

위치공차를 포함한 모형의 틈새분석 연구

김영남¹ · 윤광호¹ · 장성호^{2*}

¹(주)LG전자 / ²금오공과대학교 신소재시스템공학부

The Tolerance Stack Analysis of the Model Involving Position Tolerance

Young-Nam Kim¹ · Kwang-Ho Yoon¹ · Sung-Ho Chang²

¹LG Electronics, Gumi, 730-727

²Department of Industrial and Systems Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi, 730-701

It is the basic requirement of design process of parts assembly to specify geometric dimensions and tolerances of product characteristics. Among them, tolerance stack analysis is one of the important methods to specify tolerance zone. Tolerance stack analysis is to calculate gap using tolerances which includes geometric and coordinate dimensions. In this study, we suggested more general method called the virtual method to analyze tolerance stack. In virtual method, tolerance zone is formed by combination of dimensional tolerance, geometric tolerance and bonus tolerance. Also tolerance zone is classified by virtual boundary condition and resultant boundary condition. So gap can be defined by combination of virtual boundary and/or resultant boundary. Several examples are used to show the effectiveness of new method comparing to other methods.

Keywords: GD&T, tolerance stack, virtual boundary, resultant boundary

1. 서론

최근의 다양한 제조 공정 속에서 공차는 부품이나 조립 시 발생하는 제품의 품질을 좌우하는 중요한 역할을 한다. 특히 부품 조립 시 발생하는 두 형체 간의 치수 관계를 밝히는 것은 공차를 부여하고 수정하는 것에 선행될 문제다. 이렇게 부품 간의 치수를 결정하기 위한 분석 중 하나가 틈새 분석이다. 이것은 조립 모형이 결합 할 때 생기는 두 부품 사이의 최대, 최소 거리를 계산하는 분석 방법으로 조립 완성품의 기능적인 문제를 방지하거나 각 형체의 최적 공차를 이론적으로 계산해 내는 데 사용한다.

산업화가 가속화되면서 틈새분석에 대한 연구가 여러 각도로 진행되어 왔다. Ahluwalia and Karolin(1986)은 합성된 공차와 치수를 계산하기 위해 통합된 CAD/CAM 환경에서 사용하

는 Computer-Aided 절차를 연구했다. 하지만, 이 시스템은 최적의 결과를 얻기 위해서는 수동적인 수정 작업이 분석 때마다 필요하다는 제약이 발생했다. Tang and Davis(1988)는 설계 단계의 요구를 만족시키기 위해 실제 공차를 계산하고 수정하여 그 공차를 일반화시키는 통합 matrix tree chain의 수학적 모델을 제안했다. Ngoi(1992)는 균형 있는 공차를 구하기 위해 선형 프로그램을 사용하여 tolerance balancing process에 대한 수학적 모델을 제안했는데, 이 연구에서는 다른 제조 공정에서의 공차 관리에 대한 경제적인 부분을 설명하기 위한 가중치 시스템을 소개하고 있다. Ngoi and Ong(1993)의 연구에서는 모형 중 비중이 크지 않은 작업을 줄이기 위한 알고리즘을 개발하여 선형 수식을 이용한 상세한 치수 모형을 계획했다. 이 수식들은 후에 가우스 소거법을 이용하여 해결되었다.

Liggett(1993)는 품질과 설계, 제조 기술에 대한 가이드를 제

본 연구는 2003 금오공과대학교 학술지원연구비로 수행되었음.

* 연락처 : 장성호 교수, 730-070 경북 구미시 신평동 188번지 금오공과대학교 산업시스템공학과, Fax : 054-467-4319,

E-mail : changsh@kumoh.ac.kr

2004년 7월 접수; 2004년 10월 수정본 접수; 2004년 11월 게재 확정.

안하여 기하공차와 치수공차가 모형에 적용되는 원리를 정리하고자 했다. 이 책에서는 조립 공정에서 발생하는 틈새를 정의하는 원리를 정하여 모형의 조립 형태와 구조에 따라 응용할 수 있는 기초가 되었다.

Ngoi and Fang(1994)은 조립 모형의 연결 경로를 찾기 위해 ‘branch와 link’라는 방법을 제안했다. 이 연구에서는 결합에 대한 정보를 통해 치수와 공차를 부여하기 위한 선형 수식을 사용했다. 알려지지 않은 치수와 공차를 풀기 위해서는 가우스 소거법이 사용되었고, 균형적인 공차 문제는 선형 프로그램을 이용하여 해결하고자 했다. Ngoi and Tan(1995)은 모형의 연결을 알아내기 위해 아주 직접적인 방법을 소개했다. 이 방법은 조립 형태를 가지는 모든 모형의 수평면에 독특하고 의미 있는 ID를 할당하여 조립 간에 발생하는 결합 형태를 눈으로 점검하여 모형들의 연결 형태를 보이고자 했다.

근래의 많은 연구를 통해서 최근의 틈새분석들은 초기의 방법들보다 쉽게 이해할 수 있었다. 이런 이유로 최근에 소개된 방법들은 좀더 기술적으로 성장하였고 결과적으로 정확한 분석을 할 수 있는 여건을 조성했다. 하지만, 기하공차를 포함한 모형들의 틈새를 계산하기 위해서는 여러 가지의 복잡한 수식을 거쳐야 하고 눈으로 조립모형을 보기 위해서 반복된 도면 설계와 경로 분석 등을 요하게 되는 단점을 지적할 수 있다. 공정에서 발생하는 복잡한 모형의 틈새를 계산하는 데는 시간적인 제약과 계산적인 어려움을 가져오게 만들었고 이는 많은 연구를 통해 이론적인 분석방법을 제시하더라도 실용적인 면에서 부족할 수밖에 없는 것이다(Ngoi and Lim, 1999).

본 연구의 목적은 기하공차를 포함하는 모형들의 이동 범위를 정의하여 틈새분석의 틈새를 이동하는 모형들의 virtual condition boundary와 resultant condition boundary라는 범위에서 직접 계산하여 간단한 수식을 유도하는 데 있다. 이 수식의 유도를 통해 분석의 복잡한 계산 과정을 단순화하고 모형에 따라 정의된 수식을 사용함으로써 공차 설정 방법과 상관없이 간편하고 범용적인 틈새분석을 도모하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 절차

본 연구에서는 최근까지 연구된 틈새분석의 단점을 보완하기 위해 기하공차가 적용된 몇 가지 모형을 통해서 분석 수식을 유도하고 더욱 범용적이고 간편한 분석 방법을 제안하고자 한다.

그러기 위해서는 먼저 공차의 의미와 각 형체의 허용 범위를 할당해 주는 치수공차와 기하공차, 공차에 따른 형체의 이동범위 등을 정의하였다. 각 형체의 이동범위를 정의함으로써 조립된 형체의 이동범위를 동시에 계산할 수 있는데, 이 계산은 두 중앙 간의 길이를 정의하는 것이기 때문에 virtual condition boundary의 수식을 변형하여 사용 할 수 있다.

이 수식을 통해 각 형체가 이동하는 범위를 정의하고 기준 치수와의 차이를 통해 공차범위 사이에 발생하는 틈새의 최대

최소값을 정의하고자 한다.

이런 기하공차와 치수공차를 포함하는 모형의 틈새분석을 설명하기 위해서 사용하는 적용 모형은 Krulikowski(1992)에 의해 증명된 틈새분석모형을 사용하였다. 이 증명된 모형을 통하여 제안한 방법을 정의하고 모형 간의 비교를 통하여 검증함으로써 제안한 방법을 일반화시키고자 한다.

2. 이론적인 배경

2.1 공차에 따른 형체의 이동범위

홀, 축, 핀, 홈, 돌출부 등의 모든 형체는 각 형체가 갖는 치수공차와 형상, 기하공차 등의 결합 안에서 형체의 종류와 상태에 따라 아래와 같이 이동한다.

<Figure 1>은 internal feature에서 재료상태가 최대인 경우를 나타낸다. 홀 크기가 최대실체상태(MMC)인 $\phi 30.1$ 가 $\phi 0.1$ 의 위치공차를 갖고 움직이며 그 이동범위를 안쪽과 바깥쪽으로 도식화한 것이 virtual condition boundary와 resultant condition boundary다. Virtual condition boundary는 inner boundary로 치수공차와 형상 위치공차의 - 결합을 한다.

Resultant condition boundary는 공차에 의한 최대 이동범위로 치수공차와 형상 위치공차, bonus 공차의 + 결합 형태를 갖는다(ASME, 1995).

- Virtual condition boundary
 $\phi 30.1 - \phi 0.1 = \phi 30$ (Inner Boundary)
- Resultant condition boundary
 $\phi 30.5 + \phi 0.1 + \phi 0.4 = \phi 31$ (Outer Boundary)

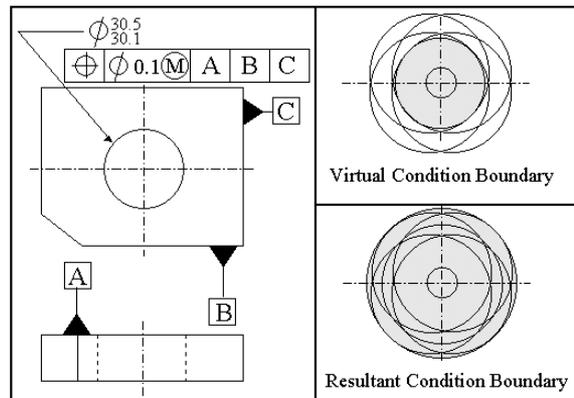


Figure 1. Virtual and Resultant Condition Boundary of Internal Feature at MMC.

<Figure 2>는 external feature에서 재료 상태가 최대인 경우를 보여주고 있다. 핀이나 돌출부 형체에서 MMC의 $\phi 29.9$ 인

형체가 $\phi 0.1$ 의 위치공차에 의해 바깥쪽과 안쪽으로 이동하는 것을 도식화하였다. MMC에서의 virtual condition boundary는 outer boundary로 규제된 치수공차와 기하공차의+ 결합을 한다.

Resultant condition boundary는 inner boundary로 최소실체상태(LMC)에서의 치수공차와 형상 위치공차 보너스 공차의 - 결합 형태로 이동 범위를 갖게 된다(ASME, 1995).

- Virtual condition boundary
 $\phi 29.9 + \phi 0.1 = \phi 30$ (Outer Boundary)
- Resultant condition boundary
 $\phi 29.5 - \phi 0.1 - \phi 0.4 = \phi 29$ (Inner Boundary)

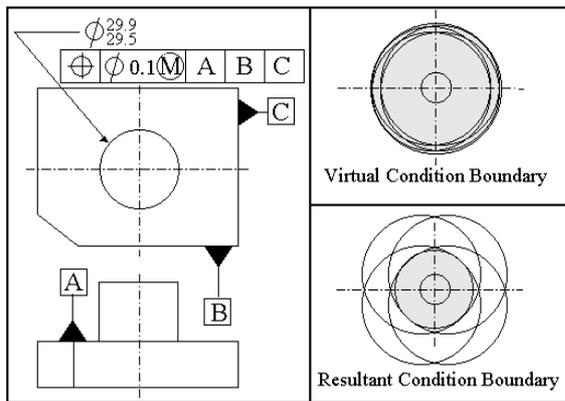


Figure 2. Virtual and Resultant Condition Boundary of External Feature at MMC.

3. 틈새분석 방법 제안

조립 공정에서 위치공차나 직각공차 등의 기하공차를 포함하는 형체의 결합형태를 분석하고 그 형체 간에 발생하는 틈새 크기를 도출하기 위한 방법을 제시한다 여기서 제시하는 방법은 치수공차의 부여가 동일한 양측공차나 단측공차에 한정되는 것이 아니고 모든 공차 부여 형태에서도 범용적으로 사용할 수 있는 틈새 분석법을 고찰하고자 한다.

형체의 크기와 형상, 위치 등은 각 부품이 가지는 치수공차와 형상, 위치 등을 관리하는 기하공차로 표현할 수 있다 이 치수와 공차에 의해 이동하는 형체의 범위를 통해 부품 간에 정해진 최소거리를 길이로 일반화시키고 이 길이들의 가감에 의해서 형체간의 틈새를 도출하는 수식을 정의 할 수 있다

3.1 기본 원리

MMC인 internal 모형을 사용하여 본 연구에서 하고자 하는 틈새분석의 원리를 알아보겠다.

두 홀 간의 최소 거리는 홀 간의 중심을 잇는 선 위에 각 홀에 수직으로 외접하는 선을 그었을 때의 사이 거리(X)다(<Figure 3>). 이 거리의 변화에 영향을 주는 것이 치수공차와 기하공차며 이 공차들의 결합정도에 따라 두 홀 간의 최대 거리와 최소 거리가 다르게 발생 한다. 따라서 재료 상태와 형체 종류에 따라 각 홀의 이동 정도를 계산하면 두 홀 간의 최대 최소 거리를 간단한 수식형태로 나타낼 수 있다.

각 홀이 이동하는 범위는 앞의 장에서 다루었듯이 virtual condition boundary와 resultant condition boundary의 개념을 사용한다.

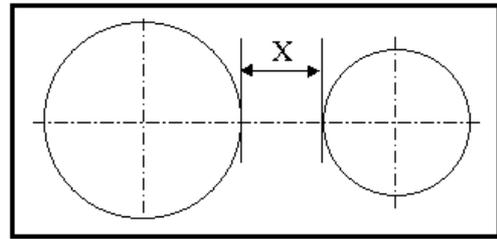


Figure 3. Minimum distance between holes.

<Figure 4>는 <Figure 3>의 한쪽 홀인 internal feature의 MMC를 보여주고 있다. 이 모형에서 길이 X는 $\phi 10.6$ 의 치수공차와 $\phi 0.2$ 의 형상, 위치공차의 영향을 받는다. 길이 X가 최대값을 갖기 위해서는 홀의 크기가 최소가 되어야 하고 홀의 위치는 X쪽으로부터 최대한 멀리 있어야 한다. 다시 말해서 모형의 치수공차에서는 최소의 크기인 MMC여야 하고 기하공차는 $\phi 0.2$ 가 적용된 상태에서 홀의 세로 중심선이 A 지점과 일치해야 한다. 도면상에서 알 수 있듯이 MG원의 크기와 위치공차를 갖는 형태다.

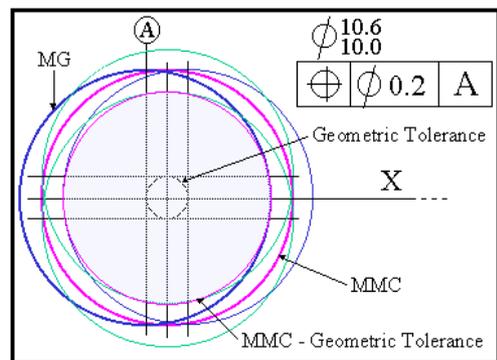


Figure 4. Virtual Condition Boundary of Internal Feature at MMC.

두 홀의 결합 상태에서 생각하면 <Figure 5>와 같이 표현할 수 있다.

두 홀 간의 틈새인 X에 대해서 MG1홀과 MG2홀은 치수공차와 위치공차에 의해서 가장 멀리 떨어진 형태를 보이고

있다.

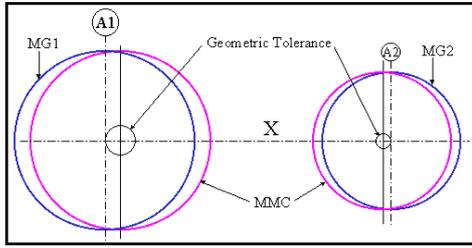


Figure 5. Maximum distance between two holes.

이렇게 datum feature를 정하지 않고 각 홀 형태를 독립적으로 생각하면 공차 부여 종류가 동일한 양측 공차가 아니더라도 분석할 수 있다. 다시 말해, 단측 공차, 또는 비동일 양측 공차 형태의 모형에서도 동일하게 사용할 수 있다

3.2 제안 방법에 대한 수식 정의

<Table 1>은 다음의 수식들에서 사용되는 용어에 대한 정의이다.

Table 1. Definitions of Terms

| Symbol | Definition |
|--------|----------------------------|
| BD | basic dimension |
| MMC | maximum material condition |
| G | geometric tolerance |
| B | Bonus Tolerance(LMC-MMC) |
| V(I) | (MMC-G)/2, Virtual Size |
| V(E) | (MMC+G)/2, Virtual Size |
| M(I) | (MMC+G)/2, Moving Size |
| M(E) | (LMC+G+B)/2, Moving Size |

3.2.1 위치 공차를 갖는 MMC의 Internal Feature

Internal feature의 최대 틈새를 계산하는 데 사용되는 수식은 아래 <Figure 6>에서 보여주는 것과 같이 각 홀의 중심을 잇는 기준치수에서 각 홀의 치수와 위치공차를 제거하여 얻을 수 있다.

$$X_{\max} = BD - (V_1 + V_2) \quad (1)$$

$$V_1 = \frac{(MMC_1 - G_1)}{2} \quad (2)$$

$$V_2 = \frac{(MMC_2 - G_2)}{2} \quad (3)$$

$$X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 - G_1) + (MMC_2 - G_2)] \quad (4)$$

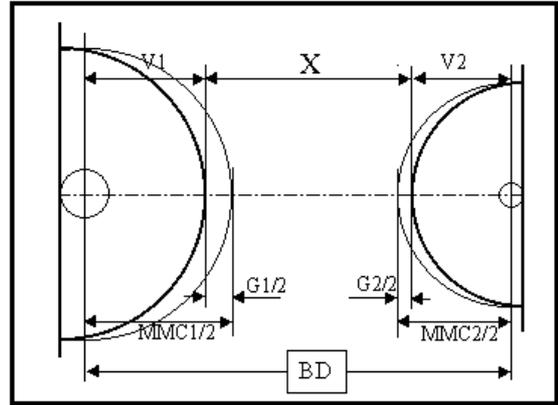


Figure 6. Maximum distance of internal features at MMC.

Internal feature의 최소 틈새를 계산하는 데 사용되는 수식은 아래 <Figure 7>에서 보여주는 것과 같이 각 홀의 중심을 잇는 기준치수에서 각 홀의 치수와 위치공차 LMC일 때 생기는 보너스 공차 등을 제거하여 얻을 수 있다.

$$X_{\min} = BD - (M_1 + M_2) \quad (5)$$

$$M_1 = \frac{(LMC_1 + G_1 + B_1)}{2} \quad (6)$$

$$M_2 = \frac{(LMC_2 + G_2 + B_2)}{2} \quad (7)$$

$$X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 + G_1 + B_1) + (LMC_2 + G_2 + B_2)] \quad (8)$$

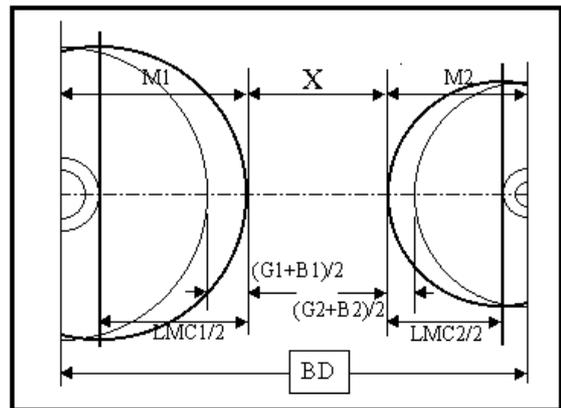


Figure 7. Minimum distance of internal features at MMC.

따라서, MMC의 internal feature 간에 생기는 틈새는 위에서 유도한 식에 의해서 다음과 같이 정리할 수 있다

$$X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 - G_1) + (MMC_2 - G_2)]$$

$$X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 + G_1 + B_1) + (LMC_2 + G_2 + B_2)]$$

[MMC의 Internal Feature 틈새에 관한 수식]

3.2.2 위치 공차를 갖는 MMC의 External Feature

External feature의 최대 틈새를 계산하는 데 사용되는 수식은 아래 <Figure 8>에서 보여주는 것과 같이 각 형체의 중심을 잇는 기준치수에서 각 홀의 치수와 위치공차 보너스 공차 등을 제거하여 얻을 수 있다.

$$X_{\max} = BD - (M_1 + M_2) \quad (9)$$

$$M_1 = \frac{(LMC_1 - G_1 - B_1)}{2} \quad (10)$$

$$M_2 = \frac{(LMC_2 - G_2 - B_2)}{2} \quad (11)$$

$$X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 - G_1 - B_1) + (LMC_2 - G_2 - B_2)] \quad (12)$$

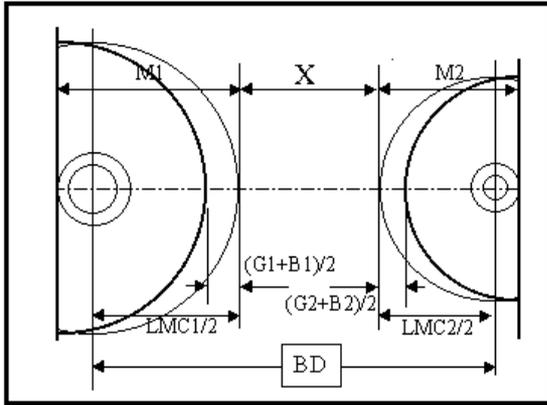


Figure 8. Maximum gap of external features at MMC.

External feature의 최소 틈새를 계산하는 데 사용되는 수식은 아래 <Figure 9>에서 보여주는 것과 같이 각 형체의 중심을 잇는 기준치수에서 각 모형의 MMC인 치수와 위치공차 등을 제거하여 얻을 수 있다.

$$X_{\min} = BD - (V_1 + V_2) \quad (13)$$

$$V_1 = \frac{(MMC_1 + G_1)}{2} \quad (14)$$

$$V_2 = \frac{(MMC_2 + G_2)}{2} \quad (15)$$

$$X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 + G_1) + (MMC_2 + G_2)] \quad (16)$$

따라서, MMC의 external feature 간에 생기는 틈새는 위에서 유도한 식에 의해서 다음과 같이 정리할 수 있다

$$X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 - G_1 - B_1) + (LMC_2 - G_2 - B_2)]$$

$$X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 + G_1) + (MMC_2 + G_2)]$$

[MMC의 External Feature 틈새에 관한 수식]

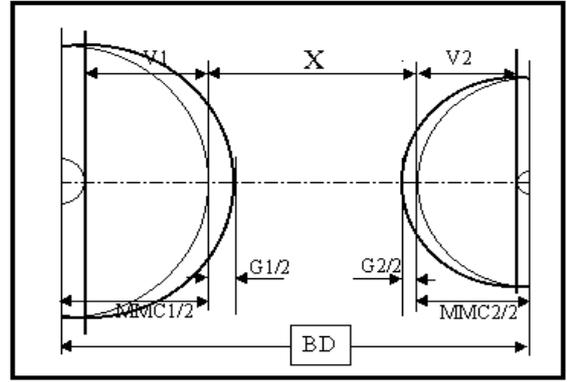


Figure 9. Minimum gap of external features at MMC.

지금까지 MMC인 모형의 internal 모형과 external 모형에 대한 틈새의 최대값과 최소값에 필요한 공식을 유도하였다 LMC인 형체에 대해서도 동일한 방법으로 유도할 수 있다 이 수식은 위치공차를 갖는 모형에서 유도했지만 직각도를 갖는 모형에서도 동일하게 사용할 수 있다.

또한, 조립모형에서 형체 종류가 다른 형체 간의 조립일 경우 도 재료 상태에 따라 최대, 최소 공식을 사용하면 동일하게 계산할 수 있다.

위에서 정의한 수식과 생략한 수식들을 재료 상태와 형체 종류 등에 따라 <Table 2>와 같이 정리할 수 있다.

Table 2. Gap analysis equations depending on material conditions

| 1 | 2 | max/min | Equations for max/min |
|-------------|---|---------|---|
| M M C | I | max | $X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 - G_1) + (MMC_2 - G_2)]$ |
| | | min | $X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 + G_1 + B_1) + (LMC_2 + G_2 + B_2)]$ |
| | E | max | $X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 - G_1 - B_1) + (LMC_2 - G_2 - B_2)]$ |
| | | min | $X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 + G_1) + (MMC_2 + G_2)]$ |
| L M C | I | max | $X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 - G_1 - B_1) + (MMC_2 - G_2 - B_2)]$ |
| | | min | $X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 + G_1) + (LMC_2 + G_2)]$ |
| | E | max | $X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 - G_1) + (LMC_2 - G_2)]$ |
| | | min | $X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 + G_1 + B_1) + (MMC_2 + G_2 + B_2)]$ |

1 : material condition

2 : type of feature (I: internal, E: external)

4. 모형 적용 연구

4.1 Internal Feature에 대한 적용

본 연구에서 사용하는 모형은 Krulikowski(1992)의 연구에

서 사용된 모형으로 Ngoi(1999)는 feature와 datum feature에 대한 보너스, shift 공차를 경로에 대한 가감 형태로 도표화하여 사용한 모형이다. 이 동일한 모형을 가지고 Ngoi(1999)가 논문에서 제시한 방법과 본 연구에서 제안한 virtual method를 비교 분석 하고자 한다.

<Figure 10>은 internal feature로 두 홀 간에 발생하는 틈새 계산을 하였다. 각 홀에 치수공차와 위치공차를 부여했고 각 홀의 재료 상태는 MMC다. 또한 이 모형은 조립 부품 간의 결합이 아니라, 한 부품 내에 위치하는 홀 간의 간격을 보여주고 있다

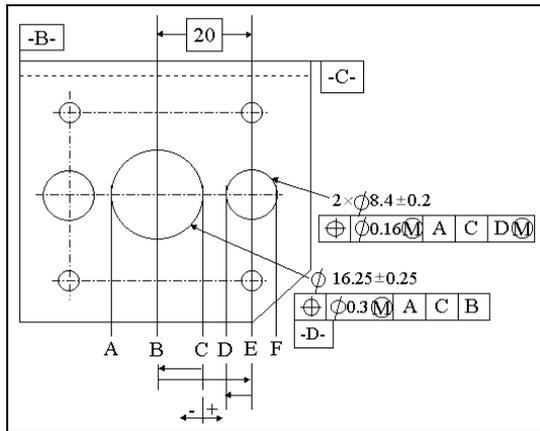


Figure 10. Example drawing.

4.1.1 기존의 Stack Analysis Method

<Figure 11>과 같이 각 홀 형태를 datum feature와 feature로 분류하여 datum feature를 기준으로 이동하는 범위를 수식화한다. 이 때 수식된 보너스 공차는 형태의 치수에 부여된 치수 공차를 의미하며, shift tolerance는 datum feature에 부여된 치수 공차와 기하공차를 의미한다. 또한, 위치공차는 형태의 기하 공차를 의미한다.

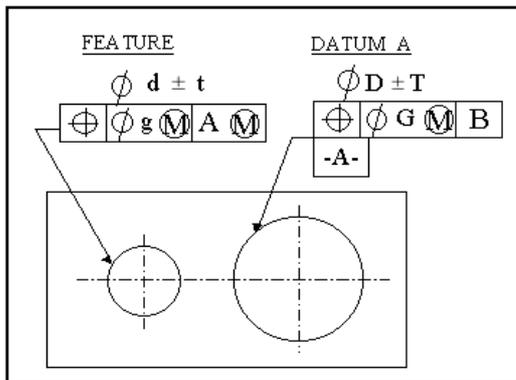


Figure 11. Datum and Feature.

■ 수식 정의

• Geometric Tolerance = $\pm \frac{g}{2}$ (17)

두 홀의 형태 중 일반 형태로 선정된 모형이 갖는 기하공차

• Half Bonus Tolerance = $s \left[\frac{t}{2} \pm \frac{t}{2} \right]$ (18)

두 홀의 형태 중 일반 형태로 선정된 모형이 갖는 치수공차 t 를 이용해서 식(18)과 같은 식을 유도했다.

• Half Shift Tolerance = $s \left[\frac{T}{2} \pm \frac{T+G}{2} \right]$ (19)

두 홀의 feature 중 datum feature로 선정된 모형의 치수공차와 기하공차를 이용해서 식(19)와 같은 식을 유도했다.

또한, <Figure 10>에서 보는 바와 같이 datum feature의 가장자리 쪽 수직 빗면을 기준으로 오른쪽을 +로, 왼쪽을 -로 결합하는 벡터를 이용해서 방향을 결정해 주는 factor(s)를 사용하였다.

Table 3. s values depending on path direction

| Type of feature | Path direction | |
|-----------------|----------------|---------|
| | Along | Against |
| Hole | +1 | -1 |
| Shaft | -1 | +1 |

<Table 3>의 factor s를 보너스 공차와 shift tolerance 등에 적용시킨 후 <Figure 10>에서 보는 것과 같이 A, B, C, D, E, F 등의 ID를 부여하고 원하는 틈새의 길이가 C에서 D임을 찾아낸다. C에서 D까지의 거리를 계산하기 위해서는 C→B→E→D의 경로를 확인한다. 확인한 경로를 C→B, B→E, E→D 등으로 나누고 각 경로의 치수와 공차를 위에서 유도한 수식을 이용하여 계산하고 정해진 순서대로 배열하여 도표화한다

• Position Tolerance = $\pm \frac{g}{2}$
 = $\pm \frac{0.16}{2}$
 = ± 0.08

• Half Bonus Tolerance = $s \left[\frac{t}{2} \pm \frac{t}{2} \right]$
 = $(-1) \left[\frac{0.2}{2} \pm \frac{0.2}{2} \right]$
 = -0.1 ± 0.1

• Half Shift Tolerance = $s \left[\frac{T}{2} \pm \frac{T+G}{2} \right]$
 = $(-1) \left[\frac{0.25}{2} \pm \frac{0.25+0.3}{2} \right]$
 = -0.125 ± 0.275

Ngoi(1999)의 방법으로 분석한 틈새의 최대 최소값은 최대 = 8.13이고, 최소 = 6.77 값을 보여주고 있다. 하지만, 이 방법에는 몇 가지 단점이 있다.

Table 4. Process of calculating gap

| path | dimension | tolerance | 내 용 |
|-------|-----------|-----------|-------------------------|
| C→B | -8.125 | ±0.125 | radius of datum feature |
| B→E | 20.000 | - | basic dimension |
| - | - | ±0.08 | Position Tolerance |
| - | -0.100 | ±0.1 | Bonus Tolerance |
| - | -0.125 | ±0.275 | Shift Tolerance |
| E→D | -4.200 | ±0.1 | radius of feature |
| <hr/> | | | |
| C→D | 7.450 | ±0.68 | max/min of gap |

첫 번째는 보너스, shift tolerance의 계산 수식이 복잡하다는 것이다. Datum feature와 일반 형체에서 치수공차를 최대, 최소로 계산하기 위해 치수 부분과 공차 부분으로 나누었다.

두 번째는 최대, 최소값을 얻기 위해서 수식 계산, 경로 분석, 경로 방향 분석, 경로에 따른 계산값 대입 등 많은 과정을 거친다. 최대값이나 최소값만을 알고자 할 때에도 독립적인 계산을 할 수 없고 전체 모형을 분석해야 한다.

세 번째는 치수공차가 동일한 양측 공차를 갖는 경우로 사용이 제한되고 있다.

4.1.2 제안한 virtual method

2장에서 다뤘던 virtual size와 moving size를 이용해서 형체의 이동범위를 계산할 수 있고 그 이동범위를 통해서 유도한 3장의 최대, 최소 수식을 사용하여 적용 모형의 틈새를 정의하고자 한다.

Krulikowski(1992)의 모형에 3장에서 정의한 아래 수식을 적용한다.

$$X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 - G_1) + (MMC_2 - G_2)]$$

$$X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 + G_1 + B_1) + (LMC_2 + G_2 + B_2)]$$

[MMC인 Internal 모형에서의 분석]

■ 풀이 과정

$$BasicDimension = 20$$

$$MMC_1 = 16, G_1 = 0.3, MMC_2 = 8.2, G_2 = 0.16$$

$$LMC_1 = 16.5, G_1 = 0.3, B_1 = 0.5, LMC_2 = 8.6,$$

$$G_2 = 0.16, B_2 = 0.4$$

$$X_{\max} = BD - \frac{1}{2} [(MMC_1 - G_1) + (MMC_2 - G_2)]$$

$$= 20 - \frac{1}{2} [(16 - 0.3) + (8.2 - 0.16)] = 8.13$$

$$X_{\min} = BD - \frac{1}{2} [(LMC_1 + G_1 + B_1) + (LMC_2 + G_2 + B_2)]$$

$$+ (LMC_2 + G_2 + B_2)]$$

$$= 20 - \frac{1}{2} [(16.5 + 0.3 + 0.5) + (8.6 + 0.16 + 0.4)] = 6.77$$

제안한 틈새분석방법으로 분석한 틈새의 최대 최소값은 위에서 계산한 것과 같이 최대=8.13이고, 최소=6.77 값을 보여주고 있다. 증명된 모형의 두 결과 값이 동일하므로 제안한 방법의 수식이 완전함을 증명할 수 있다 또한, 이 방법은 몇 가지 장점을 가지고 있다.

첫 번째는 이동범위를 치수 부분과 공차 부분으로 나누지 않기 때문에 사용자 입장에서 더욱 간단한 수식을 사용할 수 있다 두 번째는 최종 결과인 최대/최소값을 얻기 위해서 원하는 수식을 사용하여 최대값 또는 최소값을 독립적으로 계산할 수 있다.

세 번째는 일차적인 계산 후에 다시 결합되는 경로를 계산하는 이차계산을 하지 않고 모형들의 치수와 공차를 가지고 곧바로 결과값을 도출할 수 있다.

네 번째는 이 방법은 MMC와 LMC라는 개념을 사용하기 때문에 치수공차가 동일한 양측 공차를 갖는 경우의 모형에 국한하지 않고 단측 공차 형태나 동일하지 않은 양측공차 형태 등 모든 모형에서도 제약 없이 사용할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 연구에서는 간단하고 범용적인 틈새분석을 위해 virtual condition boundary와 resultant condition boundary의 이동범위를 이용하여 수식을 유도하였다 제안한 virtual method는 독립 모형 간의 이동범위를 길이로 일반화하였기 기존의 연구 방법보다 간단한 계산 과정을 통해서 분석할 수 있고, 단측 공차와 동일하지 않은 양측 공차 등 더욱 범용적인 공차 부여 방법에서도 사용 가능하다. 또한, 위치공차뿐만 아니라, 직각도를 갖는 모형에서도 동일하게 사용할 수 있다는 장점이 있다

향후 연구 과제로는 다른 기하공차를 적용한 모형에 대한 틈새 산출방안이 필요하다고 할 수 있다.

참고 문헌

- Ahluwalia, R. S. and Karolin, A. V. (1986) CATC-a computer aided tolerance control system. *Journal of Manufacturing Systems*, 3(2), 153-160.
- ASME Y14.5M-1994 (1995) Dimensioning and Tolerancing, The American Society of Mechanical Engineers. 32-35.
- John V. Liggett (1993) *Dimensional Variation Management Handbook - A Guide for Quality, Design, and Manufacturing Engineers*, Prentice Hall, New Jersey.

- Krulikowski, A. (1992) Tolerance Stack - A Self Study Course, Vol.1, Effective Training Inc.
- Ngoi, B. K. A. (1992) Applying linear programming to tolerance chart balancing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 7(2), 187-192.
- Ngoi, B. K. A. and Ong, C. T. (1993) A complete tolerance charting system, *International Journal of Production Research*, 31(2), 453-469 .
- Ngoi, B. K. A. and Fang, S. L. (1994) Computer aided tolerance charting. *International Journal of Production Research*, 32(8), 1939-1954.
- Ngoi, B. K. A. and Tan, C. K. (1995) Computer aided tolerance charting. *International Journal of Production Research*, 33(4), 1117-1134.
- Ngoi, B. K. A. and Lim, L. E. N. (1999) Applying the Coordinate Tolerance System to Tolerance Stack Analysis Involving Position Tolerance. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15, 404-408.
- Tang, X. Q. and Davis, B. J. (1988) Computer aided dimensional planning. *International Journal of Production Research*, 26(2), 283-297.