

부품검사정보를 이용한 조립품 품질관리방안[†]

정대권

LG전자(주) 창원공장

윤원영

부산대학교 산업공학과

A Quality Control Method of Assembly Parts Based on Parts Inspection information

Dae-Kwon Chung

Changwon Plant, LG Electronics

Won-Young Yun

Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University

Abstract

This paper proposes a quality control method of assembly parts based on parts inspection information. We use the parts inspection information for reduction of defective fraction in assembly and prediction of assembly quality. At first, we build the functional relationship between parts and assembled unit by regression analysis. Secondly, if we use the inspection informations of parts which are estimators of means and variances, we can predict the nonconforming probability of assembled unit and propose the best assembly method.

In a case study, we showed the efficiency of the proposed method in two part assembly.

1. 서론

오늘날의 기업은 불필요한 낭비를 줄이고 관리의 효율성을 기하기 위해 각 제품을 구성

[†] 본 논문은 부산대학교 학술연구비 지원에 의한 연구 결과임.

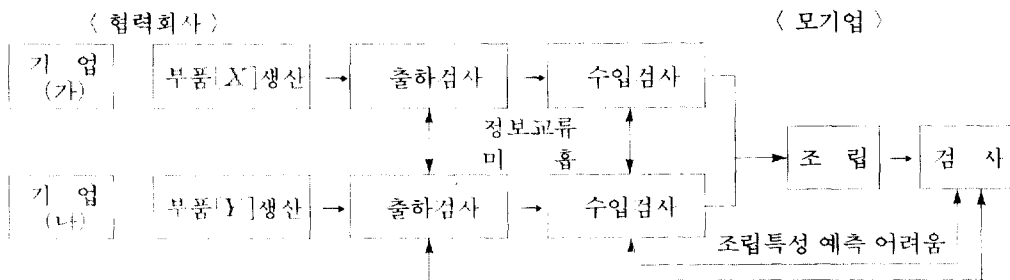
하고 있는 부품 가운데 경영상 필요하다고 생각되는 핵심 부품을 제외한 대부분의 부품을 외주가공하거나 규격 부품들은 그대로 단순 구매하므로써 해당기업에서는 단지 조립단계만을 거쳐 생산하고 있는 경향이 있다. 그런데 협력회사로부터 대부분의 부품을 구매하여 그것을 조립함으로써 완제품을 만드는 여러 기업들은 구매하는 부품이 제품설계단계에서 제시된 규격과 일치하는지를 검사하게 된다. 이 때의 검사형태는 기업과 부품의 특성에 따라 다르며 전수검사, 샘플링검사, 무검사등의 형태가 있다. 이 중에서 특히 제품의 품질특성에 크게 영향을 미치는 부품의 경우에는 수입검사를 실시하게 되며 보통의 경우 검사비용을 줄이기 위해 샘플링 검사를 실시하고 있다. 여기서 샘플링검사는 모집단의 시료로부터 검사정보를 얻어 모집단에 대한 조치를 취하기 위한것이므로 일반적으로 경제적이라고 할 수 있다.

본 연구에서는 품질관리의 활동 중에서 협력회사에서 공급되는 부품의 검사정보를 어떻게 하면 더욱 효과적으로 그 결과를 유용하게 사용할 수 있을 것인가를 연구하고자 한다. 많은 기업이 수입검사에서 제품설계 단계에서 제시된 제품의 규격과 일치하는지를 검사하고 있으나 이는 규격에의 적합성 여부를 한·부 판정하는데 그치고 있는 실정이다 따라서 부품의 검사정보가 그 부품과 조립되는 상대부품의 검사정보와 함께 분석되어 조립된 후에 제품의 품질에 어떠한 영향을 미칠 것인가를 예측함으로써 조립제품의 품질을 개선할 수 있는 방안을 제시한다.

특히 부품의 품질특성치가 정규분포를 따르는 계량지검사인 경우 조립제품에 사용되는 부품의 검사결과가 부품들과 조립제품의 관계식을 이용하여 어떻게 사용될 수 있는가를 연구하였으며 현장의 사례연구를 통해 부품검사정보의 효율적 이용가능성을 보이고자 한다

2. 모형 및 활용방안

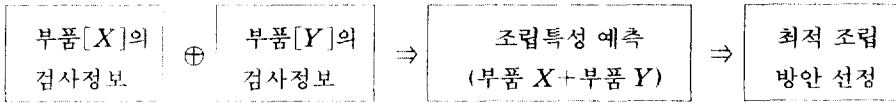
협력회사에서 생산된 부품은 출하시 검사규격에 의해 출하검사가 행하여지며 또한 모기업에서는 수입검사를 실시한다. 그러나 이들의 검사결과로 조립제품의 특성을 예측하지 못하는 경우가 있다. 즉 조립된 상태에서의 규격 만족여부를 실제로 조립작업을 행한 뒤에야 할 수 있는 경우가 발생하며 이는 조립되는 두 부품의 검사정보(평균, 분포, 불량률 등)가 서로 공유되지 않고 부품의 검사특성 이외에 작업 방법이나 다른 요인이 영향을 미쳐 조립의 변수로 작용하고 있기 때문이다. <그림 1> 참조.



<그림 1> 부품 검사정보의 활용 현황

협력회사의 출하검사시 또는 모기업의 수입검사시에 나타난 검사 결과로써 해당 검사 LOT의 조립특성을 예측할 수 있으나, 여부는 품질관리의 목적으로 볼때 중요한 의미를 지닌다. <그림 2> 참조.

물론 여기서는 부품의 검사와 해당 LOT의 조립시에 나타나는 시간의 경과에 따른 검사특성치의 변화는 없다고 보며 부품을 사용하고자 할 때는 해당부품을 즉시 사용할 수 있다고 가정한다.



< 그림 2 > 부품 검사정보의 활용

만약 조립제품과 부품검사 정보사이에 다음과 같은 관계식이 있다고 하자.

$$W = f(X, Y) \tag{1}$$

여기서 W : 조립특성
 X : 부품 X의 검사특성
 Y : 부품 Y의 검사특성

위 식(1)에서 우리는 X와 Y의 분포가 주어지면 W의 분포를 계산할 수 있고 또한 W의 규격이 주어지면 W의 불량율을 예측할 수 있다. 그러나 사실은 위와같은 부품의 검사 정보와 조립제품의 관계식을 유도하는 것도 간단하지 않다.

제품 특성상 경험적이 아니면 위와 같은 관계식을 아는 것이 불가능한 경우도 있으며 또한 정형화된 관계식을 얻지 못하고 확률 또는 시뮬레이션에 의할 수 밖에 없는 경우도 있을 것이다.

그러나 계측을 통한 X, Y, W의 자료를 얻는다면 통계적 회귀분석 방법을 통해 근사적인 함수식을 구할수 있다. 이렇게 구해진 함수식을 이용하여 조립품의 품질을 개선하는 방법은 부품 X 또는 부품 Y의 검사 단위 LOT를 변경해 가면서 조립품의 품질특성을 추정해 봄으로써 가능하며 이렇게해서 가장 좋은 품질특성을 갖는 LOT를 상호 조합하여 사용하면 된다. 또한 부품 X의 부품결과가 규격을 벗어나는 경우가 있다라도 부품 Y의 여러 LOT의 검사결과를 분석하여 부품 X와 조립되었을 때 조립 규격을 만족하는 LOT를 찾을수도 있을 것이다.

이상과 같은 내용을 정리해보면 다음과 같다(부품들의 품질특성치가 정규분포를 따르는 경우).

순서 1. 실측 자료의 정규성 분석 및 관계식 유도

먼저 측정된 자료들이 각각 정규분포를 따르는지를 검증한 다음 조립되는 두 부품의 검

사정보와 조립품의 품질특성과의 관계를 파악한다. 이 때 부품과 제품특성치간에 공학적인 관계에서 관계식이 정해지면 그 관계식을 이용하면 되고, 경험적으로 알 수 있는 경우에는 계측 자료로부터 관계식을 유도해야 한다.

(예) $W = AX + BY + C$

A, B, C : 상수

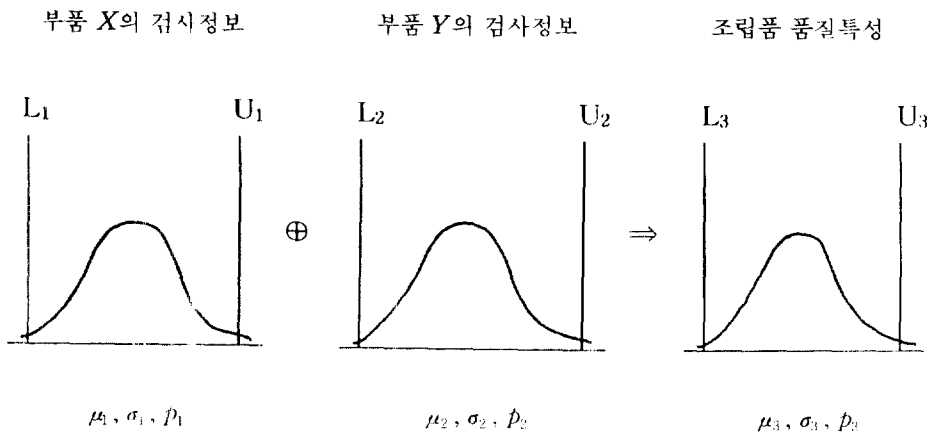
X, Y : 부품의 검사 특성

W : 조립 특성치

이같은 선형관계인 경우 선형회귀직선을 추정(A, B, C , 추정) 하므로써 근사적인 관계를 구한다.

순서 2. 분석

부품 X 의 검사정보와 부품 Y 의 검사정보를 분석하여 관계식을 이용하여 조립품의 품질특성을 예측한다. (그림 3) 참조.



(그림 3) 부품 검사정보를 이용한 조립특성 예측의 예

(예) 부품 X 의 규격 상한을 U_1 , 규격하한을 L_1 , 평균을 μ_1 , 분산을 σ_1^2 으로 표기 하고 $X \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 이면 부품 X 의 불량율 p_1 은 다음과 같이 구할 수 있다.[2, 3]

$$\begin{aligned}
 p_1 &= P\{X > U_1 \text{ or } X < L_1\} \\
 &= 1 - \Phi\left(\frac{U_1 - \mu_1}{\sigma_1}\right) + \Phi\left(\frac{L_1 - \mu_1}{\sigma_1}\right) \quad (2)
 \end{aligned}$$

같은 방법으로 하면 P_2 는 다음과 같다.

$$p_2 = 1 - \Phi\left(\frac{U_2 - \mu_2}{\sigma_2}\right) + \Phi\left(\frac{L_2 - \mu_2}{\sigma_2}\right) \tag{3}$$

한편 식(1)의 관계가 $W = AX + BY + C$ 라면 $X \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 이고 $Y \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 이면, $W \sim N(A\mu_1 + B\mu_2 + C, A^2\sigma_1^2 + B^2\sigma_2^2)$ 이다.

$\mu_3 = A\mu_1 + B\mu_2 + C, \sigma_3 = A^2\sigma_1^2 + B^2\sigma_2^2$ 이라 두면 조립된 상태에서의 불량율(p_3)계산은 다음과 같이 할 수 있다.

$$p_3 = 1 - \Phi\left(\frac{U_3 - \mu_3}{\sigma_3}\right) + \Phi\left(\frac{L_3 - \mu_3}{\sigma_3}\right) \tag{4}$$

물론 검사결과 분포가 정규분포가 아닌 다른 분포를 따른 경우에도 이와 유사한 방법으로 계산할 수 있다.

순서 3. 검사정보 이용 및 개선안 도출

부품 X와 부품 Y의 LOT를 상호 바꾸어 가면서 조립품 품질의 개선 방안을 도출한다. <그림 4> 참조.

조립특성은 관계식 (2), (3), (4)와 표준 정규분포표를 이용해서 구하면 된다. 이와 같이 각각의 검사 LOT를 바꾸어 가면서 조립후 품질 특성치를 예측해본 결과 추정불량율이 낮은 조합의 LOT를 동시에 조립 LINE에 투입하면 된다. <그림 4>에서는 부품 X의 LOT와 부품 Y의 LOT의 수에서 조합할 수 있는 경우의 수는 6가지이다. 이 6가지 경우의 각각의 추정불량율의 합이 가장 작은 조합을 선택하므로써 개선이 가능하다. <표 1> 참조.

부품[X]	부품[Y]	조합	조립특성
LOT [가]	LOT [A]	[가]+[A]	$\mu_{11}, \sigma_{11}, p_{11} \dots [1]$
		[가]+[B]	$\mu_{12}, \sigma_{12}, p_{12} \dots [2]$
		[가]+[C]	$\mu_{13}, \sigma_{13}, p_{13} \dots [3]$
LOT [나]	LOT [B]	[나]+[A]	$\mu_{21}, \sigma_{21}, p_{21} \dots [4]$
		[나]+[B]	$\mu_{22}, \sigma_{22}, p_{22} \dots [5]$
		[나]+[C]	$\mu_{23}, \sigma_{23}, p_{23} \dots [6]$
LOT [다]	LOT [C]	[다]+[A]	$\mu_{31}, \sigma_{31}, p_{31} \dots [7]$
		[다]+[B]	$\mu_{32}, \sigma_{32}, p_{32} \dots [8]$
		[다]+[C]	$\mu_{33}, \sigma_{33}, p_{33} \dots [9]$
⋮	⋮		

< 그림 4 > 부품검사 LOT 조합에 의한 조립 LOT 구성방법 및 조립특성

〈 표 1 〉 부품 LOT 조합에 따른 불량율

No	조 합	불 량 율 (전체)
1	[1] + [5] + [9]	$p_{11} + p_{22} + p_{33}$
2	[1] + [6] + [8]	$p_{11} + p_{23} + p_{32}$
3	[2] + [4] + [9]	$p_{12} + p_{21} + p_{33}$
4	[2] + [6] + [7]	$p_{12} + p_{23} + p_{31}$
5	[3] + [4] + [8]	$p_{13} + p_{21} + p_{32}$
6	[3] + [5] + [7]	$p_{13} + p_{22} + p_{31}$

〈표 1〉에서 불량율이 가장 낮은 조합을 선택하여 조립 LINE에 투입한다. 이 때 조립 LINE에서의 불량율 개선효과는 다음의 관계식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{개선효과} = \frac{\text{모든 조합의 불량율의 합}}{\text{조합의 수}} - \text{최소불량율} \tag{5}$$

그런데 이상과 같은 방법은 3개 이상의 다변수가 있는 일반화된 경우에도 확장시켜 적용할 수가 있으며 그 방법은 다음과 같다. [4, 5]

n 개의 임의변수(RANDOM VARIABLE)인 부품치수와 이것의 함수인 특성치 Y 를 갖는 함수 f 가 있다고 하자.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

여기서, 각 부품의 평균과 표준편차가 각각 $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n), \sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$ 이리 두고 TAYLOR 전개를 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Y &= f(X_1, X_2, \dots, X_n) \\ &= f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) + \sum_{i=1}^n \left. \frac{\partial f(X)}{\partial X_i} \right|_{X=\mu} (X_i - \mu_i) \\ &\quad + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left. \frac{\partial^2 f(X)}{\partial X_i \partial X_j} \right|_{X=\mu} (X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j) + R \end{aligned} \tag{6}$$

R 은 이차이상의 나머지 항이다. 따라서 기대값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E(Y) = f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(X)}{\partial X_i} \Bigg|_{X=\mu} E(X_i - \mu_i) \\ + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 f(X)}{\partial X_i \partial X_j} \Bigg|_{X=\mu} E[(X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j)] + E(R)$$

만약 (X_1, X_2, \dots, X_n) 이 독립인 임의변수(RANDOM VARIABLE)라면

$$E(Y) = f(\mu_1, \dots, \mu_n) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 f(X)}{\partial X_i^2} \Bigg|_{X=\mu} V(X_i) + E(R) \quad (7)$$

과 같이 되며 나머지항이 무시할수 있을 정도를 적다면 Y 의 기대값은 근사적으로

$$E(Y) \doteq f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 f(X)}{\partial X_i^2} \Bigg|_{X=\mu} V(X_i) \quad (8)$$

이다. 그러므로 각 부품치수 평균과 분산을 알고 함수식 f 를 안다면 Y 의 기대값을 근사적으로 구할수 있다. 여기서 만약 두번째 항을 무시할수 있다면 기대값은 다음과 같이 보다 간단히 구할수 있다.

$$E[f(X)] \doteq f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$$

한편, 식(6)에서 처음 두항만을 고려하여 근사적으로 Y 의 분산을 구하면 다음과 같다.

$$V(Y) \doteq V[f(X)|_{X=\mu}] + V \left[\sum_{i=1}^n \frac{\partial f(X)}{\partial X_i} \Bigg|_{X=\mu} (X_i - \mu_i) \right] \\ = \left[\sum_{i=1}^n \frac{\partial f(X)}{\partial X_i} \Bigg|_{X=\mu} \right]^2 V(X_i) \quad (9)$$

따라서 다부품의 조립제품의 기대값과 분산은 식(8)과 (9)로부터 근사적으로 구할 수 있으며 만약 식(7)에서 두번째항까지를 고려하면 기대값은 더욱 정확해질 것이다.

만일 부품치수가 정규분포를 따른다면 Y 의 분포는 근사적으로 정규분포로 가정할 수 있고 식(8), (9)로부터 불량율도 추정할 수 있다.

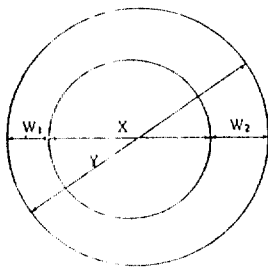
3. 사례연구

부품의 검사정보를 이용한 제품의 품질관리 방법에 대해 생산 현장에서 실제로 적용하여 연구하였다. 이 사례에서 다루어진 제품은 세탁기이다. 세탁기는 많은 부품으로 구성된 조립제품이다. 세탁기의 내부에는 회전하면서 물살을 일으키는 PULSATOR라는 세탁날개와 INNER TUB라는 세탁조가 있다. 이 PULSATOR는 INNER TUB의 내부에 조립되어 세탁시에 중요한 기능을 수행한다. 이 두 부품의 조립특성은 아주 적절한 틈새를 유지해야 한다. 그 규격은 $[0.7 \sim 2.5]mm$ 이며 만일 틈새가 $0.7mm$ 미만으로 좁아들면 PULSATOR가 회전하면서 마찰소음을 일으키며 틈새가 $2.5mm$ 보다 커지면 그 틈새 사이로 이물질이 들어가 소비자로부터 불만 사항이 된다. <표 2> 참조.

< 표 2 > 두 부품의 규격

부 품 명	PULSATOR	INNER TUB
주 요 치 수	외 경	내 경
규 격	$\phi 407.7 \pm 0.3mm$	$\phi 411.3 \pm 0.5mm$
실 측 치 표 기	X_i	Y_i
조립 후 틈새 규격	$[0.7 \sim 2.5]mm$	

두 부품은 관련 규격에 의하여 각각 협력회사에서 출하시에는 출하검사를 그리고 모기업에서는 수입검사를 실시하고 있으며 이에 합격하였을 경우에는 생산 LINE에 투입되어 조립된다.



- X : PULSATOR의 지름(외경)
- Y : INNER TUB의 지름(내경)
- W_1 : 조립후의 작은 틈새
- W_2 : 조립후의 큰 틈새

< 그림 4 > 두 부품의 조립된 상태

위 <그림 4>에서 다음과 같은 관계를 알 수 있다.

$$Y = X + W_1 + W_2$$

여기서 두 부품의 중심이 일치한다면 $Y = X + 2W$ 로 된다. 그런데 대부분의 경우 조립시 다른 요인으로 인해 부품의 중심이 일치하지 않는다. 따라서 부품 X와 부품 Y의 검사결과를 알아도 조립된 제품의 특성(틈새)을 알 수가 없기 때문에 부품 X와 부품 Y의 치수를 측정된 후 그 조립품의 틈새를 측정함으로써 부품의 검사결과와 조립제품과의 관계를 알아내야 한다. 두 부품의 검사 결과와 이를 조립하였을때의 조립특성(틈새)의 실측치는 <표 3>과 같다.

〈 표 3 〉 부품 치수 측정 DATA

단위 : mm

No	X_i	Y_i	W_{1i}	W_{2i}	No	X_i	Y_i	W_{1i}	W_{2i}
1	407.6	411.2	1.2	2.4	25	407.5	411.1	1.4	2.2
2	407.8	411.6	1.6	2.2	26	407.3	411.0	1.2	2.5
3	407.9	411.8	1.8	2.1	27	407.3	410.9	1.4	2.2
4	407.9	411.3	1.0	2.4	28	407.4	411.0	1.8	1.8
5	407.7	411.3	1.1	2.5	29	407.5	411.2	1.4	2.3
6	408.0	411.2	1.4	1.8	30	407.6	411.4	1.4	2.4
7	407.9	411.6	1.2	2.5	31	407.7	411.2	1.6	1.9
8	407.8	411.8	1.4	2.6	32	407.8	411.4	1.5	2.1
9	407.9	411.7	1.6	2.2	33	407.8	411.6	1.2	2.6
10	407.8	411.3	1.0	2.5	34	407.6	411.7	1.6	2.1
11	407.7	411.2	1.1	2.4	35	407.8	411.3	1.4	2.1
12	407.5	411.6	1.5	2.6	36	407.8	411.2	1.3	2.1
13	407.4	411.6	1.6	2.5	37	407.9	411.6	1.8	1.9
14	407.3	411.4	1.4	2.7	38	407.8	411.4	1.6	2.0
15	407.4	411.6	1.6	2.6	39	407.7	411.5	1.4	2.4
16	407.6	411.2	1.2	2.4	40	407.9	411.3	1.3	2.1
17	407.3	411.6	1.6	2.7	41	408.0	411.2	1.2	2.0
18	407.4	411.1	1.4	2.3	42	408.0	411.6	1.4	2.2
19	407.2	411.3	1.3	2.8	43	408.0	411.4	1.2	2.2
20	407.3	411.2	1.8	2.1	44	408.0	411.3	1.4	1.9
21	407.3	411.2	1.6	2.3	45	407.8	411.4	1.8	1.8
22	407.4	411.1	1.4	2.3	46	407.7	411.2	1.4	2.1
23	407.5	411.2	1.3	2.4	47	407.7	411.3	1.2	2.4
24	407.6	411.1	1.2	2.4	48	407.8	410.9	1.1	2.0

No	X_i	Y_i	W_{1i}	W_{2i}	No	X_i	Y_i	W_{1i}	W_{2i}
49	407.8	411.0	1.4	1.8	75	407.9	411.4	1.6	2.9
50	407.7	411.6	1.6	2.3	76	407.8	411.1	1.6	1.7
51	407.8	411.2	1.5	1.9	77	407.8	411.2	1.5	1.9
52	407.7	411.2	1.1	2.4	78	407.7	411.5	1.3	2.5
53	407.7	411.6	1.3	2.6	79	407.7	411.6	1.4	2.5
54	407.8	411.4	1.6	2.0	80	407.0	411.4	1.6	1.8
55	407.7	411.4	1.4	2.0	81	407.7	411.3	1.5	2.1
56	407.6	411.0	1.2	2.2	82	407.8	411.2	1.6	1.8
57	407.7	411.2	1.4	2.1	83	407.7	411.6	1.4	2.5
58	407.8	411.3	1.1	2.4	84	407.0	411.8	1.6	2.2
59	407.6	411.7	1.4	2.7	85	407.9	411.3	1.2	2.2
60	407.8	411.5	1.2	2.5	86	407.8	411.5	1.6	2.1
61	407.9	411.3	1.3	2.1	87	407.7	411.1	1.4	2.0
62	407.7	411.2	1.6	1.9	88	407.6	411.3	1.3	2.4
63	407.9	411.6	1.2	2.5	89	407.6	411.2	1.2	2.4
64	407.9	411.4	1.5	2.0	90	407.5	411.4	1.8	2.1
65	407.4	411.1	1.4	2.3	91	407.8	411.1	1.6	1.7
66	407.5	411.7	1.5	2.7	92	407.6	411.2	1.4	2.2
67	407.4	411.2	1.5	2.3	93	407.6	411.6	1.3	2.7
68	407.4	411.5	1.8	2.3	94	407.6	411.3	1.3	2.4
69	407.4	411.4	1.6	2.4	95	407.5	411.4	1.2	2.7
70	407.4	411.7	1.5	2.8	96	407.9	411.7	1.4	2.4
71	407.4	411.3	1.4	2.5	97	407.8	411.2	1.2	2.2
72	407.5	411.3	1.6	2.2	98	407.8	411.2	1.4	2.0
73	407.4	411.2	1.5	2.3	99	407.9	411.4	1.5	2.0
74	407.5	411.7	1.7	2.5	100	407.9	411.1	1.5	1.8

3.1 실측치 X , Y , W_1 , W_2 의 정규성 검정

〈표 3〉의 실측치의 정규성을 검정함으로써 본 사례가 적정한지의 여부를 알 수 있기 때문에 정규성 분석 방법인 『Kolmogorov - Smirnov Goodness of Fit Test』를 이용하여 정규성을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

Most Extreme Differences:

	Absolute	Positive	Negative	K-S Z	Z-tailed P
X	0.12763	0.10469	-0.12763	1.276	0.077
Y	0.15215	0.15215	-0.11951	1.522	0.020
W_1	0.13154	0.13154	-0.12846	1.315	0.063
W_2	0.11624	0.08874	-0.11624	1.162	0.134

따라서 X, Y, W_1 , W_2 는 각각 7.7%, 2.0%, 6.3%, 13.4% 이상의 유의수준을 가진다면 정규분포에 따른다고 할 수 있다. 그러므로 <표 3>의 자료들은 부품검사 정보 이용 방안에서 제시된 절차를 따라 분석해도 될 것이다.

3.2 실측치를 이용한 X, Y, W_1 , W_2 의 관계식 유도

<표 3>의 실측자료를 통계분석용 프로그램(SPCC/PC⁺)을 이용하여 관계식을 유도하였다. 실측자료를 입력후 관련자료를 분석하면 다음과 같다.

(DATA 입력의 편의를 위해 X값에는 X-400, Y값에는 Y-410의 DATA를 입력한 후 환산하여 분석하였음)

Correlation:

	X	Y	W_1
X	1.000	0.169	-0.178
Y	0.169	1.000	0.269
W_1	-0.178	0.269	1.000

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	0.43065	0.21532
Residual	97	3.20935	0.03309
F = 6.50799		Signif F = 0.0022	

Variable in the Equation:

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
X	0.26563	0.08597	0.29891	3.090	0.0026
Y	-0.18957	0.08036	-0.21819	-2.359	0.0203
(Constant)	2.51883	0.60896		4.136	0.0001

여기서 $F = 6.50799 > F_{0.05}(2,97) \doteq 3.1$ 이고 유도된 선형식은 99.7% $((1 - 0.0022) \times 100)$ 의 신뢰도로 선형식으로 나타낼 수 있으며 관계식을 구하면 다음과 같다. [박성현, 1986]

$$W_1 = 0.26563Y - 0.18957X - 30.56147 \tag{10}$$

$$W_2 = 0.73437Y - 0.81043X + 30.56147 \tag{11}$$

여기서 회귀분석을 통해 식(10)을 유도하였으며 식(11)은 식(10)과 X, Y, W_1, W_2 의 관계식으로 부터 계산한 결과이다.

3.3 개선방안 도출

X, Y, W_1, W_2 의 관계식을 이용하면, X, Y 의 자료가 있으면 W_1, W_2 의 특성치를 예측할 수 있다. 그래서 X, Y 각각 3 LOT씩 샘플링 검사를 실시하여 측정된 검사결과를 분석하여 개선방안을 도출하겠다. 샘플링 검사를 실시한 결과 그 DATA는 <표 4>와 같다.

< 표 4 > 부품 X, Y의 검사결과

No	LOT[가]	I. LOT[나]	LOT[다]	No	LOT[A]	LOT[B]	LOT[C]
1	407.6	407.8	407.9	1	411.3	411.2	411.3
2	408.0	407.6	407.8	2	411.2	411.2	411.3
3	407.7	407.9	407.4	3	411.4	411.4	411.6
4	407.6	407.5	407.4	4	411.3	411.7	411.2
5	407.3	406.4	407.5	5	411.1	411.3	411.1
6	407.3	407.8	407.4	6	411.2	411.2	411.4
7	407.7	407.7	407.8	7	411.6	411.8	411.3
8	407.8	407.5	408.0	8	411.7	411.1	411.2
9	408.0	407.9	407.8	9	411.5	411.2	411.6
10	407.7	407.9	407.7	10	411.3	411.2	411.7

(부품 X의 검사결과)

(부품 Y의 검사결과)

위 검사결과를 분석하면 <표 5>와 같은 자료를 얻는다.

〈 표 5 〉 부품검사 LOT별 검사특성

항 목	LOT[가]	LOT[나]	LOT[다]	LOT[A]	LOT[B]	LOT[C]
평 균 (μ)	407.67	407.70	407.67	411.36	411.33	411.37
표준편차 (σ)	0.220	0.179	0.215	0.180	0.224	0.190
추정불량율 (p)	17.61	9.30	16.68	0.27	0.30	1.19

한편 부품 X의 LOT와 부품 Y의 LOT를 조합하여 조립 LOT를 구성할 수 있는 경우의 수는 9가지가 있다. 각각의 경우의 조립특성치를 식(10)과 (11)을 이용하여 구하면 〈표 6〉과 같다.

〈 표 6 〉 부품의 검사 LOT 조합에 따른 조립특성치 DATA

No	조 합	조 립 특 성					
		평 균 (μ)		표준편차 (σ)		추정불량율 (p)	
		W_1	W_2	W_1	W_2	W_1	W_2
1	[가] + [A]	1.426	2.264	0.021	0.242	0	16.35
2	[가] + [B]	1.418	2.242	0.024	0.265	0	16.60
3	[가] + [C]	1.429	2.271	0.021	0.247	0	17.62
4	[나] + [A]	1.420	2.240	0.019	0.215	0	11.31
5	[나] + [B]	1.412	2.218	0.022	0.238	0	9.01
6	[나] + [C]	1.423	2.247	0.020	0.220	0	19.77
7	[다] + [A]	1.426	2.264	0.020	0.238	0	15.62
8	[다] + [B]	1.418	2.242	0.024	0.262	0	16.35
9	[다] + [C]	1.429	2.271	0.021	0.244	0	16.36

〈표 1〉에서와 같이 부품 LOT를 조합하여 조립 LINE에 투입할 수 있는 경우의 수는 6가지가 있으며 이때의 불량율들은 〈표 7〉과 같다.

〈 표 7 〉 부품 LOT 조합에 따른 전체불량율

No	조 합	불 량 율 (전 체)
1	[1] + [5] + [9]	42.72
2	[1] + [6] + [8]	52.47
3	[2] + [4] + [9]	45.27
4	[2] + [6] + [7]	51.99
5	[3] + [4] + [8]	45.28
6	[3] + [5] + [7]	42.25

4. 분석 및 결론

〈표 7〉에서 구한 값들을 식(5)를 이용해서 계산하면 조립 LOT의 불량율을 평균 4.41% 개선할 수 있으며 〈표 7〉에서 조합 [2]를 선택하였을 경우와 비교해 보면 최대로 10.22% 까지 개선 가능함을 알 수 있다.

한편 관계식 (10)과 (11)에 의해 유도된 추정 불량율과 〈표 3〉의 DATA 에서 나타난 W2의 불량율을 비교해 보면 〈표 8〉과 같다.

〈 표 8 〉 추정 불량율과 실제 불량율과의 비교

관계식을 이용한 추정치	평 균	2.163
	표 준 편 차	0.268
	추정불량율	10.38 %
실제 불량율 〈표 3〉		12 %

〈표 8〉에서 알수 있듯이 추정 불량율은 〈표 3〉에서 나타난 불량율과 큰 차이가 없다고 인정하여도 될 것이다. 따라서 모형에서 제안된 절차는 본사 사례에 매우 정확히 적용될 수 있음을 알 수 있다.

그리고 PULSATOR와 INNER TUB는 부품의 조립시에 부품의 치수 이외에 다른 요인들로 인해 조립특성이 많은 영향을 받기 때문에 부품의 검사결과로써 해당 LOT의 합격·불합격을 판정하는 것은 큰 의미가 없으며, 또한 PULSATOR와 INNER TUB의 부품 치수는 조립시 작은 틈새에는 거의 영향을 주지 못하고 있음을 알 수 있다.

만약 큰 틈새의 규격을 2.7mm 이하로 설정할 경우 〈표 6〉과 〈표 7〉과 같은 방법으로 제

산해 보면 <표 9>와 <표 10>과 같이 된다. 따라서 조립시의 평균불량율을 약 4% 이하로 개선할 수 있으며 <표 7>과 <표 10>을 비교해 볼 때 조립 LOT의 전체 불량율의 합을 35.51%까지 개선할 수 있음을 알 수 있다.

이상에서와 같이 부품의 검사 정보 및 부품 치수와 제품 치수와의 관계식을 알면 조립 제품 치수의 분포와 불량율을 추정할 수 있으며 또한 조립제품의 품질을 개선할 수 있음을 알 수 있다.

그리고 많은 부품으로 조립되는 경우와, 정규 분포가 아닌 다른 분포를 갖는 경우에도 이와 같은 방법을 확대 적용하는 것이 가능하며, 부품 및 제품의 규격을 합리적으로 결정하는데도 활용할 수 있을 것이다.

〈 표 9 〉 검사규격 재설정에 따른 추정 불량율

No	조 합	추정불량율 (전 체)
1	[가] + [A]	5.59
2	[가] + [B]	4.18
3	[가] + [C]	4.09
4	[나] + [A]	1.62
5	[나] + [B]	2.12
6	[나] + [C]	2.97
7	[다] + [A]	3.36
8	[다] + [B]	4.01
9	[다] + [C]	3.92

〈 표 10 〉 검사규격 재설정에 따른 전체 불량율

No	조 합	추정불량율 (전 체)
1	[1] + [5] + [9]	11.63
2	[1] + [6] + [8]	12.57
3	[2] + [4] + [9]	9.72
4	[2] + [6] + [7]	10.51
5	[3] + [4] + [8]	9.72
6	[3] + [5] + [7]	9.57

한편, 본 연구에서와 같은 방법으로 적용하기 위해서는 부품의 검사 정보가 상호 공유되어야 하며, DATA 분석, 관계식 유도, 분포의 검정, 추정 불량율의 계산등과 같은 내용을 전산화 함으로써 보다 효율적으로 수행할 수 있는 방안을 찾는 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 박성현(1986), 「회귀분석」, 개정판, 대영사.
- [2] 이순룡(1986), 「현대품질관리론」, 법문사.
- [3] 황의철(1987), 「최신품질관리」, 증보판, 전영사.
- [4] Hogg, R. V. and Tannis, E. A. (1994), *Probability and Statistical Influence*, Macmillian, 4th edition.
- [5] Kapur, K. C. and Lamberson, L. R. (1977), *Reliability In Engineering Design*.