

A Profile Tolerance Usage in GD&T for Precision Manufacturing

Kyung-Wook Kim* · Sung-Ho Chang**†

*Se'A Mechanics Co.

**School of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

정밀제조를 위한 기하공차에서의 윤곽공차 사용

김경욱* · 장성호**†

*(주)세아메카닉스

**금오공과대학교 산업공학부

One of the challenges facing precision manufacturers is the increasing feature complexity of tight tolerance parts. All engineering drawings must account for the size, form, orientation, and location of all features to ensure manufacturability, measurability, and design intent. Geometric controls per ASME Y14.5 are typically applied to specify dimensional tolerances on engineering drawings and define size, form, orientation, and location of features. Many engineering drawings lack the necessary geometric dimensioning and tolerancing to allow for timely and accurate inspection and verification. Plus-minus tolerancing is typically ambiguous and requires extra time by engineering, programming, machining, and inspection functions to debate and agree on a single conclusion. Complex geometry can result in long inspection and verification times and put even the most sophisticated measurement equipment and processes to the test. In addition, design, manufacturing and quality engineers are often frustrated by communication errors over these features. However, an approach called profile tolerancing offers optimal definition of design intent by explicitly defining uniform boundaries around the physical geometry. It is an efficient and effective method for measurement and quality control. There are several advantages for product designers who use position and profile tolerancing instead of linear dimensioning. When design intent is conveyed unambiguously, manufacturers don't have to field multiple question from suppliers as they design and build a process for manufacturing and inspection. Profile tolerancing, when it is applied correctly, provides manufacturing and inspection functions with unambiguously defined tolerancing. Those data are manufacturable and measurable. Customers can see cost and lead time reductions with parts that consistently meet the design intent. Components can function properly-eliminating costly rework, redesign, and missed market opportunities. However a supplier that is poised to embrace profile tolerancing will no doubt run into resistance from those who would prefer the way things have always been done. It is not just internal naysayers, but also suppliers that might fight the change. In addition, the investment for suppliers can be steep in terms of training, equipment, and software.

Keywords : Complexity, Tight Tolerance, Inspection, Profile Tolerancing, Linear Tolerancing

Received 15 May 2017; Finally Revised 27 June 2017;
Accepted 28 June 2017

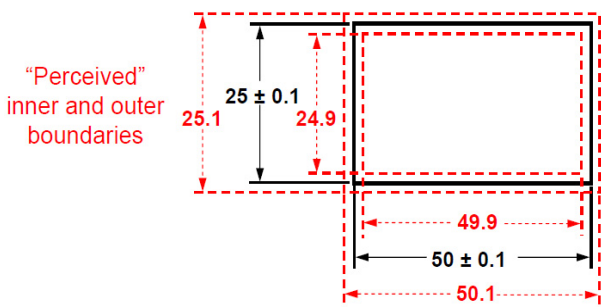
† Corresponding Author : changsh@kumoh.ac.kr

1. 서론

산업의 발전과 더불어 제품에 대한 기능이 늘어나고 이에 따라 형상도 복잡해지고 높은 정밀도가 요구됨에 따라 공차는 점점 엄격해지는 추세이다. 복잡한 기하형상과 엄격한 공차는 제품설계에 있어서 예상치 못한 정밀도를 요구한다. 정밀도가 증가함에 따라 사이클 타임의 증가와 소형화에 따른 공차의 절삭 등으로 기술적인 한계가 대두될 수 있으며, 공차의 감소는 잘못된 의사결정의 증가로 이익의 감소로 이어질 수 있으며, 설계자가 도면을 통해 설계의도를 나타내는데 한계를 드러낼 수 있다. 이에 따라 윤곽공차가 복잡한 기계부품의 설계와 조립의 실질적인 공차지침으로 부상하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 기존의 (+/-) 공차의 한계점에 대해 살펴보고 어떻게 윤곽공차가 공학도면과 제조과정의 정밀측정에 대한 기반을 제공할 수 있는지를 보고자 한다[4].

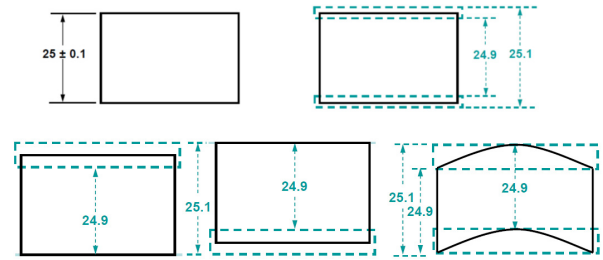
2. 이론적 배경

기하공차의 가장 보편적인 규격 ASME Y14.5M-1994에서 치수에 대한 기본원칙은 Rule #1이라 할 수 있다. Rule #1은 크기한계와 최대실체조건(MMC)에서의 완벽한 형상윤곽을 관리한다. <Figure 1>에서 직사각형의 가로와 세로에 대해서 주어진 치수와 공차에서 인지할 수 있는 안과 밖의 경계는 점선으로 추정할 수 있다. 하지만 이 경계가 허용되는 최악(worst case)의 경우를 표현하는 것은 아니다[2, 3, 7].

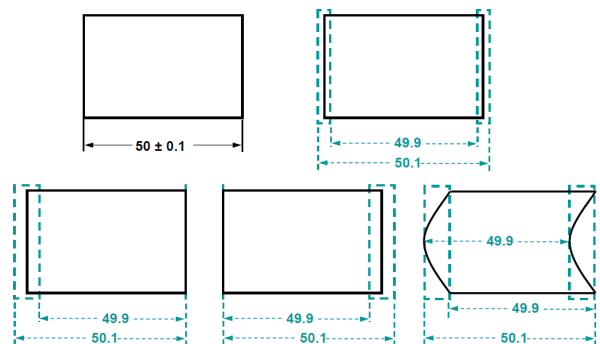


<Figure 1> Perceived Inner and Outer Boundaries

가로(X축)와 세로(Y축)의 치수와 공차를 Rule #1에 따라서 각각 허용되는 형상과 치수의 경계를 보도록 하자. <Figure 2>는 Y축의 경우를 보여주며, <Figure 3>는 X축의 경우를 보여준다.

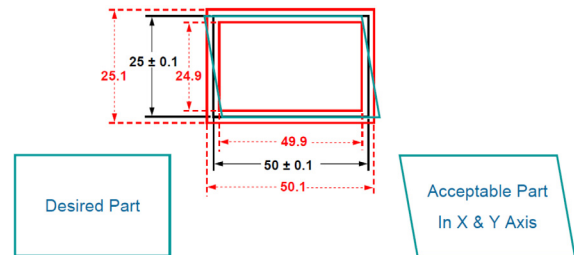


<Figure 2> Tolerance Boundaries Represent Allowable Variation in form and Size in Y-axis



<Figure 3> Tolerance Boundaries Represent Allowable Variation in form and Size in X-axis

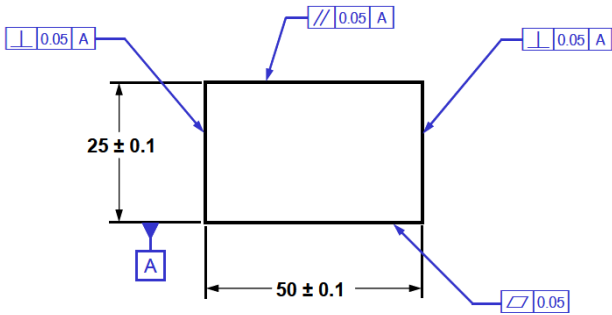
각각의 축만을 고려할 때는 설계자의 의도대로 원하는 공차경계를 만족시키는 것을 알 수 있다. 하지만 Rule #1은 feature들 간의 상호연관 관계를 관리하지는 않기 때문에 <Figure 4>와 같이 두 축을 동시에 고려할 경우 공차영역을 벗어나는 형상이 만들어 질 수 있다.



<Figure 4> Acceptable Part in X & Y Axis

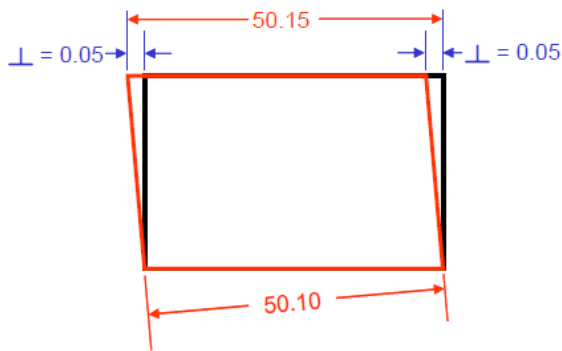
3. 연구내용 및 방법

단순한 치수공차만으로는 설계자가 의도하는 공차조건을 만족시키기에는 한계가 있음을 보았다. 이러한 한계를 극복하기 위해 기하공차를 사용하여 <Figure 1>을 다시 구성하면 <Figure 5>와 같다.



<Figure 5> Utilization of GD&T Tools

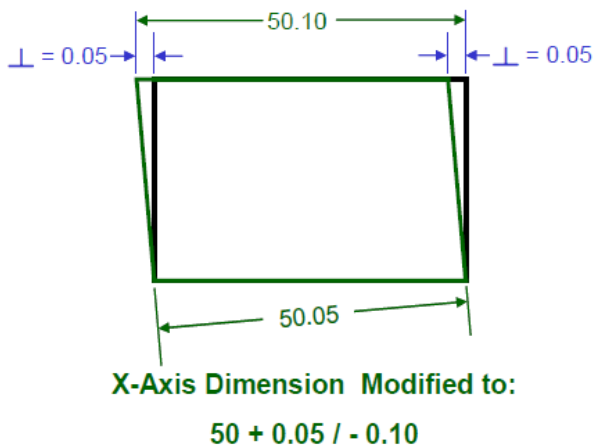
하지만 <Figure 5>의 기하공차만으로는 주어진 치수와 공차에 대해 설계자의 의도대로 공차를 만족시키기에 부족한 점이 있다. 즉 X축 방향만을 보았을 때 <Figure 6>과 같이 여전히 주어진 공차를 벗어 날 수가 있다.



X-Axis @ 50 ± 0.10

<Figure 6> Analysis of X-Axis

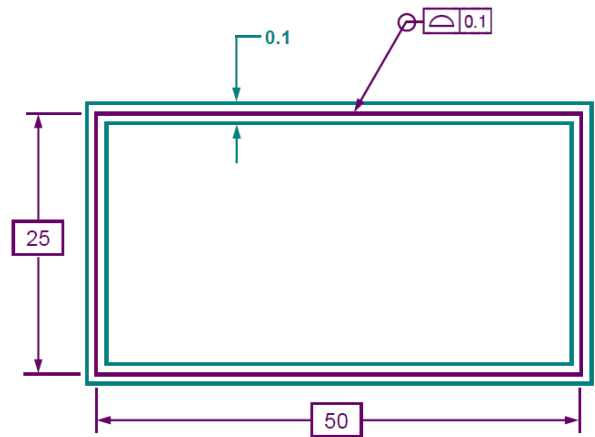
이를 보완하기 위한 방안으로 공차조정을 <Figure 7> 처럼 할 수 있지만, 이는 원래 설계자의 의도에 반하게 되는 것이다.



**X-Axis Dimension Modified to:
50 + 0.05 / - 0.10**

<Figure 7> Dimension Modification

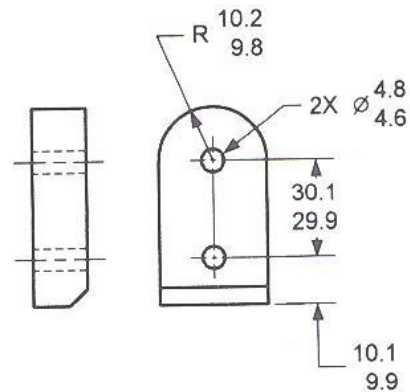
따라서 기본적인 기하공차만으로는 전체윤곽이 +/- 0.1 안에 들어오게 하는 것은 힘들기 때문에 복합기하공차인 윤곽공차를 사용하는 것이 가장 최적의 방법이 된다. <Figure 8>은 <Figure 1>에 윤곽공차를 적용한 것으로 치수에 공차를 부여한 것이 아니고 기본치수(basic dimension)에 윤곽공차를 적용한 것이다. 윤곽공차는 공칭형상(nominal geometry)에 수직으로 적용이 되며, 기본 조건이 양측공차이기 때문에 <Figure 8>과 같이 전체 공칭윤곽에 양방향으로 똑같이 배분이 된다. 결론적으로 이러한 경계는 원래 설계자의 의도와 일치하게 된다[2, 7].



<Figure 8> Profile Tolerancing I

윤곽공차를 사용해야 하는 다른 이유에 대한 예를 보도록 하자. 즉 단순 선형공차를 사용할 때 생기는 문제를 윤곽공차를 사용함으로써 해결하는 방법을 보여준다.

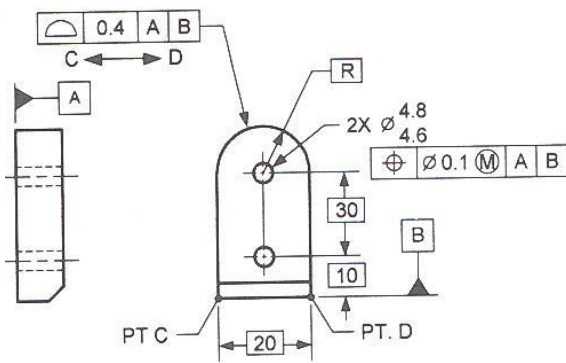
<Figure 9>는 단순 선형공차를 사용한 도면으로, 부품 상단의 반경에 대한 공차역의 형상이 불분명하다. 또한 측정에 꼭 필요한 데이텀의 설정이 없으므로 측정방법이 모호하다. 마지막으로 구멍들의 공차가 누적됨으로써 상단의 반경위치에 영향을 미칠 수 있다.



<Figure 9> Linear Dimension Tolerancing

<Figure 10>은 윤곽공차를 사용함으로써 이러한 문제를 해결한 것으로, 부품 상단의 반경에 대한 공차는 폭이 0.4인 일정한 공차역을 가진다. 또한 측정에 필요한 데이터가 설정되어 있으며, 기본치수를 사용함으로써 공차누적을 방지하였다.

이 예에서 보듯이 단순 선형공차를 사용하는 것에 비해 윤곽공차를 사용할 경우의 장점은 공차역을 명확하게 정의하고, 측정을 위한 데이터와의 관계를 보여주며, 공차누적을 방지한다.



<Figure 10> Profile Tolerancing II

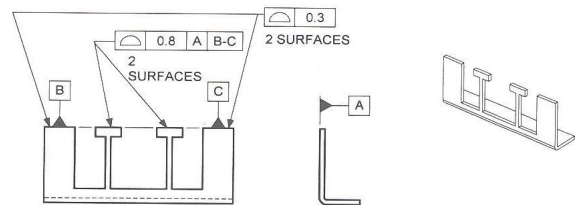
4. 결과 및 분석

선형치수(<Figure 1>, <Figure 5>, <Figure 7>)를 가지는 공학도면은 각각의 feature에 대한 크기, 형상, 방위 및 위치를 검사하여야 한다. 따라서 한 개의 feature라 하더라도 여러 개의 측정치수 들이 있을 수 있으며, 각각의 치수는 서로 다른 측정방법이 필요할 수도 있다. 반면에 윤곽공차는 크기, 형상, 방위 및 위치를 동시에 관리함으로써 여러 개의 선형치수를 대체할 수 있다. 윤곽공차는 진윤곽(true profile)에 대해서 균일한 경계가 적용됨으로써 각 단면의 면요소 들은 반드시 이 경계 안에 있어야 한다. 결과적으로 이러한 경계는 설계의도와 일치하게 된다. 만약 이러한 것을 잘 인지한다면, 설계자는 명확하게 설계의도를 정의할 수 있으며, 이는 애매모호한 해석으로 양품을 불량품으로 혹은 불량품을 양품으로 잘못 판단하는 오류를 방지할 수 있다.

추가적으로 특정 기하형상에 대해서 선형치수는 도면의 규격(데이터 등)을 만족시키기 위해 측정기(CMM 등)에서 측정할 점들을 가지고 기하형상을 구성하여야 한다. 이 경우 복잡한 기하형상의 측정위치가 미세하게 변동하거나, 짧은 면 혹은 반경이 작은 호(arc) 등은 구성하고자 하는 기하형상을 계산하는데 있어서 심각하게 영향을 미칠 수 있다. 반면 윤곽공차는 측정하는 부품이나

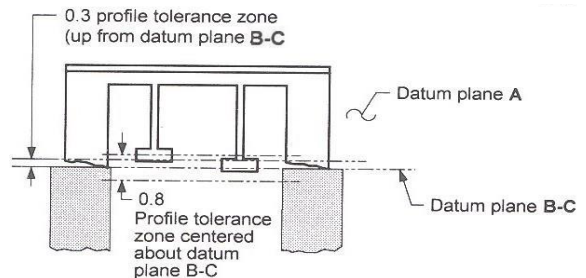
feature의 조건을 결정하기 위해, 각 측정점 들의 위치를 CAD 모델의 공칭기하형상으로부터 가져와 사용하기 때문에 이러한 오류를 방지할 수 있다.

특정 기하형상 중 짧고 좁은 면에 대한 예를 들어 앞에서 제시한 측정단계를 보도록 하자. <Figure 11>에서 외곽의 2개 면은 데이터 B, C로 지정되어 짐과 동시에 윤곽공차 0.3을 가진다. 반면 내부의 2개 면은 데이터 A를 첫 번째 데이터로, 공유면 B-C를 두 번째 데이터로 가지면서 윤곽공차 0.8을 가진다.



<Figure 11> Small and Narrow Surface Profile

이러한 윤곽공차를 검사하기 위해서 CMM 측정기를 사용한다고 할 때, 일반적으로 데이터를 설정하기 위해서 데이터로 주어진 feature의 표면에서 여러 점을 측정하여 데이터설정을 한다. 하지만 위와 같이 면자체가 짧고 좁은 경우에 측정점에 따라 설정되는 데이터면이 영향을 받을 수 있다. 따라서 <Figure 12>의 데이터 면 B-C와 같이 데이터는 CAD에서 설정된 공칭치수에 따라 설정한다[1, 3]. 이후 각 면을 스캔하여 최대한 많은 점 데이터를 얻을 수 있다. 이 데이터로부터 주어진 윤곽공차를 만족시키는지를 판정할 수 있다. 물론 모든 점 데이터를 얻을 수는 없지만 기존의 무작위 접촉식 측정에 의한 판정에 비해 신뢰도를 훨씬 높일 수 있다. 이러한 측정방법은 <Figure 12>에서 보여준다.



<Figure 12> Measurement and Analysis

5. 결론 및 향후 연구 과제

설계자가 기하형상 표면이 원하는 균일한 공차역 내

에 동시에 존재하기를 바라다면 설계의도를 반영하는 최적의 방법은 윤곽공차라고 할 수 있다. 윤곽공차는 제품 공급자와 생산자 모두에게 제품설계와 검사측면에서 이익을 제공할 수 있다. 즉 한 개의 윤곽공차가 최대 20개까지의 선형치수를 대체 할 수 있다면, 이는 검사시간을 최대 몇 분에서 몇 시간까지 절감할 수가 있기 때문이다.

이러한 윤곽공차가 좋은 것은 알지만 기존의 방법대로 하기를 원하는 제조업체에서 저항이 있으리라는 것은 당연하다. 이는 단순한 반대일수도 있지만 변화에 대한 두려움이기도 하다. 더불어 제조업체들에게 있어서 훈련, 장비 및 소프트웨어 등의 비용은 부담이 되기 때문이다.

윤곽공차가 분리조건일 경우에 데이텀이 없거나 1개일 경우는 앞에서 언급한 많은 문제를 해결하는데 최적의 방법이 될 수 있다. 하지만 데이텀이 3개가 되면서 동시조건이 적용되는 경우는 원하는 공차영역을 벗어나는 경우가 발생할 수 있다. 왜냐하면 데이텀설정에서 공차역에 역효과가 발생할 수 있기 때문이다[5, 6]. 따라서 이러한 경우에 대한 추가 연구가 필요하다.

References

[1] ASME Y14.4-2003, Digital Product Definition Data Prac-

tices, *The American Society of Mechanical Engineers*, 2003.

[2] ASME Y14.5M-1994, Dimensioning and Tolerancing, *The American Society of Mechanical Engineers*, 1994.

[3] ASME Y14.5M-2009, Dimensioning and Tolerancing, *The American Society of Mechanical Engineers*, 2009.

[4] Kang, B.C., Dimension-Tolerance Design with Cost Factors, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 1998, Vol. 26, No 1, pp. 172-191.

[5] Kim, J.H. et al., A Comparison Study between Composite and Multiple Single-Segment Profile Control, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2016, Vol. 39 No. 4, pp. 1-6.

[6] Krulikowski, A., *Advanced Concept of GD&T*, Effective Training Inc, 1999.

[7] Krulikowski, A., *Fundamentals of Geometric Dimensioning and Tolerancing*, Effective Training Inc, 1998.

ORCID

Kyung-Wook Kim | <http://orcid.org/0000-0002-0211-9107>

Sung-Ho Chang | <http://orcid.org/0000-0002-9758-2902>