

검사정밀도를 고려한 공정능력지수의 결정

송서일 · 조영찬

동아대학교 산업시스템공학과

Determination of Process Capability Index considering Inspection Precision

Suh-Il Song · Young-Chan Cho

Dept. of Industrial & Systems Engineering, Dong-A University

Abstract

As the rapid growth of industrial society, many enterprises are inclined to ppm management from the traditional 3σ management method. Therefore it is need to extend process capability index for guarantee of quality assurance level to ppm unit. Thus, in this paper, using the probability of standard normal distribution from 3σ to 6σ , which was developed by Song(1997), the capability index which is proposed considers the numbers of inspection facility and quality assurance level. Also, quality assurance level is determined by considering the precision of inspection when one and two sided specification limits are given for the probability which is out of the specification limit.

1. 서론

최근 대부분의 기업들은 기업 경쟁력을 향상시키기 위하여 끊임없이 노력하고 있으며, 많은 시간과 투자를 아끼지 않고 있다. 이러한 상황에서 가장 중요시되는 요소 중의 하나가 품질이다.

따라서, 기업은 고품질의 제품을 생산하고 소비자의 요구를 만족시키기 위해 기존의 부적합품관리인 3σ 관리에서 ppm단위로 전환하고 품질보증수준을 확보하기 위해

서는 철저한 공정의 해석 및 관리가 요구되고 있다. 이를 해결하기 위한 여러 가지 통계적인 기법중의 하나로 공정능력을 평가할 수 있는 공정능력지수가 이용되고 있다.

공정능력지수에 관한 연구로 송서일과 황의철(1985)은 공정능력의 저해요인과 영향에 대하여 업종별로 실증분석을 하였으며, 木暮正夫(1984)는 공정능력의 평가방법으로서 비용함수를 도출하고 최소비용이 되는 품질특성분포의 평균치를 구하여 관리의 목표를 설정하고 있으나 공정능력의 평가로서는 미흡한 점이 있고, Hunter와 Kartha(1977), Carlsson(1984)는 가장 수익성이 큰 제조공정의 목표치를 결정하는 방법을 제시하고 있다.

이러한 공정능력은 Seder와 Cowan(1953)으로부터 Kotz(1992)등에 이르기까지 수많은 학자들에 의해 나름대로의 정의가 내려졌으나, 이들 각자의 견해는 공정능력의 전제조건과 그 범위에서 약간씩의 의견이 있을 따름이지 전체적인 의미에는 큰 변화가 없으며, 공정능력의 규명에 치우치고 있을 뿐, 용도면에서도 별다른 언급이 없다.

이와 같이 공정능력지수는 정해진 규격과 현실공정의 운영결과로부터 구해진 산포의 크기와 비에 의해 계산되어지므로 부적합품 판정에 부수되는 검사시설의 정밀도나 오류 등은 고려되지 않는다. 따라서 오늘날과 같이 자동화된 검사시설하에서 ppm 단위의 고품질수준을 유지하고자 함에 있어 공정능력을 평가할 때에는 이러한 검사정밀도를 고려해 보는 것도 타당할 것이다.

제품을 전수검사할 경우에 기존의 3σ 공정에서의 부적합품의 비율을 ppm단위로 환산하면 2700 ppm에 해당되나, 6σ 능력을 갖는 공정에서는 3.4 ppm이 된다. 여기에 기존의 공정능력지수들이 고려하지 않고 있는 검사설비의 정밀도를 고려하게 되면 ppm 단위 관리환경으로 갈수록 부적합품의 비율이나 공정능력지수값에 더 큰 변화가 오게 될 것이다.

따라서, 본 연구에서는 ppm단위의 품질보증수준을 확보하기 위해 기존의 $\pm 3\sigma$ 에서 $\pm 6\sigma$ 까지 공정능력을 확장시킬 때, 공정능력지수와 품질보증수준과의 관계를 표준정규확률값으로 제시하고, 또한 ppm 단위의 불량률을 관리하기 위해 산업현장에서 검사설비를 도입하고자 할 때, 검사설비의 정밀도를 고려한 검사설비 대수와 공정능력지수를 결정하고자 한다.

2. 품질보증수준에 따른 공정능력지수의 결정

품질을 보증하는 방법으로서 기본적으로 공정능력의 확보에 의하여 보증하는 방법과 검사에 의하여 보증하는 방법이 있다. 이 중 어느 방법을 선택할 것인지의 의사결정은 경제성과 장래의 전망 등과 같은 품질관리의 정책에 의하여 결정된다.

검사에 의한 품질보증, 특히 고품질을 보증해야 하는 경우에는 거의 전수검사가 필요하므로, 파괴검사를 요하는 품질특성은 이 방법에 의한 품질보증이 불가능하게 된다.

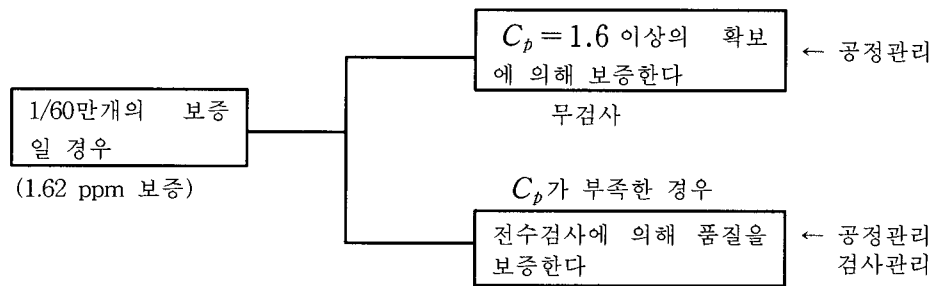
< 표 1 > 공정능력지수와 품질보증수준

K_{ϵ}	C_P	규격한계 밖에 벗어날 확률(ϵ)	품질보증수준	
			한쪽규격한계(ppm)	양쪽규격한계(ppm)
0.00	.00	.500000000000	500000	1000000
0.10	.03	.460172228931	460000	920000
0.20	.07	.42074031343	420000	840000
0.30	.10	.38208848119	380000	760000
0.40	.13	.34457812646	340000	690000
0.50	.17	.30853745394	310000	620000
0.60	.20	.27425311276	270000	550000
0.70	.23	.24196374114	240000	480000
0.80	.27	.2118552257	210000	420000
0.90	.30	.18406024950	180000	370000
1.00	.33	.15865531922	160000	320000
1.10	.37	.13566605288	140000	270000
1.20	.40	.11506959338	120000	230000
1.30	.43	.09680036404	97000	194000
1.40	.47	.08075653070	81000	162000
1.50	.50	.06680710001	67000	134000
1.60	.53	.05479924337	55000	110000
1.70	.57	.04456547810	45000	89000
1.80	.60	.03593039307	36000	72000
1.90	.63	.02871667444	29000	57000
2.00	.67	.02275026173	23000	46000
2.10	.70	.01786453861	18000	36000
2.20	.73	.01390353109	14000	28000
2.30	.77	.01072414442	11000	21000
2.40	.80	.00819751626	8200	16400
2.50	.83	.00620959621	6200	12400
2.60	.87	.00466108164	4700	9300
2.70	.90	.00346684700	3500	6900
2.80	.93	.00255500148	2600	5100
2.90	.97	.00186569938	1900	3700
3.00	1.00	.00134981253	1350	2700
3.10	1.03	.00096755487	970	1940
3.20	1.07	.00068713042	690	1370
3.30	1.10	.00048345647	480	970
3.40	1.13	.00033699676	340	670
3.50	1.17	.00023272457	230	470
3.60	1.20	.00015922366	160	320
3.70	1.23	.00010792584	110	220
3.80	1.27	.00007247737	72.47742328	144.95484657
3.90	1.30	.00004822237	48.22228545	96.44503597
4.00	1.33	.00003178903	31.78902261	63.57804523
4.10	1.37	.00002076374	20.76373157	41.52754938
4.20	1.40	.00001343863	13.43863850	26.87724089
4.30	1.43	.00000861886	8.61885443	17.23769401
4.40	1.47	.00000547797	5.47796625	10.95593850
4.50	1.50	.00000345062	3.45062467	6.90124933
4.60	1.53	.00000215438	2.15437938	4.30875876
4.70	1.57	.00000133332	1.33332160	2.66664320
4.80	1.60	.00000081805	0.81805346	1.63610665
4.90	1.63	.00000049764	0.49764019	0.99528038
5.00	1.67	.00000030019	0.30018672	0.60037343
5.10	1.70	.00000017958	0.17958474	0.35916947
5.20	1.73	.00000010656	0.10656482	0.21312964
5.30	1.77	.00000006273	0.06273246	0.12546496
5.40	1.80	.00000003664	0.03664209	0.07328418
5.50	1.83	.00000002124	0.02123993	0.04247985
5.60	1.87	.00000001222	0.01222057	0.02444114
5.70	1.90	.00000000698	0.00698040	0.01396079
5.80	1.93	.00000000396	0.00395919	0.00791836
5.90	1.97	.00000000223	0.00223028	0.00446056
6.00	2.00	.00000000125	0.00124806	0.00249612

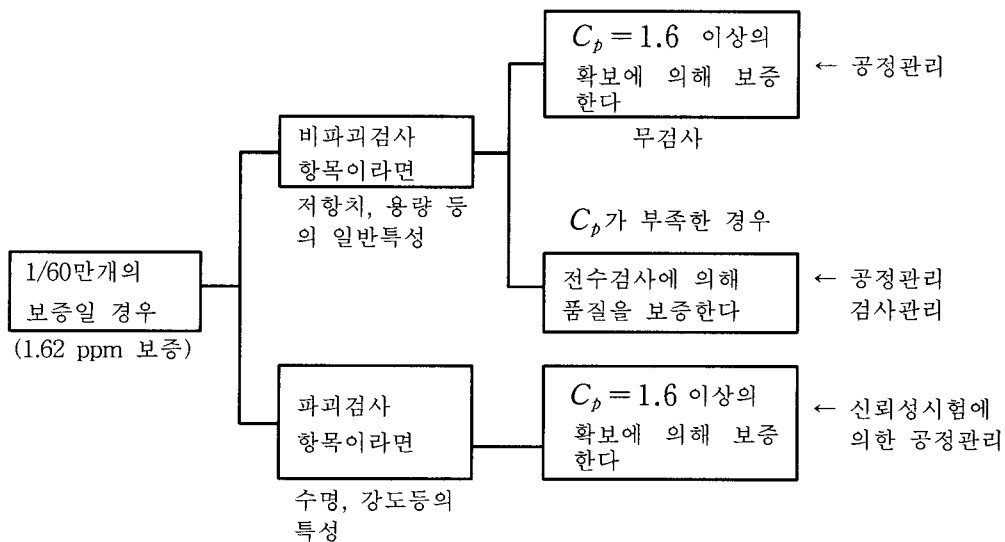
따라서 본 연구에서는 공정능력의 확보에 의해 보증하는 방법으로 <표 1>은

Abramowitz와 Stegun(1972), Hastings(1955)가 제시한 비례적 정규분포 근사식에 의해 송서일(1997)이 개발한 공정능력지수와 품질보증수준의 관계를 표준정규분포의 확률 ($|\epsilon(x)| < 1.5 \times 10^{-7}$) [6, 8, 11]로 계산한 결과를 정리한 것으로, K_e 의 값은 정규분포에서의 한쪽 확률의 값이 ϵ 일 때의 표준화 계수이며, 그때에 보증할 수 있는 공정능력지수 (C_p)값이 나타나 있다.

예를 들어 양측규격이 주어졌을 때 60만개의 제품 중 1개 정도의 불량률로 품질을 보증하고자 하는 경우에는 <표 1>로부터 적어도 공정능력은 1.6정도가 확보되어야함을 알 수 있다. 이것을 공정능력의 확보에 의하여 보증하느냐와 검사에 의하여 보증하느냐가 문제인 바 <그림 1>은 이 관계를 설명하고 있다. 또 <그림 2>는 검사의 특성으로부터 전개한 것으로서 파괴검사의 경우는 검사에 의한 품질의 보증이 불가함을 의미하고 있다.



< 그림 1 > 공정능력과 검사에 의한 품질보증



< 그림 2 > 검사특성에 의한 품질보증방법

3. 검사정밀도를 고려한 공정능력지수의 결정

3.1 검사의 정밀도

3.1.1 검사정밀도

검사의 정밀도란 검사를 행함에 있어서 불량품을 양품으로, 또는 양품을 불량품으로 판단할 오류의 확률을 말한다. 검사의 정밀도에 영향을 미치는 요구로서는 사람, 설비, 방법 외에도 측정의 정밀도, 치우침, 신뢰성 등을 들 수 있다. 양품을 불량품으로 판단하는 경우, 사용자측에는 전혀 해가 없으므로 생산자 위험은 2차적인 문제가 되고, 여기서는 사용자 위험, 즉 불량품을 양품으로 판단하는 경우만 문제가 된다.

3.1.2 검사정밀도의 성질

검사의 정밀도를 독립시켜 생각하면 식 (1)과 같은 관계가 성립된다[石原勝吉 외., 1971].

$$\begin{aligned} \text{품질수준} &= \{ \text{품질수준} / (1 - \text{품질수준}) \} \times \text{검사정밀도} \\ &= \text{품질수준} \times \text{검사정밀도} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서

$$\text{검사정밀도} = \text{보증수준} / \text{품질수준} \quad (2)$$

으로도 쓸 수 있으나, 엄밀히 말하면 식 (2)는

$$\text{검사정밀도} = \text{보증수준} / \{ \text{불량률} / (100 - \text{불량률}) \} \quad (3)$$

으로 되어야 한다.

예를 들어 양측규격이 주어져 있고 공정능력지수가 1.33인 공정에서 보증수준이 80만개당 1개의 불량인 경우, 전수검사에 의한 품질의 보증에서 검사의 정밀도를 구해보면, <표 1>에 의해 이 때의 불량률은 0.0064%이고, 품질보증수준은 63.578ppm이 되므로

$$\begin{aligned} \text{검사정밀도} &= \text{보증수준} / \text{품질수준} = (1/80\text{만}) / (63.578\text{ppm}) \\ &= 1/50 \end{aligned}$$

이 된다.

3.2 공정능력지수의 결정

공정능력을 확보하기 위해 검사정밀도가 1/30, 1/50, 1/100인 경우의 공정능력지수와 검사설비대수를 결정한 결과는 <표 2>와 같다.

< 표 2 > 공정능력지수와 품질보증수준에 의한 검사설비대수

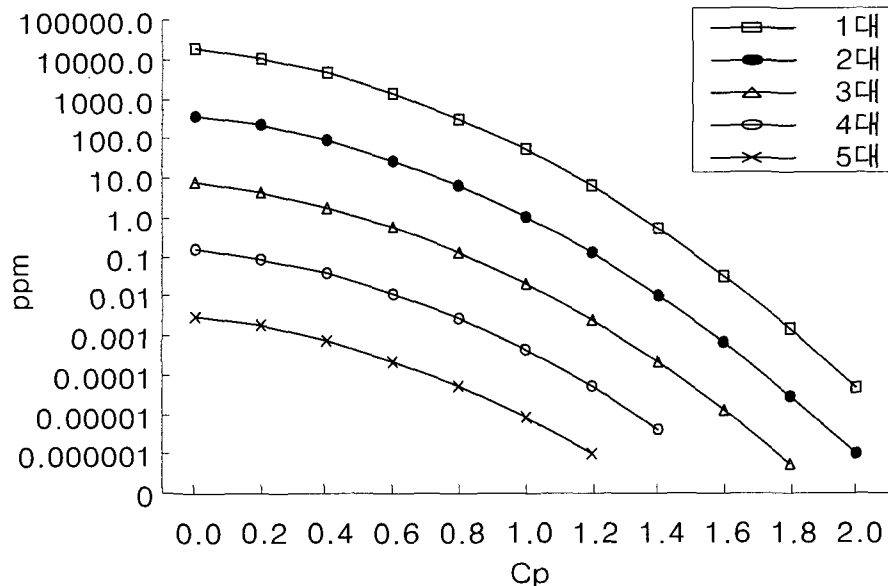
C_P	불량률 (%)	검사설비대수에 따른 품질보증수준(ppm)					검사정밀도
		1	2	3	4	5	
0.33	31.73	10666.666667	355.555556	11.851852	0.395062	0.013169	1/30
		6400.000000	128.000000	2.560000	0.051200	0.001024	1/50
		3200.000000	32.000000	0.320000	0.003200	0.000032	1/100
0.67	4.55	1533.333333	51.111111	1.703404	0.056790	0.00183	1/30
		920.000000	18.400000	0.368000	0.007360	0.000147	1/50
		460.000000	4.600000	0.046000	0.000460	0.000005	1/100
1.00	0.27	90.000000	3.000000	0.100000	0.003333	0.000111	1/30
		54.000000	1.080000	0.021600	0.000432	0.000009	1/50
		27.000000	0.270000	0.002700	0.000027		1/100
1.33	0.0064	2.119228	0.070641	0.002355	0.000078	0.000003	1/30
		1.271537	0.025431	0.000509	0.000010		1/50
		0.635768	0.006358	0.000064	0.000001		1/100
1.67	0.00006	0.20012	0.000667	0.000022	0.000001		1/30
		0.012007	0.000240	0.000005			1/50
		0.006004	0.000060	0.000001			1/100
1.70	0.00003592	0.011972	0.000399	0.000013			1/30
		0.007183	0.000144	0.000003			1/50
		0.003592	0.000036				1/100
1.80	0.00000733	0.002443	0.000081	0.000003			1/30
		0.001466	0.000029	0.000001			1/50
		0.0007333	0.000007				1/100
1.90	0.00000140	0.0000465	0.000016	0.000001			1/30
		0.000279	0.000006				1/50
		0.000140	0.000001				1/100
2.00	0.00000025	0.000083	0.000003				1/30
		0.000050	0.000001				1/50
		0.000025					1/100

<표 2>에 대한 계산의 예로, 공정능력지수가 1.33이고, 검사정밀도가 1/30인 검사설비 1대만 도입을 할 경우의 ppm 단위에서의 품질보증 수준은 식 (1)에 의해

$$\begin{aligned} \text{품질보증수준} &= (\text{불량률} * \text{검사정밀도}) / \text{ppm단위} \\ &= (0.000064 * (1/30)) / 0.000001 \\ &\approx 2.1 \end{aligned}$$

과 같이 계산되어지며, 그의 검사정밀도가 1/30, 1/50, 1/100 일 때 각각의 품질보증수준값들도 식 (1)에 의해 계산되어진 것이다.

그리고, 검사정밀도가 1/50 인 경우, 검사설비대수별 공정능력지수와 품질보증수준을 도시하면 <그림 3>과 같다.



< 그림 3 > 검사설비대수별 공정능력지수(C_p)와 품질보증수준(ppm)의 변화

<표 2>로부터 검사정밀도가 1/30인 검사설비 1대를 도입하는 경우, 공정능력지수가 1.33으로 유지된다면 그 공정은 2.119228 ppm으로 품질을 보증할 수 있고, 만일 두 대의 검사설비를 도입한다면 0.070641 ppm으로 품질을 보증할 수 있으며, 검사정밀도가 1/50인 검사설비 1대를 도입하는 경우는 1.271537 ppm으로 품질을 보증할 수 있고, 두 대의 검사설비에 의해서는 0.025431 ppm으로 품질이 보증되고, 1/100인 경우는 0.635768 ppm과 0.006358 ppm으로 품질을 보증할 수 있다.

그리고 <그림 3>으로부터 검사정밀도가 1/50인 검사설비를 도입하고자 하는데 품질보증수준을 100ppm으로 유지하고자 한다면, <그림 3>에서 검사설비를 1대와 2대를 도입하여 100 ppm의 품질보증수준을 맞출 수 있으며, 이 때의 공정능력지수는 검사설비를 1대 도입시 $C_p = 0.93$, 2대 도입시 $C_p = 0.4$ 를 확보하면 된다.

따라서 품질수준을 보증하기 위해 검사설비의 정밀도를 고려하여 품질보증수준에 따른 검사설비대수를 결정할 수 있고, 이 때의 공정능력지수를 찾을 수 있게 된다.

4. 결론

자동생산 및 자동검사하에서 모든 기업은 종래의 $\mu \pm 3\sigma$ 관리기준인 10000개중에 27개의 불량률을 허용하는 관리기법에서 이제는 ppm관리로 향하고 있다. 그러므로, 공정의 오차분포가 정규분포라는 가정아래서 기존의 표준정규분포의 확률값만으로는 규격한계를 벗어나는 불량률의 추정, ppm단위의 불량률 추정, 관리도의 검출력, 공정 능력의 평가, 기타 확률과 통계의 해석 및 관리를 하는데 다소의 문제점이 발생하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 상기와 같은 문제점을 해결할 수 있으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 확장된 표준정규분포 확률값 즉, 6σ 규격한계까지의 표준정규분포 확률값을 제시하였으며, 이 결과로써 한쪽규격과 양쪽규격이 주어졌을 때, 품질보증수준을 결정하였다.

둘째, 검사의 정밀도를 고려하여 품질보증수준에 의한 검사설비대수를 결정하고, 이 때 공정능력지수와 불량률을 계산하였다.

앞으로는 비정규분포인 경우에 대한 공정능력지수에 관한 연구와 실제 업종별·공정별에 따른 공정능력지수의 공정능력 등급화 방법에 관해서도 더 연구가 되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 송서일·황의철(1985), “공정능력의 저해요인분석,” 「대한산업공학회」, Vol. 11, No. 2, pp. 132-140.
- [2] 송서일(1997), “표준정규분포의 확률계산 프로그램 개발,” 「품질경영학회지」, Vol. 25, No. 1, pp. 182-192.
- [3] 木暮正夫(1984), “工程能力の理論とその應用,” 「日科技連」, pp. 9-43, pp. 60-98, pp. 103-211.

- [4] 白根禮吉(1966), “品質設計と工程能力,” 品質管理, Vol. 17, No. 7, p. 775.
- [5] 石原勝吉・下岡忠芳・永正澄男(1971), “高品質保證のための工程品質能力研究,” 「品質管理」, Vol. 22, No. 11(増), pp. 66-71.
- [6] Abramowitz, M., and Stegun, A.(1972), “Handbook of Mathematical Functions,” Washington, D. C. : National Bureau of Standards.
- [7] Carlsson. O.(1984), “Determining the Most Profitable Process Level for a Production Process under Different Sales Conditions,” *Journal of Quality Technology*, Vol. 16, No. 1, pp. 44-49.
- [8] Hastings, C.(1955), “Approximations for Digital Computers,” Princeton, N. J.: Princeton University Press.
- [9] Hunter, W. E. and Kartha, C. P.(1977), “Determining the Most Profitable Target Value for a Production Process,” *Journal of Quality Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 176-180.
- [10] Kotz, S., Pearn, W. L. and Johnson, N.(1992), “Distributional and Inferential Properties of Process Capability Indices,” *Journal of Quality Technology*, Vol. 24, pp. 216-231.
- [11] Patel, J. K., and Read, C. B.(1982), “Handbook of The Normal Distribution,” Marcel Dekker, INC., pp 43-71
- [12] Seder, L. A and Cowan, D.(1953), “The Span Plan-A New Method of Process Capability Analysis,” *Quality Control Conference Paper*, 7th Annual Convention, ASQC, pp. 567-569.