特性值에 대한 規格下限 L이 存在하고, 工程의 標準 偏差를 알 때

$$\hat{p}_{mvue} = \Phi\left(-\sqrt{\frac{kn}{kn-1}} \frac{\bar{X} - L}{\sigma}\right), \dots\dots\dots (4)$$

으로부터 주어지며, $p = P(X < L) = \Phi\left(\frac{L - \mu_p}{\sigma}\right)$ 의 關係로부터 $L = \mu_p + \sigma Z_p$ 의 式이 成立한다. 단 $\bar{X} = \sum_{i=1}^{kn} X_i / (kn)$, Z_p 는 標準 正規分布의 100p% 百分位數, $\Phi(\cdot)$ 는 標準 正規分布의 累積 確率 分布 函數이다. (4)式을 (3)式에 代입하면

$$\begin{aligned}
& P\{\Phi(-\sqrt{\frac{kn}{kn-1}} \frac{\bar{X}-L}{\sigma}) < \text{限界 不良率} \mid p=AQL\} \\
& = P\{\Phi(-\sqrt{\frac{kn}{kn-1}} (\frac{\bar{X}-\mu_{AQL}}{\sigma} - Z_{AQL})) < \text{限界 不良率}\} \\
& = P\{\Phi(Y_1) < \text{限界 不良率}\} = 0.01(\text{또는 } 0.005) \\
& \dots\dots\dots (5)
\end{aligned}$$

이 되고, $Y_1 = -\sqrt{\frac{kn}{kn-1}} (\frac{\bar{X}-\mu_{AQL}}{\sigma} - Z_{AQL})$ 은 평균 $\sqrt{\frac{kn}{kn-1}} Z_{AQL}$, 分散 $\frac{1}{kn-1}$ 인 正規分布를 따른다. 工程의 標準偏差를 모르는 경우 $\hat{p}_{mvue} = \beta(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{kn}{kn-1}} \frac{\bar{X}-L}{S})$, (6)

으로 주어지며, (Lieberman과 Resnikof(19-55)),

$$\begin{aligned}
& P\{\beta(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{kn}{kn-1}} \frac{\bar{X}-L}{S}) < \text{限界 不良率} \mid p=AQL\} \\
& = P\{\beta(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{kn}{kn-1}} \frac{\bar{X}-\mu_{AQL}-\sigma Z_{AQL}}{S}) < \text{限界 不良率} \mid p=AQL\} \\
& = P\{\beta(\frac{1}{2} - \frac{1}{2\sqrt{kn-1}} Y_2) < \text{限界 不良率}\} \\
& = 0.01(\text{또는 } 0.005), \dots\dots\dots (7)
\end{aligned}$$

이 된다. 단 $S^2 = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2 / (kn-1)$ 이고, $\beta(\cdot)$ 는 모수 $(kn/2, kn/2)$ 을 갖는 베타분포의 확률 분포 함수이다. (7)式에서 $Y_2 = \sqrt{kn} \frac{\bar{X}-\mu_{AQL}-\sigma Z_{AQL}}{S}$ 는 自由度 $kn-1$, 非 中心度 $-\sqrt{kn} Z_{AQL}$ 을 갖는 非 中心 t-分布를 따른다. 表 4와 5는 각각 式(5)와 (7)을 滿足하는 限界 不良率 값들로, 이들은 k의 값으로 10을 使用하여 計算한 값이다. BS 6002, ANSI Z1.9, 그리고 ISO 3951 등에서는 連續된 10개의 로트가 합

격하면 普通檢査에서 수월한 檢査로 넘어가도록 되어 있고, MIL-STD-414에서도 대부분의 경우 $k=10$ 을 使用하도록 되어 있으므로, 本論文에서는 $k=10$ 을 使用하였다. 製品의 品質特性 値에 대한 規格上限 U가 存在하는 경우

$$\hat{p}_{mvue} = \Phi(-\sqrt{\frac{kn}{kn-1}} \frac{U-\bar{X}}{\sigma}),$$

標準偏差를 아는 경우 (8)

$$\hat{p}_{mvue} = \beta(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{kn}{kn-1}} \frac{U-\bar{X}}{S}),$$

標準偏差를 모르는 경우 (9)

으로 주어지며, 規格下限이 存在할때와 同一한 方法을 使用하여 式(5) 및 (7)이 成立함을 보일수 있다.

本論文에서는 限界 不良率 값들의 決定을 위하여

$$\begin{aligned}
& P\{\hat{p} = \sum_{i=1}^k \hat{p}_i / k < \text{限界 不良率} \mid p=AQL\} \\
& = 0.01(\text{또는 } 0.005), \dots\dots\dots (10)
\end{aligned}$$

의 式을 使用하는 方法도 考慮하였으나 \hat{p} 의 正確한 分布를 計算할 수 없고, 또한 샘플의 크기 n과 不良率 p의 여러값에 대하여 시뮬레이션 方法을 使用하여 比較한 결과 \hat{p}_{mvue} 와 \hat{p} 의 分布에 큰 差異가 없어 (3)式을 使用하여 限界 不良率 값들을 決定하였다. 規格의 遂行度를 評價하는 方法 및 그 결과는 다음 節에서 說明한다.

- 4) 수월한 檢査에서 普通檢査로의 變更
1 로트라도 不合格하면 普通檢査로 넘어간다.
- 5) 檢査의 中止
까다로운 檢査에서 不合格된 로트의 累計가 5 로트에 달할 때까지 普通檢査로 넘어가지 못하는 경우는 檢査를 中止한다.

表 4. 수월한 檢査로 넘어가기 위한 限界 不良率 값(標準偏差를 아는 경우)

試料文字	AQL (%)										
	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10.0
B	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
C	*	*	*	*	*	0.145	0.242	0.464	0.850	2.179	3.741
D	*	*	*	*	0.085	0.145	0.242	0.672	1.195	2.179	4.744
E	*	*	0.026	0.046	0.133	0.223	0.362	0.921	1.597	3.133	5.190
F	*	0.024	0.043	0.075	0.194	0.318	0.508	1.039	1.784	3.366	5.813
G	0.023	0.037	0.065	0.130	0.225	0.404	0.637	1.210	2.152	3.844	6.551
H	0.028	0.043	0.086	0.145	0.270	0.436	0.724	1.330	2.312	4.150	6.899
I	0.031	0.049	0.094	0.169	0.288	0.486	0.787	1.420	2.487	4.367	7.157
J	0.037	0.062	0.107	0.187	0.329	0.540	0.877	1.550	2.684	4.622	7.570
K	0.040	0.065	0.116	0.199	0.351	0.568	0.906	1.624	2.759	4.764	7.701
L	0.048	0.075	0.134	0.228	0.391	0.631	0.995	1.755	2.944	5.033	8.086
M	0.054	0.083	0.146	0.245	0.418	0.672	1.050	1.839	3.073	5.204	8.312
N	0.059	0.093	0.162	0.278	0.453	0.724	1.121	1.942	3.220	5.425	8.600
P	0.064	0.099	0.171	0.284	0.477	0.757	1.165	2.001	3.317	5.560	8.781

* 에 對應하는 샘플링 檢査에서는 수월한 檢査를 實施하지 않는다.

表 5. 수월한 檢査로 넘어가기 위한 限界 不良率 값(標準偏差를 모르는 경우)

試料文字	AQL (%)										
	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10.0
B	*	*	*	*	*	*	*	0.037	0.142	0.495	1.360
C	*	*	*	*	*	0.024	0.061	0.182	0.474	1.204	2.644
D	*	*	*	*	0.021	0.051	0.113	0.295	0.686	1.597	3.263
E	*	*	0.010	0.022	0.052	0.109	0.214	0.490	1.029	2.175	4.151
F	*	0.010	0.022	0.046	0.097	0.184	0.337	0.710	1.393	2.756	4.988
G	0.011	0.020	0.041	0.079	0.155	0.279	0.481	0.955	1.776	3.351	5.827
H	0.017	0.029	0.057	0.105	0.198	0.346	0.583	1.118	2.027	3.718	6.338
I	0.022	0.036	0.069	0.126	0.232	0.398	0.659	1.239	2.207	3.986	6.699
J	0.028	0.043	0.080	0.136	0.272	0.458	0.785	1.362	2.345	4.193	7.036
K	0.035	0.053	0.092	0.150	0.320	0.513	0.821	1.497	2.531	4.410	7.476
L	0.039	0.064	0.105	0.170	0.373	0.577	0.894	1.612	2.697	4.681	7.843
M	0.043	0.077	0.120	0.191	0.403	0.629	0.964	1.749	2.854	4.977	8.094
N	0.049	0.083	0.141	0.223	0.447	0.685	1.003	1.807	3.001	5.211	8.341
P	0.056	0.095	0.159	0.253	0.469	0.741	1.101	1.913	3.185	5.401	8.541

* 에 對應하는 샘플링 檢査에서는 수월한 檢査를 實施하지 않는다.

4. 提案된 規格의 遂行度 評價

綜合 OC 曲線 및 綜合 ASN 曲線의 計算을 위해서는 一般的으로 마코브 사슬(Markov Chain)을 利用한 方法과 시뮬레이션(Simulation) 方法을 使用할 수 있다. 이 두가지 方法 중 마코브 사슬을 利用한 方法은 ANSI Z1.9 이나 MIL-STD-105D 같이 嚴格度 調整法則이 簡單한 경우에 使用될 수 있고, MIL-STD-414 나 KS A 3109 같이 嚴格度 調整法則이 複雜한 경우는 마코브 사슬을 利用한 方法으로는 正確한 값이 아닌 近似값만을 얻을 수 있기 때문에 시뮬레이션 方法을 使用하여 綜合 OC 曲線과 綜合 ASN 曲線을 구하고 있다. Koyama 등(19-

70)은 JIS Z 9015 (KS A 3109는 JIS Z 9015 와 同一한 規格이므로 綜合 OC 曲線 및 綜合 ASN 曲線은 같다)에 대한 綜合 OC 曲線과 綜合 ASN 曲線을 시뮬레이션 方法을 使用하여 計算한 바 있다. 本 論文에서 提案된 規格은 MIL-STD-414 와 같이 로트로부터 推定한 工程 不良率을 使用하여 嚴格度 調整을 하기 때문에 마코브 사슬을 利用한 方法으로는 正確한 綜合 OC 曲線과 綜合 ASN 曲線을 얻을 수 없다. 그러므로 本 論文에서는 KS A 3109에서와 같이 시뮬레이션 方法을 使用하여 提案된 規格에 대한 遂行度를 評價하고자 한다.

시뮬레이션은 FORTRAN 言語를 使用하였으며, IBM PC XT/AT 또는 그들의 호환 기종에서 모두 使用이 可能하도록 되어 있다. 그림 3은 시뮬레이션의 흐름도이며, 프로그램 使用時

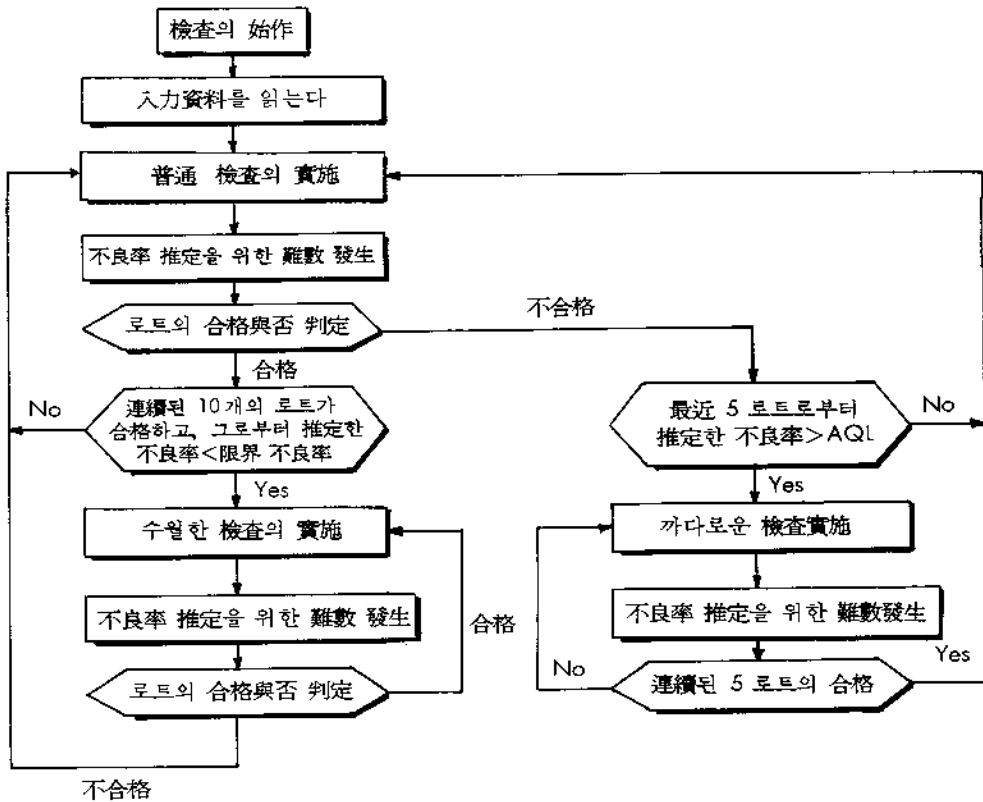


그림 3. 시뮬레이션의 흐름도

人力資料는 AQL 과 試料文字에 의해 主 샘플링 檢査表로부터 얻어지는 普通檢査, 까다로운 檢査, 수월한 檢査 등의 샘플링 檢査方式과 嚴格度 調整을 하기 위하여 必要한 限界 不良率 값들이 다. 또한 出力으로는 檢査에 提出되는 로트가 수월한 檢査, 普通檢査, 까다로운 檢査의 3가지 檢査方式에서 각각 檢査를 받는 比率과 로트의 綜合 合格確率, 그리고 綜合 ASN 등을 얻게 된다.

表 6은 工程의 標準偏差를 알고 있는 경우, AQL 과 試料文字의 組合에 의해 얻어지는 여러 가지 샘플링 檢査方式에 대해서 不良率이 AQL 인 로트가 出荷될때 수월한 檢査, 普通檢査, 까다로운 檢査의 3가지 檢査方式에서 檢査를 받는 比率을 시뮬레이션을 實施하여 比較한 表이다. 시뮬레이션은 5,000회의 反復施行을 實施하였으며, 比較의 結果 ANSI Z1.9에서는 不良率 이 AQL 인 로트가 수월한 檢査에서 檢査를 받는 比率이 試料文字 E, F, G 등에서는 約 40-50% 程度이고, 試料文字가 높아짐에 따라서

約 80-90% 程度로 아주 큰 값을 갖는데 比해서 本 論文에서 提案된 規格에서는 約 10-20% 程度로 상당히 작은 값을 갖는다. 또한 普通檢査에서 檢査를 받는 比率은 試料文字에 따라 約 45-70% 程度로 ANSI Z1.9보다 큰 값을 갖게 된다는 것을 알수 있다. 調整型 샘플링 檢査方式은 標準偏差를 아는 경우와 모르는 경우, 로트의 合格確率이 거의 同一하도록 設計되어 있고, 本 論文에서 嚴格度 調整을 위한 限界 不良率 값을 同一한 基準에 의해서 決定하였기 때문에 標準偏差를 모르는 경우도 表 6과 거의 同一한 結論을 얻을수 있다.

그림 4는 工程의 標準偏差를 알고 있는 경우 AQL=1%, 試料文字 J에 該當하는 샘플링 檢査方式에 대하여 提案된 規格의 綜合 OC 曲線과 綜合 ASN 曲線을 計算한 것이다. 綜合 OC 曲線의 경우 不良率 이 AQL 보다 낮은 값을 갖는 경우는 로트의 合格確率 이 普通檢査의 合格確率과 비슷하지만, 不良率 이 커짐에 따라 까다로운 檢査와 一致하게 된다는 것을 알수 있다.

表 6. 不良率 이 AQL 인 로트가 수월한 檢査, 普通檢査, 까다로운 檢査에서 檢査받는 比率의 比較

試料文字	AQL(%)	提案된 規格			ANSI Z 1.9		
		수월한 檢査	普通檢査	까다로운 檢査	수월한 檢査	普通檢査	까다로운 檢査
E	1.5	0.166	0.491	0.344	0.404	0.488	0.108
F	2.5	0.118	0.476	0.406	0.363	0.505	0.132
F	4.0	0.167	0.422	0.410	0.474	0.400	0.126
G	0.65	0.161	0.487	0.352	0.425	0.485	0.090
I	0.4	0.191	0.520	0.289	0.572	0.384	0.044
I	2.5	0.120	0.530	0.350	0.567	0.380	0.053
J	0.15	0.184	0.571	0.245	0.570	0.399	0.031
J	1.0	0.143	0.570	0.287	0.604	0.363	0.033
L	0.1	0.170	0.645	0.185	0.665	0.324	0.012
L	1.0	0.118	0.661	0.221	0.765	0.226	0.009
M	1.5	0.122	0.709	0.170	0.885	0.111	0.003
N	0.4	0.147	0.736	0.117	0.898	0.101	0.001

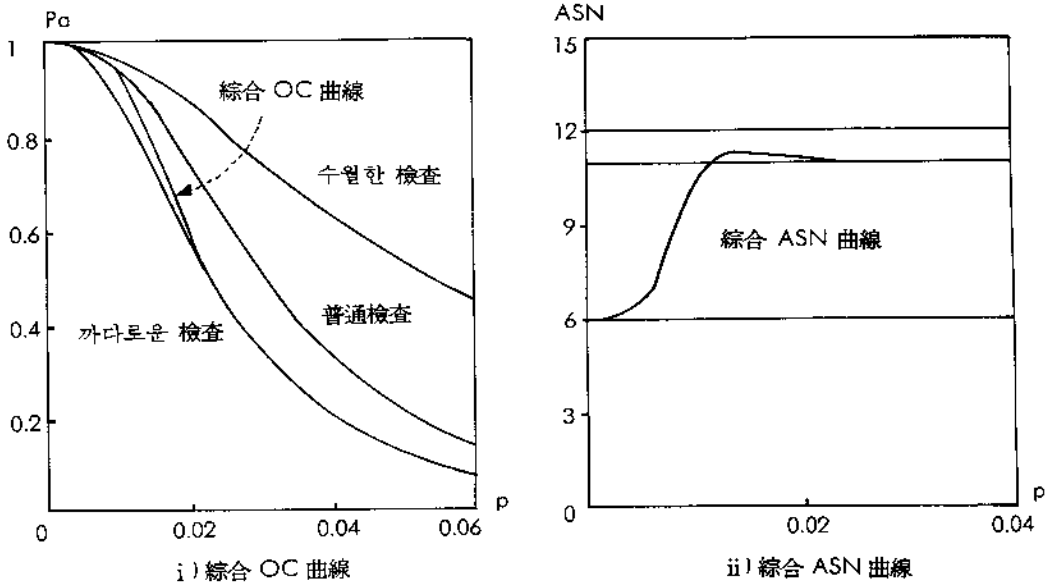


그림 4. 提案된 規格의 綜合 OC 曲線과 綜合 ASN 曲線의 比較(AQL 1%, 試料文字 J)

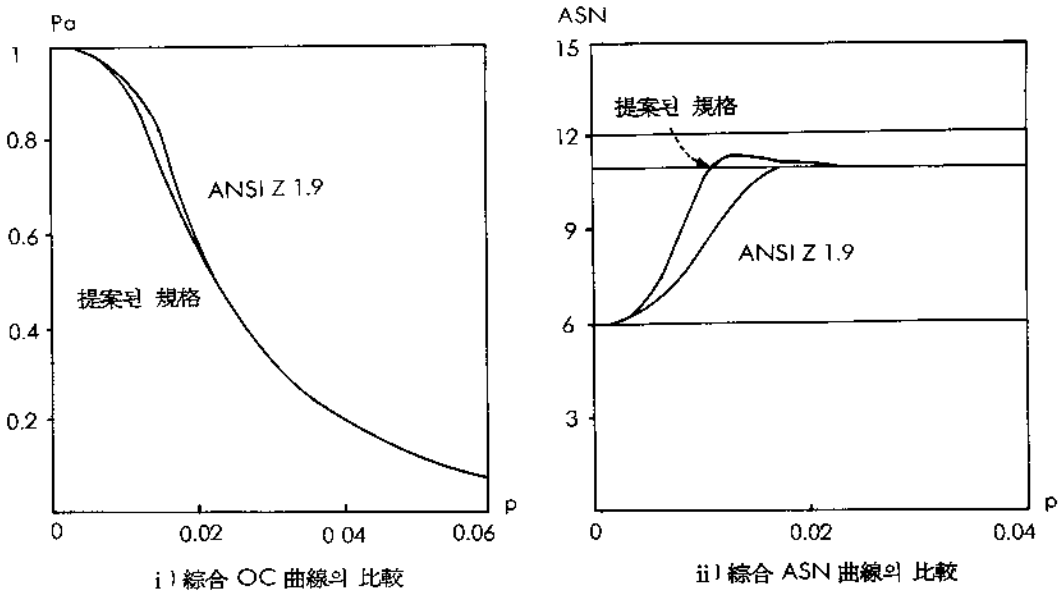


그림 5. 提案된 規格과 ANSI Z 1.9의 比較(AQL 1%, 試料文字 J)

또한 ASN 曲線의 경우 不良率이 작은 경우는 수월한 檢査의 샘플의 크기 $n=6$ 에 가까운 값을 가지나 不良率이 큰 경우는 까다로운 檢査의 샘플의 크기 $n=11$ 에 가까운 값을 갖게 된다는 것을 알 수 있다.

本 論文에서는 AQL 1%, 試料文字 J에 該當하는 샘플링 檢査方式에 대해서만 綜合 OC 曲線과 綜合 ASN 曲線을 제시하였으나, 試料文字 F, J, K 등에 該當하는 여러 샘플링 檢査方式에 대한 結果들은 參考文獻 [14]에 제시되어 있다.

그림 5는 本 論文에서 提案된 規格의 綜合 OC 曲線과 綜合 ASN 曲線을 ANSI Z1.9과 比較한 것이다. 綜合 OC 曲線에서는 本 論文에서 提案된 規格의 合格確率은 ANSI Z1.9에 비해 不良率 p 의 모든 區間에서 全體的으로 약간 낮은 값을 갖는다는 것을 알 수 있으며, ASN 값은 ANSI Z1.9에 比較해서 약간 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있다.

5. 結 論

本 論文에서는 우리나라 工業規格으로 制定되어 있지 않은 計量調整型 샘플링 檢査規格을 提案하는 問題를 다루었다. 이를 위하여 外國의 計量調整型 샘플링 檢査規格들인 MIL-STD-414, BS 6002, ANSI Z1.9, 그리고 ISO 3951 등에 대한 規格의 內容을 比較하였으며, 이를 基礎로 하여 規格의 構成, 主 샘플링 檢査表와 合格判定 節次 등은 美國 民間規格인 ANSI Z1.9에 準하고, 嚴格度 調整法則은 計數型 規格인 KS A 3109와 同一한 새로운 計量調整型 샘플링 檢査規格을 提案하였다. 또한 提案된 規格에 대하여 시뮬레이션 方法을 使用하여 嚴格度 調整法則에 따른 그 規格의 遂行度を 評價하였으며, 그 結果를 ANSI Z1.9와 比較하였다.

本 研究에서 提案된 規格의 遂行度を 評價한

結果, 不良率은 AQL 값일 때 ANSI Z1.9에서는 檢査에 提出된 로트가 수월한 檢査에서 檢査를 받을 確率은 試料文字에 따라 약간의 差異는 있으나, 約 40-90% 程度로 아주 큰 값을 갖는데 比較해서 本 論文에서 提案된 規格에서는 約 10-20%로 줄어들게 되었으며, 또한 普通檢査에서 檢査를 받는 比率은 約 45-70% 程度로 커지게 되었다. 로트의 合格確率은 不良率의 모든 區間에서 ANSI Z1.9에 比較 약간 낮은 合格確率을 가지며, 샘플의 크기는 약간 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 本 論文에서 提案된 規格은 嚴格度 調整法則에서 ANSI Z1.9보다 多少 複雑한 點은 있으나, KS A 3109와 同一하기 때문에 計數型-計量型 規格의 相互 호환성 있는 使用이 可能하리라 생각되며, 規格의 遂行度を 評價하여 限界 不良率 값들을 表로 제시하였기 때문에 生産現場에서 規格의 適用이 수월하리라 생각된다.

最近에 制定된 ANSI Z1.9(1980)과 ANSI Z1.4(1981) 등에서는 그 規格의 遂行度を 나타내기 위하여 規格에 包含된 모든 샘플링 檢査方式에 대한 綜合 OC 曲線을 計算하여 그 結果를 規格에 제시하고 있다. 그러나 本 論文에서는 시뮬레이션을 遂行하는데 所要되는 時間과 費用의 制約條件 때문에 試料文字 F, J, K에 該當하는 一部の 샘플링 檢査方式에 대해서만 시뮬레이션을 實施하여 綜合 OC 曲線과 綜合 ASN 曲線을 제시하였다. 그러므로 追後 研究課題로는 規格에 包含된 모든 샘플링 檢査方式에 대한 綜合 OC 曲線과 綜合 ASN 曲線을 구하여 長期的인 觀點에서의 規格의 遂行度を 評價하는 作業이 必要하다고 생각된다.

參考文獻

- [1] ANSI/ASQC Z 1.9, "Sampling Procedures and Tables for Inspection by

Variables for Percent Nonconforming," American National Standards Institution, New York, 1980.

[2] ANSI/ASQC Z 1.4, "Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes," American National Standards Institution, New York, 1981.

[3] BS 6002, "Sampling Procedures and Charts for Inspection by Variables for Percent Defective," British Standards Institution, London, 1979.

[4] ISO 3951, "Sampling Procedures and Charts for Inspection by Variables for Percent Defective," International Organization for Standardization, Geneva, 1981.

[5] Kao, John H.K., "MIL-STD-414 Sampling Procedures and Tables for Inspection by Variables for Percent Defective," *Journal of Quality Technology*, Vol. 3, No. 1, pp.28-37, January, 1971.

[6] Koyama, T., Ohmae, Y., Suga, R., Yamamoto, T., Yokoh, T., and Pabst, W.R. JR., "MIL-STD-105D and the Japanese Modified Standard," *Journal of Quality Technology*, Vol. 2, pp.99-108, 1970.

[7] MIL-STD-414, "Military Standard, Sampling Procedures and Tables for Inspection by Variables for Percent Defective," Department of Defense, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1957.

[8] MIL-STD-105D, "Military Standard, Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes," Department of

Defense, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1963.

[9] Lieberman, G.J., and Resnikoff, G.J., "Sampling Plans for Inspection by Variables," *Journal of American Statistical Association*, Vol. 50, No. 270, pp.457-516, June, 1955.

[10] Schilling, E.G., "Variables Sampling and MIL-STD-414," *Quality Progress*, Vol. 7, No. 5, pp.16-20, May, 1974.

[11] Schilling, E.G., and Sheesley, J.H., "The Performance of MIL-STD-105D under the Switching Rules, Part 1: Evaluation," *Journal of Quality Technology*, Vol. 10, No. 2, pp.76-83, April, 1978.

[12] Schilling, E.G., and Sheesley, J.H., "The Performance of ANSI/ASQC Z 1.9-1980 Under the Switching Rules," *Journal of Quality Technology*, Vol. 16, No. 2, pp.101-120, April, 1984.

[13] Stephens, K.S., and Larson, K.E., "An Evaluation of the MIL-STD-105D System of Sampling Plans," *Industrial Quality Control*, Vol. 23, No. 7, pp.310-319, January, 1967.

[14] 裴道善, 計量調整型 샘플링 檢査에 關한 研究(韓國科學財團 受託研究 報告書), 韓國科學技術院, 1989.

[15] 日本規格協會, JIS Z 9015, 計數調整型 샘플링 檢査(供給者를 選擇할 수 있는 경우의 購入檢査), 1980.

[16] 韓國標準協會, KS A 3109, 計數調整型 샘플링 檢査(供給者를 選擇할 수 있는 경우의 購入檢査), 1984.