

이 문서는 Minitab 통계 소프트웨어의 보조 도구에서 사용되는 방법과 데이터 검사를 개발하기 위해 Minitab 통계 학자들이 실시한 연구에 대해 설명하는 전체 백서 중 하나입니다.

공정 능력 분석

개요

공정 능력 분석은 공정이 고객 요구 사항을 충족하는 결과를 만들어낼 수 있는지 여부를 평가하기 위해 사용됩니다. Minitab 보조 도구에는 연속형 공정 데이터를 조사하기 위한 두 가지 공정 능력 분석 기능이 있습니다.

- 공정 능력 분석: 이 분석에서는 단일 공정 변수를 기준으로 공정 능력을 평가합니다.
- 사전/사후 공정 능력 비교: 이 분석에서는 개선 전과 후 단일 공정 변수를 조사하여 개선 노력의 결과 공정에서 고객 요구 사항을 충족할 수 있는 능력이 개선되었는지 여부를 평가합니다.

현재 공정의 공정 능력을 적절히 추정하고 이후에 공정의 공정 능력을 신뢰성 있게 예측하기 위해서는 안정적인 공정에서 분석에 사용할 데이터를 가져와야 합니다(Bothe, 1991; Kotz and Johnson, 2002). 또한 이러한 분석에서는 정규 분포를 기반으로 공정 능력 통계량을 추정하기 때문에 공정 데이터는 정규 분포 또는 근사적 정규 분포를 따라야 합니다.

마지막으로, 공정 능력 통계량의 정밀도가 높고 공정의 안정성을 적절히 평가할 수 있다고 확신하기에 충분한 데이터가 있어야 합니다.

이러한 요구 사항에 따라 보조 도구는 데이터에 대해 다음과 같은 검사를 자동으로 수행하고 결과를 보고서 카드에 표시합니다.

- 안정성
- 정규성
- 데이터 양

이 백서에서는 이러한 요구 사항이 실제 공정 능력과 어떤 관계가 있는지 조사하고 이러한 조건을 확인하기 위해 어떤 지침을 설정했는지 설명합니다.

데이터 검사

안정성

공정 능력을 정확히 추정하기 위해서는 안정적인 공정에서 데이터를 가져와야 합니다. 데이터가 정규 분포를 따르는지 검사하고 공정의 공정 능력을 평가하기 전에 공정의 안정성을 확인해야 합니다. 공정이 안정적이지 않은 경우 불안정성의 원인을 식별하여 제거해야 합니다.

연속형 데이터를 사용하는 공정의 안정성은 계량형 관리도(Xbar-R/S 또는 I-MR 관리도)에 대해 8개의 검정을 수행하여 평가할 수 있습니다. 이러한 검정을 동시에 사용할 경우 관리도의 민감도가 증가합니다. 그러나 관리도에 검정이 추가될수록 잘못된 경고 비율이 증가하기 때문에 각 검정의 목적 및 추가된 값을 확인하는 것이 중요합니다.

목적

Minitab에서는 8개의 안정성 검정 중 계량형 관리도와 함께 보조 도구에 포함할 검정을 결정하고자 했습니다. 첫 번째 목표는 잘못된 경고 비율을 유의하게 증가시키지 않고 관리 이탈 조건에 대한 민감도를 유의하게 증가시키는 검정을 식별하는 것이었습니다. 두 번째 목표는 관리도의 단순성과 실용성을 보장하는 것이었습니다. Minitab의 연구는 Xbar 관리도 및 I 관리도에 대한 검정에 초점을 맞추었습니다. R, S 및 MR 관리도의 경우에는 점이 관리 한계를 벗어날 때 신호를 보내는 1만 검정합니다.

방법

Minitab에서는 안정성 검정 조합을 사용할 경우 관리도의 민감도 및 잘못된 경고 비율에 어떤 영향을 미치는지 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하고 문헌을 검토했습니다. 또한 검정과 연관된 특수 원인의 출현율도 평가했습니다. 각 검정에 사용된 방법에 대한 자세한 내용은 아래 결과 항목과 부록 B를 참조하십시오.

결과

검정 1, 2 및 7이 Xbar 관리도 및 I 관리도의 안정성을 평가하는 데 가장 유용하다고 확인되었습니다.

검정 1: 관리 한계를 벗어난 점 식별

검정 1은 중심선으로부터 3 표준 편차 밖에 있는 점들을 식별합니다. 검정 1은 보편적으로 관리 이탈 상황을 탐지하는 데 필요한 것으로 간주됩니다. 검정 1의 잘못된 경고 비율은 0.27%에 불과합니다.

검정 2: 평균의 변동 식별

검정 2는 9개의 연속된 점이 중심선으로부터 같은 쪽에 있을 때 신호를 보냅니다. Minitab에서는 4개의 다른 평균을 사용하여 시뮬레이션을 수행하고 표준 편차의 배수를 설정하며 신호를 탐지하기 위해 필요한 부분군의 수를 정했습니다. 그리고 정규 분포를 기반으로 관리 한계를 설정했습니다. 검정 2를 추가하면 관리도의 민감도가 유의하게 증가하여 평균의 작은 변동을 탐지할 수 있다는 것을 알았습니다. 검정 1과 검정 2를 함께 사용할 경우 검정 1만 사용할 경우보다 훨씬 더 적은 수의 부분군으로 평균의 작은 변동을 탐지할 수 있습니다. 따라서 검정 2를 추가하면 일반적인 관리 이탈 상황을 탐지하는 데 도움이 되며 약간의 잘못된 경고 비율 증가를 용인할 수 있을 만큼 민감도가 증가합니다.

검정 7: 너무 넓은 관리 한계 식별

검정 7은 12-15개의 연속된 점이 중심선으로부터 1 표준 편차 내에 있을 때 신호를 보냅니다. 검정 7은 데이터로부터 관리 한계를 추정하는 경우 XBar 관리도에만 사용됩니다. 이 검정이 실패하는 경우 원인은 일반적으로 합리적인 부분군을 구성하지 않은 결과 발생하는 부분군 내 계층적 변동(계층화)입니다. 관리도에서 관리 이탈 상황을 정확히 탐지하기 위해서는 합리적인 부분군을 구성하는 것이 중요하기 때문에 보조 도구에서는 데이터에서 관리 한계를 추정할 때 수정된 검정 7을 사용합니다. 검정 7은 부분군의 수에 따라 연속된 점의 수가 12와 15 사이일 때 실패 신호를 보냅니다.

$k = (\text{부분군 수}) \times 0.33$	필요한 점의 수
$k < 12$	12
$k \geq 12$ 및 $k \leq 15$	정수 $\geq k$
$k > 15$	15

보조 도구에 포함되지 않은 검정

검정 3: K개의 연속된 점이 모두 상승 또는 하락

검정 3은 공정 평균의 표류를 탐지하기 위해 설계되었습니다(Davis and Woodall, 1988). 그러나 검정 1 및 검정 2 외에 검정 3을 사용해도 공정 평균의 표류를 탐지하기 위한 관리도의

민감도가 유의하게 증가하지 않습니다. 이미 시뮬레이션 결과를 기반으로 검정 1과 2를 사용하기로 결정했기 때문에 검정 3을 포함시켜도 관리도에는 유의한 값이 추가되지 않습니다.

검정 4: K개의 연속된 점이 교대로 상승 또는 하락

실제로 이 패턴이 발생할 수 있지만 특정한 하나의 패턴에 대한 검정 대신 비정상적인 추세나 패턴을 찾아보는 것이 좋습니다.

검정 5: K+1개의 점 중에서 K개 점이 중심선으로부터 2 표준 편차 범위 밖에 있음

이 검정은 일반적인 특수 원인 상황을 고유하게 식별하지 않았기 때문에 관리도의 단순성을 보장하기 위해 제외했습니다.



검정 6: K+1개의 점 중에서 K개 점이 중심선으로부터 1 표준 편차 범위 밖에 있음

이 검정은 일반적인 특수 원인 상황을 고유하게 식별하지 않았기 때문에 관리도의 단순성을 보장하기 위해 제외했습니다.

검정 8: K개의 연속된 점이 중심선으로부터 1 표준 편차 범위 밖에 있음(양쪽)

이 검정은 일반적인 특수 원인 상황을 고유하게 식별하지 않았기 때문에 관리도의 단순성을 보장하기 위해 제외했습니다.

보고서 카드에서 안정성을 확인할 때 보조 도구에는 다음과 같은 상태가 표시됩니다.

상태	조건
	<p>평균에 대한 관리도(I 관리도 또는 Xbar 관리도) 및 변동에 대한 관리도(MR, R 또는 S 관리도)에 검정 실패 없음. 각 관리도에 사용되는 검정은 다음과 같습니다.</p> <p>I 관리도: 검정 1 및 검정 2</p> <p>Xbar 관리도: 검정 1, 검정 2 및 검정 7. 검정 7은 관리 한계가 데이터로부터 추정되는 경우에만 수행됩니다.</p> <p>MR, R 및 S 관리도: 검정 1</p>
	위의 조건이 유지되지 않는 경우

각 상태 조건에 나타나는 특정 메시지는 공정 능력 분석의 맥락에서 표현되므로, 계량형 관리도가 보조 도구에 별도로 표시될 때 사용되는 메시지와 다릅니다.

정규성

정규 공정 능력 분석에서는 정규 분포가 공정 데이터에 적합되며 공정 능력 통계량은 적합한 정규 분포로부터 추정됩니다. 공정 데이터의 분포가 정규 분포에 가깝지 않으면 이러한 추정치가 부정확할 수 있습니다. 확률도 및 Anderson-Darling(AD) 적합도 검정을 사용하여 데이터가 정규 분포를 따르는지 여부를 확인할 수 있습니다. AD 검정이 다른 정규성 검정보다 검정력이 높은 경향이 있습니다. 이 검정은 또한 분포의 하한 및 상한(꼬리)에서 정규성으로부터의 이탈 정도를 보다 효과적으로 탐지할 수 있습니다(D'Agostino and Stephens, 1986). AD 검정은 이러한 속성 때문에 측정값이 규격 한계를 벗어나는 확률을 추정할 때 데이터의 적합도를 검정하는 데 적합합니다.

목적

일부 실무자는 표본 크기가 아주 큰 경우 AD 검정이 너무 보수적이고 정규성 가정을 너무 자주 기각하는지 여부를 궁금해했습니다. 그러나 이 문제를 논의한 문헌을 찾을 수 없어서 Minitab에서 표본 크기가 AD 정규성 검정의 성능에 미치는 영향을 조사하게 되었습니다.

Minitab에서는 실제 AD 검정 결과가 검정의 목표 유의 수준(알파 또는 제1종 오류율)과 얼마나 가깝게 일치했는지, 즉 표본 크기가 큰 경우 AD 검정이 예상된 것보다 더 자주 정규성의 귀무 가설을 잘못 기각했는지 여부를 확인하고자 했습니다. 또한 비정규 분포를 식별하기 위한 검정의 검정력, 즉 표본 크기가 큰 경우 AD 검정이 예상된 것만큼 자주 정규성의 귀무 가설을 올바르게 기각했는지 여부를 평가하고자 했습니다.

방법

Minitab에서는 제1종 오류 및 AD 검정의 검정력을 추정하기 위해 두 세트의 시뮬레이션을 수행했습니다.

제1종 오류: 데이터가 정규 분포를 따를 때 정규성을 기각할 확률

제1종 오류율을 추정하기 위해 먼저 정규 분포에서 동일한 크기의 표본 5000개를 생성했습니다. 각 표본에 대해 AD 정규성 검정을 수행하고 p-값을 계산했습니다. 그런 다음 k의 값, p-값이 유의 수준보다 작거나 같은 표본의 수를 정했습니다. 그런 다음 제1종 오류를 $k/5000$ 으로 계산할 수 있습니다. AD 검정이 제대로 수행되는 경우 추정된 제1종 오류는 목표 유의 수준에 매우 가깝습니다.

검정력: 데이터가 정규 분포를 따르지 않을 때 정규성을 기각할 확률

검정력을 추정하기 위해 먼저 비정규 분포에서 동일한 크기의 표본 5000개를 생성했습니다. 각 표본에 대해 AD 정규성 검정을 수행하고 p-값을 계산했습니다. 그런 다음 k의 값, p-값이

유의 수준보다 작거나 같은 표본의 수를 정했습니다. 그런 다음 검정력을 $k/5000$ 으로 계산할 수 있습니다. AD 검정이 제대로 수행되는 경우 추정된 검정력은 거의 100%에 가깝습니다.

Minitab에서는 여러 크기의 표본과 여러 정규 및 비정규 모집단에 대해 이 절차를 반복했습니다. 방법 및 결과에 대한 자세한 내용은 부록 B를 참조하십시오.

결과

제1종 오류

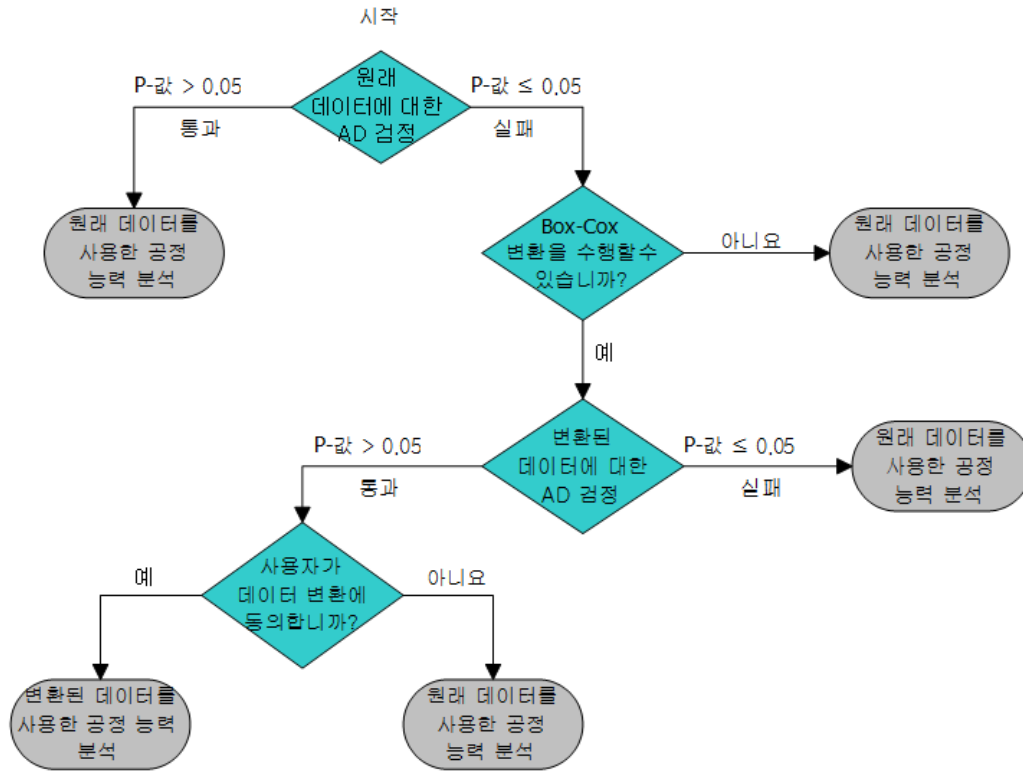
시뮬레이션 결과 표본 크기가 큰 경우 AD 검정이 예상된 것보다 더 자주 귀무 가설을 기각하지 않습니다. 표본이 정규 분포를 따르는 경우 귀무 가설을 기각할 확률(제1종 오류율)은 표본 크기가 10,000인 경우에도 대략 목표 유의 수준(예: 0.05 또는 0.1)과 같습니다.

검정력



또한 시뮬레이션 결과 대부분의 비정규 분포의 경우 정규성의 귀무 가설을 올바르게 기각할 AD 검정의 검정력은 1(100%)에 가깝습니다. 검정의 검정력은 데이터가 정규 분포에 극히 가까운 비정규 분포를 따르는 경우에만 낮았습니다. 그러나 이러한 근사 정규 분포의 경우 정규 분포가 공정 능력 추정치에 대한 적절한 근사치를 제공할 가능성이 높습니다.

이러한 결과를 바탕으로, 보조 도구에서는 확률도와 Anderson-Darling(AD) 적합도 검정을 사용하여 데이터가 정규 분포를 따르는지 여부를 평가합니다. 데이터가 정규 분포를 따르지 않는 경우 보조 도구에서는 Box-Cox 변환을 사용하여 데이터를 변환하려고 시도합니다. 데이터가 성공적으로 변환되면 변환된 데이터에 대해 AD 검정을 사용하여 정규성을 평가합니다.

이 공정은 아래 흐름도에 표시되어 있습니다.



이러한 결과를 바탕으로, 공정 능력 분석에서 정규성을 평가하는 경우 보조 도구 보고서 카드에는 다음과 같은 상태가 표시됩니다.

상태	조건
	원래 데이터가 AD 정규성 검정을 통과했습니다($p \geq 0.05$). 또는 원래 데이터가 AD 정규성 검정을 통과하지 못했지만($p < 0.05$) 사용자가 Box-Cox를 사용하여 데이터를 변환하기로 선택했으며 변환된 데이터가 AD 정규성 검정을 통과했습니다($p \geq 0.05$).
	원래 데이터가 AD 정규성 검정을 통과하지 못했습니다($p < 0.05$). Box-Cox 변환을 사용하면 문제를 해결할 수 있지만 사용자가 데이터를 변환하지 않기로 선택했습니다. 또는 원래 데이터가 AD 정규성 검정을 통과하지 못했습니다($p < 0.05$). 데이터에 대해 Box-Cox 변환을 수행하여 문제를 해결할 수 없습니다.

데이터 양

정밀한 공정 능력 추정치를 얻기 위해서는 충분한 데이터가 있어야 합니다. 데이터가 부족한 경우 표본 추출 변동성으로 인해 공정 능력 추정치가 “참” 값과 거리가 멀 수도 있습니다. 관측치의 수를 늘리면 추정치의 정밀도를 개선할 수 있습니다. 그러나 더 많은 관측치를 수집하려면 시간과 리소스가 더 많이 필요합니다. 따라서 관측치의 수가 추정치의 정밀도에 미치는 영향, 가용 리소스를 바탕으로 합리적으로 수집할 수 있는 데이터의 양을 확인하는 것이 중요합니다.

목적

Minitab에서는 정규 공정 능력 분석을 위해 정밀한 추정치를 얻는 데 필요한 관측치의 수를 조사했습니다. Minitab의 목적은 관측치의 수가 공정 능력 추정치의 정밀도에 미치는 영향을 평가하고 사용자에게 필요한 데이터의 양에 대한 지침을 제공하는 것이었습니다.

방법



Minitab에서는 일반적으로 공정 능력을 추정하는 데 적절하다고 생각되는 데이터의 양을 파악하기 위해 문헌을 검토했습니다. 또한 관측치의 수가 주요 공정 능력 추정치, 공정 벤치마크 Z에 미치는 영향을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행했습니다. 10,000개의 정규 데이터 집합을 생성하고 각 표본에 대해 Z 벤치마크 값을 계산하며 그 결과를 사용하여 90% 및 95% 신뢰 수준에서 추정된 Z와 참 Z 간의 차이가 특정 정밀도 범위에 포함되는 데 필요한 관측치의 수를 추정했습니다. 자세한 내용은 부록 C를 참조하십시오.

결과

통계적 공정 관리(SPC) 설명서에서는 공정 변동의 주요 원인이 데이터에 반영되도록 하기 위해 충분한 수의 부분군을 사용할 것을 권장합니다(AIAG, 1995). 일반적으로 25개 이상의 부분군 및 100개 이상의 총 관측치를 수집할 것을 권장합니다. 다른 문헌에서는 30개의 관측치를 “절대 최소값”으로 언급하며(Bothe, 1997) 최소 100개 이상의 관측치를 권장합니다.

시뮬레이션 결과 공정 능력 추정치에 필요한 관측치의 수는 공정의 실제 공정 능력 및 추정치의 원하는 정밀도에 따라 다릅니다. 일반적인 목표 벤치마크 Z 값의 경우($Z > 3$), 100개의 관측치를 수집하면 90% 신뢰 수준에서 추정된 공정 벤치마크 Z가 참 Z 값의 15% 범위에 포함됩니다($0.85 * \text{참 } Z, 1.15 * \text{참 } Z$). 자세한 내용은 부록 C를 참조하십시오.

공정 능력 분석에 필요한 데이터 양을 확인하는 경우 보조 도구 보고서 카드에 다음과 같은 상태가 표시됩니다.

상태	조건
	관측치 수 \geq 100
	관측치 수 $<$ 100

참고 문헌

AIAG (1995). Statistical process control (SPC) reference manual. Automotive Industry Action Group.

Bothe, D.R. (1997). Measuring process capability: Techniques and calculations for quality and manufacturing engineers. New York: McGraw-Hill.

D'Agostino, R.B., & Stephens, M.A. (1986). Goodness-of-fit techniques. New York: Marcel Dekker.

Kotz, S., & Johnson, N.L. (2002). Process capability indices - a review, 1992 - 2000. *Journal of Quality Technology*, 34 (January), 2-53.

부록 A: 안정성

시뮬레이션 A1: 검정 2를 검정 1에 추가할 경우 민감도에 미치는 영향

검정 1은 한 점이 중심선으로부터 3 표준 편차 범위 밖에 있을 때 신호를 보내 관리 이탈 상태에 있는 점을 탐지합니다. 검정 2는 9개의 연속된 점이 중심선으로부터 같은 쪽에 있을 때 신호를 보내 평균의 이동을 탐지합니다.

Minitab에서는 검정 2를 검정 1과 함께 사용하면 평균 관리도(I 관리도 및 Xbar 관리도)의 민감도가 개선되는지 여부를 확인하기 위해 정규 (0, SD) 분포에 대한 관리 한계를 설정했습니다. 분포의 평균을 표준 편차의 배수 단위로 이동한 후 10,000번의 각 반복 횟수에 대한 신호를 탐지하기 위해 필요한 부분군의 수를 기록했습니다. 결과는 표 1에 나와 있습니다.

표 1 검정 1 실패(검정 1), 검정 2 실패(검정 2) 또는 검정 1 및 검정 2 실패(검정 1 또는 2)까지 평균 부분군의 수. 평균의 이동은 표준 편차(SD)의 배수와 같으며 부분군 크기 $n = 1, 3$ 및 5 에 대해 시뮬레이션이 수행되었습니다.

이동	n=1			n=3			n=5		
	검정 1	검정 2	검정 1 또는 2	검정 1	검정 2	검정 1 또는 2	검정 1	검정 2	검정 1 또는 2
0.5 SD	154	84	57	60	31	22	33	19	14
1 SD	44	24	17	10	11	7	4	10	4
1.5 SD	15	13	9	3	9	3	1.6	9	1.6
2 SD	6	10	5	1.5	9	1.5	1.1	9	1.1

I 관리도($n = 1$)에 대한 결과에 표시된 대로 두 검정 모두 사용하는 경우(검정 1 또는 2 열) 검정 1만 사용하는 경우 0.5 표준 편차 이동을 탐지하기 위해 필요한 평균 154개의 부분군에 비해 평균의 0.5 표준 편차 이동을 탐지하기 위해 평균 57개의 부분군이 필요합니다. 이와 유사하게 두 검정을 모두 사용하면 Xbar 관리도($n = 3, n = 5$)에 대한 민감도가 증가합니다. 예를 들어, 부분군 크기가 3인 경우, 검정 1과 검정 2를 모두 사용하면 0.5 표준 편차를

탐지하기 위해 평균 22개의 부분군이 필요하지만, 검정 1만 사용하는 경우에는 0.5 표준 편차를 탐지하기 위해 60개의 부분군이 필요합니다. 따라서 두 검정을 모두 사용하면 평균의 작은 이동을 탐지하기 위한 민감도가 유의하게 증가합니다. 이동 크기가 증가하는 경우에는 검정 2를 추가해도 민감도가 유의하게 증가하지 않습니다.

시뮬레이션 B2: 검정 7이 계층화(부분군의 여러 변동 원인)를 얼마나 효과적으로 탐지하는가?

검정 7은 일반적으로 12-15개의 연속된 점이 중심선으로부터 1 표준 편차 내에 있을 때 실패 신호를 보냅니다. 보조 도구에서는 데이터 내 부분군 수를 바탕으로 필요한 점의 수를 조정하는 수정된 규칙을 사용합니다. Minitab에서는 $k = (\text{부분군 수} \times 0.33)$ 으로 설정하고 검정 7 실패에 필요한 연속된 점의 수를 정의합니다(표 2 참고).

표 2 검정 7의 실패에 필요한 연속된 점의 수

$k = (\text{부분군 수}) \times 0.33$	필요한 점의 수
$k < 12$	12
$k \geq 12$ 및 $k \leq 15$	정수 $\geq k$
$k > 15$	15

관리 한계를 설정하기 위한 일반 시나리오를 사용하여, 검정 7에서 위의 기준에 따라 실패 신호를 할 확률을 정하기 위해 시뮬레이션을 수행했습니다. 구체적으로는, 데이터에서 관리 한계를 추정하는 동안 계층화를 탐지하기 위한 규칙을 평가하고자 했습니다.

Minitab에서는 표준 편차(SD)의 정규 분포에서 크기 n 의 부분군 m 개를 임의로 선택했습니다. 각 부분군의 점 중에서 절반의 평균은 0이고 나머지 절반의 평균은 SD 이동(0 SD, 1 SD 또는 2 SD)과 같았습니다. 10,000회 반복을 수행하고 1번 이상 검정 7 실패를 보여주는 관리도의 비율을 기록했습니다(표 3 참고).

표 3 검정 7에서 1번 이상 신호를 보낸 관리도의 비율

부분군 수		m = 50	m = 75	m = 25	m = 38	m = 25
부분군 크기		n = 2	n = 2	n = 4	n = 4	n = 6
검정		연속된 15개	연속된 15개	연속된 12개	연속된 13개	연속된 12개
이동	0 SD	5%	8%	7%	8%	7%
	1 SD	23%	33%	17%	20%	15%
	2 SD	83%	94%	56%	66%	50%

표의 첫 번째 이동(이동 = 0 SD) 행에 표시된 대로, 계층화가 없는 경우 검정 7 실패가 1번 이상 있는 관리도의 비율은 상대적으로 작습니다. 그러나 계층화(이동 = 1 SD 또는 이동 = 2 SD)가 있는 경우 검정 7 실패가 1번 이상 있는 관리도의 비율이 94% 더 높습니다. 이러한 방식으로, 검정 7은 관리 한계가 추정되는 단계에서 계층화를 식별할 수 있습니다.

부록 B: 정규성

시뮬레이션 B.1: AD 검정의 제1종 오류율 추정

대표본에 대한 AD 검정의 제1종 오류율을 조사하기 위해 Minitab에서는 평균이 30이고 표준 편차가 0.1, 5, 10, 30, 50, 70인 정규 분포의 여러 산포를 생성했습니다. 각 평균 및 표준 편차에 대해 각각 표본 크기 $n = 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000$ 및 10000의 표본 5000개를 생성하고 AD 통계량의 p-값을 계산했습니다. 그런 다음 5,000개의 표본 중에서 p-값 ≤ 0.05 및 ≤ 0.1 인 비율을 계산하여 데이터 집합이 정규 분포를 따른다는 가설이 기각될 확률을 추정했습니다. 결과는 아래 표 4-9에 표시되어 있습니다.

표 4 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 평균 = 30, 표준 편차 = 0.1의 제1종 오류율

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p-값 ≤ 0.05 인 데이터 집합의 비율	0.0514	0.0480	0.0526	0.0458	0.0492	0.0518	0.0582	0.0486
p-값 ≤ 0.1 인 데이터 집합의 비율	0.1008	0.1008	0.0984	0.0958	0.1004	0.1028	0.1046	0.0960

표 5 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 평균 = 30, 표준 편차 = 5의 제1종 오류율

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p-값 ≤ 0.05 인 데이터 집합의 비율	0.0524	0.0520	0.0446	0.0532	0.0481	0.0518	0.0594	0.0514
p-값 ≤ 0.1 인 데이터 집합의 비율	0.0990	0.1002	0.0990	0.1050	0.0965	0.1012	0.1074	0.1030

표 6 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 평균 = 30, 표준 편차 = 10의 제1종 오류율

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	0.0486	0.0488	0.0498	0.0500	0.0458	0.0470	0.0446	0.0524
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	0.1008	0.0964	0.0988	0.1076	0.0930	0.0942	0.0924	0.1062

표 7 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 평균 = 30, 표준 편차 = 30의 제1종 오류율

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	0.0514	0.0432	0.0506	0.0486	0.0558	0.0482	0.0508	0.0482
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	0.1028	0.0888	0.0978	0.0994	0.1012	0.0994	0.0992	0.0932

표 8 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 평균 = 30, 표준 편차 = 50의 제1종 오류율

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	0.0470	0.0530	0.0520	0.0460	0.0540	0.0444	0.0458	0.0472
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	0.0950	0.0996	0.1072	0.0940	0.0996	0.0980	0.0890	0.0940

표 9 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 평균 = 30, 표준 편차 = 70의 제1종 오류율

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	0.0520	0.0524	0.0522	0.0528	0.0502	0.0442	0.0500	0.0422
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	0.1038	0.1040	0.1020	0.0994	0.0990	0.0926	0.0994	0.0964

각 표에서 행 2의 비율은 0.05에 가깝고 행 3의 비율은 0.1에 가깝습니다. 즉, 제1종 오류율이 목표 유의 수준(각각 0.5 또는 0.1)을 바탕으로 예상된 대로라는 것을 의미합니다. 따라서 대표본 및 정규 분포의 다양한 산포에 대해서도 AD가 보수적이 아니라 목표 유의 수준을 바탕으로 예상되는 것만큼 자주 귀무 가설을 기각합니다.

시뮬레이션 B.2: AD 검정의 검정력 추정

대표본의 비정규성을 탐지하기 위한 AD 검정의 검정력을 조사하기 위해 Minitab에서는 일반적으로 공정 능력을 모형화하는 데 사용되는 비정규 분포 등 많은 비정규 분포에서 데이터를 생성했습니다. 각 분포에 대해 각 표본 크기(각각 $n = 500, 1000, 3000, 5000, 7500$ 및 10000)에서 5000개의 표본을 생성하고 AD 통계량에 대한 p-값을 계산했습니다. 그런 다음, 5000개의 표본 중에서 $p\text{-값} \leq 0.05$ 및 $p\text{-값} \leq 0.1$ 인 비율을 계산하여 비정규 데이터 집합에 대해 AD 검정을 기각할 확률을 추정했습니다.

결과는 아래 표 10-26에 표시되어 있습니다.

표 10 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 $df = 3$ 인 t 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05 인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1 인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 11 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 $df = 5$ 인 t 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05 인 데이터 집합의 비율	0.9812	0.9998	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9812	0.9998
p-값 ≤ 0.1 인 데이터 집합의 비율	0.989	0.9998	1.00	1.00	1.00	1.00	0.989	0.9998

표 12 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Laplace (0,1) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 13 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Uniform (0,1) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 14 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Beta (3,3) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	0.7962	0.9944	1.00	1.00	1.00	1.00	0.7962	0.9944
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	0.8958	0.9944	1.00	1.00	1.00	1.00	0.8958	0.9944

표 15 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Beta (8,1) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 16 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Beta (8,1) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 17 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Expo (2) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 18 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Chi-Square (3) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 19 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Chi-Square (5) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 20 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Chi-Square (10) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 21 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Gamma (2, 6) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 22 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Gamma (5, 6) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 23 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Gamma (10, 6) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	0.9970	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9970	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	0.9988	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.9988	1.00

표 24 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Weibull (1, 4) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

표 25 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Weibull (4, 4) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	0.1816	0.3406	0.8502	0.984	0.9992	1.00	0.1816	0.3406
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	0.2818	0.4754	0.9198	0.9928	1.00	1.00	0.2818	0.4754

표 26 각 표본 크기(n) 및 p-값(0.05, 0.1)에 대한 Weibull (20, 4) 분포의 검정력

표본 크기(n)	500	1000	2000	3000	4000	5000	7500	10000
p-값 ≤ 0.05인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
p-값 ≤ 0.1인 데이터 집합의 비율	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

위의 표에 나와 있듯이, 조사된 거의 모든 비정규 분포에서 계산된 AD 검정의 검정력은 항상 100%(1.00)이거나 거의 100%였습니다. 이는 AD 검정이 귀무 가설을 올바르게 기각하며 대부분의 큰 비정규 데이터 표본에 대해 비정규성을 탐지한다는 것을 의미합니다. 따라서 검정의 검정력이 극히 높습니다.

AD 검정의 계산된 검정력이 100%보다 현저하게 낮은 것은 n = 500인 Beta (3,3) 분포(표 14)와 n = 500, 1000 및 3000인 Weibull (4,4) 분포(표 25) 등 두 가지 경우에만 해당됩니다. 그러나 두 가지 분포 모두 정규 분포와 크게 다르지는 않습니다(아래 그림 1과 그림 2 참고).

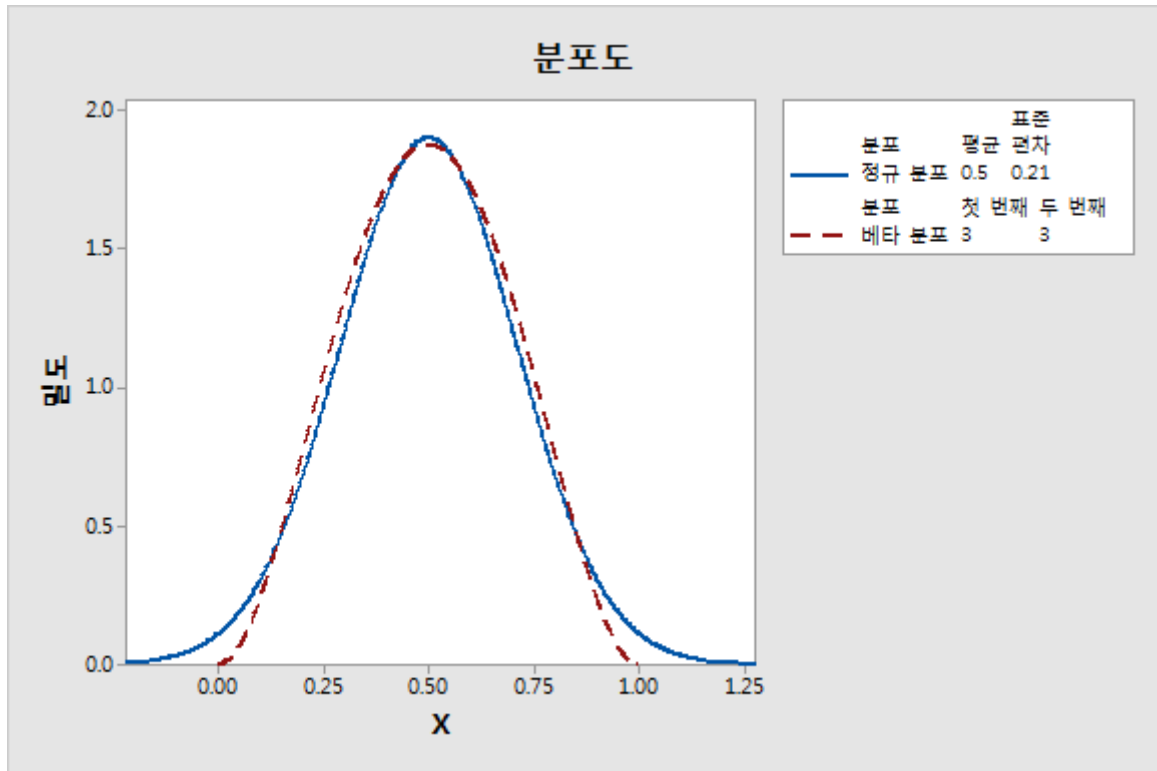


그림 1 Beta (3,3) 분포와 정규 분포의 비교.

위 그림 1에서 보듯이, Beta (3,3) 분포는 정규 분포와 가깝습니다. 표본 크기가 1000 미만일 때 AD 검정에 의해 정규성의 귀무 가설이 기각되는 데이터 집합의 비율이 감소하는 것은 이 때문입니다.

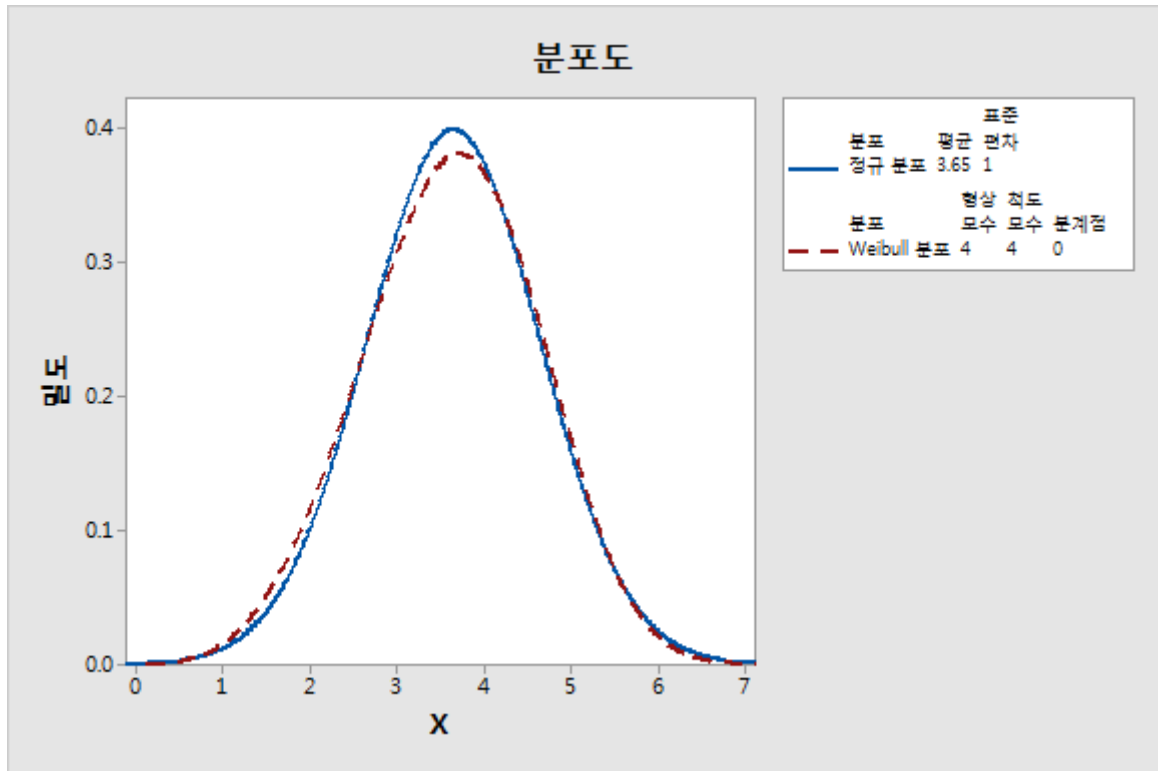


그림 2 Weibull (4,4) 분포와 정규 분포의 비교.

마찬가지로, Weibull (4,4) 분포는 정규 분포에 매우 가깝습니다(그림 2 참고). 사실 이 분포를 정규 분포와 구별하기는 어렵습니다. 이 상황에서는 정규 분포가 실제 분포에 대한 좋은 근사가 될 수 있으며 정규 분포를 바탕으로 한 공정 능력 추정치가 공정 능력을 적절히 나타냅니다.

부록 C: 데이터 양

시뮬레이션 C.1: 다양한 정밀도 수준을 위한 표본 크기 결정

설정 및 절차

Minitab에서는 일반성 손실 없이 규격 하한(LSL) = -1 및 규격 상한(USL) = 1을 가정한 상태에서 다음과 같은 평균과 표준 편차를 사용하여 표본을 생성했습니다.

표 27 표본의 평균, 표준 편차 및 목표 Z 값

평균	표준 편차	목표 Z
0	0.163	6.02
0.1	0.163	5.52
0.2	0.160	5.00
0.2	0.177	4.52
0	0.240	4.01
0.1	0.256	3.51
0.2	0.265	3.02
0.1	0.352	2.50
0	0.437	2.01
0	0.545	1.50
0.1	0.700	1.01

다음과 같은 공식을 사용하여 목표 Z 값(참 Z)을 계산했습니다. 여기서 μ 는 평균이고 σ 는 표준 편차입니다.

$$p_1 = Prob(X < LSL) = \Phi((LSL - \mu)/\sigma)$$

$$p_2 = Prob(X > USL) = 1 - \Phi((USL - \mu)/\sigma) = \Phi((\mu - USL)/\sigma)$$

$$\text{목표 } Z = \Phi^{-1}(1 - p_1 - p_2) = -\Phi^{-1}(p_1 + p_2)$$

시뮬레이션을 수행하기 위해 다음 단계를 따랐습니다.

1. 각 목표 Z에 대해 여러 표본 크기의 정규 데이터 집합을 10,000개 생성합니다(위의 표 27 참고).
2. 생성된 데이터 집합을 사용하여 Z 벤치 값을 계산합니다. 각 목표 Z 및 표본 크기에 대해 10,000개의 Z 값이 있었습니다.
3. 10,000개의 Z 값을 가장 작은 값에서 가장 큰 값의 순으로 정렬합니다. Z 벤치의 95% CI는 (250번째, 9750번째) 추정된 Z 값, 90% CI는 (500번째, 9500번째) 추정된 Z 값, 80% CI는 (1000번째, 9000번째) 추정된 Z 값을 사용하여 구성되었습니다.
4. 선택된 신뢰 수준에서 특정 범위(정밀도) 내 추정된 Z와 참 Z 값 간의 차이를 초래하는 관측치의 수를 식별합니다.

시뮬레이션의 4단계를 수행하기 위해 먼저 표본 크기를 선택하는 데 사용하기에 적절한 범위 또는 정밀도 수준을 정해야 했습니다. 필요한 정밀도는 추정 중인 Z의 참 값에 따라 결정되므로 단일 정밀도 수준을 모든 상황에 적용할 수는 없습니다. 예를 들어, 아래 표는 서로 다른 두 Z 값의 고정된 정밀도 수준 및 백만 번 기회당 결점 수(DPMO) 간의 관계를 보여줍니다.

표 28 참 Z, DPMO 및 정밀도 수준 간의 관계

정밀도	참 Z = 4.5, DPMO=3.4		참 Z = 2.5, DPMO = 6209.7	
	DPMO 하한	DPMO 상한	DPMO 하한	DPMO 상한
참 Z +/- 0.1	2.0	4.4	4661.2	8197.5
참 Z +/- 0.2	1	8.5	3467.0	10724.1
참 Z +/- 0.3	0.79	13.3	2555.0	13903.0

표에서 보듯이, Z 값이 4.5인 경우 대부분의 분야에서 DPMO 하한과 DPMO 상한 값의 차이(예: 0.79 대 13.3)가 실제적인 차이를 별로 만들지 않기 때문에 세 가지 정밀도 수준(+/-

0.1, +/-0.2 및 +/-0.3)을 모두 고려할 수 있습니다. 그러나 참 Z 값이 2.5인 경우 정밀도 수준 +/- 0.2 및 +/-0.3은 허용되지 않습니다. 예를 들어, 정밀도 수준 +/-0.3에서 DPMO 상한은 13,903으로, DPMO 하한 값 6209와 크게 다릅니다. 따라서 참 Z 값을 기준으로 정밀도를 선택해야 하는 것으로 보입니다.

이 시뮬레이션에서는 다음과 같은 세 가지 정밀도 수준을 사용하여 필요한 관측치 수를 식별했습니다.

표 29 시뮬레이션을 위한 Z의 정밀도 수준

한계	계산	Z의 범위
15%	참 Z +/- 0.15 * 참 Z	(0.85 참 Z, 1.15 참 Z)
10%	참 Z +/- 0.1 * 참 Z	(0.9 참 Z, 1.1 참 Z)
5%	참 Z +/- 0.1 * 참 Z	(0.95 참 Z, 1.05 참 Z)

결과의 요약

시뮬레이션의 주요 결과는 아래 표 30에 나와 있습니다. 표에는 90% 신뢰 수준으로 세 가지 정밀도의 각 수준에서 여러 목표 Z 값에 필요한 관측치의 수가 표시되어 있습니다.

표 30 90% 신뢰 수준에서 각 정밀도 한계에 필요한 관측치의 수

목표 Z	목표 DPMO	관측치 수		
		15% 한계	10% 한계	5% 한계
6.02	0.00085	85	175	675
5.52	0.01695	85	175	650
5.00	0.28665	87	175	625
4.52	3.09198	90	175	600
4.01	30.36	83	175	650
3.51	224.1	90	185	650
3.02	1263.9	94	200	700
2.50	6209.7	103	215	750

목표 Z	목표 DPMO	관측치 수		
		15% 한계	10% 한계	5% 한계
2.01	22215.6	115	225	900
1.50	66807.2	135	300	1000
1.01	156247.6	185	400	1600

정밀도의 한계가 좁아짐에 따라 필요한 관측치의 수가 증가합니다. 또한 아래 항목의 표 31-52에 표시된 상세 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이, 신뢰 수준을 90%에서 95%로 증가시키면 훨씬 더 많은 관측치가 필요합니다.

시뮬레이션 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 내립니다.

1. 적당히 정밀한 공정 능력 추정치를 생성하기 위해 필요한 관측치의 수는 공정의 실제 공정 능력에 따라 달라집니다.
2. 일반적인 목표 벤치마크 Z 값($Z > 3$)의 경우, 약 90% 신뢰 수준에서 최소 100개의 관측치를 사용하여 추정된 공정 벤치마크 Z가 참 Z 값의 15%($0.85 * \text{참 Z}$, $1.15 * \text{참 Z}$) 내에 포함됩니다. 관측치 수를 175개 이상으로 증가시키는 경우 추정된 벤치마크 Z의 정밀도는 10% 한계($0.9 * \text{참 Z}$, $1.1 * \text{참 Z}$) 내에 포함됩니다.

상세 시뮬레이션 결과

다음 표에는 위의 표 30에 요약된 시뮬레이션의 상세 결과가 나와 있습니다. 각 목표 Z 및 각 신뢰 수준과 각 정밀도 수준에 대해 해당 신뢰 구간이 기준 구간 내 포함되는 최소 관측치 수를 식별합니다.

예를 들어, 아래 표시된 첫 번째 결과 집합에서 목표 Z = 6.02일 때 정밀도의 15% 한계에 대한 기준 구간은 (5.117, 6.923)으로 계산됩니다(표 31의 행 1 참고). 표 32에서는 90% 신뢰 수준에서 관측치 수가 85로 증가할 때까지 열 3의 구간이 이 기준 구간에 포함되지 않습니다. 따라서 85는 목표 Z가 6.02일 때 15% 정밀도 한계에서 90% 신뢰 수준을 달성하는 데 필요한 추정된 최소 관측치 수입니다. 표 33-51에 있는 다른 목표 Z 값의 신뢰 수준 및 정밀도 한계에 대한 결과도 비슷하게 해석할 수 있습니다.

목표 Z= 6.02 목표 DPMO = 0.00085

표 31 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 5.117$	$Z + 0.15Z = 6.923$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 5.42$	$Z + 0.1Z = 6.62$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 5.72$	$Z + 0.05Z = 6.32$

표 32 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
5	(3.36, 20.97)	(3.64, 13.91)	(4.04, 11.22)
10	(3.97, 11.82)	(4.23, 9.65)	(4.54, 8.63)
15	(4.26, 10.14)	(4.49, 8.65)	(4.79, 7.95)
20	(4.47, 9.40)	(4.67, 8.16)	(4.93, 7.63)
25	(4.60, 8.82)	(4.79, 7.87)	(5.01, 7.43)
30	(4.70, 8.49)	(4.88, 7.65)	(5.10, 7.25)
35	(4.78, 8.23)	(4.95, 7.52)	(5.16, 7.12)
40	(4.86, 8.08)	(5.02, 7.43)	(5.22, 7.09)
45	(4.90, 7.89)	(5.05, 7.30)	(5.26, 7.00)
50	(4.94, 7.78)	(5.09, 7.25)	(5.28, 6.93)
60	(5.05, 7.55)	(5.18, 7.08)	(5.34, 6.81)
70	(5.11, 7.43)	(5.24, 6.97)	(5.39, 6.75)
80	(5.15, 7.32)	(5.28, 6.94)	(5.43, 6.71)
85		(5.30, 6.92)	
90	(5.20, 7.23)	(5.32, 6.87)	(5.46, 6.67)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
100	(5.24, 7.15)	(5.35, 6.83)	(5.48, 6.64)
105	(5.26, 7.13)	(5.37, 6.81)	(5.51, 6.63)
110	(5.27, 7.10)	(5.38, 6.78)	(5.51, 6.60)
120	(5.31, 7.07)	(5.41, 6.73)	(5.54, 6.55)
130	(5.34, 7.00)	(5.44, 6.71)	(5.56, 6.55)
140	(5.35, 6.97)	(5.45, 6.70)	(5.57, 6.54)
150	(5.37, 6.89)	(5.47, 6.67)	(5.58, 6.51)
175	(5.42, 6.87)	(5.50, 6.62)	(5.62, 6.48)
200	(5.46, 6.77)	(5.54, 6.55)	(5.64, 6.43)
250	(5.51, 6.71)	(5.58, 6.51)	(5.67, 6.40)
300	(5.56, 6.62)	(5.63, 6.46)	(5.71, 6.36)
350	(5.59, 6.59)	(5.65, 6.43)	(5.73, 6.34)
400	(5.62, 6.54)	(5.68, 6.40)	(5.75, 6.32)
450	(5.62, 6.51)	(5.69, 6.38)	(5.76, 6.30)
500	(5.65, 6.50)	(5.71, 6.36)	(5.78, 6.28)
550	(5.68, 6.46)	(5.73, 6.35)	(5.79, 6.27)
650	(5.71, 6.43)	(5.75, 6.32)	(5.81, 6.24)
700	(5.71, 6.41)	(5.76, 6.31)	(5.81, 6.24)
900	(5.75, 6.37)	(5.79, 6.27)	(5.84, 6.21)
1000	(5.76, 6.34)	(5.80, 6.26)	(5.85, 6.20)
1050	(5.77, 6.35)	(5.81, 6.25)	(5.85, 6.20)
1100	(5.77, 6.33)	(5.81, 6.25)	(5.86, 6.20)
1150	(5.78, 6.32)	(5.82, 6.25)	(5.86, 6.20)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
1200	(5.78, 6.33)	(5.82, 6.24)	(5.86, 6.18)
1250	(5.79, 6.32)	(5.82, 6.23)	(5.87, 6.18)
1300	(5.80, 6.31)	(5.83, 6.23)	(5.87, 6.18)
1350	(5.80, 6.30)	(5.83, 6.22)	(5.87, 6.18)
1400	(5.80, 6.30)	(5.83, 6.22)	(5.88, 6.18)
1450	(5.80, 6.28)	(5.84, 6.22)	(5.88, 6.17)
1500	(5.81, 6.28)	(5.84, 6.21)	(5.88, 6.17)
1550	(5.81, 6.28)	(5.84, 6.21)	(5.88, 6.17)
1600	(5.81, 6.28)	(5.85, 6.21)	(5.88, 6.17)
1650	(5.81, 6.28)	(5.85, 6.21)	(5.89, 6.17)
1700	(5.81, 6.27)	(5.85, 6.20)	(5.89, 6.17)

목표 Z= 5.52 목표 DPMO = 0.01695

표 33 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 4.6920$	$Z + 0.15Z = 6.3480$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 4.97$	$Z + 0.1Z = 6.07$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 5.24$	$Z + 0.05Z = 5.80$

표 34 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
5	(3.18, 18.68)	(3.49, 12.87)	(3.86, 10.62)
10	(3.68, 11.28)	(3.92, 9.12)	(4.22, 8.14)
15	(3.99, 9.38)	(4.20, 8.03)	(4.46, 7.40)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
20	(4.15, 8.74)	(4.34, 7.64)	(4.59, 7.08)
25	(4.27, 8.18)	(4.45, 7.32)	(4.67, 6.86)
30	(4.36, 7.80)	(4.52, 7.13)	(4.75, 6.72)
35	(4.43, 7.61)	(4.59, 6.94)	(4.79, 6.60)
40	(4.47, 7.45)	(4.64, 6.84)	(4.82, 6.53)
45	(4.56, 7.23)	(4.69, 6.73)	(4.86, 6.44)
50	(4.55, 7.14)	(4.71, 6.65)	(4.88, 6.38)
60	(4.65, 7.00)	(4.78, 6.56)	(4.93, 6.32)
70	(4.71, 6.84)	(4.82, 6.46)	(4.97, 6.23)
80	(4.75, 6.73)	(4.87, 6.38)	(5.00, 6.18)
83		(4.88, 6.36)	
84		(4.87, 6.37)	
85		(4.89, 6.32)	
90	(4.80, 6.65)	(4.91, 6.33)	(5.03, 6.14)
100	(4.84, 6.60)	(4.94, 6.29)	(5.06, 6.12)
115	(4.86, 6.50)	(4.96, 6.23)	(5.08, 6.07)
125	(4.88, 6.45)	(4.99, 6.19)	(5.10, 6.04)
150	(4.94, 6.38)	(5.03, 6.13)	(5.14, 5.99)
175	(4.98, 6.17)	(5.06, 6.06)	(5.16, 5.95)
200	(5.02, 6.21)	(5.09, 6.03)	(5.18, 5.92)
250	(5.06, 6.15)	(5.14, 5.98)	(5.22, 5.87)
300	(5.10, 6.09)	(5.16, 5.94)	(5.24, 5.84)
350	(5.13, 6.04)	(5.19, 5.90)	(5.26, 5.81)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
375	(5.13, 6.02)	(5.19, 5.88)	(5.27, 5.80)
400	(5.15, 6.00)	(5.21, 5.87)	(5.28, 5.79)
450	(5.18, 5.98)	(5.22, 5.85)	(5.29, 5.78)
500	(5.19, 5.96)	(5.24, 5.84)	(5.30, 5.77)
650	(5.23, 5.83)	(5.27, 5.80)	(5.33, 5.73)
700	(5.24, 5.89)	(5.28, 5.78)	(5.34, 5.72)
800	(5.25, 5.86)	(5.29, 5.76)	(5.35, 5.71)
900	(5.27, 5.83)	(5.31, 5.75)	(5.36, 5.70)
1000	(5.28, 5.82)	(5.32, 5.74)	(5.37, 5.69)
1100	(5.29, 5.80)	(5.33, 5.73)	(5.37, 5.68)
1200	(5.30, 5.79)	(5.33, 5.72)	(5.38, 5.68)
1300	(5.31, 5.78)	(5.34, 5.71)	(5.38, 5.67)
1400	(5.31, 5.77)	(5.35, 5.70)	(5.39, 5.66)
1500	(5.32, 5.76)	(5.35, 5.70)	(5.39, 5.66)
1600	(5.33, 5.76)	(5.36, 5.69)	(5.40, 5.65)
1700	(5.34, 5.75)	(5.37, 5.69)	(5.40, 5.65)

목표 Z= 5.00 목표 DPMO = 0.28665

표 35 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 4.25$	$Z + 0.15Z = 5.75$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 4.5$	$Z + 0.1Z = 5.5$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 4.75$	$Z + 0.05Z = 5.25$

표 36 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
10	(3.38, 10.10)	(3.57, 8.23)	(3.85, 7.36)
20	(3.74, 7.80)	(3.93, 6.89)	(4.16, 6.39)
30	(3.94, 7.16)	(4.10, 6.47)	(4.28, 6.11)
40	(4.07, 6.69)	(4.20, 6.18)	(4.35, 5.90)
50	(4.15, 6.48)	(4.27, 6.06)	(4.41, 5.80)
60	(4.20, 6.27)	(4.32, 5.92)	(4.45, 5.70)
70	(4.26, 6.23)	(4.37, 5.86)	(4.50, 5.64)
80	(4.29, 6.10)	(4.40, 5.78)	(4.53, 5.59)
87		(4.43, 5.75)	
90	(4.31, 6.05)	(4.43, 5.74)	(4.55, 5.56)
100	(4.35, 5.96)	(4.44, 5.68)	(4.57, 5.53)
115	(4.40, 5.91)	(4.49, 5.64)	(4.60, 5.50)
125	(4.40, 5.84)	(4.50, 5.60)	(4.61, 5.46)
150	(4.47, 5.76)	(4.55, 5.55)	(4.65, 5.43)
170	(4.50, 5.70)	(4.57, 5.51)	(4.66, 5.39)
175	(4.50, 5.70)	(4.58, 5.49)	(4.67, 5.39)
200	(4.54, 5.65)	(4.60, 5.48)	(4.69, 5.37)
250	(4.58, 5.57)	(4.64, 5.41)	(4.73, 5.32)
300	(4.61, 5.52)	(4.67, 5.38)	(4.74, 5.29)
350	(4.64, 5.47)	(4.70, 5.34)	(4.76, 5.26)
400	(4.66, 5.45)	(4.71, 5.32)	(4.77, 5.25)
450	(4.68, 5.42)	(4.73, 5.30)	(4.79, 5.23)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
500	(4.69, 5.39)	(4.74, 5.29)	(4.80, 5.23)
600	(4.73, 5.35)	(4.77, 5.26)	(4.82, 5.20)
625	(4.73, 5.36)	(4.77, 5.25)	(4.82, 5.20)
700	(4.74, 5.32)	(4.78, 5.23)	(4.83, 5.18)
800	(4.76, 5.31)	(4.80, 5.23)	(4.85, 5.17)
900	(4.77, 5.28)	(4.81, 5.21)	(4.85, 5.16)
1000	(4.78, 5.27)	(4.82, 5.20)	(4.86, 5.16)
1100	(4.79, 5.26)	(4.82, 5.19)	(4.86, 5.15)
1200	(4.80, 5.25)	(4.83, 5.18)	(4.87, 5.14)
1300	(4.81, 5.24)	(4.83, 5.17)	(4.87, 5.13)
1400	(4.82, 5.22)	(4.84, 5.16)	(4.88, 5.13)
1500	(4.83, 5.22)	(4.85, 5.17)	(4.88, 5.13)
1600	(4.82, 5.22)	(4.85, 5.16)	(4.88, 5.13)
1700	(4.83, 5.21)	(4.86, 5.16)	(4.89, 5.12)

목표 Z= 4.52 목표 DPMO = 3.09198

표 37 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간.

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 3.842$	$Z + 0.15Z = 5.198$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 4.07$	$Z + 0.1Z = 4.97$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 4.29$	$Z + 0.05Z = 4.75$

표 38 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
10	(3.03, 9.22)	(3.22, 7.50)	(3.49, 6.72)
20	(3.36, 7.07)	(3.51, 6.20)	(3.72, 5.78)
30	(3.54, 6.45)	(3.69, 5.83)	(3.86, 5.52)
40	(3.64, 6.08)	(3.78, 5.59)	(3.94, 5.34)
50	(3.75, 5.87)	(3.85, 5.46)	(3.99, 5.23)
60	(3.80, 5.76)	(3.91, 5.37)	(4.04, 5.17)
70	(3.84, 5.61)	(3.94, 5.28)	(4.07, 5.10)
80	(3.88, 5.53)	(3.98, 5.24)	(4.09, 5.07)
90	(3.91, 5.47)	(4.00, 5.20)	(4.12, 5.04)
92		(4.00, 5.19)	
100	(3.93, 5.40)	(4.02, 5.15)	(4.13, 5.01)
115	(3.96, 5.34)	(4.05, 5.10)	(4.16, 4.96)
150	(4.04, 5.23)	(4.11, 5.03)	(4.20, 4.91)
175	(4.07, 5.16)	(4.14, 4.97)	(4.22, 4.87)
200	(4.10, 5.12)	(4.16, 4.95)	(4.24, 4.85)
250	(4.14, 5.03)	(4.20, 4.90)	(4.27, 4.82)
300	(4.17, 4.99)	(4.22, 4.86)	(4.29, 4.79)
350	(4.20, 4.96)	(4.25, 4.83)	(4.30, 4.76)
400	(4.21, 4.93)	(4.26, 4.81)	(4.32, 4.75)
450	(4.23, 4.90)	(4.27, 4.79)	(4.32, 4.73)
500	(4.24, 4.88)	(4.29, 4.78)	(4.34, 4.72)
600	(4.27, 4.84)	(4.31, 4.76)	(4.35, 4.71)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
700	(4.29, 4.82)	(4.32, 4.74)	(4.36, 4.69)
800	(4.29, 4.80)	(4.33, 4.72)	(4.37, 4.68)
900	(4.31, 4.78)	(4.34, 4.71)	(4.38, 4.67)
1000	(4.32, 4.76)	(4.35, 4.70)	(4.39, 4.66)
1100	(4.33, 4.75)	(4.36, 4.68)	(4.39, 4.65)
1200	(4.34, 4.74)	(4.37, 4.68)	(4.40, 4.65)
1300	(4.34, 4.74)	(4.37, 4.68)	(4.40, 4.64)
1400	(4.35, 4.74)	(4.38, 4.67)	(4.41, 4.64)
1500	(4.36, 4.72)	(4.38, 4.67)	(4.41, 4.63)
1600	(4.36, 4.72)	(4.39, 4.66)	(4.42, 4.63)
1700	(4.36, 4.71)	(4.39, 4.66)	(4.42, 4.63)

목표 Z= 4.01 목표 DPMO = 30.36

표 39 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간.

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 3.4085$	$Z + 0.15Z = 4.6115$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 3.61$	$Z + 0.1Z = 4.41$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 3.81$	$Z + 0.05Z = 4.21$

표 40 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
5	(2.12, 12.84)	(2.32, 9.13)	(2.61, 7.35)
10	(2.57, 7.96)	(2.75, 6.50)	(2.97, 5.79)
15	(2.79, 6.75)	(2.95, 5.82)	(3.13, 5.32)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
20	(2.92, 6.21)	(3.06, 5.46)	(3.23, 5.08)
25	(2.99, 5.85)	(3.12, 5.24)	(3.29, 4.91)
30	(3.09, 5.63)	(3.20, 5.08)	(3.35, 4.83)
35	(3.13, 5.50)	(3.26, 5.04)	(3.40, 4.76)
40	(3.17, 5.38)	(3.29, 4.95)	(3.44, 4.71)
45	(3.22, 5.25)	(3.33, 4.86)	(3.47, 4.65)
50	(3.27, 5.15)	(3.36, 4.82)	(3.49, 4.62)
60	(3.32, 5.09)	(3.42, 4.76)	(3.53, 4.56)
70	(3.35, 4.98)	(3.44, 4.68)	(3.56, 4.52)
80	(3.41, 4.88)	(3.50, 4.63)	(3.60, 4.48)
83		(3.50, 4.61)	
85		(3.50, 4.60)	
90	(3.44, 4.82)	(3.52, 4.58)	(3.62, 4.44)
100	(3.47, 4.76)	(3.55, 4.55)	(3.64, 4.43)
110	(3.48, 4.76)	(3.56, 4.51)	(3.65, 4.40)
115	(3.48, 4.73)	(3.56, 4.52)	(3.66, 4.39)
150	(3.55, 4.63)	(3.62, 4.44)	(3.70, 4.33)
175	(3.58, 4.57)	(3.65, 4.41)	(3.72, 4.32)
200	(3.61, 4.53)	(3.67, 4.38)	(3.74, 4.29)
250	(3.65, 4.47)	(3.70, 4.33)	(3.77, 4.26)
300	(3.68, 4.43)	(3.73, 4.31)	(3.79, 4.24)
350	(3.70, 4.40)	(3.74, 4.28)	(3.80, 4.22)
400	(3.72, 4.36)	(3.76, 4.27)	(3.81, 4.20)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
450	(3.74, 4.35)	(3.78, 4.25)	(3.82, 4.19)
500	(3.75, 4.33)	(3.79, 4.24)	(3.84, 4.18)
650	(3.78, 4.28)	(3.81, 4.21)	(3.86, 4.16)
675	(3.79, 4.27)	(3.82, 4.20)	(3.86, 4.16)
700	(3.78, 4.28)	(3.82, 4.20)	(3.86, 4.16)
900	(3.81, 4.25)	(3.84, 4.18)	(3.88, 4.14)
1000	(3.82, 4.23)	(3.85, 4.16)	(3.88, 4.13)
1100	(3.83, 4.22)	(3.86, 4.16)	(3.89, 4.12)
1200	(3.84, 4.21)	(3.87, 4.15)	(3.89, 4.12)
1300	(3.84, 4.20)	(3.87, 4.15)	(3.90, 4.12)
1400	(3.85, 4.19)	(3.88, 4.14)	(3.90, 4.11)
1500	(3.86, 4.18)	(3.88, 4.14)	(3.91, 4.11)
1600	(3.86, 4.18)	(3.88, 4.13)	(3.91, 4.10)
1700	(3.86, 4.18)	(3.89, 4.13)	(3.91, 4.10)

목표 Z= 3.51 목표 DPMO = 224.1

표 41 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 2.9835$	$Z + 0.15Z = 4.0365$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 3.16$	$Z + 0.1Z = 3.86$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 3.33$	$Z + 0.05Z = 3.69$

표 42 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
10	(2.27, 7.08)	(2.43, 5.80)	(2.63, 5.17)
20	(2.57, 5.56)	(2.68, 4.88)	(2.85, 5.52)
30	(2.71, 5.05)	(2.83, 4.54)	(2.96, 4.28)
40	(2.80, 4.73)	(2.90, 4.37)	(3.02, 4.16)
50	(2.86, 4.57)	(2.97, 4.25)	(3.08, 4.07)
60	(2.92, 4.44)	(3.00, 4.18)	(3.10, 4.03)
70	(2.95, 4.37)	(3.03, 4.13)	(3.12, 3.98)
80	(2.97, 4.33)	(3.06, 4.08)	(3.15, 3.94)
90	(3.01, 4.26)	(3.08, 4.04)	(3.17, 3.90)
100	(3.03, 4.22)	(3.11, 4.02)	(3.19, 3.89)
110	(3.05, 4.16)	(3.11, 3.98)	(3.20, 3.86)
150	(3.12, 4.06)	(3.17, 3.91)	(3.24, 3.81)
175	(3.14, 4.02)	(3.19, 3.87)	(3.27, 3.79)
185	(3.14, 4.00)	(3.20, 3.86)	(3.26, 3.78)
200	(3.17, 3.97)	(3.22, 3.84)	(3.28, 3.77)
250	(3.20, 3.92)	(3.24, 3.80)	(3.30, 3.74)
300	(3.22, 3.88)	(3.26, 3.78)	(3.31, 3.72)
350	(3.24, 3.86)	(3.29, 3.76)	(3.33, 3.71)
400	(3.25, 3.83)	(3.30, 3.75)	(3.34, 3.69)
450	(3.27, 3.81)	(3.31, 3.72)	(3.35, 3.67)
500	(3.28, 3.79)	(3.31, 3.71)	(3.36, 3.67)
600	(3.30, 3.77)	(3.33, 3.70)	(3.37, 3.65)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
650	(3.31, 3.76)	(3.34, 3.69)	(3.37, 3.65)
700	(3.31, 3.74)	(3.34, 3.68)	(3.38, 3.64)
800	(3.33, 3.74)	(3.35, 3.67)	(3.38, 3.63)
900	(3.33, 3.71)	(3.36, 3.66)	(3.39, 3.62)
1000	(3.34, 3.71)	(3.37, 3.65)	(3.40, 3.61)
1100	(3.35, 3.69)	(3.38, 3.64)	(3.40, 3.61)
1200	(3.36, 3.69)	(3.38, 3.64)	(3.41, 3.61)
1300	(3.36, 3.69)	(3.39, 3.63)	(3.41, 3.60)
1400	(3.37, 3.67)	(3.39, 3.63)	(3.42, 3.60)
1500	(3.38, 3.67)	(3.40, 3.62)	(3.42, 3.60)
1600	(3.38, 3.66)	(3.40, 3.62)	(3.42, 3.59)
1700	(3.38, 3.66)	(3.40, 3.61)	(3.42, 3.59)

목표 Z= 3.02 목표 DPMO = 1263.9

표 43 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 2.567$	$Z + 0.15Z = 3.473$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 2.72$	$Z + 0.1Z = 3.32$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 2.87$	$Z + 0.05Z = 3.17$

표 44 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
10	(1.92, 6.26)	(2.07, 5.02)	(2.26, 4.49)
20	(2.22, 4.83)	(2.33, 4.23)	(2.46, 3.91)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
30	(2.32, 4.34)	(2.42, 3.92)	(2.54, 3.70)
40	(2.40, 4.11)	(2.48, 3.77)	(2.60, 3.58)
50	(2.45, 3.96)	(2.55, 3.68)	(2.64, 3.52)
60	(2.50, 3.87)	(2.58, 3.62)	(2.68, 3.48)
70	(2.54, 3.79)	(2.61, 3.55)	(2.70, 3.43)
80	(2.56, 3.73)	(2.63, 3.52)	(2.71, 3.40)
90	(2.59, 3.68)	(2.65, 3.49)	(2.73, 3.38)
94		(2.66, 3.47)	
100	(2.61, 3.65)	(2.67, 3.46)	(2.74, 3.36)
110	(2.62, 3.61)	(2.69, 3.44)	(2.76, 3.34)
120	(2.64, 3.58)	(2.70, 3.42)	(2.76, 3.32)
150	(2.68, 3.52)	(2.73, 3.37)	(2.79, 3.29)
200	(2.72, 3.44)	(2.76, 3.32)	(2.81, 3.25)
250	(2.75, 3.38)	(2.79, 3.28)	(2.84, 3.23)
300	(2.77, 3.36)	(2.81, 3.26)	(2.86, 3.20)
350	(2.78, 3.32)	(2.82, 3.24)	(2.87, 3.19)
400	(2.80, 3.30)	(2.83, 3.22)	(2.87, 3.18)
425	(2.81, 3.29)	(2.84, 3.22)	(2.88, 3.17)
450	(2.81, 3.28)	(2.85, 3.21)	(2.88, 3.17)
500	(2.82, 3.28)	(2.85, 3.20)	(2.88, 3.16)
600	(2.84, 3.25)	(2.87, 3.19)	(2.90, 3.15)
650	(2.84, 3.24)	(2.87, 3.18)	(2.90, 3.14)
700	(2.85, 3.23)	(2.88, 3.17)	(2.91, 3.14)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
800	(2.86, 3.22)	(2.88, 3.16)	(2.91, 3.13)
900	(2.87, 3.21)	(2.89, 3.16)	(2.92, 3.12)
1000	(2.88, 3.20)	(2.90, 3.15)	(2.93, 3.12)
1100	(2.88, 3.18)	(2.91, 3.14)	(2.93, 3.11)
1200	(2.89, 3.18)	(2.91, 3.14)	(2.93, 3.11)
1300	(2.89, 3.17)	(2.91, 3.13)	(2.94, 3.10)
1400	(2.90, 3.16)	(2.92, 3.12)	(2.94, 3.10)
1500	(2.90, 3.16)	(2.92, 3.12)	(2.94, 3.10)
1600	(2.91, 3.15)	(2.92, 3.12)	(2.94, 3.10)
1700	(2.91, 3.15)	(2.93, 3.12)	(2.95, 3.09)

목표 Z= 2.50 목표 DPMO = 6209.7

표 45 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 2.125$	$Z + 0.15Z = 2.875$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 2.25$	$Z + 0.1Z = 2.75$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 2.38$	$Z + 0.05Z = 2.63$

표 46 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
10	(1.51, 5.09)	(1.63, 4.13)	(1.78, 3.69)
20	(1.76, 4.05)	(1.86, 3.51)	(1.98, 3.25)
30	(1.87, 3.57)	(1.97, 3.27)	(2.07, 3.07)
40	(1.94, 3.40)	(2.01, 3.14)	(2.11, 2.98)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
50	(1.99, 3.32)	(2.07, 3.07)	(2.16, 2.93)
60	(2.04, 3.22)	(2.10, 3.00)	(2.18, 2.88)
70	(2.08, 3.14)	(2.13, 2.96)	(2.21, 2.85)
80	(2.10, 3.10)	(2.16, 2.93)	(2.23, 2.82)
90	(2.11, 3.07)	(2.16, 2.91)	(2.24, 2.82)
100	(2.13, 3.02)	(2.18, 2.88)	(2.25, 2.79)
102		(2.19, 2.88)	
103		(2.19, 2.87)	
105		(2.19, 2.86)	
120	(2.16, 2.98)	(2.21, 2.83)	(2.27, 2.76)
125	(2.17, 2.97)	(2.21, 2.84)	(2.27, 2.76)
130	(2.18, 2.96)	(2.22, 2.83)	(2.28, 2.75)
135	(2.18, 2.94)	(2.23, 2.81)	(2.29, 2.74)
150	(2.19, 2.94)	(2.24, 2.81)	(2.29, 2.73)
200	(2.23, 2.87)	(2.27, 2.77)	(2.32, 2.71)
215	(2.24, 2.85)	(2.28, 2.75)	(2.33, 2.69)
225	(2.25, 2.83)	(2.29, 2.74)	(2.33, 2.69)
250	(2.26, 2.82)	(2.29, 2.73)	(2.33, 2.68)
300	(2.28, 2.79)	(2.31, 2.72)	(2.35, 2.67)
350	(2.30, 2.77)	(2.33, 2.69)	(2.37, 2.65)
400	(2.31, 2.75)	(2.34, 2.68)	(2.37, 2.64)
450	(2.32, 2.73)	(2.35, 2.67)	(2.38, 2.63)
500	(2.33, 2.72)	(2.35, 2.66)	(2.38, 2.63)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
600	(2.34, 2.71)	(2.37, 2.65)	(2.40, 2.61)
700	(2.36, 2.69)	(2.38, 2.64)	(2.40, 2.61)
750	(2.36, 2.68)	(2.38, 2.63)	(2.41, 2.60)
800	(2.36, 2.67)	(2.39, 2.63)	(2.41, 2.60)
900	(2.37, 2.66)	(3.39, 2.62)	(2.42, 2.59)
1000	(2.38, 2.65)	(2.40, 2.61)	(2.42, 2.59)
1100	(2.38, 2.65)	(2.40, 2.61)	(2.42, 2.58)
1200	(2.39, 2.64)	(2.41, 2.60)	(2.43, 2.58)
1300	(2.39, 2.64)	(2.41, 2.60)	(2.43, 2.58)
1400	(2.39, 2.63)	(2.41, 2.60)	(2.43, 2.57)
1500	(2.40, 2.63)	(2.41, 2.59)	(2.43, 2.57)
1600	(2.40, 2.62)	(2.42, 2.59)	(2.44, 2.57)
1700	(2.40, 2.62)	(2.42, 2.59)	(2.44, 2.57)

목표 Z= 2.01 목표 DPMO = 22215.6

표 47 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 1.7085$	$Z + 0.15Z = 2.3115$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 1.81$	$Z + 0.1Z = 2.21$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 1.91$	$Z + 0.05Z = 2.11$

표 48 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
5	(0.87, 6.72)	(0.99, 4.65)	(1.16, 3.78)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
10	(1.15, 4.20)	(1.25, 3.39)	(1.38, 2.96)
15	(1.29, 3.53)	(1.38, 3.02)	(1.50, 2.73)
20	(1.36, 3.23)	(1.45, 2.80)	(1.55, 2.59)
25	(1.43, 3.05)	(1.50, 2.72)	(1.59, 2.53)
30	(1.46, 2.95)	(1.54, 2.65)	(1.63, 2.49)
35	(1.49, 2.85)	(1.57, 2.59)	(1.65, 2.45)
40	(1.53, 2.80)	(1.59, 2.54)	(1.68, 2.42)
45	(1.55, 2.72)	(1.61, 2.50)	(1.69, 2.38)
50	(1.58, 2.68)	(1.64, 2.48)	(1.71, 2.36)
60	(1.61, 2.61)	(1.66, 2.44)	(1.72, 2.33)
70	(1.63, 2.55)	(1.69, 2.40)	(1.75, 2.30)
80	(1.66, 2.52)	(1.71, 2.37)	(1.77, 2.29)
90	(1.68, 2.49)	(1.72, 2.35)	(1.78, 2.27)
100	(1.69, 2.46)	(1.74, 2.33)	(1.79, 2.26)
115		(1.75, 2.31)	
120		(1.76, 2.30)	
150	(1.75, 2.37)	(1.79, 2.27)	(1.83, 2.21)
200	(1.78, 2.32)	(1.81, 2.23)	(1.85, 2.18)
225	(1.79, 2.30)	(1.82, 2.22)	(1.87, 2.17)
250	(1.80, 2.29)	(1.83, 2.21)	(1.87, 2.16)
300	(1.82, 2.26)	(1.85, 2.18)	(1.88, 2.14)
350	(1.83, 2.24)	(1.86, 2.18)	(1.89, 2.14)
400	(1.84, 2.23)	(1.87, 2.17)	(1.90, 2.13)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
450	(1.86, 2.21)	(1.88, 2.15)	(1.91, 2.12)
500	(1.86, 2.20)	(1.88, 2.15)	(1.91, 2.12)
700	(1.88, 2.17)	(1.90, 2.13)	(1.93, 2.10)
800	(1.89, 2.16)	(1.91, 2.12)	(1.93, 2.09)
850	(1.90, 2.15)	(1.91, 2.12)	(1.93, 2.09)
900	(1.90, 2.15)	(1.92, 2.11)	(1.94, 2.09)
1000	(1.90, 2.15)	(1.92, 2.11)	(1.94, 2.09)
1100	(1.91, 2.13)	(1.93, 2.10)	(1.95, 2.08)
1200	(1.92, 2.13)	(1.93, 2.10)	(1.95, 2.08)
1300	(1.92, 2.13)	(1.93, 2.09)	(1.95, 2.08)
1400	(1.92, 2.12)	(1.94, 2.09)	(1.95, 2.07)
1500	(1.93, 2.12)	(1.94, 2.09)	(1.95, 2.07)
1600	(1.93, 2.11)	(1.94, 2.09)	(1.96, 2.07)
1700	(1.93, 2.11)	(1.94, 2.09)	(1.96, 2.07)

목표 Z= 1.50 목표 DPMO = 66807.2

표 49 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 1.2750$	$Z + 0.15Z = 1.7250$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 1.35$	$Z + 0.1Z = 1.65$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 1.43$	$Z + 0.05Z = 1.58$

표 50 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
10	(0.76, 3.27)	(0.85, 2.55)	(0.96, 2.27)
20	(0.94, 2.53)	(1.03, 2.18)	(1.11, 2.00)
30	(1.04, 2.26)	(1.10, 2.02)	(1.18, 1.89)
40	(1.09, 2.13)	(1.15, 1.94)	(1.22, 1.83)
50	(1.13, 2.06)	(1.19, 1.89)	(1.25, 1.79)
60	(1.16, 2.00)	(1.21, 1.84)	(1.27, 1.79)
70	(1.19, 1.96)	(1.23, 1.82)	(1.29, 1.75)
80	(1.20, 1.92)	(1.25, 1.80)	(1.30, 1.72)
90	(1.23, 1.91)	(1.26, 1.79)	(1.31, 1.72)
100	(1.24, 1.88)	(1.27, 1.76)	(1.32, 1.70)
130		(1.30, 1.73)	
132		(1.30, 1.73)	
135		(1.30, 1.72)	
140		(1.31, 1.72)	
145		(1.31, 1.72)	
150	(1.28, 1.80)	(1.31, 1.72)	(1.35, 1.67)
175	(1.29, 1.78)	(1.32, 1.70)	(1.36, 1.66)
185	(1.30, 1.77)	(1.33, 1.70)	(1.37, 1.65)
200	(1.30, 1.76)	(1.33, 1.68)	(1.37, 1.64)
250	(1.33, 1.72)	(1.36, 1.66)	(1.39, 1.63)
275	(1.33, 1.72)	(1.36, 1.66)	(1.39, 1.62)
300	(1.35, 1.70)	(1.37, 1.65)	(1.40, 1.61)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
350	(1.36, 1.70)	(1.38, 1.64)	(1.40, 1.61)
400	(1.36, 1.67)	(1.38, 1.63)	(1.41, 1.60)
450	(1.37, 1.67)	(1.39, 1.62)	(1.41, 1.59)
500	(1.38, 1.66)	(1.40, 1.62)	(1.42, 1.59)
600	(1.39, 1.65)	(1.40, 1.61)	(1.42, 1.58)
700	(1.40, 1.64)	(1.41, 1.60)	(1.43, 1.58)
800	(1.40, 1.63)	(1.42, 1.59)	(1.44, 1.57)
900	(1.41, 1.62)	(1.42, 1.59)	(1.44, 1.57)
1000	(1.41, 1.61)	(1.43, 1.58)	(1.44, 1.56)
1100	(1.41, 1.61)	(1.43, 1.58)	(1.44, 1.56)
1200	(1.42, 1.60)	(1.43, 1.57)	(1.45, 1.56)
1300	(1.42, 1.60)	(1.43, 1.57)	(1.45, 1.56)
1400	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.57)	(1.45, 1.55)
1500	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.57)	(1.45, 1.55)
1600	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.57)	(1.46, 1.55)
1700	(1.43, 1.59)	(1.44, 1.56)	(1.46, 1.55)

목표 Z= 1.01 목표 DPMO = 156247.6

표 51 각 정밀도 수준에 대해 최소 관측치 수를 선택하는 데 사용되는 기준 구간

정밀도	하한	상한
15% 한계	$Z - 0.15Z = 0.8585$	$Z + 0.15Z = 1.1615$
10% 한계	$Z - 0.1Z = 0.91$	$Z + 0.1Z = 1.11$
5% 한계	$Z - 0.05Z = 0.96$	$Z + 0.05Z = 1.06$

표 52 다양한 관측치 수에 대한 벤치마크 Z의 시뮬레이션된 신뢰 구간

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
10	(0.38, 2.33)	(0.46, 1.86)	(0.55, 1.62)
20	(0.55, 1.83)	(0.62, 1.55)	(0.68, 1.41)
30	(0.62, 1.63)	(0.67, 1.44)	(0.74, 1.32)
40	(0.67, 1.54)	(0.72, 1.37)	(0.77, 1.28)
50	(0.70, 1.45)	(0.75, 1.32)	(0.80, 1.24)
60	(0.73, 1.42)	(0.77, 1.29)	(0.82, 1.22)
70	(0.75, 1.38)	(0.78, 1.27)	(0.83, 1.21)
80	(0.76, 1.35)	(0.80, 1.25)	(0.84, 1.19)
90	(0.78, 1.32)	(0.81, 1.23)	(0.85, 1.18)
100	(0.78, 1.31)	(0.81, 1.22)	(0.85, 1.17)
150	(0.82, 1.25)	(0.84, 1.18)	(0.88, 1.14)
185		(0.86, 1.16)	
187		(0.87, 1.16)	
190		(0.87, 1.16)	
200	(0.85, 1.21)	(0.87, 1.15)	(0.90, 1.12)
250	(0.86, 1.19)	(0.88, 1.14)	(0.91, 1.11)
300	(0.87, 1.18)	(0.89, 1.13)	(0.92, 1.10)
350	(0.88, 1.16)	(0.90, 1.12)	(0.92, 1.09)
400	(0.89, 1.14)	(0.91, 1.11)	(0.93, 1.08)
450	(0.89, 1.14)	(0.91, 1.11)	(0.93, 1.08)
500	(0.90, 1.13)	(0.92, 1.10)	(0.94, 1.08)
600	(0.91, 1.12)	(0.93, 1.09)	(0.94, 1.07)

관측치 수	95% CI	90% CI	80% CI
700	(0.92, 1.11)	(0.93, 1.08)	(0.95, 1.07)
800	(0.93, 1.11)	(0.94, 1.08)	(0.95, 1.06)
900	(0.93, 1.10)	(0.94, 1.07)	(0.95, 1.06)
1000	(0.93, 1.09)	(0.94, 1.07)	(0.96, 1.06)
1100	(0.94, 1.09)	(0.95, 1.07)	(0.96, 1.05)
1200	(0.94, 1.09)	(0.95, 1.06)	(0.96, 1.05)
1300	(0.94, 1.08)	(0.95, 1.06)	(0.96, 1.05)
1400	(0.94, 1.08)	(0.95, 1.06)	(0.97, 1.05)
1500	(0.95, 1.08)	(0.95, 1.06)	(0.97, 1.05)
1600	(0.95, 1.08)	(0.96, 1.06)	(0.97, 1.05)
1700	(0.95, 1.07)	(0.96, 1.06)	(0.97, 1.04)

© 2015, 2017 Minitab Inc. All rights reserved.

Minitab®, Quality. Analysis. Results.® and the Minitab® logo are all registered trademarks of Minitab, Inc., in the United States and other countries. See minitab.com/legal/trademarks for more information.