**공정능력지수 (Process Capability Index)**

# 1.1 Cp (공정 능력 지수)

이론:  
- Cp는 공정이 규격 한계(상한 및 하한) 내에서 제품을 일관되게 생산할 수 있는 능력을 평가하는 지표입니다.  
- Cp는 공정의 변동성(분산)이 규격 한계 내에서 얼마나 잘 관리되고 있는지를 측정합니다.  
- Cp 값이 1.0 이상이면 공정이 규격 내에서 안정적으로 운영된다고 판단할 수 있습니다. 일반적으로 1.33 이상을 권장합니다.

## 수식:

Cp는 다음과 같이 계산됩니다:  
Cp = (USL - LSL) / 6σ  
여기서,  
- USL: 상한 규격 (Upper Specification Limit)  
- LSL: 하한 규격 (Lower Specification Limit)  
- σ: 공정의 표준 편차

## 사례:

예를 들어, 특정 부품의 길이 규격이 100 ± 5mm(즉, LSL = 95mm, USL = 105mm)이고, 공정의 표준 편차가 0.8mm인 경우, Cp는 다음과 같이 계산됩니다:  
Cp = (105 - 95) / (6 \* 0.8) = 10 / 4.8 ≈ 2.08  
Cp가 2.08로 매우 높기 때문에, 이 공정은 규격 내에서 매우 안정적으로 운영되고 있음을 알 수 있습니다.

# 1.2 Cpl (Lower Process Capability Index)

이론:  
- Cpl은 공정이 하한 규격(Lower Specification Limit) 내에서 얼마나 안정적으로 운영되고 있는지를 측정합니다.  
- 공정의 평균이 하한 규격에 얼마나 가까운지를 평가합니다.

## 수식:

Cpl은 다음과 같이 계산됩니다:  
Cpl = (X̄ - LSL) / 3σ  
여기서,  
- X̄: 공정의 평균

## 사례:

위의 예에서 공정의 평균이 101mm라면, Cpl은 다음과 같이 계산됩니다:  
Cpl = (101 - 95) / (3 \* 0.8) = 6 / 2.4 = 2.5  
이 경우, Cpl이 2.5로 높은 값을 가지므로, 공정은 하한 규격에서 멀리 떨어져 안정적으로 운영되고 있음을 의미합니다.

# 1.3 Cpu (Upper Process Capability Index)

이론:  
- Cpu는 공정이 상한 규격(Upper Specification Limit) 내에서 얼마나 안정적으로 운영되고 있는지를 평가합니다.  
- 공정의 평균이 상한 규격에 얼마나 가까운지를 측정합니다.

## 수식:

Cpu는 다음과 같이 계산됩니다:  
Cpu = (USL - X̄) / 3σ

## 사례:

공정의 평균이 101mm일 때, Cpu는 다음과 같이 계산됩니다:  
Cpu = (105 - 101) / (3 \* 0.8) = 4 / 2.4 = 1.67  
Cpu 값이 1.67로, 공정이 상한 규격에 가까운지 여부를 알 수 있습니다. 이 경우 상한 규격에서 적절한 거리를 유지하고 있습니다.

# 1.4 Cpk (Process Capability Index Adjusted for Centering)

이론:  
- Cpk는 Cp와 다르게 공정의 평균이 규격의 중심에서 얼마나 벗어나 있는지를 반영한 공정능력지수입니다.  
- Cpk는 공정의 중심화 정도와 변동성을 함께 고려하여 공정의 실제 능력을 평가합니다.

## 수식:

Cpk는 다음과 같이 계산됩니다:  
Cpk = min(Cpl, Cpu)

## 사례:

위의 Cpl과 Cpu 값을 사용하여 Cpk를 계산하면,  
Cpk = min(2.5, 1.67) = 1.67  
Cpk 값이 1.67로, 공정이 규격 내에서 적절히 중심화되어 있으며, 안정적으로 운영되고 있음을 나타냅니다.

**공정성능지수 (Process Performance Index)**

# 2.1 Pp (Process Performance Index)

이론:  
- Pp는 공정의 성능을 전체 데이터 분포와 규격 한계를 비교하여 평가하는 지표입니다.  
- Pp는 Cp와 유사하지만, 단기 변동성이 아니라 전체 공정 데이터의 변동성을 고려합니다.  
- 공정이 안정적이지 않거나 중심에서 벗어나 있을 때 사용됩니다.

## 수식:

Pp는 다음과 같이 계산됩니다:  
Pp = (USL - LSL) / 6s  
여기서,  
- s: 전체 공정 데이터의 표준 편차

## 사례:

만약 공정 데이터의 전체 표준 편차가 1mm라면, Pp는 다음과 같이 계산됩니다:  
Pp = (105 - 95) / (6 \* 1) = 10 / 6 ≈ 1.67  
Pp 값이 1.67로, 공정이 전체적으로 규격 내에서 안정적으로 운영되고 있음을 나타냅니다.

# 2.2 Ppl (Lower Process Performance Index)

이론:  
- Ppl은 전체 공정 데이터가 하한 규격(Lower Specification Limit) 내에서 얼마나 일관되게 운영되고 있는지를 평가합니다.

## 수식:

Ppl은 다음과 같이 계산됩니다:  
Ppl = (X̄ - LSL) / 3s

## 사례:

공정 평균이 101mm이고 전체 표준 편차가 1mm라면, Ppl은 다음과 같이 계산됩니다:  
Ppl = (101 - 95) / (3 \* 1) = 6 / 3 = 2.0  
Ppl 값이 2.0으로, 공정이 하한 규격에 비해 안정적으로 운영되고 있음을 나타냅니다.

# 2.3 Ppu (Upper Process Performance Index)

이론:  
- Ppu는 전체 공정 데이터가 상한 규격(Upper Specification Limit) 내에서 얼마나 일관되게 운영되고 있는지를 평가합니다.

## 수식:

Ppu는 다음과 같이 계산됩니다:  
Ppu = (USL - X̄) / 3s

## 사례:

공정 평균이 101mm이고 전체 표준 편차가 1mm라면, Ppu는 다음과 같이 계산됩니다:  
Ppu = (105 - 101) / (3 \* 1) = 4 / 3 ≈ 1.33  
Ppu 값이 1.33으로, 공정이 상한 규격에 비해 안정적으로 운영되고 있음을 나타냅니다.

# 2.4 Ppk (Process Performance Index Adjusted for Centering)

이론:  
- Ppk는 Pp와 다르게 공정의 중심화 정도를 반영하여 전체 공정 데이터의 성능을 평가합니다.  
- Ppk는 공정이 규격 내에서 얼마나 잘 중심화되어 있는지를 고려하여 공정의 성능을 평가합니다.

## 수식:

Ppk는 다음과 같이 계산됩니다:  
Ppk = min(Ppl, Ppu)

## 사례:

위의 Ppl과 Ppu 값을 사용하여 Ppk를 계산하면,  
Ppk = min(2.0, 1.33) = 1.33  
Ppk 값이 1.33으로, 공정이 전체적으로 규격 내에서 안정적으로 운영되고 있으나, 중심화 정도가 중요할 수 있음을 나타냅니다.

**결론 및 실제 적용 사례**

- Cp, Cpl, Cpu, Cpk는 주로 공정이 규격 내에서 얼마나 안정적으로 운영되고 있는지를 평가하는 데 사용됩니다. 이 지표들은 공정의 일관성과 변동성을 중점적으로 평가합니다.

- Pp, Ppl, Ppu, Ppk는 전체 공정 성능을 평가하는 데 사용되며, 공정이 안정적이지 않거나 장기적인 변동성을 평가할 때 유용합니다.

# 실제 적용 사례:

- 자동차 제조업에서는 엔진 부품의 제조 공정에서 Cp와 Cpk 지표를 사용하여 부품의 치수 공차가 규격 내에서 유지되고 있는지 평가합니다. 예를 들어, 피스톤의 직경이 일정한 규격 내에서 일관되게 제조되는지 확인할 수 있습니다.

- 전자 기기 제조업에서는 PCB(Printed Circuit Board) 생산 시 Ppk를 사용하여 전체 공정의 성능을 평가합니다. PCB의 회로 패턴이 규격 내에서 일관되게 제조되는지 확인하여 장기적인 공정 안정성을 보장합니다.

이러한 지표들은 공정의 품질을 평가하고, 필요시 공정을 개선하는 데 중요한 역할을 합니다.