研究論文

공급사슬에서 공급자 품질규격수준의 결정

김 기 영 * 윤 원 영**
*동서대학교 국제관계학부, **부산대학교 산업공학과

Determination of the Quality Specification Level of Suppliers in a Supply Chain

Ki Young Kim*, Won Young Yun**
*Department of International relations, Dongseo University
**Department of Industrial Engineering, Pusan National University

Abstract

In supply chain, the quality level of assembly factory depends on the quality levels of suppliers and it is very important to integrate efforts improving the quality levels between producer and suppliers, In this paper, we consider an integrated determination problem of quality specification levels of suppliers. The cost model is developed and the optimal policy under a specific model assumption is obtained. A numerical example is studied.

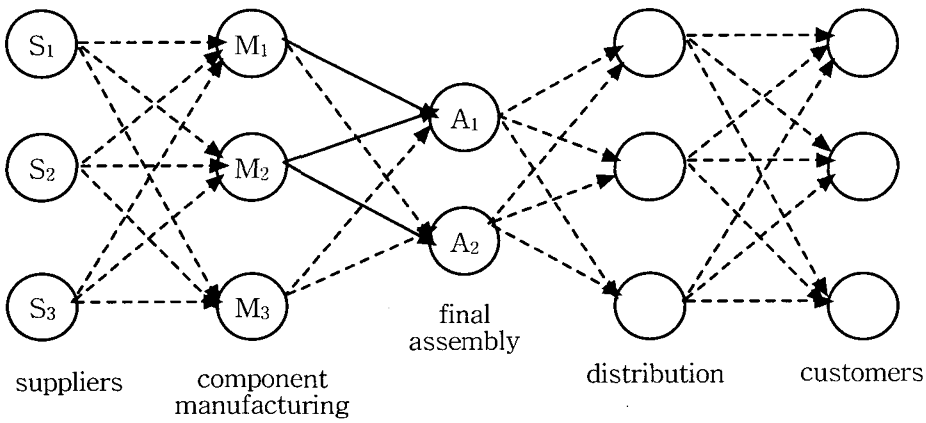
1. 서론

일반적으로 제품의 품질은 성능에 대한 수요자의 만족도에 의해서 결정되기 때문에 수요자의 기대치에 가까운 제품을 경제적으로 제공함으로써 기업의 대외적 경쟁력을 높일 수 있다. 즉, 수요자의 입장에서 볼 때, 바람직하다고 여기는 품질특성 목표치가 있어서 제공받는 부품 혹은 제품의 품질특성치가 그 품질특성 목표치에 가까울수록 수요자의 만족도는 높아진다. 그런데, 공급하는 부품 혹은 제품의 품질특성치가 품질특성 목표치에 얼마나 가까우냐 하는 것은 허용한계를 어떻게 설정하는가에 달려 있다. 엄격한 허용한계를 적용하게 되면 균질의 부품 혹은 제품을 공급할 수 있으나 상대적으로 불합격 제품의 재작업 및 스크랩에 의한 비용과 정밀한 납품검사에 의한 비용이 많이 든다. 완화된 허용한계를 적용하면 제조비용은 줄일 수 있으나 성능의 변동이 커져서 수요자의 불만이 높아질 것이다. 따라서, 품질수준의 허용한계는 공급자 및 수요자의 전체적인 입장에

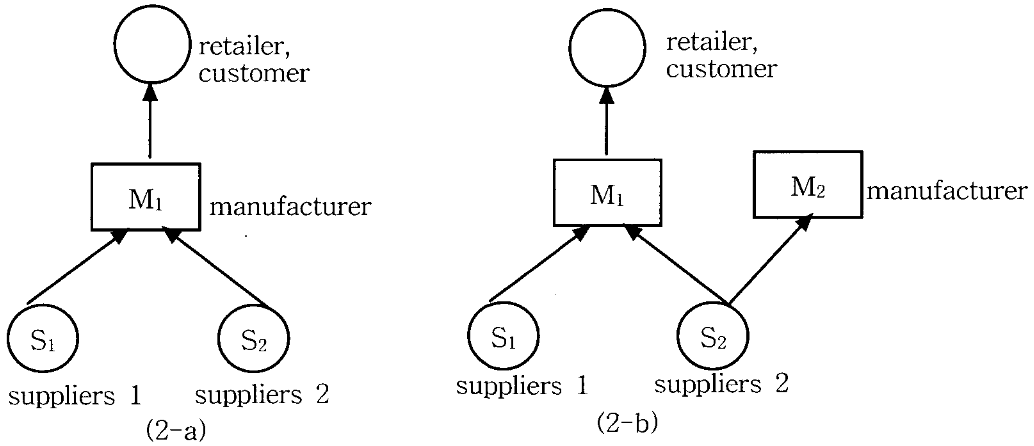
서 그들에게서 발생할 제 비용 즉, 공급자들의 공급품질수준에 관련된 불합격 부품의 스크랩비용 및 검사비용 그리고 수요자의 손실비용에 균형에 바탕을 두는 것이 바람직하다.

이러한 개념에 바탕을 두고 실시된 연구로는 다음과 같다. 단일 품질 특성의 품질규격에 관한 연구로는 Golhar과 Pollock(1987)은 Canning 문제에서 규격하한이 미리 설정되어 있는 경우에 규격상한을 공정평균과 함께 결정하는 방법을 다루었다. 또한 Tang(1988)은 품질특성치의 목표가 미리 정해져 있을 경우 경제적으로 규격한계를 설정하는 문제를 다루었다. 제품을 전수검사하여 규격을 만족하면 합격시키고, 그렇지 못하면 그 제품의 품질특성치가 목표치와 일치하도록 재작업을 한다. 검사를 통한 경제적 이득에서 재작업비용 및 검사비용을 차감한 것을 이익함수로 정의하였고 검사비용이 일정할 경우와 규격한계의 함수일 경우에 대해서 이익함수가 최대가 되는 규격한계를 구하였다. 이문찬(1988), 이민구와 최용선(2000), 이민구(2000), 홍성훈등(2000), 그리고 Hong등(1999)도 다양한 비용함수와 전수검사를 가정한 경우에 대한 규격, 검사기준 결정문제를 다루었다. 또, 권혁무, 김광재(1999)는 짝이 되는 두 부품의 경제적 선택조립절차에 대한 방법론을 제시하였다.

이상의 연구들은 모두 한 기업의 입장에서 경제적인 품질수준을 결정하기 위한 연구였다. 이에 반해, 본 논문에서는 한 회사의 입장에서 품질수준을 결정하는 것이 아니라 공급사슬 상에 있는 기업간의 외부적인 통합환경 하에 복수의 공급자가 납품하는 품목들의 품질수준을 결정하는 것이다. 그림1은 단순화된 공급사슬의 한 예를 보여 주고 있다. S_1, S_2 및 S_3은 M_1, M_2및 M_3에 자재를 조달하고, 그 자재를 이용하여 M_1, M_2및 M_3는 부품을 생산하여 A_1 및 A_2에 부품을 공급한다. 그러면 A_1 및 A_2는 납품을 받은 부품을 이용하여 제품을 생산 분배센터 등을 통하여 최종적으로 고객에게 제품을 출하시킨다. 그림 1에서 이웃 한 두 단계에서는 항상 공급자와 수요자의 입장이 형성된다는 것을 알



<그림 1> 단순화된 공급사슬의 도식화



<그림 2> 본 연구에서의 문제의 대상

수 있다. 수요자는 보통 다수의 공급자들로부터 부품을 공급을 받아 제품을 생산하게 되는데, 수요자가 생산하는 제품의 품질수준은 공급을 받는 부품들의 품질수준에 영향을 받는다. 또한, 수요자가 공급을 받은 부품을 사용하여 생산한 품목 혹은 제품을 상위의 수요자에게 납품 혹은 출하를 한다고 볼 때, 그 품목의 품질수준은 상위 수요자에게 영향을 주게 된다. 따라서 공급사슬상의 기업들 간에는 외부적으로 통합된 환경 하에서 제 비용을 고려하여 납품품질수준을 조율할 필요가 있을 것이다. [6,10]

본 연구와 유사한 연구로는 Kapur 와 Cho(1996) 가 다 품질특성에서의 규격결정문제를 다루었다.

본 논문에서는 그림2에 제시된 두 가지의 경우에 대해서 문제를 정의한다. 그림 2-a은 일반적으로 두 공급자가 모 기업에 공급하는 부품의 품질특성치의 목표가 동일한 경우의 한 예를 보여준다. 제조회사 M_1은 공급자 S1, S2로부터 부품을 공급을 받아서 제품을 만든다. 각 공급자가 생산하여 공급하는 부품의 특성치는 모기업이 제시하는 목표치에 맞추어 생산을 한다. 따라서 두 공급자의 부품특성치의 목표치는 동일하고 그 목표치를 평균으로 하여 공급자에 따라서 그 분포를 가진다. 각 공급자는 생산된 부품을 자체 검사하여 설정된 규격한계를 만족하는 것에 대해서만 제조회사 M_1에 공급을 한다. 생산된 부품이 규격한계를 만족시키지 못하면 그에 해당하는 재가공 및 스크랩비용이 발생한다. 그림 2-b은 두 공급자가 모기업에 공급하는 부품의 품질특성이 다른 경우의 한 예를 보여 준다. 공급자 S1은 품질특성 목표치가 t_1인 부품을 생산하여 M1에 공급한다. 공급자 S_2는 주로 M_2에 공급을 하고 부수적으로 M_1에 부품을 공급한다고 가정하자. 즉, S_2가 별도로 M_1의 품질특성 목표치에 정확히 맞추어 생산하기 곤란한 상황을 생각해 볼 수 있을 것이다. 이 경우에는 S_2가 M1에 공급하는 부품의 품질특성 목표치 t_2는 M_1의 부품의 품질특성 목표치 t_1과 다를 수 있을 것이다.

위에 가정된 상황의 어느 경우든 부품을

공급 받아 제조회사 M_1에서 생산된 조립품의 품질수준은 공급을 받은 두 부품의 품질특성치 중 적은 값에 의해서 결정된다고 가정한다. 예를 들어, 직렬관계의 구조를 가진 부품으로 구성된 전자제품은 수행도가 좋지 못한 부품에 의해서 결정되는 경우를 들 수 있다. 또한, 제조회사 M_1에서 출하하는 제품의 품질특성치는 그 제품의 품질특성 목표치와 차이가 있게 마련인데, 그 차이값의 2차 함수, 즉 $k(y-T)_2$형태로 손실이 발생한다고 가정한다. $H_i(e_i)$와 같은 일반적인 손실함수에 대해서는 본 논문에서는 논외로 한다. 사용되는 기호는 다음과 같다.

t_i	= 부품 i의 목표치(i = 1, 2)
T	= 제품의 목표치
e_i	= 부품 i의 허용한계(i = 1, 2) (결정변수)
K	= 품질수준의 중요도에 따른 상수
$f_i(x_i)$	= 부품 Xi (i = 1, 2)의 품질특성치의 분포
$I_i(e_i)$	= 부품 Xi (i = 1, 2)의 검사비용
C_i	= 부품 Xi(i = 1, 2)의 재작업 및 스크랩 비용
$TC(e_1,e_2)$,	= 총비용 함수

2. 비용함수의 정의

공급자인 두 부품회사의 부품은 각각 그목표치는 정해져 있고 그 목표치를 평균으로 제품특성치의 분포 $f_i(x_i)$를 가진다. 각각의 부품회사에서는 자체 검사를 실시하여 설정된 규격한계를 만족하는 것에 대해서만 조립회사에 납품을 하게 된다. 규격한계를 만족하지 않으면 그에 해당하는 스크랩비용 C_i가 발생한다. 검사에는 검사비용 $I_i(e_i)$가 발생한다. 이러한 상황하에서 조립회사에 납품된 품목들의 품질특성치의 분포는 식(1)과 같다.

$$g_i(x_i) = \frac{f_i(x_i)}{\int_{t_i-e_i}^{t_i+e_i} f_i(x_i)dx_i}$$

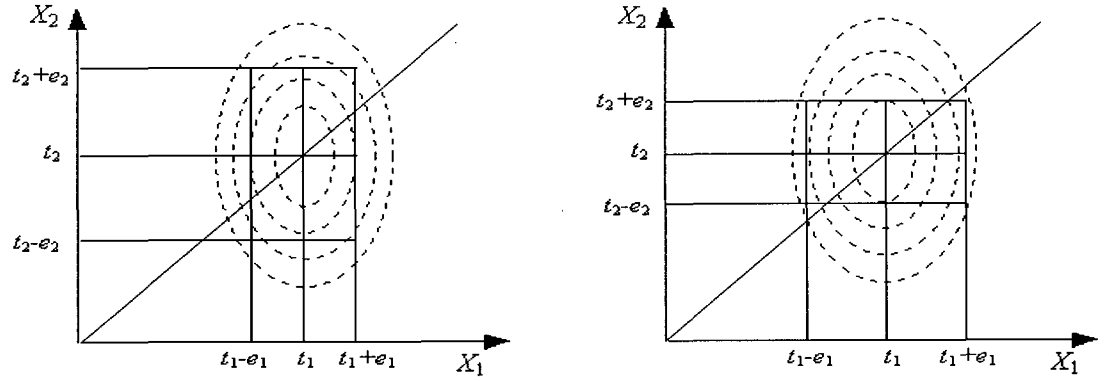
$$t_i - e_i \le x_i \le t_i + e_i \qquad X_i(i=1,2) \tag{1}$$

본 논문에서는 두 부품의 목표치가 동일한 경우와 동일하지 않은 경우에 대해서 각각 나누어서 살핀다.

2.1 공급자 부품들의 품질특성 목표치가 동일한 경우

납품된 두 부품의 품질특성의 목표치가 동일한 경우(t_1=t_2)에는 조립회사는 각 공급자가 공급하는 부품의 목표치와 그 허용한계에 따라 그림 3와 같이 두가지 경우의 부품품질수준의 영역을 가지게 된다. 이 때 조립품의 품질특성치는 가정에 의해 y=$min(x_1, x_2)$에 의해서 결정되어지며, 두가지의 경우로 나누어 비용함수를 생각할 수 있겠다. 단, 여기서는 편의상 부품 1의 분산이 부품 2의 분산보다 작다고 가정한자.

위 그림 3-a는 $t_2-e_2 \le t_1-e_1$(혹은 $t_2+e_2 \ge t_1+e_1$)인 관계를 가지는 경우로 그 때의 비용함수는 식 (2)와 같다. 식 (2)에서 첫번째 항목은 공급자의 재가공 및 스크랩 비용이고 두번째 항목은 납품검사비용을 나타낸다. 나머지 항목들은 조립회사에서 발생하는 손실비용을 나타내는 것으로, 문제의 가정에 의해서 조립품의 품질특성치와 그 품질특성목표치의 차이값의 2차함수 형태로 표현되고 있다. 참고로, 식 (2)는 중적분의 형태를 포



(3-a) (3-b)

<그림 3> 공급자의 품질특성 목표치가 동일하고 분산이 다른 경우

함하고 있는데 정규분포의 1차 모멘트함수, 2차 모멘트함수를 이용하여 단적분만을 포함하는 함수형태로 전환할 수 있다 (부록참조).

그림 3-b는 $t_2-e_2>t_1-e_1$(혹은 $t_2+e_2<t_1+e_1$)인 관계를 가지는 경우로 그 비용함수는 그림3-a 경우의 비용함수에서 각 변수의 색인을 서로 바꾼 형태가 된다.

$$TC(e_1,e_2)=\sum_{i=1}^{2}C_i[1-\int_{t_i-e_i}^{t_i+e_i}f(x_i)dx_i]+\sum_{i=1}^{2}I_i(e_i)$$

$$+\frac{1}{a_1(e_1)a_2(e_2)}\int_{t_1-e_1}^{t_1+e_1}\int_{t_2-e_2}^{x_1}k(x_2-T)^2 f_1(x_1)f_2(x_2)dx_2dx_1$$

$$+\frac{1}{a_1(e_1)a_2(e_2)}\int_{t_1-e_1}^{t_1+e_1}\int_{x_1}^{t_2+e_2}k(x_1-T)^2 f_1(x_1)f_2(x_2)dx_2dx_1$$

단, $a_i(e_i)=\int_{t_i-e_i}^{t_i+e_i}f_i(x_i)dx_i$ (2)

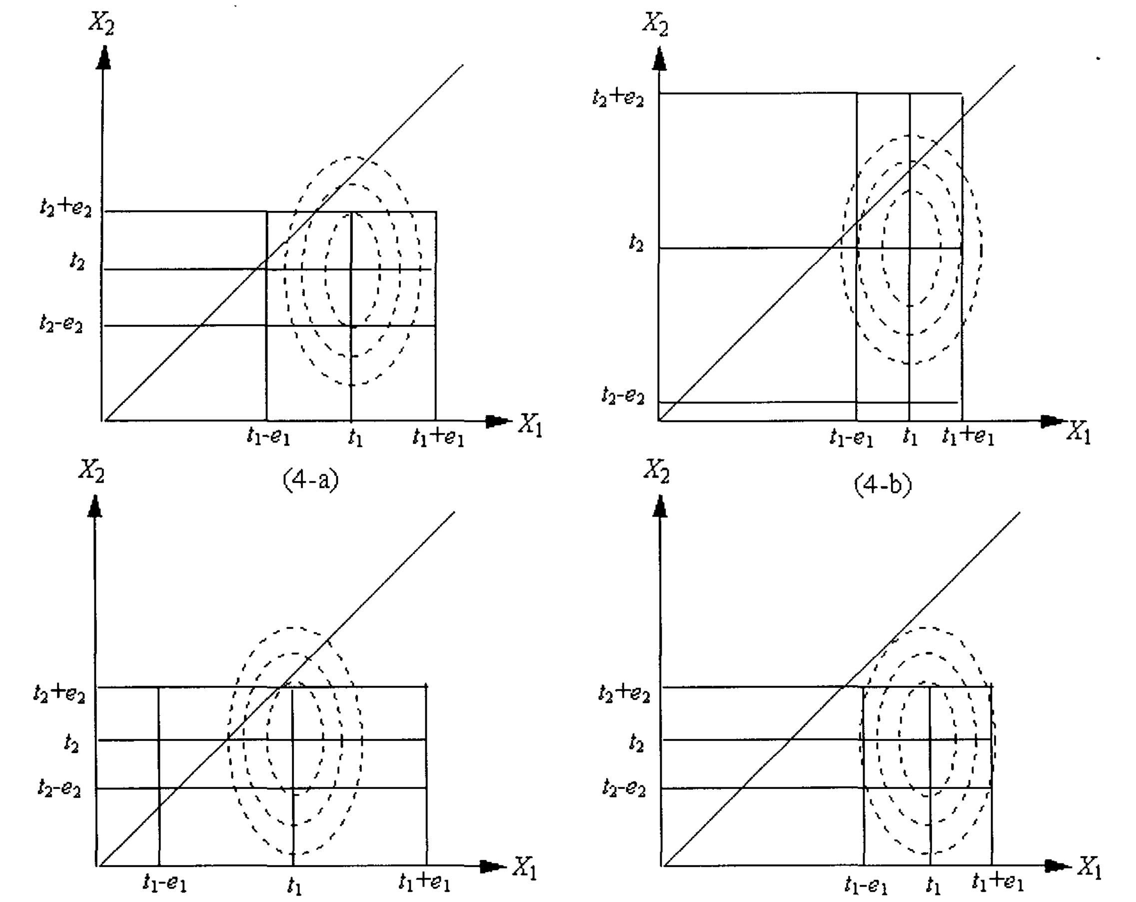
이상의 비용함수는 그 자체 혹은 단적분만으로 전환된 비용함수상에서 해석학적인 방법으로 총비용함수를 최소화시키는 e_1, e_2를 찾을 수도 있으나 그 해법이 복잡하여 본 논문에서는 비용함수의 값을 수치해석으로 구할 수 있는 프로그램 코드를 작성하여 그 해를 구하였다.

2.2 공급자 부품들의 품질특성 목표치가 다른 경우

이 문제는 각각 납품되는 부품들의 목표치가 다른 경우이다. 편의상 $t_1>t_2$이라 가정하자. 이 경우도 역시 부품회사는 각각 그 부품을 검사한 후의 규격을 만족하지 않은 부품은 스크랩하고 규격을 만족하는 부품은 조립회사에 공급을 한다. 이와 같은 경우에는 각 공급자가 공급하는 부품의 목표치와 그 허용한계에 따라서 그림4과 같이 네가지 경우의 부품품질수준영역을 가지게 된다. 납품을 받는 품질수준에 따라서 형성되는 품질특성치의 영역은 다음과 4가지의 경우로 표시될 수 있다. 이 때 조립품의 품질특성치는 가정에 의해 $y=min(x_1, x_2)$에 의해서 결정되어지며, 네가지의 경우로 나누어 비용함수를 생각할 수 있다.

그림 4의 (4-a)의 경우는 $t_2-e_2 \leq t_1-e_1$, $t_2+e_2 \leq t_1+e_1$, $t_2+e_2 \leq t_1-e_1$의 조건인 경우로 그 총비용은 식 (3)과 같이 표현되어 진다.

그림 4-b는 그림 3-a와 동일한 형태의 총



<그림 4> 공급자 부품들의 품질특성 목표치 및 분산이 다른 경우

비용함수를 가진고 그림 4-c는 그림 3-b와 동일한 형태의 총비용함수를 가진다. 그림 4-d는 t2 + e2 ≤ t1 - e1인 경우로 그것의 총비용함수는 식 (4)와 같이 표현되어 진다.

$$TC(e_1,e_2)=\sum_{i=1}^{2}C_i[1-\int_{t_i-e_i}^{t_i+e_i}f(x_i)dx_i]+\sum_{i=1}^{2}I_i(e_i)$$

$$+\frac{1}{a_1(e_1)a_2(e_2)}\int_{t_1-e_1}^{t_2+e_2}\int_{t_2-e_2}^{x_1}k(x_2-T)^2f_1(x_1)f_2(x_2)dx_2dx_1$$

$$+\frac{1}{a_1(e_1)a_2(e_2)}\int_{t_2+e_2}^{t_1+e_1}\int_{t_2-e_2}^{t_2+e_2}k(x_2-T)^2f_1(x_1)f_2(x_2)dx_2dx_1$$

$$+\frac{1}{a_1(e_1)a_2(e_2)}\int_{t_1-e_1}^{t_2+e_2}\int_{x_1}^{t_2+e_2}k(x_1-T)^2f_1(x_1)f_2(x_2)dx_2dx_1$$

(3)

$$TC(e_1,e_2)=\sum_{i=1}^{2}C_i[1-\int_{t_i-e_i}^{t_i+e_i}f(x_i)dx_i]+\sum_{i=1}^{2}I_i(e_i)$$

$$+\frac{1}{a_1(e_1)a_2(e_2)}\int_{t_1-e_1}^{t_1+e_1}\int_{t_2-e_2}^{t_2+e_2}k(x_2-T)^2f_1(x_1)f_2(x_2)dx_2dx_1$$

(4)

3. 수치 예제

3.1 공급자 부품들의 품질특성 목표치가 동일한 경우

부품회사의 부품의 품질특성치 X^i $(i = 1, 2)$가 각각 정규분포를 $N(100,3^2)$, $N(100,4^2)$을 따른다고 가정한다. 검사비용은 규격에 관계없이 각각 $I_1(e_1)=3$, $I_2(e_2)=1$이 든다고 가정한다. 스크랩이 발생할 경우 그 비용은 각각 $C_1=15$, $C_2=10$이다. 조립회사에서 출하하는 조립품의 품질특성 목표치는 $T=10$이고 $k=1$이라고 가정한다. 이러한 조건하에서 최소의 비용을 발생시키는 결정변수 e_1, e_2의 값은 수치적인 계산 방법을 사용하여 구하였다.

결정변수 e_1과 e_2의 값을 변화시켜 가면서 그 때의 총비용을 살펴 본 것이 아래 표1에 제시되어 있다. 표 1에서 e_1과 e_2가 0의 값을 가지는 경우는 각각의 품질특성치가 정확하게 일치하는 것에 대해서만 부품회사가 납품을 하는 경우로 실재로는 있을 수 없으므로 아주 작은 값(?)을 사용하였다.

표1의 결과를 보면, 총비용의 함수는 e_1과 e_2이 변하는 영역에서 볼록(Convex)형태를 가진다는 것을 알 수 있다. 최소의 총비용은 $e_1=6$과 $e_2=5$일 경우에 얻어지는데 그 때의 총비용은 13.655가 된다.

<표 1> e_1과 e_2에 따른 총 비용의 변화($N(100,3^2)$, $N(100,4^2)$인 경우)

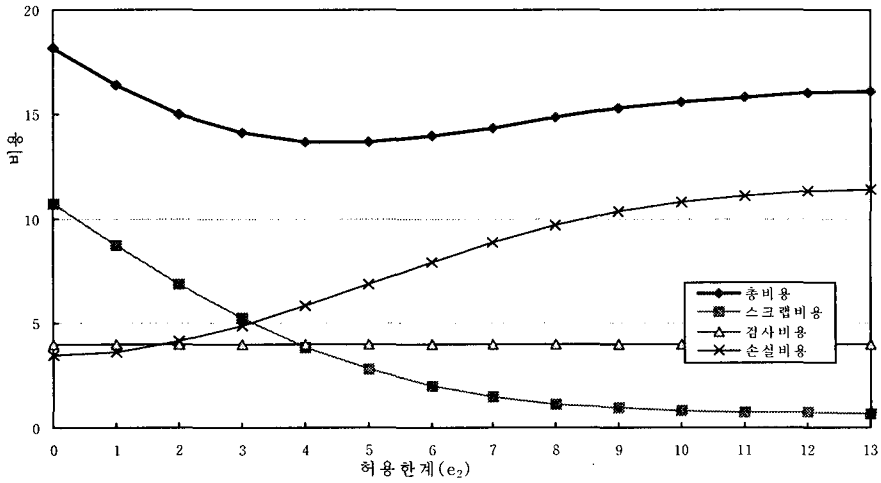
e_1 \ e_2	ε	2	4	6	8	10	12
ε	28.97	25.80	24.49	24.74	25.63	26.40	26.80
2	22.20	19.03	1771	17.96	18.86	19.62	20.02
4	18.83	15.65	14.34	14.59	15.48	15.25	16.65
6	18.16	14.99	13.68	13.92	14.82	15.58	15.98
8	18.33	15.16	13.85	14.10	14.99	15.75	16.14
10	18.46	15.29	13.97	14.22	15.10	15.86	16.24

<표 2> e_1과 e_2에 따른 총 비용의 변화($N(105,3^2)$, $N(100,4^2)$인 경우)

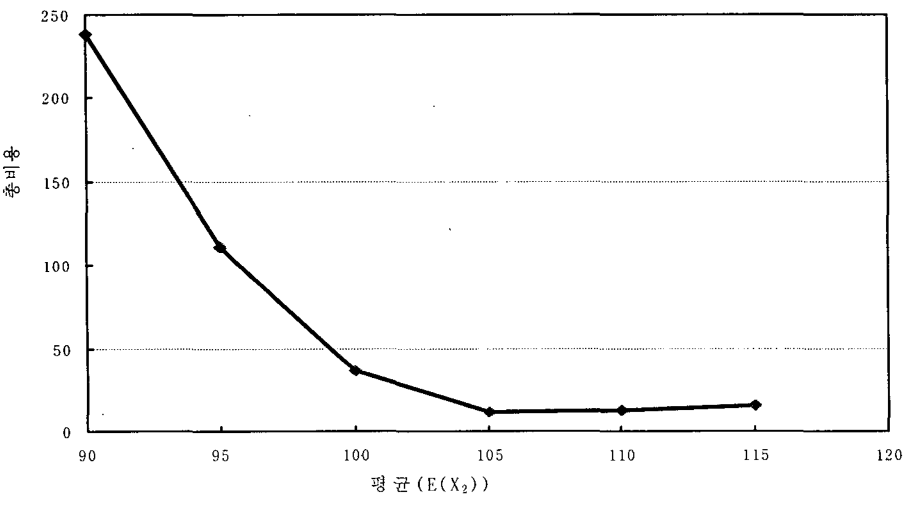
e_1 \ e_2	ε	2	4	6	8	10	12
ε	53.99	49.59	48.45	54.15	56.64	58.26	58.99
2	44.00	39.60	44.43	46.75	49.34	50.98	51.72
4	42.11	39.17	39.55	41.96	44.52	46.52	47.27
6	39.80	36.81	37.47	40.00	42.61	44.25	45.70
8	39.63	37.30	36.90	39.50	42.14	43.79	44.49
10	39.70	37.34	37.99	39.42	42.08	43.73	44.43

3.2 공급자 부품들의 품질특성 목표치가 다른 경우

부품회사의 부품의 품질특성치 X_i $(i = 1, 2)$가 각각 정규분포를 $N(105,3^2)$, $N(100,4^2)$을 따른다고 가정한다. 검사비용은 규격에 관계 없이 각각 $I_1(e_1)=3$, $I_2(e_2)=1$이 든다고 가정한다. 스크랩이 발생할 경우 그 비용은 각각 $C_1=15$, $C_2=10$이다. 조립회사에서 출하하는



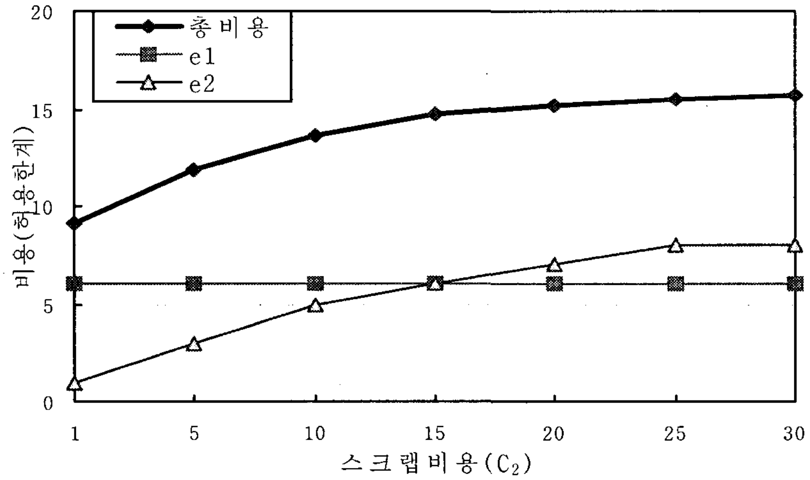
<그림 5> X_1~$N(100,\ 3^2)$, X_2~$N(100,\ 4^2)$ $C_1=15$, $C_2=10$, $I_1=3$, $I_2=1$, $e_1=6$인 경우



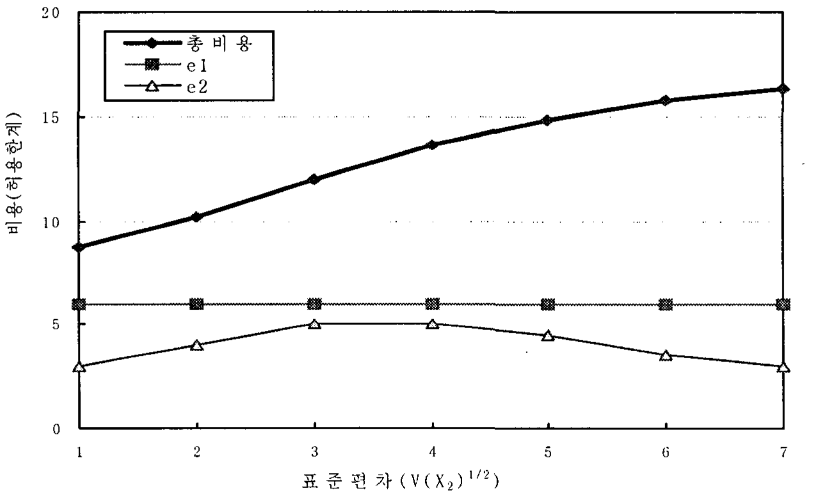
<그림 6> X_1~$N(105,\ 3^2)$, X_2~$N(100,\ 4^2)$ $C_1=15$, $C_2=10$, $I_1=3$, $I_2=1$, $e_1=6$인 경우

조립품의 품질특성 목표치는 $T=105$이고 $k=1$이라고 가정한다. 이러한 조건하에서 최소의 비용을 발생시키는 결정변수 e_1과 e_2의 값을 찾기 위해서 수치적인 계산 방법에 사용하여 e_1과 e_2의 값을 변화시켜 가면서 총비용을 변화를 살펴 본 것이 표2에 제시되어 있다.

표 2의 결과를 보면, 총비용의 함수는 e_1과 e_2이 변하는 영역에서 Convex형태를 가진다는 것을 알 수 있다. 또한, 최소의 총비용은 $e_1=8$과 $e_2=3$일 경우에 얻어지는데 그



<그림 7> X_1~$N(100, 3^2)$, X_2~$N(100, 4^2)$ $C_1=15$, $l_1=3$, $l_2=1$인 경우



<그림 8> $N(100, 3^2)$,$N(100, \sigma^2)$ $C_1=15$, $C_2=10$, $l_1=3$, $l_2=1$ 경우

때의 총비용은 36.162가 된다.

4. 결과분석

조립회사 제품의 품질수준은 공급자가 공급하는 부품 중 각각의 품질특성치 중 적은 값을 가지는 경우의 문제에서 그 총비용은 각각의 품질특성치의 목표치가 동일한 경우든, 다른 경우든 두 경우 표1과 2로부터 모두 Convex 형태를 가진다는 것을 짐작할 수 있었다. 따라서 공급자의 스크랩비용 및 검사비용 그리고 수요자의 손실비용을 적절히 균형을 취함으로써 공급자 및 수요자가 적절히 비용을 공유하는 절충점을 찾을 수 있게 된다.

그림5는 e_1의 값을 고정시켜 놓고 e_2의 값을 변화시켜 가면서 비용요소들의 변화를 살펴 본 것이다. e_2의 값이 증가함에 따라 공급자 2의 스크랩비용은 감소하지만 수요자의 손실비용은 증가한다. 따라서 그들 비용간의 절충점을 찾을 필요가 있음을 알 수 있다.

그림6은 두 공급자가 납품하는 부품들의 품질특성 목표치가 다른 경우에 대한 것으로 부품1의 목표치가 105일 때 부품2의 목표치의 변화에 따른 총비용은 변화를 살펴본 것이다. 목표치의 차이에 따른 비용이 급격히 증가함을 알 수 있다. 즉, 공급자가 공급하는 두 부품의 품질특성치의 목표치가 동일하게 되도록 하는 것이 우선적으로 중요하다는 것을 보여준다. 그림7은 재작업 및 스크랩 비용의 증가에 따른 품질수준의 허용한계와 그 때의 총비용을 보여주고 있다. 스크랩 비용이 증가할수록 총비용은 증가하고 허용한계 또한 증가하고 있다. 이는 스크랩 비용이 크고 k값이 그다지 크지 않을 경우 완화된 허용한계로 검사하여 모회사에 납품을 할 수도 있다는 말이 된다.

그림 8은 표준편차의 변화에 따른 품질수준의 허용한계와 그 때의 총비용을 보여주고 있다. 표준편차가 증가할수록 총비용은 증가하고 최적의 허용한계는 증가하다가 감소하는 추세를 보이고 있다. 이상의 결과로부터 공급자의 스크랩비용 및 검사비용 그리고 수요자의 손실비용과의 절충하는 품질수준의 허용한계는 존재하고 찾을 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 부품을 공급하는 부품공급업자와 부품을 공급을 받아 제품을 만드는 기업간에 외부적으로 통합된 환경하에 최소비용을 발생시키는 납품품질수준을 결정하는 것에 대해서 다루었다. 도입된 비용요소는 부품회사에서 발생하는 스크랩비용 및 검사비용과 조립회사에서 발생하는 공급받은 부품으로 만들어진 제품의 품질수준에서 발생하는 손실비용이다. 이 문제는 조립회사의 조립품의 출하품질수준과 공급자의 납품전의 부품의 검사에 의한 스크랩비용 및 검사비용의 상호 균형에 바탕을 두고 부품회사의 품질특성 목표치에 대한 허용한계를 결정하는 것이었다. 본 논문에서는 공급자가 생산하는 품목의 품질특성치가 정규분포를 따르는 경우에 대해서, 공급자간의 품질특성 목표치가 동일한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해서 그 비용함수의 개발하였고 그 비용함수를 바탕으로 하여 품질수준의 허용한계를 찾을 수

있었다. 본 논문에서의 접근방식과 유사하게 공급되는 두 부품의 품질특성치 중 큰 값에 의해 제품의 품질수준이 결정되는 문제에 대해서도 해결될 수 있다. 또한, 공급자에 의해 제공되는 것이 부품 등의 물리적인 것 뿐만 아니라 공급자의 납기시점관리등에도 적용이 가능하리라 보인다.

추후의 연구과제로는 다수의 공급자로부터 부품을 공급을 받는 경우에 대한 연구와 다단계 사슬상에서의 공급자의 품질수준의 결정에 관한 연구가 확장이 가능하리라 보여진다. 본 연구는 이러한 연구에 있어서 시발점이 될 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

[1] 권혁무, 김광재, "짝이 되는 두 부품의 경제적 선택조립절차", 한국경영과학회지, Vol. 24, No. 1, 1999, pp.39-48, 1999.

[2] 이문찬, "공정평균의 목표치가 주어진 경우 규격한계의 경제적선정, 대한산업공학회지", Vol. 15, No. 2, pp57-64, 1989.

[3] 이민구(2000), "2개의 상관변수를 이용한 생산공정의 최적공정평균 및 검사 기준값의 결정", 품질경영학회지, 28권, 3호, pp. 155-164.

[4] 이민구, 최용선(2000), "생산공정의 최적공정평균 및 검사기준값의 결정기법 연구", 품질경영학회지, 28권, 2호, pp.1-16

[5] 홍성훈, 최성일, 임훈, 반재석(2000), "이차 손실함수 하에서 최적 공정평균 및 규격하한", 품질경영학회지, 28권, 4호 pp. 194-203

[6] Dornier, P.P., R. Ernst, M. Fender, P. Kouvelis, Global Operations and Logistics, John Wiley & Sons, 1998.

[7] Golhan, D.Y., "Determination of the Best Mean Contents for a Canning Problem", Journal of Quality Technology, Vol.19, No.2, pp.82-84, 1987.

[8] Hong, S.H., Elsayed, E.A. and Lee, M.K. (1999), "Optimum Mean Value and Screening Limits for Production Processes with Multiclass Screening,", International Journal of Production Research, Vol. 37, pp. 155-169

[9] Kapur, K., B.R. Cho(1996), "Economic Design of the Specification Region for Multiple Quality Characteristics, IIE Transactions, Vol. 28, pp. 237-248

[10] Meade, L., J. Sarkis(1988), "Strategic Analysis of Logistics and Supply Chain Management Using the Analytical Network Process", Transportation Research-E, Vol. 34, No.3, pp.201-215

[11] Tang, K.,"Economic design of One-Sided Screening Procedure Using a Correlated Variable", Technometrics, Vol. 29, No. 4, pp477-484, 1987.

[12] Tang, K.,"Economic design of product specifications for a complete inspection plan", International Journal of production Research, Vol. 26, No. 2, pp203-217, 1988.

부록: 비용함수의 단적분화

두 부품의 품질특성치가 각각 정규분포 $N(\mu,\sigma_1^2)$과 $N(\mu,\sigma_2^2)$를 따를 경우 비용함수 식 (1)를 본문에서 유도하였는데 그 함수은 중적분을 포함한다. 중적분이 포함된 비용함수를 정규분포의 1차 모멘트 함수, 2차 모멘트 함수를 이용하여 단적분만으로 구성된 비용함수로 전환할 수 있다.

단, 여기서는 부품1의 분산이 부품2의 분산보다 작고($\sigma_1^2 < \sigma_2^2$), k=1이라 가정한다. $\phi(x)$는 표준정규 확률밀도함수(pdf)를 나타내고 $\Phi(x)$는 표준정규 누적밀도함수(cdf)를 나타낸다. 그러면 식 (1)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

이와 같이 본 논문에서 제시되는 다른 비용함수에 대해서도 중적분의 형태에서 단적분만으로 구성되는 비용함수로 전환할 수 있다.

$$TC(e_1,e_2)=\sum_{i=1}^{2}2C_i[1-\Phi(\frac{e_i}{\sigma_i})]+\sum_{i=1}^{2}I_i(e_i)$$

$$+\frac{1}{\prod_{i=1}^{2}\{2\Phi(\frac{e_i}{\sigma_i})-1\}}\left[\int_{t_1-e_1}^{t_1+e_1}\frac{x_1-\mu}{\sigma_2}\phi(\frac{x_1-\mu}{\sigma_2})f_1(x_1)dx_1\right.$$

$$+2T\sigma_2\int_{t_1-e_1}^{t_1+e_1}\phi(\frac{x_1-\mu}{\sigma_2})f_1(x_1)dx_1+(1-2T\mu+T^2)\int_{t_1-e_1}^{t_1+e_1}\phi(\frac{x_1-\mu}{\sigma_2})f_1(x_1)dx_1$$

$$\left.+\left\{(\frac{e_2}{\sigma_2}-2T\sigma_2)\phi(-\frac{e_2}{\sigma_2})-(1-2T\mu+T^2)\Phi(-\frac{e_2}{\sigma_2})\right\}(2\Phi(\frac{e_1}{\sigma_1})-1)\right]$$

$$+\frac{1}{\prod_{i=1}^{2}\{2\Phi(\frac{e_i}{\sigma_i})-1\}}\left[\Phi(\frac{e_2}{\sigma_2})\int_{t_1-e_1}^{t_1+e_1}(x_1-T)^2f_1(x_1)dx_1-\int_{t_1-e_1}^{t_1+e_1}\Phi(\frac{x_1-\mu}{\sigma_2})(x_1-T)^2f_1(x_1)dx_1\right]$$