최적 표준화 –벨트 제조에서의 적용 예-

Ⅰ. 서 언

현대의 생산구조는 주문생산과는 달리 대량생산방식을 채용하고 있다. 이러한 방식에서는 특정의 소비자를 대상으로 하지 않으므로 어느 한 제품 만을 생각할 때, 소비자의 요구가 동일하지 않다. 그러므로 소비자의 요구에 정확히 응할 수가 없다. 이러한 문제는 어느 한 제품 만을 생산하는 것이 아니라 형태, 치수, 색상 등이 상이한 수종의 제품을 동시에 생산하여 각자의 취향에 따라 적합한 것을 선택할 수 있게 함으로써 해결할 수 있다. 이것이 바로 표준화(Standardization)이다.

이와 같이 표준화는 두개의 작업으로 이루어진다. 첫째로는 표준화할 특성을 선정하고, 둘째로는 선정된 특성에 어떤 값을 부여해야 한다. 바꾸어 말하면, 표준화할 특성의 수를 n이라 할 때, 표준화란 바로 n차원 공간에서 한 개 이상의 점을 선정하는 것이다.

제품의 특성을 표준화하느냐 않느냐 하는 것은 그 제품의 제조, 분배 및 용도에 큰 영향을 미치므로, 표준화는 경제적인 활동이라고 할 수 있다. 지금 가지의 표준화는 대부분이 표준화의 이점에만 주력을 하여 왔고, 이의 비용에는 별다른 중점을 두지 않았다. 기껏해야 표준화를 도입하는 데에 드는 비용 만이 언급되었을 뿐이다. 가장 중요한 것은 표준화된 제품을 사용할 때에 드는 비용이다. 물론 이것이 무시된 것은 재래의 주문생산방식의 영향 때문이다. 이하에서 남자 하의용 벨트를 예로 들어서 표준화를 고찰하기로 한다.

Ⅱ. 표준화할 특성

위에서 표준화는 첫째로 주어진 제품에서 표준화해야 할 특성을 선정하는 것과 둘째로는 선정한 특성에 어쩐 수치를 부여하는 것이라는 두 개의 작업으로 이루어진다고 말하였다.

이러한 작업을 Fig. 1과 같은 벨트에 적용하기 위하여 어떤 특성들을 표준화할 것인가를 먼저 생각해야 한다. 치수와 성능으로 나누어서 이들을 고찰하기로 한다. 치수와 관련한 특성으로는 벨트의 길이, 두께, 폭, 구멍의 수, 구멍 간의 거리, 구멍의 직경 등이 있다. 성능과 관련한 특성으로는 강력, 신도, 강경도, 마모저항, 염색성, 외관 등을 들 수 있다.

이들 특성 중에서도 벨트의 길이, 구멍의 수 및 구멍 간의 거리는 벨트가 몸에 맞는지 여부를 판정하는 데에 가장 중요한 특성이다. 이 외의 특성들은 단지 심미성이나 내구성에만 영향을 줄 뿐 몸에 맞느냐 안 맞느냐 하는 데에는 2차적인 역할만 할 뿐이다.

그러므로 본 논고에서는 위에서 든 세 특성에 관한 표준화를 먼저 시도하기로 한다. 기타 특성들은 그 다음에 고찰하기로 한다.

Ⅲ. 작업방법

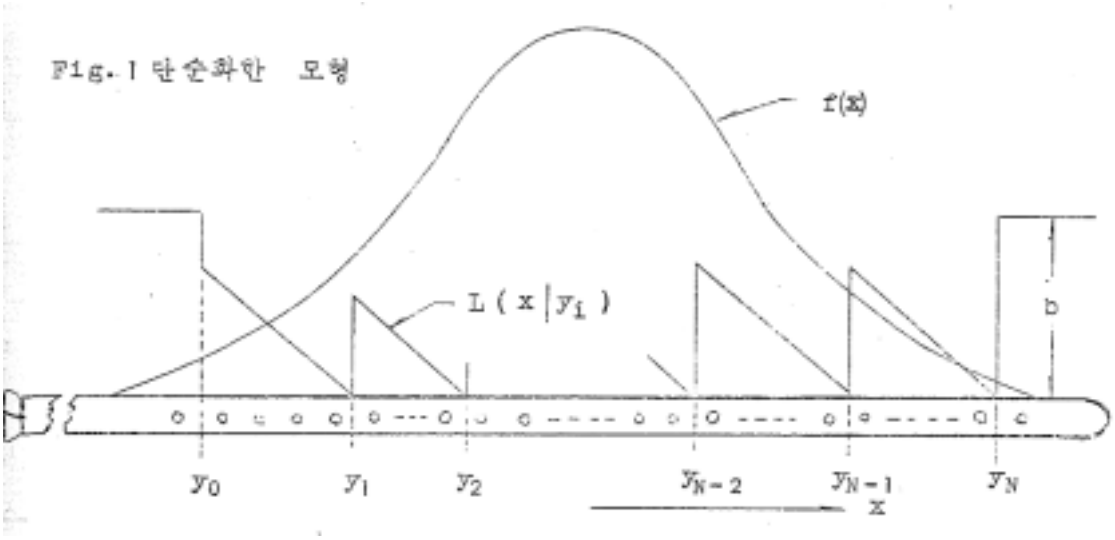
1. 문제의 정의 및 단순화한 모형

벨트의 고리 끝에서 어느 한 구멍과의 거리보다 크고 그 다음 구멍과의 거리보다는 짧은 치수의 사람은 이들 두 구멍의 어느 한 쪽을 사용할 때 아무런 불편도 느끼지 않아야 한다. 이렇게 결정한 구멍 간의 간격을 허용한계(fitting tolerance)로 정의한다. 이러한 한계는 허리둘레에 따라서 달라지겠지만, 문제를 간단하게 하기 위하여 이를 일정한 상수로 본다. 이제는 표준화해야 할 항목은 벨트의 길이와 구멍의 수만이 남는다.

표준화한 벨트의 수를 n으로 가정할 때 Fig. 1과 같은 모형을 만들 수 있다.

y_o는 표준화해야 할 항목은 벨트의 길이와 구멍의 수만이 남는다.

표준화한 벨트의 수를 n으로 가정할 때 fig. 1과 같은 모형을 만들 수 있다. y_o는 표준화에서 대상으로 삼는 허리둘레의 최소치이며, n개의 벨트는 각각 길이가 $y_1, y_2, \cdots, y_n$ 이며, 구멍의 수는 $K_1, K_2, \cdots, K_n$이다.



2. 기본자료

위의 모형을 풀려면 몇 개의 자료가 필요하다. 이하에서 이들을 고찰하기로 한다.

1) 허리둘레의 모집단 분포

표준화에서 대상으로 삼는 모집단의 분포특성을 먼저 알아야 한다. 본 논고에서는 15세 이상의 화란 남자의 허리둘레를 조사한 자료를 예로 들었다.(Table.1, Fig.2)

2) 구멍 간의 거리

전체 모집단 분포에 걸쳐서 층별임의 발취법에 의하여 일련의 시험을 함으로써 구멍 간의 거리에 관한 허용관계를 결정할 수 있다. 여기서 허용한계

는 수요자가 별다른 불편 없이 맬 수 있는 구멍 간의 거리의 최대치를 말한다.

Table. 1 15세 이상의 화란 남자의 허리둘레에 관한 자료(n=4,102명)

허리둘레 cm	빈 도 %	허리둘레 cm	빈 도 %	허리둘레 cm	빈 도 %	허리둘레 cm	빈 도 %
61.5	0.049	78.5	5.095	95.5	1.438	112.5	0.049
62.5	0.024	79.5	4.608	96.5	1.121	113.5	0.098
63.5	0.049	80.5	4.876	97.5	1.097	114.5	0.024
64.5	0.098	81.5	4.729	98.5	0.780	115.5	0.146
65.5	0.317	82.5	4.217	99.5	0.926	116.5	-
66.5	0.390	83.5	4.242	100.5	0.804	117.5	-
67.5	0.829	84.5	3.901	101.5	0.512	118.5	-
68.5	0.951	85.5	3.242	102.5	0.414	119.5	-
69.5	1.828	86.5	3.315	103.5	0.390	120.5	0.024
70.5	1.804	87.5	3.462	104.5	0.366	121.5	-
71.5	2.097	88.5	2.511	105.5	0.293	122.5	0.049
72.5	2.828	89.5	3.145	106.5	0.268	123.5	0.049
73.5	3.949	90.5	3.047	107.5	0.268	124.5	-
74.5	4.291	91.5	1.682	108.5	0.098	125.5	0.024
75.5	3.730	92.5	1.999	109.5	0.146		
76.5	4.510	93.5	1.953	110.5	0.122		
77.5	5.193	94.5	1.536	111.5	0.098		

3) 적응 손실

주문생산의 경우에는 재질, 치수, 강력, 색상 등 제품의 특성을 소비자의

요구에 정확히 응할 수 있게 만들 수가 있다. 그러나 대량생산에서는 생산이 몇 종의 표준화한 제품으로 제한되므로, 소비자의 요구에 정확히 응하는 것은 불가능하다. 즉, 소비자는 누구나 그 제품에 관하여 어느 정도 불만을 표시할 것이다. 이 경우에는 불완전한 적응에 기인하는 손실 즉, 적응손실(adaptation loss)이 발생한다.

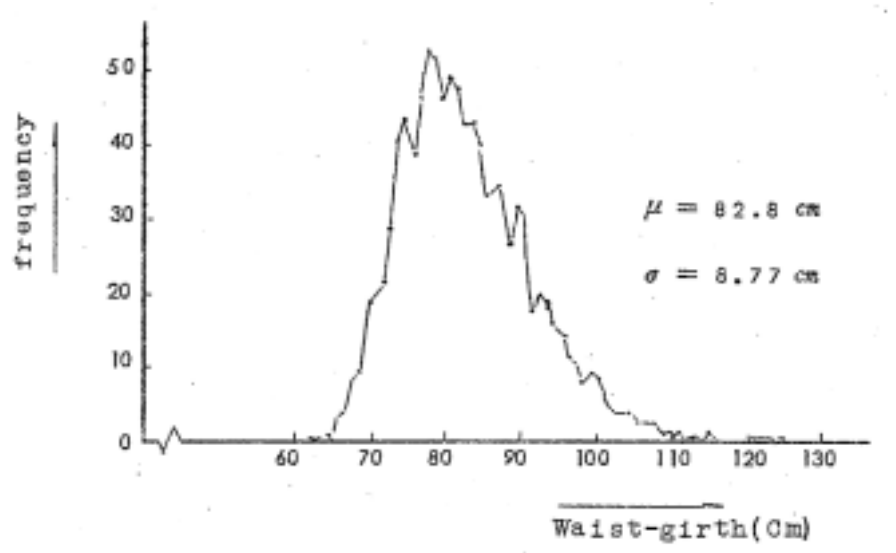


Fig. 2 Waist-girth measurements of Dutch male population over than 14 for n=4,102

일반적으로 이러한 손실은 매우 크므로, 표준화를 도입하는 비용은 무시된다. 적응손실은 다음과 같은 두 종류로 나눌 수 있다.

① 소비자가 필요로 하는 것보다 더욱 긴 벨트를 사용할 경우

이 경우에는 경제적인 손실이 발생하며, 이 손실은 초과분의 길이에 비례한다고 가정할 수 있다.

$$L(x|y_i) = a(y_i - x) \cdots\cdots\cdots (1)$$

단, x는 수요자의 허리둘레이며, y_i-1＜x＜yi이다. 손실은 이를 테면 ₩/yr 로 환산할 수 있다.

② 수요자가 필요로 하는 것보다 더욱 짧은 벨트의 경우 또는 지나치게 긴 벨트의 경우.

이 경우에는 몸에 맞는 벨트를 새로이 주문을 하거나 멜빵 등의 대안을 사용하여야 한다. 손실은 수요자의 허리둘레와는 관계없이 일정한 상수이다.

$$L(x|y_i) = b \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

단, $x < y_o$ 또는 $x > y_n$이다.

상수 b는 이 부류에 속하는 사람들에게 대안을 위하여 얼마의 돈을 지불하려는지를 질문함으로써 결정할 수 있다.

3) 생산비용

경제적인 관점에서 표준화는 제품의 종류를 줄여서 대량으로 생산분배하는 것이다.이것은 제품의 종류가 줄어들수록 단위당가격은 감소하기 때문이다. 제품의 종류 n과 단위당 가격의 비c간의 관계식으로는 $c=n^{\varepsilon}$이라는 식이 흔히 쓰이며, 이 식은 본 논고의 해로는 적합한 것 같다. 여기서 ε은 기계화 또는 자동화의 척도로 볼 수 있으며, 0과 1 사이의 값을 갖는다. 고도로 기계화 또는 자동화 된 공업에서는 이 값이 1에 접근한 값을 보일 것이며, 재래의 건축 및 섬유공업에서는 ε은 상당히 낮은 값을 보일 것이다. 이의 결정에는 회귀분석 등의 방법을 쓸 수 있다.

4) 기타 치수와 관련한 특성

벨트의 두께와 폭 및 구멍의 직경 등의 특성이 이에 포함된다. 이들 특성은 뒤에서 설명하기로 한다.

5) 성능과 관련한 특성

벨트를 사용할 동안에 만족스러운 심미성과 내구성을 위하여 이들 특성도 신중하게 고려하여야 한다. ASTM, BS, DIN, JIS 등의 규격에서 필요로 하는 시험방법을 찾을 수 있다.

Ⅳ. 분 석

1. 최적 벨트 수

$C=n^{\varepsilon}$이라는 식에서 보면, n=1일 때에 단위당 가격은 최소이다. 그러므로 제품의 수를 하나로 제한할 때 이윤은 최대일 것이라고 언뜻 생각할 수 있을 것이지만, 이 경우에는 적응손실에서의 훨씬 큰 증가를 생각지 않은 잘못된 말이다. 500원 어치의 제품을 원하는 수요자에게 1,000원 어치의 제품은 아무런 영향을 주지 않을 것이며, 결과적으로 판매량이 줄어들 것이기 때문이다.

이상에서 논의한 것은 결국 이윤을 최대로 할 수 있는 최적 벨트의 수가 있다는 말이다. 이를 결정하기 위하여는 적응 손실과 생산비용을 제품의 수 n의 함수로 표시하여야 한다.

① 적응손실

위에서 개개의 특정 수요를 가정할 경우에 적응손실을 계산할 수 있는 손실함수를 고찰하였다. 그러나 표준화는 특정 수요자가 아니라 전체 수요자를 대상으로 삼기 때문에 수요자의 모집단 분포에 걸쳐서 손실함수를 통합한 적응손실로 바꾸어야 한다.

모집단의 확률밀도함수를 f(x)라 할 때, 적응손실은

$$EL_1 = \int_{Y_0}^{y_1} a(y_1 - x)f(x_1 dx + \int_{y_1}^{y_2} a(y_2 - x)f(x)dx + \cdots\cdots + \int_{y_{n-1}}^{y_n} a(y_n - x)f(x)dx +$$

$$\int_{y_n}^{\infty} bf(x)dx \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

손실함수와 모집단의 확률밀도함수는 이미 알고 있으므로 표준화한 벨트의 길이 y_i만 안다면, 위의 식으로 표시할 수 있다.

$$EL_2(n) = Cp \cdot N^{\varepsilon} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (4)$$

단, Cp는 n=1일 때의 생산비용이다.

적응손실과 생산비용의 식을 위에서 구하였다. 전체비용 T는 이들 둘의 합계 즉,

$T = EL_1(n) + EL_2(n) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (5)$

이다. 여기서 T를 n의 함수로 볼 수 있다. 그러므로 T를 n으로 미분한 값

$$\frac{dT}{dn} = \frac{dEL_1(n)}{dn} + \frac{dEL_2(n)}{dn} \cdots\cdots\cdots (6)$$

이 0일 때의 n이 바로 최적해이다. 이것은 이러한 n에서 T가 최소이기 때문이다.(Fig.3 참조)

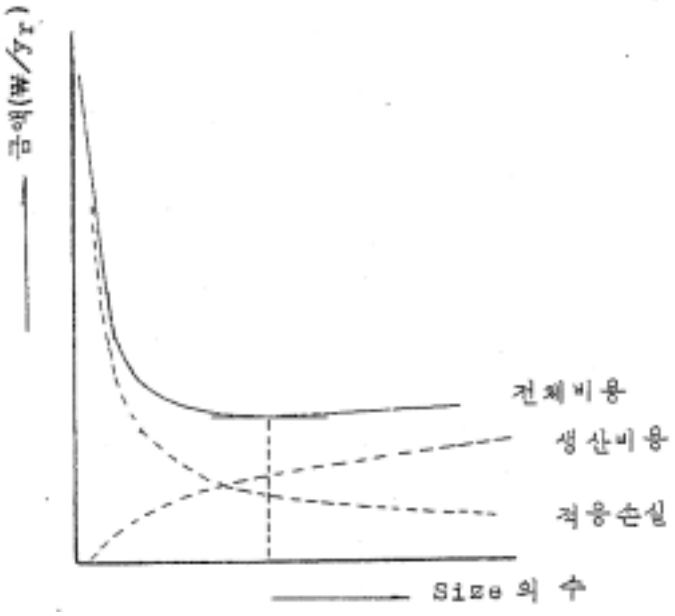


Fig. 3

2. 표준화한 벨트의 유도

n의 값의 결정되었으므로 생산비용은 고정이 된다. 그러므로 적응손실 만을 생각한다. 적응손실 EL_1을 계산하려면, 표준화한 벨트의 길이 y_i만 알면 된다고 위에서 말하였다.

이것은 식(3)을 y_1, y_2, $\cdot \cdot \cdot \cdot$ yn으로 편미분하여 얻은 도합수의 값을 0으

로 둠으로써 구할 수 있다.

$$\frac{\partial EL_1}{\partial y_1} = 0$$

$$\frac{\partial EL_1}{\partial y_2} = 0$$

$$\frac{\partial EL_1}{\partial y_n} = 0$$

결과적으로 다음과 같은 일반해를 구할 수 있다.

$$\int_{y_{i-1}}^{y_i} f(x)\ dx = (y_{i+1} - y_i) f(y_i) \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

단, $i = 1, 2, \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot, (n-1)$

$$\int_{y_{n-1}}^{y_n} f(x)\ dx = \frac{b}{a} \cdot f(y_n) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

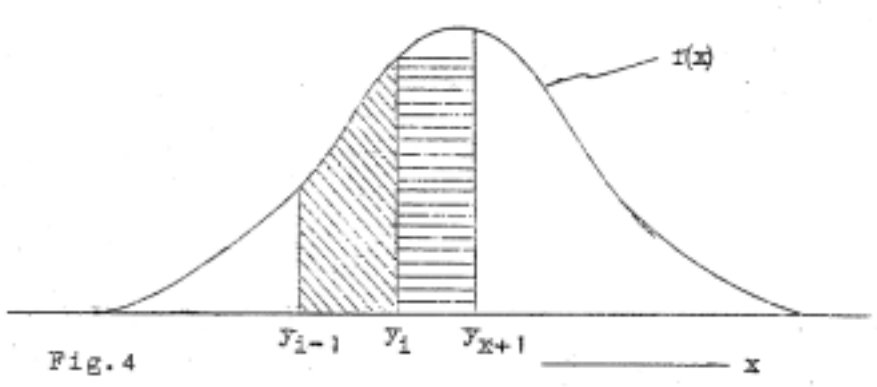


Fig.4

Fig.4에서 식(7)은 두 개의 빗금친 부분의 면적이 동일함을 의미한다. 미지수가 n개이고 식도 n개이므로, y_i의 값은 충분히 구할 수 있다.

일반적으로 표준화한 제품에서 치수의 배열방식은 기하배열(geometrical series)이나 산술배열(arithmetic series)에 의하는 것이 최적이라고 말하는 사람이 많지만, 이것은 잘못된 말이다. 식(3)에서 손실함수와 모집단의 확률밀도함수에 따라서 적응손실이 달라지며, 또한 이들 둘은 개개의 경우에 따라서

천차만별이므로, 이것은 당연하다.

이들 기하배열과 산술배열을 식(7) 및 (8)에 의한 최적배열과 비교하기 위하여 모평균이 80, 모표준편차가 10인 정규분포를 가정한다. 손실함수의 상수 a와 b는 각각 1과 100이라고 한다. 계산을 간략하게 하기 위하여 $\mu \pm 3a$ 범위 밖은 무시하기로 한다.

Table Ⅱ에 결과를 보인다.

Table Ⅱ

n		geometrical series	arithmetical series	optimal series
1	y_0	50	50	50
	y_1	110	110	110
	EL_1	29.9	29.9	29.9
2	y_0	50	50	50
	y_1	74	80	87
	y_2	110	110	110
	EL_1	20.1	15.0	12.5
3	y_0	50	50	50
	y_1	65	70	79
	y_2	85	90	91
	y_3	110	110	110
	EL_1	11.4	10.0	8.0

Table에서 보면, 기하배열이 최악이며, 산술배열이 차선임을 알 수 있다.

이상에서 본 바와 같이 적응손실은 상당히 높은 값을 보인다. 80cm의 벨트를 사용하는 사람의 경우에 벨트의 가격이 800원, 내용연수를 10년이라고 가정하면, 매년 단위길이의 벨트는 1원에 해당한다. 이 값이 바로 식에서 사용한 a이다. 그러므로 각 개인이 표준화 제품의 사용에서 결과하는 적응손실은

매년 n=1의 경우에 13~20원, n=3의 경우에는 8~11원에 달함을 알 수 있다.

전체 모집단을 생각할 때 이 비용이 얼마나 많은지는 쉽게 짐작이 갈 것이다.

3. 구멍의 수

인접한 두 개의 표준화한 벨트의 길이의 차와 구멍 간의 거리가 기지이므로, 각 벨트에서의 구멍의 수는 쉽게 계산할 수가 있다.

4. 기타 치수와 관련한 특성

1) 벨트의 폭과 두께

이들 특성은 심미성 및 내구성과 관련을 갖고 있으며, 몸에 맞는지의 여부를 생각할 때에는 아무런 영향도 미치지 않는다. 그러므로 이들 특성은 일련의 시험 등을 통하여 적합한 두께와 폭으로 고정시키는 것이 바람직하다. 물론 수요자의 구매력이나 취향에 따라 두 개 이상의 표준화한 벨트를 만드는 것도 가능하다. 이를테면, 수요자의 분포밀도가 높은 영역에서는 3종, 낮은 영역에서는 1종만 생산하는 등의 다양화가 가능하다.

2) 구멍의 직경

이것은 핀의 직경과 관련하여 결정하여야 한다. 이 경우 생각하여야 할 요점은 핀과 구멍 간의 상호작용에 의한 인열강도와 마찰저항이 만족스러워야 한다는 점이다.

5. 성능과 관련한 특성

1) 강 력

벨트를 사용할 동안에 외부에서 받는 힘에 견딜 수 있도록 충분히 강해야

한다. 이와 관련하여 생각할 요점은 인장강력 외에도 인열강력, 파열강력 및 피로강력 등을 고찰하여야 한다.

2) 신 도

사람의 허리둘레 자체가 때에 따라서 달라지므로, 신도도 중요한 항목이다. 적당한 시험에 의하여 적정 신도를 결정하여야 한다. 잔류신도도 이러한 점에서 고려를 요한다.

3) 마찰저항

벨트를 사용하는 동안에 끊임없이 의류와 금속재 및 인체와 마찰을 받으므로, 이러한 마찰에 대한 저항성이 충분해야 함은 당연하다.

4) 강경도

너무 단단하거나 너무 부드러운 재질은 벨트용으로는 적합하지가 않다. 적당한 촉감을 줄 수 있는 재질이라야 벨트에 적합하다고 할 수 있다.

5) 염색성 및 염색견뢰도

색상은 심미성에 중대한 영향을 미치므로, 염료와 좋은 친화력을 갖는 재질이라야 한다. 염색성이 좋아야 한다는 요건 외에도 일단 염색한 후에 일광, 세탁, 마찰 등에 대한 견뢰도도 반드시 고찰해야 할 요건이다.

6) 외 관

이상의 모든 사항을 만족시킨 후에도 수요자의 눈을 끌 수 있는 고상한 품위나 외관 등이 있는 재질이라야 한다. 이것은 이러한 외관이 심미성에 큰 영향을 주기 때문이다.

6. 벨트 제조용 재질

벨트 제조용 흔히 쓰이는 재질에는 가죽류, 플라스틱류 및 섬유류 등이 있다. 이들 재질은 벨트 제조용으로 적합한 재질이기는 하지만, 이것을 일련의

실험에 의하여 이상의 모든 필요조건을 충족시키는지를 확인하여야 한다.

Ⅴ. 결 언

1차적으로 벨트가 몸에 맞는지 여부에 영향을 미치는 특성이 벨트의 길이와 구멍의 수 및 구멍 간의 거리에 관한 표준화를 해결하였다.

기타 치수와 관련한 특성은 다양화 등의 방법으로 이를 해결하였으며, 성능과 관련한 특성은 개략적인 기준을 명시하여 이를 풀었다. 구체적인 기준은 일련의 실험에 의하여 결정하는 것이 가능하다.

이상에서 고찰한 바와 같이 표준화의 용도는 극히 크다. 공장에서 생산하는 제품의 품종을 체계화한다든가 기성복 제조에서 제품의 사이즈를 결정한다든가 등의 경우에도 이러한 표준화를 이용함으로서 막대한 이점을 얻을 수 있다.