시그마 수준과 계산 방법에 대한 고찰

박준오[*] · 박성현[**]
[*]삼성생명 W/M 기획 파트 · [**]서울대학교 통계학과

A Study on Sigma Level and Its Calculation

Jun-Oh Park[*] · Sung-Hyun Park[**]
[*]Wealth Management Planning Part, Samsung Life Insurance Co., LTD
[**]Dept. of Statistics, Seoul National University

Key Words : One-tail Approximation, Sigma Level, Six Sigma, Two-tail Approximation

Abstract

It is very important to understand and interpret the meaning of the sigma level correctly through the Six Sigma project. Especially, the confusion over the relation between sigma level from the short-term point of view and defective proportion or DPMO from the long-term point of view may make a big gap between expected results of the Six Sigma project and real results in the field. The one-tail approximation is commonly used to calculate the sigma level both in most literatures introducing Six Sigma and actual cases of the Six Sigma project. Since the one-tail approximation undervalues the sigma level of the fields such as business and service of which the sigma level is generally low, however, there can be misleading results of the explanation of the sigma level and inappropriate project evaluation. This paper describes the relation between sigma level and defective proportion in detail and clears the difference between the one-tail and two-tail approximation.

1. 서 론

1980년대 중반 모토롤라에서 처음으로 시작되었던 식스 시그마 전략이 우리나라에 도입된 지도 6년 여가 지났다. 우리나라의 경우 1997년부터 삼성 SDI(구 삼성전관)와 LG 전자 등의 제조업체에서 선도적으로 식스 시그마를 도입하였고 지금까지 프로세스의 품질 향상에 상당한 성과를 거두었다고 평가되고 있으며 현재에도 더욱 활발하게 식스 시그마를 추진하고 있다. 이러한 성과를 토대로 최근에는 식스 시그마의 적용 분야를 단순히 제조 부문의 프로세스에 국한하지 않고 R&D 분야(DFSS: Design

For Six Sigma) 또는 LG증권, 시티뱅크(서울 Branch), 에버랜드 등과 같은 서비스 업체의 사무·간접 부문으로 확대되고 있다.

식스 시그마에서는 시그마 수준이나 백만 기회당 불량수(DPMO: Defective Per Million Opportunities)를 사용하여 프로세스의 품질을 평가한다. 식스 시그마를 소개하는 국내외 서적을 살펴보면 일반적으로 보통 수준의 제조업체의 시그마 수준은 대략 4시그마 수준 정도라고 한다. 국내 제조업체의 시그마 수준에 대하여 조사된 통계자료는 없으나 국내 소비자들의 인식이 점차 고품질을 적극적으로 요구하는 것으로 나타나고 있으며 또한 인터넷 등의 발달과 더불어 더욱더 공동화 추세가 진행중인 세계 경제 시장에 대응하기 위해서 그 동안 국내의 많은 제조업체가 품질 향상을 위해 적극적으로 노력하여 왔다는 것을 고려할 때, 국내 제조업체의 평균 시그마 수준도 4 시그마 수준과는 크게 다르지 않을 것으로 생각된다. 그리고, 그 동안 식스 시그마를 통해 프로세스의 개선을 추진해왔거나 현재 추진중인 제조 업체의 평균 시그마 수준은 적어도 4 시그마 수준 이상으로 평가되고 있다. 한편, 보험, 증권, 은행, 카드 등과 같은 금융 서비스 분야와 재무, 복지 등을 담당하는 부서와 같은 사무·간접 부문에 대해서는 평균적인 시그마 수준이 어느 정도인지 보고된 바는 없으나 일반적인 제조 부문 프로세스의 시그마 수준보다는 상당히 낮은 1 시그마 수준이나 2 시그마 수준의 프로세스 사례를 많이 접할 수 있으므로 평균 수준의 사무·간접 부문 프로세스의 시그마 수준은 4 시그마 수준보다는 상당히 낮을 것으로 생각된다.

현재 가장 보편적으로 사용되는 시그마 수준 계산법은 모토롤라에서 사용한 방법으로 시그마 수준을 계산하는 과정을 간단히 요약하면 다음과 같다. 장기적(Long-Term) 관점에서 불량률이나 DPMO를 측정한 후 표준정규 분포에서 불량률에 대응하는 분위수인 장기 시그마 수준을 구하고 장기 시그마 수준에 1.5를 더하여 시그마 수준을 구한다. 시그마 수준을 구하는 과정에서 장기 시그마 수준에 1.5를 더하는 이유는 장기적 변동을 단기적 변동으로 보정하기 위함인데 1.5는 장기 공정 평균에 1.5σ 만큼의 이동(shift)을 고려하는 것에 대응하는 값으로, Harry(1994)는 Evans(1975)의 글을 인용하여 시그마 수준을 계산할 때 장기 공정 평균에 보정 상수 1.5σ 만큼의 이동이 필요한 근거를 제시하였다. Bothe(2002)는 $\overline{X}$ 관리도에서 부분군의 크기에 따라 공정 이상을 감지하는 확률이 50%가 되는 공정 평균의 이동폭을 구하여 1.5σ 만큼의 이동이 필요한 근거를 제시하였다. Tadikamalla(1994)는 공정 평균의 이동이나 흔들림(drift)이 장기적 관점에서 측정하는 불량률에 미치는 영향을 고려하여 시그마 수준의 의미를 소개하였다. 한편, Lucas(2000)는 모토롤라에서 사용한 시그마 수준 계산 방법은 한쪽 꼬리 근사법(One-tail approximation)을 이용하기 때문에 시스마 수준 값에 오류가 있음을 지적하였고 한쪽 꼬리 근사법의 대안으로 양쪽 꼬리 근사법(Two-tail approximation)을 이용한 시그마 수준 계산법을 제시하였다.

식스 시그마 프로젝트를 추진한 사례를 살펴보면 블랙 벨트를 포함하여 상당수의

프로젝트 담당자가 시그마 수준의 의미를 잘못 해석하거나 프로젝트 담당자들 사이에 동일한 프로세스에 대한 시그마 수준 값이 서로 다르게 계산되는 등의 사례를 볼 수 있다. 또한, 최근까지 식스 시그마를 소개하는 대부분의 서적이나 프로젝트 추진 사례를 살펴보면 한쪽 꼬리 근사법만을 이용하여 시그마 수준을 계산하고 있음을 알 수 있다. 그러나, 한쪽 꼬리 근사법을 이용하면 시그마 수준이 음수인 프로세스가 존재할 수 있는 오류가 발생하며 특히, 사무·간접 분야 처럼 시그마 수준이 낮은 프로세스의 품질은 실제보다 저평가되기 때문에 프로젝트를 수행한 후 프로세스 개선에 대한 예상 기대효과가 실제보다 과대평가 될 가능성이 크다. 이 논문에서는 장기적 관점에서의 불량률과 시그마 수준과의 연관 관계를 살펴보고 시그마 수준의 의미를 설명하였으며 한쪽 꼬리 근사법과 양쪽 꼬리 근사법을 이용한 시그마 수준 계산 방법의 차이점과 시그마 수준별 DPMO값을 비교하였다.

2. 시그마 수준의 정의

식스 시그마에서 사용하는 "시그마 수준"은 단기 시그마 수준을 의미하는 것으로 일반적으로 "단기"라는 말을 생략하고 단순히 "시그마 수준"이라고 하며 장기적 관점에서의 장기 시그마 수준은 단기 시그마 수준과 구분하기 위해 "장기"라는 말을 붙여서 사용한다. 단기 시그마 수준과 장기 시그마 수준을 각각 $z_{st.}$과 $z_{lt.}$로 구분하여 표현하기도 하는데, 여기서 "st." 는 단기(Short-Term)를 의미하며 "lt." 는 장기(Long-Term)를 의미한다. 식스 시그마에서는 프로세스의 품질을 평가하고 해석하는데 단기 시그마 수준을 사용하며 장기 시그마 수준은 단기 시그마 수준을 구하기 위한 계산 과정에서만 사용된다. 이 논문에서도 "장기"라는 말을 붙이지 않고 사용한 시그마 수준은 "단기 시그마 수준"을 의미한다.

시그마 수준은 단기적 관점에서 "공정 평균으로부터 규격까지의 거리가 평균적으로 공정 표준편차의 몇 배인지를 나타내는 수치"이다. 여기서, "평균적으로"란 용어가 시그마 수준의 정의에 포함되어 있는 것에 주의하여야 한다. 먼저 <그림 1>과 <그림 2>와 같이 몇 가지 경우를 고려하여 시그마 수준의 정의를 구체적으로 살펴보자. 단, <그림 1>과 <그림 2>에서 고려하는 경우는 모두 단기적 관점에서 공정 분포를 얻은 것으로 가정한다. <그림 1>은 공정 평균이 규격의 중앙에 위치하고 있는 경우로 <그림 1> (a)는 공정 평균으로부터 규격까지의 거리가 6σ 이고 공정 표준편차는 σ 이므로 시그마 수준의 정의에 따라 6 시그마 수준을 나타내고 있으며 마찬가지 방식으로 계산하면 <그림 1> (b)는 3 시그마 수준을 나타내고 있음을 알 수 있다. 다음으로 <그림 2>와 같이 공정 평균이 규격의 중앙에 위치하지 않은 경우에 시그마 수준을 구하는 방법을 살펴보자. 이 때는 다음과 같은 약간의 계산 과정이 필요하다. 품질 특성치 또는 CTQ (Critical to Quality)를 X로 표현하여 <그림 2> (a)의 불량률을 구하면

$$P(X > USL \text{ or } X < LSL)$$
$$= P(X > 3\sigma) + P(X < -3\sigma)$$

$$= P[(X-\sigma)/\sigma > (3\sigma-\sigma)/\sigma]$$
$$+ P[(X-\sigma)/\sigma < (-3\sigma-\sigma)/\sigma]$$
$$= [1-\Phi(2)] + \Phi(-4) \simeq 0.0228$$

이다. 여기서, $\Phi(z)$는 표준정규분포에서 $-\infty$에서 z까지의 누적 확률을 계산한 값이다. 공정 평균이 규격의 중앙에 위치하지 않으므로 공정 평균을 개념적으로 규격의 중앙에 있다고 가정하고 위에서 얻은 불량률과 동일한 값을 갖는 규격의 폭을 구하면

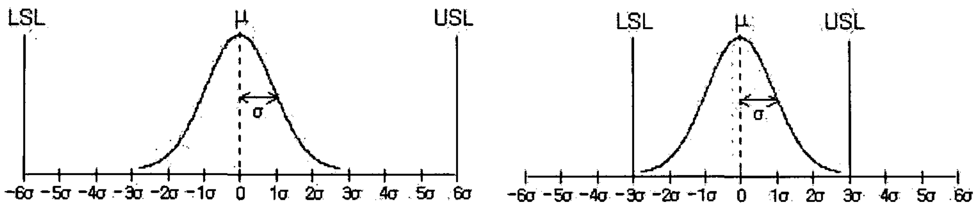
$$P(X-\sigma < -k\sigma) + P(X-\sigma > k\sigma) \simeq 0.0228$$

에서 $k \simeq 2.28$이다. 따라서, <그림 2> (a) 분포의 시그마 수준은 2.28이다. 마찬가지 방법으로 계산하면 <그림 2> (b)의 경우는 불량률이 0.16이므로 시그마 수준은 대략 1.41이 된다. 즉, <그림 2>의 경우와 같이 공정 평균이 규격의 중앙에 있지 않은 경우는 공정 평균을 개념적으로 규격의 중앙이 되도록 하고 원래 분포에서의 불량률과 동일한 값을 갖는 규격의 폭을 구하여 시그마 수준을 계산한다. 이것이 실제 규격의 값을 변경한다는 의미는 아님에 주의하자. 만일 불량률이 100%일 경우에는 <그림 1>과 <그림 2>에서 시그마 수준을 구한 방법을 적용하면 공정 평균이 규격의 중앙에 위치하고 있든지 그렇지 않은지에 상관없이 시그마 수준이 0이 됨을 알 수 있으며, 불량률이 100%를 넘을 수는 없으므로 시그마 수준은 음수가 될 수 없다. 따라서, 시그마 수준의 범위는 0이상이며 시그마 수준의 최소값은 0임을 알 수 있다.

한편, 시그마 수준을 설명하는 대부분의 문헌에는 <그림 2>와 같이 공정 평균이 규격의 중앙에 위치하지 않은 경우는 소개되어 있지 않다. 이것은 앞에서 시그마 수준을 설명할 때 언급한 "평균적으로" 라는 용어와 관련이 있다. 식스 시그마에서는 프로세스의 품질을 평가하기 위해 시그마 수준을 사용하며 특정 부분군의 분포처럼 프로세스를 진행하면서 얻게 되는 단기적 관점에서의 공정 분포 각각에 대해서는 시그마 수준을 계산하지 않는다. 즉, 장기적 관점에서 보면 공정 평균의 이동이나 흔들림이 프로세스에 영향을 주기 때문에 프로세스에 미친 이들의 영향을 평균적으로 고려하여 프로세스의 품질을 평가한다. 따라서, <그림 2>의 (a)나 (b)에서 위에서 살펴본 것과 같이 시그마 수준을 계산해야 하는 경우는 프로세스 내에 단기적 관점의 공정 분포가 하나만 존재하는 경우 이외에는 없다. 일반적으로 시그마 수준을 구하려는 프로세스에는 여러 개의 단기적 관점에서의 공정 분포가 포함되어 있으며 장기적 관점에서 불량률이나 DPMO를 측정하여 시그마 수준을 계산하므로 <그림 1>과 같이 개념적으로 공정 평균을 규격의 중앙에 위치시킨 상태에서 시그마 수준을 계산한다.

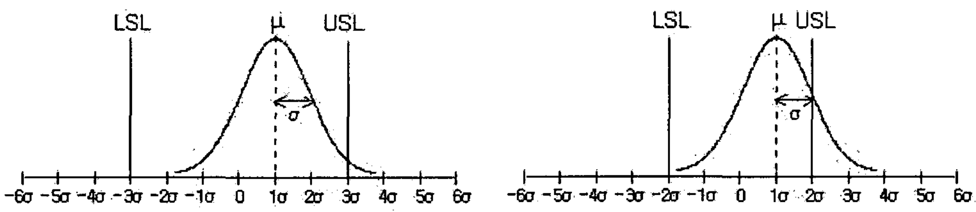
3. 시그마 수준의 계산

앞의 서론에서 평균 수준 제조업체의 시그마 수준이 대략 4 시그마 수준이라고 언급한 바 있다. 그렇다면 시그마 수준의 정의와 비교하여 볼 때, 평균 수준 제조업체의 불량률이 63.4 PPM 정도의 매우 높은 수준의 프로세스를 유지한다는 의미인가? 이 물음에 답하기 위해 먼저 시그마 수준과 불량률간의 연관 관계를 검토하자. 그리고 시그마 수준을 계산할 때 사용되는 한쪽 꼬리 근사법과 양쪽 꼬리 근사법에 대하여 살펴보자.



(a) 6시그마 수준 (b) 3시그마 수준

<그림 1> 공정 평균이 규격의 중앙에 있는 경우 시그마 수준의 정의



(a) 2.28 시그마 수준 (b) 1.41 시그마 수준

<그림 2> 공정 평균이 규격의 중앙에 있지 않은 경우의 시그마 수준

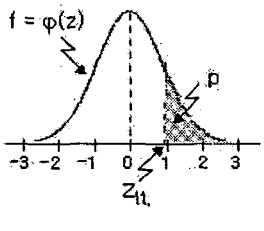
3.1 시그마 수준과 불량률

시그마 수준의 의미를 적절히 해석하기 위해서는 시그마 수준과 불량률과의 연관 관계에 대한 이해가 선행되어야 한다. 식스 시그마에서 시그마 수준은 프로세스의 평균적인 단기적 변동을 기준으로 프로세스의 품질 수준을 평가한 값이며 DPMO나 불량률은 장기적인 관점에서 프로세스의 진행경과(Performance)를 측정한 값이다. 일반적으로 장기적 변동은 부분군 내의 변동과 같은 우연 변동뿐만 아니라 부분군간의 변동과 같은 이상 변동을 포함하기 때문에 우연 변동만을 포함하고 있는 단기적 변동에 비하여 변동의 폭이 더 크다. 그러므로, 장기적 관점에서 측정한 DPMO나 불량률을 이용하여 시그마 수준을 계산하기 위해서는 보정 작업이 필요하게 된다. 즉, 장기적 변동이 단기적 변동에 비하여 커진 변동폭을 평균적인 단기적 변동 수준으로 보정하기 위해서 마치 장기적 분포에서의 공정 평균에 일정 크기만큼의 이동이 있었던 것으로 간주하여 시그마 수준을 계산하는 것이다.

보정상수는 프로세스의 특성에 따라 결정되며 일반적으로는 $1.4\sigma \sim 1.6\sigma$ 사이의 보정 상수를 선택하여 사용한다. 가장 대표적으로 사용되는 보정 상수는 모토롤라에서 제시한 1.5σ 이다. 따라서, 보정 상수 1.5σ가 필요한 이유를 "공정 평균을 규격의 중앙에 유지하도록 하는 공정 관리를 실시하는 경우에 이상 변동을 포함하는 장기적 분포에서는 공정 평균이 규격의 중앙에서 1.5σ 만큼 이동한 위치에 존재한다"라고 해석하지 않도록 주의해야 한다.

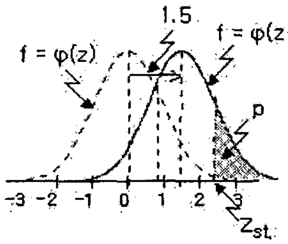
3.2 한쪽 꼬리 근사법

한쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산하는 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 모토롤라에서 제시한 것으로 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 방법이다. 먼저 장기적 관점에서의 불량률이나 DPMO값을 측정하고 표준정규분포에서 해당 불량률을 만족하는 분위수인 장기 시그마 수준($z_{lt.}$)을 구한다. 단기 시그마 수준($z_{st.}$)은 장기 시그마 수준($z_{lt.}$)에 1.5를 더하여 얻는다. 여기서 1.5는 장기적 변동을 평균적인 단기적 변동으로 보정하기 위한 상수이다. 즉, <그림 3>과 같이 장기적 관점에서 측정한 불량률이 p일 때, $1-\Phi(Z\le z_{lt})=p$ 로 부터 장기 시그마 수준($z_{lt.}$)을 구하고 $z_{st.}=z_{lt.}+1.5$에서 시그마 수준($z_{st.}$)을 구한다. <그림 3>에서 $f=\phi(z)$는 표준정규분포의 확률밀도함수이다.



<그림 3> 장기 시그마 수준

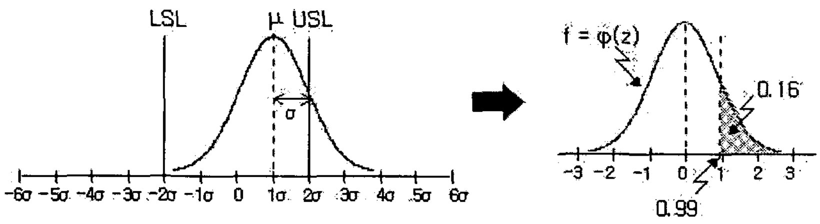
한쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산하는 또 하나의 방법은 장기적 관점에서 불량률이나 DPMO값을 측정한 후 표준정규분포를 1.5만큼 이동시킨 분포에서 측정한 불량률에 해당하는 분위수를 구하는 것이다. 즉, <그림 4>와 같이 장기적 관점에서 측정한 불량률이 p일 때, 시그마 수준($z_{st.}$)은 $1-\Phi(Z\le z_{st.}-1.5)=p$를 만족하는 $z_{st.}$이다.



<그림 4> 한쪽 꼬리 근사법을 이용한 또 다른 시그마 수준 계산 방법

<그림2>의 (b)에서 고려했던 분포가 장기 분포라고 가정하고 한쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산하면 다음과 같다. 불량률이 0.16이므로 첫 번째 시그마 수준 계산 방법을 이용하면 $1-\Phi(Z\le z_{lt.})=0.16$에서 장기 시그마 수준($z_{lt.}$)은 0.99이며 시그마 수준($z_{st.}$)은 $z_{st.}=z_{lt.}+1.5=0.99+1.5=2.49$ 이다. 두 번째 방법으로 시그마 수준을 계산하면 $z_{st.}-1.5=0.99$에서 $z_{st.}=2.49$ 이므로 첫 번째 방법으로 계산한 시그마 수준과 동일한 결과를 얻을 수 있다.

시그마 수준의 정의에서 시그마 수준의 범위는 0이상이며 시그마 수준의 최소값은 0이라고 하였다. 그러나, 한쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산하는 방법은 불량률이 0.9332 이상이면 위에서 두 가지로 나누어 살펴본 방법 모두 시그마 수준($z_{st.}$)이 음수가 되는 오류가 발생한다.



<그림 5> 한쪽 꼬리 근사법을 이용한 시그마 수준 계산 예

3.3 양쪽 꼬리 근사법

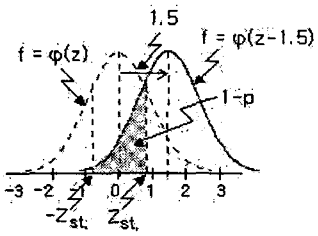
양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산하기 위해서는 장기적 관점에서 불량률이나 DPMO값을 측정한 후 표준정규분포를 1.5 만큼 이동시킨 분포에서 0으로부터 좌우 대칭인 상수를 벗어나는 부분이 불량률과 같도록 하는 상수를 구하면 된다. 즉, <그림 6>과 같이 장기적 관점에서의 불량률이 p일 때, 시그마 수준($z_{st.}$)은

$$\Phi(-z_{st.}-1.5)+[1-\Phi(z_{st.}-1.5)]$$

$$=2-\Phi(z_{st.}+1.5)-\Phi(z_{st.}-1.5)=p$$

또는

$\Phi(z_{st.}-1.5)-\Phi(-z_{st.}-1.5)=1-p$를 만족하는 $z_{st.}$이다. 위의 수식에서 1.5는 한쪽 꼬리 근사법과 마찬가지로 장기적 변동을 평균적인 단기적 변동으로 보정하기 위한 상수이다.

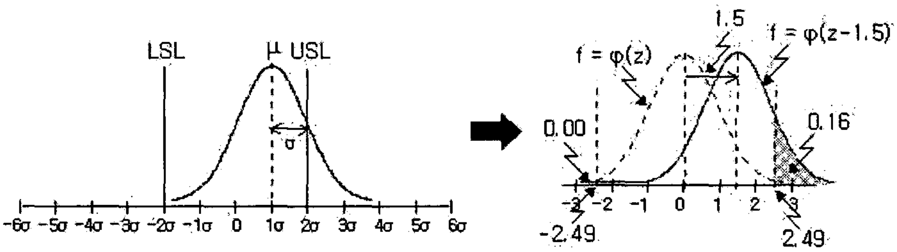


<그림 6> 양쪽 꼬리 근사법을 이용한 시그마 수준 계산

한쪽 꼬리 근사법에서는 표준정규분포 또는 표준정규분포를 1.5 만큼 이동시킨 분포의 한쪽 꼬리에 불량률을 배분하여 시그마 수준을 계산하지만 양쪽 꼬리 근사법에서는 표준정규분포를 1.5 만큼 이동시킨 분포에서 0을 중심으로 대칭이 되는 상수를 벗어나는 양쪽 꼬리에 불량률을 배분한다. 따라서, 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산하면 불량률 100%일 때의 시그마 수준은 0이 된다. 만일 시그마 수준($z_{st.}$)이 2.4보다 크면 $\Phi(-z_{st.}-1.5)$의 값이 거의 0 (소수점 아래 다섯째 자리에서 반올림해도 넷째 자리까지는 0이 나타남)이 되므로 양쪽 꼬리 근사법과 한쪽 꼬리 근사법에서 구한 시그마 수준의 결과는 거의 동일하다. 즉, 한쪽 꼬리 근사법을 사용하여 첫 번째 방법으로 시그마 수준을 계산할 때, 장기 시그마 수준을 구한 결과가 0.9 이상이라면 한쪽 꼬리 근사법을 이용하여 구한 시그마 수준과 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 구한 시그마 수준은 거의 동일하다.

한쪽 꼬리 근사법과 마찬가지로 <그림 2> (b)의 분포가 장기 분포라고 가정하고 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산하여 보자. 장기적 관점에서 측정한 불량률이 0.16이므로

$$\Phi(z_{st.}-1.5)-\Phi(-z_{st.}-1.5)$$



<그림 7> 양쪽 꼬리 근사법을 이용한 시그마 수준 계산 예

$= 1 - 0.16 = 0.84$

를 만족하는 시그마 수준($z_{st.}$)은 <그림 7>에서 볼 수 있듯이 $z_{st.}=2.49$이다. 위에서 살펴본 <그림 2> (b)의 분포는 시그마 수준이 2.49로 왼쪽 꼬리에 분배되는 불량률을 계산하면

$\Phi(-2.49-1.5) = \Phi(-3.99) \simeq 0.00$이다. 따라서, 앞서 언급한 것처럼 시그마 수준이 2.4보다 크므로 한쪽 꼬리 근사법과 양쪽 꼬리 근사법으로 계산한 시그마 수준이 모두 2.49로 동일하게 나왔다. 실제로는 시그마 수준 값의 소수점 아래 셋째 자리 이후를 더 계산해 나가면 정확히 일치하지는 않는다.

3.4 한쪽 꼬리 근사법과 양쪽 꼬리 근사법의 비교

한쪽 꼬리 근사법과 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 계산한 시그마 수준을 비교하기 위하여 다음과 같은 가상의 예를 고려하자. A 보험회사는 최근에 판매하기 시작한 종신 보험 상품에 대한 소비자 인지도를 조사하던 중 시장 점유율 확대를 위해서는 타사에 비해 불편한 보험 가입 절차를 개선해야 한다는 사실을 발견하게 되었다. 또한, A 보험회사는 종신 보험 상품에 기 가입한 고객들의 의견도 분석하였는데 특히, 종신 보험 상품 특성상 보험 가입을 위해 필수적으로 받아야하는 건강 검진 절차에 대하여 5명중 4명의 비율로 불만족스럽게 생각하고 있는 것으로 나타났다. 그 중요한 이유로는 고객의 집이나 직장과 멀리 떨어진 건강 검진 장소, 건강 검진의 검사 수준, 검사 결과를 통보 받는 데까지 걸리는 시간 등이었다. 따라서, A 보험회사는 불량률이 80%로 나타난 건강 검진 프로세스를 우선적으로 개선하려는 프로젝트에 착수하였으며 프로젝트를 중간 점검하는 시점에서 건강 검진 프로세스를 평가한 결과 불량률이 50% 수준으로 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 이 경우 개선 전후의 건강 검진 프로세스의 시그마 수준을 한쪽 꼬리 근사법과 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 계산하여 보자. <표 1>은 시그마 수준을 구할 때 계산 과정에서 사용된 값이다.

[한쪽 꼬리 근사법]

(개선 전)

$1-\Phi(Z \le z_{lt.}) = 0.8$에서 $z_{lt.}$는 -0.84이므로 $z_{st.}=-0.84+1.50=0.66$

(개선 후) $1-\Phi(Z \le z_{lt.}) = 0.5$에서 $z_{lt.}$는 0.00이므로 $z_{st.}=0.00+1.50=1.50$

<표 1> 시그마 수준 계산

$z_{st.}$	$\Phi(z_{st.}-1.5)$	$\Phi(-z_{st.}-1.5)$	한쪽꼬리 불량률	양쪽꼬리 불량률
0.65	0.197662	0.015778	0.802338	0.818115
0.66	0.200454	0.015386	**0.799546**	0.814932
0.67	0.203269	0.015003	0.796731	0.811734
0.68	0.206108	0.014629	0.793892	0.808521
0.69	0.208970	0.014262	0.791030	0.805292
0.70	0.211855	0.013903	0.788145	0.802048
0.71	0.214764	0.013553	0.785236	**0.798789**
0.72	0.217695	0.013209	0.782305	0.795514
0.73	0.220650	0.012874	0.779350	0.792224
		· · ·		
1.48	0.492022	0.001441	0.507978	0.509420
1.49	0.496011	0.001395	0.503989	0.505384
1.50	0.500000	0.001350	**0.500000**	**0.501350**
1.51	0.503989	0.001306	0.496011	0.497317
1.52	0.507978	0.001264	0.492022	0.493286

[양쪽 꼬리 근사법]

(개선 전)

$\Phi(z_{st.}-1.5)-\Phi(-z_{st.}-1.5)$=1-0.8=0.2 에서 $z_{st.}$=0.71

(개선 후)

$\Phi(z_{st.}-1.5)-\Phi(-z_{st.}-1.5)$=1-0.5=0.5 에서 $z_{st.}$=1.50

개선 전후의 시그마 수준은 한쪽 꼬리 근사법을 이용하여 계산하면 0.66에서 1.50으로 0.84 만큼(127.3%) 증가했으며, 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 계산하면 0.71에서 1.50으로 0.79 만큼(111.3%) 증가했다. 이번에는 개선 전후의 건강 검진 프로세스를 DPMO로 환산하여 평가하여 보자. 한쪽 꼬리 근사법을 이용하여 계산하면 DPMO가 799,546에서 500,000으로 299,546 만큼(37.5%) 감소하며 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 계산하면 DPMO가 798,789에서 501,350로 297,439 만큼(37.2%) 감소한다. 따라서, 한쪽 꼬리 근사법을 이용하는 경우에는 양쪽 꼬리 근사법을 이용하는 경우에 비하여 프로세스의 개선 효과가 높게 평가되는 것을 볼 수 있다. <표 2>와 <그림 8>은 한쪽 꼬리 근사법과 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산하는 경우에 각 시그마 수준별로 DPMO 차이의 크기를 보여준다.

각 시그마 수준별로 양쪽 꼬리 근사법을 적용한 DPMO가 한쪽 꼬리 근사법을 적용한 DPMO에 비하여 큰 값을 나타냄을 볼 수 있다. 시그마 수준이 2 이상이면 시그마 수준별 DPMO는 거의 비슷하나 시그마 수준

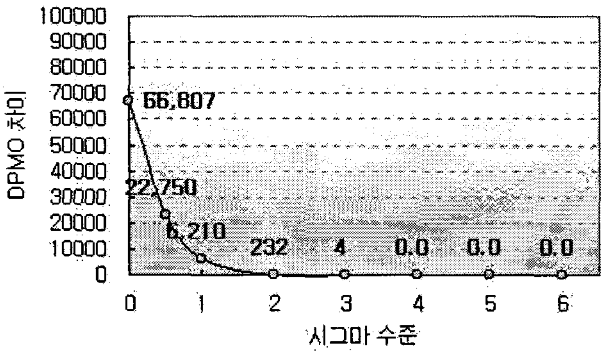
<표 2> 시그마 수준별 DPMO 비교

시그마 수준	한쪽 꼬리 근사법 적용시 DPMO(①)	양쪽 꼬리 근사법 적용시 DPMO(②)	DPMO 차이 (②-①)
0	933,193	1,000,000	66,807
0.5	841,344	864,095	22,750
1	691,462	697,672	6,210
2	308,537	308,770	232
3	66,807	66,811	4
4	6,210	6,210	0.0
5	233	233	0.0
6	3.4	3.4	0.0

이 1일 경우에는 DPMO의 차이가 6,210 이며 시그마 수준이 작아질수록 DPMO의 차이가 점차 커짐을 볼 수 있다. 특히, 시그마 수준이 0이면, 한쪽 꼬리 근사법의 DPMO는 933,193 이고 양쪽 꼬리 근사법의 DPMO는 1,000,000 이며, DPMO가 933,193 보다 크면 한쪽 꼬리 근사법을 이용하여 계산한 시그마 수준은 음수가 된다. <부록>에는 0 시그마 수준부터 6 시그마 수준까지의 각 시그마 수준과 DPMO를 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 계산한 값이 수록되어 있다.

4. 결 론

시그마 수준은 프로세스의 평균적인 단기적 변동을 기준으로 프로세스의 품질 수준을 평가한 값이며 DPMO나 불량률은 장기적인 관점에서 프로세스의 진행경과(Performance)를 측정한 값이다. 일반적으로 장기적 변동은 우연 변동뿐만 아니라 이상 변동을 포함하기 때문에 우연 변동만을 포함하고 있는 단기적 변동에 비하여 변동의 폭이 더 크다. 따라서, 장기적 변동을 단기적 변동 수준으로 보정하기 위해서 마치



<그림 8> 시그마 수준별 DPMO 비교

장기적 분포에서의 공정 평균에 일정 크기 만큼의 이동이 있었던 것으로 간주하여 시그마 수준을 계산하는 것이다. 가장 대표적으로 사용되는 보정 상수는 모토롤라에서 제시한 1.5σ 이다.

시그마 수준의 범위는 0이상이며 시그마 수준의 최소값은 0이다. 그러나, 현재 가장 일반적으로 사용하고 있는 한쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산하면 시그마 수준이 음수가 될 수 있는 오류가 발생하며 특히, 사무·간접 분야와 같이 시그마 수준이 매우 낮은 프로세스는 실제보다 과소평가 되기 때문에 프로세스 개선 전후의 성과가 과대평가 될 수 있다. 따라서, 시그마 수준의 의미를 올바로 해석하고 프로세스의 정확한 평가를 위해서는 양쪽 꼬리 근사법을 이용하여 시그마 수준을 계산해야 한다.

참고문헌

[1] Bothe, D. R.(2002), "Statistical Reason for the 1.5σ Shift," *Quality Engineering*, 14(3), pp. 479-487.

[2] Evans, D. H.(1975), "Statistical Tolerancing : The State of the Art, Part III : Shifts and Drifts," *Journal of Quality Technology*, Vol. 7, No. 2, pp. 72-76.

[3] Harry, M.(1994), *The Vision of Six Sigma : Tools and Methods for Breakthrough.*, Sigma Publishing Company

[4] Lucas, J. M.(2002), "The Essential Six Sigma," *Quality Progress*, January.

[5] Tadikamalla, P. R.(1994), "The Confusion Over Six Sigma Quality," *Quality Progress*, November.

<부록>

<부록1> 양쪽꼬리 근사법을 이용한 시그마 수준과 DPMO

시그마 수준	DPMO									
	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1,000,000	997,410	994,819	992,227	989,635	987,041	984,446	981,849	979,250	976,648
0.1	974,043	971,434	968,823	966,207	963,588	960,963	958,334	955,700	953,061	950,416
0.2	947,765	945,108	942,444	939,773	937,095	934,409	931,716	929,015	926,305	923,587
0.3	920,861	918,125	915,379	912,624	909,860	907,085	904,299	901,504	898,697	895,879
0.4	893,050	890,210	887,358	884,494	881,617	878,729	875,828	872,914	869,987	867,048
0.5	864,095	861,128	858,149	855,155	852,147	849,126	846,090	843,041	839,976	836,898
0.6	833,804	830,696	827,573	824,436	821,283	818,115	814,932	811,734	808,521	805,292
0.7	802,048	798,789	795,514	792,224	788,918	785,597	782,261	778,909	775,541	772,159
0.8	768,761	765,347	761,918	758,474	755,015	751,541	748,051	744,547	741,027	737,493
0.9	733,944	730,381	726,803	723,211	719,604	715,983	712,348	708,700	705,037	701,361
1.0	697,672	693,970	690,254	686,526	682,785	679,031	675,265	671,487	667,697	663,896
1.1	660,083	656,259	652,424	648,578	644,722	640,855	636,979	633,093	629,197	625,292
1.2	621,378	617,456	613,525	609,587	605,640	601,686	597,725	593,757	589,782	585,802
1.3	581,815	577,823	573,825	569,822	565,815	561,804	557,788	553,769	549,747	545,722
1.4	541,694	537,664	533,632	529,598	525,563	521,528	517,492	513,456	509,420	505,384
1.5	501,350	497,317	493,286	489,256	485,229	481,205	477,185	473,167	469,154	465,144
1.6	461,140	457,140	453,146	449,157	445,175	441,199	437,229	433,267	429,313	425,366
1.7	421,428	417,498	413,577	409,665	405,763	401,871	397,989	394,118	390,258	386,409
1.8	382,572	378,747	374,934	371,134	367,347	363,574	359,813	356,067	352,335	348,618
1.9	344,915	341,228	337,556	333,900	330,259	326,636	323,028	319,438	315,864	312,309
2.0	308,770	305,250	301,748	298,264	294,799	291,352	287,925	284,517	281,129	277,761
2.1	274,412	271,084	267,776	264,489	261,223	257,977	254,753	251,550	248,369	245,209
2.2	242,071	238,956	235,862	232,791	229,742	226,716	223,712	220,732	217,774	214,839
2.3	211,928	209,040	206,175	203,333	200,516	197,722	194,951	192,205	189,482	186,783
2.4	184,108	181,457	178,831	176,228	173,650	171,095	168,565	166,059	163,578	161,120
2.5	158,687	156,278	153,893	151,533	149,197	146,885	144,597	142,333	140,094	137,878
2.6	135,687	133,519	131,376	129,256	127,161	125,089	123,040	121,016	119,015	117,037
2.7	115,083	113,152	111,245	109,360	107,499	105,661	103,845	102,052	100,282	98,534
2.8	96,809	95,106	93,425	91,767	90,130	88,515	86,922	85,350	83,799	82,270
2.9	80,762	79,275	77,809	76,363	74,938	73,534	72,149	70,785	69,440	68,116

<부록1 계속> 양쪽꼬리 근사법을 이용한 시그마 수준과 DPMO

시그마	DPMO									
수준	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
3.0	66,811	65,525	64,259	63,011	61,783	60,573	59,383	58,210	57,056	55,920
3.1	54,801	53,701	52,618	51,553	50,504	49,473	48,459	47,461	46,480	45,515
3.2	44,567	43,634	42,717	41,816	40,931	40,060	39,205	38,364	37,539	36,728
3.3	35,931	35,149	34,380	33,626	32,885	32,157	31,443	30,742	30,055	29,379
3.4	28,717	28,067	27,429	26,804	26,190	25,588	24,998	24,419	23,852	23,296
3.5	22,750	22,216	21,692	21,178	20,675	20,182	19,699	19,226	18,763	18,309
3.6	17,865	17,429	17,003	16,586	16,177	15,778	15,386	15,003	14,629	14,262
3.7	13,903	13,553	13,209	12,874	12,546	12,225	11,911	11,604	11,304	11,011
3.8	10,724	10,444	10,170	9,903	9,642	9,387	9,137	8,894	8,656	8,424
3.9	8,198	7,976	7,760	7,549	7,344	7,143	6,947	6,756	6,569	6,387
4.0	6,210	6,037	5,868	5,703	5,543	5,386	5,234	5,085	4,940	4,799
4.1	4,661	4,527	4,397	4,269	4,145	4,025	3,907	3,793	3,681	3,573
4.2	3,467	3,364	3,264	3,167	3,072	2,980	2,890	2,803	2,718	2,635
4.3	2,555	2,477	2,401	2,327	2,256	2,186	2,118	2,052	1,988	1,926
4.4	1,866	1,807	1,750	1,695	1,641	1,589	1,538	1,489	1,441	1,395
4.5	1,350	1,306	1,264	1,223	1,183	1,144	1,107	1,070	1,035	1,001
4.6	968	936	904	874	845	816	789	762	736	711
4.7	687	664	641	619	598	577	557	538	519	501
4.8	483	467	450	434	419	404	390	376	362	350
4.9	337	325	313	302	291	280	270	260	251	242
5.0	233	224	216	208	200	193	185	179	172	165
5.1	159	153	147	142	136	131	126	121	117	112
5.2	108	104	100	96	92	88	85	82	78	75
5.3	72	70	67	64	62	59	57	54	52	50
5.4	48	46	44	42	41	39	37	36	34	33
5.5	32	30	29	28	27	26	25	24	23	22
5.6	21	20	19	18	17	17	16	15	15	14
5.7	13.4	12.8	12.2	11.7	11.2	10.7	10.2	9.8	9.4	8.9
5.8	8.5	8.2	7.8	7.5	7.1	6.8	6.5	6.2	5.9	5.7
5.9	5.4	5.2	4.9	4.7	4.5	4.3	4.1	3.9	3.7	3.6
6.0	3.4	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.4	2.3	2.2