

# Position Tolerance를 포함한 모형의 Stack Analysis 비교연구

김 영 남  
장 성 호

## Abstract

It is the basic requirement of product characteristics to specify geometric dimensions and tolerances during design process of parts assembly. Therefore, there are many tolerance stack analysis method to explain tolerance zone. Tolerance stack analysis is to calculate gap using tolerances which includes geometric and coordinate dimension. In this study, we compared several different stack analysis method and try to suggest more general method called the Virtual Method to analyze tolerance stack.

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근의 다양한 제조 공정 속에서 공차(tolerance)는 부품이나 조립 시 발생하는 제품의 품질을 좌우하는 중요한 역할을 한다. 특히 부품 조립 시 발생하는 두 형체(features)간의 치수(dimension) 관계를 밝히는 것은 공차를 부여하고 수정하는 것에 선행 될 문제이다. 이렇게 부품간의 치수를 결정하기 위한 분석 중 하나가 틈새 분석(stack analysis)이다. 이것은 조립 모형이 결합 할 때 생기는 두 부품 사이의 최대(maximum), 최소(minimum) 거리를 계산하는 분석 방법으로 조립 완성품의 기능적인 문제를 방지하거나 각 feature의 최적(optimal) 공차를 이론적으로 계산해 내는데 사용한다.

산업화가 가속화되면서 틈새분석(stack analysis)에 대한 연구가 여러 각도로 진행되어 왔다. Ahluwalia와 Karolin[1]은 합성된 공차(tolerance)와 치수(dimension)를 계산하기 위해 통합된 CAD/CAM 환경에서 사용하는 Computer-Aided 절차를 연구했다. 하지만, 이 시스템은 최적의 결과를 얻기 위해서는 수동적인 수정 작업이 분석 때마다 필요하다는 제약이 발생했다. Tang과 Davis[2]는 설계 단계의 요구를 만족시키기 위해 실제 공차를 계산하고 수정하여 그 공차를 일반화시키는 통합 matrix tree chain의 수학적 모델을 제안했다. Ngoi[3]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.

\* 금오공과대학교 신소재시스템공학부

Ngoi와 Ong[4]의 연구에서는 모형 중 비중이 크지 않은 작업을 줄이기 위한 알고리즘을 개발하여 선형 수식을 이용한 상세한 치수 모형을 계획했다. 이 수식들은 후에 가우스 소거법(gaussian elimination technique)을 이용하여 해결되었다.

John V. Liggett[5]는 Dimensional Variation Management Handbook에서 품질과 설계, 제조 기술에 대한 가이드를 제안하여 기하공차와 치수공차가 모형에 적용되는 원리를 정리하고자 했다. 이 책에서는 조립 공정에서 발생하는 틈새(gap)를 정의하는 원리를 정하여 모형의 조립 형태와 구조에 따라 응용할 수 있는 기초가 되었다.

1994년에 Ngoi와 Fang[6]은 조립 모형의 연결 경로를 찾기 위해 'branch 와 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.

Ngoi와 Tan[7]은 모형의 연결을 알아내기 위해 아주 직접적인 방법을 소개했다. 이 방법은 조립 형태를 가지는 모든 모형의 수평면에 독특하고 의미 있는 ID(Identification)를 할당하여 조립간에 발생하는 결합 형태를 눈으로 점검하여 모형들의 연결 형태를 보이게 했다.

근래의 많은 연구를 통해서 최근의 틈새분석(stack analysis)들은 초기의 방법들보다 쉽게 이해 할 수 있었다. 이런 이유로 최근에 소개된 방법들은 좀더 기술적으로 성장하였고 결과적으로 정확한 분석을 할 수 있는 여건을 조성했다. 하지만, 기하공차(geometric tolerance)를 포함한 모형들의 틈새(gap)를 계산하기 위해서는 여러 가지의 복잡한 수식을 거쳐야 하고 눈으로 조립모형을 보기 위해서 반복된 도면 설계와 경로(path) 분석 등을 요하게 되는 단점을 지적할 수 있다. 공정에서 발생하는 복잡한 모형의 틈새를 계산하는데는 시간적인 제약과 계산적인 어려움을 가져오게 만들었고 이는 많은 연구를 통해 이론적인 분석방법을 제시하더라도 실용적인 면에서 부족할 수밖에 없는 것이다.[13]

본 연구의 목적은 기하공차(geometric tolerance)를 포함하는 모형들의 이동범위를 정의하여 틈새분석(stack analysis)의 틈새(gap)를 이동하는 모형들의 Virtual Condition Boundary와 Resultant Condition Boundary라는 범위에서 직접 계산하여 간단한 수식을 유도하는데 있다. 이 수식의 유도를 통해 분석의 복잡한 계산 과정을 단순화하고 모형에 따라 정의된 수식을 사용함으로써 공차 설정 방법과 상관없이 간편하고 범용적인 틈새분석(stack analysis)을 도모하고자 한다.

## 1.2 연구방법 및 절차

본 연구에서는 최근까지 연구된 틈새분석(stack analysis)의 단점을 보완하기 위해 기하공차(geometric tolerance)가 적용된 몇 가지 모형을 통해서 분석 수식을 유도하고 더욱 범용적이고 간편한 분석 방법을 제안 하고자 한다.

그러기 위해서는 먼저 공차의 의미와 각 형체(feature)의 허용 범위를 할당해 주는 치수공차(dimensional tolerance)와 기하공차(geometric tolerance), 공차에 따른 형체의 이동범위 등을 정의하였다. 각 형체의 이동범위를 정의함으로써 조립된 형체의 이동범

위를 동시에 계산할 수 있는데 이 계산은 두 중앙(center)간의 길이를 정의하는 것이기 때문에 Virtual Condition Boundary의 수식을 변형하여 사용 할 수 있다.

이 수식을 통해 각 형체가 이동하는 범위를 정의하고 기준치수(basic dimension)와의 차이를 통해 공차범위(tolerance zone) 사이에 발생하는 틈새(gap)의 최대, 최소값을 정의하고자 한다.

이런 기하공차(geometric tolerance)와 치수공차(dimensional tolerance)를 포함하는 모형의 틈새분석(stack analysis)을 설명하기 위해서 사용하는 적용 모형은 Krulikowski[8]에 의해 증명된 틈새분석(stack analysis)모형을 사용하였다. 이 증명된 모형을 통하여 제안한 방법을 정의하고 모형간의 비교를 통하여 검증함으로써 제안한 방법을 일반화시키고자 한다. [8]

## 2. 이론적인 배경

### 2.1 공차에 따른 형체의 이동 범위

홀, 축, 핀, 홈, 돌출부 등의 모든 형체는 각 형체가 갖는 치수공차(dimension tolerance)와 형상, 위치공차(geometric tolerance)등의 결합 안에서 형체(feature)의 종류와 상태에 따라 아래와 같이 이동한다.

[그림1]은 Internal Feature에서 재료상태가 최대(maximum)인 경우를 나타낸다. 홀 크기가 MMC인  $\phi 30.1$ 가  $\phi 0.1$ 의 위치공차를 갖고 움직이며 그 이동 범위를 안쪽과 바깥쪽으로 도식화한 것이 Virtual Condition Boundary와 Resultant Condition Boundary다. Virtual Condition Boundary는 Inner Boundary로 치수공차와 형상 위치공차의 - 결합을 한다.

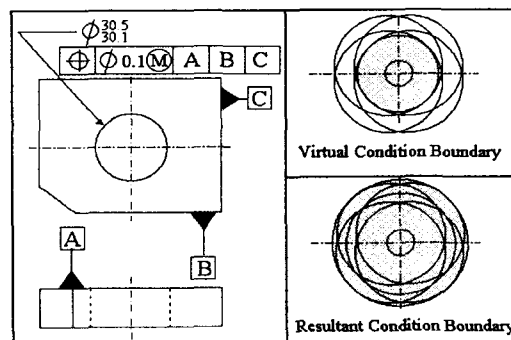
Resultant Condition Boundary는 공차에 의해 최대 이동범위로 치수공차와 형상 위치공차, Bonus 공차의 + 결합 형태를 갖는다.[9]

- **Virtual Condition Boundary**

$$\phi 30.1 - \phi 0.1 = \phi 30 \text{ (Inner Boundary)}$$

- **Resultant Condition Boundary**

$$\phi 30.5 + \phi 0.1 + \phi 0.4 = \phi 31 \text{ (Outer Boundary)}$$



[그림1 Virtual and Resultant Condition Boundary using MMC concept Internal Feature]

[그림2]는 External Feature에서 재료 상태가 Maximum 인 경우를 보여주고 있다. 편이나 돌출부 형체에서 MMC(Maximum Material Condition)의  $\phi 29.9$ 인 형체가  $\phi 0.1$ 의 위치공차에 의해 바깥쪽과 안쪽으로 이동하는 것을 도식화하였다. MMC에서의 Virtual Condition Boundary는 Outer boundary로 규제된 치수공차와 기하공차의 + 결합을 한다.

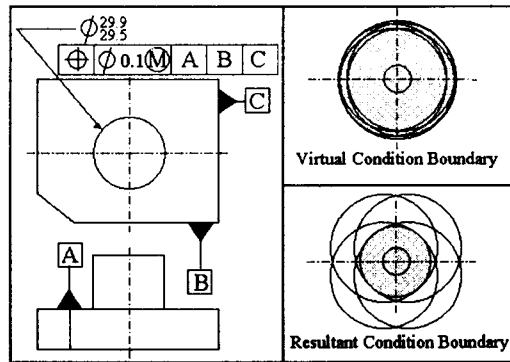
Resultant Condition Boundary는 Inner Boundary로 LMC에서의 치수공차와 형상 위치공차, Bonus 공차의 - 결합 형태로 이동 범위를 갖게 된다. [9]

▪ **Virtual Condition Boundary**

$$\phi 29.9 + \phi 0.1 = \phi 30 \text{ (Outer Boundary)}$$

▪ **Resultant Condition Boundary**

$$\phi 29.5 - \phi 0.1 - \phi 0.4 = \phi 29 \text{ (Inner Boundary)}$$



[그림2 Virtual and Resultant Condition Boundary using MMC concept External Feature]

### 3. Stack Analysis 방법 제안

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

형체(feature)의 크기와 형상, 위치 등은 각 부품이 가지는 치수공차와 형상, 위치 등을 관리하는 기하공차로 표현할 수 있다. 이 치수와 공차에 의해 이동하는 형체(feature)의 범위를 통해 부품간에 정해진 최소거리를 길이로 일반화시키고 이 길이들의 가감에 의해서 형체(feature)간의 틈새(gap)를 도출하는 수식을 정의 할 수 있다.

[ 참고 문헌 ]

- 1 Ahluwalia, R. S. 와 Karolin, A. V. CATC-a computer aided tolerance control system. *Journal of Manufacturing Systems*, 1986, 3(2), 153-160
- 2 Tang, X. Q. 과 Davis, B. J. Computer aided dimensional planning. *International Journal of Production Research*, 1988, 26(2), 283-297
- 3 Ngoi, B.K.A. Applying linear programming to tolerance chart balancing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1992, 7(2), 187-192
- 4 Ngoi, B. K. A. 와 Ong, C. T. " A complete tolerance charting system", *International Journal of Production Research*, 1993, 31(2), pp.453-469
- 5 John V.Liggett *Dimensional Variation Management Handbook-A Guide for Quality, Design, and Manufacturing Engineers*, 1993(Prentice Hall, New Jersey)
- 6 Ngoi, B. K. A. 와 Fang, S. L. Computer aided tolerance charting. *International Journal of Production Research*, 1994, 32(8), 1939-1954.
- 7 Ngoi, B. K. A. 와 Tan, C. K. Computer aided tolerance charting. *International Journal of Production Research*, 1995, 33(4), 1117-1134.
- 8 Krulikowski, A. Tolerance Stack- A Self Study Course, Vol.1, 1992(Effective Training Inc.)
- 9 ASME Y14.5M-1994 Dimensioning and Tolerancing, 1995(The American Society of Mechanical Engineers.) pp. 32-35