

기하학적 치수 및 공차

Geometric Dimensioning and Tolerance

행복은 언제나 가까이에 있다. - 저자 해피니어 임관택

-목 차-

서문	해피니어	3~6
제1장	기하학적 치수공차의 개념	7~35
제2장	기하공차 이론	36~66
제3장	기하공차의 데이텀 개념	67~85
제4장	형상, 윤곽, 방향 및 흔들림 공차의 이해	86~165
제5장	위치공차의 이해	166~242
제6장	공차의 해석 및 공정능력	243~253
제7장	기계, 자동차의 GD&T	254~269
제8장	한계 및 기능 게이지	270~277
부록	GD&T 사례 및 프로세스	278~281

서문 ; 해피니어

자동차, 조선, IT, 전자, 화공, 소재 등의 많은 분야의 엔지니어들이 그들의 분야에서 엔지니어링을 하고 있다. 그 분야도 R&D는 물론, 생산, 생산기술, 품질, 구매, 영업 등의 많은 업무가 있고, 각자의 영역에서 최선을 다하고 있다. 대부분의 일은 조직이 한다. 관계가 일을 하는 것이지, 개인의 출중한 능력이 일을 하는 것이 아니라는 말이다. 하지만 내 경험에 따른 엔지니어링은 그 영역이 50:50 정도로 나눌 수 있을 것 같다. 관계가 하는 일 50%, 엔지니어가 하는 일 50%의 수준이 될 것이다. 즉, 개인의 능력이 다른 직업에 비해 조금 더 요구된다는 것이다.

회사가 크던 작던, 최종 제품을 만드는 회사건 부품을 만드는 회사건 대부분의 엔지니어들은 12시간 이상의 시간을 회사에서 보낸다. 내 경우에도 자동차 한 프로젝트를 개발하는 기간 3년 정도의 시간은 아침 7시에 출근하여 밤 11시에 퇴근하는 날들이 거의 대부분이었다. 그 당시엔 토요일도 오전 근무가 기본이었기 때문에 토요일엔 평일의 퇴근 시간 기준과 비슷한 5시까지의 일을 했었다. 시간이 절대적으로 회사에 편중되다 보니, 개인의 능력개발은 뒤에 두더라도 배우자, 부모, 자식 등의 회사 이외의 역할에 대해서는 임무를 수행하지 못하는 경우가 많았다.

입사 첫날엔 할 일이 없어 책을 보다가 부서장께 야단을 맞았고, 셋째 날엔 내 사수였던 고참 대리님이 ‘업무 협조 전’ 을 써 오라는데 무슨 말인지 몰라 요즘

의 A4 복사지가 아닌 그 당시 사무실에서 많이 썼었던 시험지에 볼펜으로 ‘업무 협조 전’ 이라고 써서 들고 갔다가 호되게 혼이 났었다. 나중에 알고 보니 업무 협조전이라는 양식이 서무 여직원 책상 위 서류함에 들어 있었다.

삼 개월쯤 되던 어느 날엔가 내 첫 작품인 컨덴서(자동차 에어컨 응축기) 도면을 그려 담당 과장님께 결재를 올렸다가 아무 생각이 안들 정도로 삼십 분을 혼이 났는데, 회사를 그만뒀야 하나보다 라는 생각이 들었다. 나중에 옆에 팀에 6개월 먼저 들어온 선배가 말해주는데, 내가 언제 혼나나 또래들이 지켜봤다고, 도면이 잘못되면 나중에 제품 만들어 놓고 더 큰일이 발생하기 때문에 일부러 심하게 혼내는 것인데, 그 정도면 선배들에 비해 굉장히 약했다고 했다.

이런 과정들 거쳐, 3년 정도 엔지니어링 업무를 하게 되면 일을 혼자 처리할 수 있는 것들이 늘어나게 된다. 엔지니어라는 이름으로 불릴 수 있는 초년병이 되는 것이다. 한 제품에 대해 3년 미만의 시간에 숙한 인원들은 엔지니어라고 부르기엔 좀 부족하지 않나 싶다. 그 때부터는 일에 대해 자부심, 자신이 수행했던 결과물에 대한 보람, 그리고 적지 않은 자만심을 함께 가지고 일을 수행하게 된다. 일이 재미있는 시기가 되며, 엔지니어가 되길 잘했다는 생각도 드는 시기이다. 내가 3년 차에 시작했었던 것이 현대자동차의 A-1 프로젝트였다. 현대자동차가 일본의 미쯔비시 자동차와 전략적 관계를 청산하며 독자 개발을 선언한 첫차였고, 봉고차의 이미지를 벗은 사실상의 한국 SUV 개념의 첫차인 스타렉스 이었다. 여기서의 내 작품은 Over Head Cooler Unit(차량 천정 형 에어컨; 에어컨은 벽이나 바닥에 있고 공기통로인 덕트를 이용하여 윗 쪽에서 바람이 나오도록 하는 형태와는 다르게, 장치 자체가 천정에 붙어 덕트와 같은 공기통로가 필요 없어 효율이 좋은 형태)이었다. 요즘에야 사무실에도, 버스에도 천정에 설치되는 에어컨이

많이 있지만, 1994년엔 에어컨을 천정에 올려놓는 다는 것이 쉽지 않은 개념이었다. 특히 물의 처리가 핵심이다. 머리 위에서 작동되는 에어컨에서 물이 뚝뚝 떨어진다면 어떻게겠는가? (버스 천정에 에어컨이 붙었었던 초기엔 버스를 타면 볼 수 있었다) 그리고 소음이 두 번째 해결과제였다. 운전자와 승객의 머리 위 30cm 이내에서 모터와 팬이 돌아가는데, 소리가 크고 이음까지 난다면 어떻게겠는가? 이 숙제들을 해결하며 완성했던 내 작품은 지금 10년이 지나, 차량 자체의 모델이 바뀌었지만, 변경된 차량 모델에도 그대로 쓰여지고 있다. 그렇게 재미있는 일을 하며 엔지니어 5년 차가 지나갔다.

5년 정도가 되면 많은 일을 혼자 처리하며, 자신의 업무영역에 대해서는 많은 자신감을 가지게 된다. 자신이 개발하는 제품에 대한 세부적인 사양 및 근거에 대해서는 누구보다도 많은 지식을 가지게 된다.

그리고 10년 차, 엔지니어에게 있어서 하루 중 대부분의 시간을 회사 업무에 할애하고, 10여 년 정도를 보내고 나면, 다른 종류의 업무가 주어진다.

5년 차를 전후로 후배 사원을 한두 명 주고, 일을 가르쳐 쓰도록 한다. 한때 정말 바쁠 때, 신입사원을 지원해주겠다고 하는 부서장께, 그렇지 않아도 바쁜데 일도 하고 애들도 가르치라시는 겁니까 하고 필요 없다고 한 적도 있다. 하지만 이런 요구는 점점 더 강해져 10년 차 정도가 되면 회사는 내가 관리자가 되길 기대하며 벌써 4~5명의 인원이 내 업무 지시를 기다리고 있다. 그리고 내가 엔지니어로서의 능력이 아닌 관리자로서의 능력으로 평가된다.

관리자, 경영자로서의 꿈을 가진 이들에게는 필요한 과정일 수 있지만, 의도되지 않은 요구는 엔지니어로서의 능력을 개발하고 심화해 나가는 과정을 조직의 필요에 의해 퇴화시키며, 원천 기술 부족 국가의 결과 및 공학 기피의 상황마저 초래

하는 것이 아닌가 싶다.

사실 개인이 의도하지 않은 조직에 의한 관리자로서의 능력 요구가 체계적인 문제점을 가지고 있다는 생각을 하는 엔지니어들이 얼마나 될지 궁금하다.

내가 정말 좋아하는 것이 무엇인지, 그것을 하기 위해 뭘 해야 하고 어떻게 살아야 하는지, 공부가 필요하다면 어떤 것을 해야 하는지 와 같은 중요한 것에 관해 생각하지 않았다. 시험체계에 맞도록 만들어진 세대들은 주어진 보기들 안에서 답을 골라야 하거나, 교과서에 정해져 있는 답을 써야 하는 훈련을 어려서부터 받아 왔다. 그래야 공부를 열심히 하는 아이, 말 잘 듣는 착한 아이였다.

한국사회에서의 엔지니어들은 착한 아이들이다. 의사, 변호사, 국회의원, 많은 집단 또는 직업 군에 의해 집단으로서 행해지는 기득권의 요구사항을 매체를 통해 듣고 있지만, 엔지니어들이 파업을 했다던가, 엔지니어들이 청사 앞에 모여 주장을 했다던가, 전국 엔지니어 연합회를 만들었다는 말을 들어본 적이 없다. 신문을 보면 참 많은 연합회, 단체, 조직들이 있다. 회사의 노조에도 포함되지 않으며, 관리자로 불리며 책임을 가지지만 경영자도 아닌, 정의되지 않은 계층인데다, 하는 일도 명확하게 구분되지 않은 엔지니어들은 정체성을 가져야 한다. 내가 누구이고, 뭘 원하며, 어떻게 살 것인지. 그리고 그것이 될 수 있도록 한국 사회 조직의 체계적인 보완이 필요하다. 원한다면 엔지니어로 평생 살수 있는 세상 말이다.

제1장 기하학적 치수공차의 개념

1-1. 기하학적 치수 및 공차 과정에 대한 학습 목표

기하학적 치수 및 공차에 대한 영역을 공부하기 위해서는 우선 ‘기하학적’이라는 용어를 뻔 상태에서의 치수와 공차에 대한 개념을 알아야 한다. 이에 첫 번째 목표는 치수 및 공차에 대한 정의와 치수공차에 대한 개념을 간단히 알아보도록 한다. 물론 이 과정은 기하학적 공차의 내용을 주로 하므로 이에 꼭 필요한 개념을 알아보도록 최소한의 설명을 할 것이다.

두 번째 목표는 기하학적 치수 및 공차 방식의 논리적인 이해를 위함이다. 교재 내에 많은 공식 및 이론들이 있지만, 이를 외워서 이해하고 도면 업무에 적용한다면 그 어려움은 이루 말할 수 없을 것이다. 따라서 공식 및 이론이 어떤 배경에서 도출되었으며, 어떤 의미를 가지고 있는지 논리적으로 이해한다면 더 명확한 개념을 확립하고, 나아가 실제 업무에 적용도 좀 더 쉽게 수행할 수 있을 것이며, 세 번째 목표에 해당되는 제품 설계에 대한 이해를 명확히 할 수 있을 것이다.

세 번째 목표는 기하학적 치수 및 공차에서 가장 중요한 항목인 게이지와의 개념 연계성이며, 기하학적 치수 및 공차 영역에서 도출된 게이지 개념이 포함되어 게이지가 제작되고, 이 게이지를 통해 검사를 수행함으로써 검사에 대한 명확성 및 편리성을 갖도록 하는 것이다.

그런 목표들은 주로는 고객의 요구사항에 맞추어 만들어지는 것이 가장 중요한 사항이므로 기하학적 치수 및 공차 영역에서의 고객 요구사항을 명확히 이해하는 것이 필요하다. 물론 고객의 요구사항은 치수 및 공차적 요구

사항보다 훨씬 더 광범위하다. 따라서 본 교재를 통해서도 치수 및 공차적 요구사항 내에서의 고객 요구사항 정도를 다뤄보도록 하겠다.

1-2. 커뮤니케이션 도구

기하학적 치수 및 공차 과정의 개념은 커뮤니케이션으로부터 출발한다. 우리는 서로의 의사를 소통하기 위해 언어라는 커뮤니케이션 도구를 발달시켜 왔다. 물론 인간이 상대방에게 의사를 전달하기 위해 쓰는 방법이 언어만 있는 것은 아니며, 심지어는 의사전달의 방법 중, 말이라는 언어가 차지하는 비중이 극히 일부이며, 표정이나 행동을 더 큰 영역의 의사소통 체계로 언급하기도 한다. 하지만 우리는 엔지니어이기 때문에 그 의미가 객관적이지 않은 것은 여기서는 다루지 않을 것이며, 언어라는 형태 안에서도 객관적으로 인정될 수 있는 쓰여진 형태의 언어에 대해 이야기를 전개시켜 나갈 필요가 있다.

다시 표현하면 가능한 명확한 의사소통의 방법을 통해 엔지니어가 공통된 이해를 수반할 수 있도록 하여야 하며, 이것이 엔지니어에게는 도면이라는 방법을 통해 제품의 도면을 만드는 사람 즉 설계자로부터 제품을 제작하는 사람, 제품을 검사하는 사람, 제품을 사용하는 사람에까지 공통된 생각을 가지고 일을 할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

물론 이전의 치수공차 만을 사용한 방법에서도 의사소통을 위한 명확한 표현을 도면에 명기하기 위해 많은 노력들을 해왔고, 그 도면들을 가지고 제품을 잘 만들어 왔었다. 그리고, 기하학적 치수 및 공차 방식을 이용한다고 해서, 다르게 이해될 수 있는 부분들을 완전히 해결해주는 완벽한 방법

론도 아니다. 하지만, 엔지니어링 영역에서 완벽한 답이 없듯이 치수적 요구사항을 표현하는데 있어서도 좀 더 나은 방법을 찾고자 하는 것이 기하 공차를 사용하는 배경이 된다고 할 수 있다.

그런 의사소통의 방법론은 글로벌 소싱(제품을 만드는 기업이 그 제품의 일부 또는 전체를 가격 및 품질 등의 조건이 좋은 업체를 통해 공급받는데, 그 영역을 국내에 한정하지 않고, 세계 여러 나라를 통해 조달하는 방법)이라고 하는 개념 아래에서는 더욱 필요한 개념이 된다.

사례를 하나 가정해 보면, 어떤 제품을 만들기 위해 그 제품을 가장 잘 설계할 수 있는 영역에서 설계가 이루어진다. 설계 자체가 그런 특성을 가지지만 설계자는 혼자만의 능력과 노하우를 이용하기 보다는 선진기술이나 좀더 이력이 많은 엔지니어를 통해 설계를 보완하기 위해 노력한다. 따라서 좋은 설계를 위해 설계자들끼리의 의사소통을 먼저 하게 된다. 그 결과에 따라 도면이 만들어지게 되고, 도면이 제품을 만드는 생산의 영역에 이르게 된다. 생산의 영역은 설계한 영역과 같은 회사일 수도 있고, 제품의 일부인 부품을 만드는 협력업체의 생산 영역일 수도 있다. 여기서 중요한 점은 그 생산영역이 많은 경우 글로벌 소싱 형태로 해외에 있는 것이다. 많은 경우 중국 또는 동남아시아의 생산공장을 통해 부품 또는 제품들이 제조된다. 그 제조과정을 통해 만들어진 부품 또는 제품이 한국, 미국, 유럽, 일본 등의 완성품 제조 및 유통을 통해 최종소비자에게 공급되게 된다. 이 과정 속에서의 커뮤니케이션의 내용을 단계적으로 살펴보면, 첫 번째는 제품의 설계시의 내용이다. 설계시의 요구사항이 명확하지 않고, 기능을 중심으로 한 표현의 방법에 차이가 있다면 설계시의 의사소통에 문제가

있을 것이다. 두 번째는 설계와 제조영역 간의 의사소통으로, 설계자의 명확한 의도가 제품의 제조에 반영되어야 함에도 불구하고 해외 부품업체와의 의사소통 오류는 국내의 같은 언어를 사용하는 경우보다 훨씬 더 클 가능성이 많다. 실제로 도면을 만들어 국내의 제조영역에서 제품이 제조되더라도 설계와 제조 엔지니어들은 상당히 많은 논의 및 조정을 통해 제품을 만들게 된다. 하물며 국적이 다른 엔지니어들 간의 의사소통은 제품을 만드는데 있어서 더욱 중요한 사항이 된다. 세 번째는 해외에서 제조된 부품이 국내 이외의 영역에서 사용된다는 것이다. 예를 들어 중국에서 조제된 부품이 한국의 자동차에만 쓰이는 것이 아니고, 북미, 유럽, 호주의 자동차 공장에서도 사용되기 때문에 중국의 부품 공장은 전세계의 자동차 공장에 제품을 공급하는 개념이 되는 것이다. 이전에 설명한 글로벌 소싱의 전형적인 형태가 되는 것이다. 이런 상황에서의 의사소통 방법이 회의나 전화를 통한 것으로 얼마나 해소되어 제품이 만들어질 것인가에 대해 의문을 가질 수 밖에 없는 것이 기하학적 치수 및 공차에 대한 배경이 되는 것이다. 즉, 다양한 고객들이 있기 때문에, 잘못된 커뮤니케이션 없이 제품의 요구사항을 이해할 수 있도록 공통된 언어가 필요했고, 이 상황을 만족하기 위한 도구라고 보면 된다.

마지막으로 약속을 하나 하면, 기하학적 치수 및 공차(Geometric Dimensioning and Tolerance)를 앞으로는 GD&T라고 줄여서 부르도록 한다.

1-3. GD&T의 목적

위에 표현한 글로벌 마켓에서의 공통된 설계언어가 필요한 상황과 함께, 현재의 제품에 대한 고객의 기대를 포함하여 GD&T의 등장배경을 하나 더 살펴보면, 제품의 설계가 점점 더 복잡해지고 정교해졌다는 것이다. 자신이 갖고 싶었던 핸드폰, 컴퓨터, 자동차에 대한 기대가 10년 전 또는 그 이전과 지금이 어떻게 다른지를 생각해 보면, 그때와는 엄청나게 다른 고객으로서의 요구사항에 변화가 비교될 것이다. 이것을 반영하여 만드는 제품도 마찬가지로 큰 차이를 가지고 변화되어 왔으며, 결국 제품을 만들기 위한 설계의 복잡성도 대단히 높아졌고, 정교한 제품으로 개발되어 왔다. 이런 상황이 GD&T를 필요로 하는 요구로 반영되어 있다.

GD&T의 목적의 첫 번째는 조립, 기능, 그리고 호환성이다. 조립하는 부품의 끼워 맞춤 및 조립상태에서 결합부품의 호환성을 목적으로 하는 것이다. 뒤에서 가장 중요하게 다뤄질 MMC라는 재료조건과 관계하는 개념이 호환성의 개념이다. 실제적으로 GD&T에서 정의하는 각 이론 및 조건, 식 등은 제조되는 제품 및 게이지에 현재에도 반영되어 있다. 다만 그 개념을 이용하기 위해 도면에 명확한 표현을 넣어 줄 것이냐가 차이라고 보면 더 정확하겠다.

두 번째 목적은 실제 기능상 설계치수와 공차상의 요구를 명확하게 정하는 것이다. 치수공차를 통해서도 설계치수 및 공차를 정의는 하고 있지만 제품의 형상은 물론, 더 중요하게는 조립되어 기능하는 상대물과의 조건을 고려한 값은 치수공차 만으로는 명확화되지 않는다.

따라서 세 번째 목적에 해당되는 도면의 표현/해석에 있어서 공통된 의도

를 전달하고, 가능한 편리하게 해석할 수 있어서, 설계의도를 제조 또는 검사 업무를 하는 엔지니어들에게 명확히 전달함으로써, 그들의 경험에만 의존한 짐작을 최소화하고, 다른 의미의 이해를 통한 논쟁을 줄여줄 수 있는 방법이다.

결국은 적용 가능한 공차의 최대값이 적용되도록 설계를 함으로서 보너스 공차와 같은 공차를 확대 적용하는 개념으로, 공차가 증가한다는 것은 결국 생산성의 극대화를 이루는 방법이고, 이를 통해 직접적으로 생산비용을 절감할 수 있는 목적을 달성할 수 있다.

1-4. GD&T를 사용하는 경우

가장 중요한 GD&T의 사용 범례는 부품의 형상이 기능 또는 호환성 문제에 있어 중요한 경우이다. 호환성의 언급은 앞에서 강조한 내용과 같다.

두 번째의 사용 경우는 기능적인 게이지 사용 방법이 가능한 경우로, 게이지와의 연계성을 표현하는 것이다. 나중에 게이지에 대한 연계성을 자세히 설명하겠지만, 간단히 언급만하면 GD&T 영역에서의 게이지 개념은 상당히 중요하며, 게이지와 연계된 GD&T의 개념을 이해 해야만, GD&T에 대한 적용을 완벽히 수행할 수 있다.

세 번째는 제조 및 검사과정의 일관성을 확실하게 하기 위해 데이텀 참조가 필요한 경우이다. 데이텀은 뒤에 3장을 통해 아주 자세히 설명하겠지만 제품의 기능과 상대물을 고려한 기준으로 이해할 수 있고, 기준의 의미는 양/불량을 판별할 경우에 필수적인 구속조건으로 적용되어야 한다. 그런 데이텀은 검사과정 중에 무조건 지켜져야 하므로 검사결과의 일관성을 확

보할 수 있는 중요한 기준이다. 또한 GM과 같은 자동차업체의 요구사항 중에는 이런 데이텀이 제조 시에도 지켜져야 한다는 요구사항까지 포함되어 있다. 다양한 제조 공정 중에서 이를 지켜야 한다는 것은 설계부터 제조, 검사까지의 일관된 기준을 부여하는 체계를 의미하지만, 쉽지는 않은 과정이라 할 수 있다.

마지막으로 GD&T의 사용범위를 배제하면, 표준품의 영역이다. 표준적인 해석 또는 공차가 미리 암시되어 있지 않은 경우라고 설명하는 내용은 KS등의 표준이 미리 규정되어 적용된 볼트, 너트, 형강 등과 같은 표준품들에 는 GD&T를 적용하지 않는다.

1-5. GD&T의 효과

확실한 의사소통으로, 설계, 제조, 검사 및 외주 생산에 있어 모든 사람이 같은 언어로서 의사소통을 확실하게 할 수 있다.

더 좋은 설계를 할 수 있는 도구로, 제품 설계에 있어 조립 기능의 호환성을 보장할 수 있으므로 더 나은 설계가 가능해진다.

제조공차가 증가된다. 제조 공차에 있어 보너스 공차의 원리를 이용하면 제조 비용을 줄일 수 있다. 표현 그대로 보너스 공차라는 표현은 도면상 부여된 공차 값 외에 추가로 부여할 수 있는 공차를 의미하며, 공차가 추가로 허용된다는 것은, 양품으로 포함될 영역이 넓어지는 의미가 되므로 더 많은 제품이 양품이 되는 것이며, 불량품이 줄어드는 상황을 만들 수 있으니 제조비용이 줄어들 수 있는 것이다.

또한 기능적 요구사항에 대한 게이징(검사)이 가능한 것이다. 실제적으로

게이징을 수행토록 하는 것이 GD&T의 큰 목적이므로 게이지의 사용은 GD&T에서는 필수적으로 연계되어야 할 사항이며, 게이지의 사용을 통해 더 쉽게 제품의 양/불량을 판별할 수 있는 효과를 가질 수 있다. 물론 게이지의 사용은 GD&T 적용 여부와 관계없이 사용될 수 있는 것이지만, GD&T의 개념을 적용하지 않고 만들어지는 게이지는 없다. 가장 큰 차이는 게이지를 사용하는 범주에서의 허용공차의 차이에 있다고 볼 수 있다. 이것은 기하공차의 세가지 장점 분석영역에서 다시 자세하게 다뤄보도록 한다.

1-6. 포괄적 의미의 GD&T

첫 번째, 국제적 언어이다.

GD&T는 제품을 정확하게 설명하기 위해 도면에 사용되는 국제적 언어이다. 이 언어는 명확히 정의된 기호, 규칙, 정의, 합의를 포함하고 있으며 이것들은 제품 형상의 크기, 형상, 방향, 위치공차를 표현하도록 사용될 수 있다.

두 번째, 정확한 언어이다.

기하공차는 도면상에 설계자가 의도하는 바를 표현할 수 있는 정확한 언어이다. 따라서 제품 설계가 향상된다. 제품은 설계 의도를 파악할 수 있는 언어를 사용하며, 검사는 SET-UP을 결정하기 위해 언어를 기준으로 한다.

세 번째, 일치를 제공한다.

도면 사양과 해석에 있어 일치됨을 통해, GD&T는 생산과 검사 공정에 있어 논쟁, 추측, 가정을 줄인다.

1-7. GD&T의 정의

넓은 의미의 정의는,

“가장 경제적으로 제품을 만들 수 있도록 부품 형상(Part Feature)의 실제적인 기능(Function) 또는 관계(Relationship)에 중점을 두고 도면의 치수 및 공차를 정하는 수단” 으로 정의할 수 있고,

명확한 개념의 정의는,

“부품 형상이 도면에 나타난 이론상 완벽한 기하학적 특성에서 어느 정도 벗어나도 되는지를 수치로 나타내는 방법” 으로 정의된다.

두 정의는 기하공차를 이해하기 위한 가장 좋은 방법이기 때문에, 가능한 아래 표현된 명확한 개념의 정의는 외워두는 것이 좋다.

밑줄을 친 두 부분 중에 앞쪽의 표현인 이론상 ‘완벽한 기하학적 특성’은 기하공차로 부여된 공차부여의 기준을 의미하며, 뒤에 설명될 기준치수로서 구체적으로 설명될 것이다.

뒤쪽의 ‘어느 정도 벗어나도 되는지를 수치’로 표기한 부분은 부여된 공차의 값을 의미하며, 세부적인 내용을 뒤에서 설명하겠지만, 여기서 꼭 알아둬야 할 것은 그 의미이다. 표현된 그대로의 벗어나도 되는 영역을 의미하므로 기하공차에는 마이너스 공차가 없다. 즉, 도면상에 표기된 공차의 값이 $\Phi 0.5$ 로 표기되어 있다면, 영역으로서의 의미이므로 ± 0.5 또는 ± 0.25 로 잘못된 해석을 해서는 안 된다. 이외의 정의에 대한 설명은 차차

깊숙하게 설명될 것이다.

1-8. GD&T의 역사

GD&T가 생겨나게 된 상황을 살펴보면, 포괄적으로 설계정보의 불완전성에서부터 출발한다고 볼 수 있다.

세부적으로 살펴보면 1800년대 말 기계공업의 발달로 대량생산 체제의 호환성이 요구 되면서 설계정보의 다음과 같은 불완전 요소들이 나타나게 된 것인데,

첫 번째, 위치결정 공차의 불완전성

두 번째, 기준이 되는 면 또는 형상 지정이 결여되어 있거나 정의가 불확실하여 설계, 제조, 검사의 방법이 통일되지 않음.

세 번째, 제품의 기능과 관련 없이 설계되기 때문에 생산은 되어도 기능이 발휘되지 않음

과 같다.

결국 신뢰성, FMEA, GD&T와 같은 내용들이 필요성을 가지고 나타나게 된 상황은 결국의 산업혁명 이후 대량생산으로 인한 것이 가장 광범위한 이유라고 볼 수 있다.

세부적인 시간 별, GD&T관련 규격을 보면 다음과 같다.

1949년 --- MIL-STD(Military Standard)-8 제정

1957년 --- ASA(American Standard Association with the British and Canadians)에서 GD & T의 도시방법을 채택, ISO/TC10에 반영

1966년 --- ANSI(American National Standards Institute) Y14.5 제정

1969년 --- ISO 1101 제정

현재의 ANSI Y14.5 규격은 1973년, 1982년 개정을 거쳐 1994년 발행된 ASME (American Society of Mechanical Engineers) Y14.5M 규격이 사용.

규격의 출발이 국방과학규격으로부터 출발한 것으로 보면, 인명을 대상으로 하는 전쟁 시에 이와 같은 개념들이 발달되어 왔음을 보여주고 있다.

1-9. GD&T관련 해외규격

GD&T의 영역은 한국의 자동차 회사 및 일본 자동차 회사를 제외한 전세계에 걸쳐 사용되는 방법론이다. 글로벌 거래 등을 통해 한국 및 일본의 부품업체들도 북미, 유럽의 자동차 회사들의 요구사항을 반영하다 보니, GD&T의 적용이 보편화된 상황이다.

<표 1-1>

국가	규격명	규격 번호	
한국	KS	KS B 0425-1991	기하편차의 정의 및 표시
		KS B 0608-1992	기하공차의 표시 방법
미국	ASME	ASME Y14.5M-1994	Dimensioning & Tolerancing
영국	BS	BS 308 Engineering Drawing Practice : Part 3-1972	Geometric Tolerancing
캐나다	CSA	CSA B 78.2-1975	Dimensioning & Tolerancing of Mechanical Engineering Drawings
독일	DIN	DIN 7184 Sheet-1 Tolerances Form & Positions -1972	Definitions Indications on Drawings

국가별 GD&T관련 규격이 <표 1-1>과 같으며, 이 규격들은 미국의 ASME Y14.5M -1994 에 따른 규격으로 글로벌 기업들 등의 개별업체의 GD&T 표준들도 거의 대부분 여기에 따른다고 볼 수 있다. GM과 같은 경우도 대부분의 내용을 Y14.5에 따라 수행하며, 일부 별도의 정의를 부가하여 사용하고 있다.



ASME : American Society of Mechanical Engineers

Y14.5 : 규격 번호

M : 미터법 단위(Metric units)

1994 : 규격이 승인된 연도

GM의 부가기준

		Design Standard Electronic	C2B
Global Dimensioning And Tolerancing Addendum – 2004			

새롭게 개발된 수학적 방법으로 보완

ASME Y14.5로부터 특별한 옵션 선택

ASME Y14.5 내에 분명치 않은 개념을 명확화

ASME Y14.5로부터 특별한 개념의 사용을 금지

ASME Y14.5에 의해 규정되지 않는 확장된 개념을 포함

GM과 자동차산업에 만족하는 산업적/국제적 공차 표준에 영향

1-10. 끼워맞춤 및 치수 표기법

헐거운 끼워 맞춤(Clearance fit; ANSI running and sliding fit)

； 항상 틈새를 갖는 끼워 맞춤, 구멍이 축보다 항상 큰 경우

중간 끼워 맞춤(Transition fit; ANSI location fit)

； 결합부품 간의 한계치수 범위 내에서 틈새와 쪼름새가 함께 나타나는

끼워 맞춤. 기능에 따라 선택적 사용.

억지 끼워 맞춤(Interference fit; ANSI force fit or shrink fit)

； 항상 쪼름새가 있는 끼워 맞춤. 결합부품간 서로 가압되거나 강제로

끼워지는 것. 구멍보다 축이 항상 큰 경우

허용차 ； 결합부품 사이에서 최대재료조건 간의 계획적인 차

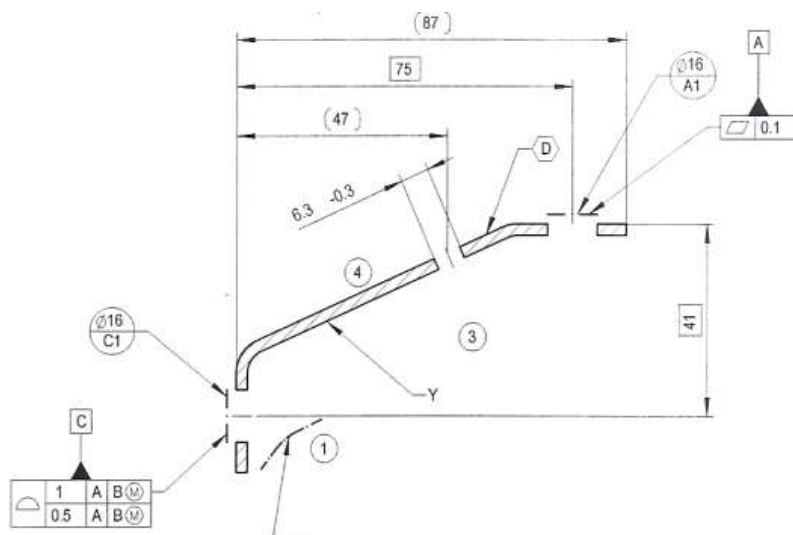
억지 끼워 맞춤 (- 허용차) / 헐거운 끼워 맞춤 (+ 허용차)

여기서 허용차의 개념이 가장 중요한데, 이는 설명에 포함되어 있는 최대 재료조건, MMC라는 개념의 근본개념이 되며, 설계 시 허용차의 개념을 명확히 하여 MMC를 부여해 주어야 한다.

치수 표기법

- ① 연쇄 치수 표기법
- ② 기준선 치수 표기법
- ③ 치수선 없는 치수 표기법
- ④ 표를 이용한 치수 표기법

<도면 1-1>



<도면 1-1>과 같은 기준선 치수 표기법의 사례에서 중요한 부분은 설계자의 의도가 반영된 기준이 과연 제조나 검사 시에도 기준이 될 것인가 라는 점이다. 이것이 중요한 이유는 설계자는 기준점/선/면이 다른 형태의 기준

이 되어야 하기 때문에 그곳으로부터 치수를 부여하는데, 제조자는 제조의 측면에서 더 많은 양품을 제조하기 위한 목적으로, 검사자는 검사오류를 최대한 줄이기 위한 목적으로 업무를 수행하기 때문에, 도면에 부여된 기준의 형태를 틀림없이 지킨다고 말할 수 없다. 이 점을 명확히 정의해 주는 것이 데이텀(Datum)이고, 3장에서 자세히 알아볼 것이다.

1-11. 치수공차와 기하공차의 비교

치수공차와 기하공차를 비교하기 위해 3가지 영역을 구분하여 기하공차의 장점을 살펴 보도록 한다. 세가지 영역의 첫 번째는 공차영역의 모양이고, 두 번째는 공차영역의 유연성, 세 번째는 검사의 용이성이다.

<표 1-2>

도면 개념		치수 공차	기하 공차
공차 영역의 모양	조건	구멍 위치를 사각 또는 직각 공차 모양으로 표현	원형 공차 영역을 허용하는 지름 기호 사용
	결과	구멍을 위한 적은 공차 영역	구멍 위치를 위한 57% 큰 공차 영역
		높은 제조 원가	낮은 제조 원가
공차 영역의 유연성	조건	공차 영역이 고정	임의의 조건에서 공차영역이 증가되는 MMC 사용
	결과	기능이 가능한 부품이 버려짐	기능이 가능한 부품 사용
		높은 운영 비용	낮은 운영 비용
검사 용이성	조건	검사를 위한 기준 선택이 필요	검사를 위한 기준을 제공
	결과	다른 검사자에 의한 다른 결과 도출	명확한 검사결과
		양품이 버려지거나 불량품이 사용될 수 있음	양/불량의 논쟁 감소

<표 1-2>에 명기된 사항을 세부적으로 설명해 보기 전에 아래의 도면을 우선 검토해 보자.

도면의 좌우는 치수공차의 표현형태와 기하공차의 표현형태를 구분하기 위한 것으로 먼저, 두 가지 모두 두 요구사항을 반영하고 있다.

하나는 홀은 가로/세로 측에 대해 10.0~10.2 사이에 있어야 하는 홀에 대한 위치 요구사항이고, 다른 하나는 홀은 $\Phi 6.2 \sim \Phi 6.6$ 사이에 있어야 하는 홀에 대한 크기 요구사항이다. 또한 두 요구사항은 각각 독립적으로 만족해야 양품인 조건 들이다.

이런 요구사항은 우측의 기하공차 적용 도면에서도 똑같이 요구되며, 홀의 크기 요구사항은 표현의 형태도 같다. 결국 위치관련 요구사항 만이 치수공차와 기하공차 간에 표현형태에서 다르지, 크기 요구사항은 같은 치수공차의 형태로 요구된다. 따라서, 앞으로는 형체의 크기관련 요구사항에 대해서는 양품 만을 다루도록 한다. 우리는 앞으로 홀의 크기에 대한 위치 요구사항을 공부할 계획이다. 크기에 대한 양품 영역 외에 대해서는 언급하지 않는다. 그럼에도 불구하고, $\Phi 6.2$ 크기의 홀이 $\Phi 0.28$ 의 공차를 가진다면 홀 크기가 ($\Phi 6.2 - \Phi 0.28 =$) $\Phi 5.92$ 인 제품도 양품인지 의심하는 것은 치수 영역 내에서의 양품만을 다룬다는 약속을 저버린 것이다.

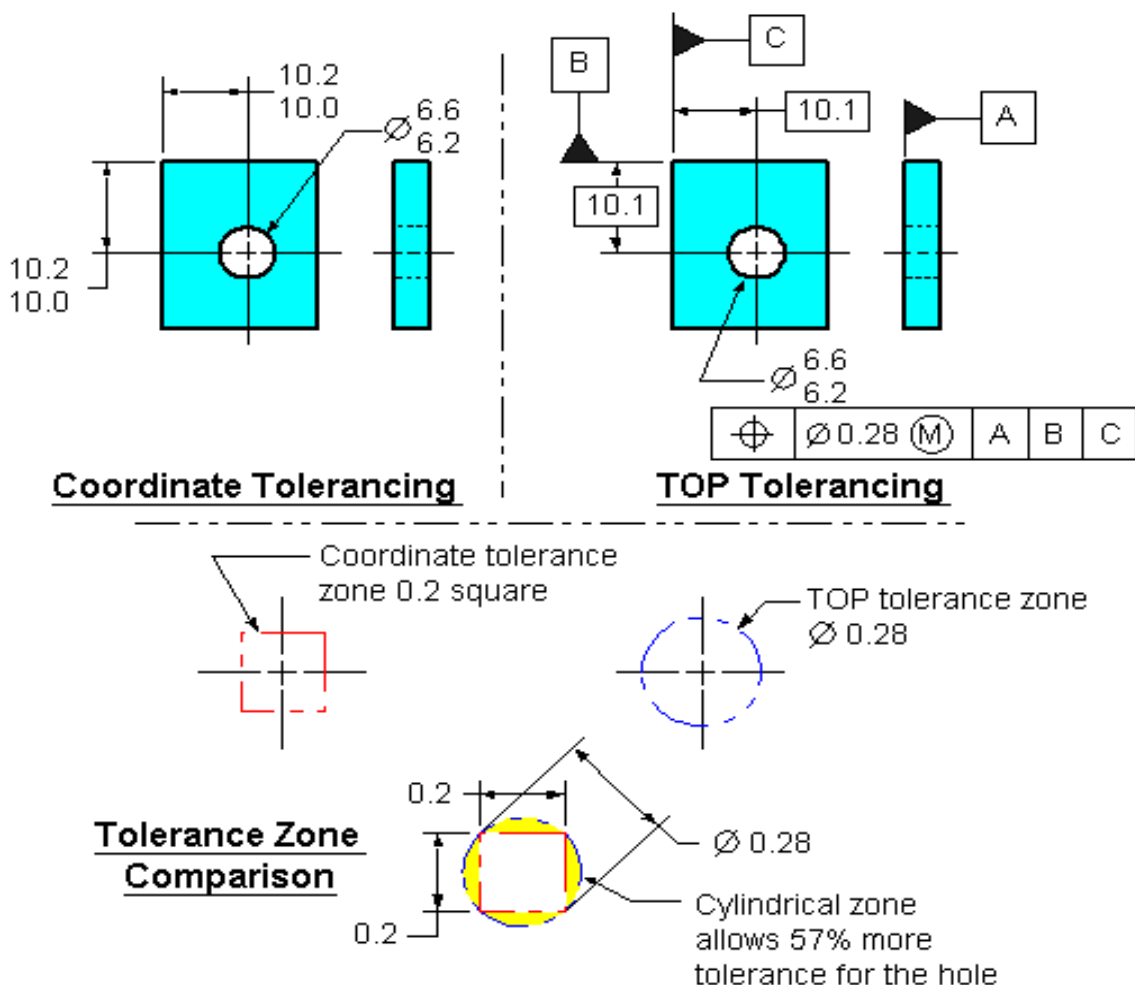
매우 중요한 부분이라서 사전 설명을 길게 했는데, 본문에 들어가 보자. 두 공차를 비교하는 영역에서 공차영역의 모양과 관련한 비교를 먼저 해 보면, 좌측의 치수공차 도면은 가로/세로 측으로 0.2mm씩의 공차를 갖는다. 즉, <도면 1-2>의 아래쪽에 표기된 0.2mm 사각형 공차 영역이 양품의 홀 중심이 위치할 수 있는 영역이다.

우측의 기하공차는 일반적으로 $\Phi 0.28$ 과 같은 Φ 값을 가진 원형(두께까지

고려하면 원통형) 공차모양을 가진다. 또한 위치공차에서 설명하겠지만, 치수공차 형태에서 부여된 0.2mm 공차에 상당하는 기하공차의 위치도 공차 값은 $0.2 \times \text{SQRT}(2)$ 에 해당되는 값을 갖게 된다. 결국 두 공차의 표현 형태가 같은 수준의 공차임을 알려주는 것이다.

이 두 공차모양을 중첩하여 표기한 것이 그림의 가장 아랫부분에 표기된 것이다. 두 공차영역의 교집합에 해당되는 사각형 내부의 영역을 100%로 가정할 때, 사각형 외부와 원형 공차모양 내부에 해당되는 진하게 칠해진 부분이 57%에 상당하는 영역이 된다. 결국 기하공차의 표현 형태를 취할 때, 57%만큼의 더 큰 공차 영역을 확보할 수 있다는 것이다.

<도면 1-2>

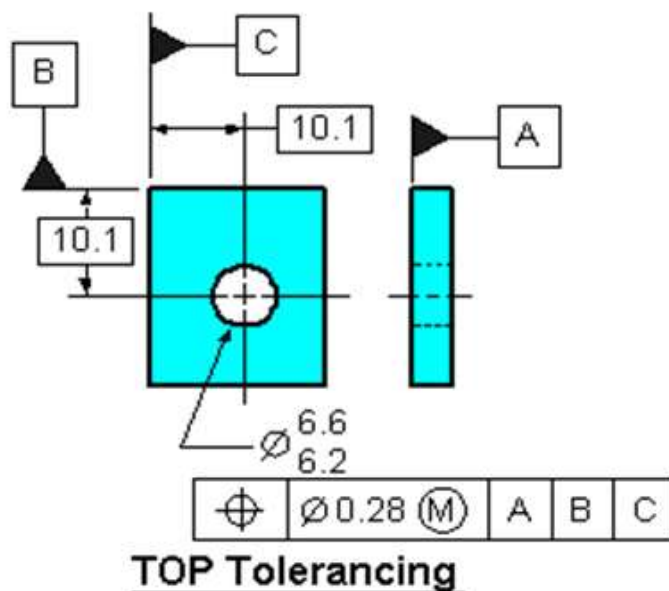


이것은 57%의 영역에 홀의 중심이 있는 제품이 있다면, 치수공차의 요구사항 아래에서는 불량이 되지만, 기하공차의 요구사항에서는 양품이 되는 것이므로 더 많은 양품을 확보할 수 있는 방법론이라 할 수 있다.

두 번째는 공차영역의 유연성으로,

치수공차는 공차영역이 고정되어 있다. 이전 항목에서 언급한 크기 및 위치의 관계를 검토하면, 홀의 사이즈는 $\Phi 6.2 \sim \Phi 6.6$ 사이에서 양품이며 홀의 사이즈와 관계없이 가로/세로 즉 홀의 위치는 $0.2\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ 안에 들어와야 양품인 것이다. 치수공차를 다뤄온 엔지니어들에게는 당연한 표현일테니 왜 이런 설명을 하는 것인지 의문을 가질 것이다. 치수공차에서 당연한 이 사항이 기하공차에서는 당연하지 않은 것을 설명하기 위한 것이다.

<도면 1-3>



공차영역의 유연성 측면에서 기하공차를 살펴보고 하면, 우선 재료조건의 MMC를 이해해야 한다. 뒤쪽 재료조건의 설명에서 전부 설명하겠지만,

우선 MMC만 간단히 정의해 본다.

MMC (Maximum Material Condition ; 최대 실체 조건 $\textcircled{M}$)

최대 질량을 갖는 부품 형체의 상태로 최소의 홀 치수, 최대의 축 치수 등 <도면 1-3>과 같이 공차인 $\Phi 0.28$ 뒤에 $\textcircled{M}$ 기호가 부가되면, 0.28공차의 조건으로 MMC 조건이 부여된다.

그 의미는 규제하고자 하는 형체인 홀이 MMC인 경우에 공차 $\Phi 0.28$ 을 부여한다는 것이며, 홀의 MMC는 정의와 같이 최대 질량을 갖는 부품 형체의 상태를 의미하므로 위 도면의 경우에는 $\Phi 6.2$ 인 경우가 된다. 따라서 $\Phi 6.2$ 인 홀의 경우 부여되는 공차가 $\Phi 0.28$ 까지 허용된다는 개념이다.

하지만 홀은 $\Phi 6.2$ 만 양품의 크기가 아니고, $\Phi 6.3$, $\Phi 6.4$, $\Phi 6.5$, $\Phi 6.6$ 및 그 사이의 무수히 많은 경우의 홀들이 양품의 홀 크기에 해당되므로 $\Phi 6.2$ 의 경우만 정의해서는 안 된다.

그렇다면 $\Phi 6.2$ 이외의 홀의 경우에는 얼마의 공차를 부여할 수 있는 것인가 알아야 하며 이것이 MMC조건에 수반된 약속인데, 그 규칙을 알아보자.

도면상의 기하 공차 값은 MMC에서 적용되는 값이고,

MMC에서 벗어나면 그만큼 추가 공차가 허용

<도면 1-3>의 경우에 명기된 기하공차 값인 $\Phi 0.28$ 은 홀의 MMC 조건인 $\Phi 6.2$ 인 경우에 적용되는 값이고, MMC에서 벗어난 $\Phi 6.3$ 인 경우는 차이 값인 $\Phi 0.1$ 만큼 공차의 추가가 허용되므로, 도면상 공차 $\Phi 0.28$ 에 $\Phi 0.1$ 의 추

가공차를 더한 $\Phi 0.38$ 만큼의 공차를 허용하게 된다. 그렇다면, $\Phi 6.6$ 크기의 홀인 경우는 얼마의 공차를 갖게 될까? MMC 조건인 $\Phi 6.2$ 와의 차이 값인 $\Phi 0.4$ 가 보너스 공차로 추가되어 $\Phi 0.68$ 의 허용공차 값을 가지게 된다. 이 내용을 정리하면 아래와 같다.

$\Phi 6.2$ (MMC)	→	$\Phi 0.28$
$\Phi 6.3$	→	$\Phi 0.28 + \Phi 0.1 = \Phi 0.38$
$\Phi 6.4$	→	$\Phi 0.28 + \Phi 0.2 = \Phi 0.48$
$\Phi 6.5$	→	$\Phi 0.28 + \Phi 0.3 = \Phi 0.58$
$\Phi 6.6$ (LMC)	→	$\Phi 0.28 + \Phi 0.4 = \Phi 0.68$

정리하면, 공차영역의 유연성 측면에서 기하공차에 MMC의 재료조건을 부여하면, 공차영역의 모양 측면에서 얻을 수 있는 57%의 영역보다 더 큰 공차범위를 확보할 수 있다. 이런 개념이 GD&T의 개념적용 여부를 떠나 엔지니어들에게 암묵적으로 알려져 있기 때문에 제품의 홀을 가공할 때, 치수의 상한치에 가깝도록 하는 것이다. 엔지니어들은 GD&T의 MMC는 잘 모르더라도 홀을 공차 영역 안에서 큰 쪽으로 하면 상대물과의 관계에 있어 문제가 적어지더라는 경험을 가지고 있는 것이다.

이 개념은 GD&T의 영역에서 가장 중요하다고 말해도 좋을 만큼, 필수적으로 알아야 하는 개념이다. 물론 여러분들을 위해 뒤에서 더 세부적인 개념을 다시 다룰 것이며, 위 공차영역에서 규칙처럼 표현한 보너스 공차의 개념이 왜 그런지 이해할 수 있도록 하겠다. 양파의 껍질을 벗기듯이 한

단계씩 개념을 넓혀보기로 하자.

세 번째는 검사의 용이성이다. 앞에 설명한 데이텀에 대해 이어지는 개념으로 기준선 치수 부여 방법으로 기준 점/선/면의 설정한 요구사항은 검사를 위한 기준 선택이 필요한 부분으로 다른 검사자에 의한 다른 결과가 도출될 가능성 때문에 양품이 버려지거나 불량품이 사용될 가능성이 있는 문제점이 있다. 이를 위해 명확한 검사를 위한 기준을 제공할 필요가 있는데, 데이텀이 그 역할을 수행한다.

도면과 같이 A/B/C 데이텀을 수반하는 위치에 대한 요구사항은 도면만의 요구사항으로 끝나는 것이 아니고, 제품을 검사하기 위해 우선 고정(구속)되어야 할 기준이 된다. 참고로 GM과 같은 경우에는 도면에 설정된 기준이 제조공정 중에서도 지켜져야 할 기준으로까지 요구된다.

1-12. 기하학적 특성 기호

4,5장을 통해 상세히 다뤄질 기하특성들을 여기서는 <표 1-3>을 통해 기호와 명칭을 눈으로만 훑어본다.

<표 1-3>

FEATURES	TYPE OF TOLERANCE	CHARACTERISTIC	SYMBOL
For Individual Features	Form	Straightness	—
		Flatness	
		Circularity (roundness)	○
		Cylindricity	
For Individual or Related Features	Profile	Profile of a Line	
		Profile of a Surface	
For Related Features	Orientation	Angularity	
		Perpendicularity	
		Parallelism	//
	Location	Position	
		Concentricity	
		Symmetry	
	Runout	Circular Runout	
		Total Runout	

**

**

**

**

진직도

평면도

진원도

원통도

선 윤곽도

면 윤곽도

경사도

직각도

평행도

위치도

동심도

대칭도

원주 흔들림

전체 흔들림

1-13. 수정기호(Modifying Symbols)

수정기호들도 4,5장에서 사례를 통해 모두 다뤄지게 될 것이다. 여기서는 <표 1-4>를 통해 그 종류들과 간단한 정의만 살펴보도록 한다.

<표 1-4>

TERM	SYMBOL
AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION	Ⓜ
AT LEAST MATERIAL CONDITION	Ⓛ
PROJECTED TOLERANCE ZONE	Ⓟ
FREE STATE	ⓕ
TANGENT PLANE	Ⓣ
DIAMETER	∅
SPHERICAL DIAMETER	S∅
RADIUS	R
SPHERICAL RADIUS	SR
CONTROLLED RADIUS	CR
REFERENCE	()
ARC LENGTH	⌒
STATISTICAL TOLERANCE	⬡ST⬡
BETWEEN	↔

F : 자유상태, 제작 시 작용력을 제거한 후에 부품의 변형된 상태

T : 접선 면, 접촉점 들과 접하여야 하는 형체 표면의 규제가 필요한 경우

P : 돌출 공차역, 기하 공차역이 주 데이텀으로부터 돌출되어야 할 경우

↔ : 사이, 윤곽공차를 적용할 경우

ST : 통계공차, 조립관련 치수들을 SPC의 요구에 근거하여 공차를 지정

└ : 자리파기와 깊이

∨ : 접시자리파기

1-14. 재료조건 기호

재료기호는 생산되는 형체의 크기나 위치에 따라 기하공차가 수정되거나 변화하기 때문에 흔히 수정기호(Modifying symbol)라고 하며, 재료조건 기호는 수정기호의 일부이다.

Maximum Material Condition (MMC, $\textcircled{M}$) : 최대실체조건

최대 질량을 갖는 부품 형체의 상태.

즉, 최소의 홀 치수, 최대의 축 치수 등을 말함.

Least Material condition (LMC, $\textcircled{L}$) : 최소실체조건

최소 질량을 갖는 부품 형체의 상태.

즉, 최대의 홀 치수, 최소의 축 치수 등을 말함. 최대실체조건(MMC)의 반대.

Regardless of Feature Size (RFS, $\textcircled{S}$) : 형체치수 무관계

치수 공차와 관계 없이 형체의 형상 또는 위치가 엄수되지 않으면 안될 조건으로, MMC나 LMC가 규제되어 있지 않을 경우 모든 기하공차는 RFS로 적용

MMC에 대해서는 앞 사례를 통해 그 규칙까지 자세히 설명했으므로, 여기서는 다른 두 재료조건에 대해서만 설명한다.

LMC는 재료조건의 정의로 보면, 홀의 경우에 최대의 치수란 양품의 범위 내에서 가장 큰 홀의 치수를 의미하며 이는 홀 형체를 가진 제품이 가장 작은 부품 형체의 상태를 나타냄을 의미한다. 축의 경우에는 최소의 치수로 이는 축 형체의 가장 작은 형체가 LMC 조건에 부합됨을 의미한다. 결국 각 형체로 이루어진 제품이 가장 작은 질량을 가짐을 의미한다고 볼 수 있다.

이 개념으로 볼 때, MMC 조건과 상대되는 조건으로 볼 수 있지만, 적용되는 사례에 있어서 MMC와는 전혀 관계되지 않는 개념으로 실제 사용되는 경우가 완전히 다르다. 적용되는 구체적인 사례는 이 단계에서는 이해하기 어렵기 때문에 5장의 위치공차에서 다루도록 한다.

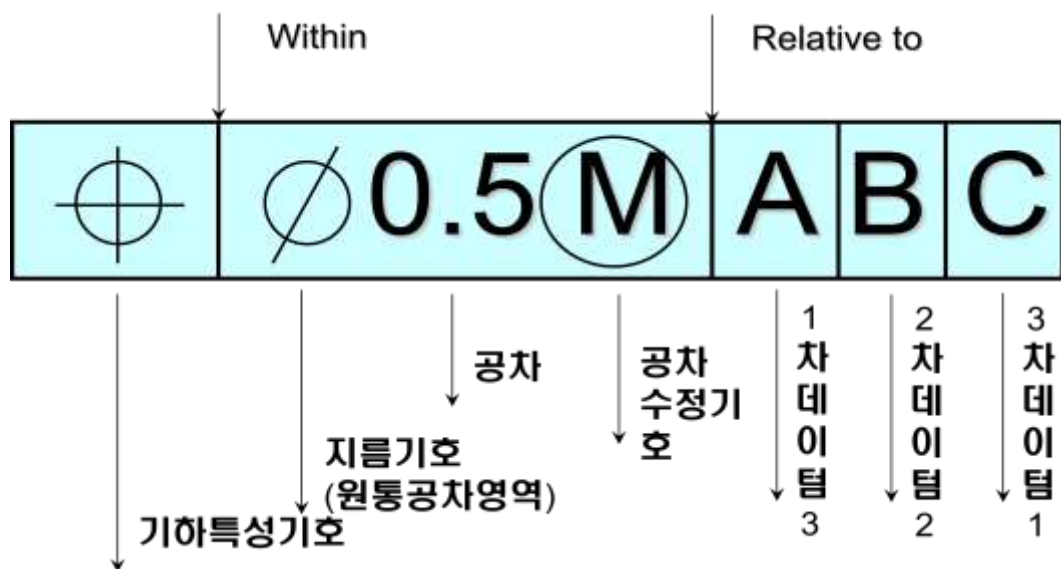
세 번째 재료조건인 RFS조건은 정의대로 형체치수와 관계가 없는 재료조건을 의미한다. 형체치수와 관계없다는 의미는 그 형체 치수에 따라 공차가 변하지 않는다는 것을 의미하므로 만약 앞 <도면 1-3> 사례의 $\Phi 6.2 \sim \Phi 6.6$ 인 요구사항에 RFS 조건이 요구되면 제품치수인 $\Phi 6.2$, $\Phi 6.3$, $\Phi 6.4$, $\Phi 6.5$, $\Phi 6.6$ 및 그 사이에 가능한 모든 치수의 경우에 공차 $\Phi 0.28$ 이 공통적으로 적용됨을 의미한다. 즉, MMC나 LMC에서 적용될 수 있는 보너스 공차가 없다는 개념을 의미한다고 볼 수 있다.

또한 아래 명기되어 있는 MMC나 LMC가 규제되어 있지 않을 경우 모든 기하공차는 RFS로 적용한다는 규칙에 따라 기호인 $\textcircled{S}$ 는 실제 도면에서는 사용치 않는다. 이 규칙이 다음 장에 설명될 Rule#2이며, 이 약속에 의해 실제 도

면에 MMC 또는 LMC 요구사항이 없는 경우에 적용될 수 있는 조건이 된다.

물론 모든 경우에 가능한 것은 아니며, 제품 또는 데이텀의 형체가 크고 작은 크기를 가질 경우에만 적용된다. 이것은 여기서는 설명하여도 어렵기 때문에 데이텀을 다룬 3장에서 자세히 설명될 것이다.

1-15. 형체규제 기호



형체규제 기호에 대하여 개략적으로 설명하면,

첫 번째 칸에 표기되는 것은 기하특성의 기호이다. 앞서 표로 정리되어 있는 기하특성에 대한 기호들이 표기될 수 있다.

두 번째 칸에는 공차 및 수정기호가 표기된다. 기하공차는 원형/원통형/평행영역의 공차가 사용되며, 일반적으로 원형/원통형 공차영역은 Φ 기호를 사용하여 요구되고, 평행영역은 Φ 기호가 없이 요구된다. 이 특성은 개별

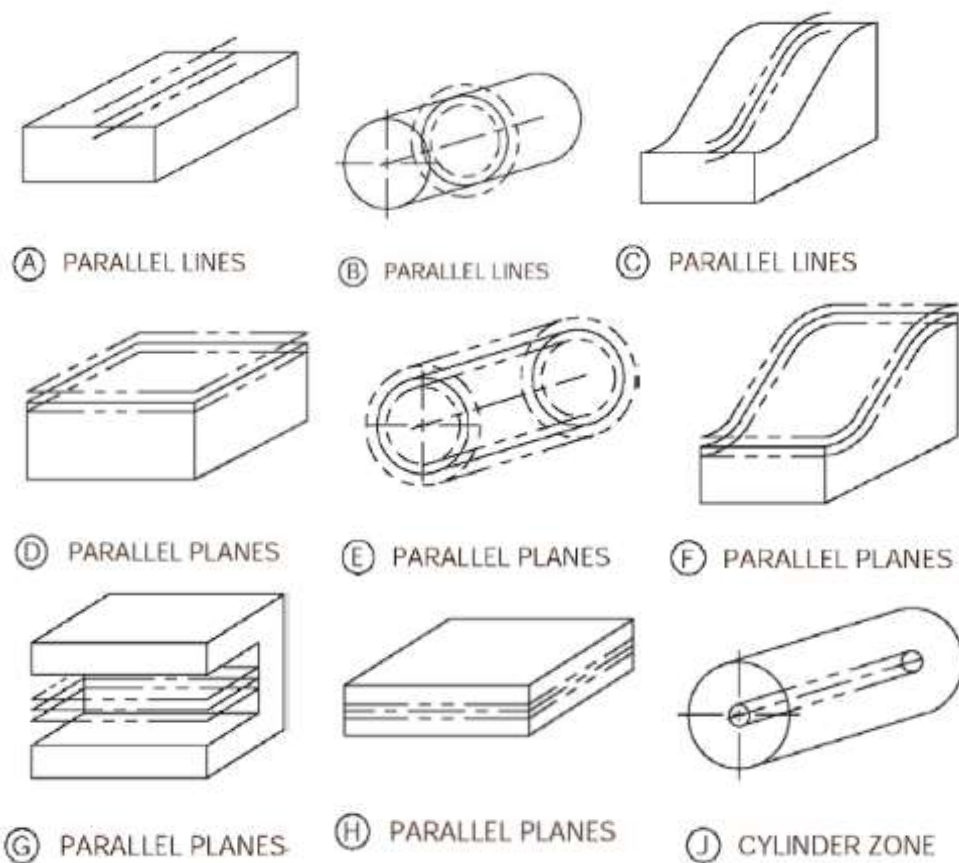
기하특성에 따라 조금씩의 적용개념이 달라지게 되므로 사례별로 다루어져야 한다.

데이텀은 형체가 규제되는 공차를 적용할 때, 기준이 되는 조건을 의미한다. 기준이 되는 조건이란 검사시의 구속조건을 의미하며, 이런 데이텀은 적용된 순서에 따라 우선적용의 의미를 갖는다. 즉, 첫 번째 적용된 A 데이텀이 최우선적으로 적용되어야 하며, 뒤에 있는 B, C 데이텀이 순차적인 적용의 의미를 갖는다. 1/2/3차 데이텀 아래 쓰여진 3-2-1에 대해서는 3장에서 구체적으로 설명하기로 한다.

1-16. 특성기호 vs 재료조건/데이텀/기능게이지

<표 1-5>

형태	특성	재료조건 MMC/LMC	데이텀 사용	기능게이지 사용	공차영역형태
형상공차	진직도	적용	적용안함	MMC시 적용	A, H, J
	평면도	적용안함	적용안함	적용안함	D
자세공차	평행도	적용	적용	MMC시 적용	A, D, G, H, J
	직각도	적용	적용	MMC시 적용	
	경사도	적용	적용	MMC시 적용	
윤곽공차	면의 윤곽도	적용안함	적용/적용안함	적용안함	D, E, F
위치공차	위치도	적용	적용	MMC시 적용	G, H, J



앞에서 간단한 개념으로 설명한 재료조건(특히, MMC), 기능게이지, 그리고 데이텀에 대한 개념은 GD&T에서 상당히 중요한 항목이다. 따라서, 그 세가지 항목과 관계되는 기하특성은 당연히 GD&T 영역에서 큰 비중을 차지하는 특성이다.

<표 1-5>를 살펴보면, 형상공차의 거의 대부분의 특성은 세가지 항목을 적용하지 않는다. 예외로 직직도 만이 재료조건의 적용 및 MMC 적용 시 기능게이지와의 관계성을 가지지만, 데이텀은 적용하지 않는 형상공차 대부분의 표면 요구사항을 갖는다.

자세공차의 세 요소 평행도, 직각도, 경사도는 세가지 중요 항목 모두를 적용하는 특성이다.

윤곽공차의 면의 윤곽도는 데이텀을 어떤 경우에는 적용하고, 단면형상만을 요구할 때는 적용치 않지만, 그 외의 두 항목인 재료조건 및 기능게이지는 적용치 않는다.

위치공차의 위치도는 가장 중요한 특성으로 세 가지의 중요 항목을 모두 적용한다.

기하특성 별, GD&T 중요항목 세 요소를 비교한 이유는 특성에 대한 정의이기도 하지만, 각 특성에 대한 GD&T 영역에서의 중요도 우선순위를 나타내기 위한 목적이기도 하다.

제2장 기하공차 이론

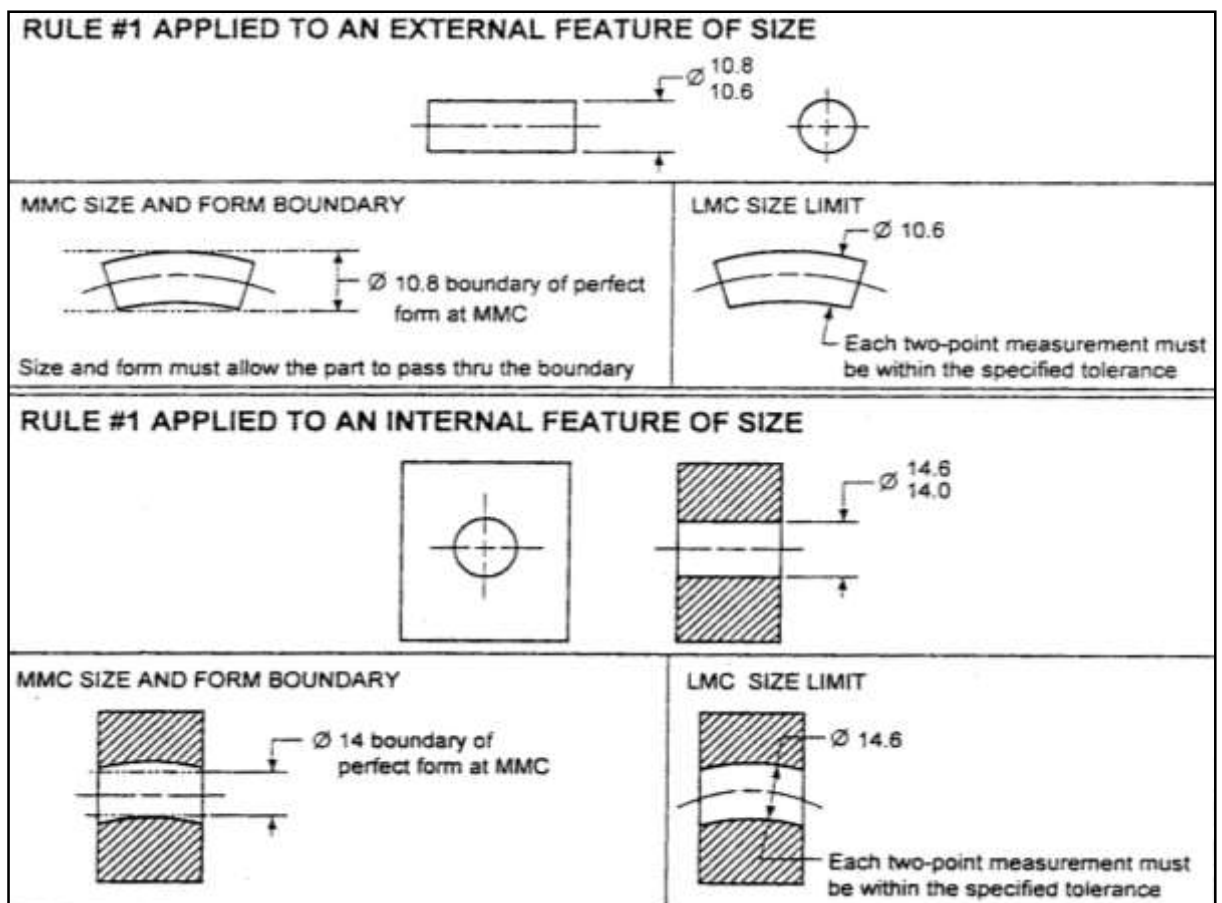
2-1. Rule #1

다른 규정이 없는 한 형체의 한계치수는 치수뿐만이 아니라 기하학적 형상의 편차가 허용되는 범위도 규정한다. (이 규제는 크기를 갖는 개개의 형체에서만 적용)

형체의 진직도/평면도와 같은 형상공차는 형체의 크기 범위 내에 있어야 한다는 의미로, 공차의 개념으로 볼 때 치수공차가 형상공차보다 더 넓은 개념임을 의미한다.

이 규제는 다음과 같은 사례로 설명될 수 있다.

<그림 2-1>



<그림 2-1>과 같이 핀 형체가 치수 값 10.6mm ~ 10.8mm의 요구사항을 가진다면, MMC에서의 치수에 해당되는 10.8mm의 한계치수는 제품의 국부 치수뿐만이 아니라, 제품의 전체 형상에도 규정되는 값이 된다. 따라서, 제품의 전체 형체는 MMC 한계치수 10.8mm를 넘을 수 없다.

또한 LMC 한계치수 요구사항인 10.6mm에 의해 제품의 국부 치수는 10.6mm 보다는 커야 한다.

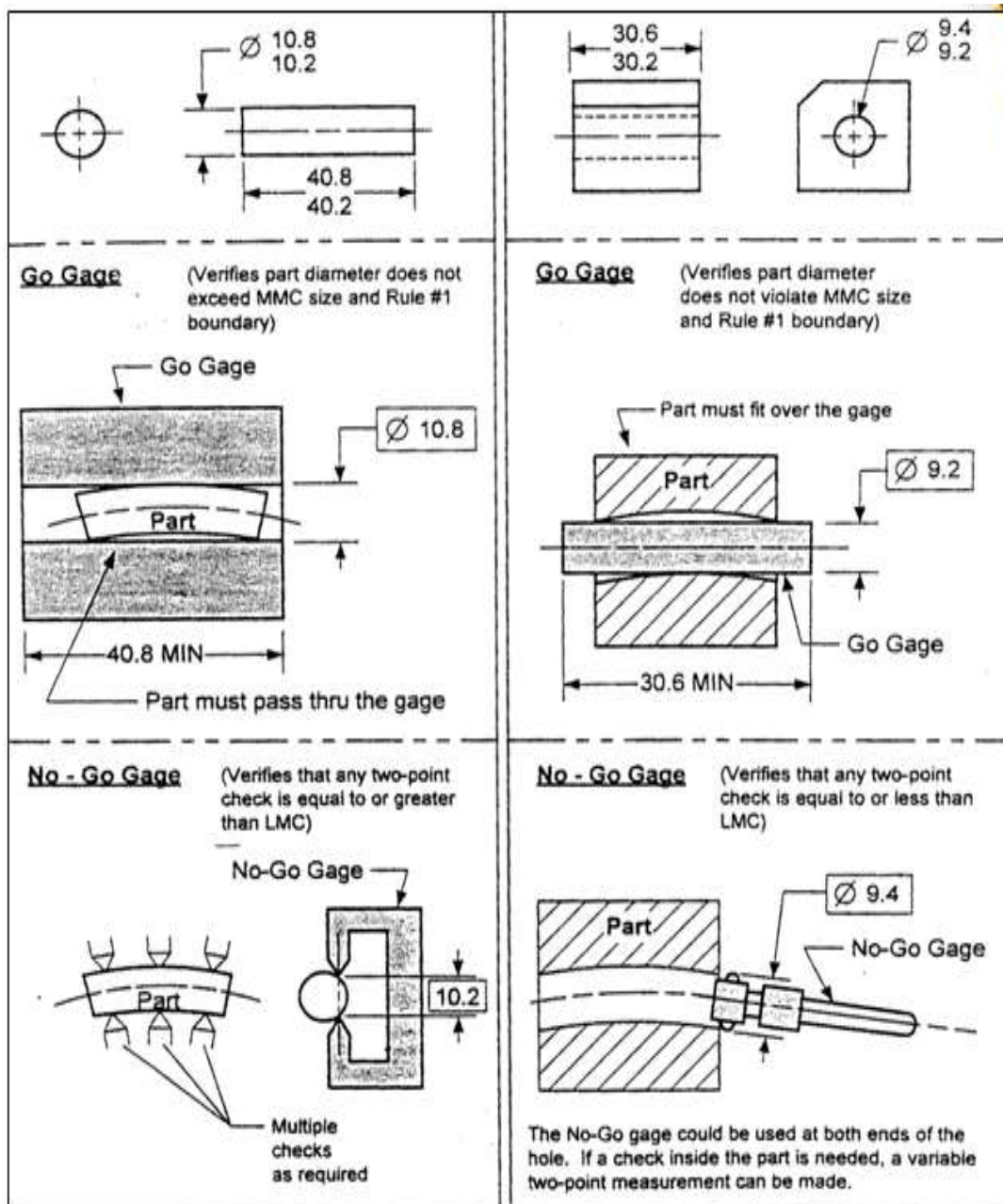
두 번째로 홀 형체에 대한 치수 값 14.6mm ~ 14.0mm의 요구사항에 대해서는, 우선 MMC 한계 값인 14.0mm를 국부 치수뿐만 아니라 홀 형상까지도 넘어설 수 없으며, LMC 한계치수 요구사항인 14.6mm로 인해 홀의 국부 치수는 그보다 작아야 한다.

Rule #1의 적용 목적은 Go Gage and No-Go Gage의 개념을 적용하기 위함이며, 아래의 <그림 2-2>와 같이 게이지의 개념과 연계할 수 있다.

우선 좌측의 핀에 대한 요구사항으로서의 Rule#1의 요구사항은 MMC 한계치수인 Φ 10.8mm의 값에 대하여 형체를 포함하여 넘을 수 없으므로 Φ 10.8mm에 해당되는 홀 형태의 GO-Gage에 통과가 되어야만 양품이라 할 수 있으며, LMC 한계치수인 Φ 10.2mm에 대한 요구사항은 NO-GO Gage의 개념에 따라 국부치수 어떤 곳도 통과되지 않아야 양품에 해당된다.

두 번째로 좌측의 홀 제품에 대한 요구사항은 Rule#1에 따라 MMC 한계치수인 Φ 9.2mm의 값에 대하여, 형체를 포함하여 넘을 수 없으므로 Φ 9.2mm에 해당되는 축 형태의 GO-Gage에 통과되어야만 양품에 해당되며, LMC 한계치수인 Φ 9.4mm에 대한 요구사항은 NO-GO Gage의 개념에 따라 국부치수 어떤 곳도 통과되지 않아야 양품에 해당된다.

<그림 2-2>



이런 Rule#1의 요구사항에도 예외는 있다.

Y14.5에 언급된 그대로의 표현을 쓴다면, ‘공급된 상태’라고 되어있는 제품이 해당된다. 그 의미는 ‘봉재, 판재, 판재, 구조용 형강과 같은 소재, 산업체나 정부 표준에서 진직도와 평면도 및 기타 기하학적 특성이 규정되

어 생산된 것, 이 것들로 만들어진 부품에는 기하공차가 규정되지 않는다.’
라는 것으로 결국 앞서 설명한 GD&T를 적용하지 않는 범위인 표준품 들에
해당되는 제품들이다.

또 하나의 예외는 억제되어 있지 않은 상태에서 자유상태 편차를 요하는 부
품으로, 자유상태 편차를 갖는 부품들이 해당된다.

여기에서 0(영, Zero)공차에 대한 개념을 잠깐 알아보고 가면, MMC에서 완
전한 형상의 경계선이 필요하다면, MMC에서 방향 또는 위치 공차를 0으로
하면 된다. 이 개념은 뒤에 다시 다뤄보도록 한다.

2-2. Rule#2

수정기호가 규정되어 있지 않은 경우에는 개개의 공차나 데이텀 참조 또는
둘 다에 RFS를 적용한다. MMC와 LMC의 적용이 필요할 경우에는 도면상에 규
제되어야 한다.

1-14. 장에서 RFS 재료조건에 대하여 설명할 때, 언급되었던 사항은 이
Rule#2의 내용을 간략히 설명한 것이었다. 앞서 설명한 것처럼 규제하고자
하는 형체가 크기를 가진 것이라면 데이텀에도 똑 같은 규칙이 적용됨을 추
가하여 두 번째 규칙을 완성한 것이다.

2-3. 기준치수

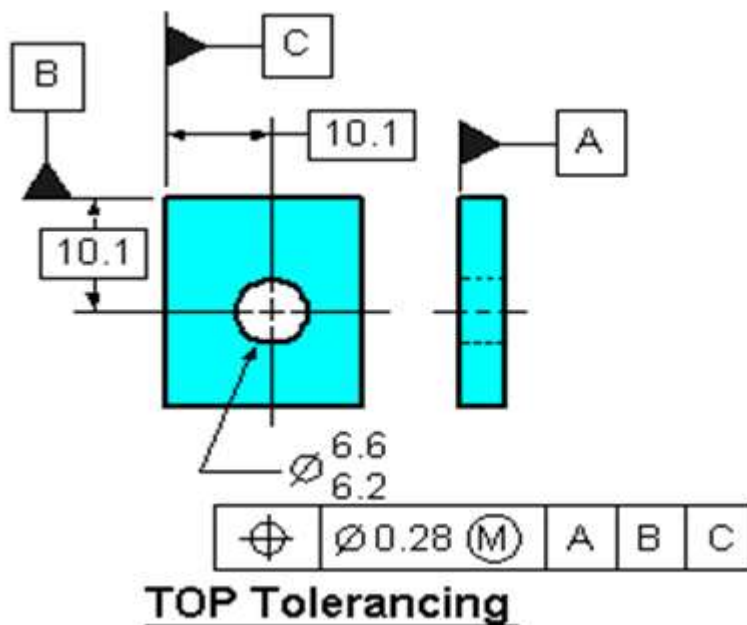
기준치수를 정의하기 위해 우선 정의되어야 할 것이 아래와 같다.

Size 란 크기를 나타내는 치수(구멍/축 형태의 지름 등과 같이 최대치수와 최소치수로 표시할 수 있는 것)를 나타내고,

Dimension 이란 형태의 각도나 위치를 나타낼 때 사용하는 치수(홀 간 거리 등)를 나타내는데,

기준치수는 아래 정의한 Dimension에 적용된다.

<도면 2-1>



앞서도 본 <도면2-1>를 다시 확인하면, 이전에 설명하지 않는 부분이 있는 것을 알 수 있다. 도면상 표기된 가로/세로 측 10.1mm의 치수 요구사항은 앞서 설명하지 않았으며, 이것이 기준치수이다.

개념적으로 보면, 도면에 표기된 공차를 표기하지 않은 10.1mm 치수는 실제 제품에서는 불가능한 치수이다. 왜냐면, 가로/세로 측 치수가 공차가 없는 정확한 무한의 0이 반복되는 10.10000000... 치수를 만족하는 제품을 만들 수 없기 때문이다. 결국 이 치수는 이론적으로나 가능한 치수라고 볼 수 있으며, 1-7. 장에서 정의한 GD&T의 정의에 나온 '이론상 완벽한 기하학적

특성’ 으로 표현된 것이 해당된다.

그럼 왜 ‘이론적으로나 가능한 치수를 도면에 명기하는 것인지?’ 가 GD&T를 이해하는 가장 중요한 부분이다. 이런 기준치수를 통해 기하학적으로의 완벽한 특성을 먼저 정의하는 것이 GD&T이기 때문이다.

이런 기준치수는 몇 가지 정의를 가진다.

첫 번째는 기준치수는 이론적으로 정확한 값을 나타내는 치수로 공차가 없다는 것이며, 앞서 설명한 내용과 같다.

두 번째는 기준치수를 적용할 때는 반드시 기준치수에 해당되는 공차를 형체규제 테두리에 규정하여야 한다는 것으로 사실상 앞서 중요하게 설명한 형체규제기호는 홀의 공차가 아니고, 기준치수의 공차이다. 이것은 GD&T의 정의를 보면 명확히 알 수 있다.

GD&T의 정의를 다시 한번 상기해 보자.

“부품 형상이 도면에 나타난 이론상 완벽한 기하학적 특성에서 어느 정도 벗어나도 되는지를 수치로 나타내는 방법”

앞에 설명한 이론상 완벽한 기하학적 특성인 기준치수에 어느 정도 벗어나도 되는지를 수치로 나타낸 방법이라는 표현이 형체규제기호를 의미한다.

따라서 형체규제기호와 함께 기준치수를 적용함으로써 GD&T의 정의가 완성되는 것이다.

세 번째는 기준치수의 표시 기호는 치수 둘레에 사각형 테두리로 표시한다는 것으로 위 도면에 표기된 것처럼 사각형 테두리를 표시함으로써 기준치수임을 명확히 표현하는 것이다. 표현 방법은 이외에도 가능하지만 이것은 위치공차에서 설명하도록 한다.

2-4. 재료조건

다시 재료조건으로 돌아와 좀더 상세한 개념을 알아보도록 하자. 재료조건은 GD&T에서 굉장히 중요한 개념이며, 특히 MMC라는 개념 없이는 GD&T를 적용하는 의미가 없을 만큼 핵심적인 개념이다.

만약, 치수공차와 위치도 공차를 독립해서 부여할 경우, 각각은 불합격될 수 있으나 조립 시 조립은 물론 호환성도 성립한다면, 그 제품은 사용 가능한 제품일까? 질문의 형태를 취하기는 했지만 당연히 사용 가능한 제품이 된다. 그렇다면 치수공차의 도면 형태에서는 이것이 왜 양품이 아닌 것일까? 가장 간단하게는 앞서 설명한 공차영역의 모양 때문에 양품이 아닌 것이다. 그렇기 때문에 기하공차 형태의 도면 표기가 필요한 부분이고 그 개념을 정리하면, 조립간에 간섭 없이 조립될 수 있는 조건이 되며, 각각의 재료의 치수가 MMC에서 LMC 쪽으로 변함에 따라 그만큼 위치도 공차의 증가를 허용하는 것이 재료조건의 규제라는 것이다.

결국 조립에 있어 제품의 기능과 제작의 경제성을 가지기 때문에 비용을 낮출 수 있는 설계/제조 방식이 되는 것이다.

가장 중요한 최대재료조건(MMC)에 대해 좀 더 구체적으로 알아보자.

2-4-1. 최대재료조건(Maximum Material Condition ; MMC, (M))

① MMC는 결합되는 부품에 적용된다.

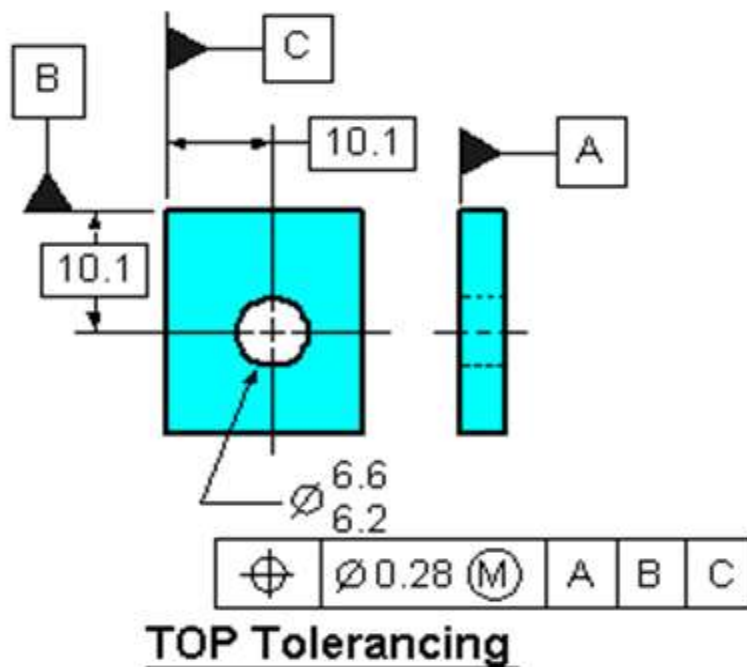
자동차를 비롯한 대부분의 제품은 여러 가지 부품이 조합되어 기능을 발휘하도록 구성된다. 따라서 제품 내에서 각각의 부품들이 결합되지 않는

것이 없다고 할만큼, 부품간의 결합은 제품을 제조하는데 있어 중요한 항목이다. 이 때문에 MMC 조건은 재료조건에서 가장 중요한(많이 쓰이는) 특성이 된다.

② 치수의 여분을 기하공차에 부가할 수 있는 경우에 적용된다.

MMC에서 규칙처럼 적용한 보너스 공차의 개념을 여기서 살펴보자. 앞서 설명한 사례와 같이

<도면 2-2>



재료절감을 위한 일부 형상을 제거한 목적을 제외한다면, 홀은 대부분의 경우 상대물인 축 또는 볼트와 같은 하드웨어들과 조립된다. 예를 들어 <도면 2-2>에서와 같이, $\phi 6.2\text{mm}$ 인 홀 크기를 가진 제품이 있다고 하면, 그 제품은 $\phi 0.28\text{mm}$ 의 위치공차를 가지게 된다. 이 제품의 위치공차 정의의 기본 개념은 상대물(축을 가정한다면)과 조립도 되고, 기능도 수행하며, 호환성을 갖추고 있기 때문에 부여될 수 있는 공차일 것이다.

여기서 상대물 축의 개념을 생각해 보면, 그 축도 크기 및 크기공차, 축의 위치공차를 가지고 있어야 제작될 수 있기 때문에 그 값이 있겠지만, 여기서 축에 대해서는 정확한 크기에 정확한 위치를 가진 것이라 가정하자. (이 가정의 목적은 설명의 대상인 홀의 MMC 개념을 명확히 이해하기 위한 것으로 상대물까지 치수 및 위치 공차를 부여하면 홀의 MMC 개념을 이해하기 어렵기 때문이다.)

즉, 정확한 크기와 정확한 위치를 가진 축에 조립될 홀을 가지고 MMC의 개념을 살펴보면,

$\Phi 6.2\text{mm}$ 인 크기를 가진 홀이 $\Phi 0.28\text{mm}$ 만큼의 위치공차를 가진다는 의미는, 이전에 설명한 GD&T의 정의를 이용할 때, $\Phi 6.2\text{mm}$ 크기의 홀의 중심이 기준치수인 이론적인 중심을 기준으로 $\Phi 0.28\text{mm}$ 영역에 위치하면 양품이라는 것을 알 수 있다. (다시 말하지만 이것을 정의할 수 있는 이유는 상대물인 축에 문제없이 조립될 수 있는 조건임을 의미하는 것이다.)

하지만 제품은 $\Phi 6.2\text{mm}$ 크기만이 양품이 아니다. 예를 들어 $\Phi 6.4\text{mm}$ 크기를 가진 제품이 있다면, 그 제품은 상대물과 조립되는 전제하에 얼마만큼의 위치공차를 가질 수 있을까? 당연히 홀 크기가 커진 것만큼인 $\Phi 0.2\text{mm}$ 만큼의 위치가 더 벗어나도 되며, 이 개념이 보너스 공차의 개념이 되는 것이다. 따라서 홀이 커지면 커진 그 치수만큼의 보너스 공차의 허용이 가능한 것이 MMC의 개념이 된다. 그러므로 $\Phi 6.6\text{mm}$ 인 홀의 경우에는 기본 위치공차 $\Phi 0.28\text{mm}$ 에 홀 크기가 커진 것만큼인 $\Phi 0.4\text{mm}$ 치수의 보너스 공차가 부가되어 $\Phi 0.68\text{mm}$ 의 위치도 허용공차가 가능한 것이다. 앞서는 이것을 규칙처럼 말했지만, 사실 이런 이유로 보너스 공차의 추가허용이 가

능해지는 것이다.

이것을 설명한 것이 아래의 정의이다.

- ③ 도면상의 기하 공차 값은 MMC에서 적용되는 값이고, MMC에서 벗어나면 그만큼 추가 공차가 허용된다.

세 번째로 이런 MMC의 정의가 적용 가능한 것은 다음의 표현과 같다.

- ④ 중심 또는 중간 면이 있는 치수공차를 가지는 형체에 적용된다.

제품에 적용되는 요구사항들은 앞서 다룬 홀 또는 축 형체처럼 중심 또는 중간 면이 있는 형체가 있고, 위 도면의 데이텀 A,B,C와 같이 평면과 같이 중간면이 없는 표면 형체가 있다. 이런 표면형체에는 MMC와 같은 재료조건이 부여되지 않는다. 평면은 재료가 많이 또는 적게 들어갈 수 있는 조건을 부여할 수 없으므로, 사실 재료조건 부여가 불가능한 형체이다. 따라서 형체 및 데이텀이 평면형체라면 재료조건 부여가 불가하며,

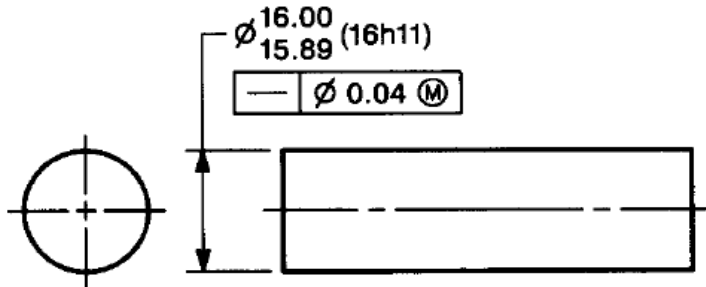
- ⑤ 치수 공차를 갖는 경우 데이텀도 적용이 가능하다.

데이텀도 중심 또는 중간면이 정의될 수 있는 형체라면 재료조건 부여가 가능하다.

정리하면, 실제치수의 변동량에 따라 추가공차가 허용(제작공차를 크게 이용)되기 때문에 조립성, 호환성, 검사효율성(기능게이지), 경제성을 확보할 수 있는 방법이다.

몇 가지 기본사례를 통해 개념을 명확히 적용시켜 보자.

<도면 2-3>



가능한 제품 Size	가능한 기하공차
MMC(Φ 16.00)	0.04
Φ 15.99	0.05
↓	↓
Φ 15.90	0.14
LMC(Φ 15.89)	0.15

축이 Φ 16.00mm ~ Φ 15.89mm의 치수를 규격으로 가진다고 하면, MMC인 최대재료조건에 해당되는 치수 값은 Φ 16.00mm이 된다. 그때 적용되는 공차 값이 진직도 요구사항인 형체규제기호의 내용에 따라 Φ 0.04mm의 값이 기준으로 적용될 수 있다.

또한, 제품이 Φ 16.00mm만 양품이 아니므로 Φ 15.99mm일 때는 도면상 공차 값인 Φ 0.04mm에 치수값의 변화량인 Φ 0.01mm이 보너스 공차로 추가되어 Φ 0.05mm가 가능한 진직도 기하공차 값이 된다.

만약 제품이 Φ 15.90mm이라면, 도면상 공차 값인 Φ 0.04mm에 치수값의 변화량인 Φ 0.1mm이 보너스 공차로 추가되어 Φ 0.14mm가 가능한 진직도 기하공차 값이 된다.

마지막으로 제품의 치수가 LMC 조건에 해당되는 Φ 15.89mm라면, 도면상

공차 값인 $\Phi 0.04\text{mm}$ 에 치수값의 변화량인 $\Phi 0.11\text{mm}$ 이 보너스 공차로 추가되어 $\Phi 0.15\text{mm}$ 의 허용 가능한 진직도 기하공차 값을 얻게 된다.

이 규칙이 정리되면, 아래와 같은 식으로 표현될 수 있다.

외측형체 : MMC-제작된 치수+주어진 기하공차=적용되는 기하공차

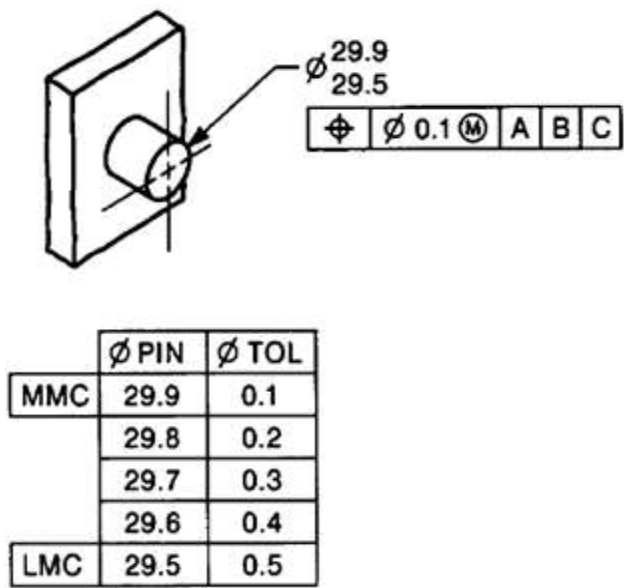
개념을 명확하게 하기 위해 축의 사례를 더 식에 대입해 보자.

아래의 <그림 2-3>과 같이 $\Phi 29.9\text{mm} \sim \Phi 29.5\text{mm}$ 의 치수를 가진 축에 위치도 공차 $\Phi 0.1\text{mm}$ 가 MMC 조건에서 적용되었다.

만일 제품이 MMC 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 29.9\text{mm}(\text{MMC}) - \Phi 29.9\text{mm}(\text{제작된 치수}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.1\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

즉, MMC치수를 가진 $\Phi 29.9\text{mm}$ 제품에 허용되는 위치도 공차는 $\Phi 0.1\text{mm}$ 가 된다.



<그림 2-3>

만일 제품이 $\Phi 29.8\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 29.9\text{mm}(\text{MMC}) - \Phi 29.8\text{mm}(\text{제작된 치수}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.2\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

만일 제품이 $\Phi 29.7\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 29.9\text{mm}(\text{MMC}) - \Phi 29.7\text{mm}(\text{제작된 치수}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.3\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

만일 제품이 $\Phi 29.6\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 29.9\text{mm}(\text{MMC}) - \Phi 29.6\text{mm}(\text{제작된 치수}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.4\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

만일 제품이 LMC인 $\Phi 29.5\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 29.9\text{mm}(\text{MMC}) - \Phi 29.5\text{mm}(\text{제작된 치수}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.5\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

또, 내측형체에 해당되는 식을 표현하면,

내측형체 : 제작된 치수-MMC+주어진 기하공차=적용되는 기하공차

와 같다.

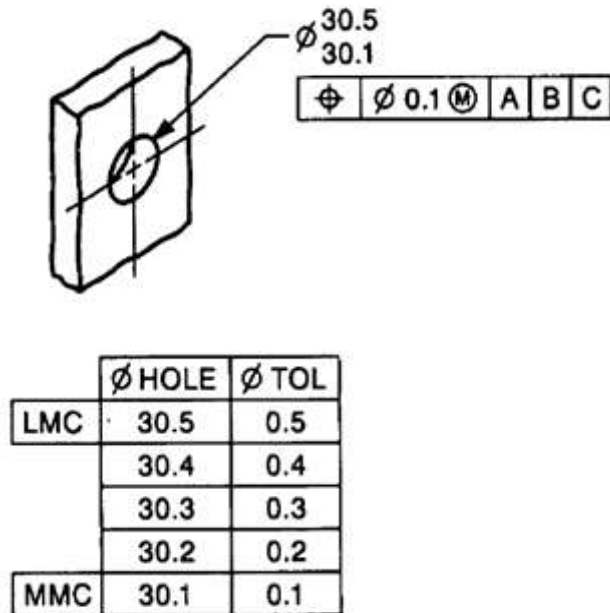
<그림 2-4>는 $\Phi 30.1\text{mm} \sim \Phi 30.5\text{mm}$ 의 치수를 가진 홀에 위치도 공차 $\Phi 0.1\text{mm}$ 가 MMC 조건에서 적용되었다.

내측형체의 식에 홀의 사례를 대입해 보자.

만일 제품이 MMC 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 30.1\text{mm}(\text{제작된 치수}) - \Phi 30.1\text{mm}(\text{MMC}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.1\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

즉, MMC치수를 가진 $\Phi 30.1\text{mm}$ 제품에 허용되는 위치도 공차는 $\Phi 0.1\text{mm}$ 가 된다.



<그림 2-4>

만일 제품이 LMC인 $\Phi 30.2\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 30.2\text{mm}(\text{제작된 치수}) - \Phi 30.1\text{mm}(\text{MMC}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.2\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

만일 제품이 LMC인 $\Phi 30.3\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 30.3\text{mm}(\text{제작된 치수}) - \Phi 30.1\text{mm}(\text{MMC}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.3\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

만일 제품이 LMC인 $\Phi 30.4\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 30.4\text{mm}(\text{제작된 치수}) - \Phi 30.1\text{mm}(\text{MMC}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.4\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

만일 제품이 LMC인 $\Phi 30.5\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 30.5\text{mm}(\text{제작된 치수}) - \Phi 30.1\text{mm}(\text{MMC}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.5\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

물론 공식을 이용하지 않더라도 MMC에 대한 개념을 명확히 이해한다면 적용되는 공차의 값을 구할 수 있다.

2-4-2. 최소재료조건(Least Material Condition ; LMC, (L))

규제 형체나 데이텀이 LMS에서 MMS로 가까워지는 경우에 사용한다.

도면에 정의된 공차 값 뒤의 수정기호 자리에 재료조건(L)가 반영되면 공차 값이 적용되는 조건이 LMC 조건, 즉 재료가 최소인 조건에서 적용되는 공차 값을 의미한다. MMC 조건과 마찬가지로 정의된 LMC 조건으로부터 실제 제품 치수가 차이를 가진다면 그 차이 값만큼 공차역의 증가가 허용된다.

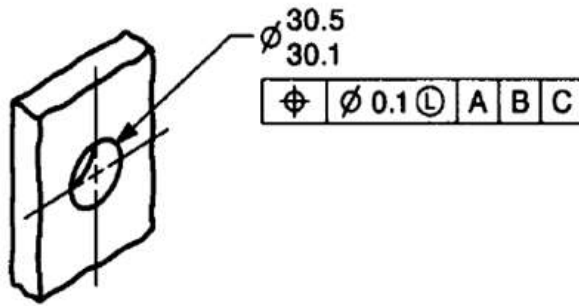
LMC 조건은 그 사용범위가 MMC보다는 한정적이며, 그 사용 예는 아래의 두 가지 수준이다.

첫 번째는 위치의 극한적인 중심 위치를 유지할 필요가 있는 경우이며, 두 번째는 부품 특성상 강도나 변형상의 문제가 생길 수 있는 경우, 특히 최소 벽 두께를 규제할 필요가 있는 경우가 해당된다.

두 경우에 대한 개념을 알아보기로 하며, 우선 홀의 사례를 가지고 내측 형체에 대한 개념부터 살펴보자.

아래 도면은 $\Phi 30.1\text{mm}$ ~ $\Phi 30.5\text{mm}$ 의 치수를 가진 홀에 위치도 공차 $\Phi 0.1\text{mm}$ 가 LMC 조건에서 적용되었다.

<그림 2-5>에 정의된 그대로의 요구사항을 살펴보면, LMC 조건에서 $\Phi 0.1\text{mm}$ 의 공차를 부여했으므로, 홀 치수값이 LMC인 $\Phi 30.5\text{mm}$ 일 때, 홀의 위치공차는 $\Phi 0.1\text{mm}$ 의 허용 한계값을 가지게 된다.



	Ø HOLE	Ø TOL
LMC	30.5	0.1
	30.4	0.2
	30.3	0.3
	30.2	0.4
MMC	30.1	0.5

<그림 2-5>

만일 제품이 $\Phi 30.4\text{mm}$ 치수로 제작되었다면, 기준인 LMC 치수 값과의 차이 값인 $\Phi 0.1\text{mm}$ 이 보너스 공차로 추가 부여되어 $\Phi 0.2\text{mm}$ 의 위치도 허용 공차의 한계값을 가지게 된다.

만일 제품이 $\Phi 30.3\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 30.5\text{mm}(\text{LMC}) - \Phi 30.3\text{mm}(\text{제작된 치수}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.3\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

만일 제품이 $\Phi 30.2\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 30.5\text{mm}(\text{LMC}) - \Phi 30.2\text{mm}(\text{제작된 치수}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.4\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

만일 제품이 $\Phi 30.1\text{mm}$ 인 MMC 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 30.5\text{mm}(\text{LMC}) - \Phi 30.1\text{mm}(\text{제작된 치수}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.5\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

여기에 적용된 개념을 공식으로 정리하면,

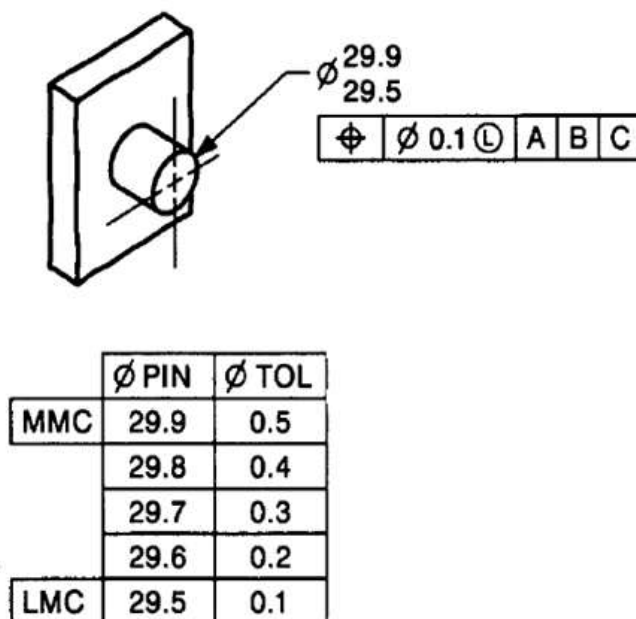
내측형체 : LMC-제작된 치수+주어진 기하공차=적용되는 기하공차가 된다.

다음은 <그림 2-6>과 같은 외측 형체에 대하여 알아보자.

Φ29.5mm ~ Φ29.9mm의 치수를 가진 축에 위치도 공차 Φ0.1mm가 LMC 조건에서 적용되었다.

도면의 요구사항대로 LMC 조건인 Φ29.5mm의 치수를 가진 축은 Φ0.1mm의 위치도 공차가 허용된다.

만일 제품이 Φ29.6mm 치수로 제작되었다면, 기준인 LMC 치수 값과의 차이 값인 Φ0.1mm이 보너스 공차로 추가 부여되어 Φ0.2mm의 위치도 허용 공차의 한계값을 가지게 된다.



<그림 2-6>

만일 제품이 Φ29.7mm 치수로 제작되었다면,

Φ29.7mm(제작된 치수) - Φ29.5mm(LMC) + Φ0.1mm(주어진 기하공차) =
Φ0.3mm(적용되는 기하공차)

만일 제품이 $\Phi 29.8\text{mm}$ 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 29.8\text{mm}(\text{제작된 치수}) - \Phi 29.5\text{mm}(\text{LMC}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.4\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

만일 제품이 $\Phi 29.9\text{mm}$ 인 MMC 치수로 제작되었다면,

$$\Phi 29.9\text{mm}(\text{제작된 치수}) - \Phi 29.5\text{mm}(\text{LMC}) + \Phi 0.1\text{mm}(\text{주어진 기하공차}) = \Phi 0.5\text{mm}(\text{적용되는 기하공차})$$

여기에 적용된 개념을 공식으로 정리하면,

외측형체 : 제작된 치수-LMC+주어진 기하공차=적용되는 기하공차가 된다.

LMC 공차의 적용개념도 MMC와 같은 규칙인 도면에 정의된 재료조건인 MMC 또는 LMC로부터 실제 제작된 제품의 치수가 얼마만큼의 차이를 가지는지를 보너스 공차로 추가부여 하는 개념임을 알 수 있다.

LMC에 대한 기본개념은 이 정도로 하고, 그 적용 사례는 5장의 위치공차에서 살펴보기로 한다.

2-4-3. MMC/LMC 재료조건에서의 0공차 효과

앞서 설명한 몇 가지의 사례에서 도면에 부여된 공차가 $\Phi 0.1\text{mm}$ 등이었다.

이 공차의 값이 값을 가지지 않는 $\Phi 0\text{mm}$ 인 공차가 부여되었을 때,

형체가 MMC 또는 LMC 한계치수로 제작되면 위치(또는 방향) 공차가 없다는 것으로, 이 형체는 진 위치로 위치되어야 하며 방향에 대해서도 완전해야 한다.

결국 MMC(또는 LMC) 조건으로 제품이 제작되면, 완벽한 방향 또는 위치를 가져야 양품이라는 의미가 된다.

따라서, 위치/방향 공차가 MMC/LMC조건 하에서 0 공차를 적용할 경우, 공차는 전적으로 형체의 실제 결합치수에 의한다. 다시 말하면, 형체의 실제 치수에 따른 보너스 공차의 발생치 만큼의 여유를 가진다는 의미이다.

2-4-4. 형체치수무관계(Regardless of Feature Size ; RFS, (S))

앞서 재료조건에서 설명한 내용을 정리하여 보면,

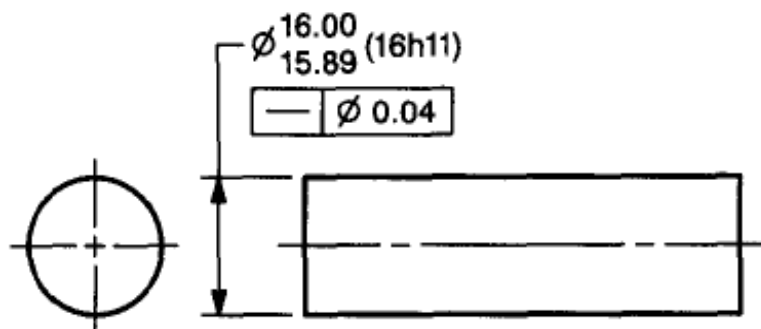
치수공차 범위 내에서 기하공차나 데이텀 참조는 형체의 어떠한 치수 증가에도 상관없이 적용되는 것을 나타낸다.

따라서 기하공차가 RFS로 적용될 경우, 규제된 공차는 형체의 실 치수와는 무관하고, 규정된 값으로 제한된다. 즉, 보너스 공차가 발생되지 않으며, MMC 또는 LMC 규제가 없다면 크거나 작은 치수 값을 가지는 모든 기하공차나 데이텀 참조는 RFS로 규정된다.

여기서 공차역에 적용된 응용 개념을 하나 알아보자.

첫 번째로는 지금까지 다뤄온 RFS 공차의 개념을 명확히 하기 위해 아래의 축심의 사례부터 다뤄보기로 하자.

<도면 2-4>



가능한 제품 Size	가능한 기하공차
MMC(Φ 16.00)	0.04
Φ 15.99	0.04
Φ 15.98	0.04
LMC(Φ 15.89)	0.04

<도면 2-4>의 기하공차 요구사항이 도면과 같이 Φ 0.04mm로 공차 앞에 Φ 값으로 규제되면 이는 축심에 대한 요구사항을 가진다. 축심에 대한 요구사항이란 축 형체에 요구사항이 질량을 가진 덩어리의 개념으로, 윗 사례는 원통형체이기 때문에 원통형체의 덩어리 및 그 중심 값을 의미한다. 사실 앞선 재료조건의 내용에서 계속 다뤄 왔었던 것을 보면 알겠지만 모두 Φ 기호가 붙여진 것을 다뤄왔었다. 즉 지금까지의 모든 사례는 축심의 요구사항을 가진 것이었다.

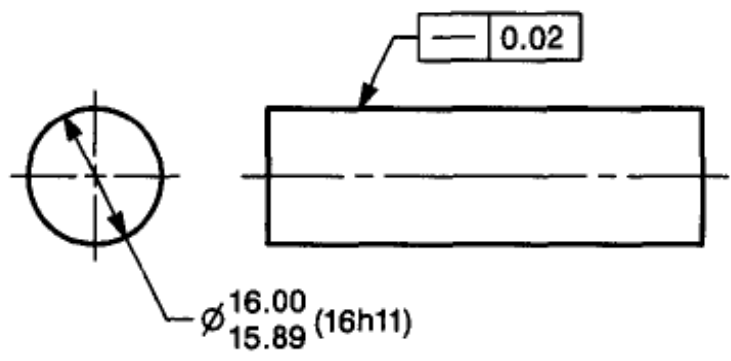
어쨌든 요구된 공차 영역 Φ 0.04mm는 RFS 조건인 형체치수 무관계이므로, 규제하는 형체인 원통이 어떤 치수 값을 가지건 관계없이 동일한 공차 값 Φ 0.04mm를 허용하게 된다. 따라서 이 경우에는 축심의 규제에 적용될 경우 완전한 형상의 경계선은 벗어날 수 있다.

두 번째로는 표면의 요구사항을 보도록 하자.

<도면 2-5>에 요구된 공차의 값이 0.02mm의 요구사항을 가진 것으로, 여기에는 Φ 기호가 부여되지 않았다. 이 경우는 표면의 요구사항을 가진 것으로 원통 형체의 표면에만 요구사항이 규제된다. 이 경우의 표면 규제 형체는 규정된 한계치수 내에 있어야 하고, MMC에서 완전한 경계선 범위

내에 있어야 한다. 즉, 표면의 요구사항을 가질 때는 MMC의 한계값인 $\Phi 16.00\text{mm}$ 을 벗어날 수 없다.

<도면 2-5>



가능한 제품 Size	가능한 기하공차
MMC($\Phi 16.00$)	0
$\Phi 15.99$	0.01
$\Phi 15.98$	0.02
LMC($\Phi 15.89$)	0.02

따라서 $\Phi 16.00\text{mm}$ 이내에서만 기하공차의 허용이 가능하며, 제품의 치수가 $\Phi 16.00\text{mm}$ 인 경우에는 허용될 수 있는 진직도 공차는 없다. 그래서, 가능한 기하공차가 0 이라는 것이다.

만일 제품이 $\Phi 15.99\text{mm}$ 의 치수를 가진다면, MMC 치수인 $\Phi 16.00\text{mm}$ 에서 0.01mm 의 여유를 가지므로 이때 허용 가능한 공차의 값이 0.01mm 가 된다. 제품의 치수가 $\Phi 15.98\text{mm}$ 의 치수를 가진다면, MMC 치수인 $\Phi 16.00\text{mm}$ 에서 0.02mm 의 여유를 가지므로 이때 허용 가능한 공차의 값이 0.02mm 가 된다. 제품의 치수가 $\Phi 15.97\text{mm}$ 의 치수를 가진다면, MMC 치수인 $\Phi 16.00\text{mm}$ 에서 0.03mm 의 여유를 가지므로 기하공차의 허용값인 0.02mm 를 모두 허용할 수

있으며, RFS의 요구조건에 따라 허용 가능한 공차의 값이 0.02mm로 한정된다.

두 가지의 RFS 조건에 대한 이해는 앞으로 설명될 형상공차의 표면특성을 통해 더 명확하게 이해할 수 있도록 할 것이다.

2-5. 실효조건(Virtual Condition)

실효조건은 크기를 갖는 형체에 기하학적 특성이 MMC의 조건으로 규정되어 있을 경우, MMC 치수인 형체가 규정된 기하공차만큼 벗어나 있을 때, 이에 끼워지는 반대형상의 모범으로 정의한다. 또한 실효치수는 실효조건의 경계치수를 의미한다. 정의가 좀 어렵긴 하지만, 앞에 MMC에 대한 개념을 설명할 때 ‘정확한 크기에 정확한 위치를 가진 상대물’로 미리 언급한 바 있다. 좀더 정확하게 정의를 해 보면,

기하공차를 검사하기 위해서 필요한 반대형상의 모범인 실효조건을 기준으로 하는 기능게이지(Functional Gauge)를 제작하는 기준이 된다.

결국 실효치수는 제품을 검사하기 위한 게이지 제작의 기준치수이므로, 앞서 GD&T의 중요한 영역으로 강조했던 게이지의 기준이기 때문에 상당히 중요한 개념이다.

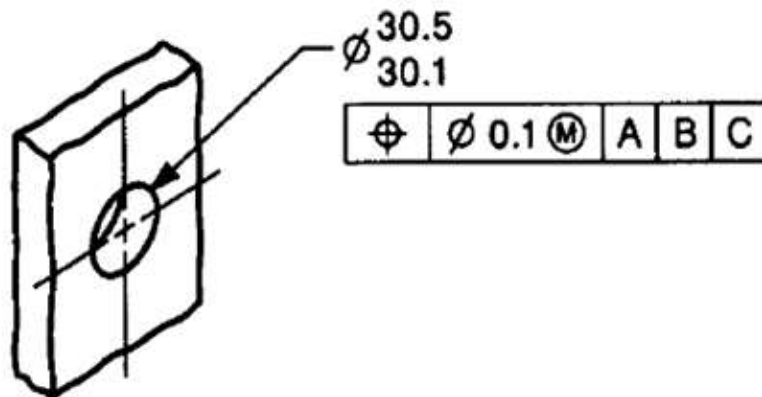
실효조건을 알아보기 위해 기본 형체인 홀과 축 두 형체에 대해 알아보자. 우선 홀에 대해 아래의 사례를 살펴보면, <그림 2-7>과 같이 앞에서도 다뤘던 $\Phi 30.1\text{mm} \sim \Phi 30.5\text{mm}$ 의 제품 치수 요구사항과 MMC 조건에서 공차

Φ0.1mm가 부여된 형체이다.

MMC 공차역에 대한 개념은 앞서 다뤘기 때문에 표의 앞쪽에 표기되어 있는 각 홀 치수 별 허용 위치도 공차의 한계 값은 모두 이해할 것이다.

그 치수 중 하나 MMC조건의 경우를 보자.

홀이 Φ30.1mm인 크기에 공차가 Φ0.1mm이 허용되므로, GD&T의 정의를 이용하여 표현하면, 위치도를 만족하는 양품의 홀이라면 Φ0.1mm의 영역 내에 중심이 위치할 것이다. 다시 표현하면, 양품의 영역인 Φ0.1mm의 영역 내에 어떤 한 점을 선택하여 그 점을 중심으로 Φ30.1mm의 홀을 그리면 그 홀은 치수 및 위치 요구조건을 모두 만족하는 양품일 것이며, 그 중심인 어떤 점은 무수히 많으므로 Φ0.1mm 영역 내의 무수히 많은 점을 중심으로 무수히 많은 Φ30.1mm의 홀들을 그리면 모두 양품의 홀이 된다.



	Ø HOLE	Ø TOL	V COND
LMC	30.5	0.5	30.0
	30.4	0.4	
	30.3	0.3	
	30.2	0.2	
MMC	30.1	0.1	

<그림 2-7>

그 모든 양품의 홀들을 검사하기 위한 게이지를 만든다면, 양품의 홀들에 하나도 걸리지 않는 것이 되어야 할 것이며, 무수히 많은 $\Phi 30.1\text{mm}$ 의 양품의 홀들에 내접하는 가장 큰 크기의 축이 게이지의 개념이 될 것이다.

이 개념은 직접 그려본다면 더 명확하게 알 수 있을 것이며, 간단한 CAD 프로그램을 이용하여, $\Phi 0.1\text{mm}$ 의 중심영역 내에 중심을 설정한 $\Phi 30.1\text{mm}$ 의 홀을 그려서 내접하는 가장 큰 크기의 원을 찾아내면 그 값이 $\Phi 30.0\text{mm}$ 이 됨을 알 수 있다.

이 개념은 $\Phi 30.0\text{mm}$ 에서만 해당되는 것이 아니고, 홀의 크기 기준에서의 모든 양품의 영역 내에서는 동일한 결과를 얻을 수 있다.

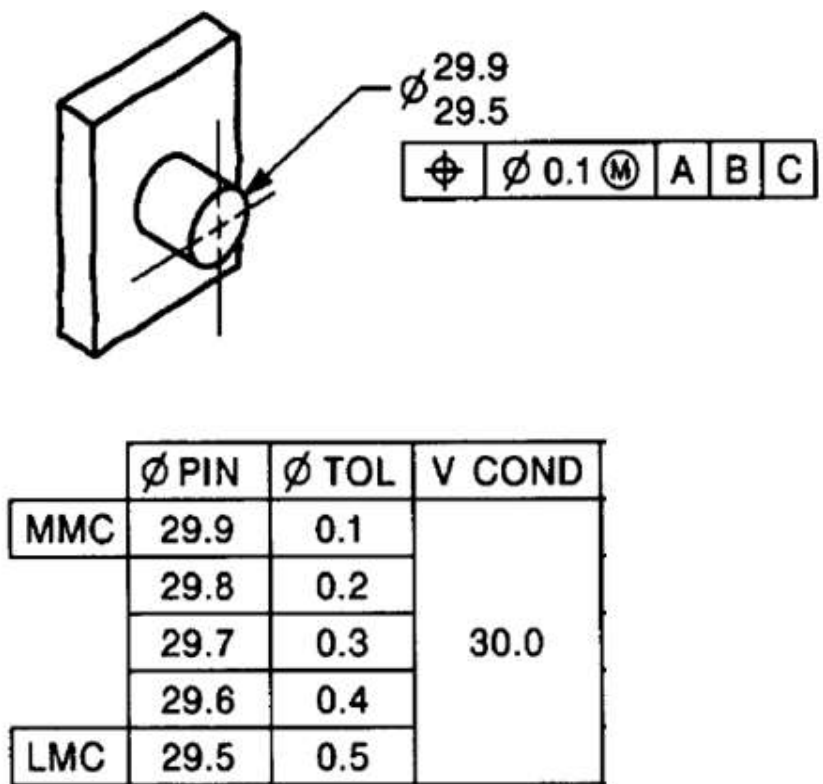
예를 들어, 홀이 $\Phi 30.5\text{mm}$ 인 경우라면, 적용되는 공차역이 $\Phi 0.5\text{mm}$ 의 허용공차 범위를 갖는다. 즉, $\Phi 0.5\text{mm}$ 의 중심영역 내에 중심을 설정한 $\Phi 30.5\text{mm}$ 의 홀을 그려서 내접하는 가장 큰 크기의 원을 찾아내면 그 값이 동일하게 $\Phi 30.0\text{mm}$ 이 됨을 알 수 있다.

이 것은 모든 양품의 $\Phi 30.1\text{mm} \sim \Phi 30.5\text{mm}$ 치수 내에서 유효하며, 결국 하나의 $\Phi 30.0\text{mm}$ 짜리 게이지를 이용하여 제품을 검사하는데 문제가 없음을 알 수 있다.(여기에는 게이지공차는 고려치 않았다.)

그 개념을 정리한 것이 다음의 식이며, 내접하기 때문에 기하공차 값을 빼주는 것이다.

내측형체 ; 홀의 실효치수 = 홀의 MMC - 규정된 기하공차

두 번째로 축에 대한 실효조건의 개념을 알아보면,



<그림 2-8>

<그림 2-8>과 같이 앞서 다뤘던 $\Phi 29.5\text{mm} \sim \Phi 29.9\text{mm}$ 의 제품 치수 요구사항과 MMC 조건에서 공차 $\Phi 0.1\text{mm}$ 가 부여된 형체이다.

그 치수 중 하나 MMC조건의 경우를 보자.

홀이 $\Phi 29.9\text{mm}$ 인 크기에 공차가 $\Phi 0.1\text{mm}$ 이 허용되므로, GD&T의 정의를 이용하여 표현하면, 위치도를 만족하는 양품의 홀이라면 $\Phi 0.1\text{mm}$ 의 영역 내에 중심이 위치할 것이다. 다시 표현하면, 양품의 영역인 $\Phi 0.1\text{mm}$ 의 영역 내에 어떤 한 점을 선택하여 그 점을 중심으로 $\Phi 29.9\text{mm}$ 의 축을 그린다면 그 축은 치수 및 위치 요구조건을 모두 만족하는 양품일 것이며, 그 중심인 어떤 점은 무수히 많으므로 $\Phi 0.1\text{mm}$ 영역 내의 무수히 많은 점을 중심으로 무수히 많은 $\Phi 29.9\text{mm}$ 의 축들을 그리면 모두 양품의 축이 된다.

그 모든 양품의 축들을 검사하기 위한 게이지를 만든다면, 양품의 축들에 하나도 걸리지 않는 것이 되어야 할 것이며, 무수히 많은 $\Phi 29.9\text{mm}$ 의 양품의 축들에 외접하는 가장 작은 크기의 홀이 게이지의 개념이 될 것이다. 홀과 마찬가지로 간단한 CAD 프로그램을 이용하여, $\Phi 0.1\text{mm}$ 의 중심영역 내에 중심을 설정한 $\Phi 29.9\text{mm}$ 의 축을 그려서 외접하는 가장 작은 크기의 원을 찾아내면 그 값이 $\Phi 30.0\text{mm}$ 이 됨을 알 수 있다.

이 개념은 $\Phi 29.9\text{mm}$ 에서만 해당되는 것이 아니고, 축의 크기 기준에서의 모든 양품의 영역 내에서는 동일한 결과를 얻을 수 있다.

예를 들어, 홀이 $\Phi 29.5\text{mm}$ 인 경우라면, 적용되는 공차역이 $\Phi 0.5\text{mm}$ 의 허용공차 범위를 갖는다. 즉, $\Phi 0.5\text{mm}$ 의 중심영역 내에 중심을 설정한 $\Phi 29.5\text{mm}$ 의 축을 그려서 외접하는 가장 작은 크기의 원을 찾아내면 그 값이 동일하게 $\Phi 30.0\text{mm}$ 이 됨을 알 수 있다.

이 것은 모든 양품의 $\Phi 29.5\text{mm} \sim \Phi 29.9\text{mm}$ 치수 내에서 유효하며, 결국 축에 대해서도 하나의 $\Phi 30.0\text{mm}$ 짜리 게이지를 이용하여 제품을 검사하는데 문제가 없음을 알 수 있다.

그 개념을 정리한 것이 다음의 식이며, 외접하기 때문에 기하공차 값을 더해주는 것이다.

외측형체 ; 축의 실효치수 = 축의 MMC + 규정된 기하공차

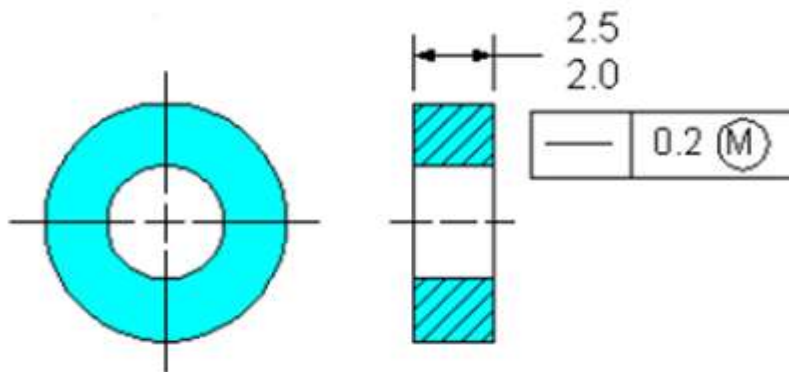
앞서 언급한바 있지만, 여기서는 실효조건을 알아보기 위해 게이지의 개념을 말했지만, 게이지는 실효치수 이외에도 게이지공차와 통과 측 게이지의 경우에는 마모공차도 부여한다. 이런 개념들은 기능게이지를 통해 다뤄지게 될 것이다.

2-6. 보너스 공차 및 동적 공차선도

2-6-1. 보너스공차의 개념 및 실효조건

실효조건에 대한 개념을 배웠으므로 이젠 게이지에 대한 개념까지 고려하여 공차에 대한 개념을 정리해 보자.

<도면 2-6>



<도면 2-6>의 진직도 요구사항이 부여된 형체를 보면, 2.0mm ~ 2.5mm의 치수를 요구하고 있고, MMC 조건에서 0.2mm인 진직도 공차가 부여되어 있다.

제품이 MMC 조건인 2.5mm의 치수를 가진다면, 진직도 0.2mm의 공차가 부여되며, 제품이 2.0mm의 치수를 가진다면 0.2mm의 진직도 공차에 MMC 치수와의 차이 값인 0.5mm의 보너스 공차를 가지게 되어 총 공차 0.7mm가 허용 가능한 진직도 공차 값이 될 것이다. 이 개념을 정리한 것이 아래의 <표 2-1> 이다.

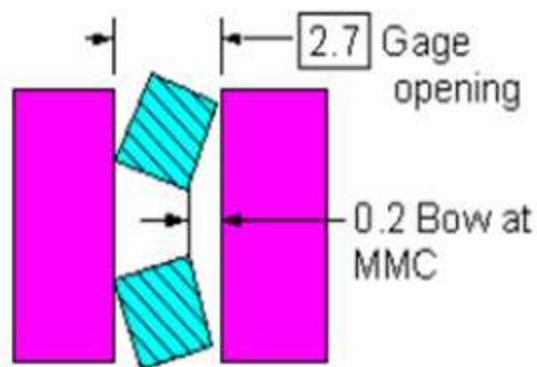
<표 2-1>

Feature AME	Straightness Tolerance	Bonus Tolerance	Total Tolerance
2.5 MMC	0.2	0.0	0.2
2.4	0.2	0.1	0.3
2.3	0.2	0.2	0.4
2.2	0.2	0.3	0.5
2.1	0.2	0.4	0.6
2.0 LMC	0.2	0.5	0.7

여기서 은선으로 표기된 부분이 MMC 와의 차이 값으로 인해 발생하는 보너스 공차의 개념이다.

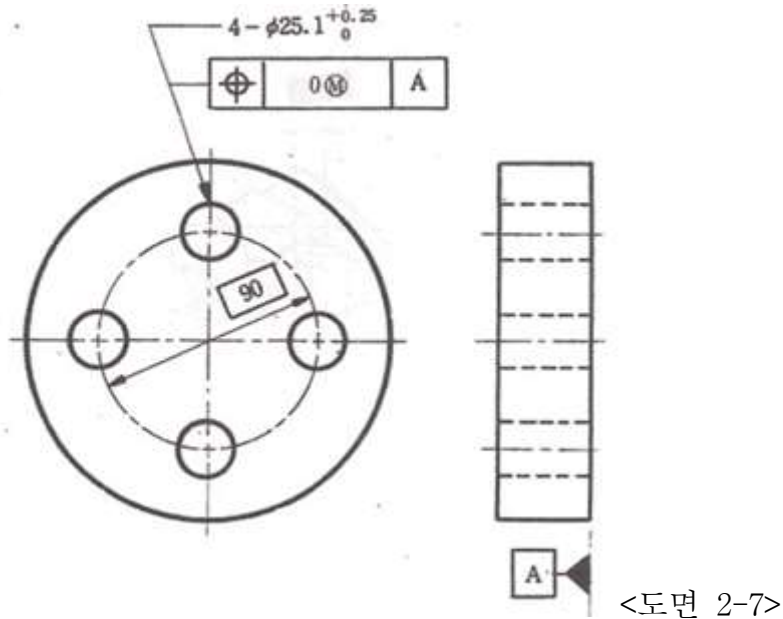
실효조건의 개념을 이용하여 게이지의 개념을 도출해 보면,

2.5mm인 제품의 치수가 진직도 0.2mm의 허용공차를 갖게 되는 축 개념의 있는 형체이기 때문에 외측에서 접하는 개념으로 제품의 치수에 공차를 더한 값이 실효치수가 되므로, 2.7mm가 실효치수 값이 되며, 이 값은 다른 어떤 치수에서도 유효하다. 이 실효치수를 기본으로 한 게이지의 개념이 아래의 <그림 2-9>와 같으며, 결국 2.7mm의 잽 게이지에 제품을 통과시켜 통과되면 제품이 양품인 개념을 보여주고 있다.



<그림 2-9>

2-6-2. 동적 공차선도



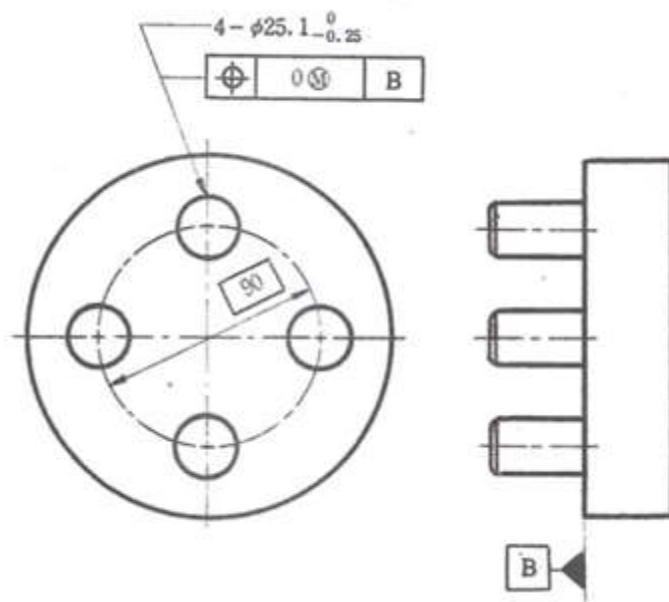
<도면 2-7>을 해석하여 보면,

MMC 조건에서 공차가 '0' 이므로 홀의 MMC는 하한치 한계치수를 가지기 때문에 $\phi 25.1\text{mm}$ 가 MMC 치수이며, 그때 공차가 없다.

홀의 치수가 $\phi 25.15\text{mm}$ 라면, MMC치수와 0.05mm 의 차이를 가지게 되므로 0.05 의 공차가 허용되게 된다. 결국 $\phi 25.2\text{mm}$, $\phi 25.25\text{mm}$, $\phi 25.3\text{mm}$, $\phi 25.35\text{mm}$ 에서 각각 0.1mm , 0.15mm , 0.2mm , 0.25mm 의 허용공차 값을 가지게 된다. 물론 언급된 치수 값 외에도 무수히 많은 치수 값이 존재할 수 있으며 이 치수 값을 기준으로 한 공차를 표현한 그래프가 아래의 그래프 우측부분에 해당된다.

<도면 2-8>의 축 도면을 해석하여 보면,

MMC 조건에서 공차가 '0' 이므로 축의 MMC는 상한치 한계치수를 가지기 때문에 $\phi 25.1\text{mm}$ 가 MMC 치수이며, 그때 공차가 없다.

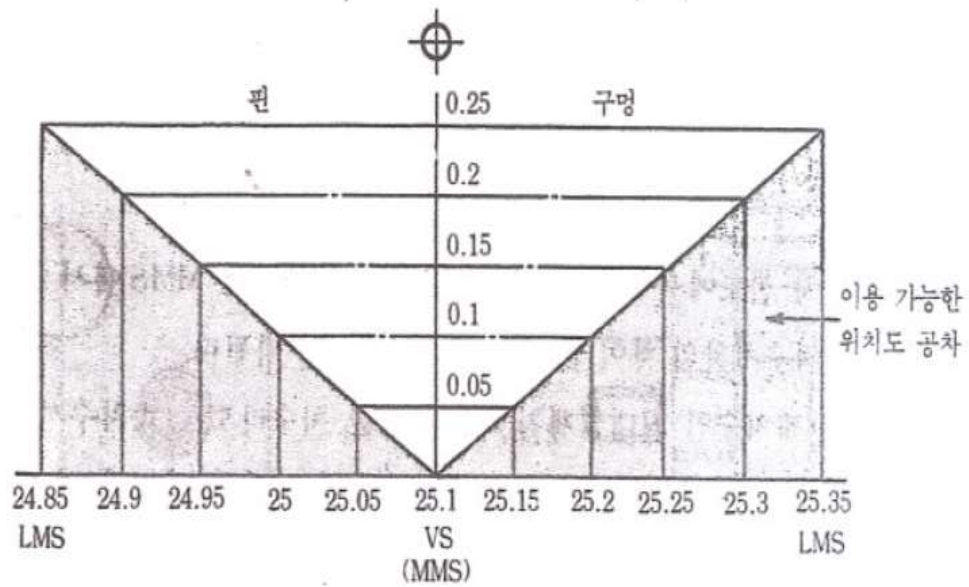


<도면 2-8>

축의 치수가 $\Phi 25.05\text{mm}$ 라면, MMC치수와 0.05mm 의 차이를 가지게 되므로 0.05mm 의 공차가 허용되게 된다. 결국 $\Phi 25.0\text{mm}$, $\Phi 24.95\text{mm}$, $\Phi 24.9\text{mm}$, $\Phi 24.85\text{mm}$ 에서 각각 0.1mm , 0.15mm , 0.2mm , 0.25mm 의 허용공차 값을 가지게 된다. 축도 홀과 마찬가지로 물론 언급된 치수 값 외에도 무수히 많은 치수 값이 존재할 수 있으며 이 치수 값을 기준으로 한 공차를 표현한 그래프가 아래의 그래프 좌측부분에 해당된다.

여기서 공차의 개념을 다시 한번 확인하고 가면, 앞에 언급한 각 치수당 부여된 공차의 값은 위치도 허용공차의 한계값을 의미한다. 다시 말하면, 허용할 수 있는 공차의 넘지 말아야 할 한계를 표현한 것으로, 한계공차 값보다 작은 경우 모두 양품이 된다. 이 개념을 아래 <그림 2-10> 그래프에서는 이용 가능한 위치도 공차로 명기한 진하게 칠해 놓은 부분이 된다.

<그림 2-10>



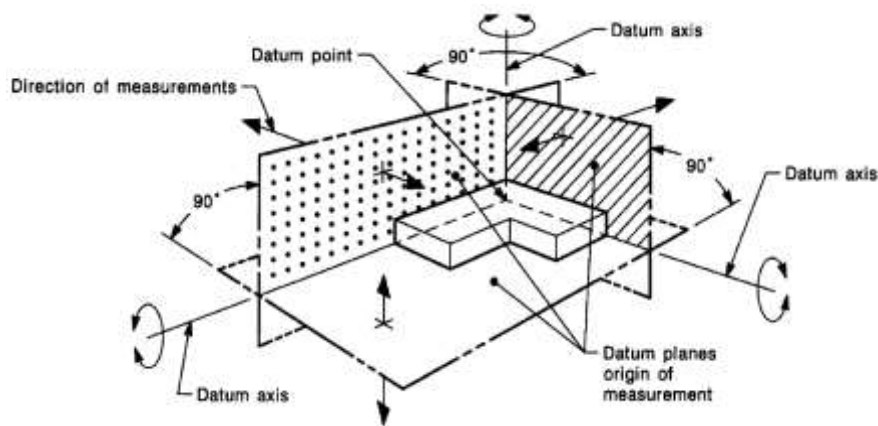
여기서는 그래프의 정의보다, 공차역에 대한 개념을 명확히 넣어두는 것이 필요하다.

제3장 기하공차의 데이텀 개념

3-1. 데이텀

아래의 <그림 3-1>은 데이텀에 대한 개념이다.

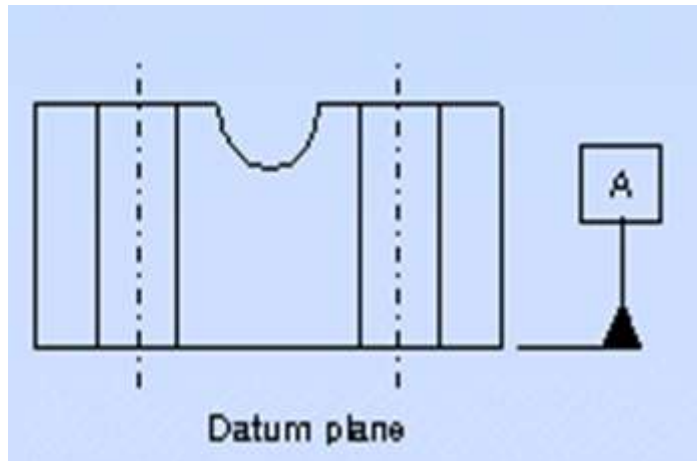
<그림 3-1>



데이텀은 부품 형상의 위치나 기하학적인 특성을 설정하는 이론상 정확한 기준을 의미한다. 여러 과학자들에 의해 차원의 개념이 인간이 볼 수 있는 것보다 훨씬 더 많다고 하지만, 결국 우리는 3차원의 영역 내에서 제품에 대한 개념을 전개시켜나가야 하므로, X/Y/Z 와 같은 3개의 축 방향에 대해 직선운동을 정의할 수 있고, 마이너스 방향까지 고려한다면 6방향의 직선운동이 존재한다. 또한 축을 중심으로 회전하는 모멘텀을 고려할 때, 이것도 마이너스까지 고려한다면 6방향의 회전운동이 존재한다. 결국 데이텀이란 12개의 직선 및 회전운동을 정의하는 것으로 이것이 제품에 적용될 때에는 명확한 기준으로서 기능을 하게 된다.

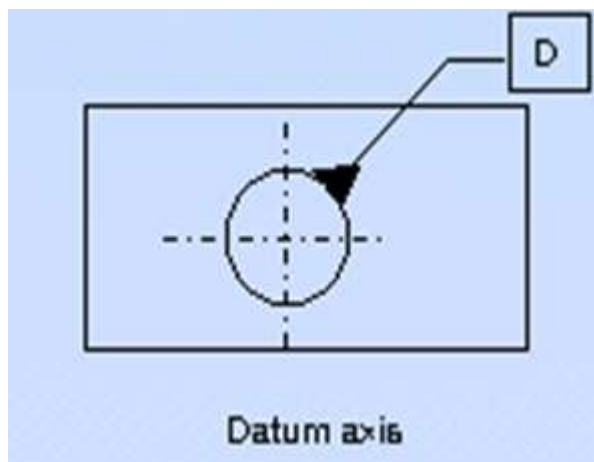
이런 데이텀은 크게 두 가지로 구분하면,

실제 부품의 평면 등에 설정되는 다음과 같은 <그림 3-2>의 경우와



<그림 3-2>

실제 부품의 축 등에 설정되는 아래의 <그림 3-3>의 경우가 있다.



<그림 3-3>

두 대표 형체들에 따라 적용되는 데이텀은 앞에서의 재료조건 및 규칙들에 의해 더 특별하게 정의된다.

3-2. 데이텀 형체

부품의 접촉부와 조립을 적절하게 유지시키기 위해서는 결합 부품과 대응하는 형체를 가능한 데이텀 형체로서 선택하여야 한다. 더 명확한 표현은

데이텀은 제품의 기능 및 상대물과의 관계에 의해 정의된다.

예를 들어 <그림 3-4>와 같은 화이트보드의 지우개를 제품이라고 하면,



<그림 3-4>

가장 우선적으로 제품의 기능을 살펴보면, 이 제품은 화이트보드의 내용을 깨끗이 지우는 것이 가장 중요한 기능이며, 지우개에서 가장 중요한 부분은 위 그림에서처럼 지우는 면이 될 것이다. 따라서 지우개에 데이텀을 설정한다면 1차 데이텀은 지우는 면이 되며, 최소한 3점 이상의 데이텀 형태의 개념이 적용되어야 명확한 첫 번째 데이텀을 정의할 수 있다.

우선 1/2/3차 데이텀 형태에 대한 정의를 먼저 해 보면,

1차 데이텀 형태

: 첫 번째 데이텀 평면과 접촉하는 표면상에서 최소 세 점

2차 데이텀 형태

: 두 번째 데이텀 평면과 접촉하는 표면상에서 최소 두 점

3차 데이텀 형체

： 세 번째 데이텀 평면과 접촉하는 표면상에서 최소 한 점

지우개에서 두 번째 데이텀을 설정한다면, 다시 기능을 살펴봐야 할 것이다. 지우개를 사용하는 고객이라면, 잘 지워지는 첫 번째 기능에 두 번째로는 잡기 편해야 한다는 기능을 가질 것이다. 지우개를 잡기 편하게 하려면, 대부분의 사용자는 플라스틱이 끼워져 있는 부분의 측면 중 긴 쪽 면을 잡고 지우므로 두 번째 데이텀은 그 면에 설정하면 되고, 이 면에서는 최소한 2점 이상의 데이텀 형체를 설정하여야 한다.

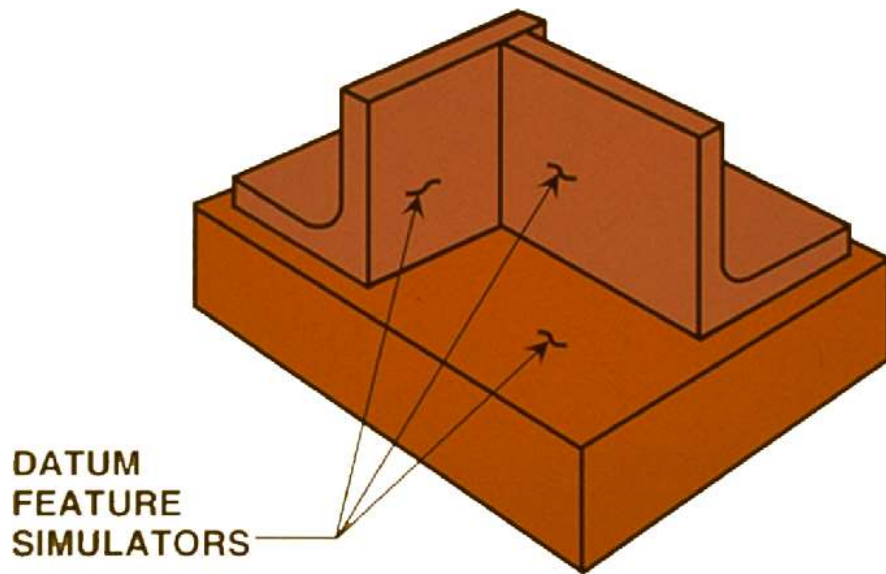
그렇게 1, 2차 데이텀 형체를 설정하더라도 지우개의 긴 쪽 길이방향으로는 구속되지 않았으므로, 마지막으로 가장 좁은 면에 세 번째 데이텀을 설정해주면 완벽한 데이텀 형체를 구성할 수 있고, 이 세 번째 데이텀은 최소 한 점 이상의 데이텀 형체를 설정하여야 한다.

이를 3-2-1이라고 정의하며, 어떤 제품의 데이텀 형체에서도 이 규칙을 적용하여 데이텀 즉, 기준을 설정할 수 있다.

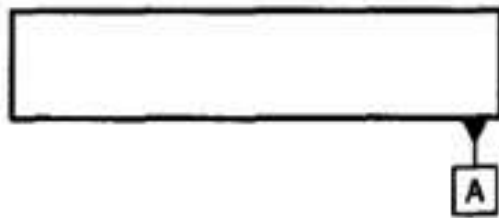
물론 다시 한번 강조하지만 데이텀 설정의 가장 중요한 기준은 기능과 관계에 있다.

이런 데이텀의 개념이 앞서 설명한 평면형체에 적용이 되면 치수 편차와 무관한 데이텀의 개념이 된다.

<그림 3-5>

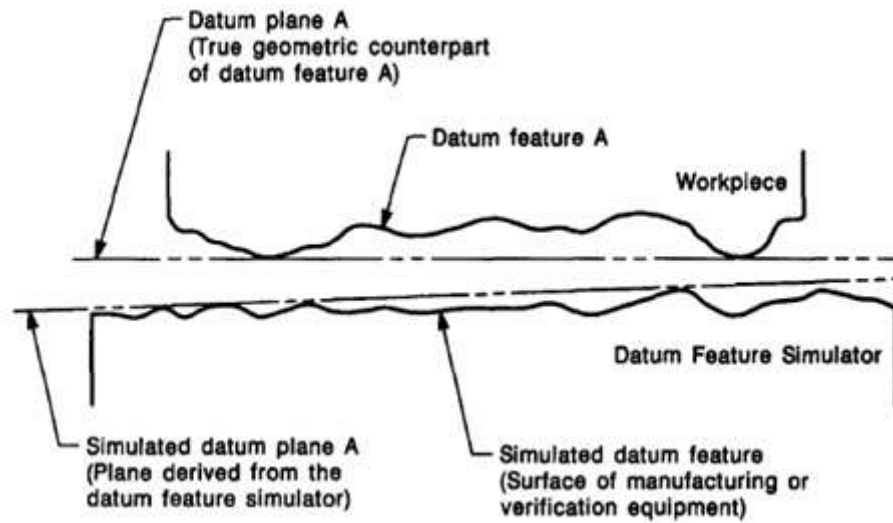


<그림 3-6>



이 의미는 위의 <그림 3-6>과 같이 도면에 데이텀 A가 규제되어 있다면, 도면상의 의미로는 명확한 것 같지만 실제 제품은 도면과 같이 면이 정확히 평면이 되지 않을 것인데, 그렇다면 실 제품에서의 데이텀의 의미가 무엇인지 명확한 정의가 필요하다.

<그림 3-7>

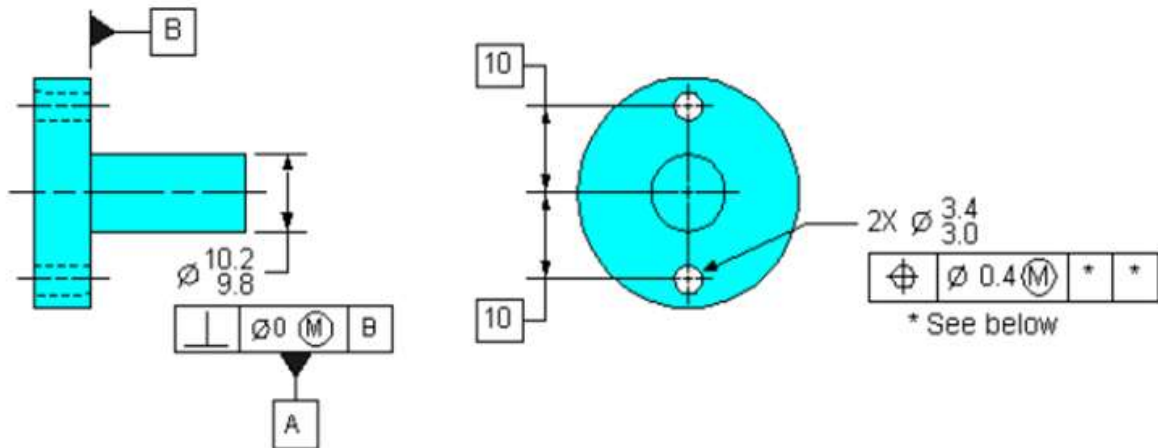


따라서 위의 개념이 정의되어야 하며, 그 약속이 <그림 3-7>과 같이 평탄한 데이텀 형체 규정 시, 그 표면과 접촉하는 점들에 의한 평면으로 가정한다 이다.

평면 이외의 홀 또는 축과 같은 치수 편차와 관련된 데이텀 형체에 대해서는 경계조건의 개념이 필요하므로 뒤에서 다루기로 한다.

3-3. 데이텀의 우선순위와 재료조건의 효과

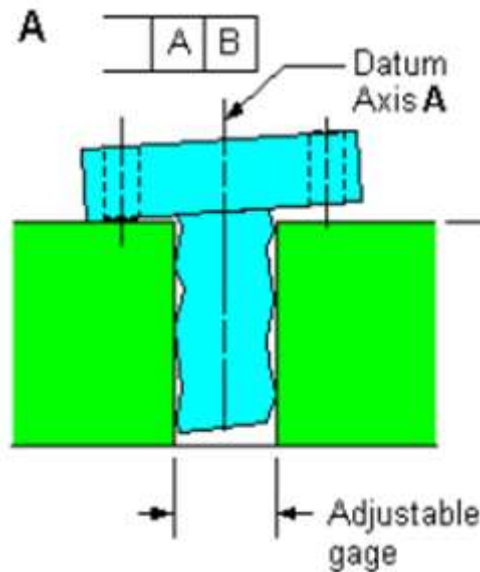
<도면 3-1>



우선 <도면 3-1>을 확인하여 제품의 형상 및 도면상의 요구사항을 명확히 확인해 보자.

B 데이텀으로 설정되어 있는 원형 판에 홀 두 개가 나있고, 축이 붙어있다. 축의 치수는 $\Phi 9.8\text{mm} \sim \Phi 10.2\text{mm}$ 이고 B 데이텀인 원판의 면을 기준으로 직각도 요구사항이 MMC조건으로 부여되어 있다. 홀의 치수는 $\Phi 3.0\text{mm} \sim \Phi 3.4\text{mm}$ 이며, 홀에 대한 위치도를 규제하는데, MMC조건일 때 $\Phi 0.4\text{mm}$ 의 공차가 부여되어 있다. 이 홀의 위치를 규제하는 기준으로 사용될 데이텀이 *표로 표기되어 있고, 이 자리에 *표 대신 A, B 데이텀이 어떤 순서 및 어떤 재료조건으로 부여되는지에 따라 다른 의미를 가지게 된다. 이 다른 의미를 각각 알아보도록 한다.

첫 번째는



<그림 3-8>

위 <그림 3-8>과 같이 데이텀 부여가 A, B 순으로 요구되는 경우이다.

데이텀의 우선순위의 개념으로 살펴보면, 앞에 요구된 데이텀이 뒤의 데이텀보다 우선한다. 즉 이 경우에는 A 데이텀이 B 데이텀보다 우선하게 되는데, 우선한다는 개념은 그림과 같이 제품을 규제하는데 있어 우선 구속되는 개념을 가진다.

우선과 나중에 구속되는 것과의 차이는, 나중에 구속되는 데이텀에 대해서 요구조건을 명확히 만족하지 못하더라도 우선 구속되는 조건이 명확히 구속됨을 의미한다.

위 <그림 3-8>에서 보면, 제품 아래쪽의 형태는 게이지의 개념을 의미하는데, 우선 요구된 A 데이텀의 조건으로 인해 제품의 축 형태가 먼저 게이지에 구속되고, 원판의 면인 B 데이텀이 나중에 게이지의 면과 일치하는 조건이어야 하는데, 우선되는 A 데이텀인 축 형체를 구속하고나니 원판의 면이 명확히 구속되지 않는다고 하더라도, 우선순위에 따라 어쩔 수

없다는 것이다.

한가지 교재 전체를 통해 공유해야 할 것이 있다. 교재에 설명된 그림의 사례들은 수 많은 경우의 수들 중에 있을 수 있는 대표적인 것을 표현한 것이다. 100% 모든 경우에 있어 그림들과 같은 경우를 나타내는 것은 아니므로 참고해서 그림들을 이해하여야 한다.

즉, 이 경우에도 위 <그림 3-8>과 같이 원판이 게이지 면에 일치하지 않는 경우가 100%는 아니다. 제품이 양품이라면, 축의 크기가 $\Phi 10.2\text{mm}$ 인 MMC의 경우에 직각도 공차가 B 데이텀에 대해 $\Phi 0\text{mm}$ 공차를 부여하므로 정확한 직각을 이뤄야 한다. 결국 축이 $\Phi 10.2\text{mm}$ 인 크기를 가진 양품이라면, 축이 먼저 고정된 상태에서도 B 데이텀인 원판의 면이 게이지에 밀착 되게 될 것이다. 이것이 그림과는 다른 원판 면이 게이지와 일치하는 경우지만, 이 경우를 제외한 대부분의 상황은 원판 면이 일치할 경우가 적기 때문에, 더 일반적인 경우를 가정한 면이 불 일치하는 <그림 3-8>과 같은 상태를 표현한 것이다.

여기서 하나 더 알아둘 것이 데이텀에 부여된 재료조건의 효과이다. 좀 어렵기는 하지만 꼭 알아두어야 하므로 설명을 여러 번 반복해서 읽고 이해하도록 노력해 보자.

데이텀 A는 축 형체의, 크기를 가진, 다른 표현으로는 중심축을 가진 형체이다. 따라서 앞에서 배운 재료조건의 부여가 가능한 형체이다.

데이텀 B는 평면 형체로, 크고 작은 값으로 표현할 수 없고, 중심축이나 중간 면을 가지지 않는다. 따라서 재료조건의 부여가 불가능한 형체이다.

이 두 가지 데이텀 형체의 조건에 따라 도면에 부여된 A, B 데이텀은 똑

같이 알파벳만 쓰여져 있지만 의미가 다르다.

A 데이텀은 재료조건 부여가 가능한 형체인데 (M) 또는 (L) 기호가 써있지 않으므로 Rule#2에 의해 RFS 조건이 부여된 상태로의 요구조건을 가지며, B 데이텀은 원래 재료조건 부여가 불가능한 형체이므로 재료조건 의 어떤 요구사항도 없는 것이다.

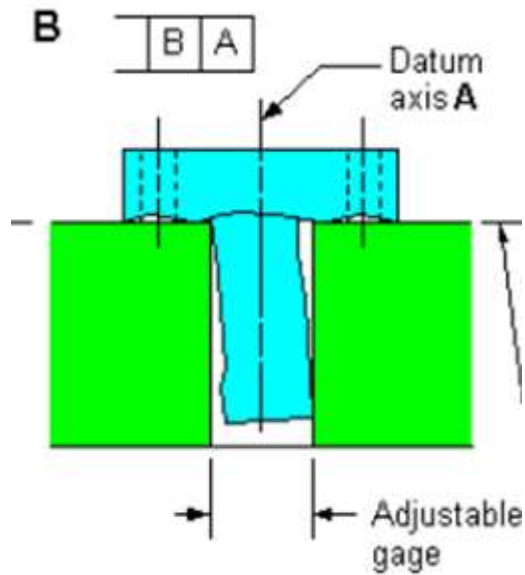
이 개념이 여기서 중요한 이유는 게이지와의 관계에 있다. 앞부분까지는 재료조건에 의해 MMC 조건이 부여되면 보너스 공차가 추가되어 공차가 커지고, RFS 조건이면 공차가 동일하다는 것까지만 배웠지만, 이 재료조건의 부여가 게이지와 연계되면, 게이지의 형태를 규제하는 조건이 된다. 즉, 데이텀에 RFS 요구조건이 부여되면, 게이지를 가변식(Adjustable)으로 만들어야 한다. 제품이 $\Phi 10.2\text{mm}$ 라면, 게이지도 $\Phi 10.2\text{mm}$ 만큼 벌어져야 하고, 제품이 $\Phi 9.8\text{mm}$ 이라면, 게이지도 $\Phi 9.8\text{mm}$ 치수만큼 좁혀져야 한다. 제품의 양품 크기 영역 $\Phi 9.8\text{mm} \sim \Phi 10.2\text{mm}$ 내에서 게이지가 움직여 제품이 유동되지 않도록 고정해야 한다. 이것이 RFS 재료조건의 요구사항이다.

결국 이것을 이전에 수치로 배운 보너스 공차와 연계하면, 보너스 공차라는 것은 제품과 게이지가 장착 후 가질 수 있는 여유를 의미하며, RFS 조건에서 보너스 공차가 없다는 것은 게이지가 움직여 제품이 유동되지 않는다는 것과 같은 의미이다.

두 번째는

첫 번째의 경우에서 데이텀의 우선순위가 바뀐 B 데이텀이 앞에 표기된

것이다.



<그림 3-9>

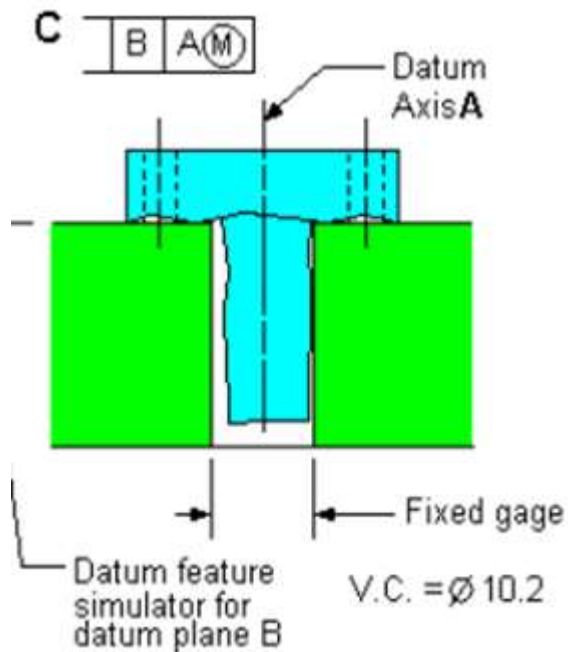
앞서 설명한 데이텀의 우선순위에 따라 B 데이텀이 앞에 표기되었으므로, <그림 3-9>의 경우에는 B 데이텀인 원 판의 면을 먼저 게이지에 고정하고, 그 다음으로 A 데이텀인 축 형체를 규제하는데, 여기서도 마찬가지로 크기를 가지는 A 데이텀 뒤에 재료조건이 명기되지 않았으므로 RFS 요구조건을 가지게 된다. 따라서, A 데이텀에 대해서는 가변식 게이지의 형태를 가져 보너스 공차가 발생하지 않도록 해야 한다.

세 번째는

두 번째의 경우와 마찬가지로 <그림 3-10>인 경우에서도 B 데이텀이 우선 요구되었으므로, 게이지 면에 B 데이텀이 밀착되어야 하며, 2차 데이텀으로 요구된 A 데이텀이 규제된다.

이때, A 데이텀에 부여된 MMC의 효과를 보면, 고정식(Fixed) 게이지의 요구조건을 가지게 된다.

앞서 배운 실효조건의 개념을 적용하면, MMC $\Phi 10.2\text{mm}$ 인 축이 공차 $\Phi 0\text{mm}$ 를 허용하는 축 형체이므로 외접하여 더하면 $\Phi 10.2\text{mm}$ 의 실효치수를 얻게 되고, 실효치수는 게이지를 제작하는 기준이 된다고 했으므로 게이지를 $\Phi 10.2\text{mm}$ 로 제작하면 된다.



<그림 3-10>

따라서 <그림 3-10>과 같은 고정식 게이지가 적용된 것이며, 제품이 게이지에 안착되면 그림처럼 여유를 가지게 된다.

만일 제품이 $\Phi 9.8\text{mm}$ 라면, MMC 치수와의 차이에 의해 $\Phi 0.4\text{mm}$ 의 보너스 공차를 가지게 되며, 이 개념은 위 그림에서 $\Phi 9.8\text{mm}$ 크기의 제품이 $\Phi 10.2\text{mm}$ 의 홀 게이지에 들어가면 $\Phi 0.4\text{mm}$ 만큼 놀 수 있는 여유를 의미하는 것이다.

또한 $\Phi 10.2\text{mm}$ 크기의 제품이 게이지에 장착되면 여유가 없게 되는데, 이것이 보너스 공차가 없다는 의미와 같다.

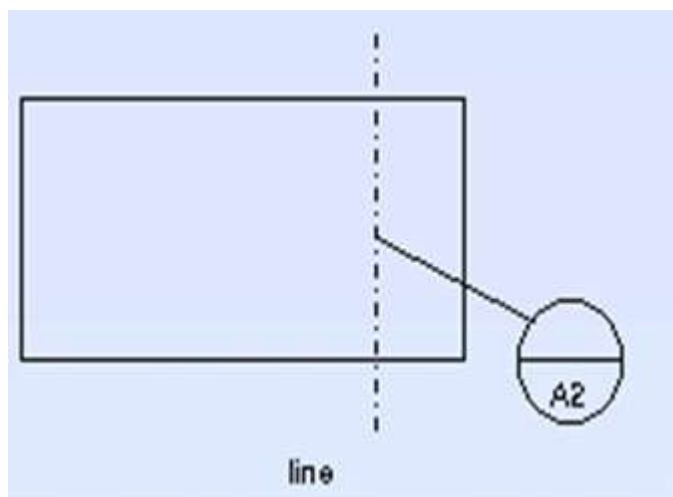
이런 중요한 재료조건의 개념 부여가 되었더라도, 순서에 따른 1차, 2차

데이텀의 우선순위는 불변함을 꼭 기억해 두기 바란다.

3-4. 데이텀 목표(Target)

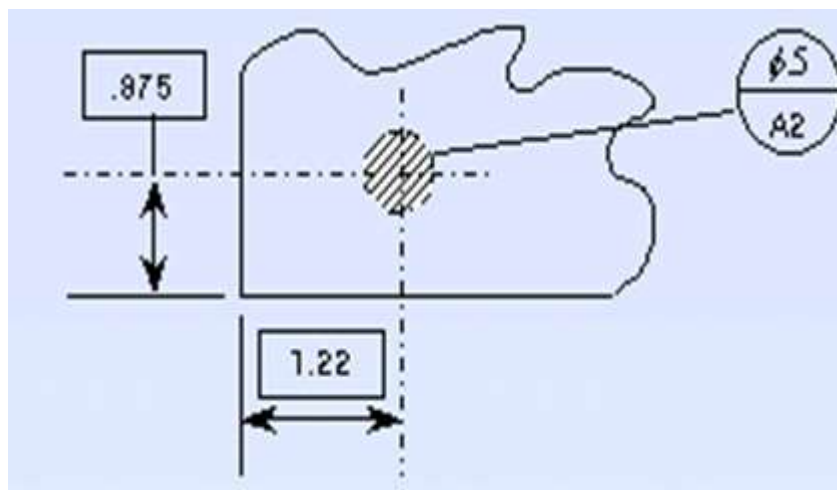
주조물 또는 판금과 같은 불규칙한 모양을 가진 부품에서 데이텀은 데이텀 목표(Target)를 이용하여 설정한다.

다음은 <그림 3-11> A 데이텀의 2번째 데이텀 목표를 표현하는데, 그 요구하는 데이텀 목표 형체가 선의 요구사항을 갖는다.



<그림 3-11>

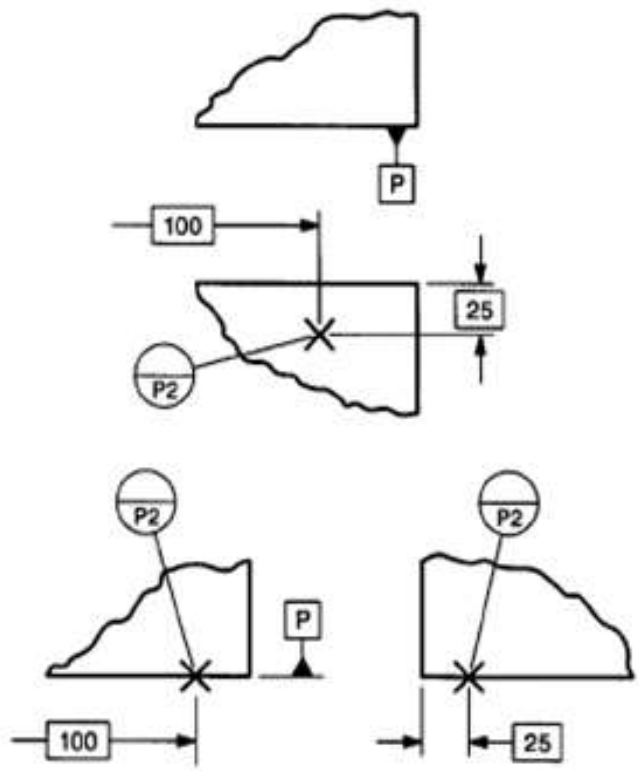
다음 <그림 3-12>도 또한 A 데이텀의 2번째 목표를 요구하는데, 목표 형체가 $\phi 5\text{mm}$ 의 원형 면적을 갖도록 요구한다.



<그림 3-12>

이렇게 요구된 데이텀 목표들에 대한 개략적인 대표 형체 3가지를 그 목적인 게이지와 연계하여 설명토록 한다.

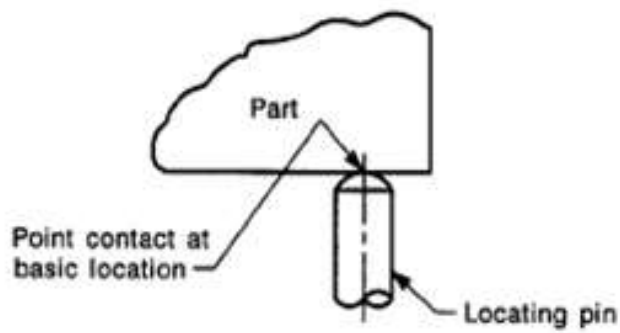
3-4-1. 점 데이텀 목표



<그림 3-13>

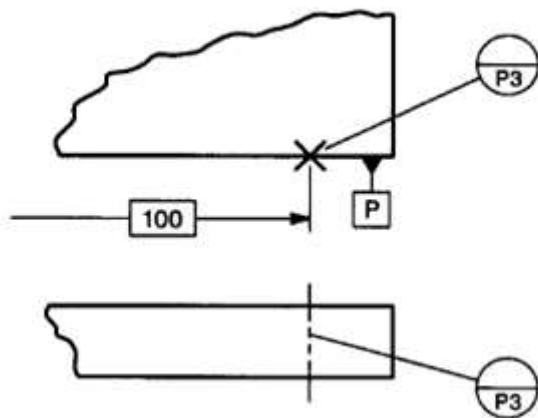
P 데이텀의 세부 요구사항으로 데이텀 목표를 설정하여 위 <그림 3-13>과 같이 P 데이텀의 2번째 목표로 표현하였다.

P 데이텀의 2번째 목표는 아래의 3 View를 통해 3방향의 기준치수를 부여하고 점의 요구사항을 명확히 표기하였으며, 이 요구사항에 대한 게이지와의 연계된 의미는 아래의 <그림 3-13>과 같이, 제품의 기준치수를 만족하는 점에서 제품과 접촉하도록 게이지를 만들라는 요구사항이 반영되어 있다.



<그림 3-14>

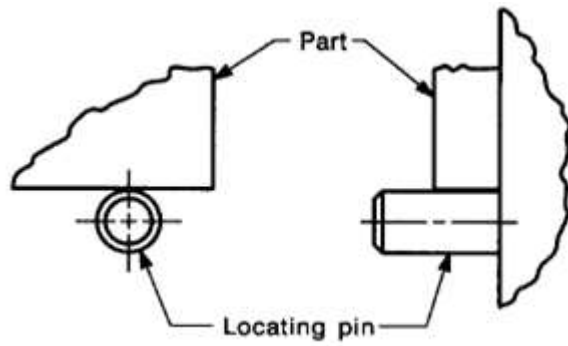
3-4-2. 선 데이텀



<그림 3-15>

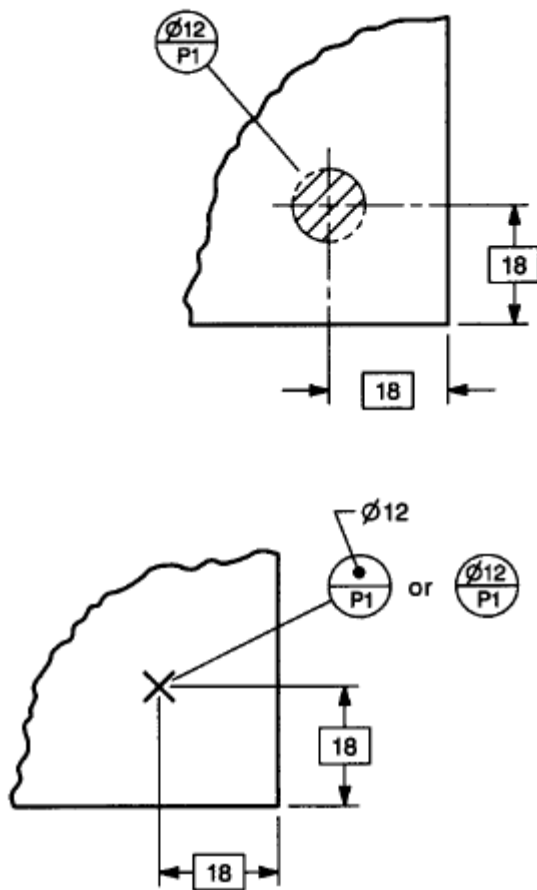
P 데이텀의 세부 요구사항으로 데이텀 목표를 설정하여 위 <그림3-15>와 같이 P 데이텀의 3번째 목표로 표현하였다.

P 데이텀의 3번째 목표는 아래의 Bottom View를 통해 가상선으로 표현하고 선의 요구사항을 명확히 표기하였으며, 이 요구사항에 대한 게이지와의 연계된 의미는 아래의 그림과 같이, 제품의 기준치수를 만족하는 선과 접촉하도록 원통형태의 측면이 제품과 접하는 게이지를 만들라는 요구사항이 반영되어 있다.



<그림 3-16>

3-4-3. 면 데이텀



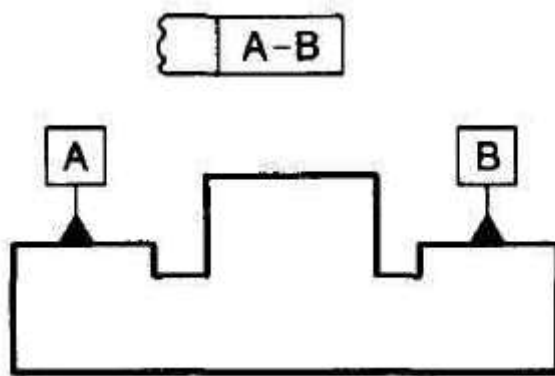
<그림 3-17>

P 데이텀의 세부 요구사항으로 데이텀 목표를 설정하여 위 <그림 3-17>과 같이 P 데이텀의 1번째 목표로 표현하였다.

P 데이텀의 1번째 목표는 $\phi 12\text{mm}$ 의 원형으로 표현하고 면의 요구사항을

명확히 표기하였으며, 이 요구사항에 대한 게이지와의 연계된 의미는 제품의 기준치수를 만족하는 $\Phi 12\text{mm}$ 의 원형 면적이 제품에 접촉하도록 원통 형태의 원형 평면이 제품과 접하는 게이지를 만들라는 요구사항이 반영되어 있다.

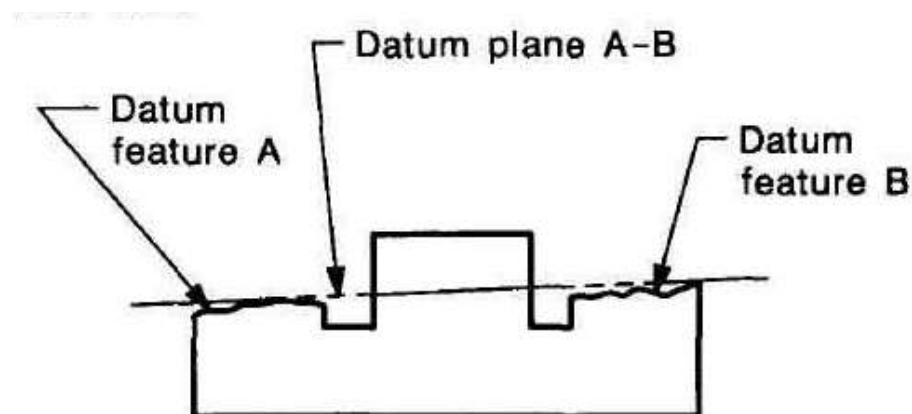
3-5. 다중 데이텀 형체



<그림 3-18>

<그림 3-18>의 데이텀 요구사항이 위 그림과 같이 A-B의 형태로 한 칸에 요구되면, 아래의 <그림 3-19> 의미와 같이 두 데이텀의 연장선을 사용하여 하나의 기준으로 적용한다는 것이다.

<그림 3-19>



Y14.5이외의 사례로는 연장할 수 없는 데이텀의 요구사항을 가진 형체를

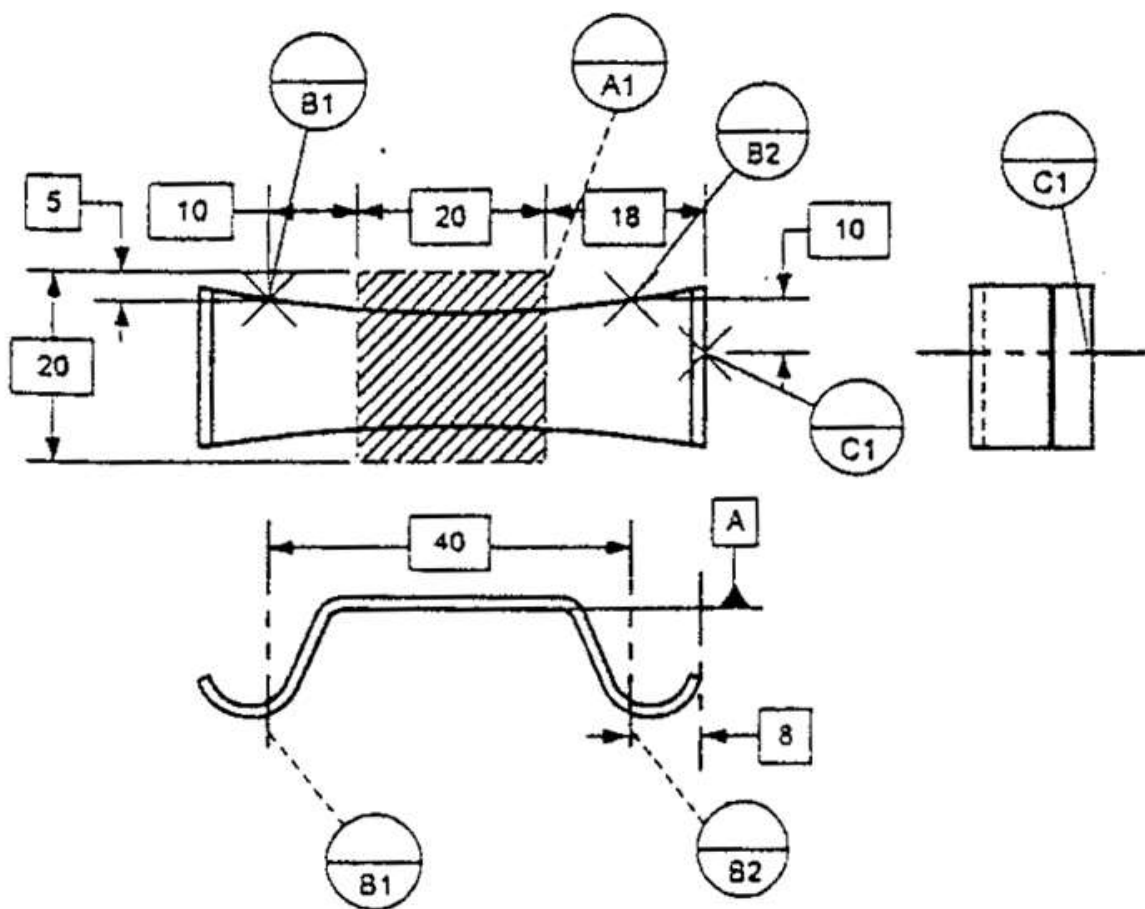
연계하여 하나의 데이텀으로 요구하는 경우도 있다. 이런 경우의 적용에 대해서는 뒤에서 설명하기로 한다.

데이텀에 대해 다시 한번 강조할 사항은,

데이텀의 결정은 기능 및 상대물과의 조건을 고려한 것이어야 한다는 것이다. 그렇게 데이텀이 결정될 때, 공차누적(Stack)의 발생을 최소화할 수 있다.

3-6. 데이텀 및 데이텀 목표 설정의 사례

<도면 3-2>



위 <도면 3-2>와 같이 데이텀 및 데이텀 목표가 부여된 제품에 대하여 게

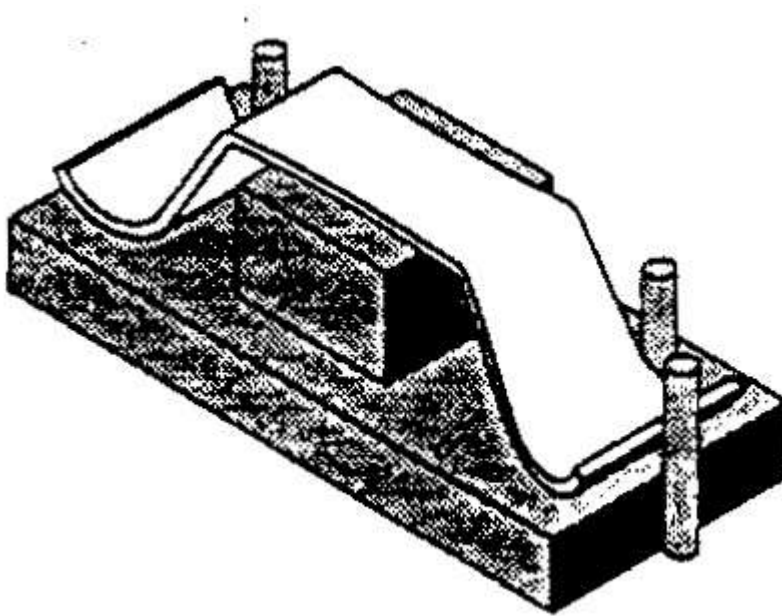
이지 상에 데이텀의 개념을 부여하면,

A 데이텀인 제품의 밑면에 데이텀 목표인 $20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 의 면을 설정해주고,

B 데이텀의 요구사항인 B1, B2 데이텀 목표의 선 접촉 요구에 따라 원통 형태의 측면이 제품의 B1, B2 부위에 접촉하도록 하며,

C 데이텀의 C1 데이텀 목표인 선 접촉 요구에 따라 원통형태의 측면이 C1 부위에 접촉하도록 한다.

이 개념을 정리하여 게이지에 반영하면, 아래 <그림 3-20>과 같은 형태의 게이지 데이텀 형체를 얻을 수 있다.



<그림 3-20>

여기서 중요한 것은 게이지에 반영할 데이텀은 도면에 요구된 대로만을 적용한다는 것이다. 만일 도면의 요구 외에 추가적인 데이텀 또는 데이텀 목표가 반영되었다면, 이 데이텀을 기반으로 판단될 제품의 구체적인 형상의 양/불량의 판정에 큰 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

4-1. 형상공차(모양공차; Form Tolerance)

형상공차는 데이텀과 관련이 없는 특성임을 앞서 <표 1-5>로 정리해 언급한 바 있다. 또한 형상공차의 기하학적 특성이 단독형체로 적용되므로 Rule#1의 개념이 적용되는 특성이다. 따라서, 형체의 치수공차 범위를 벗어날 수 없다. 형체의 표면상태 규제하므로 치수공차의 범위 내에 형상의 특성이 포함된다.

포괄적인 형상공차의 개념을 한가지만 더 살펴보고 가면,

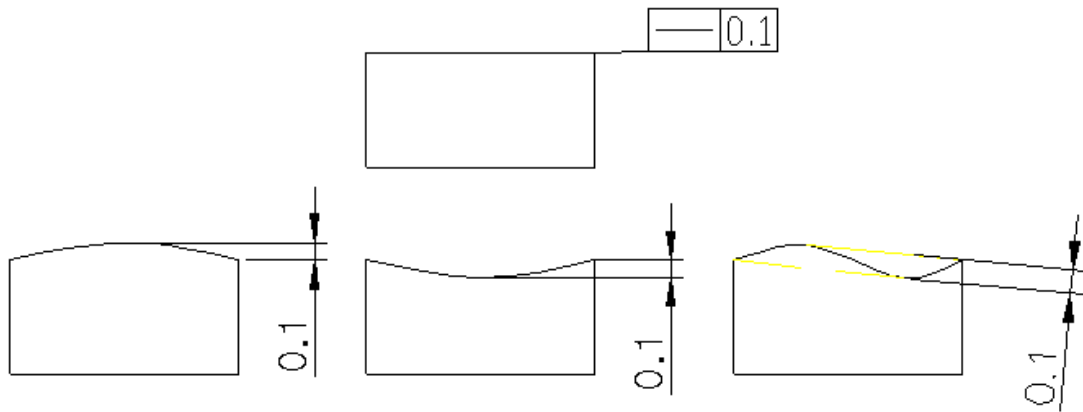
형상공차의 대부분은 표면 특성을 규제하는 조건들이다. 일부 사항이 예외인데, 그것이 진직도에 부여될 수 있는 축심(질량을 가지는 형체 덩어리 및 그 중심)의 개념이다. 사실 GD&T의 전체 영역을 놓고 보면 축심의 개념이 더 포괄적인 개념이지만, 표면 특성의 요구사항을 일반적으로 하는 형상공차라는 범위에서는 이런 축심의 개념이 예외의 개념이 된다.

좀 어렵게 표현되었는데, 아래의 세부 특성에 대하여 설명하면서 자세히 다뤄보도록 하자.

4-1-1. 진직도(Straightness)

진직도는 표면 또는 축심의 요소가 직선인 경우의 조건으로 직선으로부터 벗어나는 정도로 표시(두 개의 평행한 직선 사이 간격)하며, 이 평행한 직선(사실상 공차영역)은 단독형체로 적용되므로 밑면에 대해서 평행할 필요가 없다. 아래의 <도면 4-1>과 같이

<도면 4-1>



도면의 진직도 요구사항에 따른 0.1mm의 공차영역은 아래쪽 3개의 의미와 같이 요구하는 상부 면이 볼록하건 오목하건 또는 세 번째 경우처럼 불규칙한 면을 가져서 0.1mm의 공차영역이 기울어져 있건 관계없이 0.1mm의 영역 안에만 들어오면 만족하는 것이다.

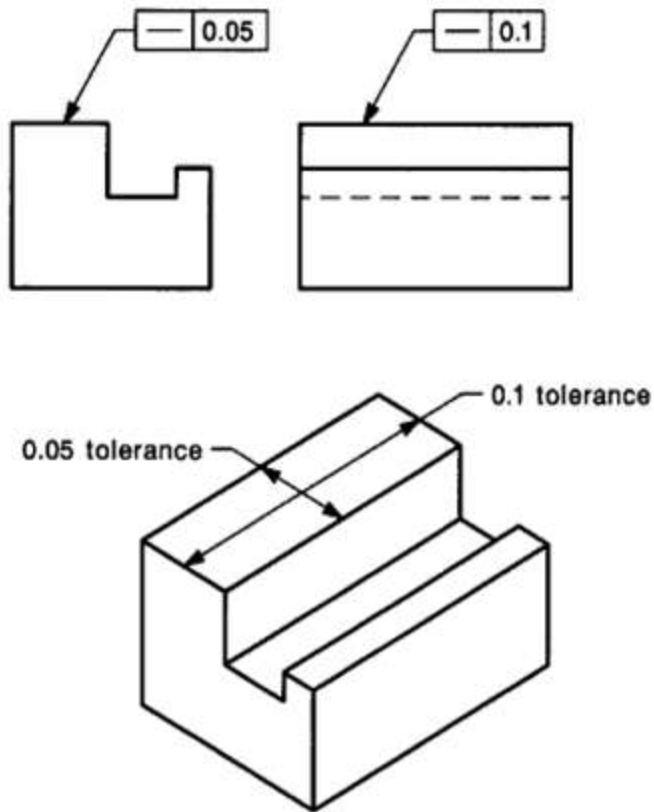
치수공차 범위 내 및 치수공차보다 작아야 한다.

예를 들어 위 <도면 4-1>의 제품에 바닥 면부터 상부 면까지의 치수 값을 $10 \pm 0.5\text{mm}$ 라 한다면, 치수공차 범위 내란 의미는 진직도 0.1mm의 요구사항은 치수의 범위 내에서 추가적으로 만족해야 하는 것이라는 의미로 10.5mm ~ 9.5mm의 영역 내에서 0.1mm의 진직도를 만족해야 한다는 것이다. 또한 치수공차보다 작아야 한다는 의미는 치수공차가 $\pm 0.5\text{mm}$ 이므로 1.0mm의 치수공차 폭보다, 진직도의 공차인 0.1mm의 값이 작아야 한다는 의미이다. 이 의미는 전형적인 표면 요구사항인 형상공차의 특성이라 할 수 있다.

이런 진직도는 한 표면의 두 방향에 대해서도 적용이 가능하다. 아래의 <도면 4-2>과 같이 상부 면의 방향에 따라, 짧은 쪽으로는 0.05mm, 긴 쪽으로는 0.1mm의 공차를 요구하여 한 표면에서의 방향 별 다른 공차 값의

요구사항이 적용될 수 있음을 볼 수 있다.

<도면 4-2>

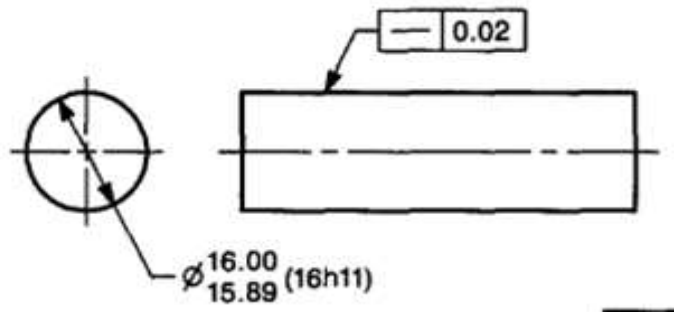


Each longitudinal element of the surface must lie between two parallel lines 0.05 apart in the left view and 0.1 in the right view of the drawing.

앞서 잠깐 언급한 형상공차의 특성인 표면 요구사항에 대해 일부의 예외 항목인 진직도의 축심 요구사항을 표면 특성과 함께 다뤄 보도록 한다.

진직도에 대한 원통형체의 요구사항은 첫 번째로 표면에 대하여 아래의 <도면 4-3>과 같이 요구된다.

<도면 4-3>



제품의 치수 요구사항이 $\varnothing 16.00\text{mm} \sim \varnothing 15.89\text{mm}$ 인 원통형체에 대하여 진직도 공차가 0.02mm 인 공차 앞에 $\varnothing$ 가 없는 표면 요구사항으로 요구되어 있다.

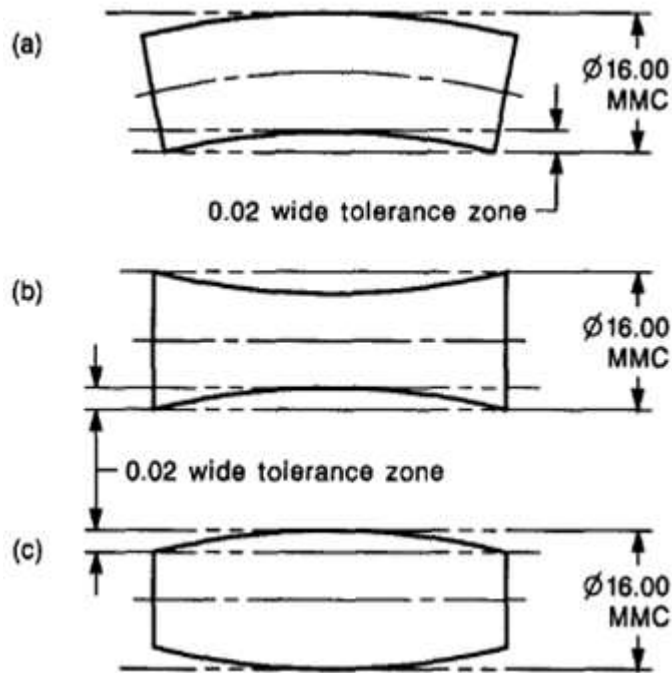
표면에 진직도 공차가 규제된 경우, 표면 모든 원의 요소들은 규정된 치수공차 범위 내에 있어야 한다. MMC 포위선(MMC의 완벽한 형상을 의미하며 뒤에 정의를 정확히 다루기로 한다)을 초과하지 않아야 하며, 실 치수가 MMC로 제작될 경우에는 완전한 형상이어야만 한다.

결국 표면 요구사항인 경우 아래 <그림 4-1>과 같이 어떤 경우에도 $\varnothing 16.00\text{mm}$ 의 값을 초과할 수 없다는 의미를 가진다.

a, b, c 세 경우와 같이 어떤 경우에도 $\varnothing 16.00\text{mm}$ 의 영역을 넘어서지 않으면서 진직도 공차인 0.02mm 를 만족하는 사례를 보여준다.

좀더 생각해 봐야 할 것이 RFS 요구사항인 0.02mm 에 대한 공차의 적용인데, 제품의 치수가 어떤 부위라도 $\varnothing 15.98\text{mm}$ 보다 작다면 RFS 공차인 0.02mm 를 적용하는데 문제가 없을 것이다. 하지만 제품이 $\varnothing 16.00\text{mm}$ 또는 $\varnothing 15.99\text{mm}$ 와 같이, 완벽한 형상인 $\varnothing 16.00\text{mm}$ 으로부터 0.02mm 보다 작은 여유 밖에 가지지 못한다면 이때에는 앞서 언급한 것처럼 치수 값의 우선순위를 따져야 하고, 이 경우 치수 값이 우선하기 때문에 부여될 수 있는 진직도의 공차 값이 제한을 받게 된다.

<그림 4-1>



<표 4-1>

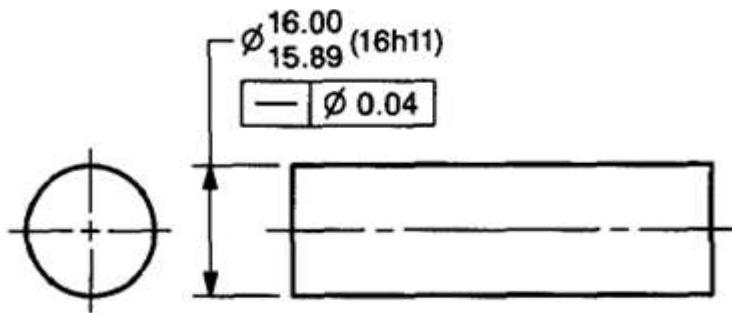
핀의 실 치수	최대허용 진직도 공차
MMC(Φ 16.00)	0
Φ 15.99	0.01
Φ 15.98	0.02
↓	↓
LMC(Φ 15.89)	0.02

따라서 <표 4-1>과 같이 제품의 치수가 Φ 16.00mm이라면 허용될 수 있는 진직도 공차는 없다. 만일 제품 치수가 Φ 15.99mm라면 완벽한 형상인 Φ 16.00mm과의 차이 값인 0.01mm만큼의 진직도 허용이 가능하다.

제품의 치수가 Φ 15.98mm 이하라면 비로소 RFS 0.02mm의 공차가 허용 가능해 진다.

진직도에 대한 원통형체의 요구사항은 두 번째로 축심에 대하여 아래의 <도면 4-4>와 같이 요구된다.

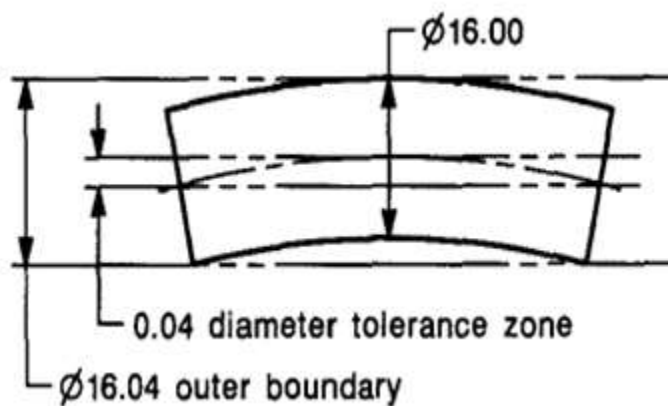
<도면 4-4>



제품의 치수 요구사항이 $\varnothing 16.00\text{mm} \sim \varnothing 15.89\text{mm}$ 인 원통형체에 대하여 진직도 공차가 $\varnothing 0.04\text{mm}$ 인 공차 앞에 $\varnothing$ 가 있는 축심 요구사항으로 요구되어 있다.

축심 요구사항으로 요구된 경우, MMC에서의 완전한 형상의 경계선은 벗어날 수 있다.

<그림 4-2>



위 <그림 4-2>의 의미와 같이 제품이 축심 요구사항으로 요구되면, 제품의 국부치수가 $\varnothing 16.00\text{mm}$ 의 값을 가지더라도 공차인 $\varnothing 0.04\text{mm}$ 를 허용하며 이 경우 제품의 외형형체는 $\varnothing 16.00\text{mm}$ 의 값을 가질 수 있다.

그리고 요구된 진직도 허용 공차가 RFS $\Phi 0.04\text{mm}$ 이므로 <표 4-2>와 같이 제품의 양품 전 치수에 대해 동일한 공차 값인 $\Phi 0.04\text{mm}$ 가 허용 가능해진다.

<표 4-2>

핀의 실 치수	최대허용 진직도 공차
MMC($\Phi 16.00$)	$\Phi 0.04$
$\Phi 15.99$	$\Phi 0.04$
↓	↓
LMC($\Phi 15.89$)	$\Phi 0.04$

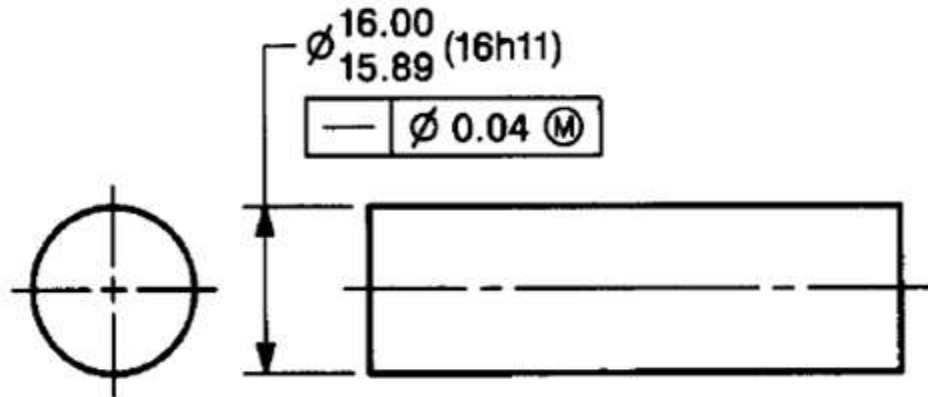
또한 진직도 공차가 방향/위치 공차와 함께 사용된다면, 방향 또는 위치 공차보다 더 커질 수 없음도 기억해두기 바란다.

두 번째로 설명한 축심에 대한 적용 때문에 형상공차인 범위 내에서도 재료조건의 부여가 가능해진다. 앞서 정리하여 설명한 형상공차의 진직도 요구사항이 재료조건 및 게이지와 관련된 항목이었음을 기억할 것이다. 물론 이 이외의 형상공차 특성은 재료조건 및 게이지와 무관한 특성이다. 그럼 재료조건인 MMC의 조건이 부여된 진직도에 대하여 알아보자.

앞서 다뤘던 축심의 사례 공차 $\Phi 0.04\text{mm}$ 에 <도면 4-5>와 같이 MMC 조건을 부여하였다. MMC가 부여되면 도면상의 공차는 MMC 조건에서의 값이 되므로, $\Phi 16.00\text{mm}$ 인 제품일 경우 공차 $\Phi 0.04\text{mm}$ 의 허용이 가능하며, 만일 제품이 MMC인 $\Phi 16.00\text{mm}$ 치수가 아니라면 차이 값만큼의 추가공차의 허용이 가능해진다. 앞서 약속한 사항을 다시 한번 상기하자면, 우리는 치수와

관련된 양품 이외에는 생각하지 않기로 했다.

<도면 4-5>



정리하면, $\varnothing 15.99\text{mm}$ 인 제품은 $\varnothing 0.01\text{mm}$ 만큼의 차이 값이 발생하고 이는 보너스 공차로 추가 부여되므로 $\varnothing 0.04\text{mm}$ 에 더해져, $\varnothing 0.05\text{mm}$ 의 허용공차 값을 가질 수 있게 되며, 만일 $\varnothing 15.89\text{mm}$ 인 제품은 $\varnothing 0.11\text{mm}$ 만큼의 차이 값이 발생하고 이는 보너스 공차로 추가 부여되므로 $\varnothing 0.04\text{mm}$ 에 더해져, $\varnothing 0.15\text{mm}$ 의 허용공차 값을 가질 수 있게 된다. 이를 정리한 것이 아래의 <그림 4-3>이며, 이젠 MMC에 대한 규칙을 명확히 이해했을 것이라 사료된다.

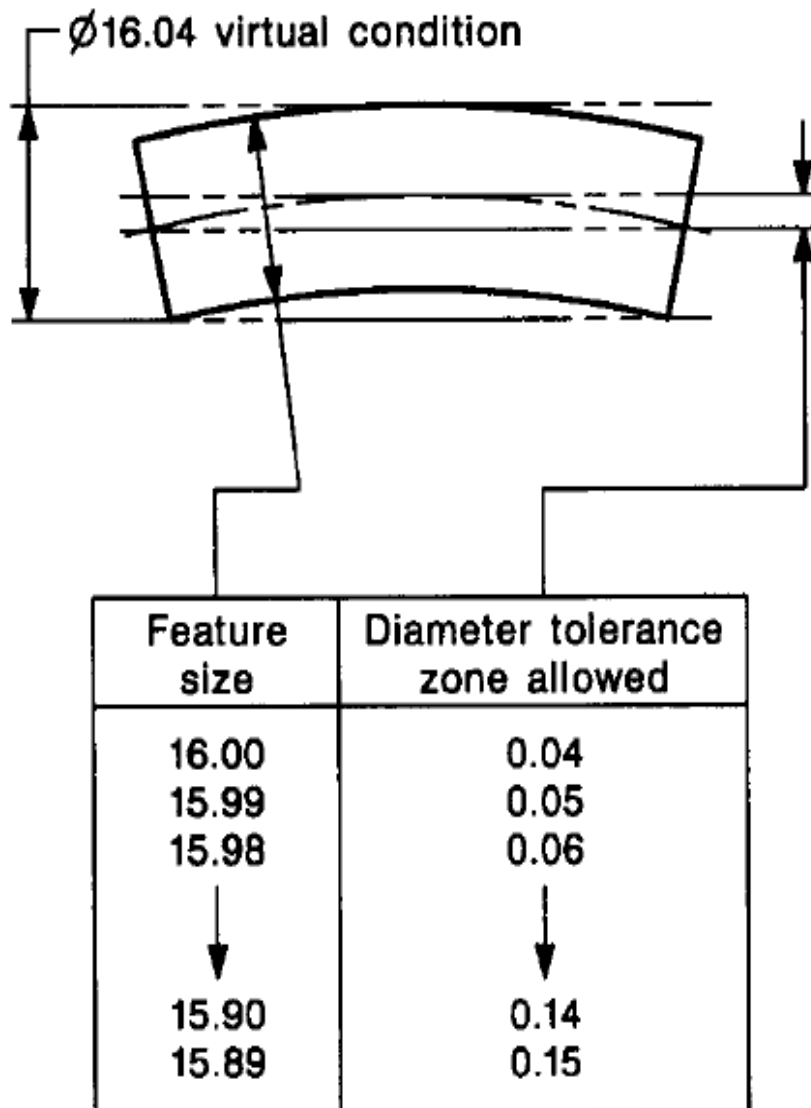
여기에 실효조건의 치수를 보면, 앞서 설명한 바와 같이 어떤 치수에서도 가능하지만, MMC인 $\varnothing 16.00\text{mm}$ 가 $\varnothing 0.04\text{mm}$ 만큼의 공차를 허용한 외측형체 이므로 게이지에 대한 개념이 외접하는 조건임에 따라 치수에 공차를 더 하여 $\varnothing 16.04\text{mm}$ 라는 실효치수를 구할 수 있다.

이렇게 구해진 실효치수는 아래의 세 가지 경우처럼,

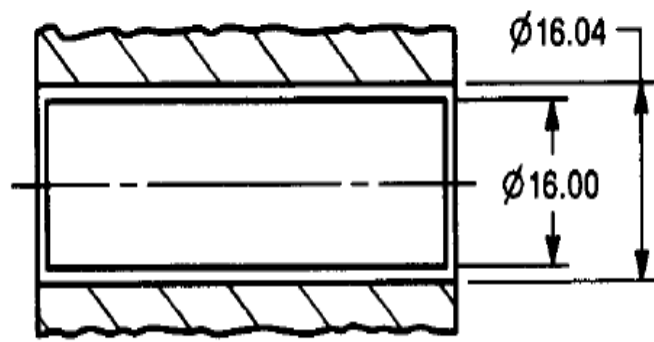
첫 번째는 $\varnothing 16.00\text{mm}$ 인 제품이 진직도 0mm 인 경우를, 두 번째는 $\varnothing 16.00\text{mm}$ 인 제품이 진직도 $\varnothing 0.04\text{mm}$ 인 경우를, 세 번째는 $\varnothing 15.89\text{mm}$ 인 제

품이 진직도 $\Phi 0.15\text{mm}$ 인 경우를 표현하고 있으며, 실효치수를 기반으로 한 게이지 $\Phi 16.04\text{mm}$ 에 양품으로 검사되는데 문제가 없음을 <그림 4-4>로 보여주고 있다.

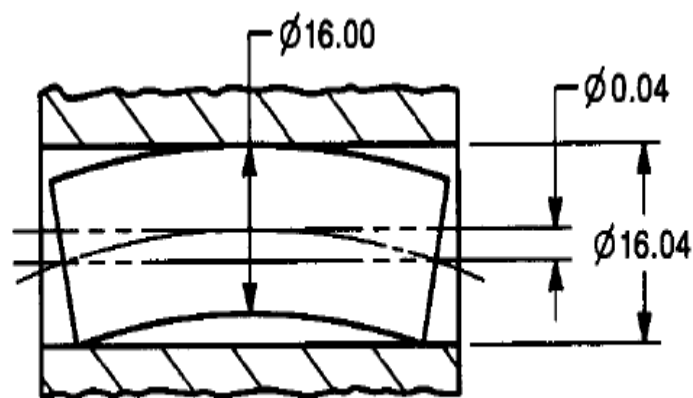
<그림 4-3>



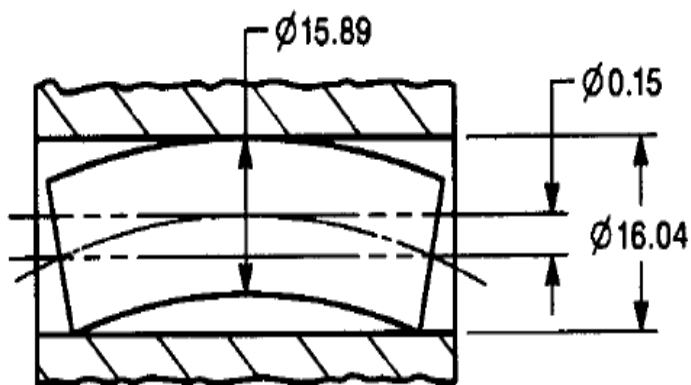
<그림 4-4>



(a)



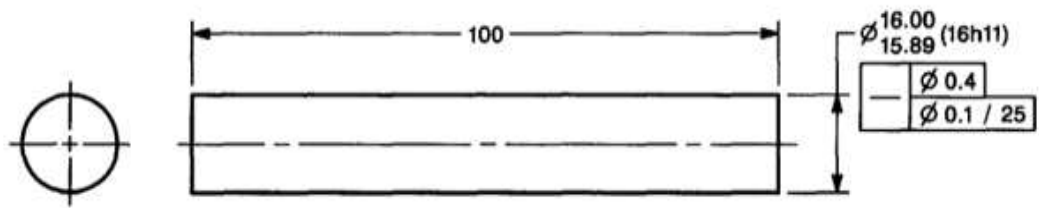
(b)



(c)

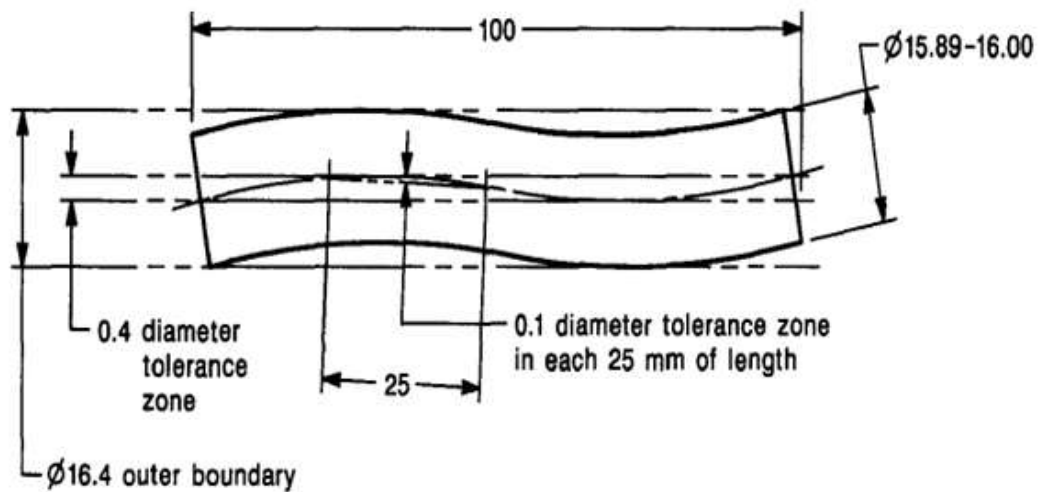
진직도는 전체 제품에 대한 규제에 추가하여, 부품의 일부를 추가 규제할 수도 있다.

<도면 4-6>



전체 100mm의 제품에 $\Phi 0.4\text{mm}$ 의 진직도가 부여된 아래에 25mm당 $\Phi 0.1\text{mm}$ 의 규제를 추가한 사항이다.

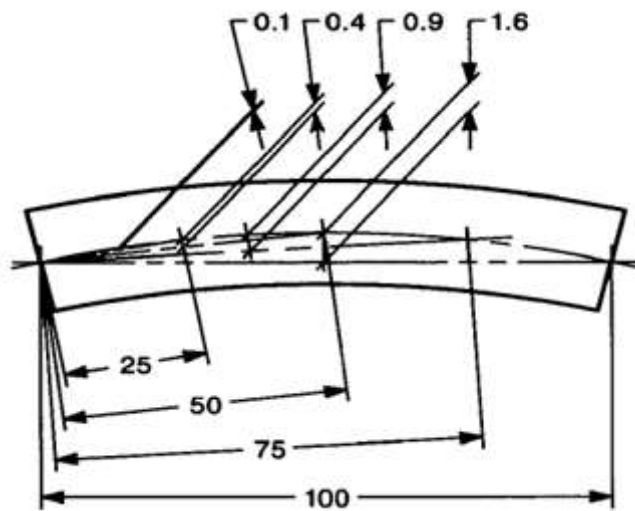
<그림 4-5>



이 의미는 위 <그림 4-5>와 같이 제품 100mm 전체는 $\Phi 0.4\text{mm}$ 의 진직도를 만족해야 하고, 제품의 어느 부위든 25mm 구간의 범위에서는 $\Phi 0.1\text{mm}$ 의 공차 범위를 추가적으로 만족해야 한다는 의미이다.

하지만 주의할 것은 만일 위와 같은 100mm의 제품에 단위진직도인 $\Phi 0.1\text{mm}/25\text{mm}$ 만 규제한다면, 아래 <그림 4-6>과 같이 단위진직도의 공차가 한 방향으로 누적되어 의도한 것 이상의 공차가 발생할 수 있게 될 수 있으므로 잘 고려하여 사용하여야 한다는 것이다.

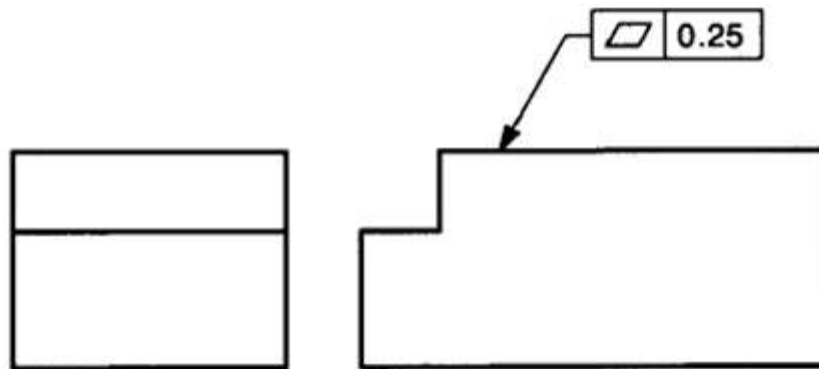
<그림 4-6>



4-1-2. 평면도(Flatness)

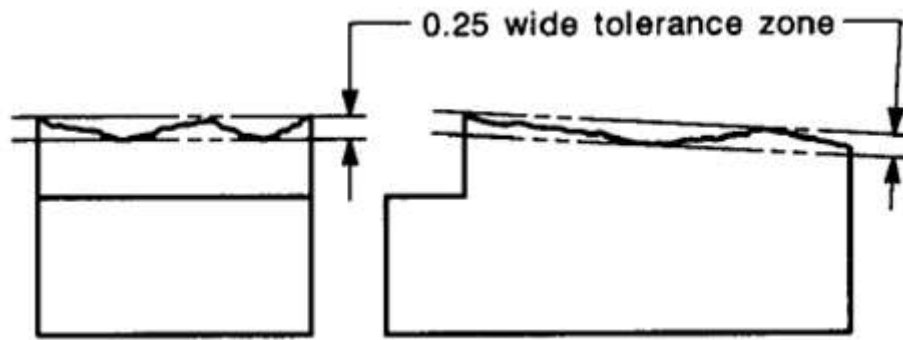
한 평면 내에서 모든 요소가 갖는 표면의 상태를 나타낸다.

<도면 4-7>



위 <도면 4-7>과 같이 요구된 상부 면의 평면도 요구사항은 상부 면 전체의 표면상태를 규제하는 것이다.

<그림 4-7>



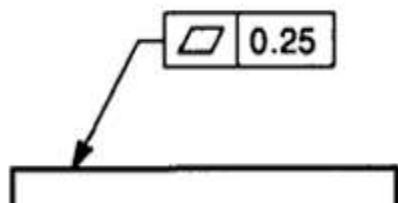
여기서도 상부 면에 요구된 요구사항이 바닥 면 등의 데이텀과 관련된 요구사항이 없는 표면특성이므로 위 의미 <그림 4-7>과 같이 적용되는 공차 범위가 기울어져 있어도 관계없이, 0.25mm의 평행한 영역 안에만 제품의 상부 표면이 들어오면 되는 것이다. 즉, 데이텀과 무관한 특성이다.

또한 앞 특성인 진직도와 마찬가지로 평면도도 치수공차 범위 내에 있어야 하며, 치수공차보다 작아야 한다.

평면도도 일부분 평면도를 요구할 수 있으며, 일 부분 평면도는 가상 선으로 표시하고, 내부를 해칭 선으로 표시할 수 있다. 이런 별도 표시의 요구사항은 기본 약속 때문에 그런데, Y14.5를 비롯한 치수 및 공차의 규격서들에는 전체의 약속을 여러 가지 둔다. 이중 여기에 해당되는 것만 다루면,

“별도 지시가 없는 한, 모든 기하공차는 형체의 전 깊이, 전 길이, 전 폭에 적용된다.” 는 것이다.

<그림 4-8>

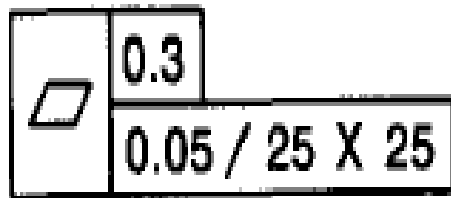


따라서 이렇게 <그림 4-8>과 같이 지시선을 통해 임의의 위치에 규제한

0.25mm는, 상부 전면에 해당된다. 따라서 전체 면의 일부만을 요구할 때에는 별도의 지시를 추가해주어야 하는데, 이것을 가상선 또는 해칭으로 표기해줘야 한다는 것이다.

아래 <그림 4-9>의 형체규제기호 요구사항과 같이 전체 표면에 대해서는 0.3mm의 평면도를 요구하고, 그 면之中的의 단위면적인 25mm × 25mm 내에서는 0.05mm를 만족해야 하는 단위평면도를 사용할 수 있다.

<그림 4-9>



정리하면, 단위평면도는 단독 또는 전 표면 평면도 공차와 함께 사용 가능하며, 단위 공차는 총 공차보다 작아야 한다.

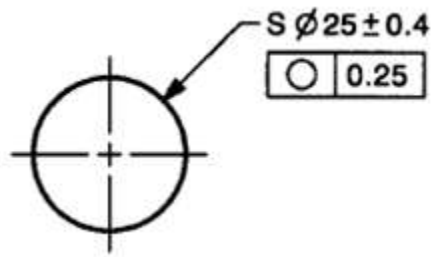
4-1-3. 진원도(Roundness)

진원도는 구인 형체와 구 이외의 형체로 나누어 출발하는데, 그 이유는 구 형체는 꼭 구의 중심이 통과되도록 단면을 취해야 하기 때문이다.

구의 형체는 구의 중심을 통과하는 임의의 평면으로 구를 자른 후, 잘라진 단면의 표면이 진원도 공차 값 내에 들어와야 한다.

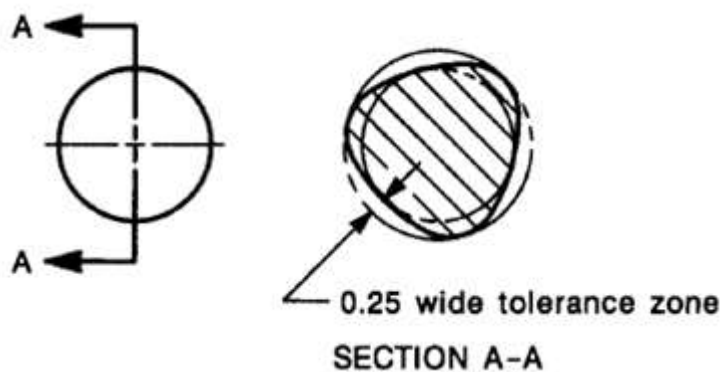
<도면 4-8>과 같이 SΦ25mm에 진원도 요구사항 0.25mm가 부여되면,

<도면 4-8>



아래의 <그림 4-10>과 같이 SØ25mm의 중심을 통과하도록 단면을 취한다.

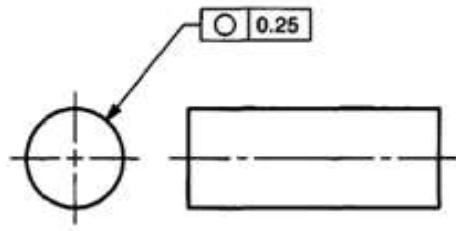
<그림 4-10>



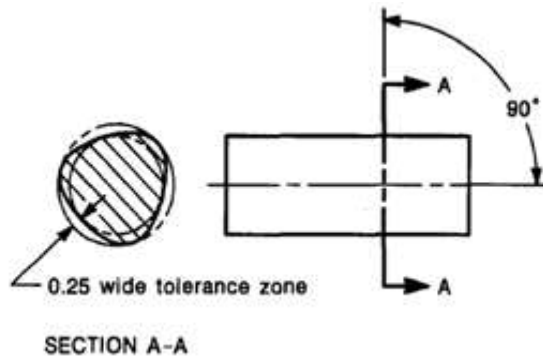
취해진 단면의 표면이 요구하는 공차 0.25mm의 차이를 가지는 진원(위 그림에서 두 개의 가상선 원)의 0.25mm 사이에 들어와야 양품인 것이다.

구면 이외의 형체는 축심에 수직한 임의의 단면을 취하여, 구와 동일한 개념의 취해진 단면의 표면이 요구하는 공차 0.25mm의 차이를 가지는 진원의 0.25mm 사이에 들어와야 양품인 것이다.

원통형태의 진원도는 <도면 4-9> 및 <그림 4-11>과 같다.

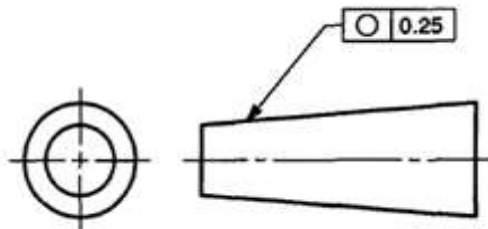


<도면 4-9>

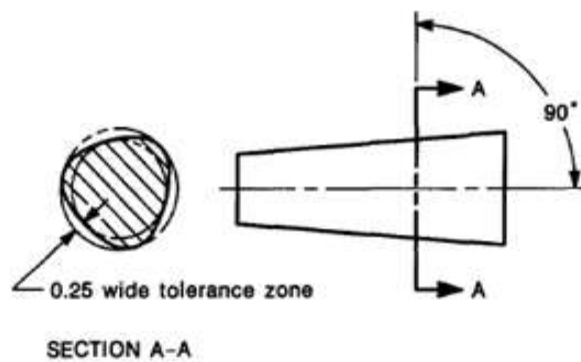


<그림 4-11>

테이퍼진 원통형태의 진원도는 <도면 4-10> 및 <그림 4-12>와 같다.



<도면 4-10>



<그림 4-12>

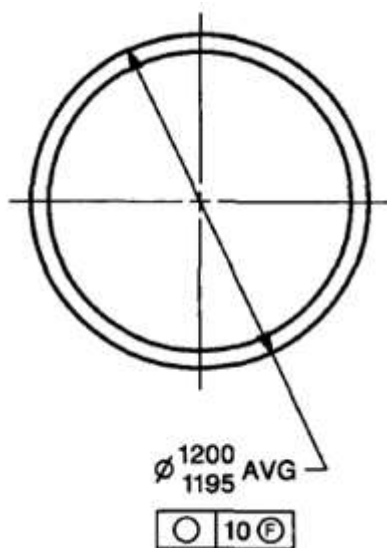
진원도도 표면특성을 규제하는 형상공차이므로, 앞서 설명한 특성과 같이

표면특성 요구 시, 치수공차보다 작아야 한다.

단, 자유상태의 편차에 의한 부품은 예외인데, 자유상태의 편차 요구사항인 자유상태(Free State, $\textcircled{F}$)에 대하여 알아보기로 하자.

자유상태의 변형이란, 부품 제조 시 작용력을 제거한 후 뒤틀림(영구변형, Distortion)이 발생하게 되는 직경에 비해 살 두께가 얇은(비 강체) 부품 등에 해당된다.

아래의 <도면 4-11>과 같은 제품이 자유상태의 편차를 가지는 전형적인 사례인데,

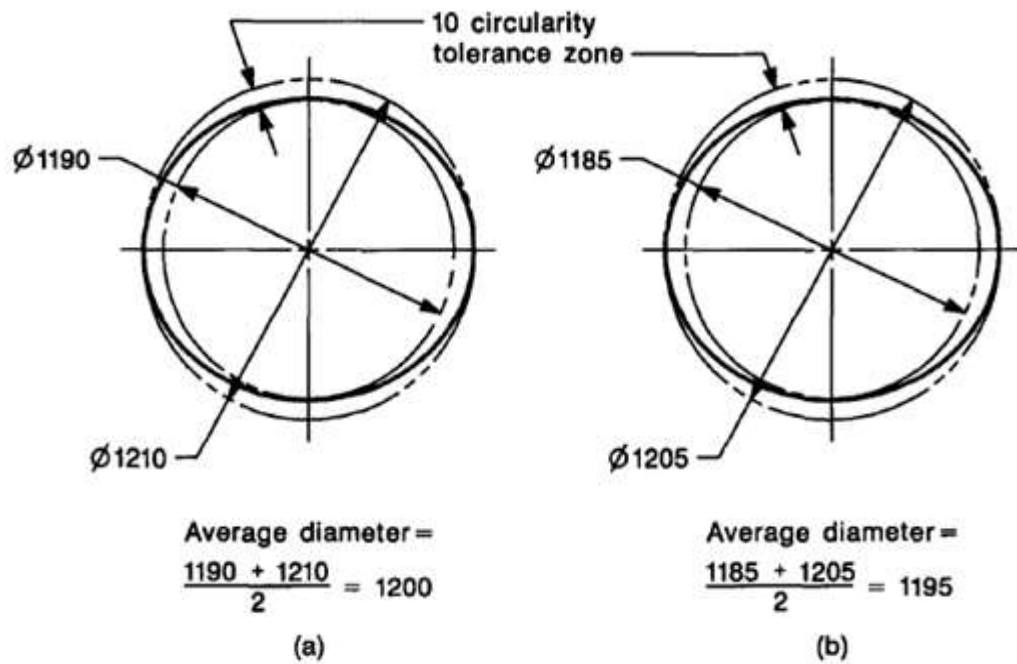


<도면 4-11>

작용력을 제거하면 원형형태를 그대로 유지하는 것이 어려우므로 $\textcircled{F}$ 기호를 부가하고 10mm 수준의 큰 공차를 부여했다.

또한 <그림 4-13>과 같이 평균직경의 요구사항을 가지는 AVG와 함께 사용할 수도 있는데, AVG가 요구되면, 4번 정도 측정하여 평균을 취하게 된다. 이런 자유상태의 진원도 공차는 직경 상 치수공차보다 더 크다. 앞서 설명한 치수공차 내에서의 기하공차 값에 대한 예외라 볼 수 있겠다.

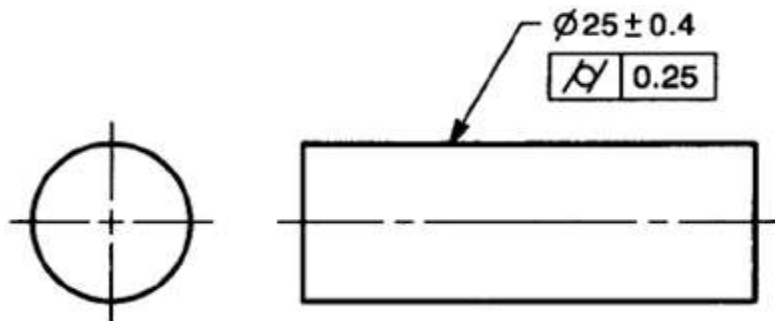
<그림 4-13>



4-1-4. 원통도(Cylindricity)

원통표면의 모든 점이 공통의 축심으로부터 등거리에 있는 회전 표면의 상태로 정의되며, 원형/ 길이방향 요소가 모두 포함되므로 원통 형체에만 적용(테이퍼/구 형체 규제 안됨)된다.

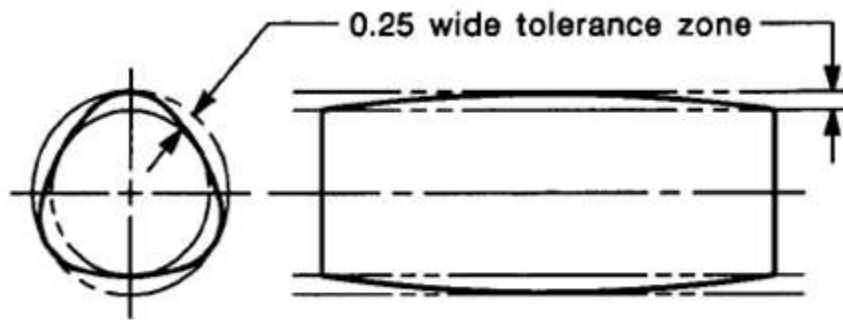
<도면 4-12>



<도면 4-12>와 같이 $\Phi 25.0 \pm 0.4\text{mm}$ 의 치수를 가지는 원통형체에 0.25mm의 원통도 요구사항을 갖는다면, <그림 4-14>와 같은 0.25mm의 차이를 갖는

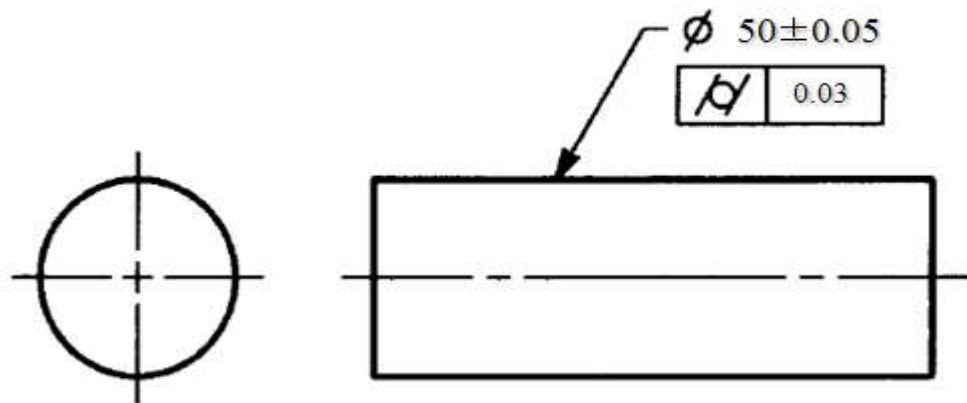
완벽한 형태의 원통 면들 사이에 규제한 제품인 원통의 표면이 들어와야 한다.

<그림 4-14>



예를 들어, 아래와 같은 <도면 4-13> 제품에 대해 원통도 요구사항이 추가되어 있다.

<도면 4-13>



이 도면의 규격을 가지고 제품을 만들어, 그 제조 제품 중, 2개를 꺼내 치수를 확인해보니, 첫 번째 시료의 최대지름은 $\phi 50.03\text{mm}$, 두 번째 시료의 최대지름은 $\phi 50.05\text{mm}$ 였다. 두 제품 모두 치수공차 값인 $\phi 50.05\text{mm}$ 이하이므로 MMC 치수 값은 만족이 되었다.

여기에 0.03mm 의 원통도까지 만족하는 제품이 되려면, 두 시료의 최소지

름은 얼마 이상이어야 할까?

치수 값만 고려한다면, 두 제품은 모두 $\Phi 49.95\text{mm}$ 이상이면 될 것이다. 하

지만 원통도인 0.03mm 를 만족하려면,

첫 번째 시료는 $\Phi 49.97\text{mm}$ 이상, 두 번째 시료는 $\Phi 49.99\text{mm}$ 이상이 되어야

한다. 이 값에 대한 이해는 지름과 반지름 값 및 원통도의 공차에 대한

정의를 잘 읽어보면 이해할 수 있을 것이다.

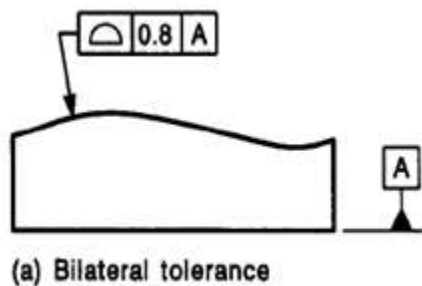
4-2. 윤곽공차(; Profile Tolerance)

주어진 평면(2차원도면/투영도/단면도)에서의 물체의 외형을 규제하는 특성이다.

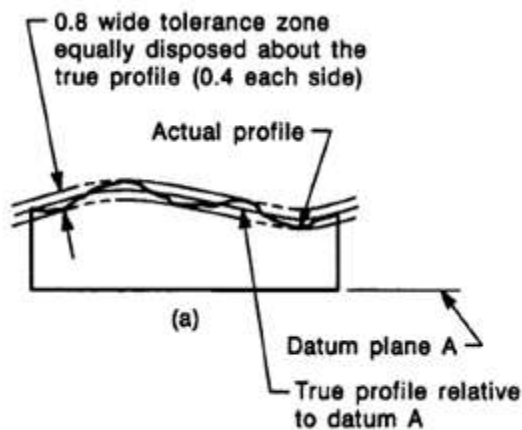
형상, 방향, 위치 등을 조합하여 규제도 가능하나, 앞에서도 설명한 것처럼 윤곽공차는 MMC와 같은 재료조건이나, 게이지와 관련된 특성이 아니므로 측정의 요구사항을 가진다.

전 표면에 적용 가능하고, 부품의 단면을 취하여 개개로도 가능하다.

(a)기본 윤곽 요구사항



<도면 4-14>

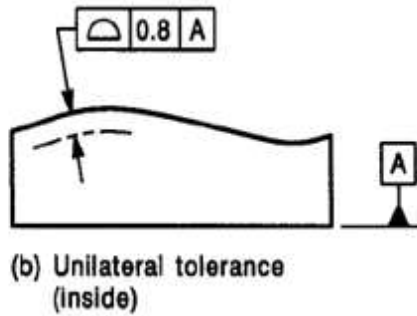


<그림 4-15>

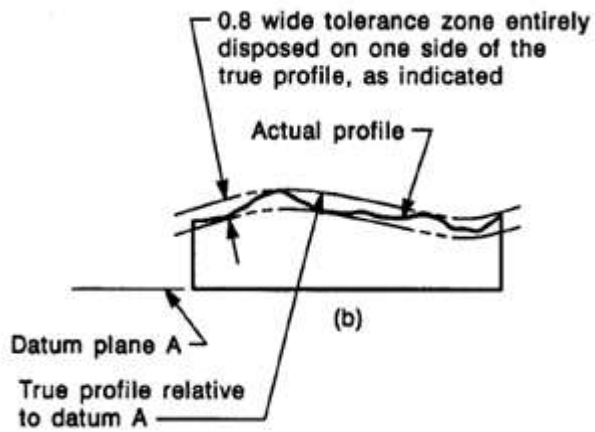
기본 윤곽의 요구사항은 공차영역 반씩의 요구를 갖는다. 즉, 데이텀 A를 기준으로 진 윤곽 내/외측 0.4mm씩의 공차영역을 갖도록 요구하는 것이다.

(b)내측 윤곽 요구사항

내측 윤곽의 요구사항은 아래의 도면과 같이 내측으로 가상선을 추가하여, 데이텀 A를 기준으로 한 진 윤곽 내측 0.8mm씩의 공차영역을 갖도록 요구하는 것이다.

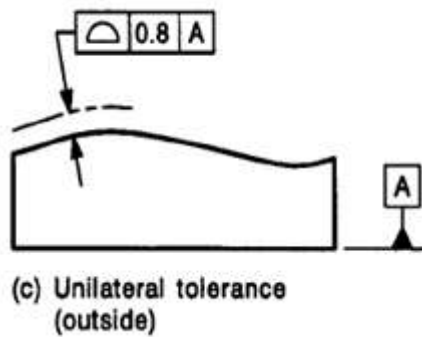


<도면 4-15>

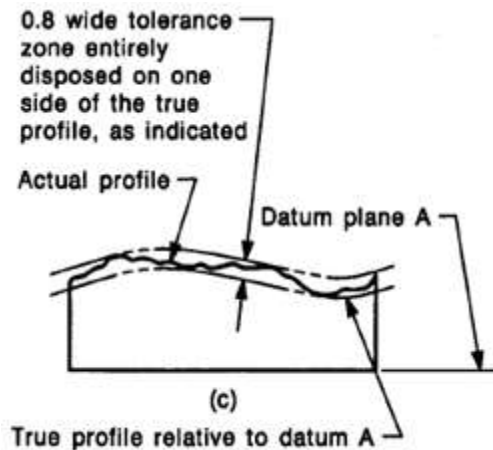


<그림 4-16>

(c) 외측 윤곽 요구사항



<도면 4-16>

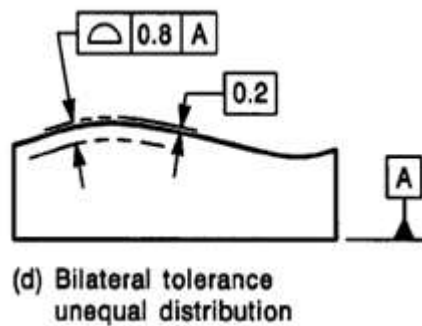


<그림 4-17>

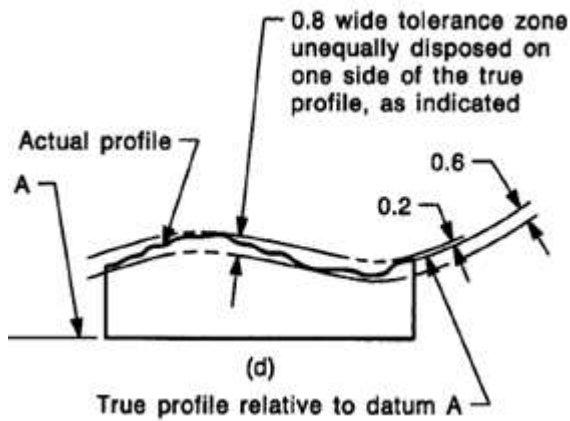
외측 윤곽의 요구사항은 위 도면과 같이 외측으로 가상선을 추가하여, 데이텀 A를 기준으로 한 진 윤곽 외측 0.8mm씩의 공차영역을 갖도록 요구하는 것이다.

(d) 균등하지 않은 내/외측 요구사항

요구하는 공차 영역의 내/외측이 균등하지 않을 경우에는 아래의 도면과 같이 윤곽공차 요구사항에는 전체공차를 표기하고, 내/외측 가상선을 통해 진 윤곽을 기준으로 허용할 공차 값을 기준치수로 명기하여 외측으로의 허용영역이 0.2mm임을 표기한다. 결국 내측으로는 0.6mm의 허용 값을 주는 결과를 얻는다.



<도면 4-17>

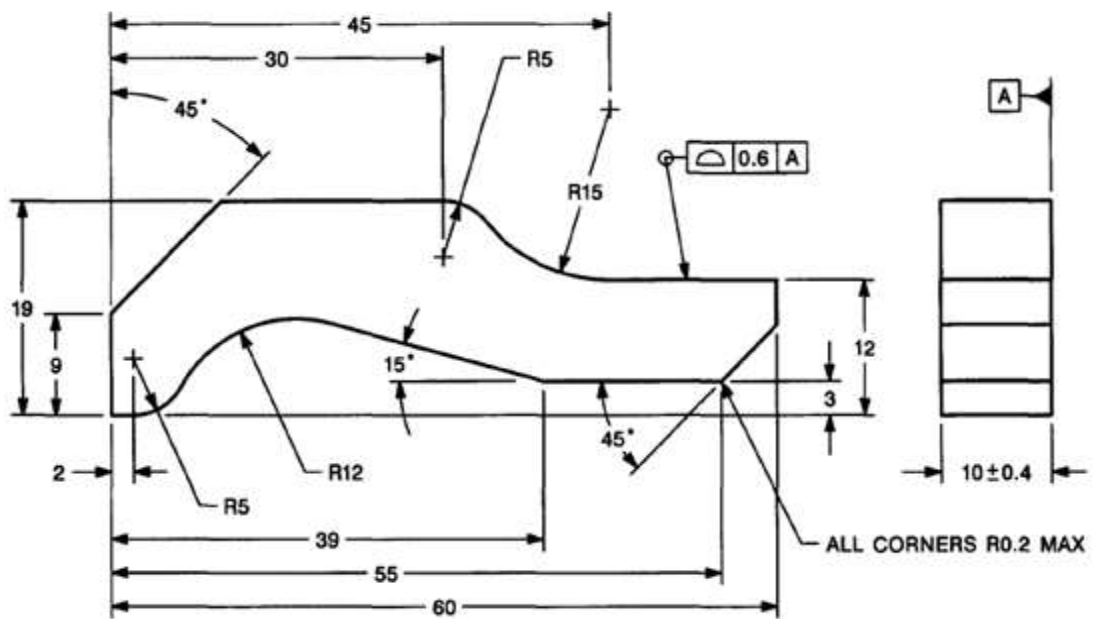


<그림 4-18>

4-2-1. 면의 윤곽도

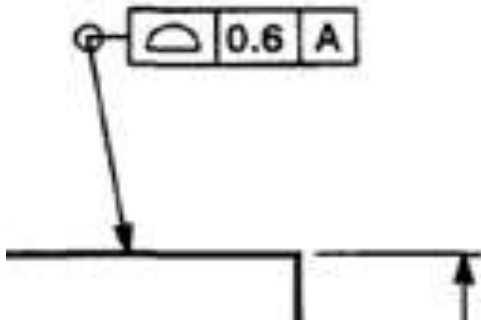
형체의 길이와 폭(or 주위)으로 이어지는 3차원적인 요구사항을 의미한다.

<도면 4-18>



위와 같은 <도면 4-18>의 요구사항을 갖는 제품에 대해 의미를 알아보기 전에 우선 ‘전표면(All over)’ 기호에 대하여 알아보자.

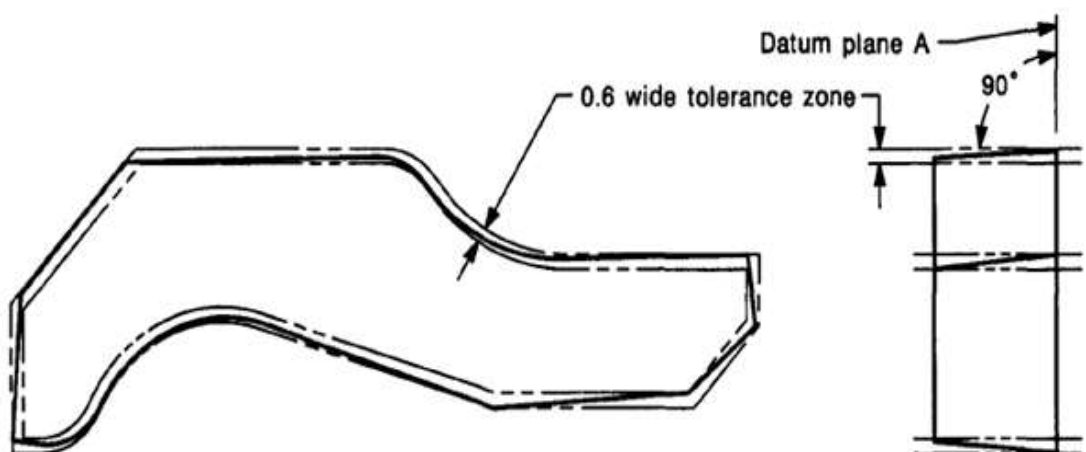
<도면 4-19>



도면의 일부 중, <도면 4-19>와 같이 윤곽의 요구사항이 명기된 지시전의 중간에 동그라미 기호가 부여되면 이는 전 표면의 요구사항을 갖는 것으로 제품의 외형 전체에 걸쳐서 윤곽의 요구사항이 적용됨을 의미한다.

만일 전표면 동그라미 기호가 없다면, 앞서 언급한 것처럼 평면에만 요구사항이 적용될 것이다. 하지만 이 경우는 위 도면 형상 전체의 외형에 적용되게 된다. 따라서 그 적용 공차영역에 대한 의미는 아래의 <그림 4-19>과 같이 되며,

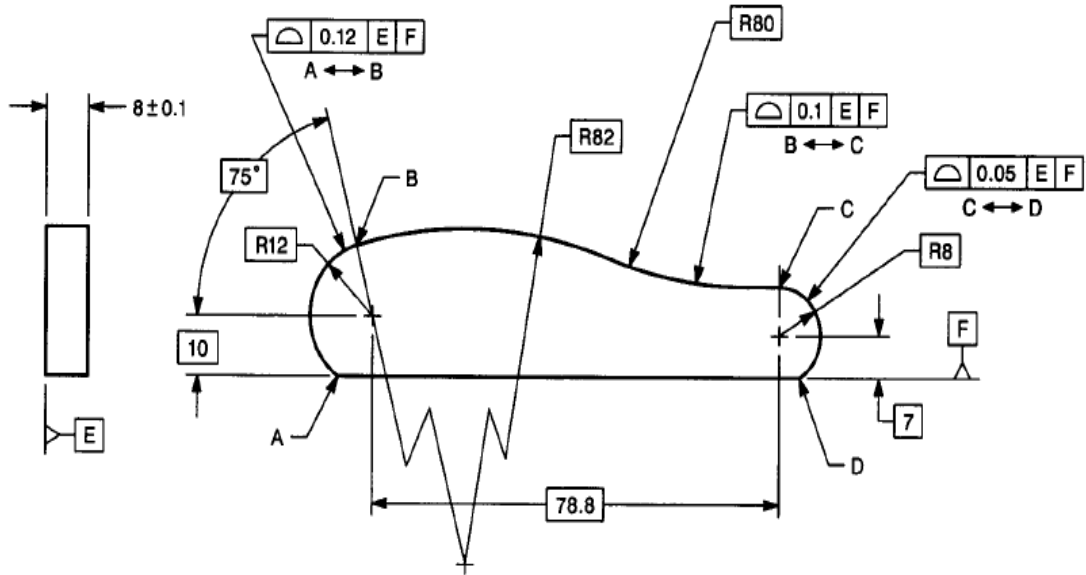
<그림 4-19>



면의 윤곽 요구사항이므로 측면도에 표기된 것처럼, 제품의 깊이 방향으로의 면들의 기울어짐까지 요구하는 사항이 된다.

사이($\leftrightarrow$; Between) 기호

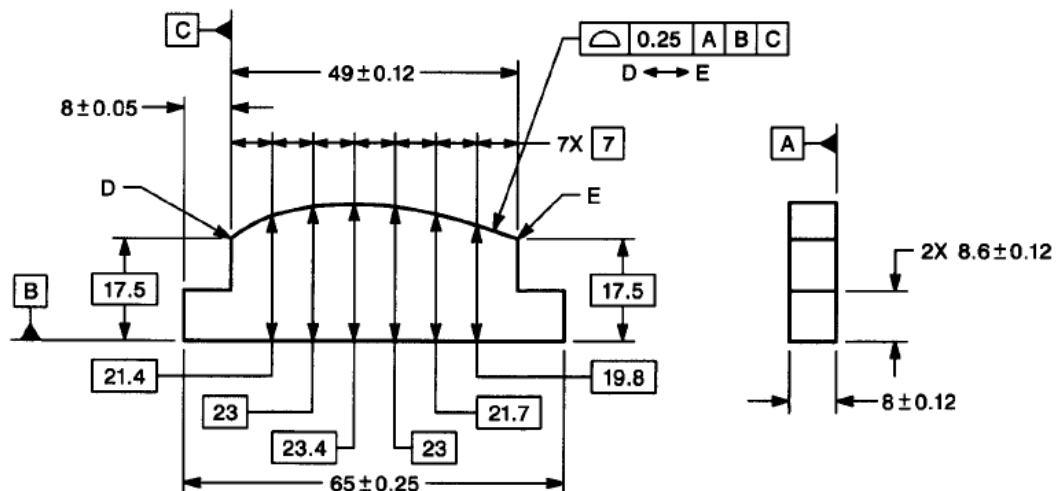
<도면 4-20>



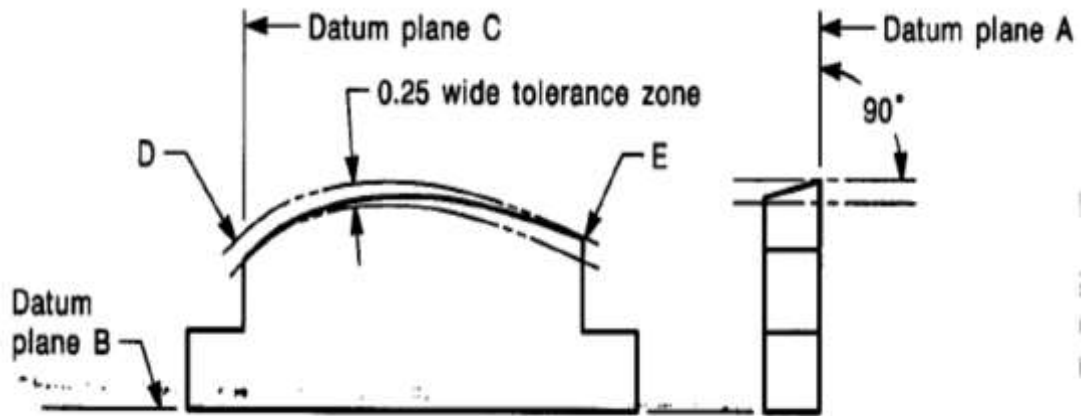
각 윤곽의 요구사항들 중에서 형체규제기호 아래 부여된 A ↔ B와 같은 기호의 정의는 사이 기호를 통해 구간을 명확히 정의하도록 한다.

사이 기호가 적용된 사례에서도 면의 윤곽도가 요구되면 정면도를 기준으로 깊이 방향에 대한 요구사항을 갖게 되므로 그 의미를 다시 아래사례로 살펴보면,

<도면 4-21>



<그림 4-20>

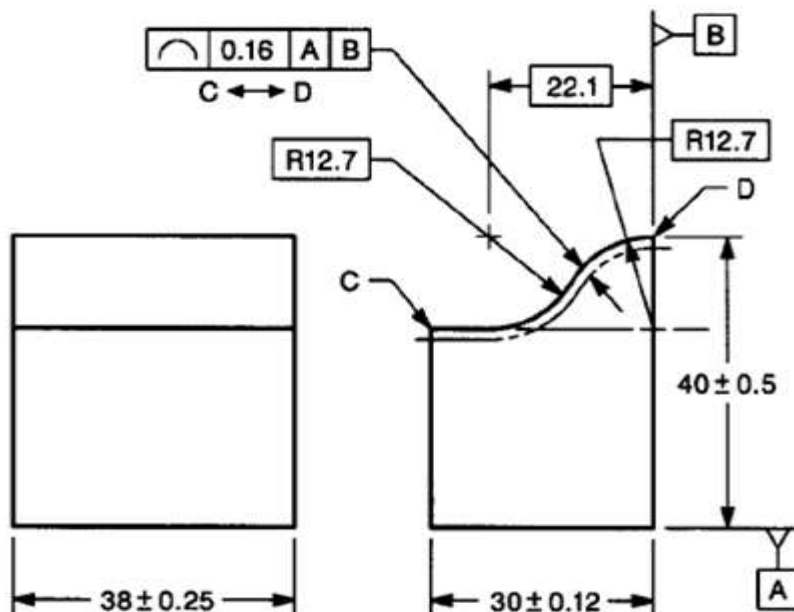


이상의 <그림 4-20>과 같이 의미할 수 있다.

4-2-2. 선의 윤곽도

형체의 길이에 이어지는 2차원적인 것을 요구하는 특성이다.

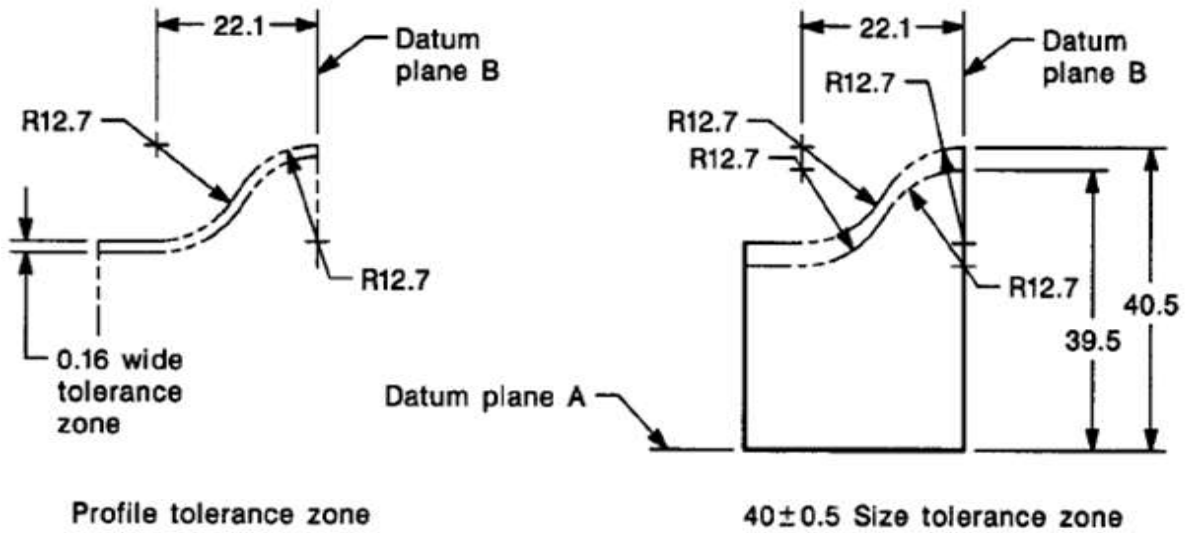
<도면 4-22>



따라서, 선의 윤곽에 대한 요구사항이 <도면 4-22>와 같이 정의되면 그 요구사항은 보이는 View상에서만 요구되는 것이지 앞의 면의 요구사항처

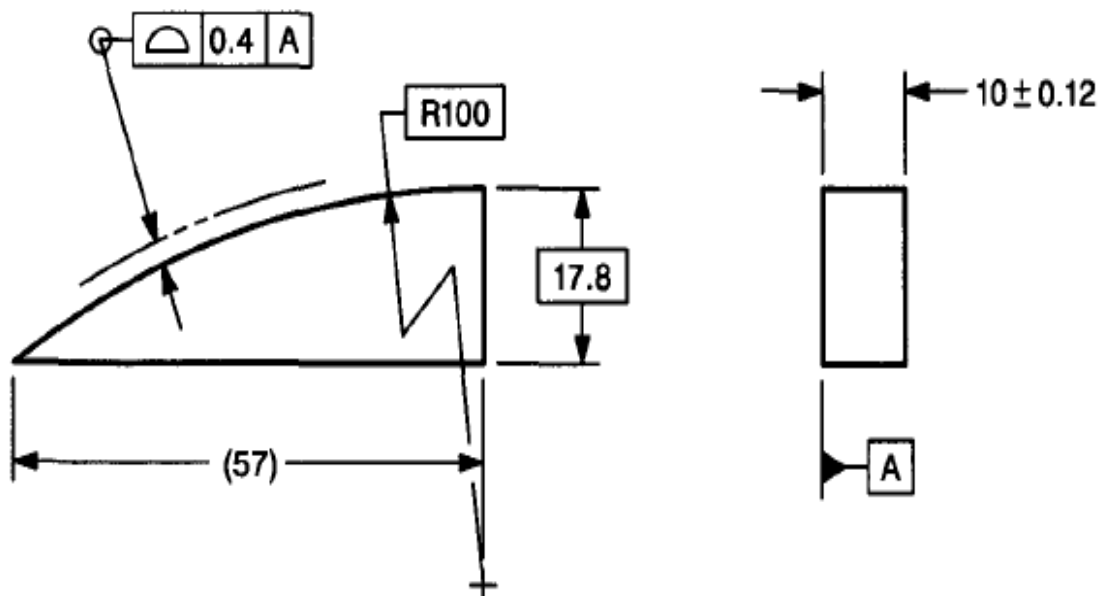
럼 깊이 방향의 요구를 갖지 않는다.

<그림 4-21>



4-2-3. 윤곽도 공차 해석

<도면 4-23>

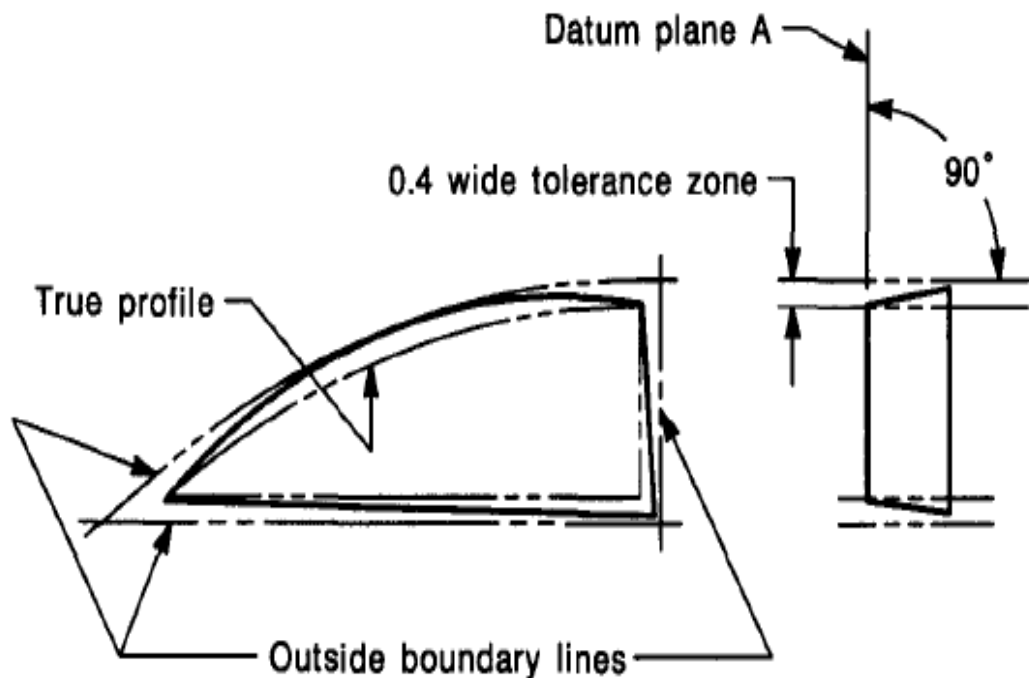


<도면 4-23>과 같이 윤곽의 요구사항이 전 표면으로 요구되고, 그 요구사항의 제품 영역 중에 날카로운 모서리를 포함할 때, 공차영역은 경계선의

교차점까지 포함한다. 즉 <그림 4-22>와 같이 요구하는 윤곽의 조건에 따라 설정된 윤곽의 연장 범위에 모서리를 포함한 제품의 형체가 들어와야 한다는 의미이다.

윤곽도에 대한 데이텀과의 관계는, 기본적으로 데이텀의 참조를 필요로 하지만 단면 윤곽형상만을 요구할 경우는 필요치 않다.

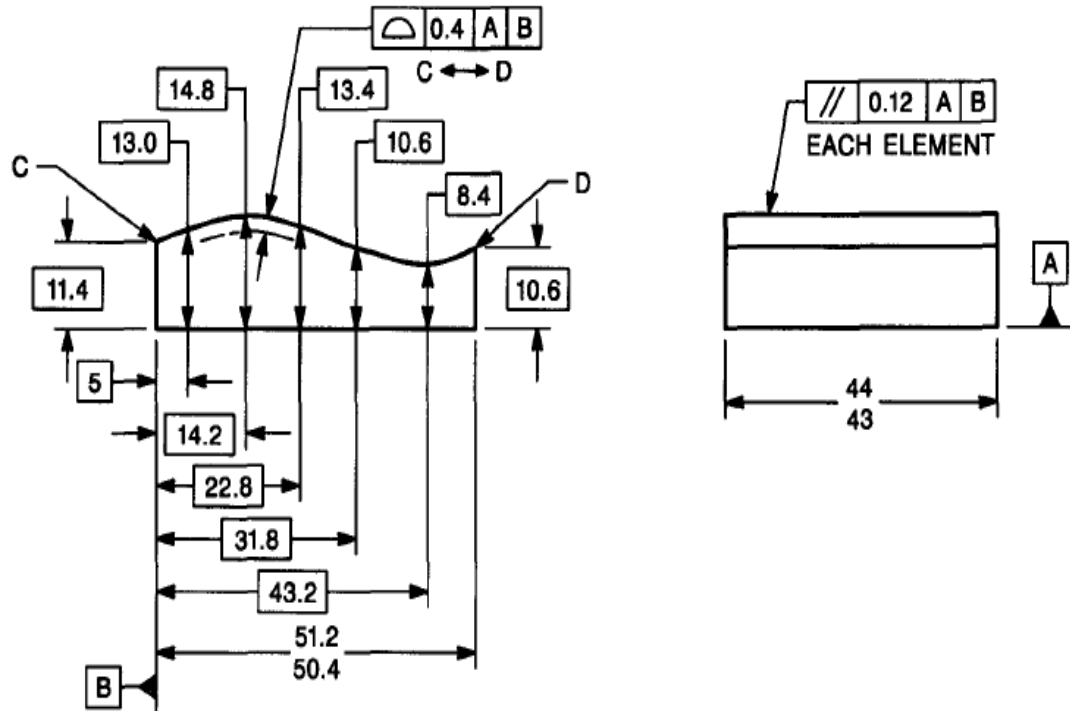
<그림 4-22>



윤곽도 공차를 해석하기 위한 복합공차의 사례를 몇 가지 알아보자.

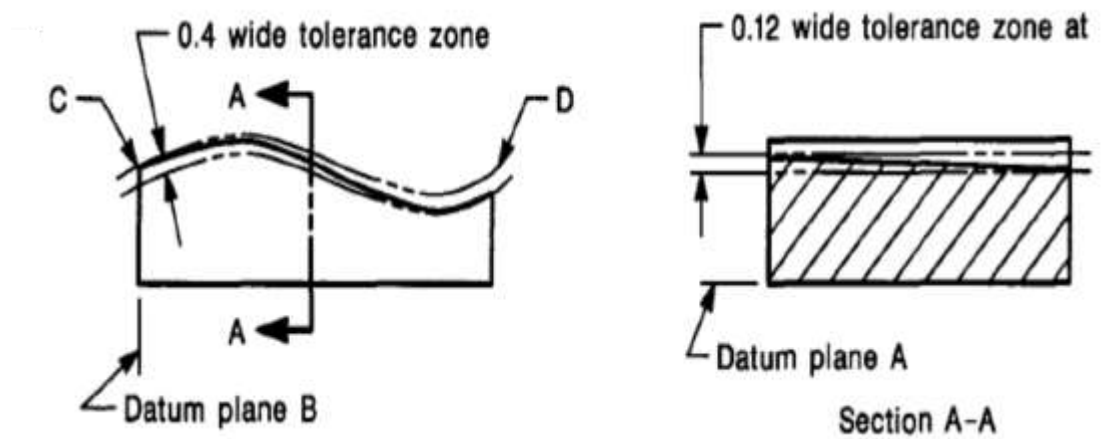
첫 번째는 아래의 도면과 같이 정면도 상의 상부 곡면에 대하여 면의 윤곽도가 정의되어 있고, 측면도를 통해서 바닥 면인 A데이텀 그리고 정면도의 좌측 면인 B데이텀과 평행한 상부 면의 평행요소(정면도 기준으로 한 깊이 방향 요소)의 요구사항을 복합적으로 갖는 사례이다.

<도면 4-24>



이 <도면 4-24>의 의미를 아래와 같이 <그림 4-23>으로 표기한다.

<그림 4-23>

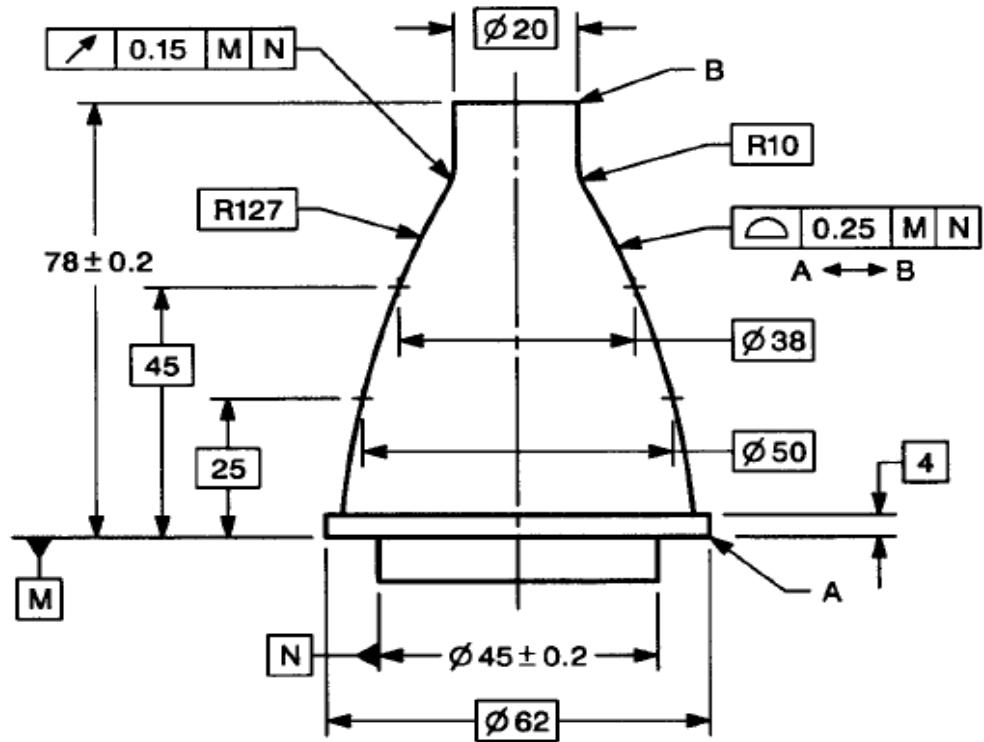


두 번째 복합공차의 사례는 회전형체에 적용되는 흔들림과 함께 사용된 윤곽의 복합공차를 표현하는 것이다.

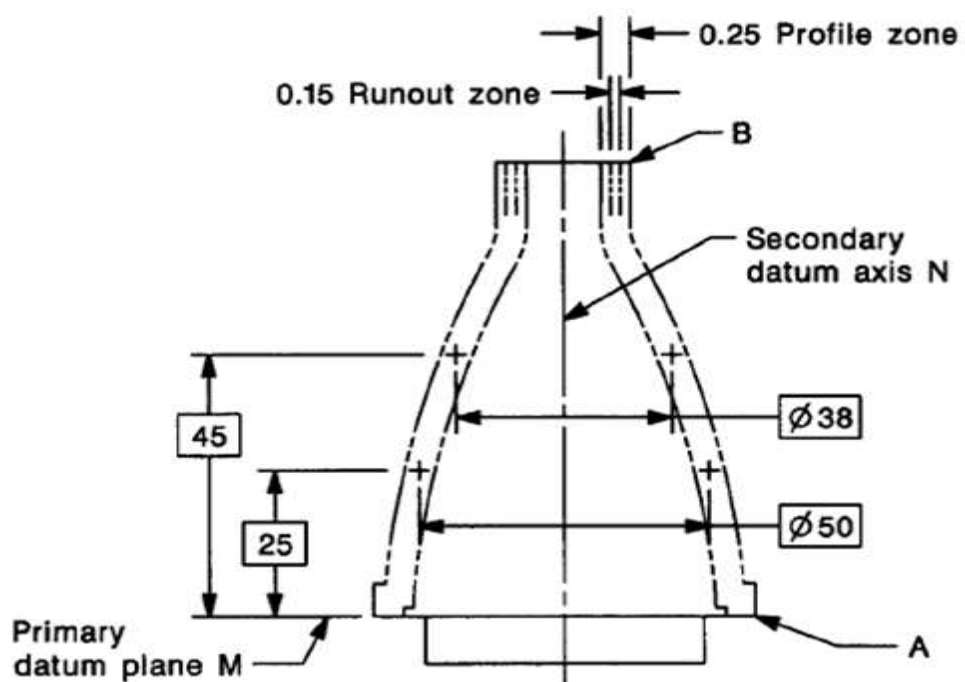
회전형체의 상하방향 전표면은 윤곽공차 내에서, 데이텀을 중심으로 한

원형요소는 규정된 0.15mm의 흔들림 공차 범위 내에서 함께 만족하도록 요구사항을 명기한다.

<도면 4-25>

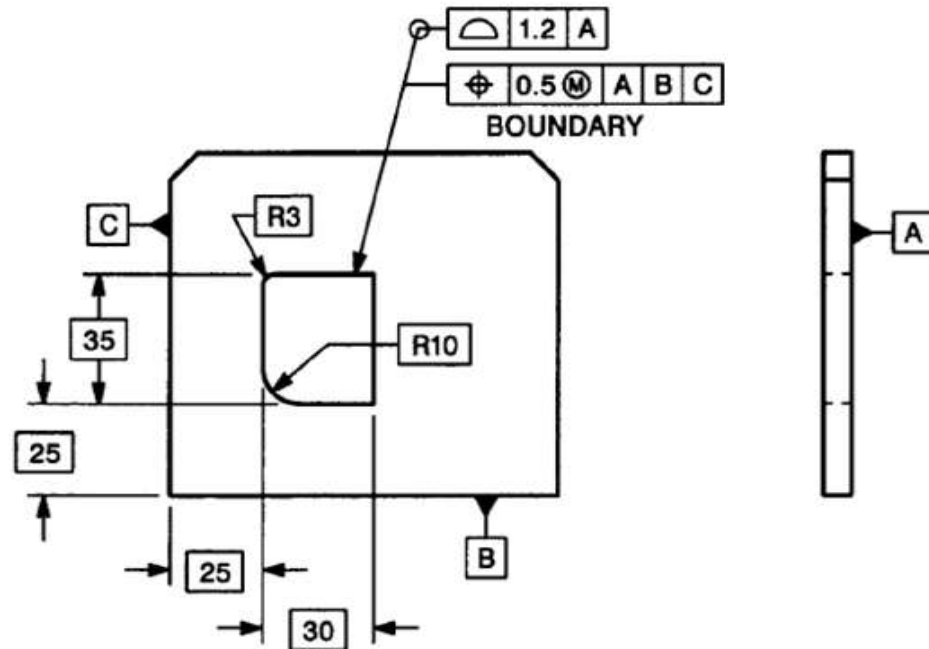


<그림 4-24>



세 번째 복합공차의 사례는 위치도와 함께 적용된 것이다.

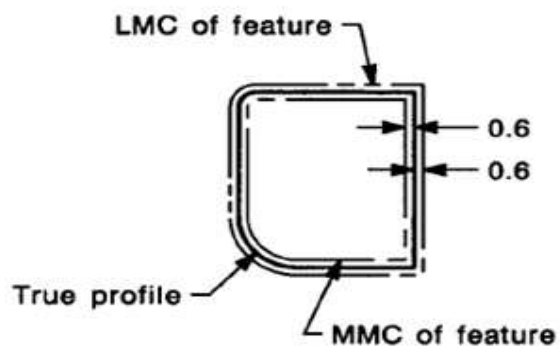
<도면4-26>



위치도 공차와 복합된 윤곽의 의미는 내측형체에서 경계선은 윤곽의 MMC 치수에서 위치도 공차를 뺀 것과 같으며, 전 형체의 표면은 이 경계선 밖에 놓여 있어야 한다.

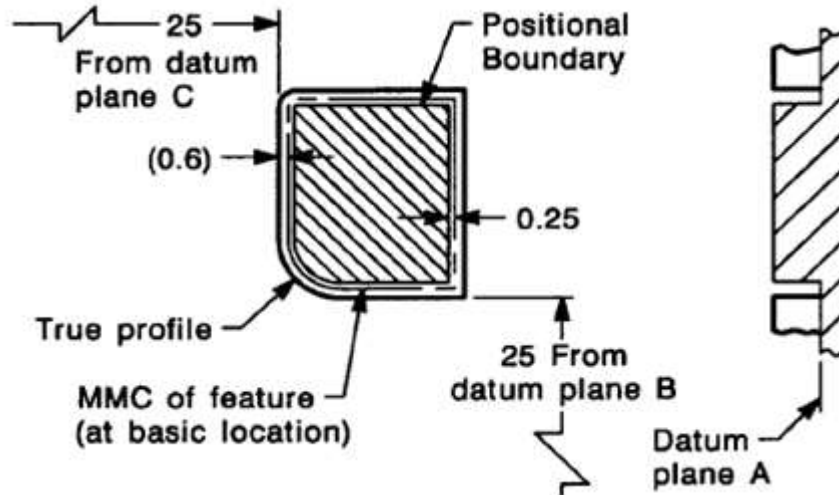
즉, 우선은 윤곽으로 요구된 1.2mm 공차는 기본 약속으로 안쪽, 바깥쪽으로 0.6mm씩의 공차로 요구되므로, 아래와 같은 공차영역을 요구하고,

<그림 4-25>



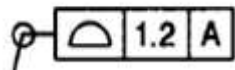
위치로서 요구된 특성은

<그림 4-26>

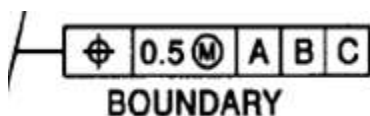


MMC 조건에서 내/외측 0.25mm의 요구사항을 갖는다.

이 두 요구사항을 명확히 이해하는 것이 지금은 좀 힘들겠지만, 이해를 돕기 위해 방법을 좀 사용하면,



위쪽의 윤곽에 대한 요구사항은 요구형체의 각 단위요소를 기준으로 공차의 적용을 고려하면 좀 더 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 즉, 윤곽의 요구사항은 4개의 평면과 2개의 곡면(R3, R10) 총 6개의 면 각각이 내/외측으로 각각 0.6mm씩의 영역 내에 있는가를 의미하는 것이다.

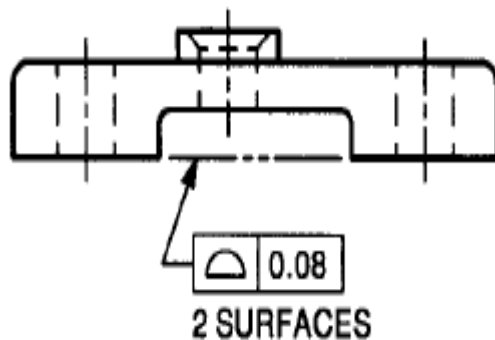


또 아래쪽의 위치에 대한 요구사항은 요구형체의 전체 즉, 2개의 R을 포함한 사각형 형체의 덩어리가 데이텀 A,B,C를 기준으로 어디에 존재하는가에 대한 요구를 의미한다. 결국은 이런 덩어리에 대한 개념이 이후 계

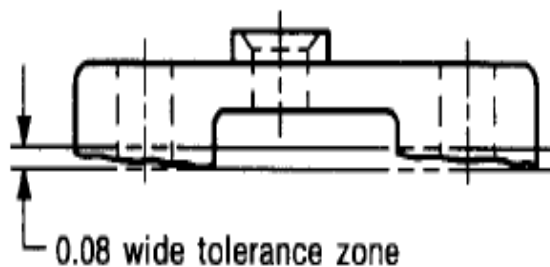
이지에 대한 적용의 개념과 이어져 설명된다.

뒤에 상세히 설명되지만, 위치도와 관련된 홀 이외의 형체에 대한 ‘경계 (Boundary)’의 의미를 잠깐 살펴보면, 홀 형체가 아닌 것은 위치도에서 Φ 공차를 부여할 수 없으므로 위 사례와 같이 0.5mm 평행 공차영역을 부여하고 그 형체규제기호 아래에 경계(Boundary)라는 명기를 추가하면, 요구되는 위치도 공차영역이 요구형체의 경계를 쫓 따라서 요구되는 개념을 의미한다.

불연속 표면에 대한 공차의 적용에 있어 다음과 같은 정의도 알아두도록 하자. 아래의 경우와 같이 <도면 4-27>에 ‘2 Surfaces’의 표기가 윤곽도 요구사항 아래 추가되면, 이는 <그림 4-27>과 같이 공통된 0.08mm의 공차영역 안에 다른 형체인 두 발의 윤곽이 함께 포함되어야 한다는 의미이다.



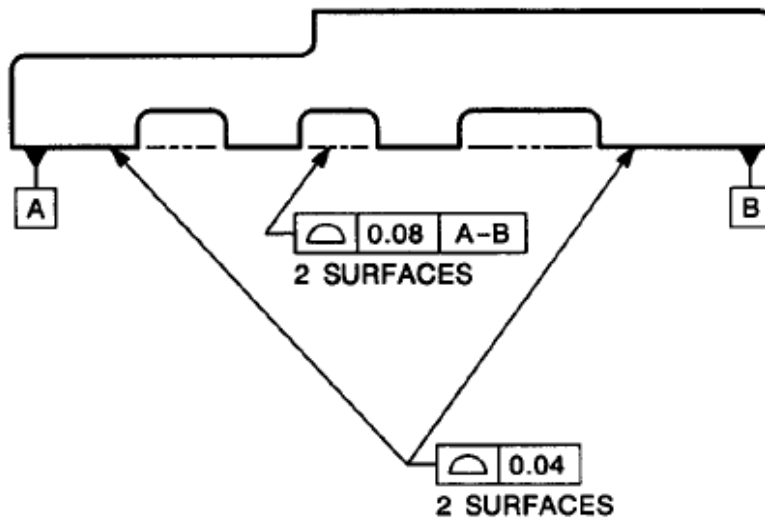
<도면 4-27>



<그림 4-27>

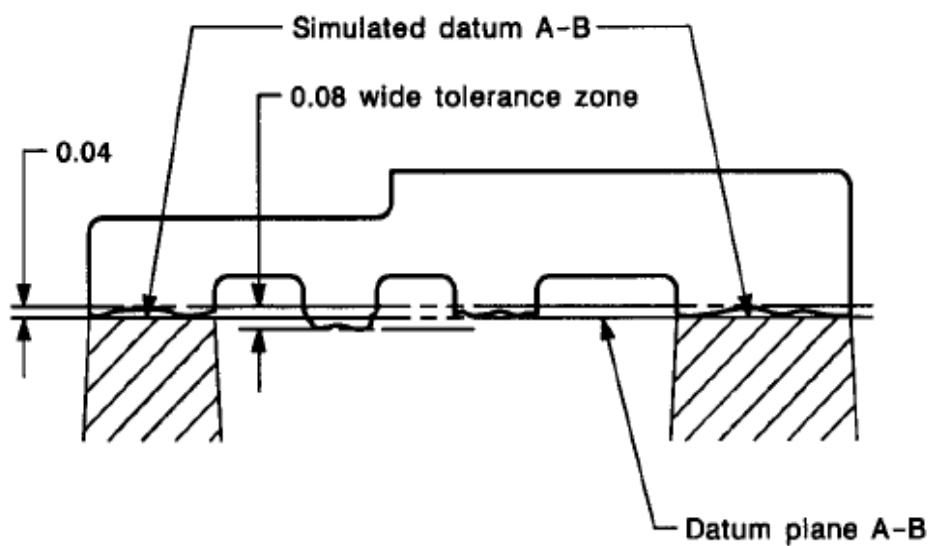
이 사례는 면의 윤곽도 공차는 표면이 놓이는 범위 내에서 평행한 평면에 의해 정의되는 공차영역을 의미한다.

<도면 4-28>



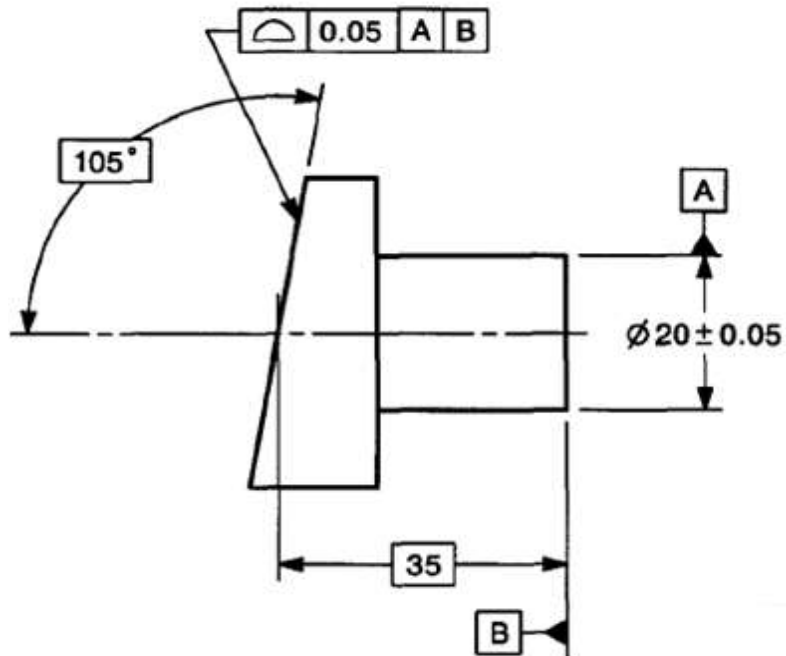
이 사례도 외측의 두 형체가 공통인 0.04mm 공차영역 안에 함께 포함되어야 하고, 그 데이텀 A, B를 공통의 기준으로 한 0.08mm의 공차영역 안에 내측의 두 형체가 함께 들어 있어야 한다는 것을 의미한다.

<그림 4-28>



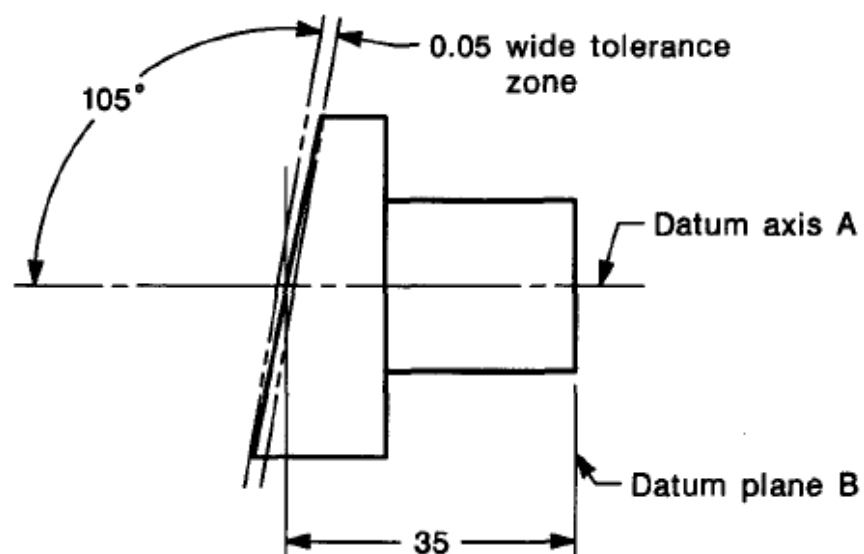
윤곽의 경사면 요구사항에 대한 사례를 보자.

<도면 4-29>



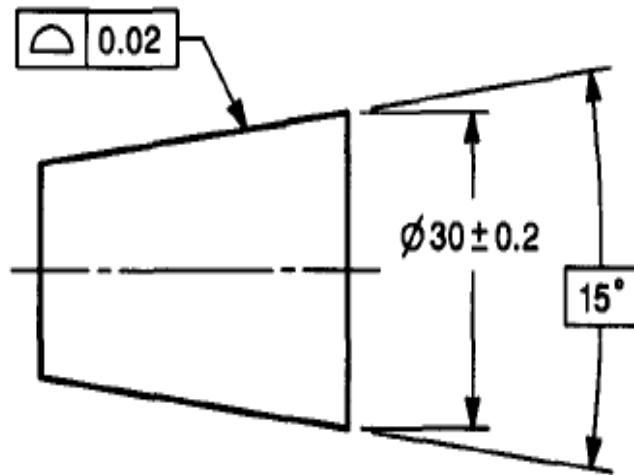
경사도의 의미를 가진 형체의 요구사항에 대하여 의미만 간단히 살펴 정의하면, 원통형체의 축심을 기준으로 정확한 105도를 이루는 0.05mm의 평행 공차영역 내에 지시한 경사면이 있어야 한다.

<그림 4-29>



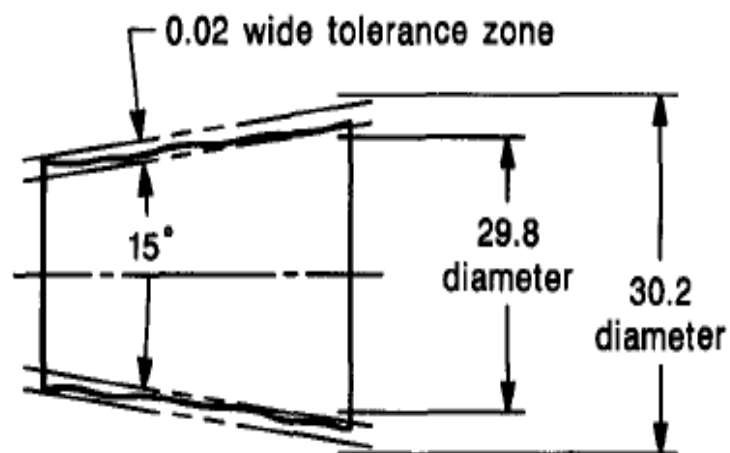
윤곽의 원추면에 대한 사례를 살펴보면,

<도면 4-30>



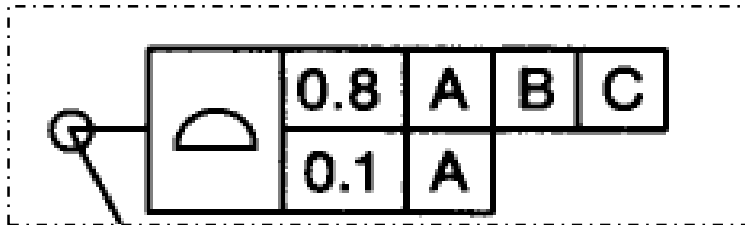
정확한 15도를 이루는 0.02mm의 평행영역에 규제한 원추면이 들어와야 한다는 의미이다.

<그림 4-30>



4-2-4. 복수의 윤곽도

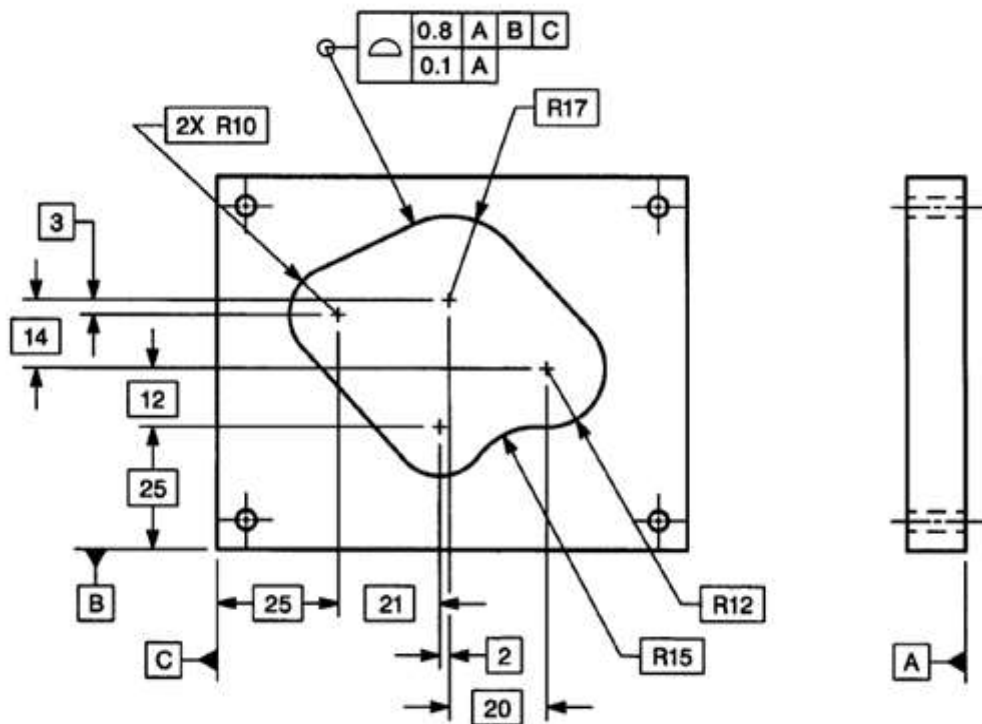
우선 약속을 이해해야 하는데,



上: 윤곽도의 위치, 下: 윤곽의 크기/형상/방향으로 규정한다.

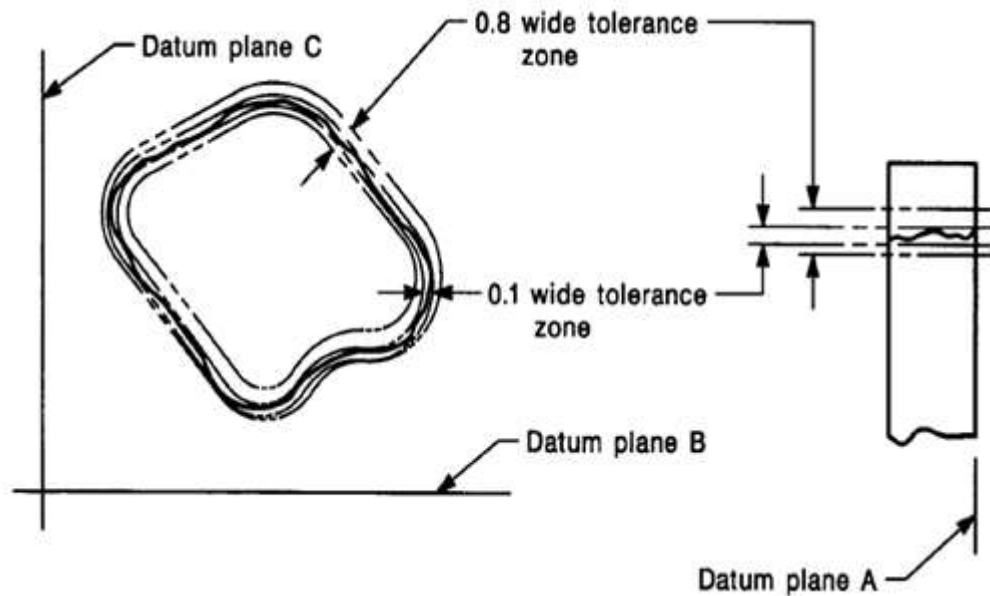
형체 위치 공차영역이 형체 크기 공차영역보다 클 경우 사용 윤곽의 위치 영역 범위 내에서 형체를 더 작게 규정

<도면 4-31>



복수의 요구사항은 다음 장에 다뤄질 위치공차의 핵심적인 내용이다. 위치도에서 게이지에 대한 개념까지 연계하여 살펴보게 된다.

<그림 4-31>



따라서 여기서는 약속을 연계한 사례의 의미만을 알아보도록 하자.

약속에 의해 위쪽 요구사항은 위치에 대한 것으로 A/B/C 데이텀을 기준으로 0.8mm의 영역 내에서의 규제형체(3개의 평면과 5개의 곡면으로 이루어진 제품의 내측 형체)의 덩어리에 대한 위치를 요구하는 것이고, 아래쪽에 요구된 것은 제품의 바닥면인 A 데이텀을 기준으로 제품의 형상을 요구하는 것이다.

앞에서와 마찬가지로 위치에 대한 개념은 덩어리로, 윤곽과 같은 형상과 같은 요구사항은 각 단위(3개의 평면과 5개의 곡면 각각)별로 이해하는 것이 좀더 쉽게 이해를 할 수 있게 한다.

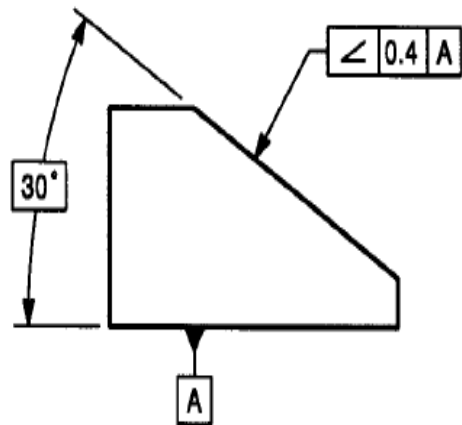
4-3. 방향공차(자세공차; Orientation Tolerance)

관련 형체에 적용할 수 있는 방향 특성을 나타내는 공차로 많은 데이텀과의 관계는 많은 방향으로의 안정된 공차영역을 확보할 수 있게 한다. 앞에서 정리하여 다뤘지만 방향공차는 데이텀과 연계된 특성이고, MMC와 같은 재료조건의 적용이 가능하며, MMC 적용 시 게이지와 관계된 특성들이었다.

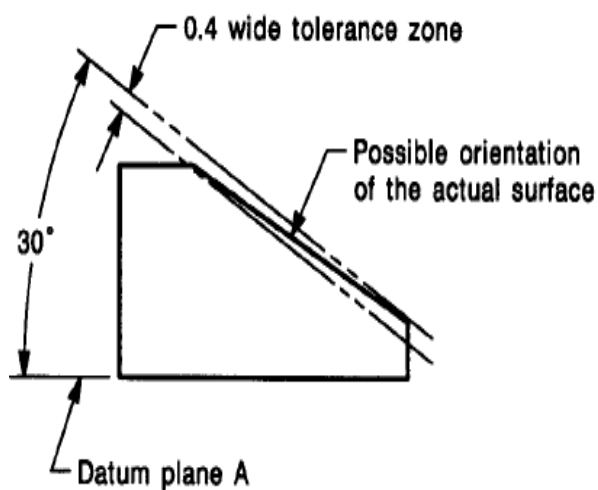
평탄한 표면에서는 평면도 규제도 포함한다. 이 의미는 평행도와 같은 방향공차 특성으로 앞에서 설명한 형상공차인 표면특성 평면도도 규제가 가능하다는 것으로, 이를 언급한 이유는 GD&T 특성 중에 꼭 어떤 것만이 가능한 경우는 별로 없다는 말을 하기 위해서 이다. 많은 경우 여러 특성이 적용 가능하지만, 그것들 중에도 더 제품 및 설계의 목적에 맞는 것이 어떤 특성인지 선정하여 사용하는 것이 필요하다.

4-3-1. 경사도(Angularity)

데이텀 평면이나 축심으로부터 규정된 각도(90° 이외)에서 표면/중간면 또는 축심의 상태를 요구하는 특성이다.



<도면 4-32>



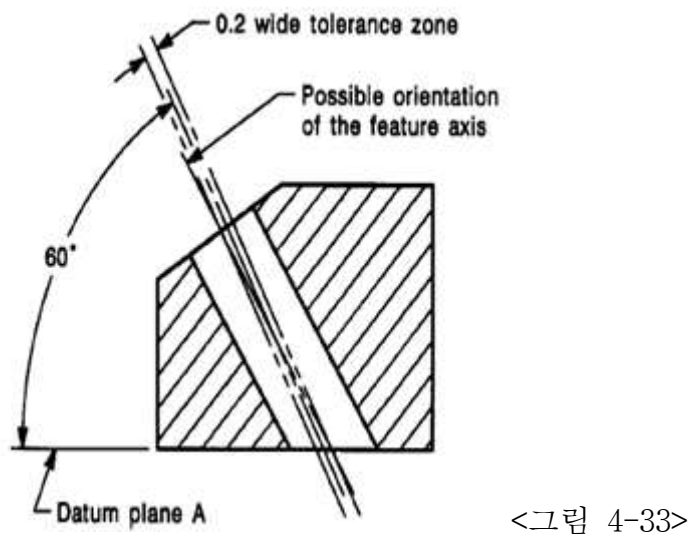
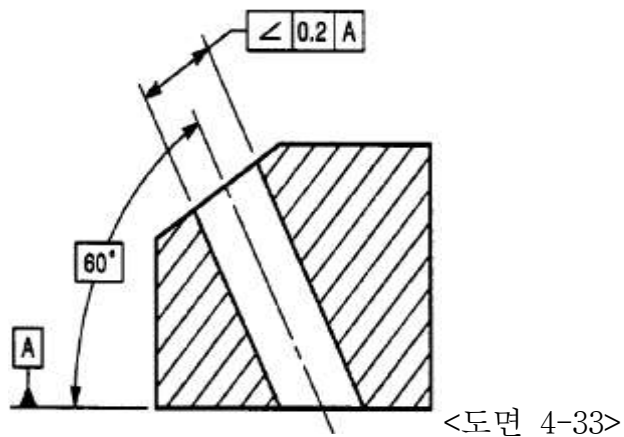
<그림 4-32>

첫 번째의 사례는 표면의 경사도 요구사항을 나타낸 사례이다. 의미를 살펴보면, A 데이텀인 바닥 면에 정확한 30도를 이루는 0.4mm의 평행영역 안에 규제한 경사면이 들어와야 한다.

경사도를 비롯한 방향공차가 의미상 각도의 의미를 가지기 때문에, 형상 규제기호 안에 부여된 0.4의 값도 각도의 의미를 가졌을 것처럼 보일 수 있지만, GD&T 영역에서 사용되는 공차는 원형(두께 고려 시, 원통형) 또

는 평행영역만 사용됨을 앞에서도 말한 바 있다. 따라서 0.4의 공차의미는 0.4mm이다.

두 번째의 사례는 중간면의 경사도 요구사항을 나타낸 사례이다.

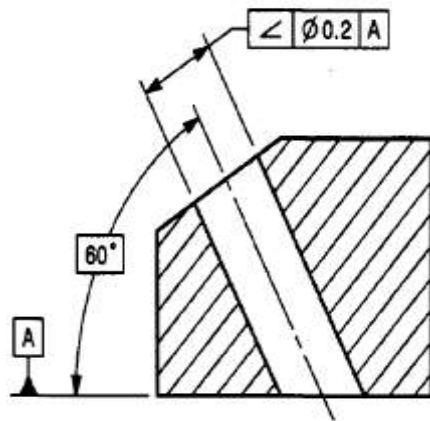


A 데이텀인 바닥 면에 정확한 60도를 이루는 0.2mm의 평행영역 안에 규제한 중간의 경사면이 들어와야 한다.

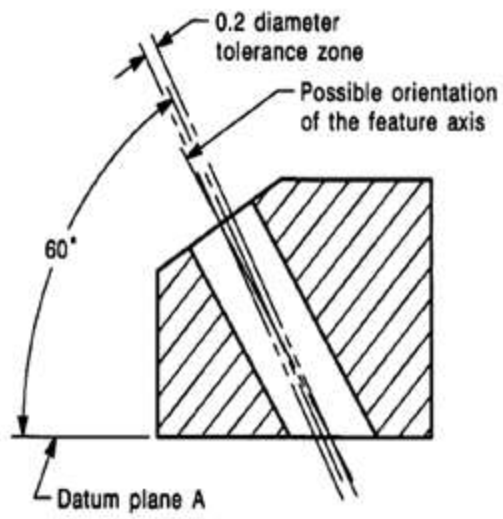
세 번째 사례는 경사진 축심의 상태를 요구하는 경우를 나타낸다.

A 데이텀인 바닥 면에 정확한 60도를 이루는 $\Phi 0.2\text{mm}$ 의 원통형 공차영역

안에 규제한 경사 축심이 들어와야 한다.



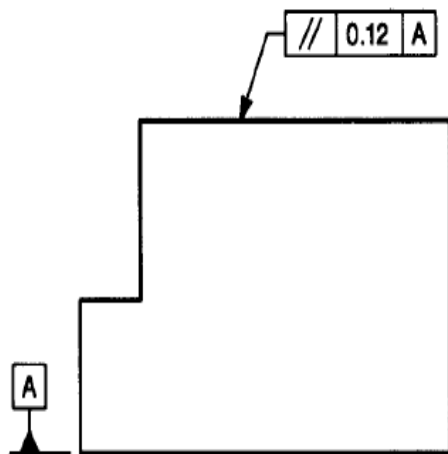
<도면 4-34>



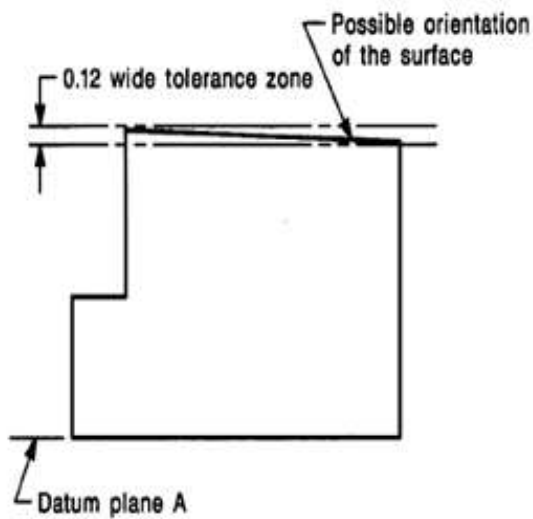
<그림 4-34>

4-3-2. 평행도(Parallelism)

데이텀 평면으로부터 등거리에 있는 표면, 중간면, 축심의 상태를 나타내는 3가지 경우와 데이텀이 축심인 형체로부터 등거리에 있는 또 다른 축심의 상태를 나타내는 경우인 총 4가지로 볼 수 있다.



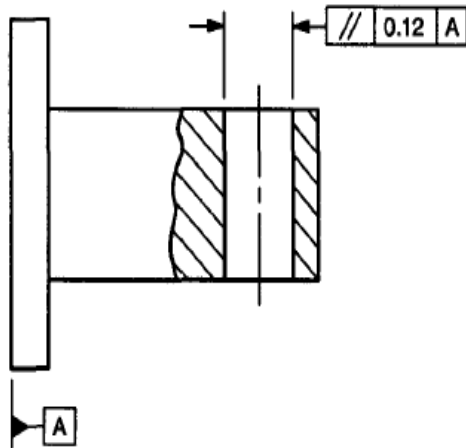
<도면 4-35>



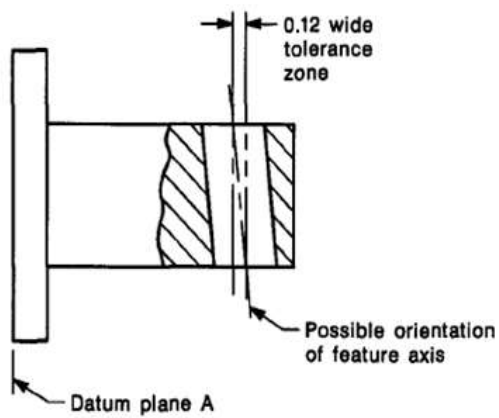
<그림 4-35>

첫 번째 사례는 평면 A데이텀으로부터 평행한 0.12mm의 영역 안에 상부면이 들어와야 한다. 이때 규제되는 평행도 요구사항은 표면에 대한 규제이므로, 치수공차 범위 내에 있어야 한다.

두 번째 사례는 평면 A데이텀으로부터 평행한 중간면의 상태를 요구하는 특성이다.

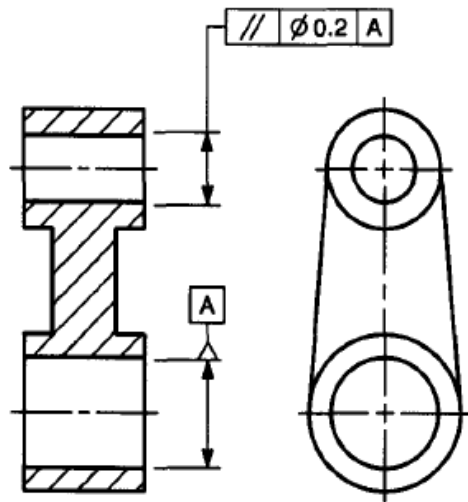


<도면 4-36>

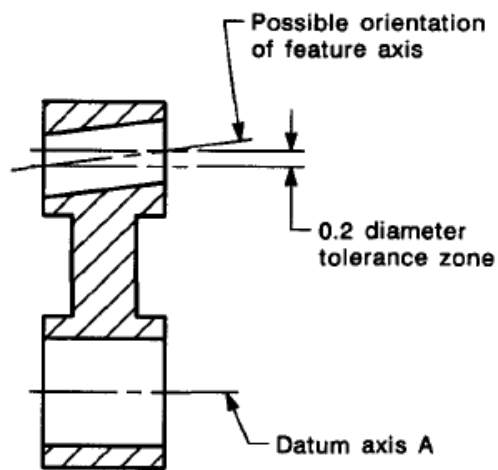


<그림 4-36>

평면인 A데이텀과 평행한 0.12mm의 평행영역 안에 규제한 형체의 중간면이 들어와 있어야 한다.



<도면 4-37>

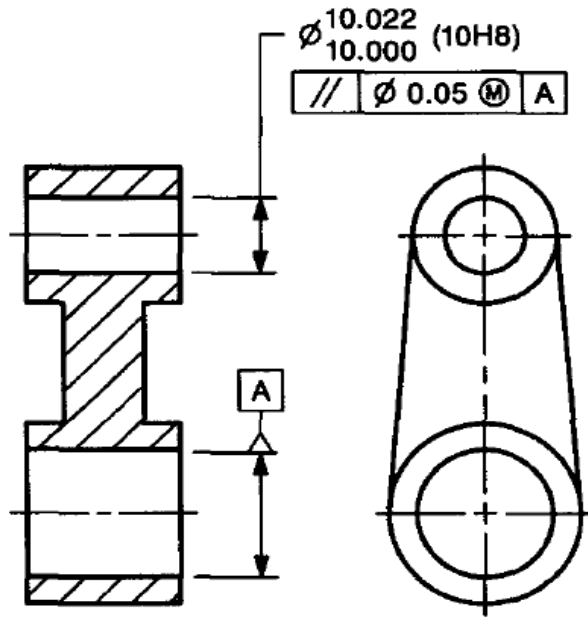


<그림 4-37>

세 번째 사례는 축심(아래 홀)인 A데이텀과 평행한 $\Phi 0.2\text{mm}$ 의 원통형 공차영역 안에 규제하고자 하는 형체인 상부 홀의 중심이 들어와 있어야 한다.

위의 사례에서 홀에 대한 평행도의 적용사례를 보았으니, 이제 홀의 재료조건을 고려한 2가지 활용 예를 알아보도록 하자.

재료조건 적용의 첫 번째 적용은 데이텀은 RFS, 규제하고자 하는 형체는 MMC인 경우이다.



<도면 4-38>

<도면 4-38>의 요구사항을 먼저 파악해 보면,

상부 홀의 치수 값이 $\varnothing 10.000\text{mm} \sim \varnothing 10.022\text{mm}$ 의 치수를 가지며, 평행도 요구사항이 아래 홀인 A데이텀과 평행한 $\varnothing 0.05\text{mm}$ 의 공차영역을 MMC 조건에서 부여한 경우이다.

앞서 MMC의 재료조건 부여시, 공차의 분석은 해 보았으므로 몇 가지만 간단히 알아보자.

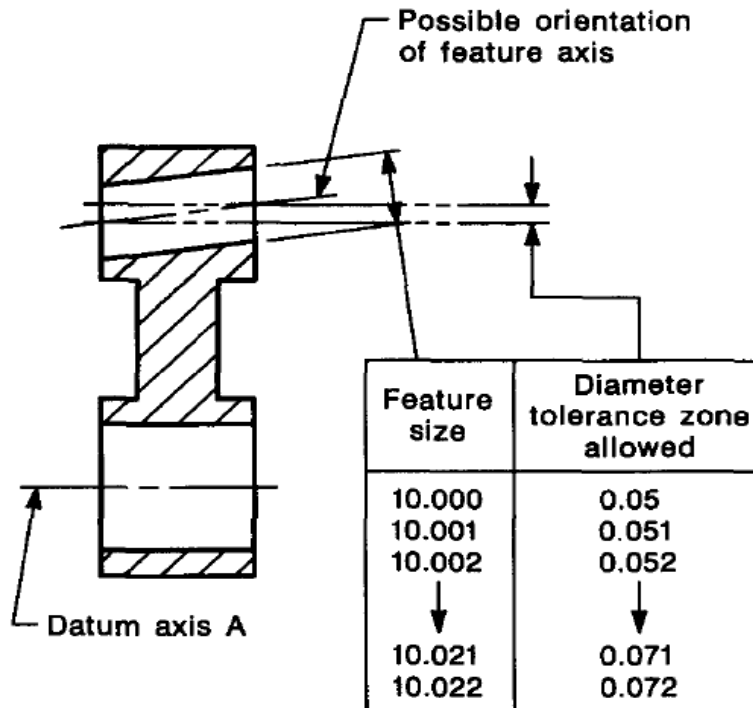
만일 제품의 홀 크기가 MMC인 $\varnothing 10.000\text{mm}$ 라면, MMC 공차인 $\varnothing 0.05\text{mm}$ 의 공차가 부여된다.

만일 제품의 홀 크기가 $\varnothing 10.002\text{mm}$ 라면, MMC 조건과의 치수 차이 값인 $\varnothing 0.002\text{mm}$ 가 보너스 공차로 $\varnothing 0.05\text{mm}$ 에 부여되어 $\varnothing 0.052\text{mm}$ 의 공차가 허용 가능해 진다.

만일 제품의 홀 크기가 LMC인 $\varnothing 10.022\text{mm}$ 라면, MMC 조건과의 치수 차이 값인 $\varnothing 0.022\text{mm}$ 가 보너스 공차로 $\varnothing 0.05\text{mm}$ 에 부여되어 $\varnothing 0.072\text{mm}$ 의 공차가 허용 가능해 진다.

이것을 정리한 것이 아래 <그림 4-38>의 표와 같다.

<그림 4-38>

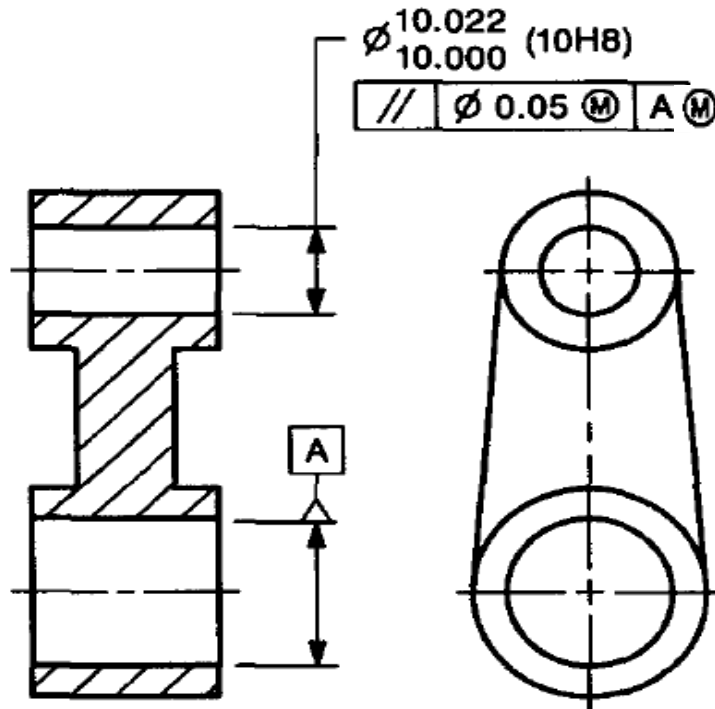


실효치수를 구해보면,

MMC인 $\Phi 10.000\text{mm}$ 일 때, 공차가 $\Phi 0.05\text{mm}$ 인 홀이므로 수 많은 양품에 내접하는 최대크기인 게이지의 치수는 $\Phi 9.95\text{mm}$ 가 되며 이것이 상기의 제품을 검사하기 위한 실효치수가 된다.

재료조건 적용의 두 번째 적용은 데이텀과 규제하고자 하는 형체가 모두 MMC인 경우이다.

<도면 4-39>



<도면 4-39>의 요구사항을 먼저 파악해 보면,

상부 홀의 치수 값이 $\Phi 10.000\text{mm} \sim \Phi 10.022\text{mm}$ 의 치수를 가지며, 평행도 요구사항이 아래 홀인 A데이텀과 평행한 $\Phi 0.05\text{mm}$ 의 공차영역을 MMC 조건에서 부여한 경우이다. 또한 아래 홀에 대하여서도 MMC 조건을 부여하고, 홀의 치수를 $\Phi 20.00 \pm 0.01\text{mm}$ 로 주었다.

위 도면과 같은 형태로 데이텀인 A에 MMC 재료조건이 규제되어 있다면, 평행도 공차는 데이텀 치수 변화한 양만큼 추가 공차가 허용된다.

앞서 MMC의 재료조건 부여시, 공차의 분석은 해 보았으므로 4가지만 간단히 알아보자.

도면에 표현된 그대로의 MMC 조건을 고려하여 첫 번째 경우를 살펴보자.

만일 제품의 홀 크기가 MMC인 $\Phi 10.000\text{mm}$ 이고, A데이텀의 홀 크기가 MMC인 $\Phi 19.99\text{mm}$ 라면, 도면상 공차인 $\Phi 0.05\text{mm}$ 의 공차가 부여된다.

두 번째 경우로 만일 제품의 홀 크기가 LMC인 $\Phi 10.022\text{mm}$ 이고, A데이텀
 홀 크기가 MMC인 $\Phi 19.99\text{mm}$ 라면, 도면상 공차인 $\Phi 0.05\text{mm}$ 에 형체치수의
 차이 값인 0.022mm 의 공차가 추가되어 0.072mm 의 허용 공차가 부여된다.

세 번째 경우로 만일 제품의 홀 크기가 MMC인 $\Phi 10.000\text{mm}$ 이고, A데이텀의
 홀 크기가 LMC인 $\Phi 20.01\text{mm}$ 라면, 도면상 공차인 $\Phi 0.05\text{mm}$ 에 데이텀 치수
 의 차이 값인 0.02mm 의 공차가 추가되어 0.07mm 의 허용 공차가 부여된다.

네 번째 경우로 만일 제품의 홀 크기가 LMC인 $\Phi 10.022\text{mm}$ 이고, A데이텀의
 홀 크기가 LMC인 $\Phi 20.01\text{mm}$ 라면, 도면상 공차인 $\Phi 0.05\text{mm}$ 에 데이텀 치수
 의 차이 값인 0.02mm 의 공차와 형체치수의 차이 값인 0.022mm 의 공차가
 추가되어 0.092mm 의 허용 공차가 부여된다.

위 네 가지의 경우만이 가능한 치수들은 아니므로 데이텀 및 규제한 형체
 에 대하여 추가될 수 있는 많은 경우의 치수들이 있을 수 있지만, 아래의
 <표 4-3>로 정리하여 표기한다.

<표 4-3>

데이텀 A	형체의 치수	허용 평행도공차	구멍의 실효치수
19.99 (MMC)	10.000(MMC)	0.05	$10 - 0.05 = 9.95$
	10.022(LMC)	0.072	$10.022 - 0.072 = 9.95$
20.01 (LMC)	10.000(MMC)	$0.02 + 0.05 = 0.07$	$10 - 0.05 = 9.95$
	10.022(LMC)	$0.02 + 0.072 = 0.092$	$10.022 - 0.072 = 9.95$

여기에 실효치수에 대한 개념을 알아보면,
 실효치수는 홀의 형체이기 때문에 게이지는 내접하므로 형체의 치수에서
 허용하는 공차 값을 뺀 것이 된다. 따라서 첫 번째의 경우와 같이 Φ

$10.000\text{mm} - \Phi 0.05\text{mm} = \Phi 9.95\text{mm}$ 의 실효치수를 구할 수 있다.

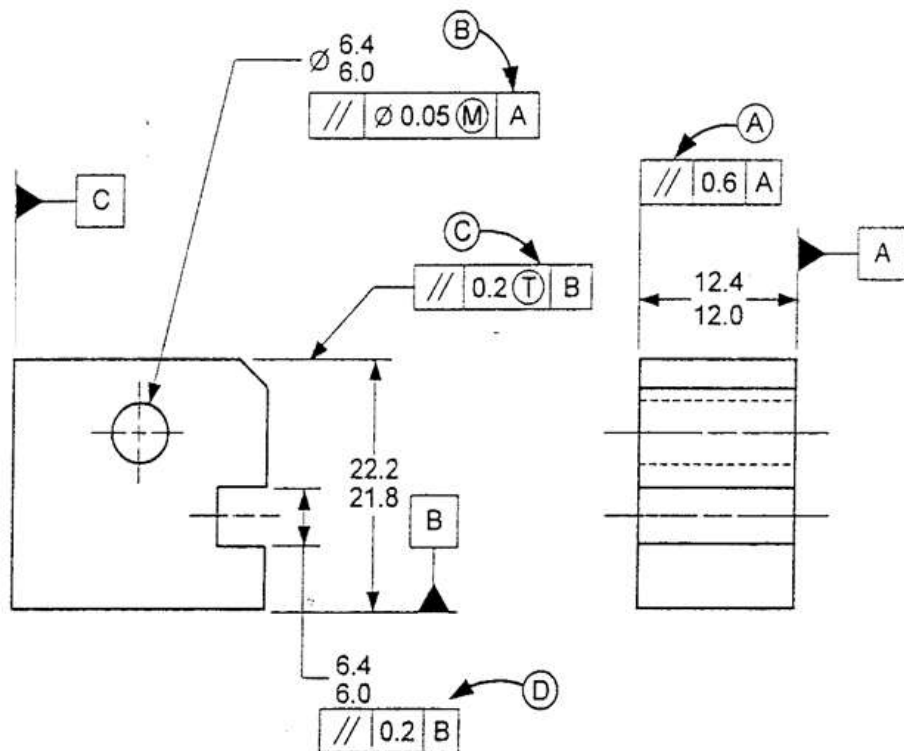
이는 두 번째 경우에도 동일하여, $10.022\text{mm} - \Phi 0.072\text{mm} = \Phi 9.95\text{mm}$ 의 값을 얻을 수 있다.

하지만 표의 세 번째와 네 번째 경우에 해당하는 경우는 좀 의아하게 생각될 것이다. 각 형체의 치수에서 공차인 0.07mm 와 0.092mm 를 빼주게 되면 $\Phi 9.95\text{mm}$ 의 값이 나오지 않는데, 0.05mm 와 0.072mm 의 공차만 빼주어 $\Phi 9.95\text{mm}$ 를 만든 것처럼 표기되었기 때문이다.

여기서 또한 알아두어야 할 것이 허용공차를 구할 때는 데이텀이 변화한 값을 포함하지만, 실효치수를 구할 때는 데이텀의 변화한 값은 고려치 않는다는 것이다. 이유는 실효치수란 상부의 규제 형체인 홀을 검사하는 게 이지이기 때문이다.

몇 가지 사례를 통해 추가적인 평행도에 대한 명확한 개념을 알아보자.

<도면 4-40>



A의 경우는 표면의 평행도를 지시하는 사항이다.

데이텀 A로 부터 평행한 0.6mm의 평행영역 안에 규제한 상부 면이 들어와야 한다는 요구사항을 나타낸다.

하지만 제품의 두께 치수가 12.0mm ~12.4mm이므로 표면특성을 요구하는 이 경우에는 기하공차가 치수공차를 벗어날 수 없다(사실 의미가 없는 규제가 된다). 따라서 기하공차의 공차 값을 치수공차 영역인 0.4mm보다 작게 줄이든지, 치수공차를 기하공차인 0.6mm보다 크게 하여야 한다.

예를 들어, 0.3mm를 평행도 공차로 부여하였다면, 치수 값인 12.0mm ~12.4mm를 만족하는 제품에 대하여, 평행도 공차인 데이텀 A로 부터 평행한 0.3mm의 평행영역 안에 규제한 상부 면이 들어와야 한다고 의미를 부

여할 수 있다.

B의 경우는 홀 형체를 규제하기 위한 지시사항이다.

A데이텀인 정면도 기준 바닥 면을 기준으로 평행한 $\Phi 0.05\text{mm}$ 의 공차를 MMC 조건에서 부여한다는 것인데, 도면의 요구사항을 보면 A데이텀과 규제하는 형체인 홀(및 그 중심)은 평행인 형태가 아니다.

따라서 이 경우, 평행도를 사용할 목적이라면 데이텀을 A에서 B 또는 C 데이텀으로 변경하거나, A데이텀을 사용할 경우에는 평행도 대신 직각도를 사용하여 규제할 수 있다.

예를 들어, B데이텀을 사용한다면 B데이텀을 기준으로 평행한 $\Phi 0.05\text{mm}$ 의 공차를 MMC 조건에서 부여한다는 의미를 가진다.

또는 A데이텀을 사용하고 직각도를 부여한다면, A데이텀을 기준으로 정확한 직각을 이루는 $\Phi 0.05\text{mm}$ 의 공차를 MMC 조건에서 홀의 중심에 부여한다는 의미가 된다.

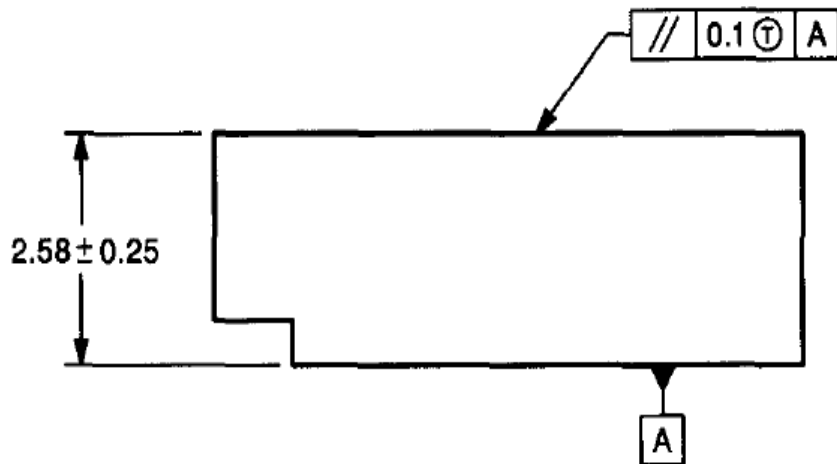
C의 경우는 윗면의 접면을 규제하기 위한 지시사항이다.

이것을 해석하기 위해서는 우선 수정기호 중에 접면의 요구사항을 갖는

Ⓣ 기호의 정의를 알아야 한다.

사례를 통해 접면의 요구사항을 알아보자.

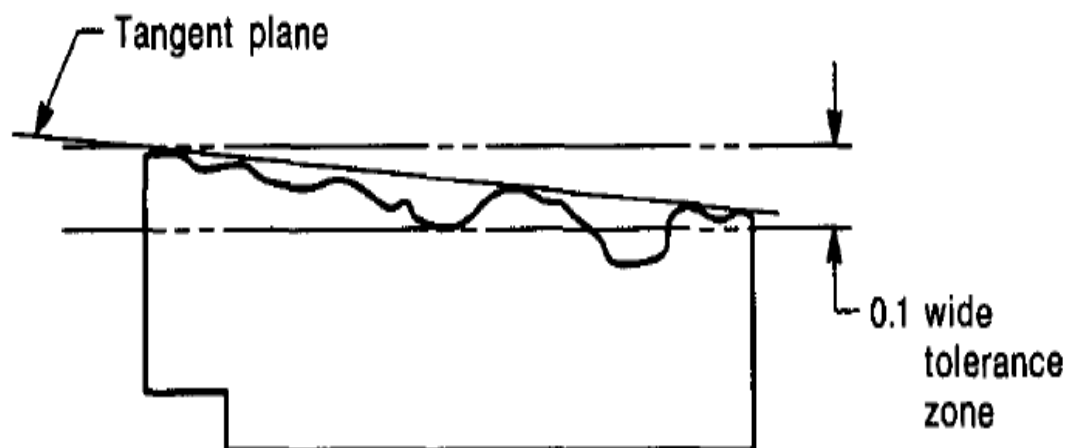
<도면 4-41>



위 도면의 요구사항은 A데이텀을 기준으로 평행한 0.1mm 공차 영역 안에 규제한 상부 면의 접면이 들어와야 하는 것이다.

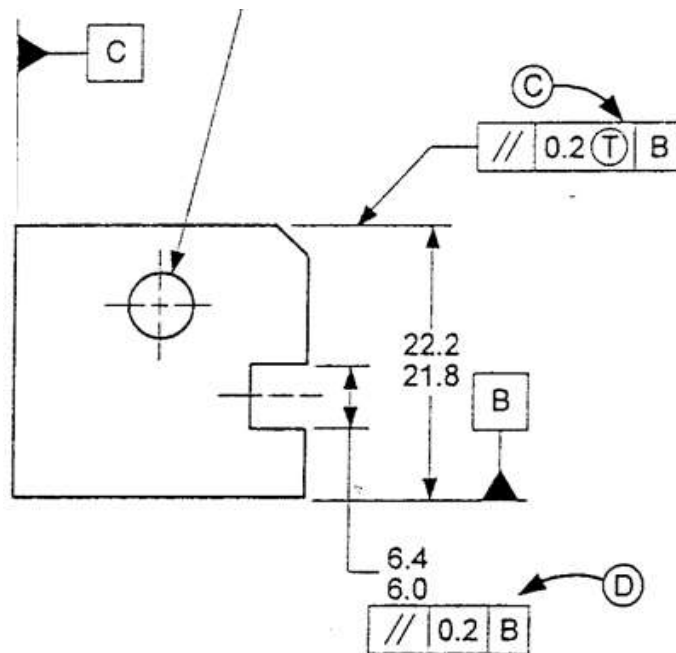
접면의 의미는 아래의 <그림 4-39>와 같이 표면의 최고점들과 접촉하는 평면으로 정의된다.

<그림 4-39>



이해를 돕기 위해 만일 위 도면 규제 중에 접면의 요구사항인 $\textcircled{T}$ 기호가 없다면, 접면이 아닌 실제 면이 0.1mm의 영역 밖에 있으므로 아래의 제품은 양품이 아닌 결과를 얻게 된다.

다시 C의 경우로 돌아가 보면, B데이텀과 평행한 0.2mm의 평행 공차영역 안에 지시한 면의 접면이 들어와야 한다는 의미가 된다.

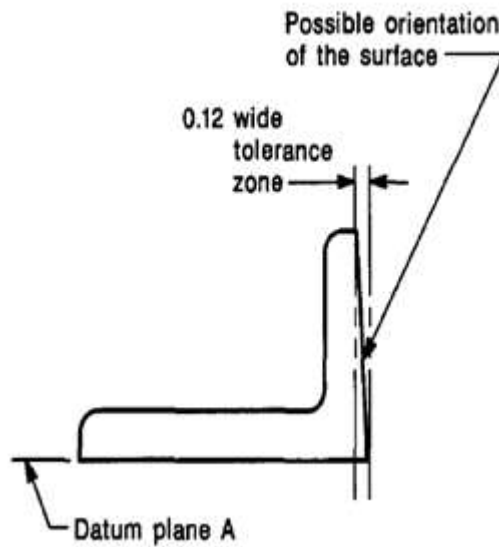
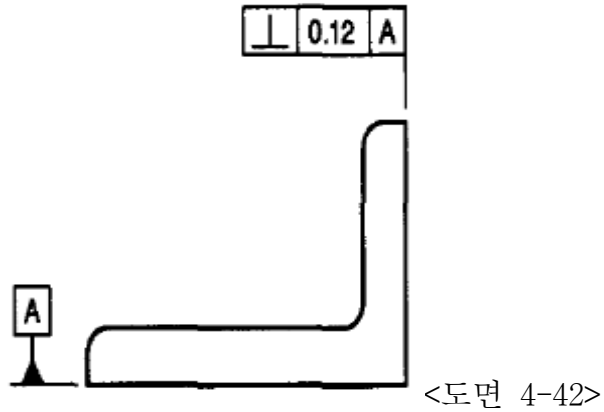


D의 경우는 중심 값이 있는 홈의 규제를 의미한다.

아래 면인 B데이텀을 기준으로 평행한 0.2mm의 평행영역 안에 규제한 6.0mm~6.4mm의 홈 형태의 중심이 들어와야 한다는 의미를 가진다. 이런 중심을 갖는 홈 형태는 5장의 위치공차를 다룰 때 대칭도의 의미로서 다시 한번 설명될 것이다.

4-3-3. 직각도(Perpendicularity)

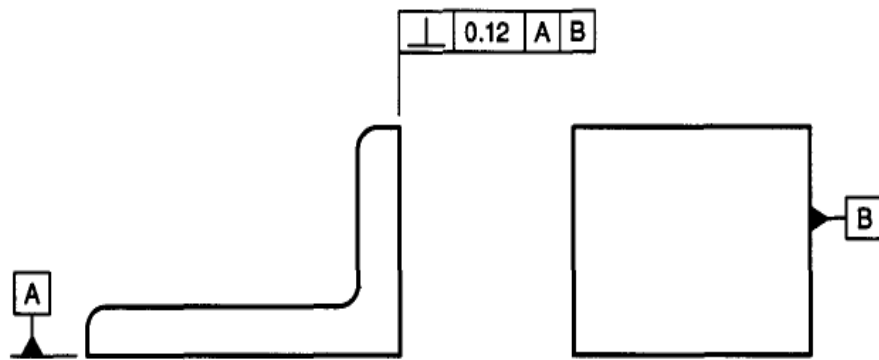
데이텀 평면이나 축심에 직각인 표면/중심면/축심의 상태를 규제한다.



<그림 4-40>

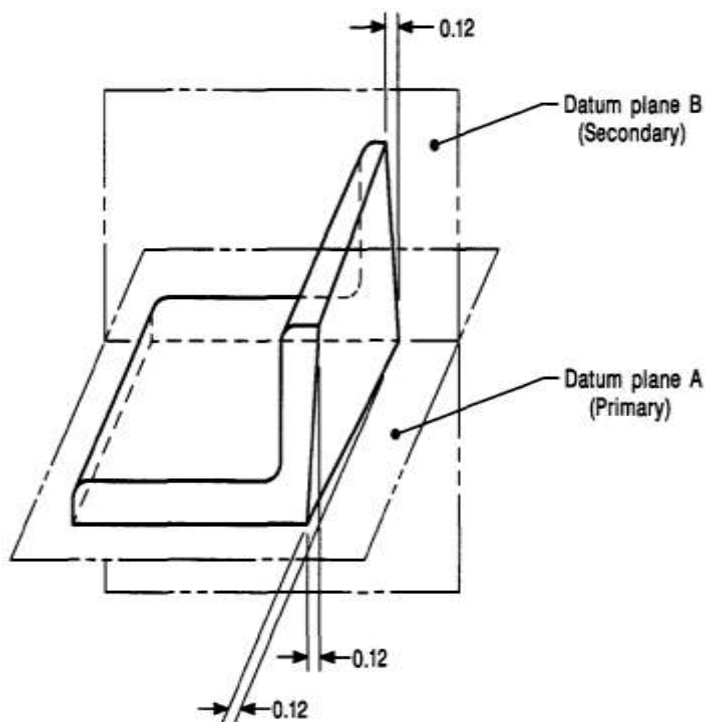
위의 <도면 4-42>에 명기된 요구사항을 해석하여 보면, <그림 4-40>과 같이 A데이텀인 바닥 면에 정확한 직각을 이루는 0.12mm의 평행 공차영역 내에 제품의 규제된 면이 들어와야 한다는 의미이다.

여기에 <도면 4-43>과 같이 데이텀을 B데이텀과 같이 하나 더 추가하면,
<도면 4-43>



B데이텀에 대해서도 직각도의 요구사항이 추가되어야 하므로 아래의 개념 그림과 같이 A, B 양 데이텀에 대하여 직각을 만족해야 하므로 결과적으로는 <그림 4-41>과 같이 규제한 면의 틀어짐을 요구하는 결과를 얻을 수 있다.

<그림 4-41>

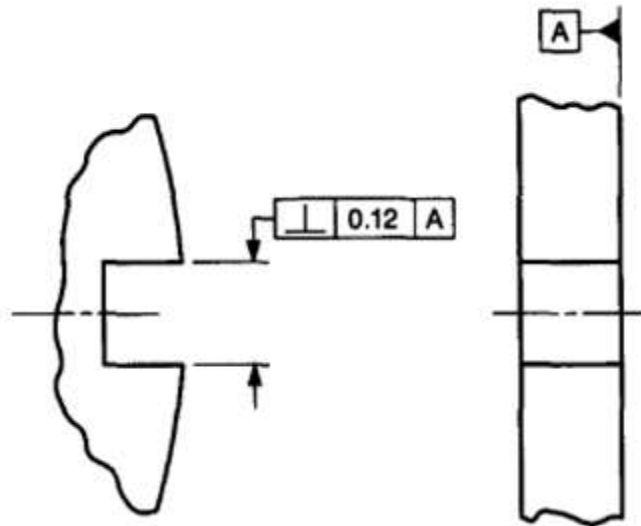


위의 두 사례에 요구된 데이텀 및 규제 형체는 모두 평면이므로 MMC와 같은 재료조건으로 규제될 수 없다.

다음 요구사항은 제품의 부분도를 통해 요구된 중심이 있는 홈 형체의 직

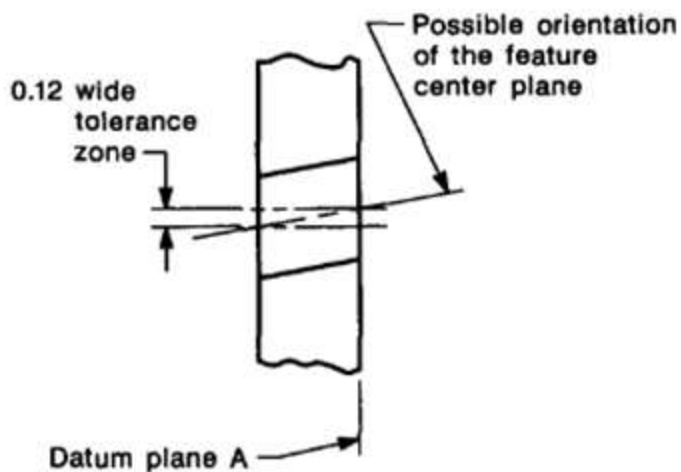
각도를 규제하는 것이다.

<도면 4-44>



부분도의 정면도를 기준으로 바닥 면이 A데이텀으로 설정되어 있고, A데이텀을 기준으로 한 직각도를 요구한다.

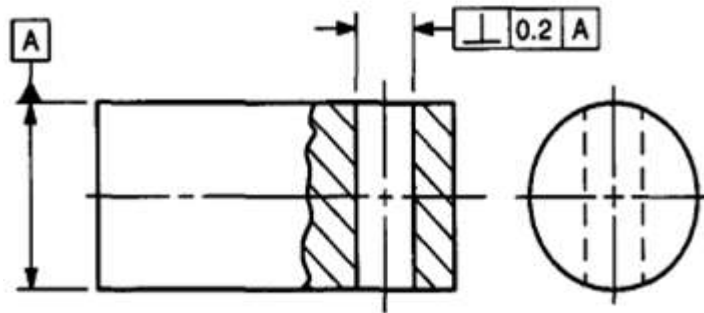
<그림 4-42>



요구사항은 A데이텀을 기준으로 정확한 직각을 이루는 0.12mm의 평행영역 안에 규제한 홈의 중심이 포함되어야 한다.

사례를 하나 더 알아보면,

<도면 4-45>



원통형체에 직각으로 나있는 홀의 중심에 대한 직각도 요구사항을 가진다.

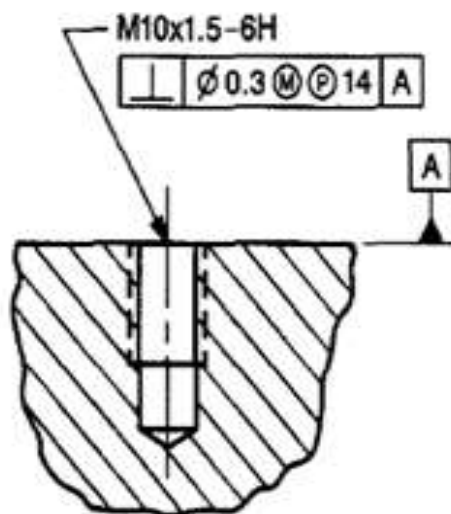
A데이텀(원통형체의 축심)에 정확한 직각을 이루는 홀의 중심이 규제한 공차 0.2mm 내에 들어와야 한다.

직각도의 돌출 공차역에 대해 알아보자.

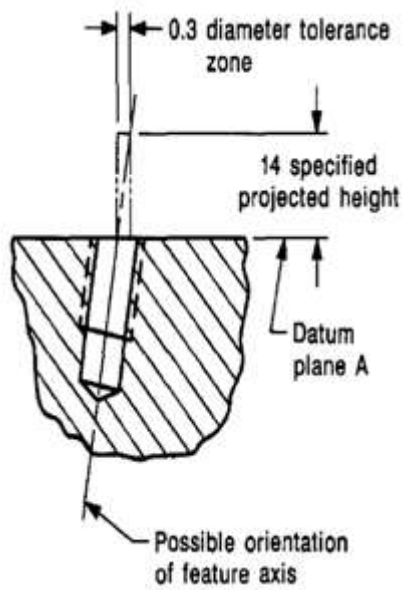
돌출 공차역의 요구사항은 형체의 축심이 돌출될 높이까지 위치의 규정된 공차 범위 내에 있어야 한다는 규제를 갖는다.

돌출 공차역의 수정기호는 (P) 기호를 사용하며 아래와 같이 기호 뒤에 영역을 치수 값으로 지정한다.

아래의 <도면 4-46>을 해석하면,



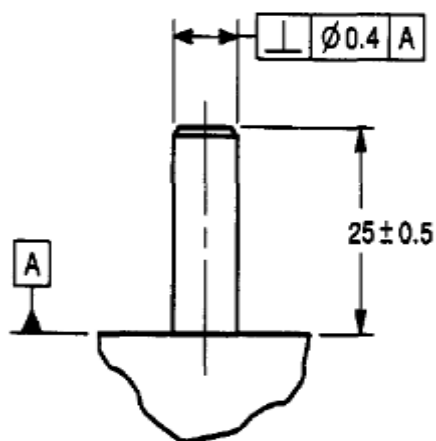
<도면 4-46>



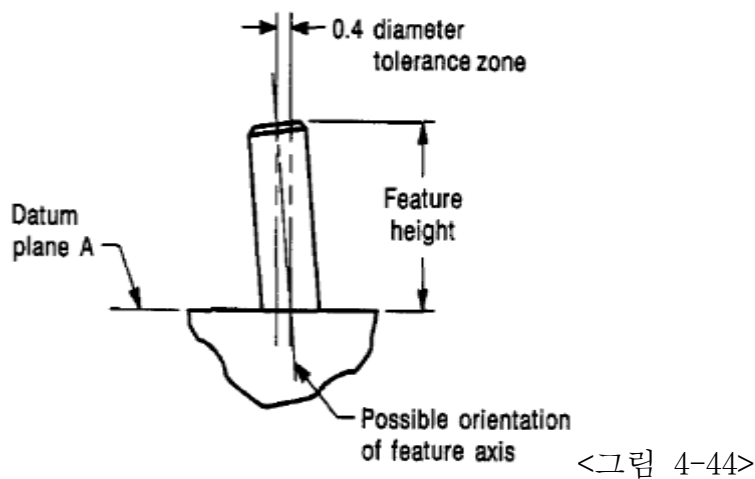
<그림 4-43>

탭 부위의 중심을 규제하는데 향후 돌출될 14mm의 영역에 대하여 MMC 조건에서 $\Phi 0.3\text{mm}$ 의 공차범위를 부여한다.

이렇게 돌출될 부분에 대한 규제를 탭 부위에 추가하는 것은 향후 상대물이 탭 형체에 조립될 때, 상대물의 의도에 따라 조립되는 것이 아니고, 탭 형체를 포함한 제품의 형상에 따라 조립될 수 밖에 없기 때문이다.

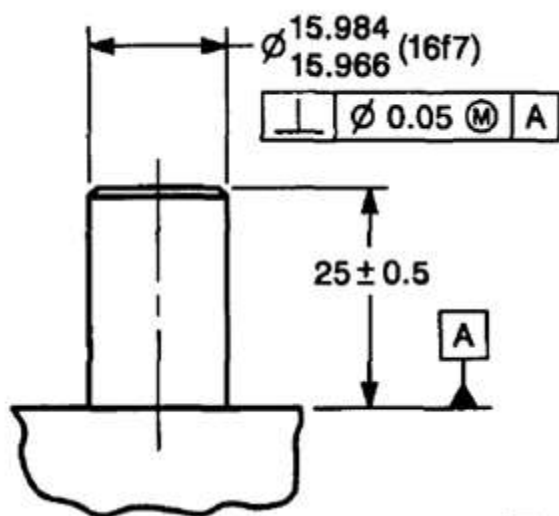


<도면 4-47>



위 제품은 돌출형체를 포함한 직각도의 규제를 보여준다. 돌출형체인 $25 \pm 0.5\text{mm}$ 의 돌출형체가 바닥인 A데이텀을 기준으로 정확한 직각을 이루는 $\Phi 0.4\text{mm}$ 의 원통형 공차영역 안에 들어와야 한다는 것이다.

이런 돌출 형체에 MMC 재료조건이 부가된 사례를 한번 더 확인해 보자.
규제하는 형체에 대하여 MMC 조건을 부여할 때, 공차의 변화에 대하여 검토하는 사례는 이것이 마지막이므로 꼭 확인하고 이해할 수 있도록 한다.



— <도면 4-48>

높이가 $25 \pm 0.5\text{mm}$ 이고 원통형체의 치수공차를 포함한 치수가 $\Phi 15.966\text{mm}$

~ $\Phi 15.984\text{mm}$ 인 돌출 형체에 대하여, 직각도 공차가 MMC 재료조건에서 $\Phi 0.05\text{mm}$ 요구되었다.

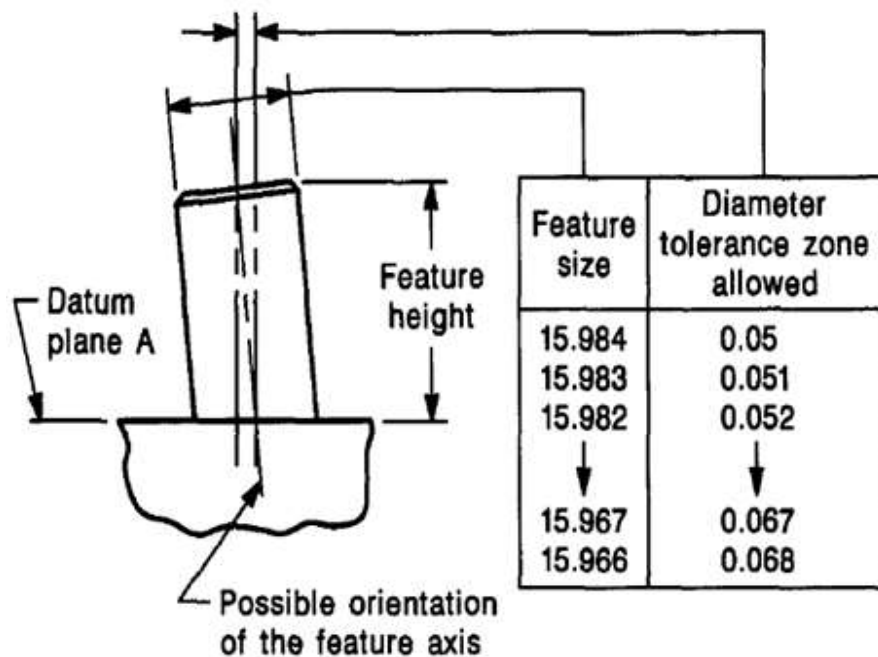
MMC 재료조건에 따라 도면에 표기된 MMC 조건인 $\Phi 15.984\text{mm}$ 일 때, $\Phi 0.05\text{mm}$ 의 직각도 공차가 부여된다.

만일 제품이 $\Phi 15.982\text{mm}$ 라면, MMC 와의 차이 값인 $\Phi 0.002\text{mm}$ 가 $\Phi 0.05\text{mm}$ 에 추가되어 $\Phi 0.052\text{mm}$ 의 허용공차를 갖게 된다.

만일 제품이 $\Phi 15.966\text{mm}$ 인 LMC 조건이라면, MMC 와의 차이 값인 $\Phi 0.018\text{mm}$ 가 $\Phi 0.05\text{mm}$ 에 추가되어 $\Phi 0.068\text{mm}$ 의 허용공차를 갖게 된다.

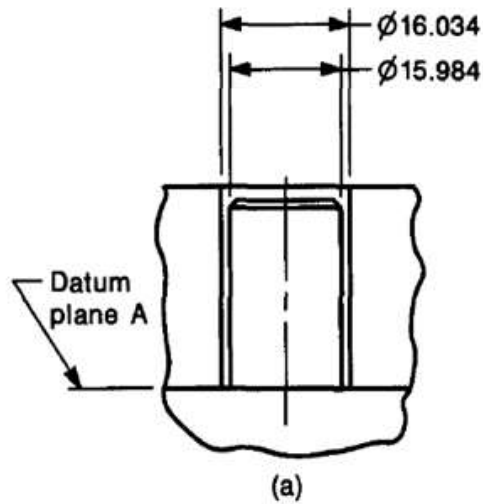
이 허용공차들을 정리한 것이 아래의 <그림 4-45> 표와 같다.

<그림 4-45>



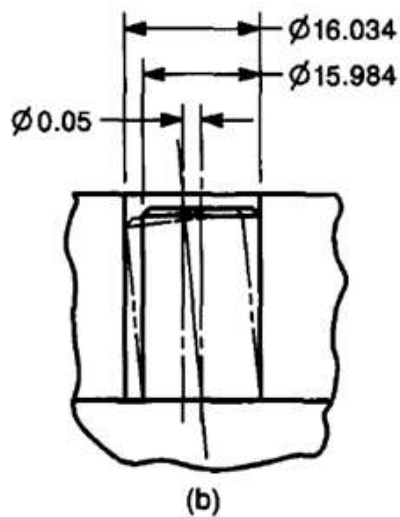
제품에 대한 실효치수를 구하면, MMC조건인 $\Phi 15.984\text{mm}$ 에서 $\Phi 0.05\text{mm}$ 의 허용공차를 가지는 외측형체이므로 게이지는 외접하는 치수가 된다. 따라서 $\Phi 15.984\text{mm} + \Phi 0.05\text{mm} = \Phi 16.034\text{mm}$ 가 실효치수가 된다.

이 실효치수로 제작된 게이지에 다음의 세가지 조건이 양품으로 확인되는데 문제가 없다.



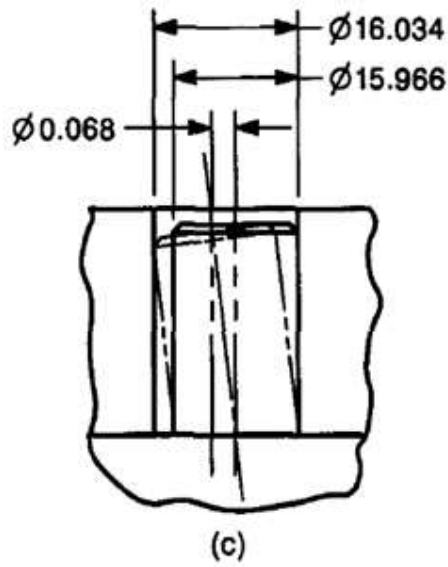
<그림 4-46>

- (a) 조건은 MMC인 $\Phi 15.984\text{mm}$ 의 치수에 공차 $\Phi 0\text{mm}$ 인 경우를 표현하는 것이고,
- (b) 조건은 MMC인 $\Phi 15.984\text{mm}$ 의 치수에 허용공차의 한계 값인 $\Phi 0.05\text{mm}$ 인 경우를 표현하는 것이고,



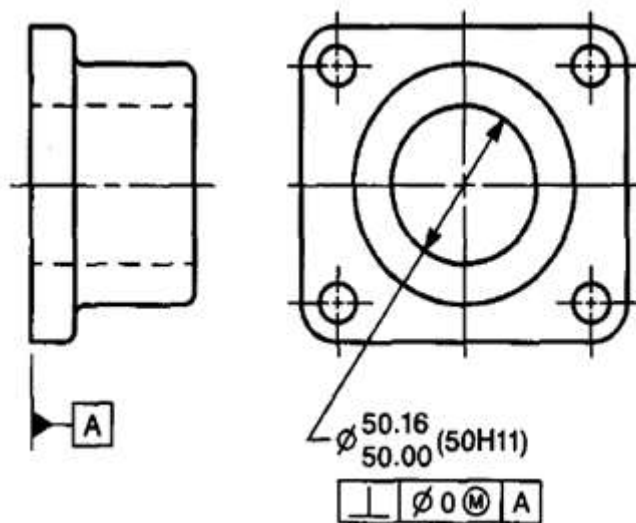
<그림 4-47>

- (c) 조건은 LMC인 $\Phi 15.966\text{mm}$ 의 치수에 허용공차의 한계 값인 $\Phi 0.068\text{mm}$ 인 경우를 표현하는 것이다.



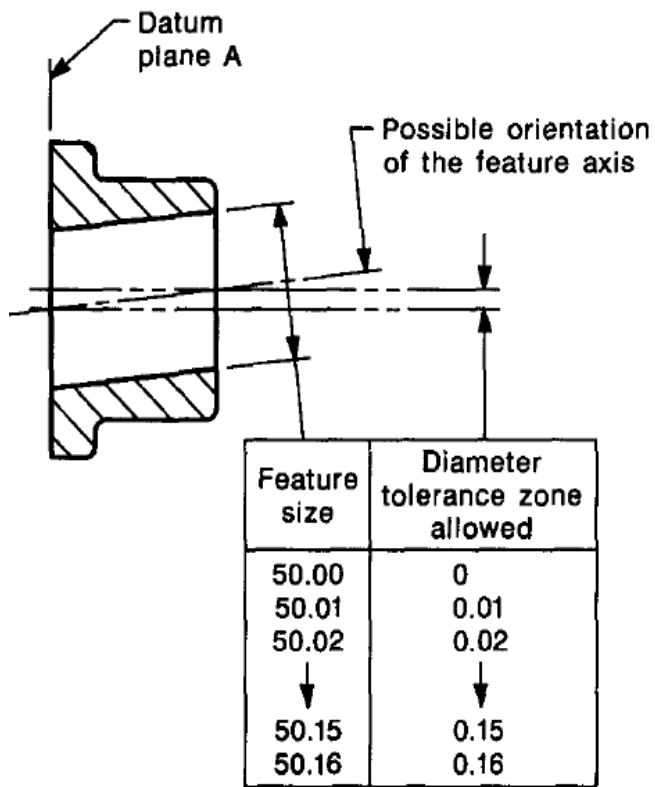
<그림 4-48>

직각도에 대한 0공차 및 MAX공차의 사례를 추가적으로 더 알아보자.



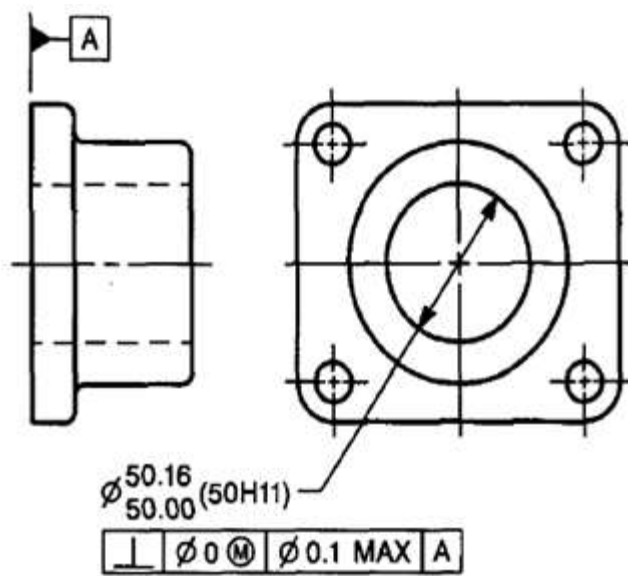
<도면 4-49>

내측의 홀 형체에 MMC 재료조건 $\Phi 0\text{mm}$ 공차가 부여되면, MMC 조건에서는 공차가 없다는 뜻이다. 따라서, MMC 조건인 $\Phi 50.00$ 일 때는 공차가 $\Phi 0\text{mm}$ 이며, 내측 홀 크기가 MMC 조건으로부터 차이가 나면 그 차이 값만큼 보너스 공차로 허용공차의 값이 되며, 아래의 표에 정리된 사항과 같다.



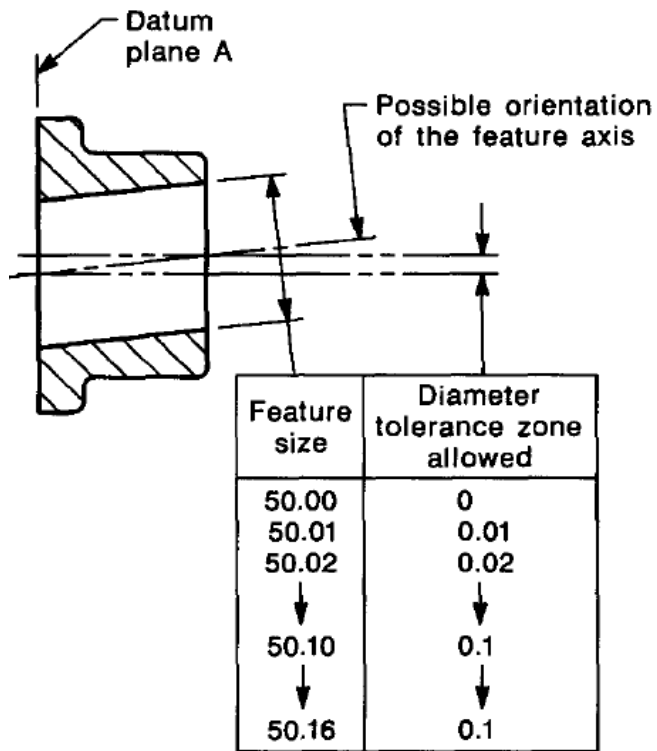
<그림 4-49>

여기에 MAX 공차를 부가할 수 있는데,



<도면 4-50>

<도면 4-50>과 같이 $\Phi 0.1 \text{ MAX}$ 와 같은 요구가 추가되면 공차가 $\Phi 0.1\text{mm}$ 에
서 증가하지 않게 된다.



<그림 4-50>

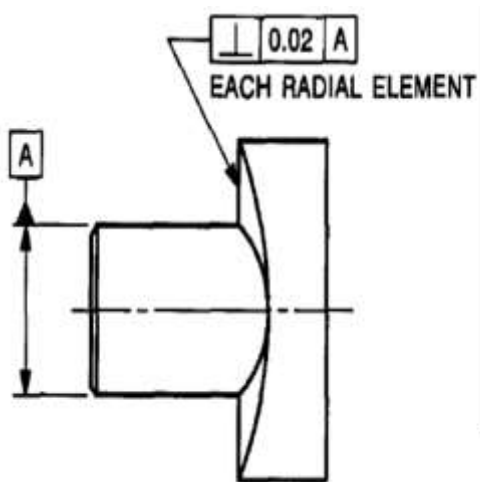
앞에서 $\Phi 0.16$ 까지 허용할 수 있도록 증가되었던 공차가 $\Phi 0.1\text{mm}$ 이상 증가하지 않는 것을 볼 수 있다.

4-3-4. 요소규제

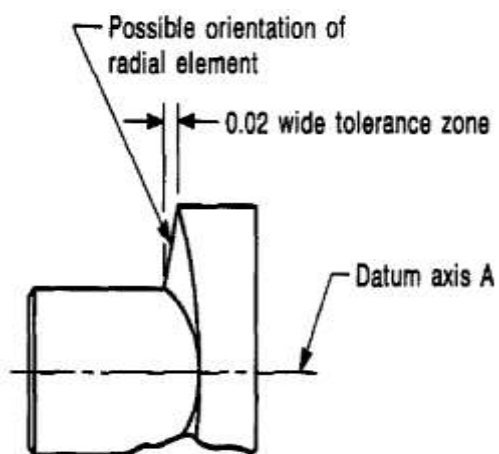
데이텀과 관련하여 중요한 개념을 알아보도록 하자.

우선 아래의 직각도 요구사항을 보면,

A데이텀인 원통형체의 축심을 기준으로 정확한 직각을 이루는 0.02mm의
평행영역에 규제한 면이 들어와야 한다는 의미이다.

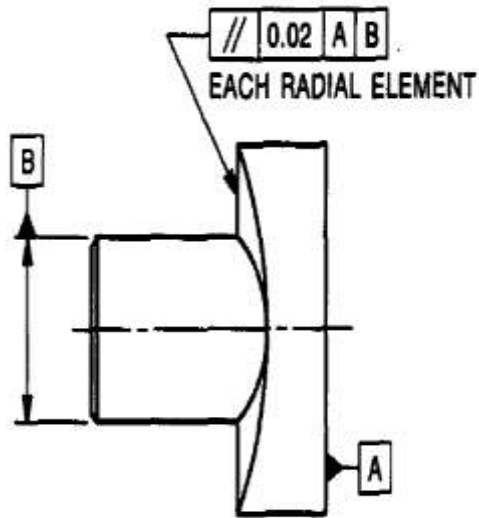


<도면 4-51>

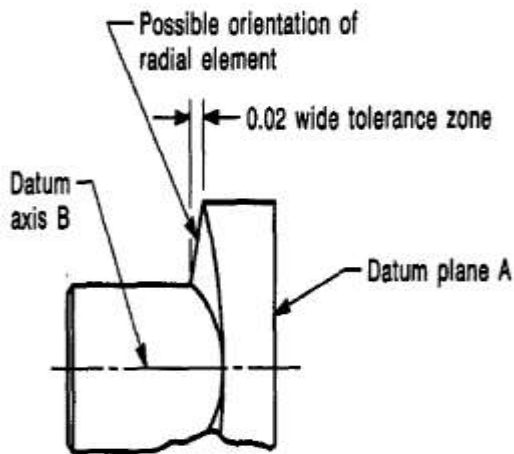


<그림 4-51>

그리고, 동일한 제품처럼 보이는 형체에 평행도의 요구사항을 보면,



<도면 4-52>



<그림 4-52>

우선되는 A데이텀에 의해 평행한 0.02mm의 공차영역에 규제한 면이 들어와야 한다는 의미이다.

동일하게 보이는 두 제품의 동일한 부위를 규제하는데, 하나는 직각도로 다른 하나는 평행도로 규제를 했다.

물론 데이텀이 다르게 설정되었기 때문인데, 여기서 중요한 것은 동일한 형체에 왜 데이텀을 다르게 부여했는가이며, 두 제품은 형상은 동일하게 보이지만 기능이 다른 것이다.

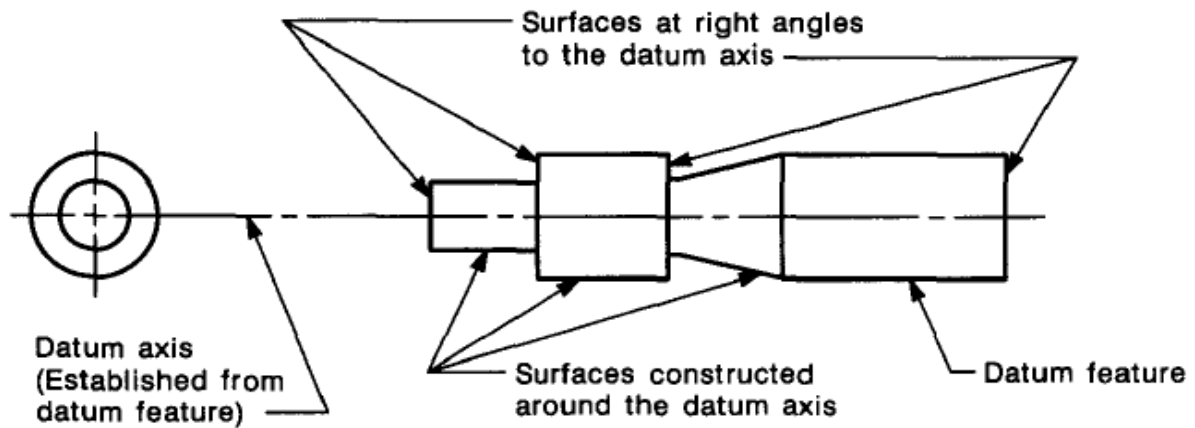
첫 번째 제품은 원통부위를 홀 또는 베어링 같은 상대물과 관계해서 기능

하는 것이고, 두 번째 제품은 A데이텀인 평면부가 상대물과 관계하여 기능을 수행하는 것일 것이다.

중요한 것은 제품은 형상에 따라 데이텀이 설정되는 것이 아니고, 기능과 관계에 따라 기준인 데이텀이 설정되므로, 설정된 데이텀에 맞게 세부형을 규제하게 됨을 알아야 한다. GD&T의 정의처럼 말이다.

4-5. 흔들림 공차(Run-out Tolerance)

<그림 4-53>



데이텀 축심에 대해서 형체의 기능적인 관계를 규제하는데 사용되는 복합 공차로 반드시 데이텀을 기준으로 규제한다.

전 공차 또는 전량(Full Indicator Movement ; FIM)으로 측정된 값이 규제한 공차 값보다 작아야 한다.

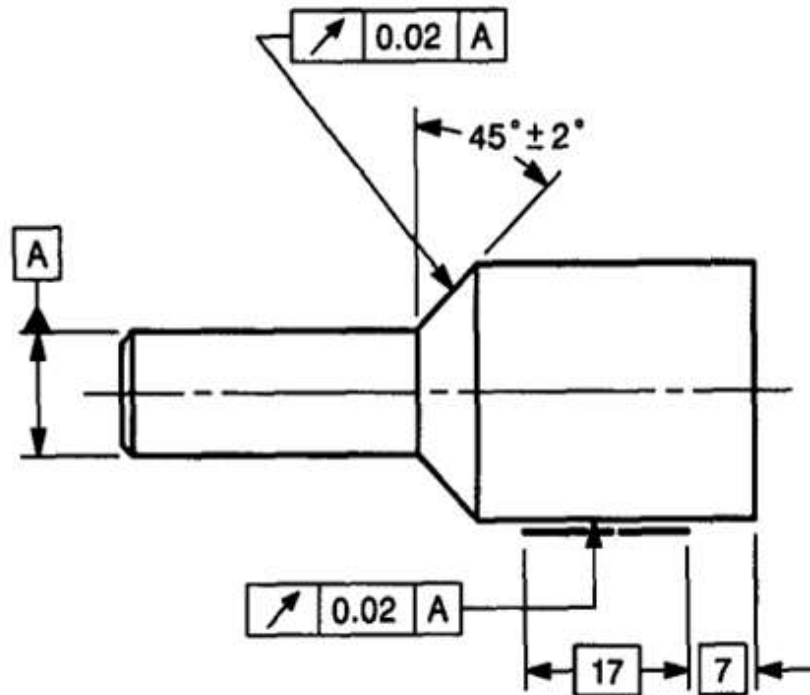
데이텀 축심뿐만이 아니라 축심과 직각으로 구성되는 표면에도 적용이 가능하다.

4-5-1. 원주 흔들림(Circular Run-out)

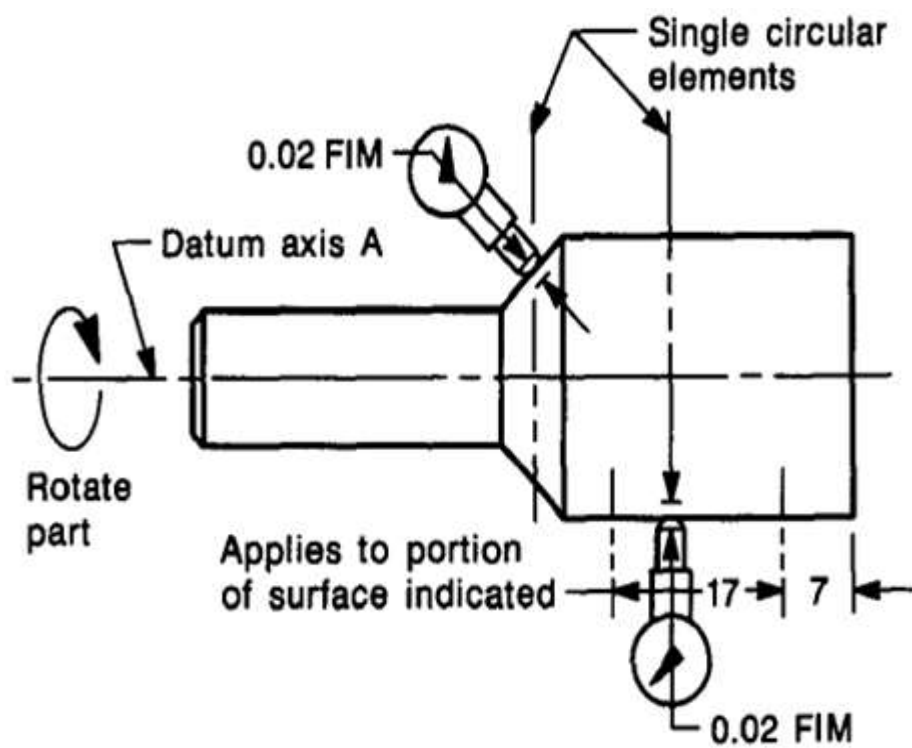
원주 방향의 요소(떨림) 규제하며, 진원도와 동축도의 누적 편차를 규제하는데 사용한다.

아래의 도면과 같이 원주 흔들림의 개념이 적용되면, 요구하는 형상의 임의의 부위에 게이지를 부착하고, 데이텀인 회전형체의 축을 기준으로 360도 회전시켜, 게이지가 들어가고 튀어나오는 차이의 가장 큰 값(FIM)을

읽어, 그 측정값이 도면에 규제한 0.02mm와 같은 규격보다 작아야 한다는 의미이다.



<도면 4-53>



<그림 4-54>

4-5-2. 전 흔들림(Total Run-out)

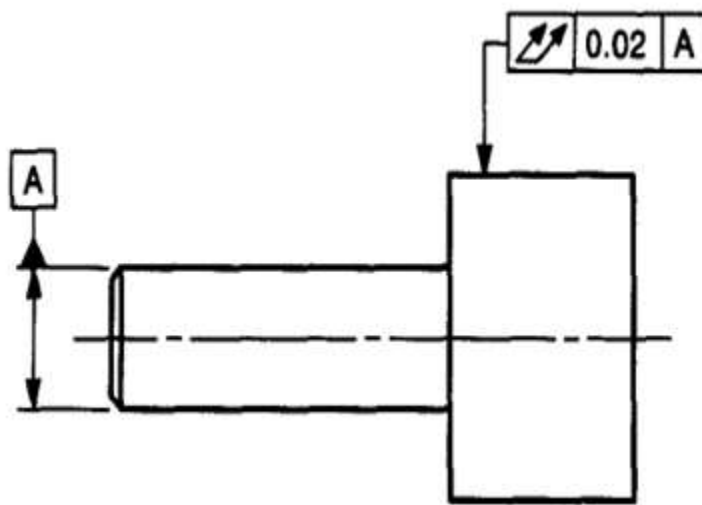
전 흔들림이 축심에 대해 표면에 적용되면, 진원도와 진직도, 동축도, 경사도, 테이퍼와 윤곽도 등의 누적 편차를 규제할 수 있고,

축심에 직각인 표면에 적용되면, 직각도(떨림), 평면도(요철)의 누적 편차를 규제할 수 있다.

결국은 모든 표면의 요소에 대한 복합적인 규제로 GD&T 특성 중에 가장 많은 값을 얻을 수 있는 규제이다. 단점이 있다면 측정해야 한다는 것이다.

따라서, 설계자들은 GD&T의 특성을 도면에 기입할 때, 부여되는 특성이 특별특성 항목과 같은 전수검사 특성을 가진다면 흔들림과 같은 측정해야 하는 것을 사용한다면, 뒤 공정에서 업무를 수행하는데 굉장한 어려움을 겪을 수도 있음을 인지하여야 한다.

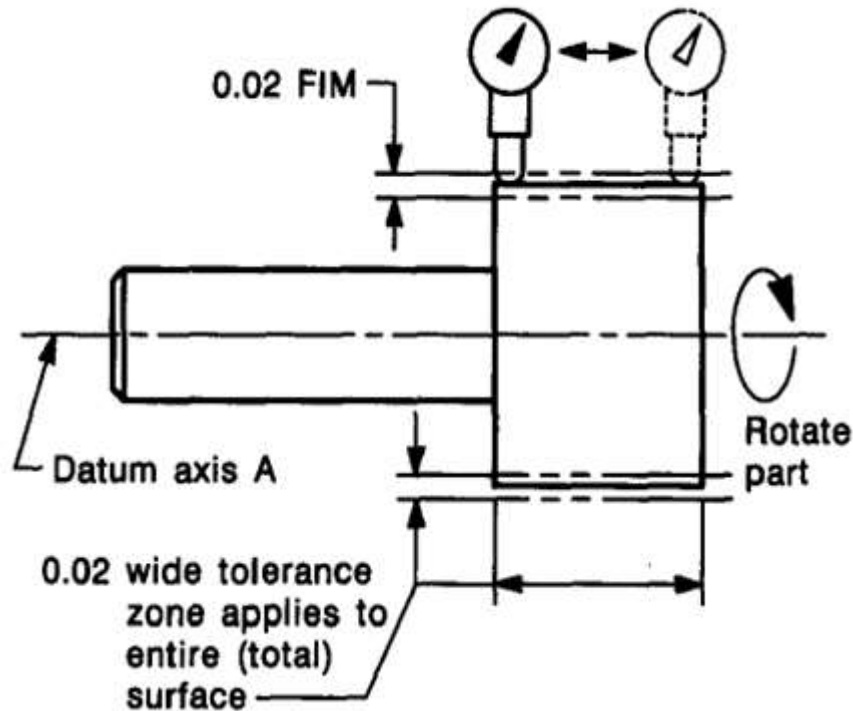
다시 전 흔들림으로 돌아가서, 요구된 큰 쪽 원통형체에 부여된 0.02mm의 전 흔들림 요구사항의 의미를 알아보자.



<도면 4-54>

A데이텀을 기준으로 0.02mm의 전 흔들림이 요구되면, 제품의 원통 면 한

쪽 끝 단에 게이지를 대어 놓고, 데이텀인 축심을 기준으로 제품을 360도 회전시키는데, 이때 게이지가 반대쪽 끝 단까지 이동한다.



<그림 4-55>

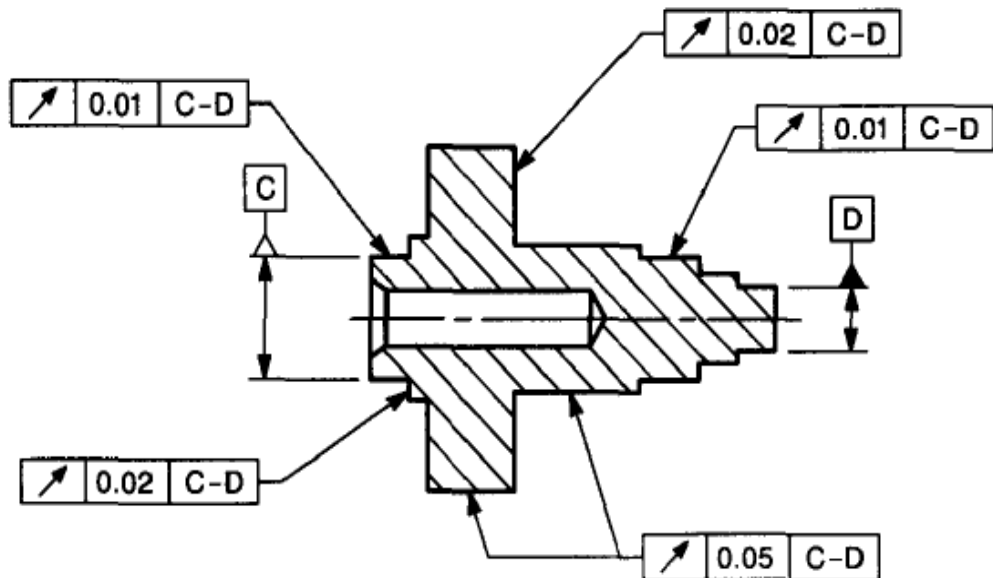
결국 원통형체의 전개도를 생각해 보면, 원통의 표면을 대각선 방향으로 읽게 되는 개념이다. 어쨌든 이렇게 읽혀진 값인 전량(FIM)이 요구한 0.02mm 이내여야 한다.

4-5-3. 흔들림의 적용

통상적인 흔들림은 그림과 같이, 두 데이텀 직경이 전체 형체에 대하여 단일 데이텀 축심으로 적용되는 경우가 많으며, 이 경우들의 내측형체에 부여된 C-D 공통 데이텀의 요구는 대부분 C와 D 형체가 상대물의 홀 또는 베어링에 장착되어 기능을 하는 제품이 많다. 따라서 C-D의 공통 데이텀

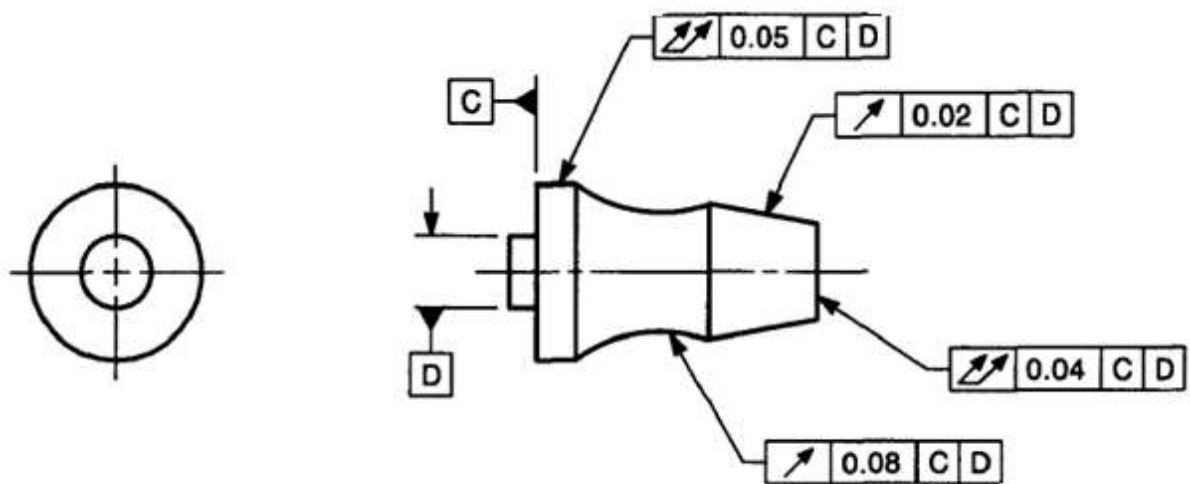
을 부여하고 내부 형체들을 규제하는 기준으로 사용하는 것이다.

<도면 4-55>

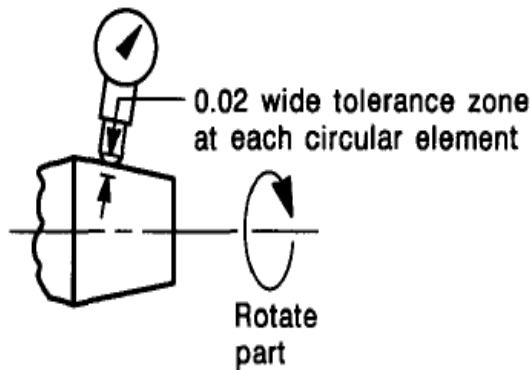


이런 흔들림의 적용에는 일반적으로 다음의 사례들이 있으며, 그 의미는 각각 다음과 같다.

<도면 4-56>

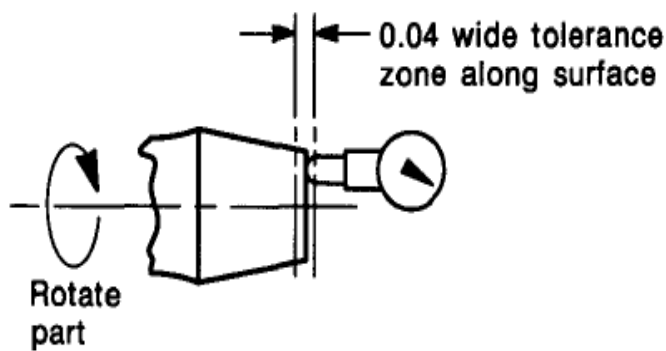


세 번째의 원주 흔들림은 경사면의 임의의 점에서 0.02mm의 요구를,



<그림 4-59>

네 번째는 끝 단 평면의 전 흔들림이므로 전 면에 대한 측정값이 0.04mm를 만족해야 한다.



<그림 4-60>

마지막으로 흔들림 측정시의 데이텀에 대한 명확한 개념을 알아보자.

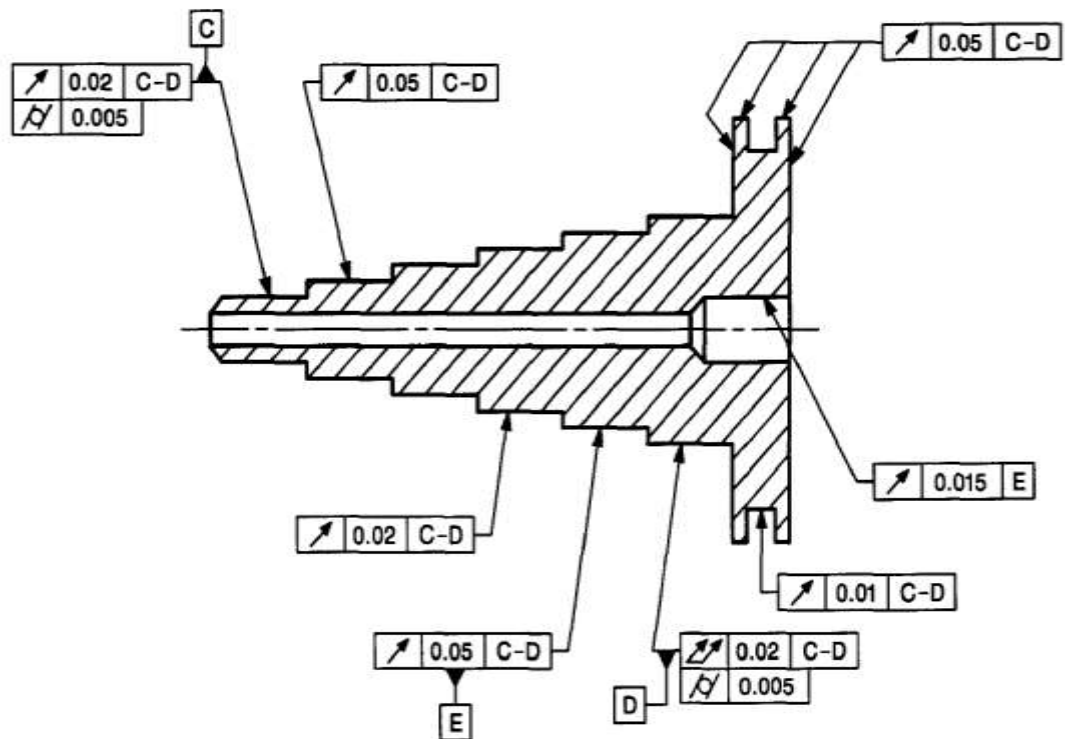
요구된 도면의 형태를 보면, 대부분의 내측 형체가 데이텀 C와 D의 공통된 기준으로 흔들림의 값을 반영하고 있다.

예를 들어, 데이텀E가 부여된 형체를 살펴보자. C-D 데이텀을 기준으로 부여된 원주 흔들림의 요구사항을 표현하는데, C-D 데이텀을 공통 데이텀으로 하기 때문에 측정 시 C와 D 데이텀의 원통형체 표면을 고정시키고 E 데이텀 형체의 임의의 점에 게이지를 부착하여 측정하게 될 것이다.

여기서 중요한 점이 C, D 데이텀의 진정한 의미가 원통형체의 표면은 아

나라는 것이다. C, D 데이텀의 진정한 의미는 원통형체의 중심을 의미하는 것이기 때문에 측정을 위해 고정시킨 부위는 진정한 데이텀으로부터 원통형체 표면 오차인 C, D 데이텀의 흔들림을 반영하지 않은 것이 된다.

<도면 4-57>



따라서 측정된 값에 C, D 데이텀의 흔들림까지 반영한 값이 E데이텀 부위의 정확한 흔들림의 값이 되는 것이다.

정리하면, 두 표면 사이에 허용될 수 있는 흔들림은 데이텀과 관련하여 개개의 흔들림 공차의 합과 같다는 것이다.

4-6. 일반공차(General Tolerances)

치수와 관련하여 길이/각도 치수의 일반공차(4등급)가 있다는 것은 이미 알고 있을 것이다.

이런 일반공차는 개개의 공차지시가 없는 경우에 적용하며, 길이치수(외측/내측/단차 치수, 직경, 반경, 거리, R, C), 각도치수, 기계가공에 의해 생산되는 조립품의 길이와 각도 치수에 적용할 수 있다.

다만 적용할 수 없는 경우는 다른 표준으로 참조되는 길이와 각도 치수, 괄호로 지시된 참고치수, 기준치수, 이론적으로 정확한 치수에는 부여치 않는다.

일반공차의 이점을 간단히 정리하면,

- ① 도면의 판독이 쉽고, 도면 사용자에게 효과적으로 의사소통이 가능하다.
- ② 일반공차를 기준으로 허용공차를 판단하므로 설계시간 절감할 수 있다.
- ③ 검사수준을 낮춤으로서 품질관리에 도움이 된다.
- ④ 일반공차보다 정밀한 수준인 개별 지시된 공차를 기준으로 생산/품질을 관리할 수 있다.
- ⑤ 구매자와 공급자간의 납기 및 품질 수준의 분쟁 회피할 수 있다.

물론 이러한 이점은 공급자측의 일반적인 가공정밀도가 도면상의 일반공차와 같거나 더 좋을 때 얻을 수 있다.

여기서 언급하고자 하는 바는 기하공차에도 일반공차가 있다는 것이다.

기하학적 일반공차는 세가지 공차등급으로 규정(주로 절삭가공품에 적용)하며, 개개의 각 공차의 지시가 없는 형체의 모든 기하학적 공차 특성에 적용된다.

몇 가지 특성에 대하여 정리하면,

진직도와 평면도 <표 4-4>

진직도와 평면도 일반공차						
공차등급	호칭길이의 범위에 대한 진직도와 평면도					
	10까지	10초과 30까지	30초과 100까지	100초과 300까지	300초과 1000까지	1000초과 3000까지
H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
L	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6

직각도: 긴 쪽(면)이 데이텀으로 설정 <표 4-5>

직각도 일반공차				
공차등급	짧은쪽 호칭길이 범위에 대한 직각도 공차			
	100까지	100초과 300까지	300초과 1000까지	1000초과 3000까지
H	0.2	0.3	0.4	0.5
K	0.4	0.6	0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

대칭도: 형체 중 하나는 중간면을 갖거나 두 축심이 상호 직각일 경우 적

용 <표 4-6>

대칭도 일반공차				
공차등급	짧은쪽 호칭길이 범위에 대한 직각도 공차			
	100까지	100초과 300까지	300초과 1000까지	1000초과 3000까지
H	0.5			
K	0.6		0.8	1
L	0.6	1	1.5	2

원주 흔들림: 베어링 면을 데이텀으로 설정 <표 4-7>

원주흔들림 일반공차	
공차등급	원주 흔들림 공차
H	0.1
K	0.2
L	0.5

상기와 같은 기하공차의 일반공차는 알아두고, 필요 시 KS등의 표준을 검토하여 부여토록 한다.

마지막으로 진직도에서 언급한 포위선에 대한 개념을 정리해 보자.

$\Phi 150\text{mm} +0/-0.04$ 인 원통형체에 포위선(E)이 요구되면,

- ① 축의 실제 각 국부 직경이 치수공차인 0.04mm의 범위 내에서 유지되어야 하므로 $\Phi 150\text{mm}$ 에서 $\Phi 149.96\text{mm}$ 사이에 있어야 한다.
- ② $\Phi 150\text{mm}$ 의 완전한 형상으로 포위된 원통의 경계 범위 내에 있어야 한다.
- ③ 모든 축의 실제 국부 직경이 $\Phi 150\text{mm}$ 인 최대 재료조건일 경우, 축은 정확한 원통이어야 한다.

제5장 위치공차의 이해

위치공차는 크기를 갖는 형체의 중심 / 축심 / 중심면이 진 위치로부터 변화가 허용되는 범위 내에서의 영역으로 정의된다.

첫 번째 장에 설명된 GD&T의 정의를 기억하겠지만, 다시 한번 적어보면,

“부품 형상이 도면에 나타난 이론상 완벽한 기하학적 특성에서 어느 정도 벗어나도 되는지를 수치로 나타내는 방법” 이었다.

정의된 ‘이론상 완벽한 기하학적 특성’ 이 위치공차에서는 ‘진 위치’이며, ‘어느 정도 벗어나도 되는지를 수치’ 로 나타낸 것이 ‘변화가 허용되는 범위 내에서의 영역’ 에 해당되는 것이다.

재삼 강조하지만 GD&T의 정의가 기하공차를 이해하는데 아주 중요하므로, GD&T에 대한 전반적인 이해가 되지 않을 때에는 이 정의를 다시 새겨봐야 한다.

앞에서 다룬 다른 특성들과 마찬가지로 MMC 또는 LMC 재료조건으로 규정 시, 실효조건(Virtual Condition)으로 정의되는 경계와 진 위치 경계 형체를 벗어나지 않아야 한다. 게이지 측면에서 표현하면 실효치수로 제작된 게이지로 제품을 확인했을 때 문제가 없어야 한다는 의미이다.

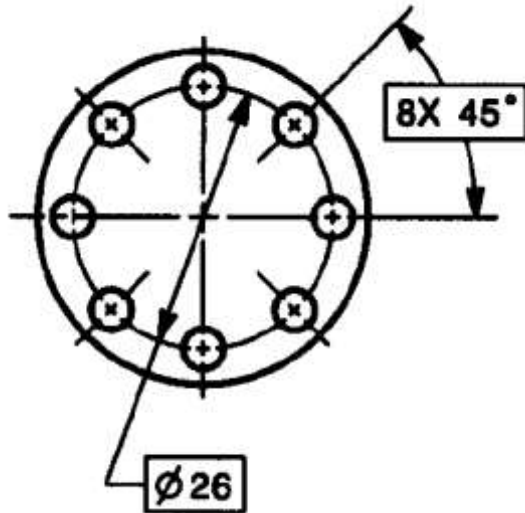
위치도는 데이텀이 꼭 필요한 GD&T 특성이므로, 형체테두리에 데이텀 참조를 배치하여야 한다.

위치공차에는 위치도, 동심도, 대칭도가 있으나, Y14.5에서도 동심도와 대칭도는 개념 정도만 다루고, 대부분의 내용은 위치도의 깊은 개념에 할애되어 있다. 이는 위치도의 게이지와 관련된 특성을 GD&T의 영역에서는

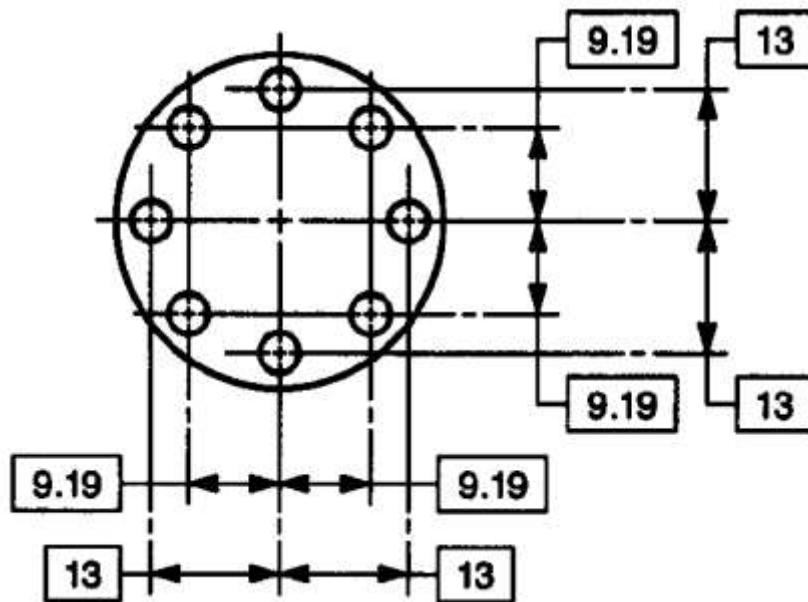
중요하게 다루기 때문이다.

5-1. 위치도(Positional Tolerancing)

앞서 정의한 진 위치에 대한 기준치수를 정의하는 방법을 알아보자.



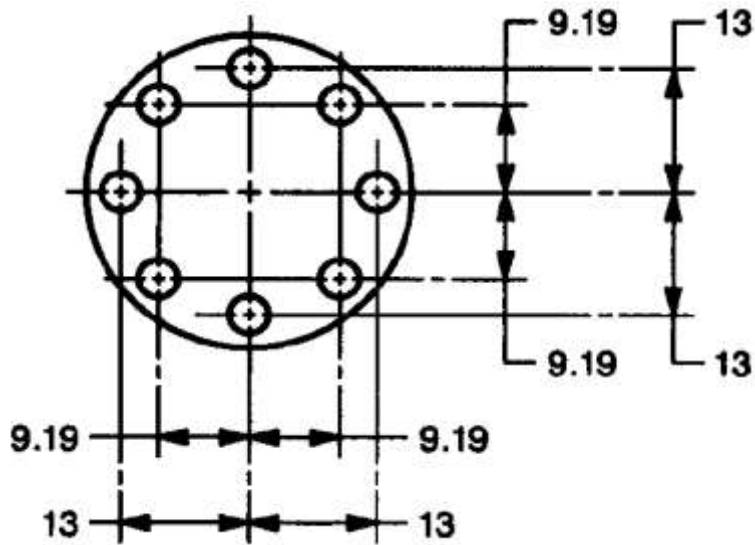
<도면 5-1>



<도면 5-2>

위 두 사례와 같이, 1장에서 정의한 기준치수의 표기형태를 취한 경우를 말한다. 치수 값 뒤에 별도의 공차가 부여되어 있지 않은 치수에 사각형 테두리를 친 치수이며, 이 치수는 이론상으로는 정확한 치수가 되며, 형

체규제기호를 통해 부여되는 공차 영역의 기준이 된다.



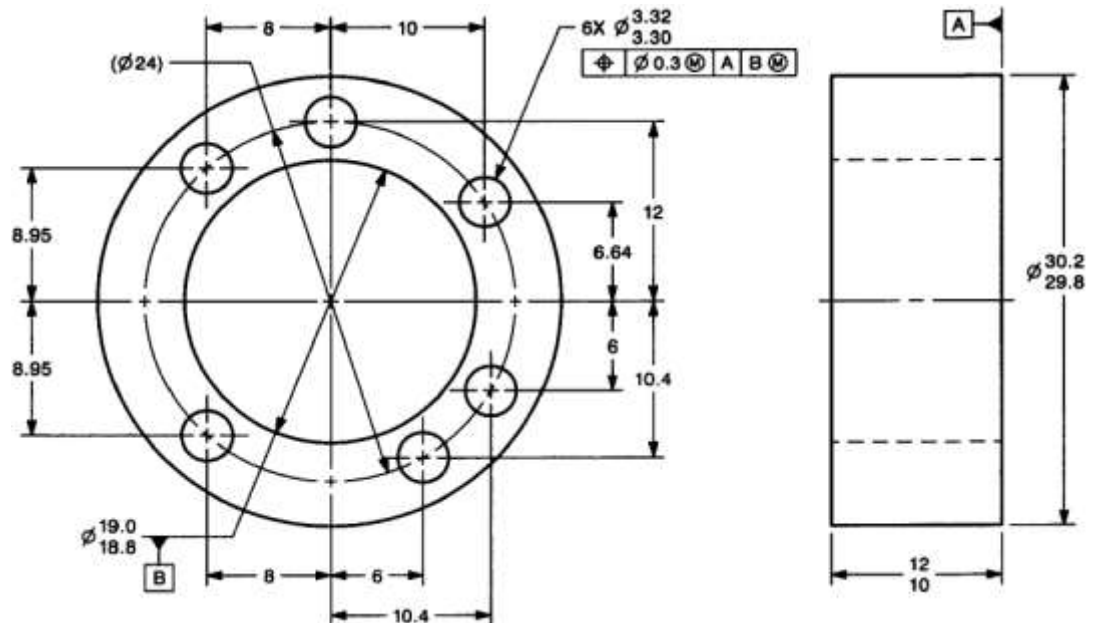
<도면 5-3>

주기: 진 위치에 대한 공차가 없는 치수는 기준치수

또 다른 표기형태는 위와 같이 별도의 주기를 통해 공차 없는 치수는 기준치수임을 도면에 명기한 방법이다.

5-1-1. 위치공차의 전형적인 사례

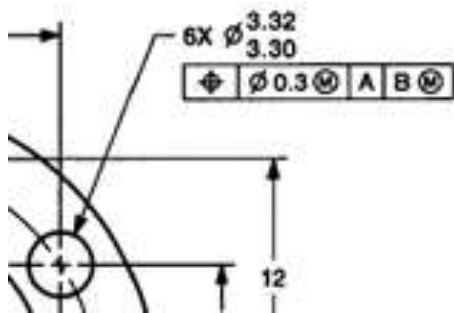
위치도의 전형적인 사례를 세 가지만 알아보도록 하자.



<도면 5-4>

첫 번째 사례는 <도면 5-4> 링의 단면에 6개의 홀이 나 있는 형체이다.

형체의 특성에 따라, 데이텀이 A와 B 로 설정되어 있으며, A 데이텀은 링의 바닥 면에 지정되어 있고, B 데이텀은 링의 내측 홀 형체에 규제되어 있다. 물론 데이텀의 설정을 기준으로 제품을 판단하여 보면, 이 제품은 A 데이텀과 만나는 바닥 면 및 B 데이텀과 조립될 축 형체에 조립되어 사용될 제품일 것이다.



<그림 5-1>

<그림 5-1>의 링 단면에 표기된 위치도 공차의 요구사항을 보면, 홀 크기가 MMC 재료조건인 $\Phi 3.30\text{mm}$ 일 때, $\Phi 0.3\text{mm}$ 의 위치도 공차를 허용하게 된다. 여기서 살펴볼 것은 재료조건에 따른 공차의 변경이 아니라, 데이텀에 있다.

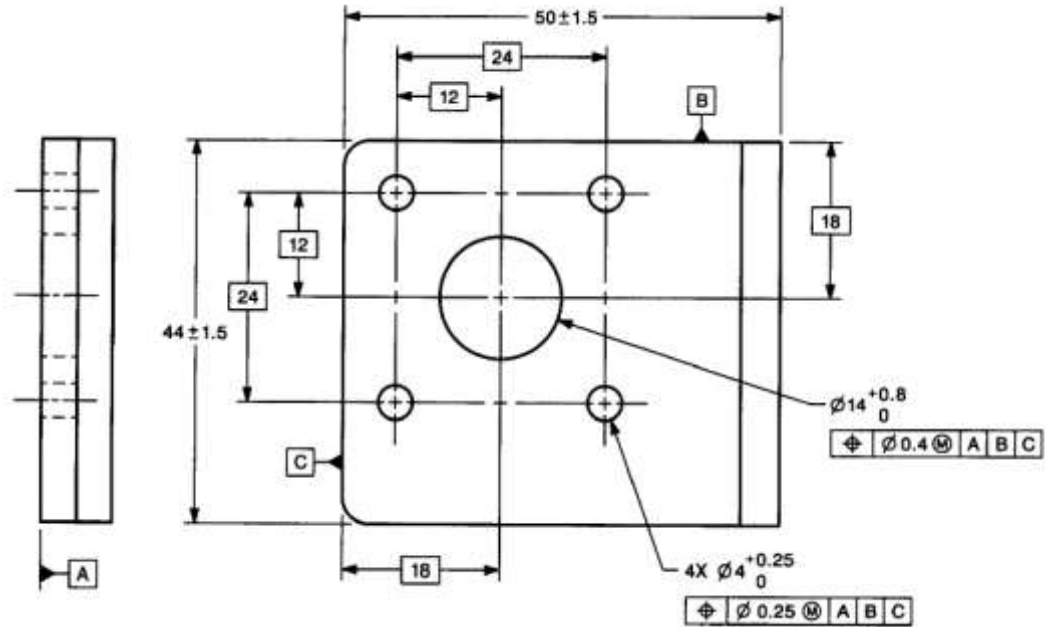
홀의 위치를 규제하는데 그 기준인 데이텀을 A 데이텀을 우선으로, 두 번째 데이텀인 B를 MMC 조건으로 부여하였다. 이는 이후 게이지의 개념과 연계되어 그 요구사항 그대로를 정확하게 사용하게 될 것이다.

위치도의 첫 번째 사례는 평면과 홀 형체의 MMC를 부여한 것이라는 것만 기억해 두자.

두 번째 사례는 <도면 5-5>의 세 데이텀이 모두 평면형체로 데이텀에 재료조건 부여가 불가능한 형체를 다룬다. 1/2/3차 데이텀 A/B/C가 바닥 면/위쪽 면/좌측 면으로 모두 평면형체이고 이를 기준으로 4개의 작은 홀과

1개의 중앙 홀의 위치를 규제하는 사례이다.

<도면 5-5>

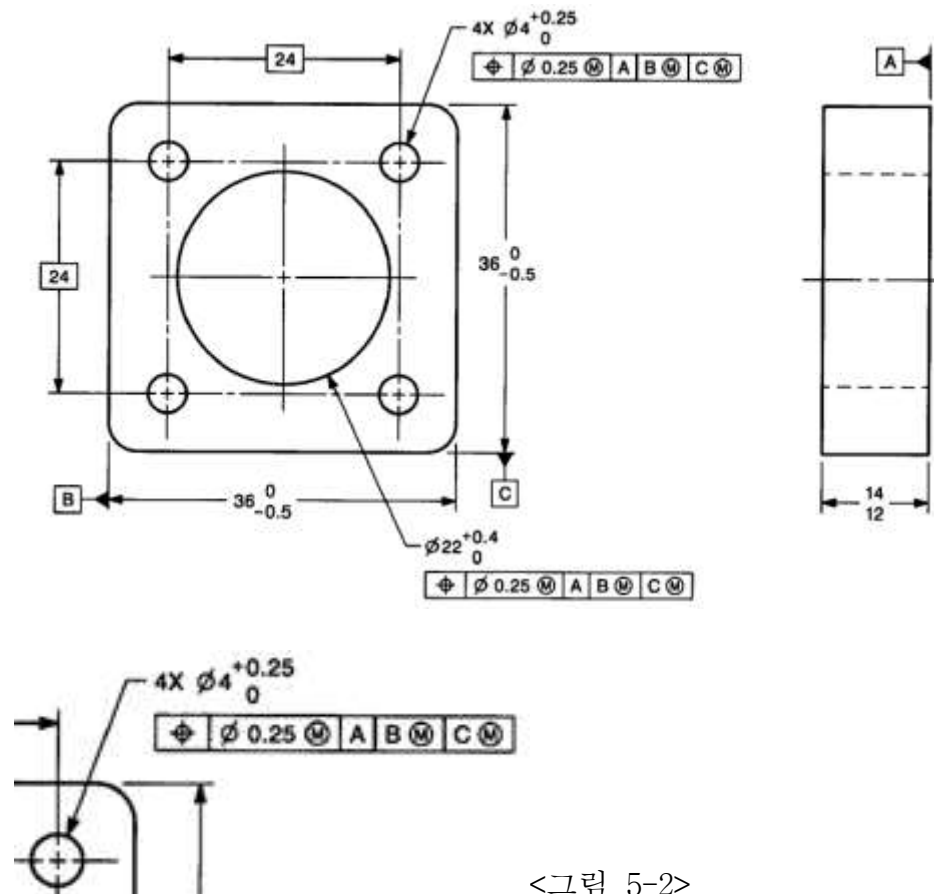


그 요구사항이 세 평면 데이텀을 기준으로 MMC 재료조건에서 각각 $\varnothing 0.4\text{mm}$, $\varnothing 0.25\text{mm}$ 로, 상대물이 홀 들을 이용하여 체결되는 제품으로 판단할 수 있다.

세 번째 사례는 <도면 5-6> 하나의 평면 데이텀과 두 개의 중간면을 가지는 형체로 구성된 것이다.

1차 데이텀은 A데이텀으로 평면이고, 2/3차 데이텀은 각각 제품의 폭 및 높이를 지시하는 형체이다. 따라서 2/3차 데이텀은 중간면을 가지는 형체 다시 말해, 크고 작은 크기를 가지는 형체로 재료조건 부여가 가능한 것이다.

<도면 5-6>



<그림 5-2>

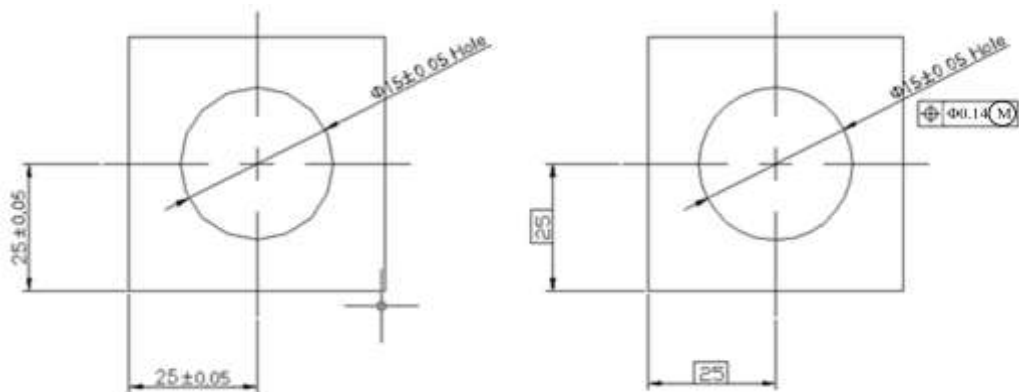
<그림 5-2>와 같이, 규제한 제품에 4개의 작은 홀과 1개의 중앙 홀을 규제하는데 있어, 1차 데이텀을 A데이텀으로, 2/3차 데이텀을 MMC 로 규제하였다.

부여된 데이텀 및 재료조건에 대하여 공차영역을 구분하는 것은 4장을 통해 다른 기하공차 특성으로 알아보았고, 앞으로의 과정을 통해 게이지와 관련된 진정한 의미를 알 수 있게 될 것이다.

5-1-2. 직교좌표 치수공차와 위치도 공차

직교좌표 치수공차와 위치도 공차의 관계에 대하여 1장에서 언급한 바 있다. 직교좌표의 공차영역에 해당하는 가로, 세로의 공차범위는 위치도 공차로 표기할 때, 피타고라스의 정리에 따라 대각선의 값을 지름으로 하는 공차영역을 아래의 <그림 5-3>과 같이 부여한다.

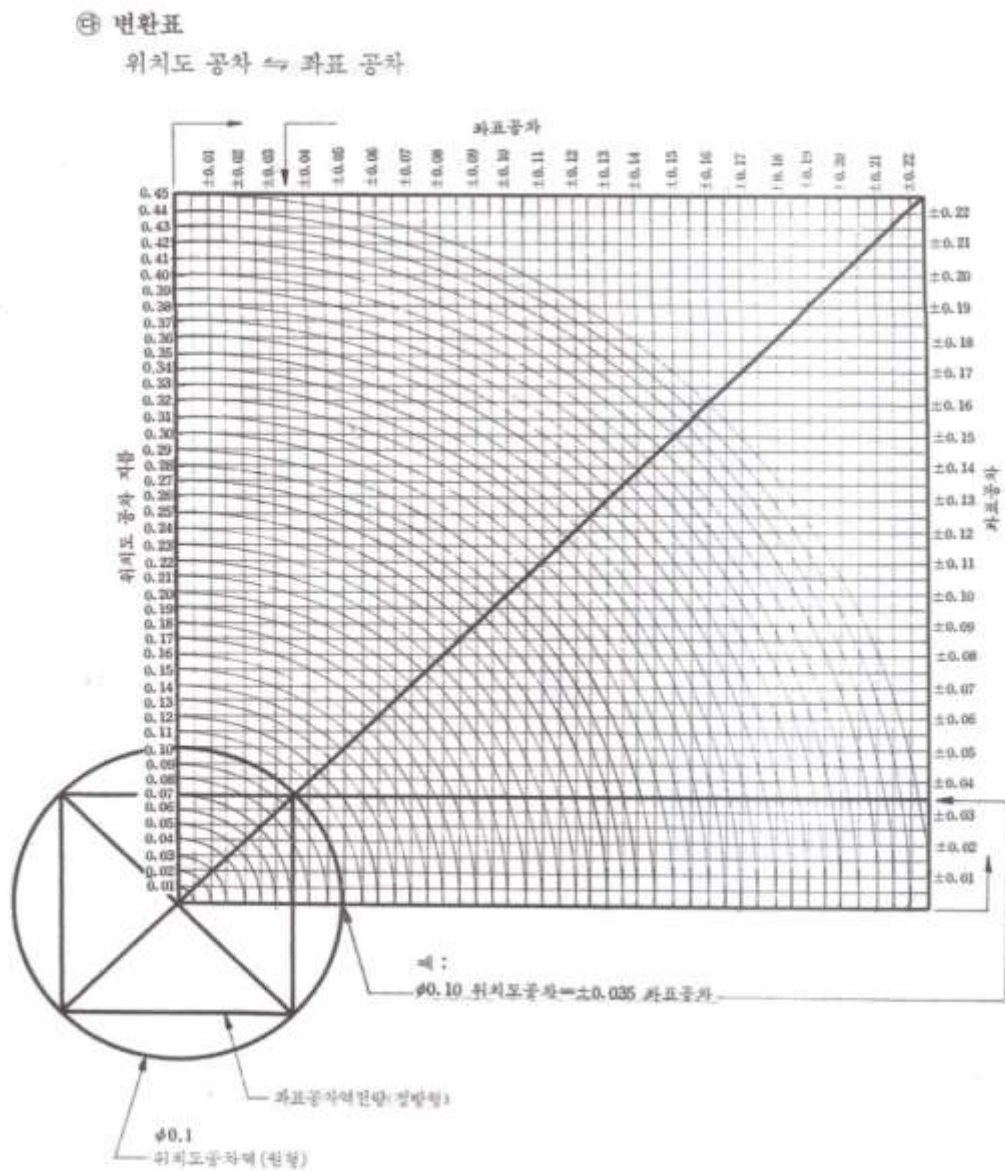
<그림 5-3>



즉, 가로, 세로 각각 0.1mm, 0.1mm인 직교좌표의 공차영역은 위치도 공차로 변환하면 $\Phi 0.14\text{mm}$ 의 공차영역으로 변환된다.

이런 변환의 방법으로 변환표를 이용할 수도 있으니 참고하면 된다.

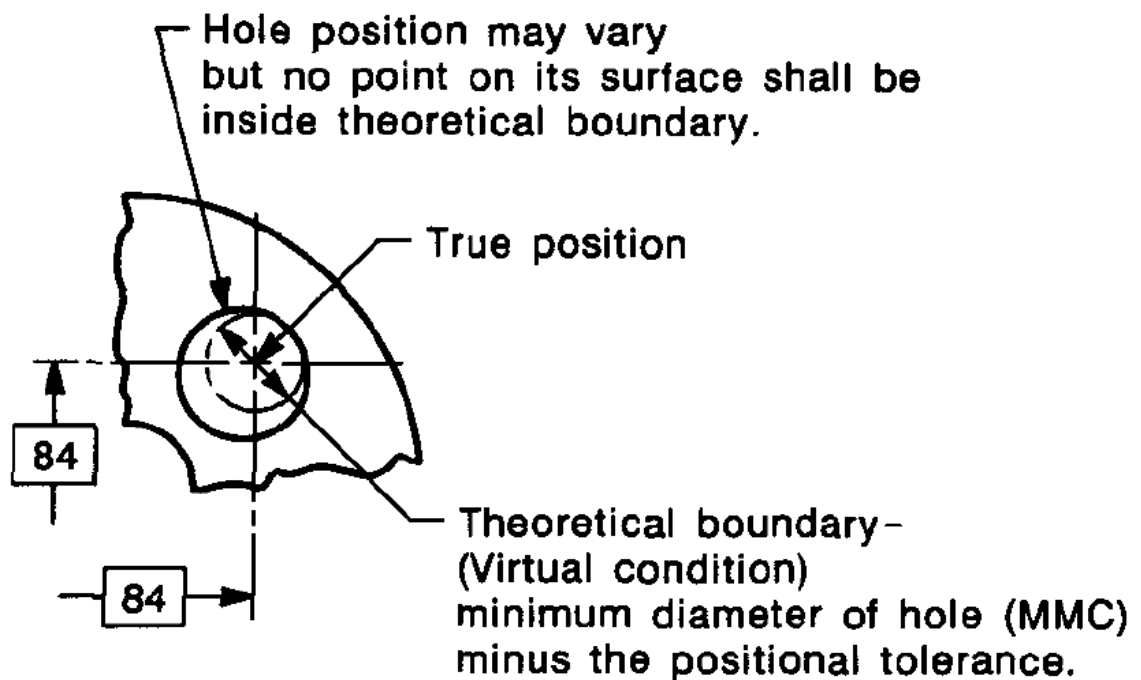
<표 5-1>



5-1-3. MMC 위치공차

위치도 공차에 MMC 재료조건을 포함한 공차의 기본해석에 대해서는 <그림 5-4>와 같이 홀 표면의 어떤 요소도 진 위치에서 위치되어 있는 이론적인 경계의 내측에 있어서는 안 된다.

<그림 5-4>



이론적인 경계란 제품인 홀 측면에서는 넘지 말아야 할 경계의 역할을 하고, 게이지의 측면에서는 실효조건에 해당되는 치수로 계속 중요하게 다루어지는 개념이 된다.

그 공차영역에 대한 개념은, 홀이 MMC 조건일 경우, 그 축심은 진 위치에 놓여져야 하는 원통 공차영역 내에 있어야 하는데, <그림 5-5>와 같이 다음의 세가지 상황이 개념적으로 적용된다.

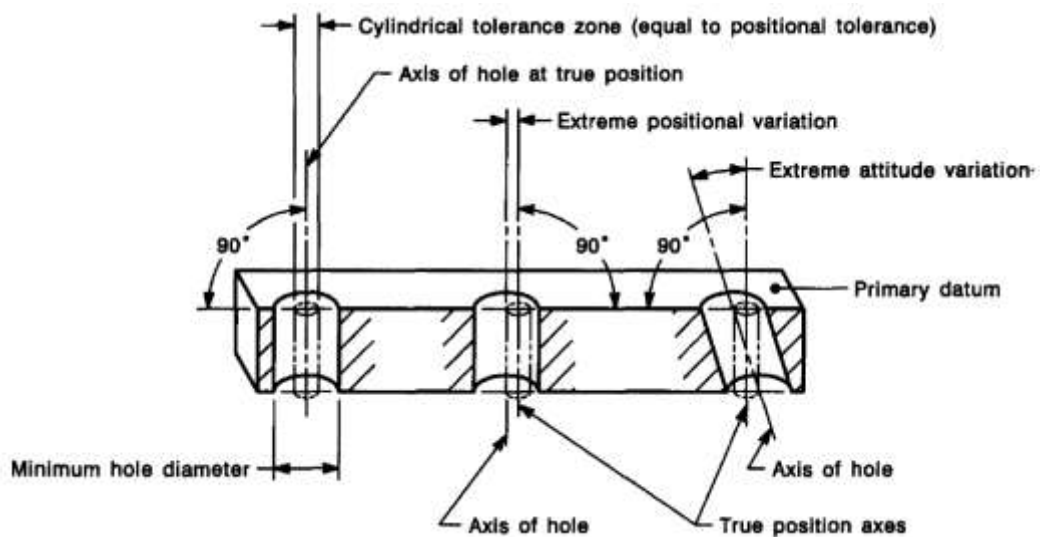
좌측의 첫 번째 경우는 실제 홀의 중심이 진 위치 축(공차영역의 중심)과

일치하는 경우를 표현한 것이고,

중앙의 두 번째 경우는 실제 홀의 중심이 진 위치 축의 좌측(공차영역의 가장자리, 앞서 다뤘은 공차의 한계 값)으로 치우쳐 있는 경우,

우측의 세 번째 경우는 실제 홀의 중심이 공차영역 내에서 기울어져 공차역의 양 끝 단에 제품 홀의 중심이 들어있는 형상을 나타낸다. 이 세 경우 모두 양품에 해당된다.

<그림 5-5>



결국 어떤 형태든 공차영역 안에 제품의 중심이 들어오기만 하면 된다는 의미가 된다.

위치도의 요구사항에 MMC 재료조건이 부가되면, 앞의 다른 특성들과 마찬가지로 다음의 정의가 적용된다.

홀의 실제결합치수가 MMC보다 클 때 위치도 공차영역이 추가되며, 공차의 증가는 MMC 한계치수와 홀의 실제 결합치수와 차이다.

이것이 위치도에서도 가능한 이유는 공차의 증가가 기능과 호환성의 요구를 만족하면 사용 가능한 제품이 되기 때문이다.

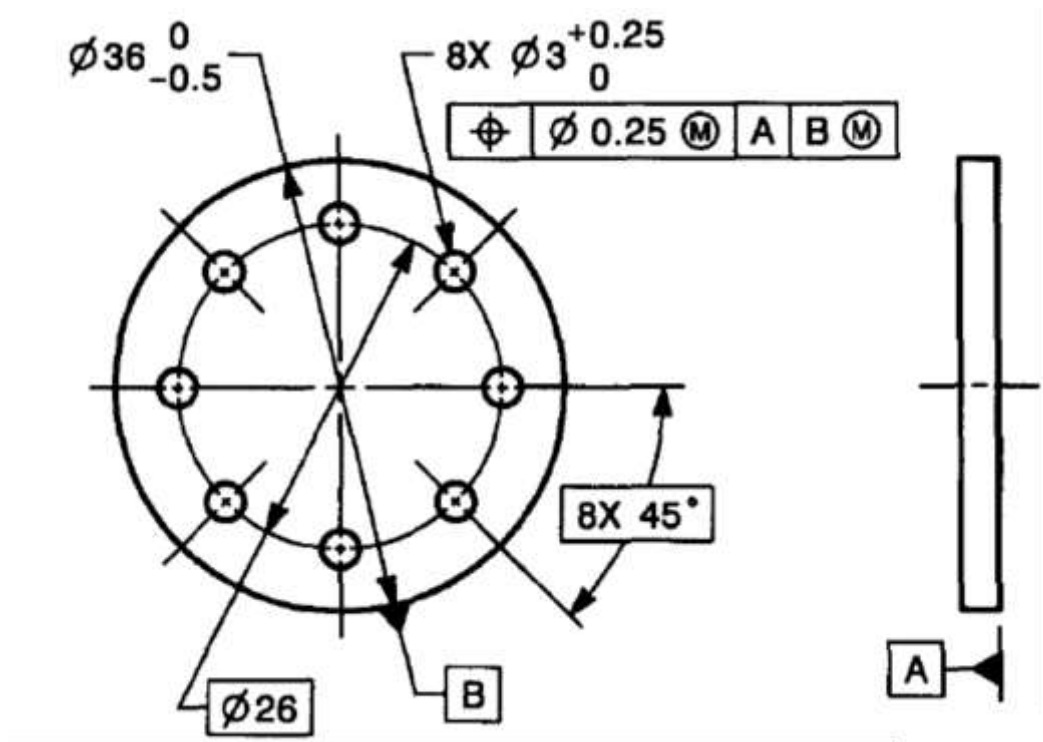
또한 어떤 경우에 치수공차와 기하공차가 정확히 같지 않을 경우, 치수공차의 해석이 우선한다.

5-1-4. 위치공차의 게이지 개념

이제부터는 게이지에 대한 개념을 도입하여 위치도 공차를 적용하여 보자.

<도면 5-7>과 같은 $\Phi 36\text{mm}$ 의 제품에 8개의 홀이 나 있다. 홀의 크기는 $\Phi 3\text{mm}$ 에 공차가 +측으로만 0.25mm 가 부여되어 있다.

<도면 5-7>



홀의 위치와 관련된 공차영역이 MMC 조건에서 $\Phi 0.25\text{mm}$ 가 부여되어 있고, 1차 데이텀으로 A데이텀인 제품의 바닥 면이, 2차 데이텀으로 제품의 외형 크기 값인 $\Phi 36$ 치수의 MMC 조건이 부여되어 있다.

물론 위치도의 정의와 같이 기준치수를 나타내는 $\Phi 26$ 및 45° 를 부여하여진 위치를 명기하였다.

가정하여, 이 도면을 기준으로 제품을 2만개 만들었고, 몇 일 후에는 2만개의 제품을 납품하여야 하는데, 홀의 위치가 도면상 규제에 맞도록 만들어졌는지 확인을 하여 납품해야 할 경우 어떻게 홀의 위치가 규격에 맞도록 제작되었는지 알 수 있을까?

물론 밤을 새워 일일이 제품의 위치를 재는 방법이 있겠지만, 2만개를 일일이 재는 것이 쉬운 일은 아닐 것이다. 결국 게이지를 만들어 들어가는지를 확인하여 홀의 위치를 판단하는 것이 좋을 것이다. 그렇다면 게이지는 어떻게 생겨야 할까?

물론 게이지를 설계하려면, 게이지공차 및 마모여유도 부가하여야 하지만 지금 우리는 게이지에 대한 개념만 다뤄보기로 한다.

우선 데이텀 요구사항에 따라 1차 데이텀인 A 데이텀이 게이지에 반영되어야 하므로 A 데이텀의 형체를 따르는 평면을 설정해야 한다.

다음으로는 2차 데이텀인 B 데이텀을 규제하여야 하는데, B 데이텀이 MMC로 규제되어 있으므로, B 데이텀의 MMC 치수인 $\Phi 36\text{mm}$ 로 제작한다.

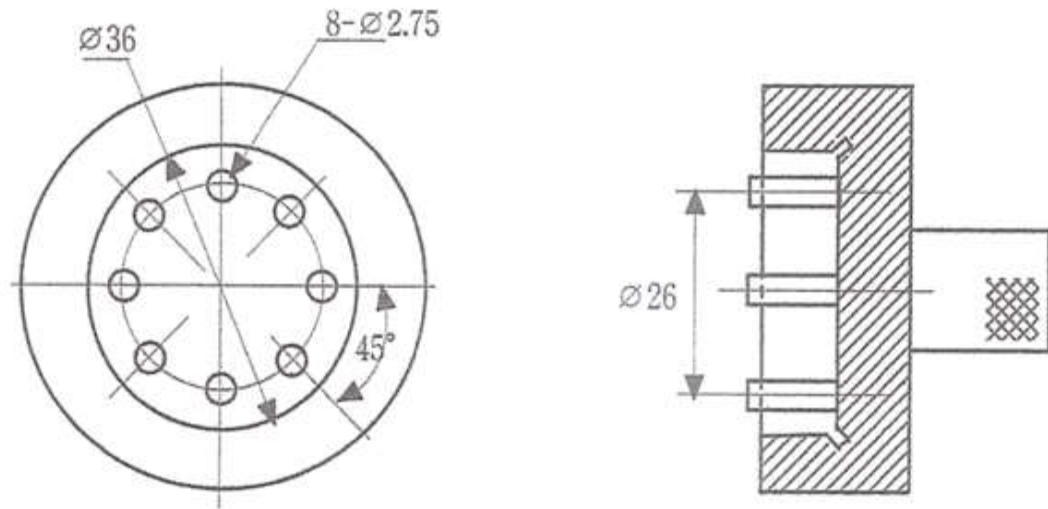
마지막으로는 8개의 홀 위치를 확인하기 위한 8개의 핀이 서야 하는데, 이것은 실효치수를 구하여 핀을 만들어야 한다.

실효치수는 홀 치수에 허용공차 값을 (홀이니까 내접해야 하므로) 빼주게 된다. 즉, $\Phi 3\text{mm}$ 에 허용되는 공차가 $\Phi 0.25\text{mm}$ 이므로 $\Phi 2.75\text{mm}$ 가 실효치수가 된다. 결국 $\Phi 2.75\text{mm}$ 의 핀이 8개 만들어지게 된다.

설명한 개념이 정리되면, 아래 <그림5-6>과 같은 게이지 개념이 만들어지게 된다. 이 개념 아래에서 다음의 개념이 성립하게 되는데,

데이텀 B가 MMC로부터 벗어나면 그 축심은 이동될 수 있다는 것이다.

<그림 5-6>



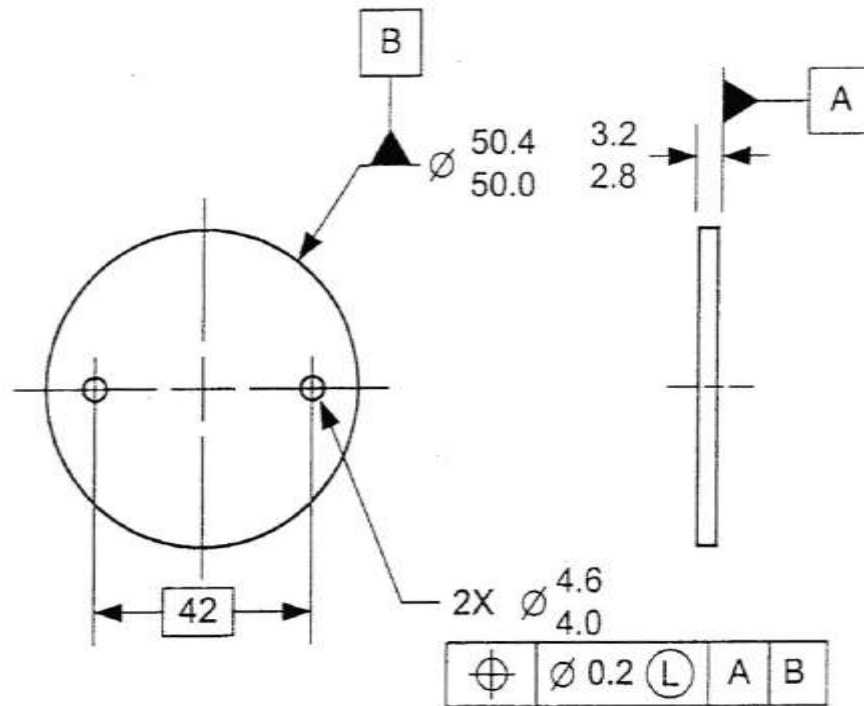
이 말의 의미는, 만일 제품이 $\Phi 36\text{mm}$ 이라면, 제품은 게이지에 정확히 밀착되어 여유가 없게 끼워질 것이다. 이 경우 데이텀인 B의 유동이 불가능하며, 이 개념이 데이텀으로부터 발생하는 보너스 공차가 없는 개념이 된다.

만일 제품이 $\Phi 35.5\text{mm}$ 이라면, 제품은 게이지 안에서 개념적으로 0.5mm 만큼 유동되게 된다. 이 값이 데이텀으로부터 발생하는 변화량(보너스 공차)의 개념이 된다.

유사한 개념으로 실효치수로 제작된 $\Phi 2.75\text{mm}$ 에 대하여 최소 $\Phi 3\text{mm}$ 의 제품 홀이 끼워지게 되므로, 0.25mm 의 여유가 있으며, 만일 홀 치수가 $\Phi 3.25\text{mm}$ 라면 0.5mm 의 여유를 갖게 된다. 이것이 앞서 허용공차 값으로서 계산해 왔었던 값들의 의미이다.

만일 제품이 아래와 같은 요구사항을 가졌다면, 어떤 개념을 차이가 있게 될지 알아보자.

<도면 5-8>

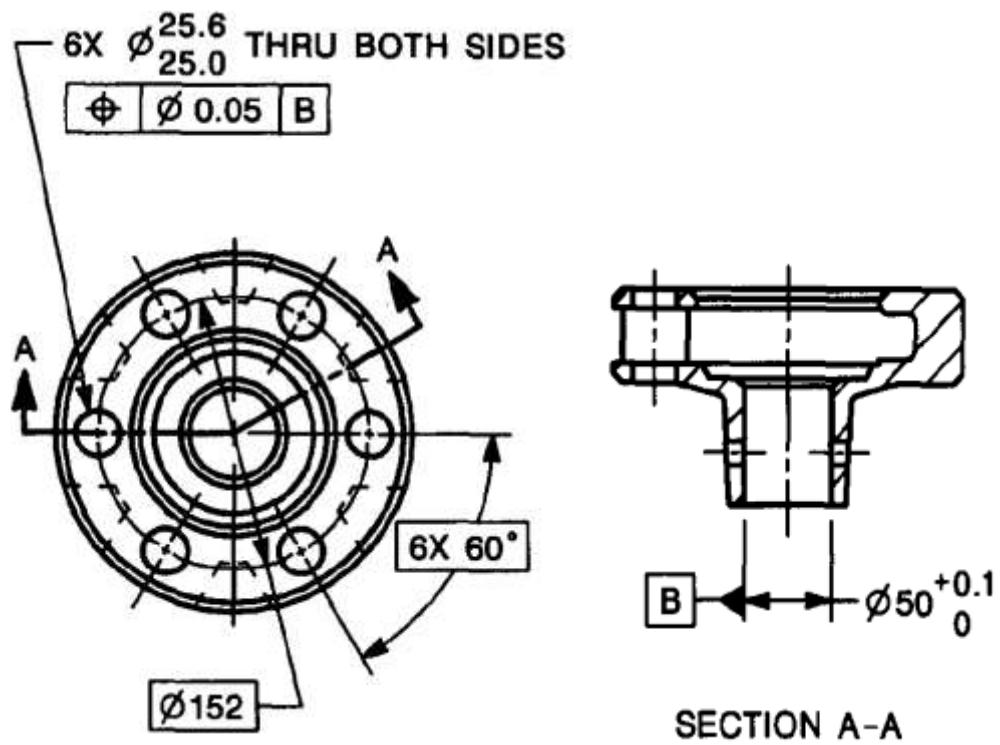


개념은 이전 설명한 개념과 유사한, 원 판에 홀 두 개가 나 있고 홀의 위치를 규제한 사례이다. 물론 이 위치를 LMC 로 규제했지만, 여기서 중요한 것은 데이텀에 부여된 재료조건을 중심으로 살펴보기로 하자.

A 데이텀의 규제에 만족하기 위해 바닥 면을 설정하고, B 데이텀의 규제를 위해 위 사례와 같이 원형 형체를 감싸는 형상이 되어야 한다. 하지만 여기서 B 데이텀은 재료조건 규제가 가능한 $\Phi 50.0\text{mm} \sim \Phi 50.4\text{mm}$ 의 값을 가진 형체인데, RFS 재료조건을 부여했으므로 보너스 공차가 발생하지 않는다. 따라서 게이지의 개념이 보너스 공차가 발생하지 않게끔 가변식으로 만들어져야 한다.

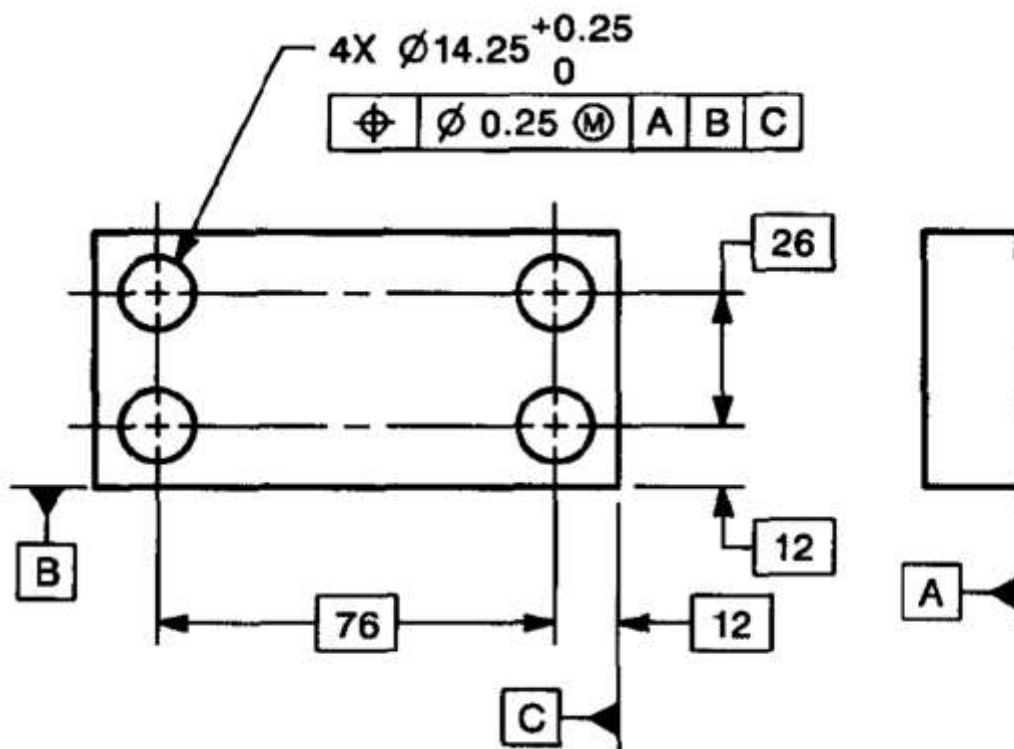
결국 RFS 로 규제를 한다는 것은 MMC보다 정밀한 규제(MMC보다 많이 제한)를 한다는 의미이다.

<도면 5-9>



간단한 사례를 통해 위치도 공차 부여의 의미를 알아보자.

<도면 5-10>



위의 <도면5-10>과 같이 $\Phi 14.25\text{mm}$ 에 +공차를 가진 홀이 있다고 하자. 이 홀에는 14mm의 볼트를 이용하여 조립된다고 할 때,
위치도 공차는,

$$T(\text{위치도 공차}) = H - F = \Phi 14.25 - \Phi 14 = \Phi 0.25\text{mm}$$

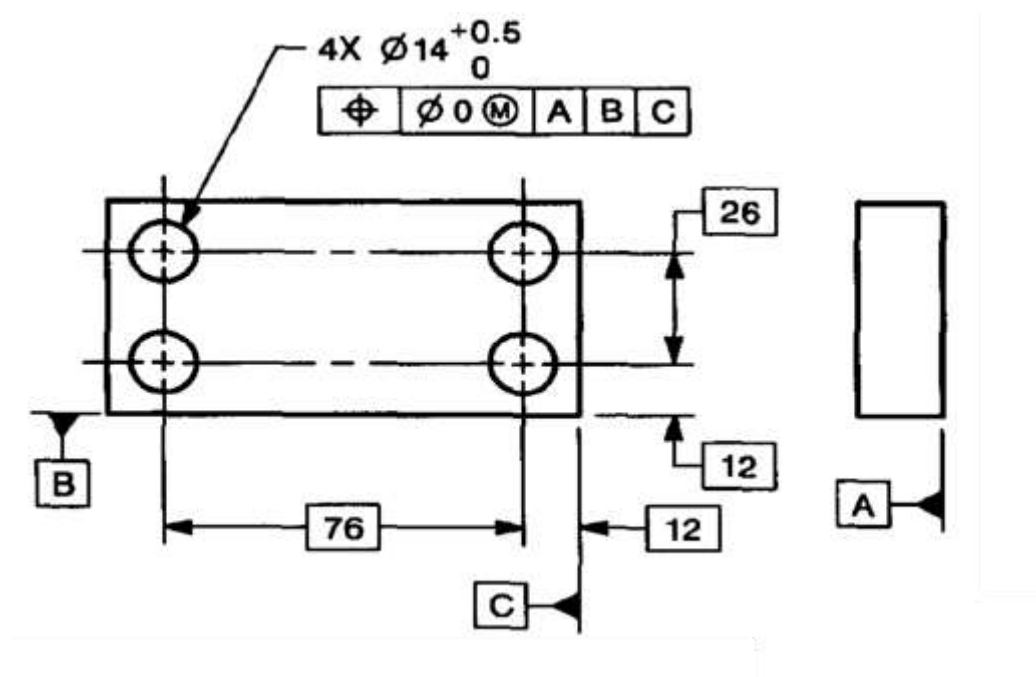
가 되며, 형체규제기호 안에 부여된 $\Phi 0.25\text{mm}$ 가 이 값을 의미한다.

위 사례에 대한 0 공차의 의미를 추가로 확인해 보자.

<도면 5-11>과 같이 0 공차가 부여되면, MMC 조건인 제품치수 $\Phi 14\text{mm}$ 에서 공차가 없다는 뜻이며, 치수의 차이에 따른 추가공차의 허용만이 가능하게 된다. 이 값을 정리하면 아래 <표 5-2>와 같다.

앞에서 0 공차와 관련된 사례를 다룬 것과 같은 규칙이 적용되므로, 동일한 개념으로 적용하면 된다.

<도면 5-11>



<표 5-2>

헐거운 홀의 직경 (형체의 실제 결합치수)	허용되는 위치도 공차(ϕ)
14.0	0
14.1	0.1
14.2	0.2
14.25	0.25
14.3	0.3
14.4	0.4
14.5	0.5

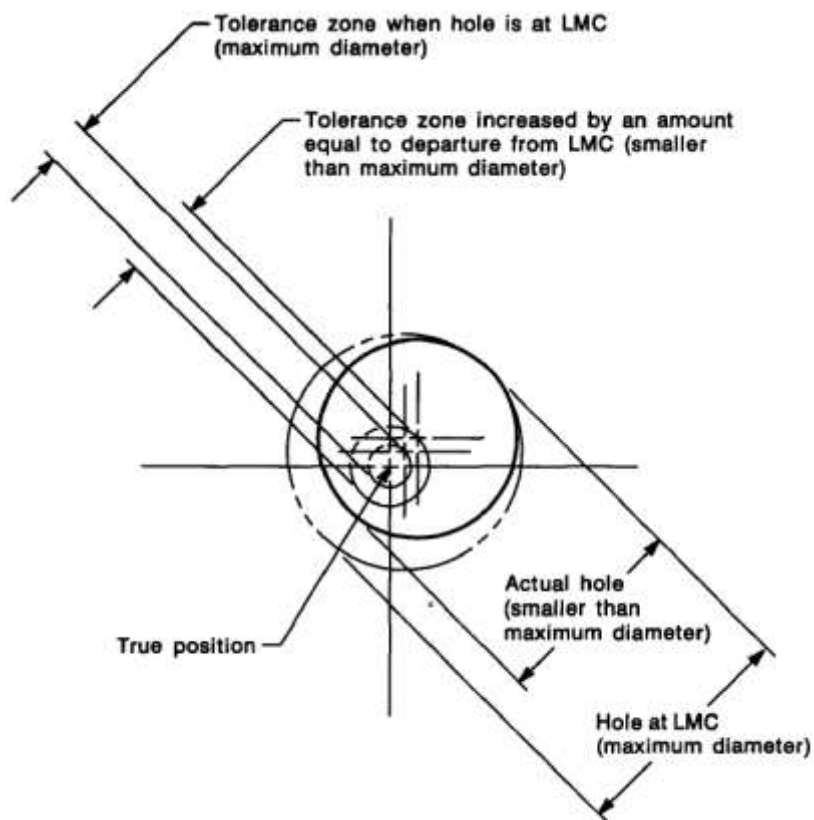
MMC에서의 위치도 공차방식의 원리는 다른 방식이 허용되는 것보다 기능적인 한계범위 내에서 공차를 더 크게 할 필요가 있을 경우에 적용을 넓힐 수 있다는 것이다.

5-1-5. 위치도 공차와 관련된 LMC

앞서 LMC 재료조건에 대해서는 1장에서 규칙만 간단히 알아 보았었다. 앞서 약속한 대로, 여기서 LMC의 적용에 대한 사례 두 가지를 확인해 보고 개념을 습득하도록 한다.

LMC규격은 LMC에서 완전한 형상을 요구한다. (MMC에서의 완전형상을 요구하지 않는다) 또한 LMC 한계치수에서 벗어날 경우, 그 양만큼 위치도 공차가 증가된다.

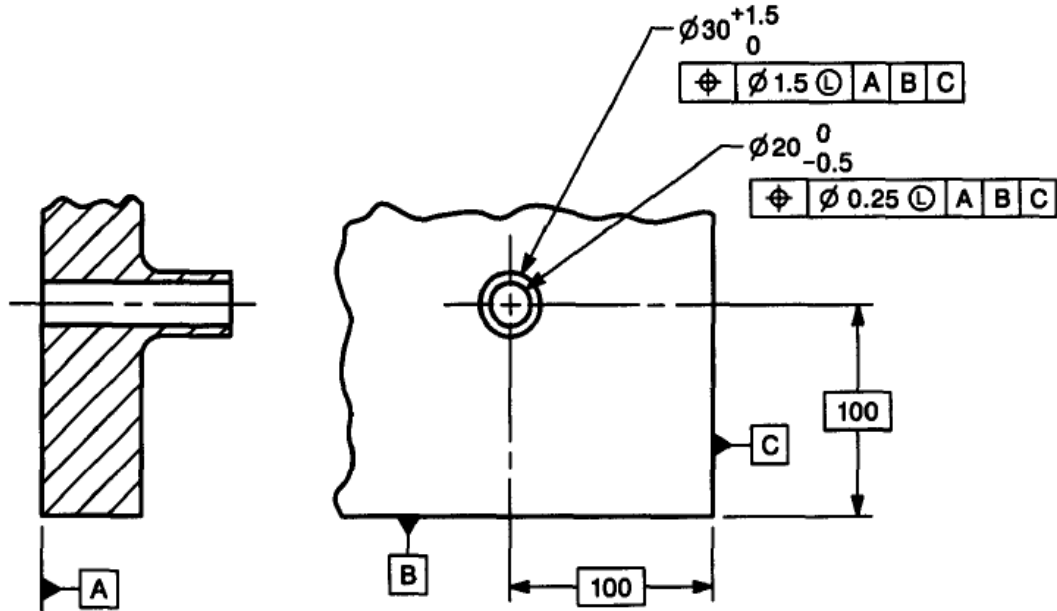
<그림 5-7>



LMC의 적용 사례 첫 번째는 제품의 강도를 요구하는 두께와 관련된 사항이다. 아래의 그림과 같이 제품의 일부 형상인 Pipe의 두께와 관련하여, 만일 요구사항이 양품인 어떤 경우에도 요구하는 치수 이상의 두께가 유

지되는 것이 필요한 경우에 LMC 재료조건이 사용된다.

<도면 5-12>



제품의 일부 형상으로 외측 치수 $\Phi 30\text{mm}$ 와 내측 치수 $\Phi 20\text{mm}$ 가 요구된 Pipe의 형체에 대하여, 외측은 $+1.5\text{mm}$, 내측은 -0.5mm 의 치수 공차가 부여되어 있다.

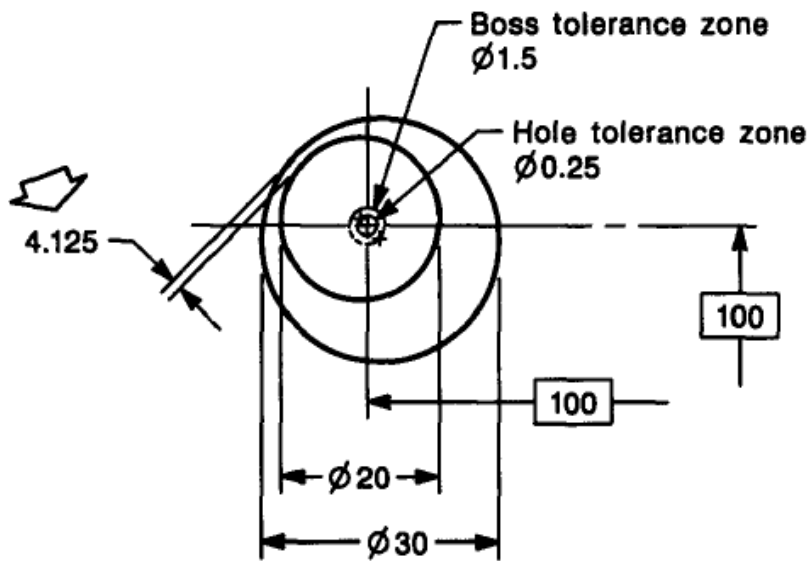
각 치수 조건에서 LMC인 공차를 외측 $\Phi 1.5\text{mm}$, 내측 $\Phi 0.25\text{mm}$ 의 위치공차로 요구한 사항에 대하여, 목적으로 한 4.125mm 가 어떤 경우에도 만족하는지 검증해 보자.

첫 번째는 도면에 요구된 대로 LMC의 경우부터 검토해 보자.

도면에 요구된 외측치수의 LMC는 $\Phi 30\text{mm}$ 에 해당되며, 이때 부여될 수 있는 위치공차의 한계 값은 도면에 명기된 대로 $\Phi 1.5\text{mm}$ 가 된다. 이 의미는 위치도 또는 GD&T의 정의와 같이 기준치수 세로 측 치수 B 데이텀으로부터 100mm 와 가로 측 치수 C 데이텀으로부터 100mm 의 진 위치로부터 공차 영역 $\Phi 1.5\text{mm}$ 의 범위 내에 실제품의 중심이 위치하면 양품인 것이다.

또한 내측치수의 LMC는 $\Phi 20\text{mm}$ 에 해당되며, 이때 부여될 수 있는 위치공차의 한계 값은 도면에 명기된 대로 $\Phi 0.25\text{mm}$ 가 된다. 마찬가지로 진 위치를 기준으로 공차영역 $\Phi 0.25\text{mm}$ 의 범위 내에 실 제품의 중심이 위치하면 양품인 것이다.

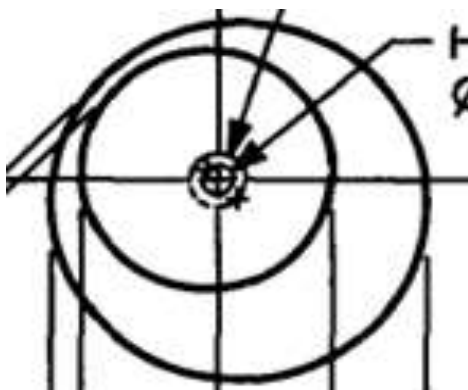
MEANS THIS AT LMC



<그림 5-8>

우리는 어떤 경우에도 Pipe의 벽 두께가 4.125mm를 만족하는지 확인하는 것이므로, 이 두 조건을 만족하는 모든 경우에 있어 벽 두께가 가장 작은 경우를 찾아보아야 한다.

내/외측의 위치로 가능한 경우 중에 벽 두께가 가장 작은 경우는 두 공차 영역에서 가장 먼 위치에 두 형체의 중심을 설정하면 된다.



<그림 5-9>

즉, <그림 5-9>와 같이 두 공차영역에서 $\Phi 1.5\text{mm}$ 의 공차영역에 아래의 + 표기된 부분에 외측 형체의 중심을 잡는다면, $\Phi 0.25\text{mm}$ 공차영역 중의 중심은 위쪽 +표기된 곳에 중심을 잡을 수 있다. 이보다 더 멀리 중심을 잡을 수는 없으므로 공차영역 내에서 취할 수 있는 어떤 경우에도 이보다 더 중심이 먼 경우는 없을 것이다.

이렇게 설정된 두 중심을 기준으로 각각 $\Phi 30\text{mm}$, $\Phi 20\text{mm}$ 의 외측과 내측의 LMC 형체를 그리면, 두 형체로 이루어진 제품의 벽두께는 중심으로 선택한 두 점의 연장선 상에, 한쪽은 가장 두꺼운 두께 부분이 다른 한쪽에는 가장 얇은 벽 두께의 부분이 만들어지게 된다. LMC 조건에서 이보다 더 작은 벽 두께는 없으므로 최소의 벽 두께는 4.125mm 가 된다. 따라서 목적으로 하는 최소 벽 두께에 대한 검증을 LMC 조건에서 수행했다.

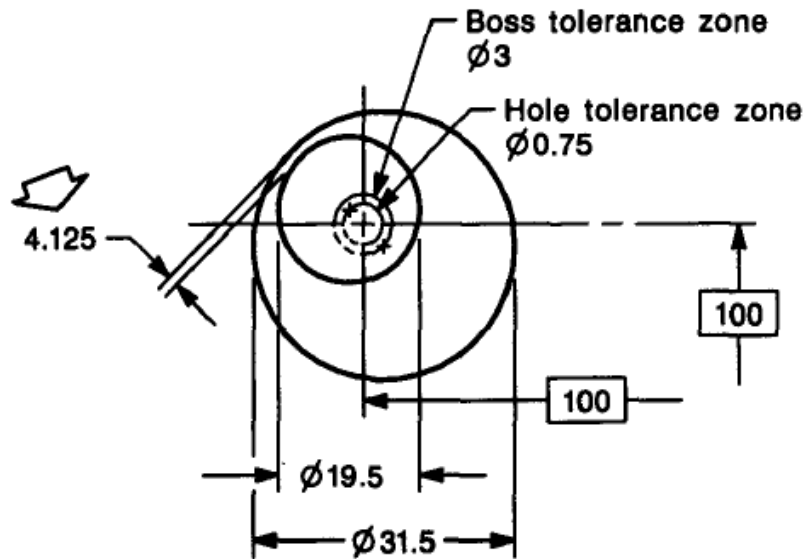
다음으로는 도면에 요구된 반대 조건인 MMC의 경우를 확인해 보자.

도면에 요구된 외측치수의 MMC는 $\Phi 31.5\text{mm}$ 에 해당되며, 이때 부여될 수 있는 위치공차의 한계 값은 도면에 명기된 $\Phi 1.5\text{mm}$ 에 치수 값의 차이로 인해 발생하는 보너스공차 $\Phi 1.5\text{mm}$ 가 더해져 $\Phi 3.0\text{mm}$ 가 된다. 이 의미 또한 위치도 또는 GD&T의 정의와 같이 기준치수 세로 측 치수 B 데이텀으로부터 100mm 와 가로 측 치수 C 데이텀으로부터 100mm 의 진 위치로부터 공차영역 $\Phi 3.0\text{mm}$ 의 범위 내에 실제품의 중심이 위치하면 양품인 것이다.

또한 내측치수의 MMC는 $\Phi 19.5\text{mm}$ 에 해당되며, 이때 부여될 수 있는 위치공차의 한계 값은 도면에 명기된 $\Phi 0.25\text{mm}$ 에 치수 값의 차이로 인해 발생하는 보너스공차 $\Phi 0.5\text{mm}$ 가 더해져 $\Phi 0.75\text{mm}$ 가 된다. 마찬가지로 진 위치를 기준으로 공차영역 $\Phi 0.75\text{mm}$ 의 범위 내에 실 제품의 중심이 위치하면

양품인 것이다.

MEANS THIS AT MMC



<그림 5-10>

MMC 조건에서 또한 어떤 경우에도 Pipe의 벽 두께가 4.125mm를 만족하는 지 확인하는 것이므로, 이 두 조건을 만족하는 모든 경우에 있어 벽 두께가 가장 작은 경우를 찾아보아야 한다.

내/외측의 위치로 가능한 경우 중에 벽 두께가 가장 작은 경우는 MMC 경우의 두 공차영역 $\Phi 3\text{mm}$ 와 $\Phi 0.75\text{mm}$ 중에서 가장 먼 위치에 두 형체의 중심을 설정하면 된다.

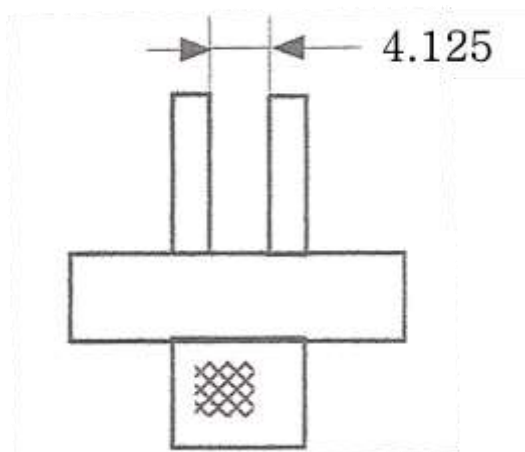
LMC인 경우와 마찬가지로 가장 먼 중심을 설정하고, 이렇게 설정된 두 중심을 기준으로 각각 $\Phi 31.5\text{mm}$, $\Phi 19.5\text{mm}$ 의 외측과 내측의 MMC 형체를 그리면, 두 형체로 이루어진 제품의 벽두께는 중심으로 선택한 두 점의 연장선 상에, 한쪽은 가장 두꺼운 두께 부분이 다른 한쪽에는 가장 얇은 벽 두께의 부분이 만들어지게 된다. MMC 조건에서도 이보다 더 작은 벽 두께는 없으므로 최소의 벽 두께는 4.125mm가 된다. 따라서 목적으로 하는 최소 벽 두께에 대한 검증을 MMC 조건에서도 수행했다.

물론 제품은 MMC와 LMC만 존재하는 것은 아니다. 그 중간에 무수히 많은 경우의 치수 및 공차영역이 존재하며, 이것을 모두 검증하고 싶지만, 지면관계상 4.125mm보다 작은 경우는 없다는 것으로 간단히 정리하겠다.

이 사례에 대해 정리하면, LMC 재료조건이 적용된 첫 번째 사례로서, LMC 재료조건을 사용하여 최소의 벽 두께를 유지할 목적을 달성할 수 있다.

여기서 LMC 게이지에 대한 개념을 확인해 보자. 제품에 규제된 LMC의 목적은 어떤 경우에도 4.125mm보다 작은 경우가 없도록 하는 것이 목적이다. 따라서 제품이 만들어지면 4.125mm보다 작은 양품이 아닌 것들을 가려내야 하는데, 앞에 다뤘던 들어가야 양품인 게이지에 대한 개념으로는 이 LMC 규제를 만족할 수 없다.

따라서 LMC의 경우에는 양품인 것들을 가려내야 하는데, 양품인 것들은 항상 4.125mm 이상이어야 하므로, 게이지는 4.125mm를 폭으로 하는 No-Go 게이지가 적용될 수 있다.

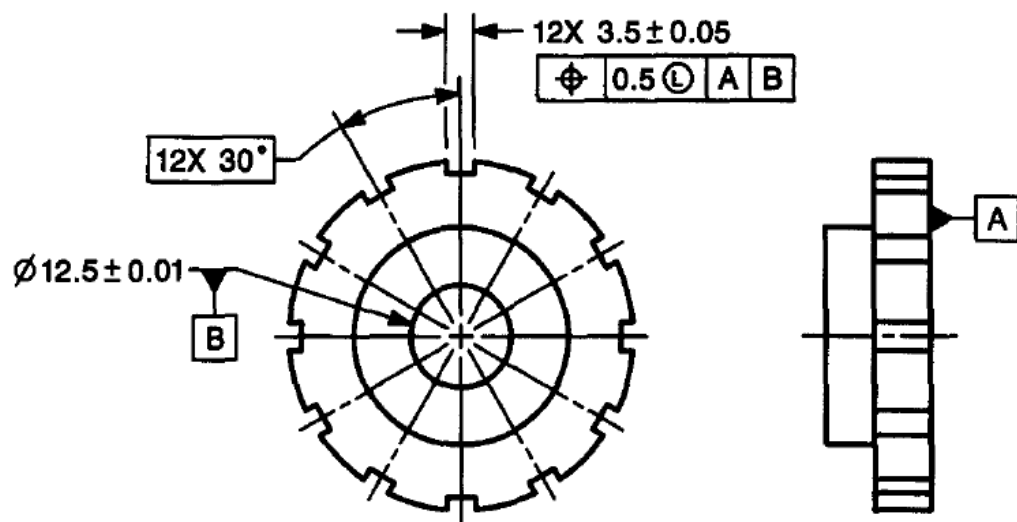


<그림 5-11>

결국 들어가지 않아야 양품이라는 것이고, 들어가는 경우에는 4.125mm 보다 작은 제품인 경우이므로 양품이 아닌 것이다.

LMC의 적용 사례 두 번째는 한 제품 내에서 일부 형체의 극한의 위치확보와 관련된 사항이다. 극한의 위치확보란 양품이라면 최소한 이 영역 안에는 어떤 경우에도 들어온다는 개념을 말한다. 아래의 그림과 같이 제품인 기어의 일부 부분 형상인 기어 홈의 위치와 관련하여, 만일 요구사항이 양품인 어떤 경우에도 요구하는 치수 이내에 들어오게 되는 것이 필요한 경우에 LMC 재료조건이 사용된다.

<도면 5-13>

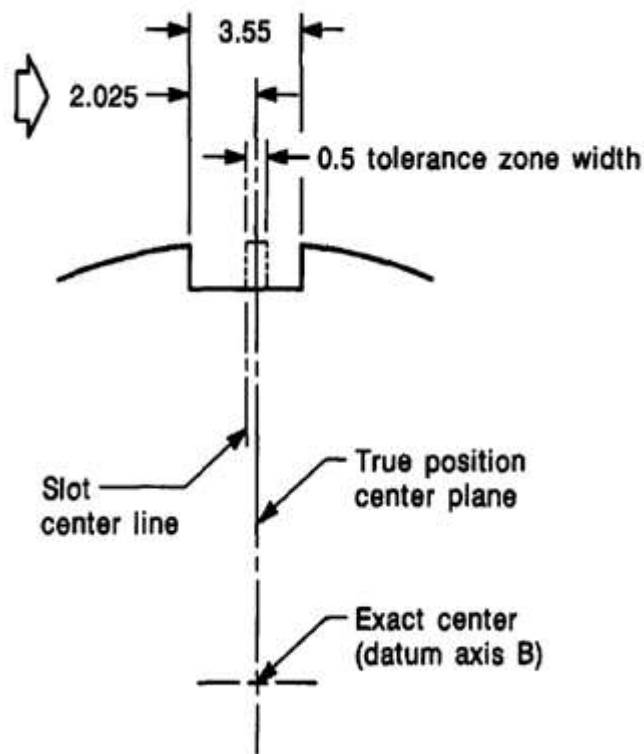


이 제품에 대하여 검토하는 개념의 전제는, 이 제품이 결합부품의 회전축선의 일치가 중요한 경우에 해당된다. 따라서 데이텀인 A와 B를 기준으로 기어 홈의 위치를 규제한 것이다.

우선 <도면 5-13>에 요구된 치수에 대한 것부터 하나씩 따져 보기로 하자. 기어의 홈이 $3.5 \pm 0.05\text{mm}$ 의 치수로 규제되어 있으므로, 홈의 치수는 $3.45\text{mm} \sim 3.55\text{mm}$ 의 범위에 있어야 한다.

LMC인 경우는 홈 치수가 3.55mm 이고, 이때 위치도 공차가 0.5mm 이며, 개념은 아래의 <그림 5-12>와 같다.

MEANS THIS AT LMC



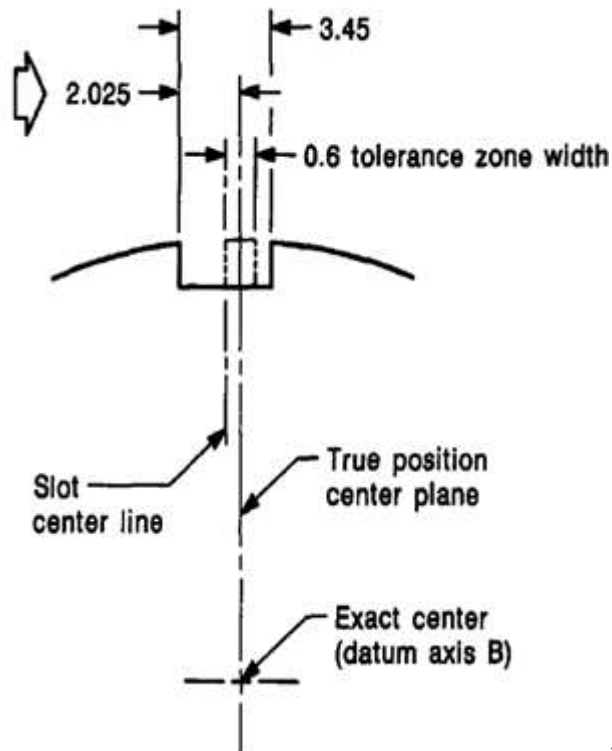
<그림 5-12>

LMC 3.55mm의 홈이 0.5mm만큼의 위치공차를 허용하므로, 홈이 0.5mm의 범위 내에서 위치하면 양품이라는 의미가 된다. 결국 홈의 폭에 해당되는 양 쪽 벽면이 위치할 수 있는 가능성은 $3.55\text{mm} + 0.5\text{mm} = 4.05\text{mm}$ 내에 있으며, 제품의 특성상 B 데이텀인 기어 축의 중심을 기준으로 작동되므로, B 데이텀 중심을 기준으로 하여 4.05mm를 반으로 나눈 2.025mm 내에 위치하게 된다.

정리하면, 기어 홈의 한쪽 벽면은 기어의 중심을 기준으로 LMC인 경우에 2.025mm 내에 위치하게 된다.

MMC인 경우는 홈 치수가 3.45mm이고, 이때 위치도 공차가 0.5mm에 치수 변화 량에 해당되는 0.1mm만큼 추가되어 0.6mm의 위치도 허용공차를 가지게 된다. MMC에 대한 개념은 아래의 <그림 5-13>과 같다.

MEANS THIS AT MMC



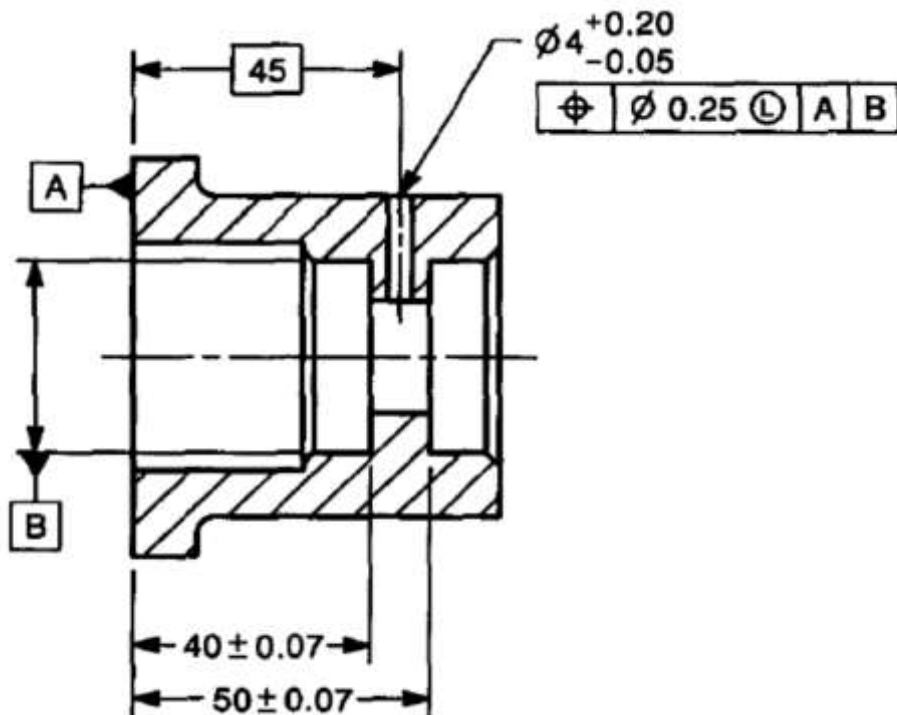
<그림 5-13>

MMC 3.45mm의 홈이 0.6mm만큼의 위치공차를 허용하므로, 홈이 0.6mm의 범위 내에서 위치하면 양품이라는 의미가 된다. 결국 홈의 폭에 해당되는 양 쪽 벽면이 위치할 수 있는 가능성은 $3.45\text{mm} + 0.6\text{mm} = 4.05\text{mm}$ 내에 있으며, 제품의 특성상 B 데이텀인 기어 축의 중심을 기준으로 작동되므로, B 데이텀 중심을 기준으로 하여 4.05mm를 반으로 나눈 2.025mm 내에 위치하게 된다.

정리하면, 기어 홈의 한쪽 벽면은 기어의 중심을 기준으로 MMC인 경우에도 2.025mm 내에 위치하게 된다.

위치와 관련된 간단한 사례를 하나 더 알아보자. 위와 같이 단일 형체에 적용되는 LMC의 사례이다.

<도면 5-14>



LMC 조건인 $\varnothing 4.2\text{mm}$ 인 홀일 때 $\varnothing 0.25\text{mm}$ 의 공차를 부여할 수 있고, MMC 조건인 $\varnothing 3.95\text{mm}$ 인 홀일 때 $\varnothing 0.5\text{mm}$ 의 공차를 부여할 수 있으므로, 큰 홀일 때는 작은 공차영역을 작은 홀일 때는 큰 공차영역을 부여함으로써 홀을 데이텀 A 기준으로 한정된 영역 안에만 있도록 하기 위한 것이 목적이다.

물론 홀의 위치가 중요하므로 RFS로 규제될 수 있으나, 설계의 고려사항에 따라 위치도 공차의 증가를 허용하도록 한 사례이다.

이상과 같이 두 개념의 LMC 사례를 알아보았다. LMC와 관련된 사례의 대부분은 위 두 범주에 속한다. MMC에 비교한다면 많이 쓰이지는 않으므로, 두 개념만 알아두면 될 것이다.

5-1-6. 위치도의 비용적 측면

위치도에 대한 기본 개념을 알아보았으니, 흔들림에 대한 개념과 함께 <

표 5-3>에서 정리를 해 보자.

<표 5-3>

개념	기하특성	
	전 흔들림	위치도(RFS)
공차영역	두 동심 원통	원통
공차역의 적용	공차지름의 표면요소들	공차지름의 형체 축
제품특성 규제	방향, 위치, 형태	방향과 위치
제조비용 관련	大	小
검사비용 관련	中	小

흔들림의 특성은 공차영역의 개념으로 보면 표면의 요구사항을 가지는 두 원통(가장 큰 지름과 가장 작은 지름의 전량 값)의 영역을 의미하며, 이 두 원통의 중심이 같다. 따라서, 공차영역은 공차지름의 표면요소들이 적용된다.

위치도는 공차영역이 원통의 개념으로, 공차지름 형체의 중심을 공차영역인 원통 안에 들어오도록 요구하는 특성이다.

흔들림은 앞서 4장에서도 설명했지만, 가장 많은 제품특성을 규제할 수 있는 것으로 방향, 위치, 형태를 규제할 수 있지만, 위치도는 방향과 위치만을 규제한다.

만일 제품이 샘플링을 통해 일부의 시료만 확인하여 나머지 모집단을 추

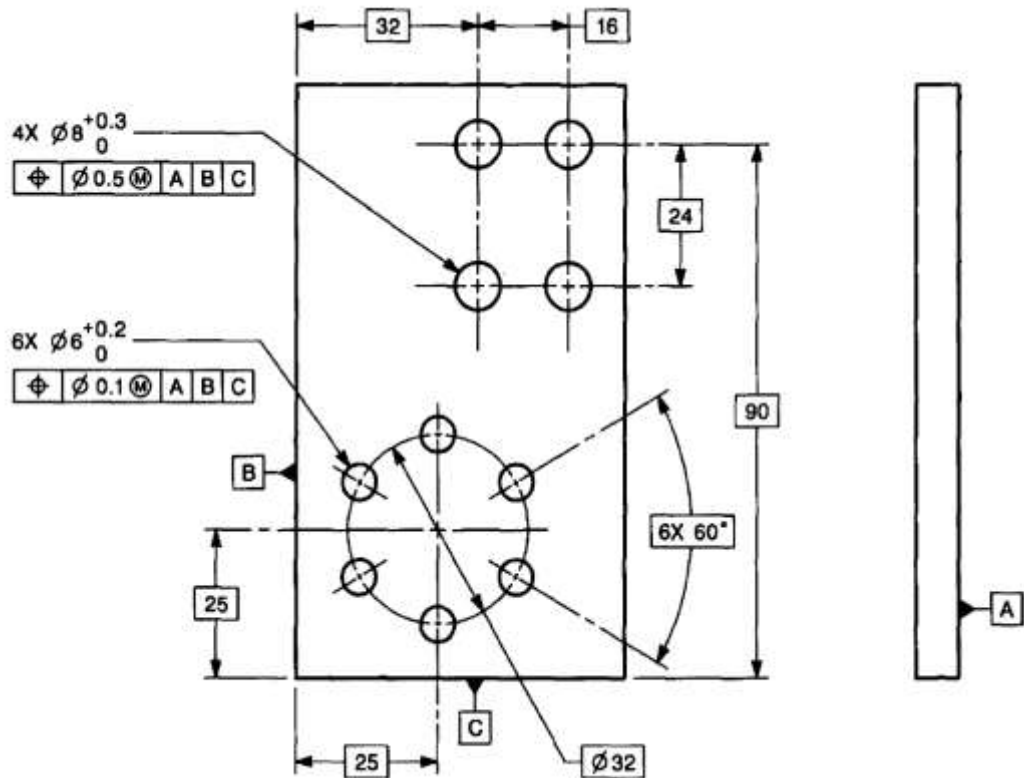
정할 수 있는 경우라면, 흔들림을 규제하여 일부 시료를 정확히 측정해 확인하는 것이 좋겠지만, 샘플을 통해 모집단의 추정이 불가능한 전수검사와 같은 특성이 부여된 항목에 흔들림을 부여하면, 검사에 엄청난 시간이 들어갈 수 있기 때문에, 이런 경우에는 위치도를 부여하여 게이지를 통해 쉽게 양/불량을 확인할 수 있게 하는 것이 바람직하다.

도면에 규제된 GD&T의 특성 요구사항에 따라 설계 이후의 제조 또는 검사 공정에서의 업무가 결정되므로, 도면에 부여되는 특성을 잘 선택해야 한다.

이것이 표의 마지막에 정리된 제조 및 검사비용이 위치도가 적게 들어가는 이유이다. 결국은 많은 사례에서 위치도를 사용하는 것이 비용과 관련된 것이며, 비용의 이점은 결국 게이지에서 나오게 되므로 GD&T의 많은 부분이 게이지와 관련되어 있다는 1장에서의 언급이 다시 한 번 강조된다.

5-1-7. 다중 패턴과 단일 패턴

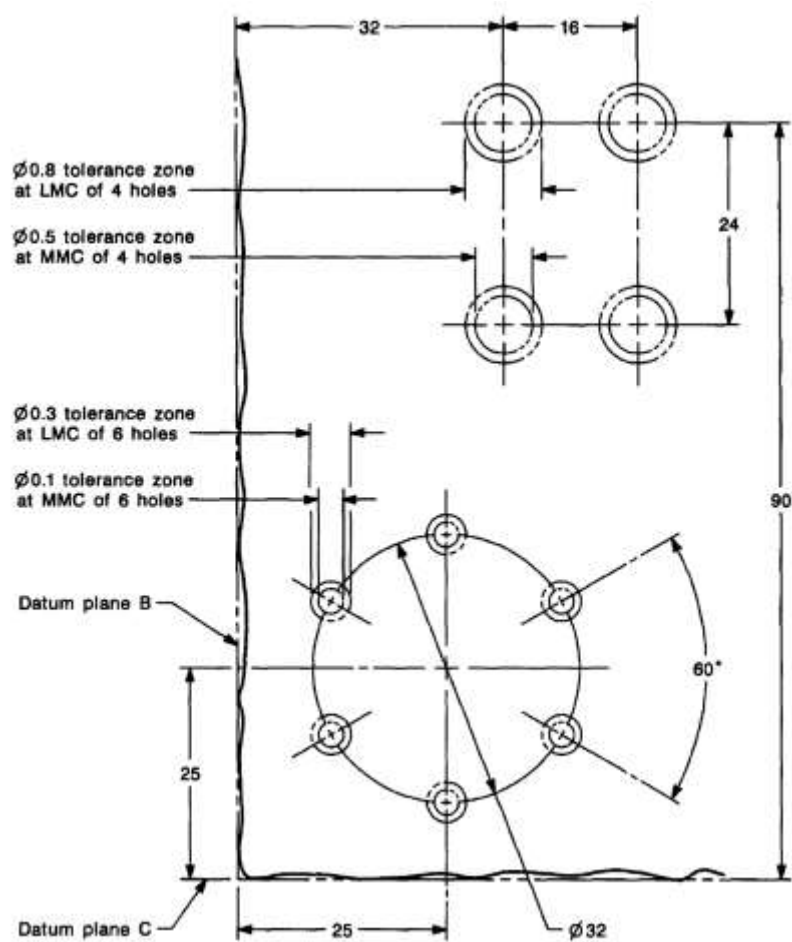
<도면 5-15>



다수 형체의 패턴이 치수공차에 의하지 않는 공통 데이텀 형체와 관련되거나 RFS의 기준으로 크기를 갖는 공통 데이텀 형체와 관련되어 위치될 경우, 단일패턴으로 고려한다.

이 의미는 위 <도면 5-15>와 같이 홀 4개 또는 홀 6개의 형체가 치수공차 아래에 하나의 형체규제 기호로 별도의 요구사항 없이 규제되면, 아래의 <그림 5-14>와 같이 함께 규제된 형체들은 같은 방향, 같은 위치로의 규제를 갖게 된다는 의미이다.

<그림 5-14>



이 약속은 도면상의 정의뿐만이 아니라 제품을 실제 제작하는 방법에 있어서도 굉장히 중요한 의미를 갖는다. 4개 또는 6개의 홀이 같은 공차영역을 갖는다는 의미는 제작 시에도 같은 공차영역을 갖도록 제작하여야 함을 의미하기 때문이다.

앞서 게이지와 관련하여 다룬 $\phi 36\text{mm}$ 의 원판에 $\phi 3\text{mm}$ 의 홀 8개가 나 있던 제품에 대하여 게이지를 만들어 봤던 것이 있다.

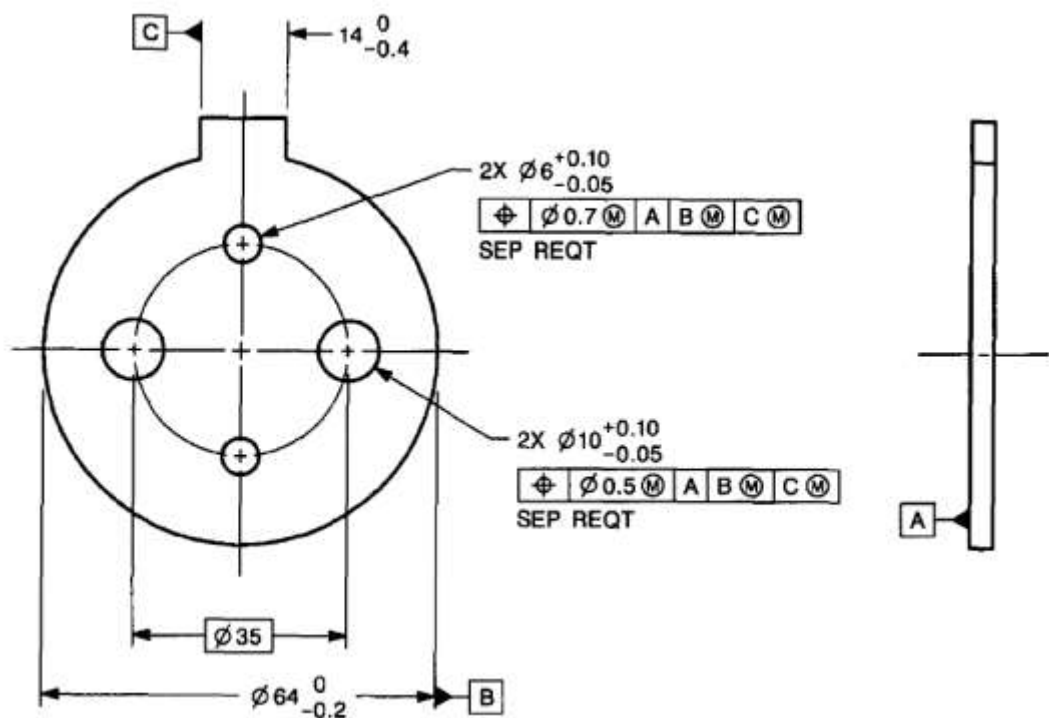
사실 그때에는 말하지 않았지만, 여기에 약속한 단일패턴에 대한 약속이 없다면 앞서의 원판의 홀 위치 검사하기 위한 게이지는 $\phi 2.75\text{mm}$ 의 핀 8개를 꼽는 수준에서 만들어질 수 없다. 그 전제가 이 단일패턴에 대한 약

속이 있기 때문에 가능한 것이고, 만일 이 약속이 원판 사례에 유효하지 않다면 원판의 홀을 검사하기 위한 $\Phi 2.75\text{mm}$ 의 핀들은 8개의 지름방향과 원주방향으로 움직이는 발을 가진 핀들이 되어야 한다.

이런 단일패턴이 아닌 경우는 도면상에 아래와 같이 “분리패턴(SEP REQT)” 이라고 명확히 명기해 주어야 한다.

형체규제 테두리 밑에 주기가 없다면 단일패턴으로 간주하므로, 이외에는 분리패턴이라고 명기한다.

<도면 5-16>



참고로 용어를 두 가지만 정의하고 가기로 하자. Y14.5는

패턴을 위치 결정하는 공차역의 형식 (Pattern-Locating Tolerance Zone Framework; PLTZF 프리즈)

형체와 관련된 공차역의 형식 (Feature-Relating Tolerance Zone Framework; FRTZF 플라즈)

라고 정의하고, 이 교재의 4, 5장에 해당하는 내용을 프리즈와 플라즈로 설명한다. 용어 자체가 혼동이 올 수 있게 표현되어 이 교재에는 프리즈를 패턴의 위치 요구사항, 플라즈를 패턴의 형체 요구사항으로 설명한다. 다만 GD&T의 기준서인 Y14.5에 많은 부분이 프리즈와 플라즈로 설명되므로 참고하기 바란다.

5-1-8. 복합위치도 공차 방식

복합위치도 공차의 의미에 대하여 아래의 세가지 경우를 가지고 의미 및 게이지와의 연계성을 파악한 게이지 개념 설계를 하겠다.

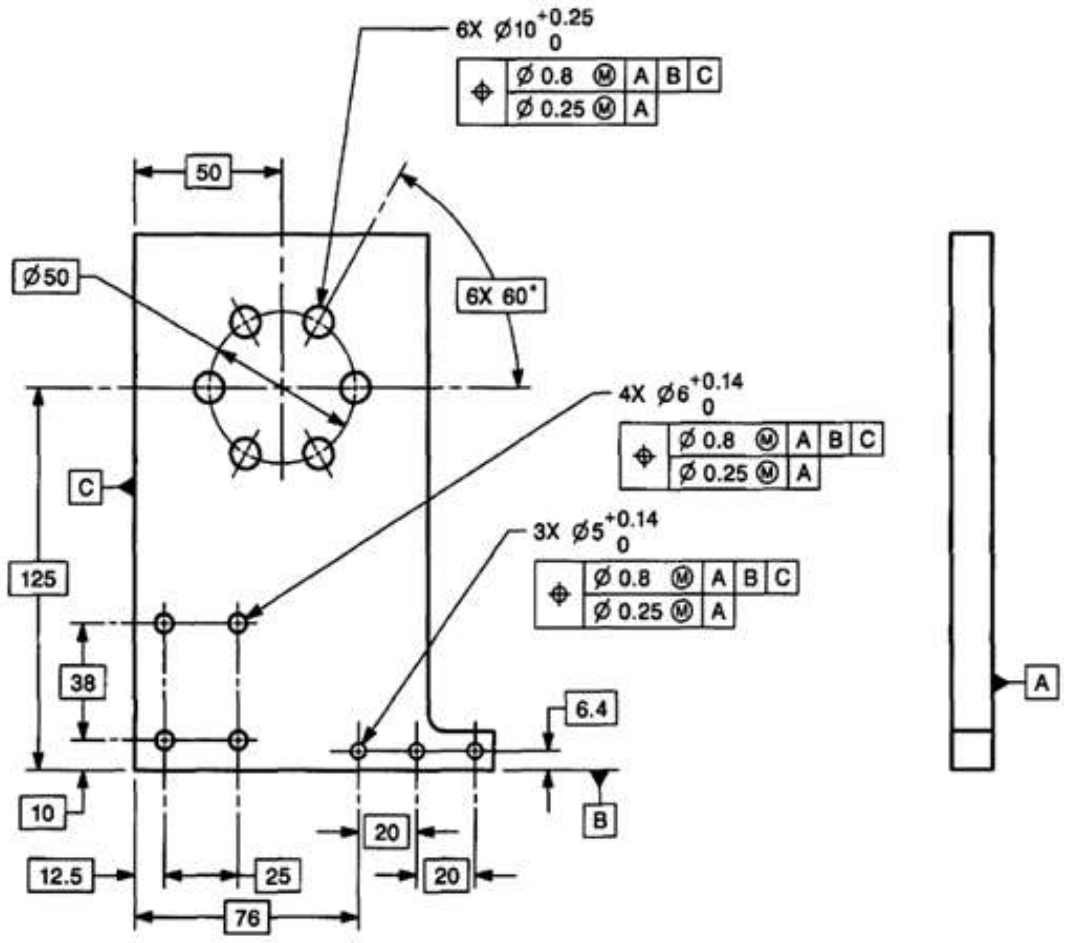
다만 여기에 설명되는 사례는 복합 규제에서 사용되는 데이텀을 게이지와 관련된 의미로 파악하기 위해 설정된 사례이기 때문에, 사용되는 데이텀들이 상/하 요구사항에 중복되어 사용되었다. 실제 사례에서도 이와 같은 데이텀의 중복사용이 적용되지 않는 것은 아니지만, 더 많은 사례에서 다른 데이텀을 상/하 기준으로 한 형체의 요구사항을 갖도록 목적한다. 이를 참고하여, 아래의 사례에 대해서는 복합위치도의 개념을 이해하는 데에 중점을 두어 개념을 파악하여 주면 좋겠다.

복합위치도의 기본 약속은 패턴 범위 내에서, 형체의 상호관계 및 형체 패턴의 위치를 추가적으로 규제하는 공차영역 규제 방식을 의미한다. 세가지 사례 모두 가장 간단한 형태인 홀 3개의 부분을 가지고 설명하고, 다른 6개, 4개의 홀은 동일한 규제를 가했으므로, 홀 3개의 개념을 확대 적용토록 하겠다.

복합위치도 첫 번째 사례는 아래의 <도면 5-17>과 같이 상/하 각 조건에

따른 위치도의 요구사항을 갖는 것이다.

<도면 5-17>



복합규제의 윗부분은 패턴의 위치 규제이며,

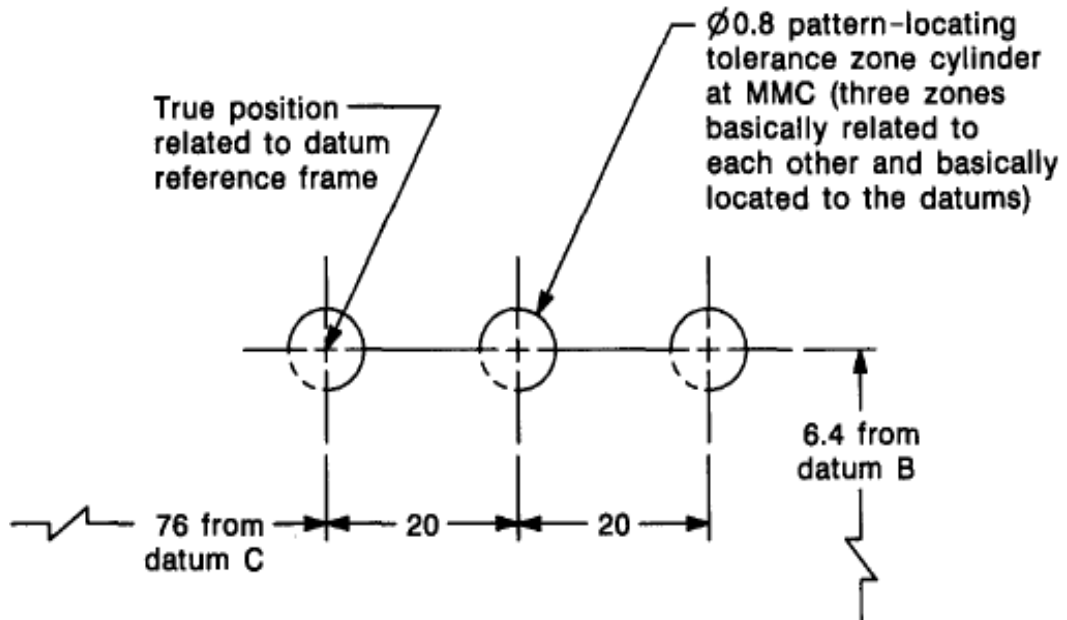
⊕	⌀ 0.8	(M)	A	B	C

A/B/C 데이텀으로부터 위치가 결정되며, 더 큰 위치도 공차인 $\Phi 0.8\text{mm}$ 로 규정한다.

이 의미는 데이텀 B를 기준으로 부여된 6.4mm의 기준치수와 데이텀 C를 기준으로 부여된 76mm의 기준치수를 이용해 진 위치를 설정하고, 진 위치를 중심으로 $\Phi 0.8\text{mm}$ 의 공차영역을 부여할 수 있다. 이때, 세 홀 간의 기

기준치수인 20mm, 20mm가 앞에 단일패턴의 요구로 약속한 이유로 부여된다.

<그림 5-15>



따라서, 위 공차영역 개념과 같이 B/C 데이텀을 기준으로 부여된 기준치수와 단일패턴의 약속으로 구성된 기준치수에 의해 진 위치가 결정되며, $\Phi 0.8\text{mm}$ 의 허용할 수 있는 값을 치수로 나타낸 영역이 허용된다. 이것이 복합규제의 상부 위치와 관련된 요구사항의 해석이다.

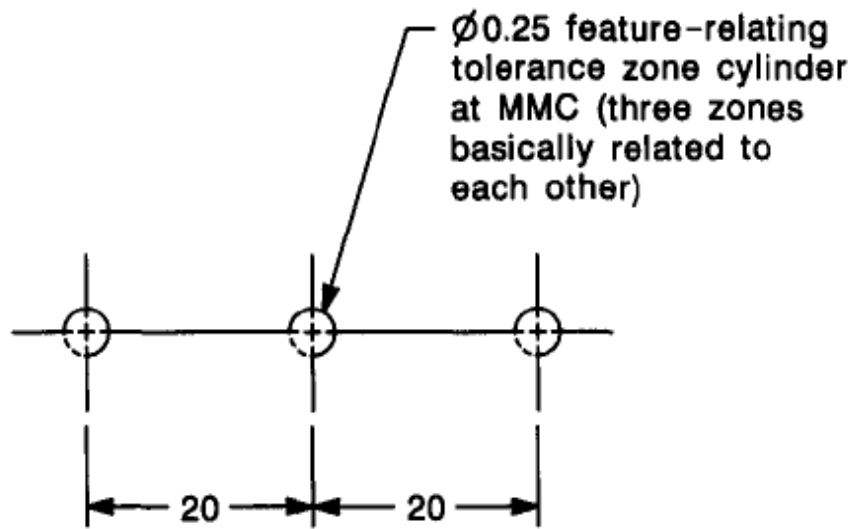
복합규제의 아래 부분은 패턴의 형체관련 규제이며,

Φ			
$\Phi 0.25 \text{ (M)}$			

A 데이텀으로부터 위치가 결정되며, 더 작은 위치도 공차인 $\Phi 0.25\text{mm}$ 로 규정한다.

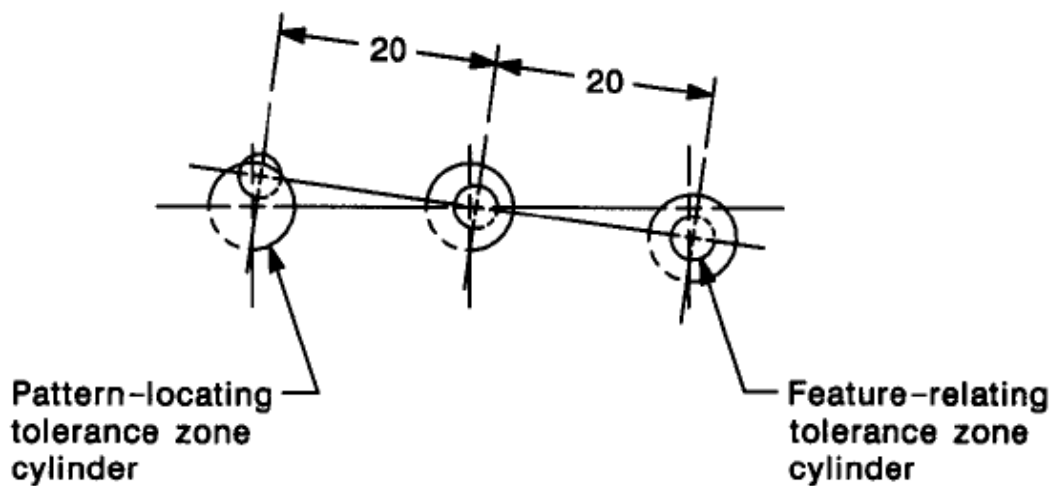
따라서 위치와 관련된 요구사항이 없으며, 세 홀간의 단일패턴의 약속만 가지는 진 위치를 중심으로 작은 공차영역인 $\Phi 0.25\text{mm}$ 를 부여한다.

<그림 5-16>



다만 아래쪽에 부여된 데이텀 A 효과 만을 보이며, B/C데이텀에 대해 경사진 형태가 될 수도 있다.

<그림 5-17>

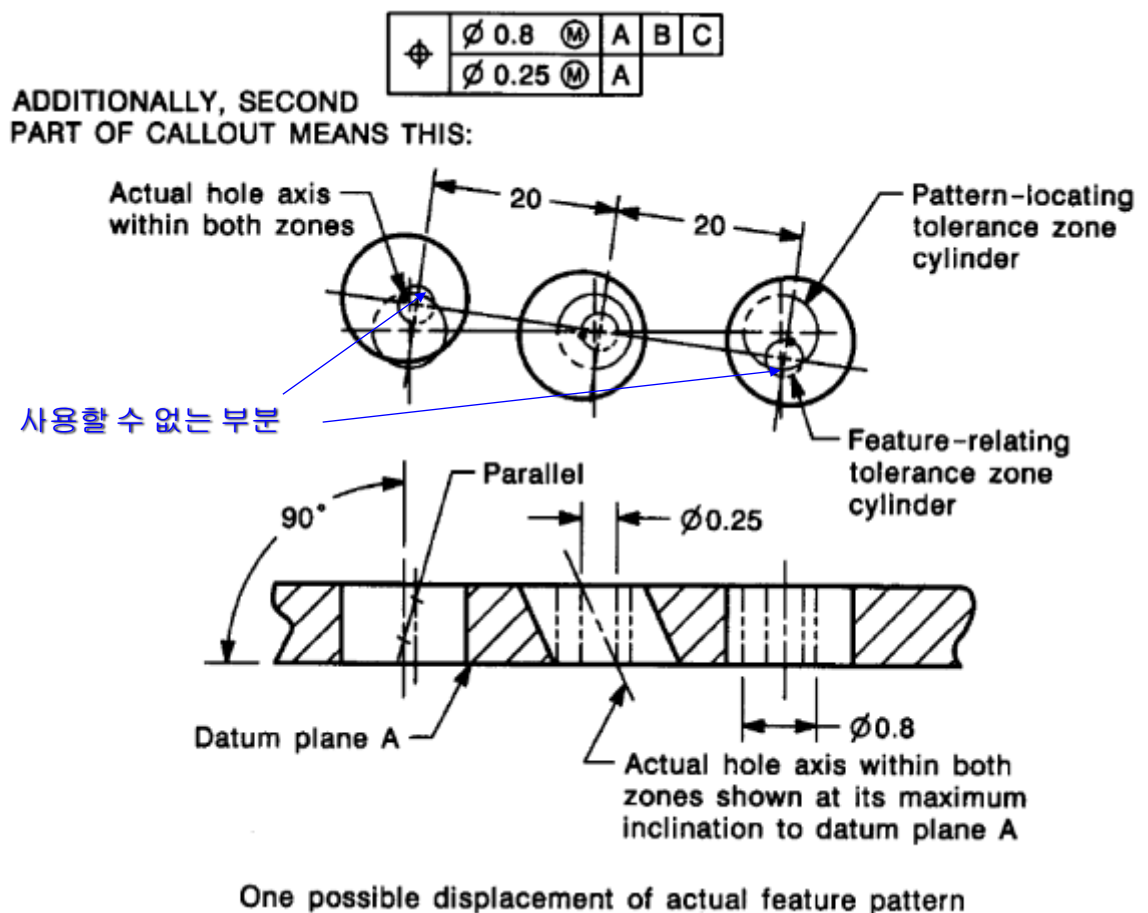


B/C 데이텀에 대한 요구사항이 없으므로 경사진 형태가 아닐 수도 있지만, 앞서 3장 데이텀의 설명 때도 말했듯이 여기에 다뤄지는 사례는 있을 수 있는 가능성 중에 큰 것을 말하는 것으로, 경사지지 않을 형태보다는 경사진 형태일 가능성이 크기 때문에 이렇게 설명하는 것이다.

복합위치도 공차에서 부여된 두 개의 요구사항은, 각 요구사항이 함께 만족되어야만 하는 규제이다. 둘 중에 하나만 만족해도 된다면 복합위치도를 부여하지 않았을 것이다.

결국 두 요구사항을 모두 만족한다는 것은, 공차영역의 개념으로 보면 두 영역 모두에게 속한 부분만이 양품의 홀 중심이 올 수 있는 영역이라는 것이고, 수학적으로 표현하면 두 공차영역의 교집합 부분이 사용하고자 하는 양품의 영역이다.

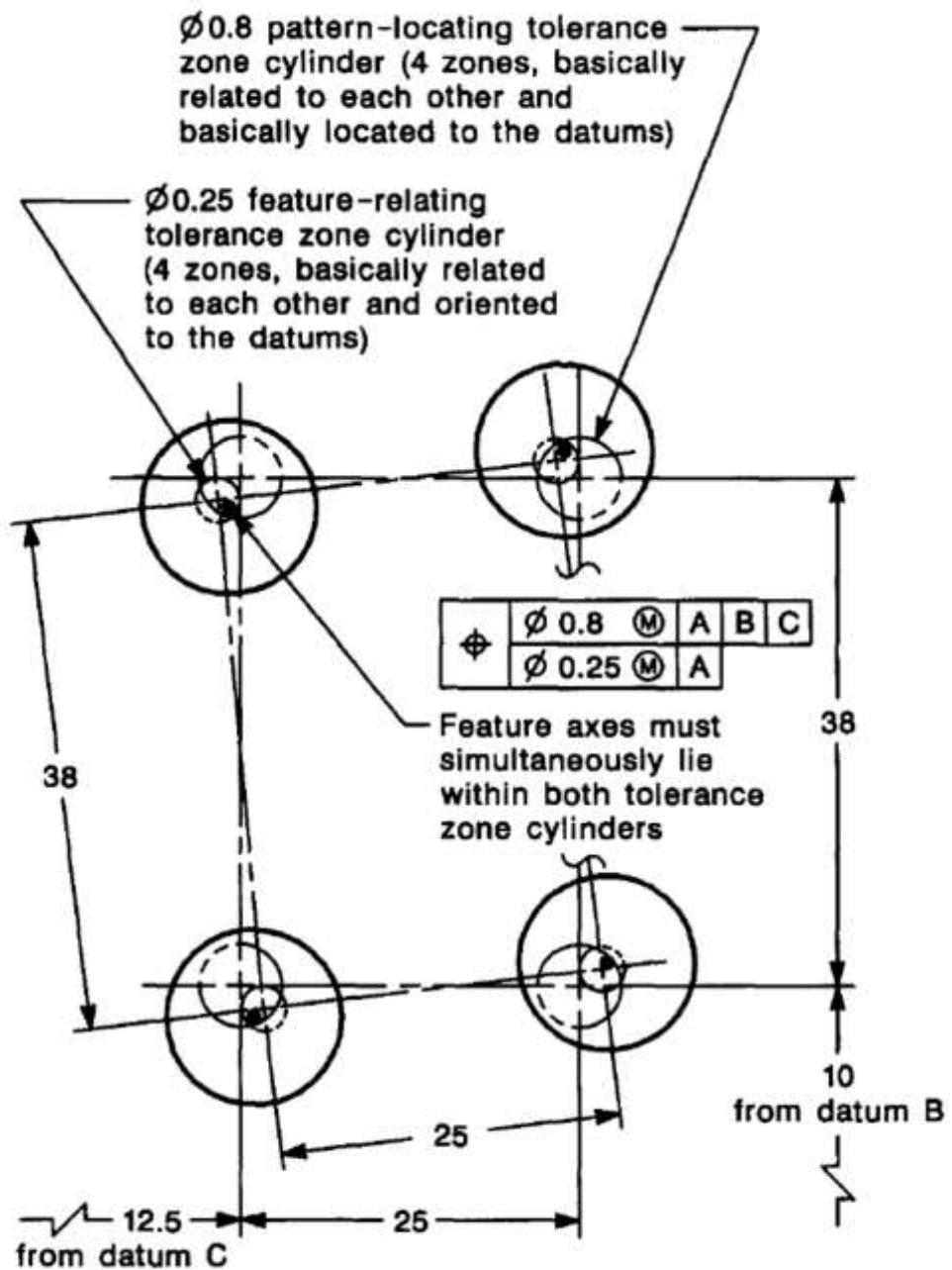
<그림 5-18>



정리하면, 홀의 축심은 더 큰 공차영역 범위 내에서 더 작은 공차영역 범위 내에 있어야 한다

이렇게 정의된 공차영역의 해석은 동일한 제품에 속한 같은 요구사항을 가진 사각형태의 4개 홀과 방사형태의 6개의 홀에도 동일하게 적용된다.

<그림 5-19>



One possible displacement of actual feature pattern.

<그림 5-20>

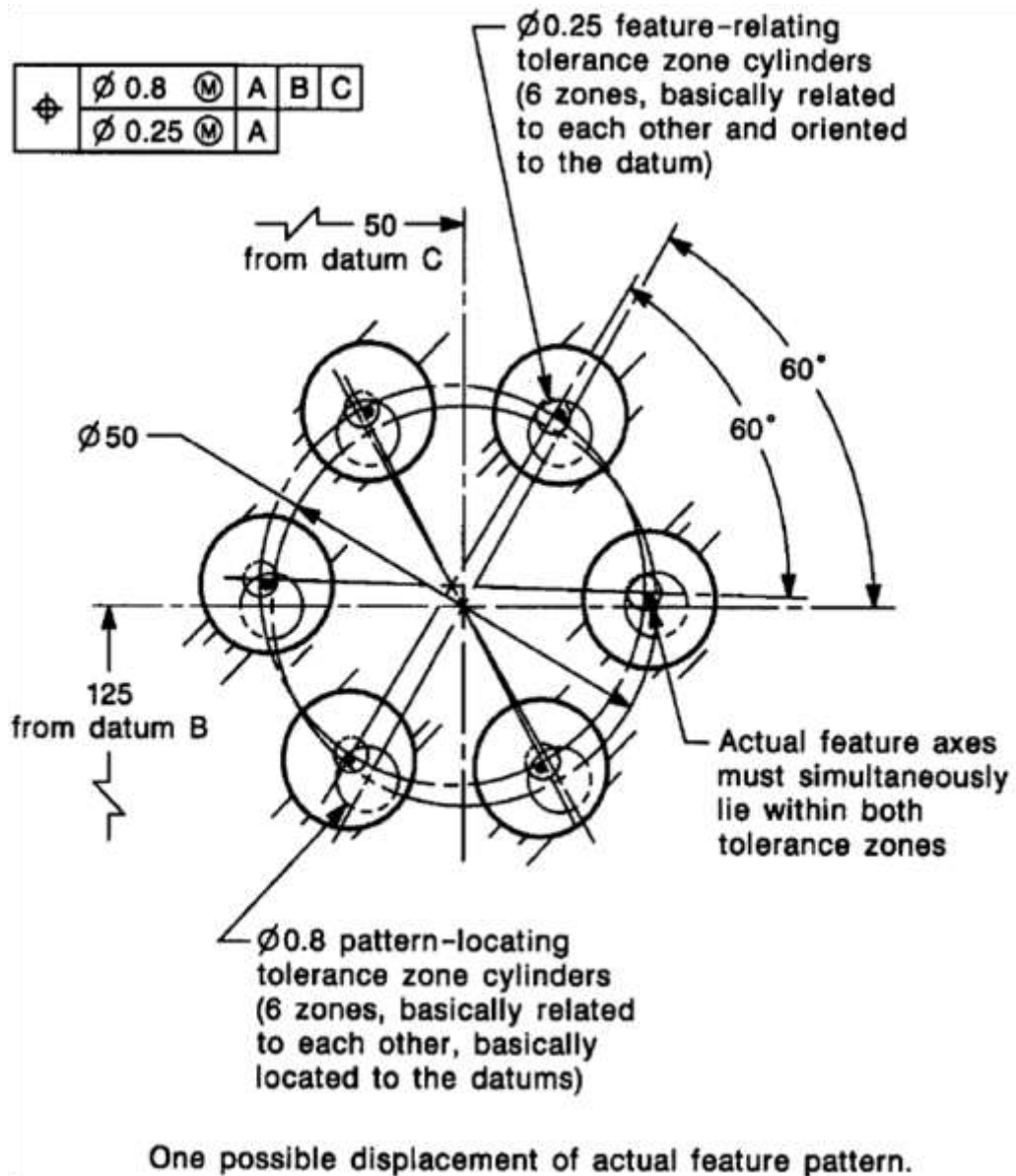
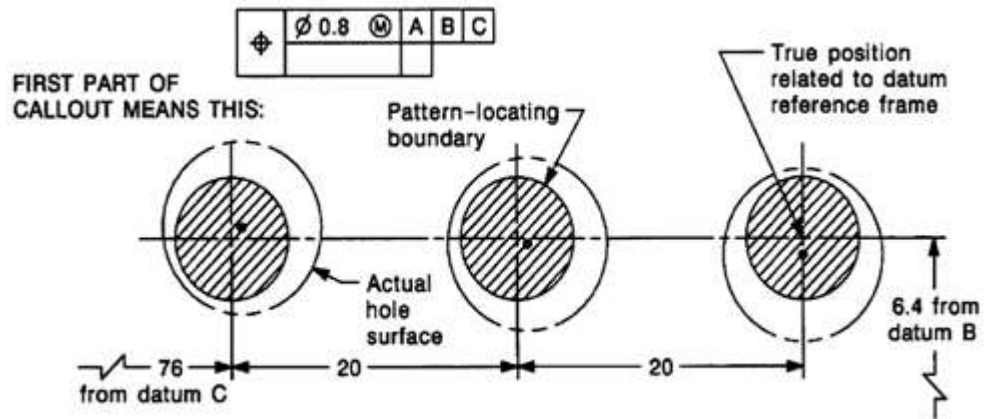


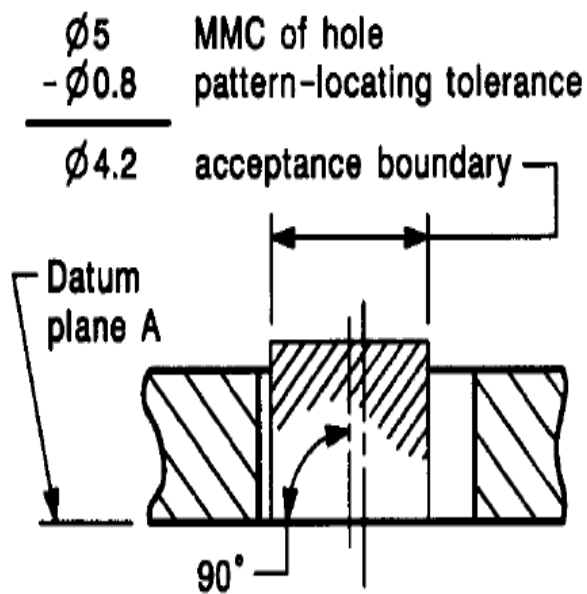
그림 복합위치도 공차의 3개 홀에 대한 게이지의 개념을 연계시켜 보자.

우선 위쪽 요구사항인 $\varnothing 0.8\text{mm}$ 의 공차영역에 대한 게이지의 개념은 실효 조건으로 연계시켜 구한다.

<그림 5-21>



홀의 MMC 치수가 $\Phi 5.0\text{mm}$ 이고, 이때 공차가 $\Phi 0.8\text{mm}$ 이므로 실효치수는 $\Phi 4.2\text{mm}$ 가 된다.

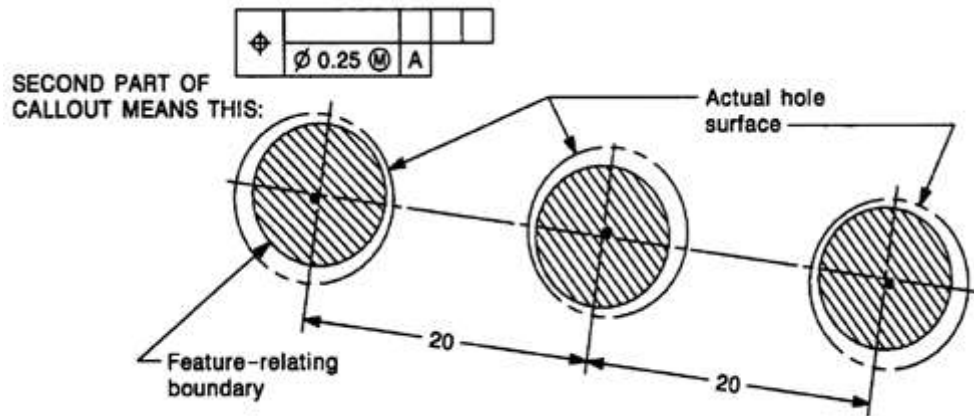


<그림 5-22>

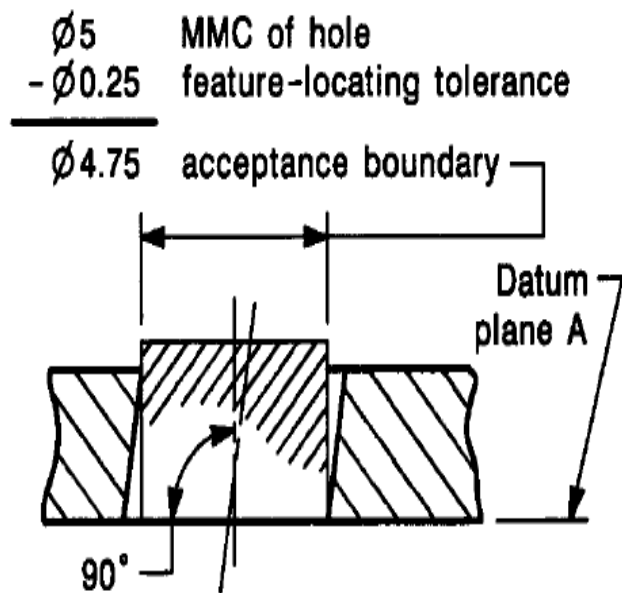
홀의 어떤 부분도 패턴 위치공차 $\Phi 4.2\text{mm}$ 영역 안에 들어올 수 없으며, $\Phi 4.2\text{mm}$ 게이지로 검사했을 때, 통과되어야 한다.

아래쪽 요구사항인 $\Phi 0.25\text{mm}$ 의 공차영역에 대한 게이지의 개념도 실효조건으로 연계시켜 구한다.

<그림 5-23>



홀의 MMC 치수가 $\Phi 5.0\text{mm}$ 이고, 이때 공차가 $\Phi 0.25\text{mm}$ 이므로 실효치수는 $\Phi 4.75\text{mm}$ 가 된다.



<그림 5-24>

홀의 어떤 부분도 패턴 위치공차 $\Phi 4.75\text{mm}$ 영역 안에 들어올 수 없으며, $\Phi 4.75\text{mm}$ 게이지로 검사했을 때, 통과되어야 한다.

복합위치도 공차에 대한 게이지의 개념을 각각 설명했는데, 그럼 게이지를 어떻게 만든다는 것일까?

두 공차영역을 함께 만족해야 하고, 데이텀을 고려하여 설계해야 하므로, 게이지는 두 종류가 만들어지게 된다.

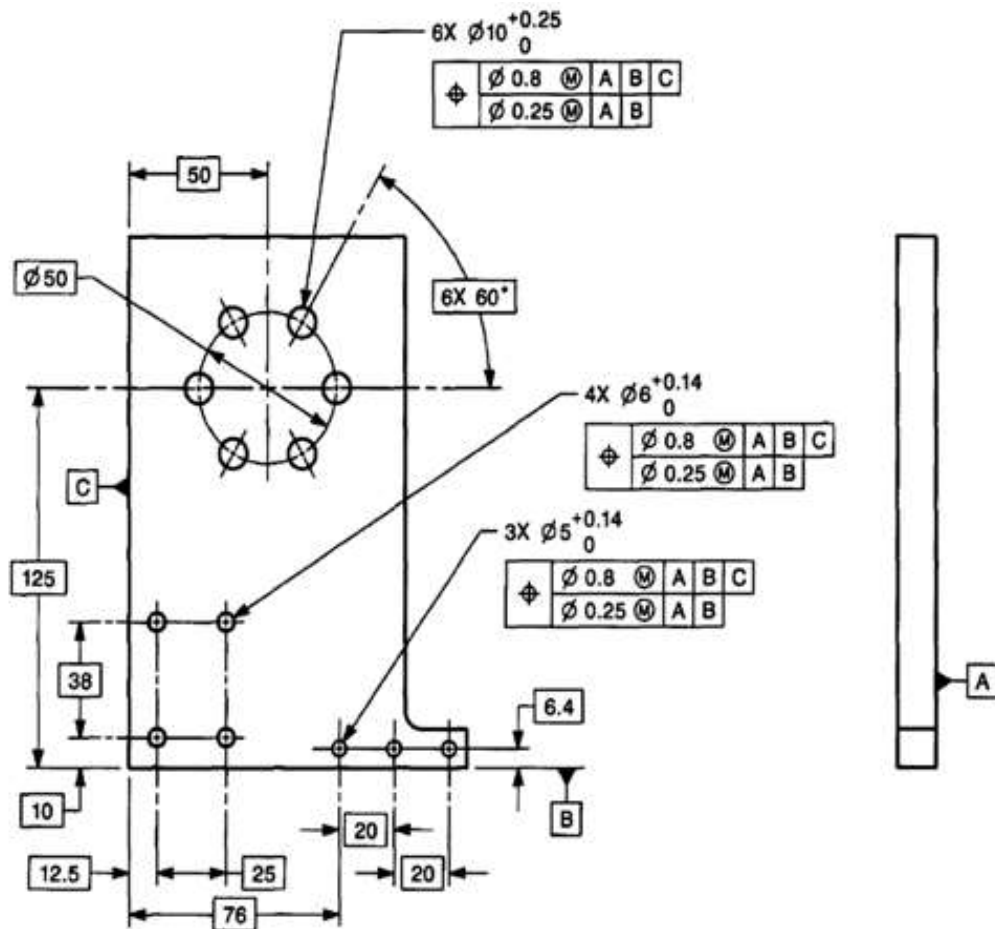
한가지는 데이텀 A/B/C를 반영한, 예를 들어 A/B/C의 면이 설정되어 있는 형체에 $\Phi 4.2\text{mm}$ 의 원통형체 핀 3개가 A 데이텀 면에 솟아 있는 것이다.

다른 하나의 게이지는 A데이텀만을 요구했으므로, A 데이텀 면과 그 면에 솟아 있는 $\Phi 4.75\text{mm}$ 의 원통형체 핀 3개가 있게 된다.

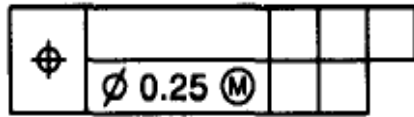
이 두 게이지에 모두 통과되는 제품만이 복합위치공차인 상/하 요구사항을 모두 만족하는 제품이 될 것이다.

두 번째의 사례를 보자. 우선 위의 첫 번째 사례와 어디가 다른지를 찾아낼 수 있어야 한다.

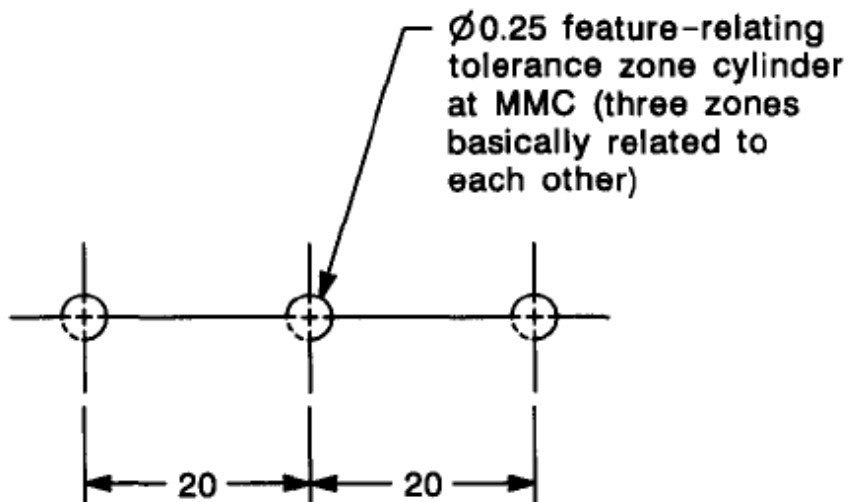
<도면 5-18>



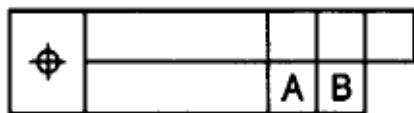
찾았겠지만, 아래쪽 요구사항에 B 데이텀이 추가된 것이다. 위 쪽 요구사항은 위 사례와 변동 없이 적용되며, 아래 쪽 요구사항만 B 데이텀의 추가 효과를 보인다.



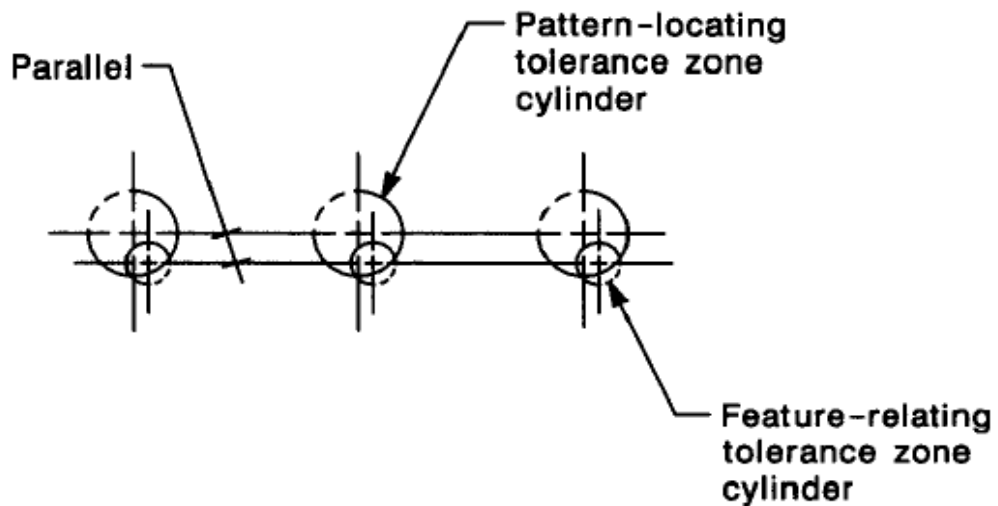
<그림 5-25>



따라서 B 데이텀에 대해 평행한 형태를 취한다.



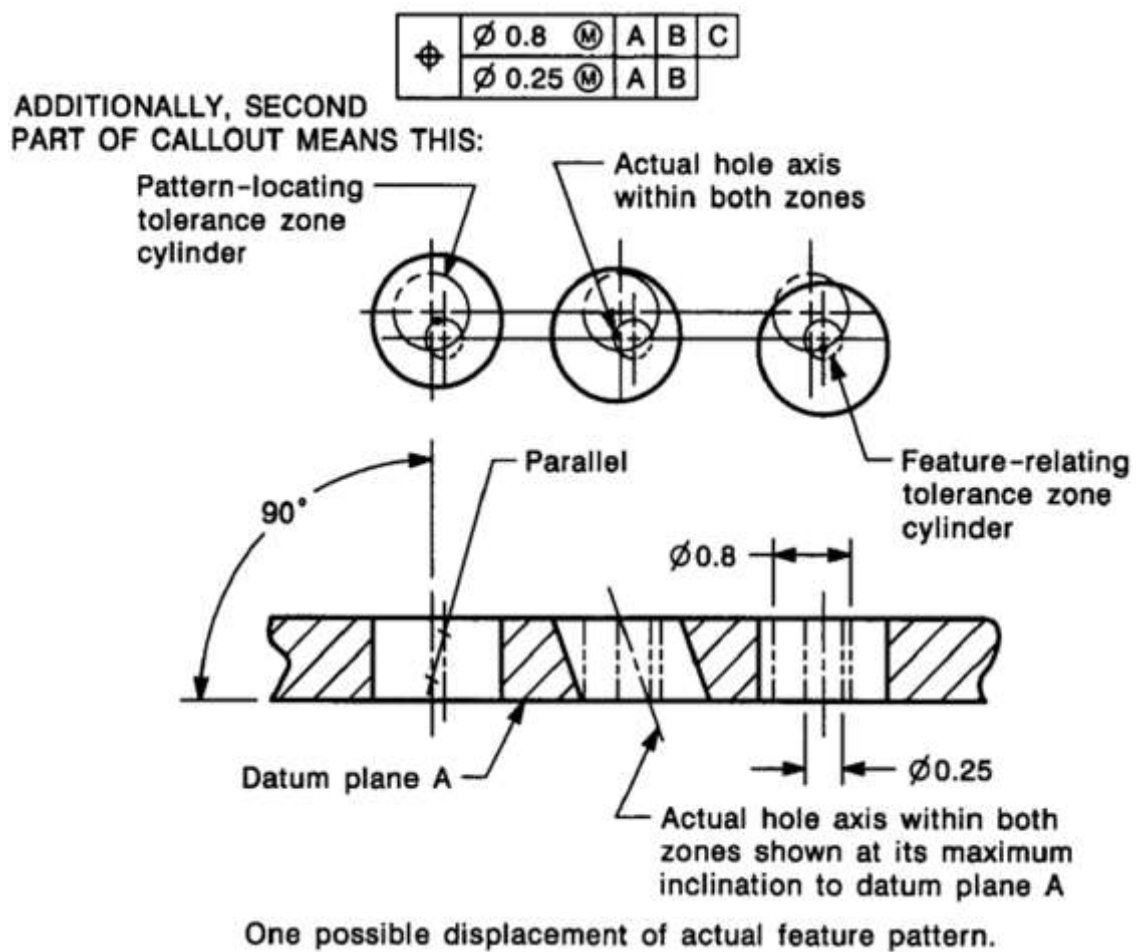
<그림 5-26>



이 사례에서도 마찬가지로 복합위치도 공차에서 부여된 두 개의 요구사항은, 각 요구사항이 함께 만족되어야만 하는 규제이다.

결국 두 요구사항을 모두 만족한다는 것은, 공차영역의 개념으로 보면 두 영역 모두에게 속한 부분만이 양품의 홀 중심이 올 수 있는 영역이라는 것이다.

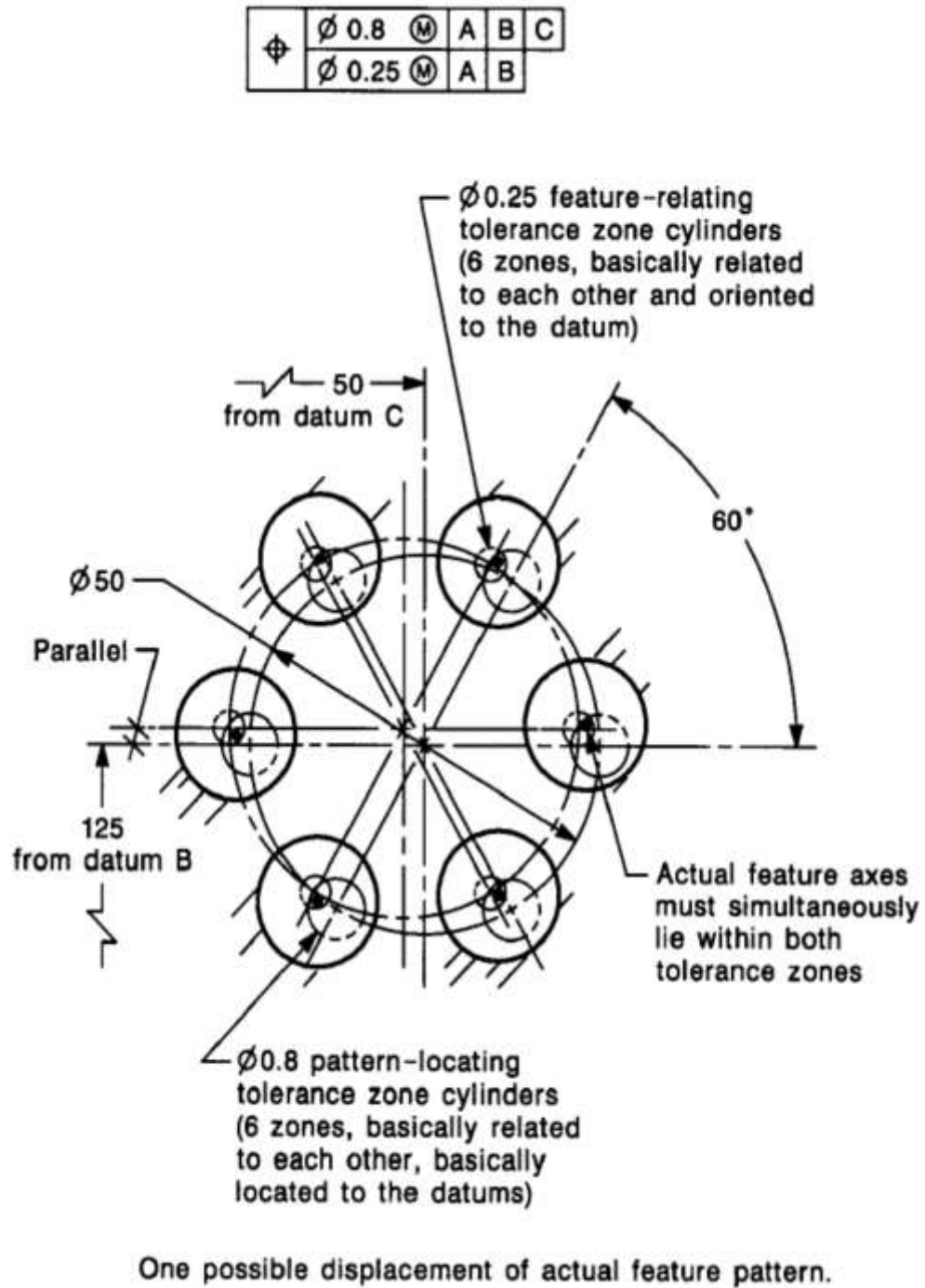
<그림 5-27>



<그림 5-28>



<그림 5-29>

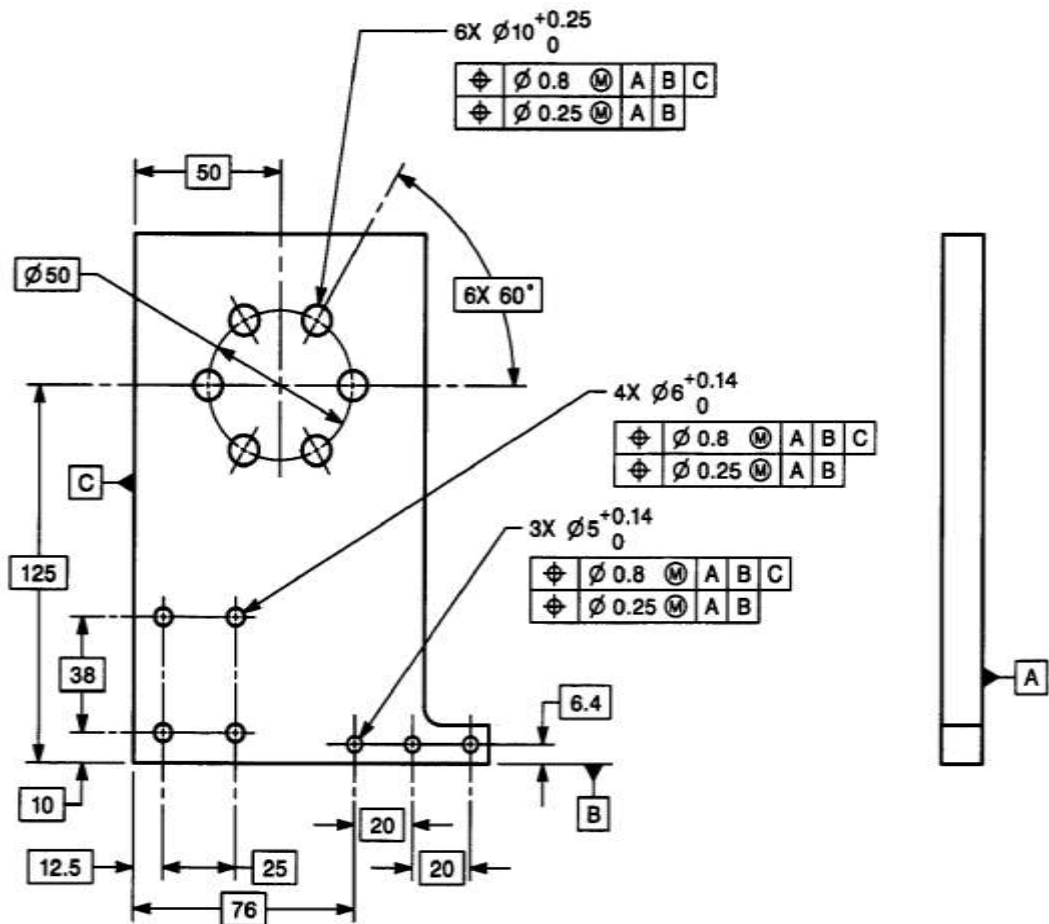


그렇다면 게이지에 대한 개념은 첫 번째 사례에 대비해서 어떤 변화가 있을까?

아래 규제에 데이텀 B가 추가되었으므로, 이전 사례에서 적용된 두 번째 게이지에 B 데이텀이 추가되는 게이지의 개념이 수립될 수 있다.

세 번째의 사례에는 이전과 비교하여 어떤 변화가 있을까?

<도면 5-19>



이전 사례의 요구사항이 복합위치도 공차를 부여하면서 하나의 위치도 기

⊕	Ø 0.8	(M)	A	B	C
⊕	Ø 0.25	(M)	A	B	

호를 사용하였다면,

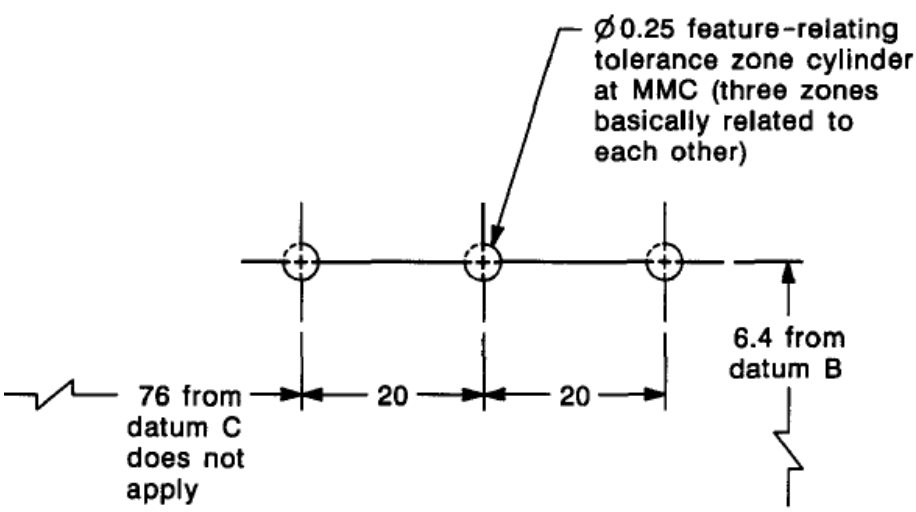
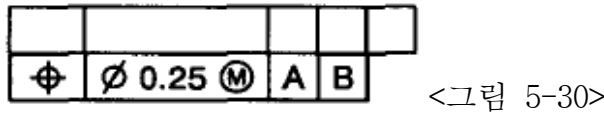
⊕	Ø 0.8	(M)	A	B	C
⊕	Ø 0.25	(M)	A	B	

위 도면에 요구된 것은 와 같이 위/

아래에 각각 위치도 기호를 부여한 것이다.

복합위치도 공차에 기호가 각각 부여되면, 위쪽 요구사항은 변화가 없지

만 아래쪽 요구사항은 위치에 대한 요구사항 개념이 추가된다. 상세히 개념을 살펴보자.



아래쪽 요구사항에 위치의 요구가 추가되면, 데이텀 B/C로부터의 기준치수인 6.4mm와 76mm 및 20mm, 20mm 로 규정될 수 있는 진 위치가 설정된다. 이 진 위치를 기준으로 $\Phi 0.25\text{mm}$ 의 허용할 수 있는 영역이 설정될 수 있다.

상부 규제로 위치 결정된 상태에서 패턴의 형체 기준이 일치함을 나타낸다. A 데이텀에 수직, B 데이텀에 평행조건을 만족한다.

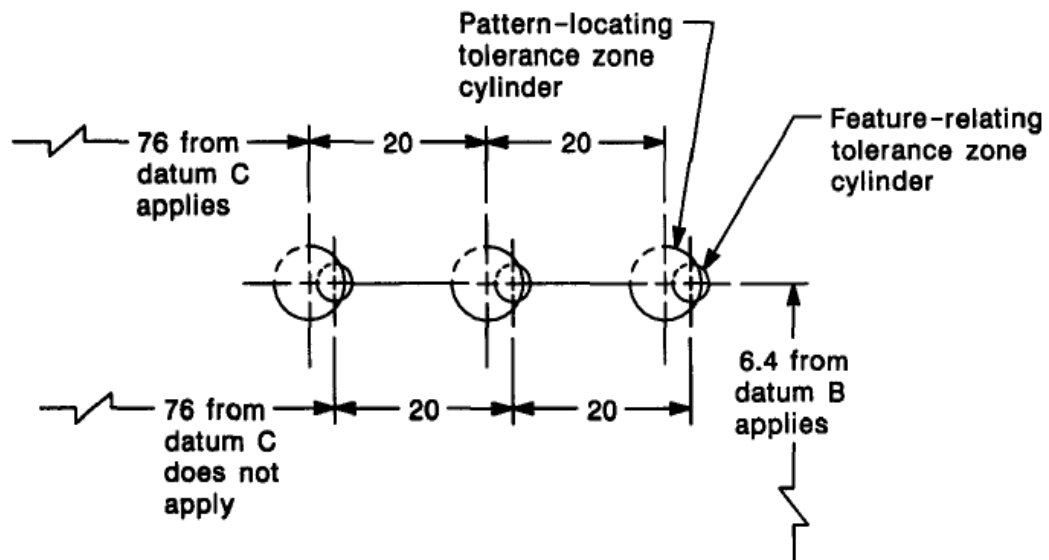


아래쪽의 이 요구사항을 첫 번째 사례에서 설명한 위쪽의 요구사항과 함께 나타내면, 아래와 같은 공차영역의 개념이 수립될 수 있다.

위치와 관련된 요구사항이 아래쪽에는 A/B 데이텀에 대해 요구되어졌기

때문에, C 데이텀과 관련해서는 위쪽 공차영역의 요구사항과 일치하지 않을 수도 있게 됨을 의미한다.

<그림 5-31>



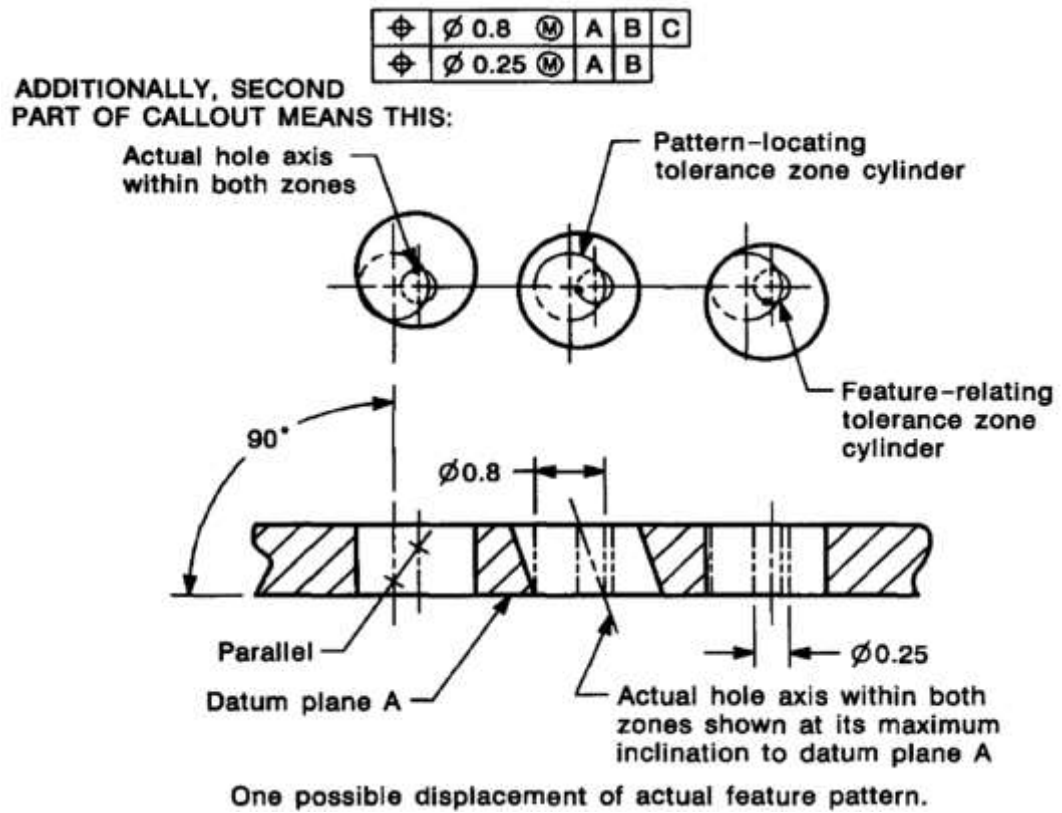
여기서 한가지 더 생각해보고 가면, 만일 아래쪽에 C 데이텀까지 부여된다면 어떻게 될까?

위 그림에서의 두 공차영역에 대한 C 데이텀 방향으로의 차이도 일치하게 될 것이다. 그런데, 그런 경우가 필요치 않다는 것이다. 두 공차영역이 일치한다면 굳이 복합위치도를 사용할 필요가 없이 아래쪽의 작은 공차만을 규제하면 될 것이기 때문이다.

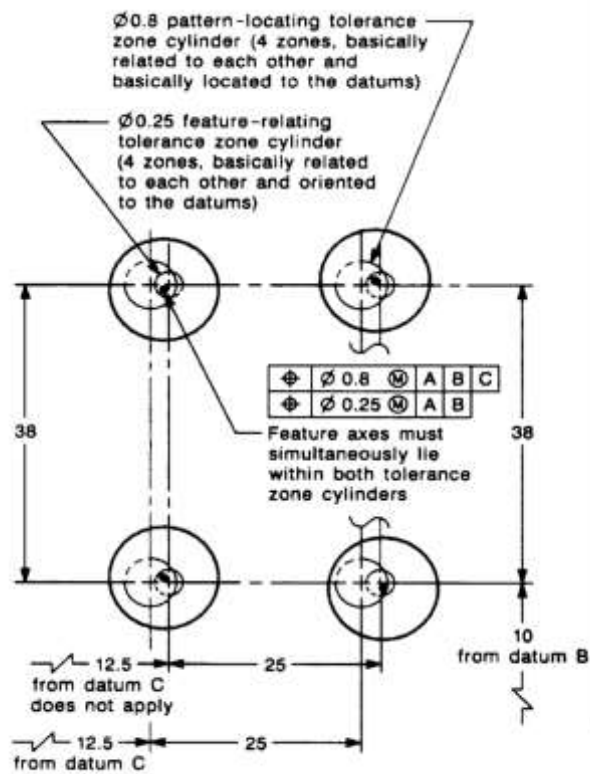
어쨌든 이 사례에서도 마찬가지로 복합위치도 공차에서 부여된 두 개의 요구사항은, 각 요구사항이 함께 만족되어야만 하는 규제이다.

결국 두 요구사항을 모두 만족한다는 것은, 공차영역의 개념으로 보면 두 영역 모두에게 속한 부분만이 양품의 홀 중심이 올 수 있는 영역이라는 것이다.

<그림 5-32>

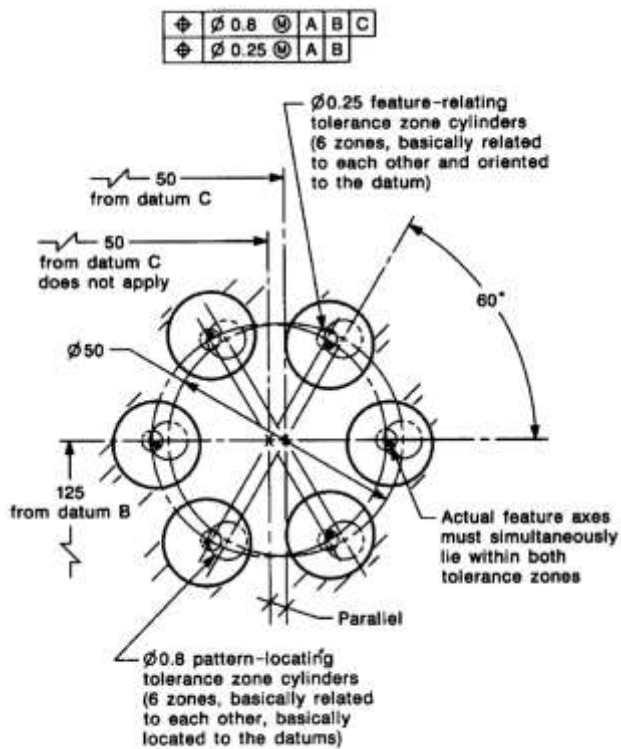


이렇게 정의된 공차영역의 해석도 동일한 제품에 속한 같은 요구사항을 가진 사각형태의 4개 홀과 방사형태의 6개의 홀에도 동일하게 적용된다.



One possible displacement of actual feature pattern.

<그림 5-33>

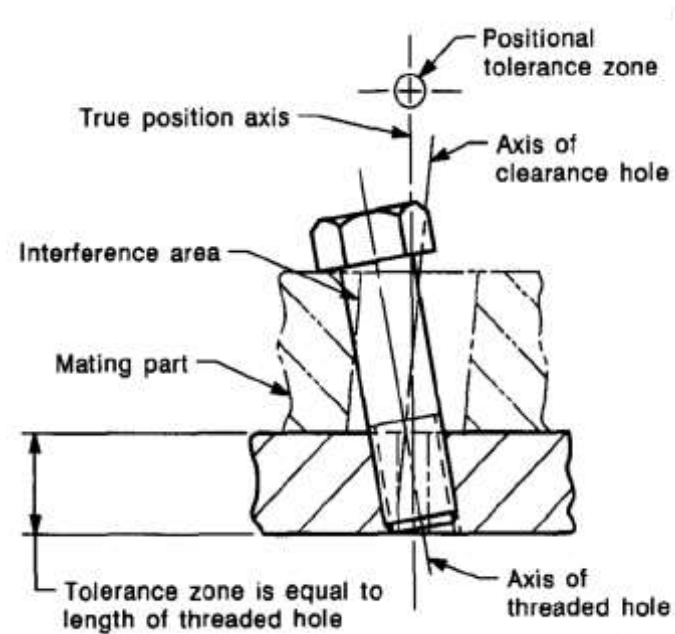


One possible displacement of actual feature pattern.

<그림 5-34>

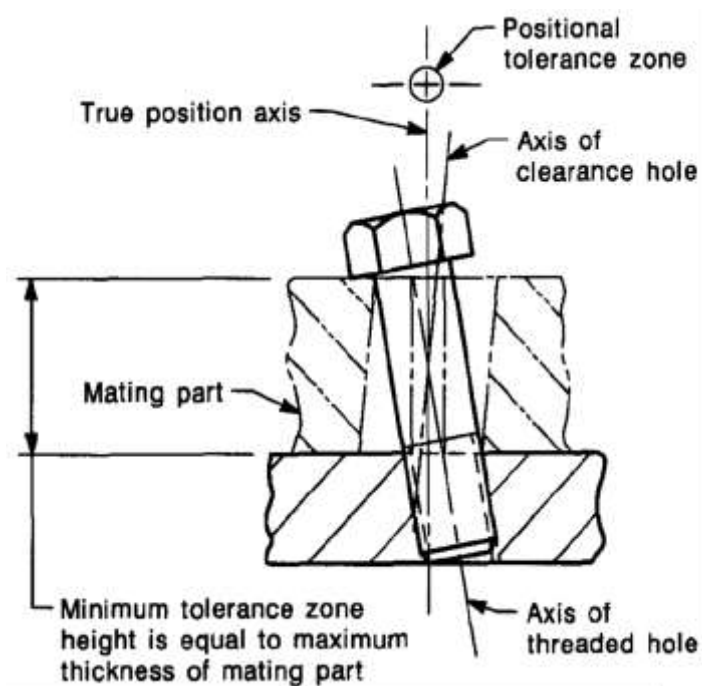
5-1-9. 돌출 공차 영역(Projected Tolerance Zone)

나사나 스터드 및 핀 등이 홀에 조립될 때, 직각도 편차가 발생하는 경우.
고정 체결구의 자세는 조립 홀의 기울어짐에 의해 결정된다.



<그림 5-35>

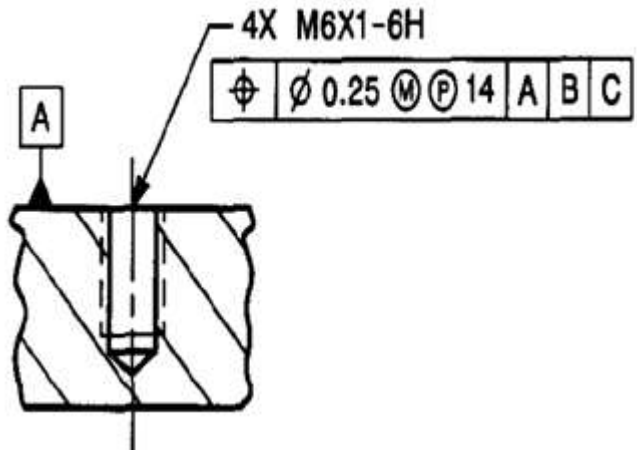
설계 요구사항이 위치도 공차에 의해 허용되는 것보다 탭 구멍의 직각도를 더 정확하게 규제하는 것이 요구될 경우는 직각도 공차로 규정한다.



<그림 5-36>

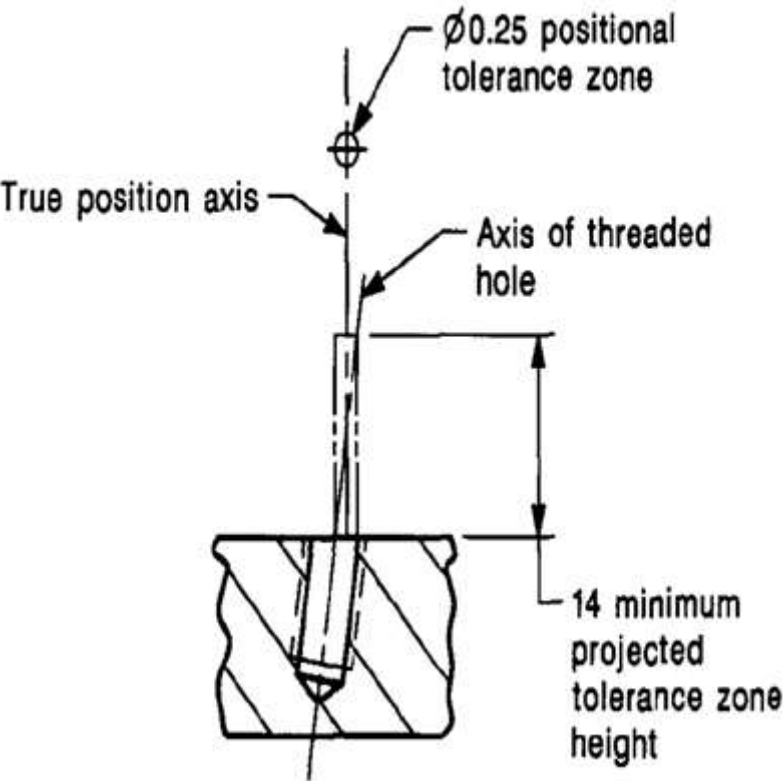
때문에 앞에 직각도에서도 돌출 공차영역의 개념을 알아보았었다.

돌출 공차영역의 위치도 적용 사례를 알아보자.



<도면 5-20>

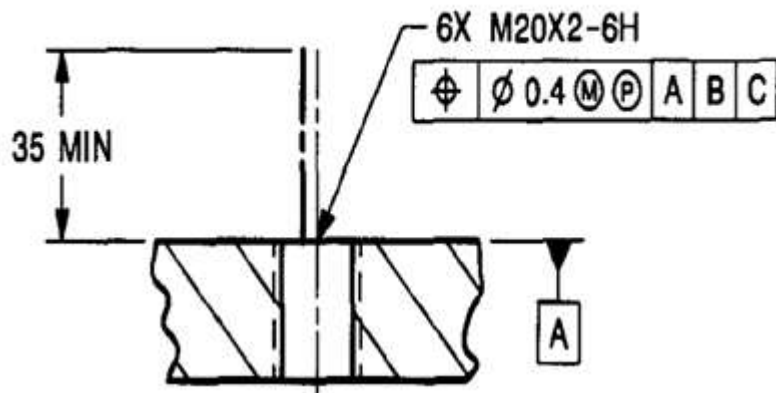
A 데이텀으로부터 14mm의 돌출영역에 MMC 조건에서 $\Phi 0.25\text{mm}$ 의 위치도 공차를 부여하는 의미이다.



<그림 5-37>

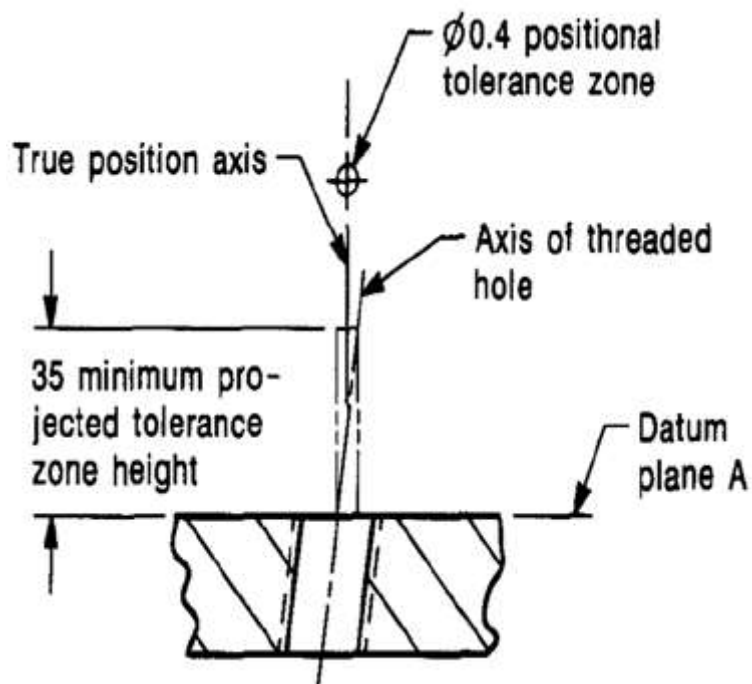
형체규제 기호 안에 돌출공차역의 값을 표기하지 않고, 가상선을 통해 규

제한 중심에 직접 치수를 부여하여 표기하는 방법이다.



<도면 5-21>

A 데이텀을 기준으로 35mm의 홀 중심의 연장선인 돌출 영역에 MMC 조건에서 $\varnothing 0.4\text{mm}$ 인 위치도 공차를 부여한다.

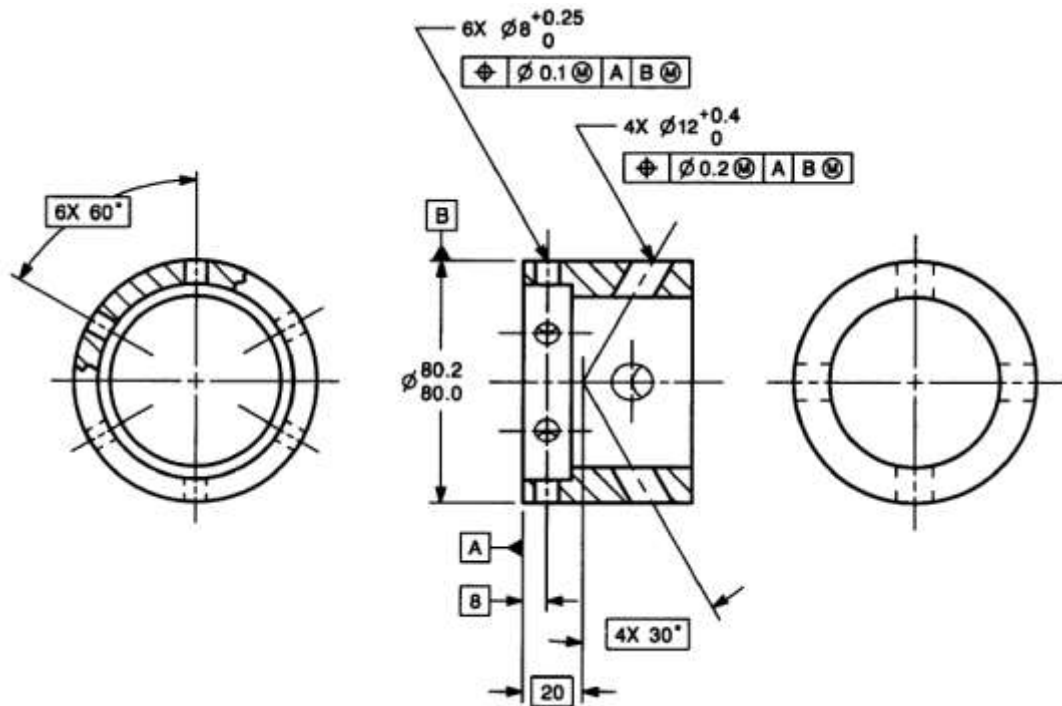


<그림 5-38>

5-1-10. 기타 형체

축심이 서로 평행하지 않은 형체에 대한 위치도의 규제를 아래와 같은 사례로 간단히 살펴보자.

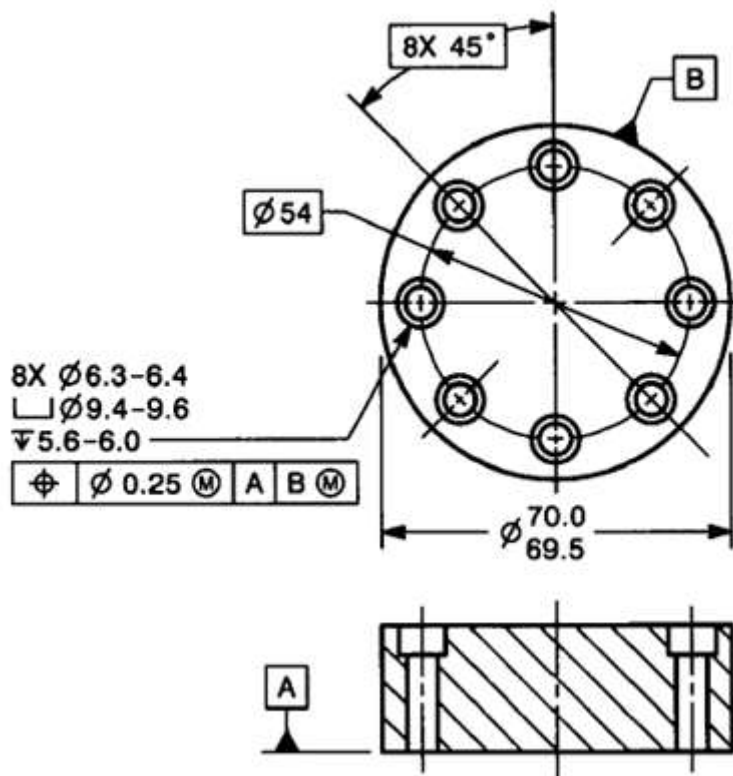
<도면 5-22>



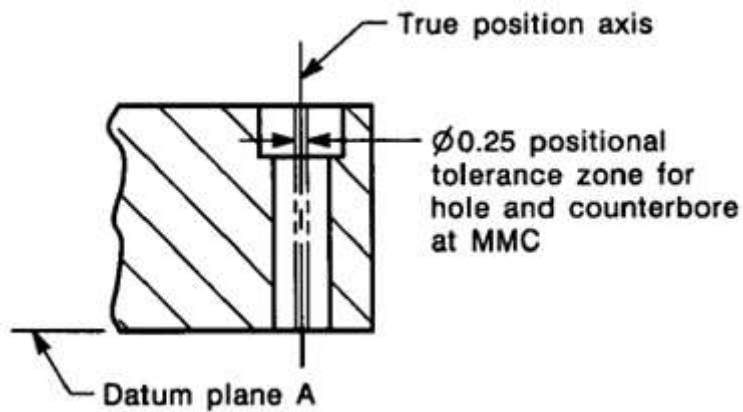
축심과 평행하지 않은 30도의 경사진 홀에 대해서만 검토해 보면, A 데이텀인 평면과 B 데이텀인 원통 외측 형체의 MMC $\phi 80.2\text{mm}$ 인 경우, 경사 홀의 위치가 MMC인 $\phi 12.0\text{mm}$ 이면 $\phi 0.2\text{mm}$ 를 부여하므로 실효치수 값으로 $\phi 11.8\text{mm}$ 를 가지게 된다.

위치도 공차가 홀과 자리파기를 함께 위치 결정하는 경우, 자리파기 홀에 대한 규제 방법 세 가지를 알아보자.

첫 번째는 같은 위치도 공차가 구멍과 자리파기 구멍 둘 다를 위치 결정하는데 사용될 경우(규정된 데이텀과 관련하여 동 축으로 진 위치에 위치)이다.



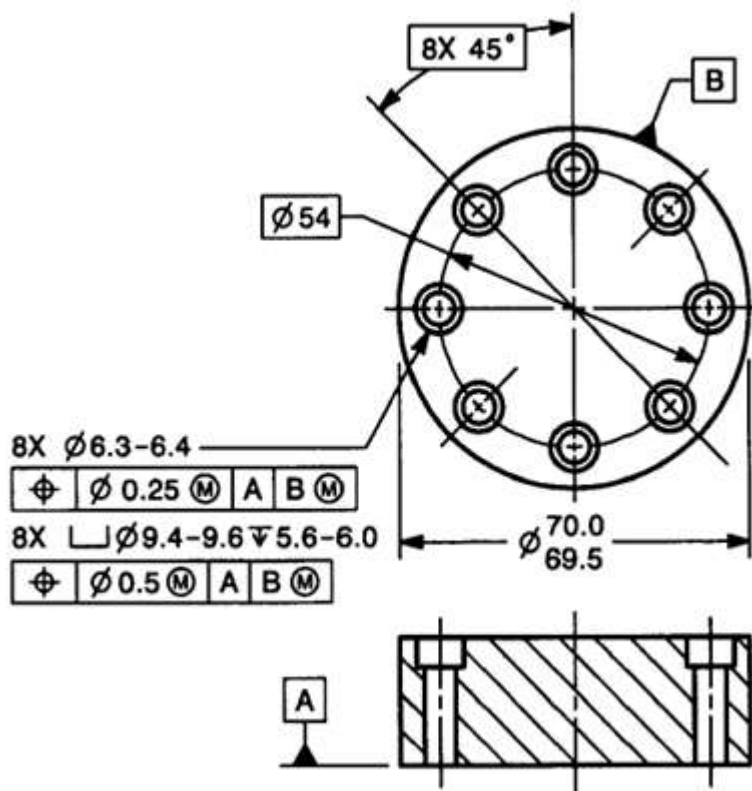
<도면 5-23>



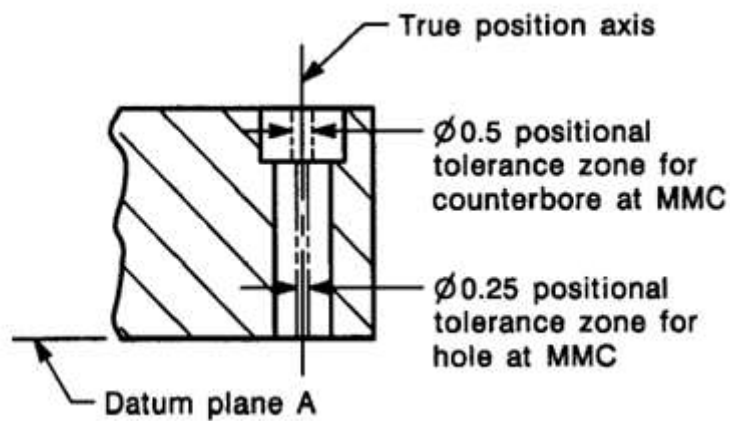
<그림 5-39>

홀과 자리파기 형체를 같은 공차영역인 MMC 조건에서 $\Phi 0.25\text{mm}$ 로 함께 규제하는 경우이다.

두 번째는 다른 위치도 공차가 사용될 경우, 하나의 형체규제 테두리는 구멍을 규정하는 표시 아래에 넣고, 다른 하나는 자리파기를 규정하는 표시 아래에 표기하는 방법이다.



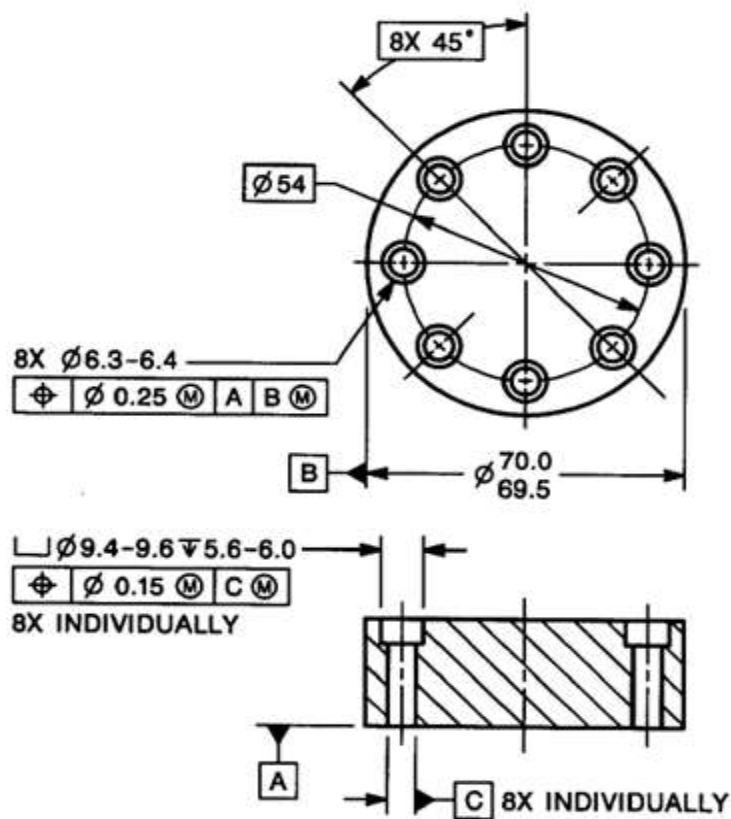
<도면 5-24>



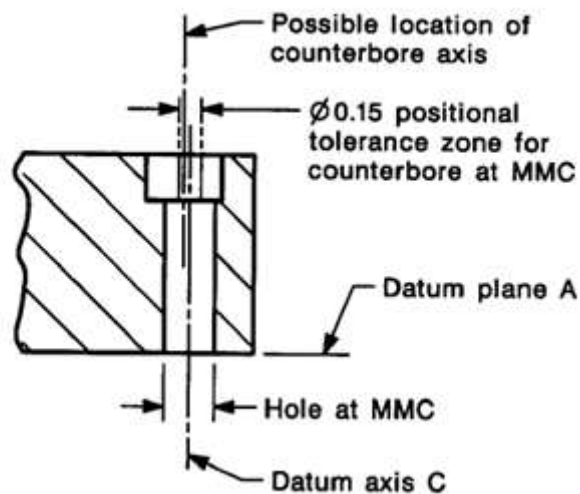
<그림 5-40>

홀은 더 작은 공차영역인 MMC에서 $\Phi 0.25\text{mm}$ 의 공차를 부여하고, 자리파기 형체는 더 큰 공차영역인 MMC에서 $\Phi 0.5\text{mm}$ 의 공차를 부여하여 각각을 따로 표시한 사례이다.

세 번째는 위치도 공차가 구멍을 위치 결정하고 각각의 자리파기와 구멍과의 관계를 규제하는데 사용될 경우이다.

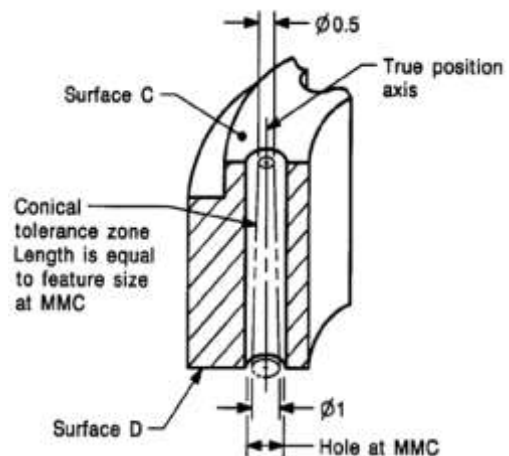


<도면 5-25>



<그림 5-41>

한쪽 면에 더 정밀한 공차를 적용한 경우이다. 다시 말하면, 양 끝 단에 위치도 공차를 달리 규정하여, 공차 영역이 원추 형태를 가지게 된다.



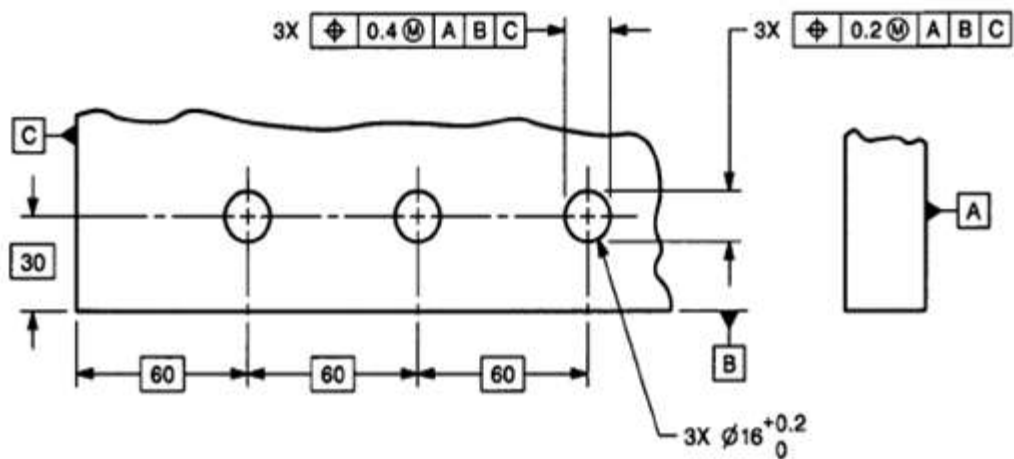
<그림 5-42>

표면 C에는 MMC에서 $\Phi 0.5\text{mm}$ 의 공차를 부여하고, 표면 D에는 $\Phi 1.0\text{mm}$ 의 공차를 부여하여 한 홀에서 상/하 면에 각각 다른 공차를 부여함에 따라 홀 내에 적용되는 공차의 영역이 원추의 형태를 갖도록 요구된다.

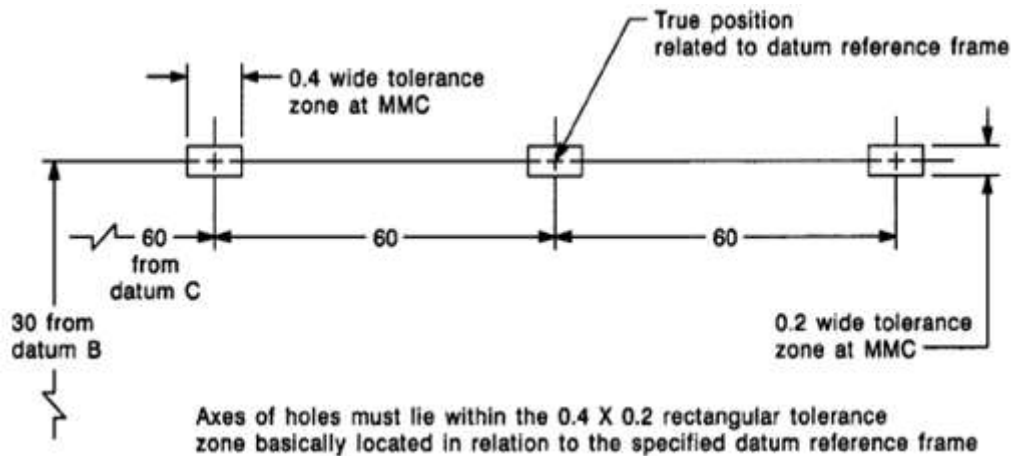
양방향 위치도 공차로 위치도 공차의 범위 내에서 직각도를 보다 더 정밀하게 요구할 수 있다. (직경 기호를 표시하지 않는다.)

직교좌표 방식(Rectangular Coordinate Method)은 형체규제 테두리에 직각 방향으로 적용하는 치수선에 붙여 나타낸다.

<도면 5-27>



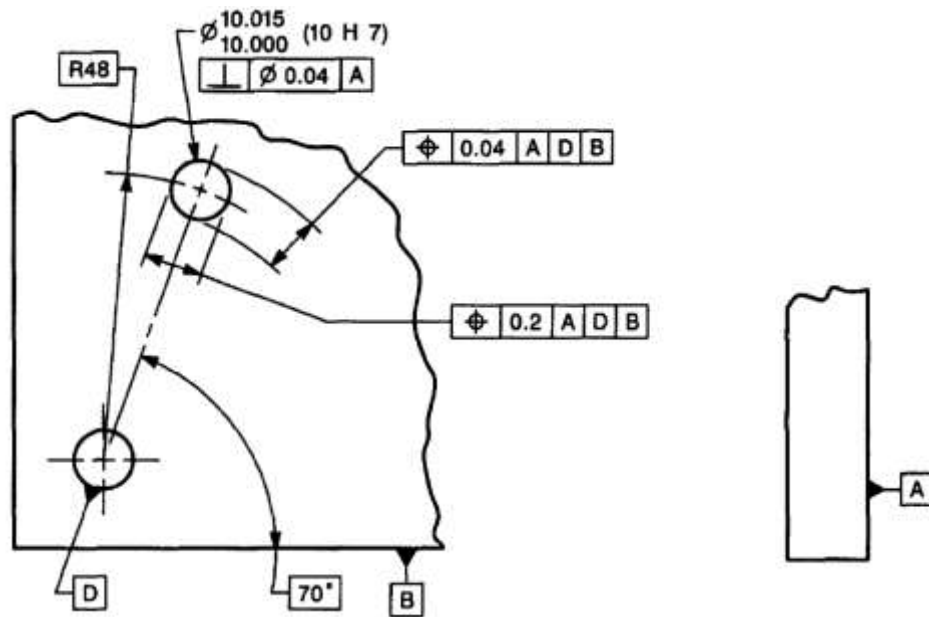
<그림 5-43>



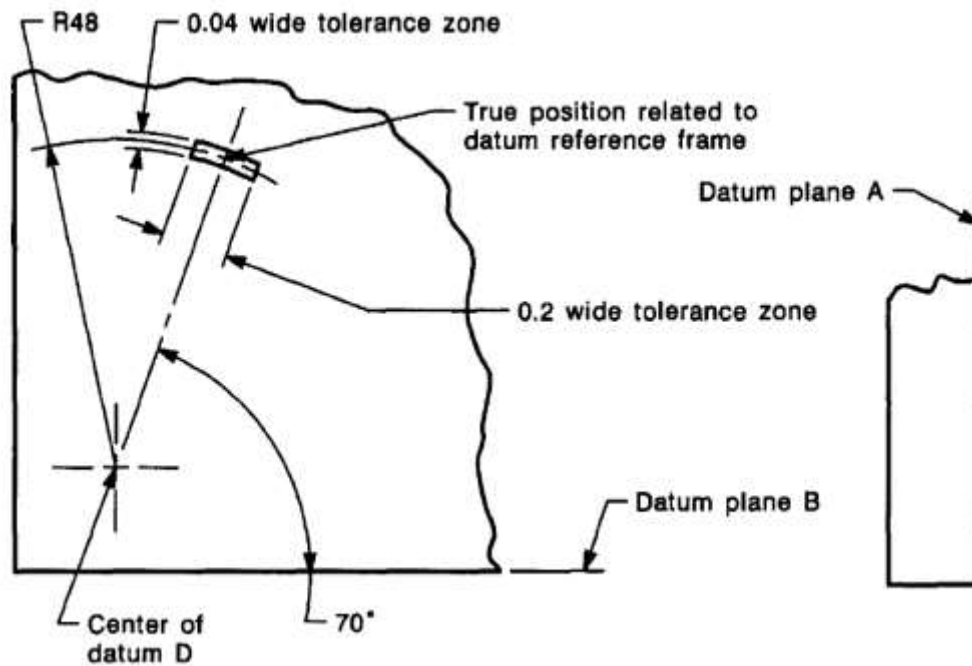
공차영역의 의미는 가로 측에 0.4mm, 세로 측에 0.2mm의 공차를 부여하는 개념이 된다.

극 좌표 방식 (Polar Coordinate Method)에서의 위치도는 홀의 축이 A테이텀에 수직해야 하며, 링 모양의 공차영역 안에 위치해야 한다.

<도면 5-28>



<그림 5-44>

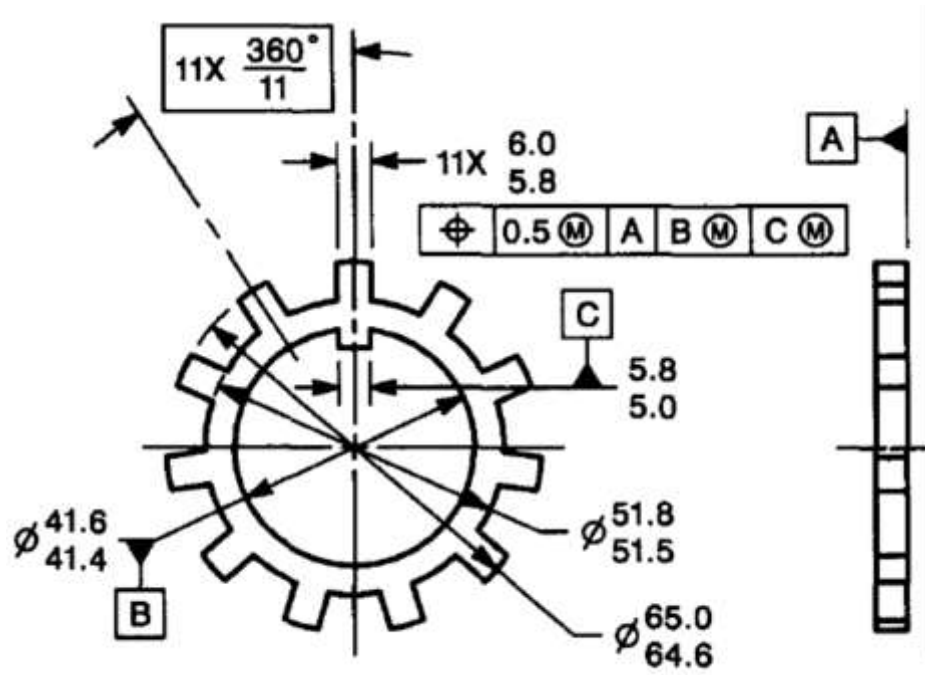


공차영역의 의미는 지름 방향에 대해 0.04mm, 반경 방향에 0.2mm의 공차를 부여하는 개념이 된다.

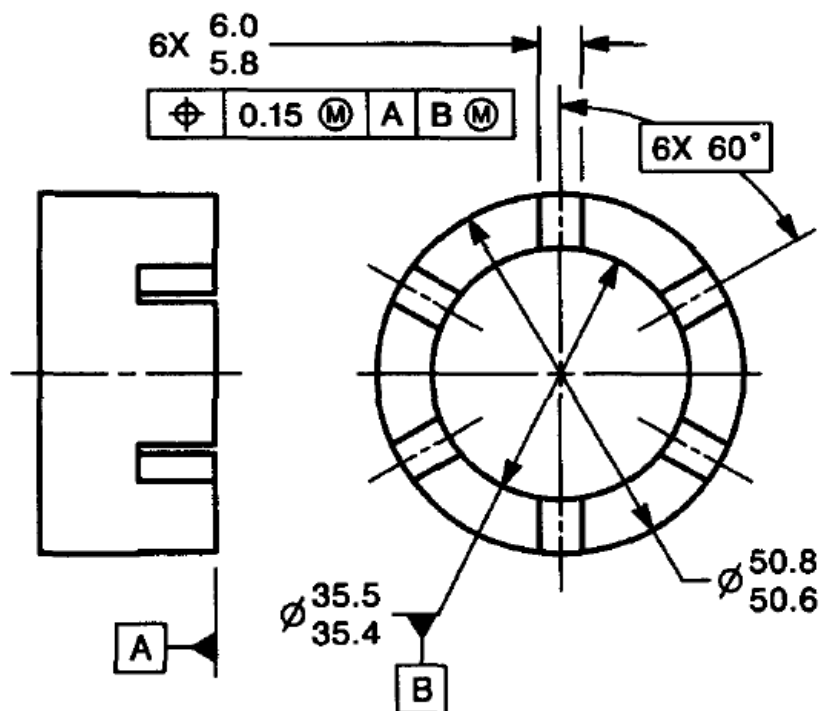
앞서 기어 홈과 관련된 LMC의 개념을 알아 봤었고, 여기서는 비 원통 형

체에 대한 위치도의 MMC 개념을 간단히 알아보자. 홈/탭/Slot홀과 같은 비 원형 형체의 공차 값은 두 개의 평행 평면 사이의 거리로 나타낸다.

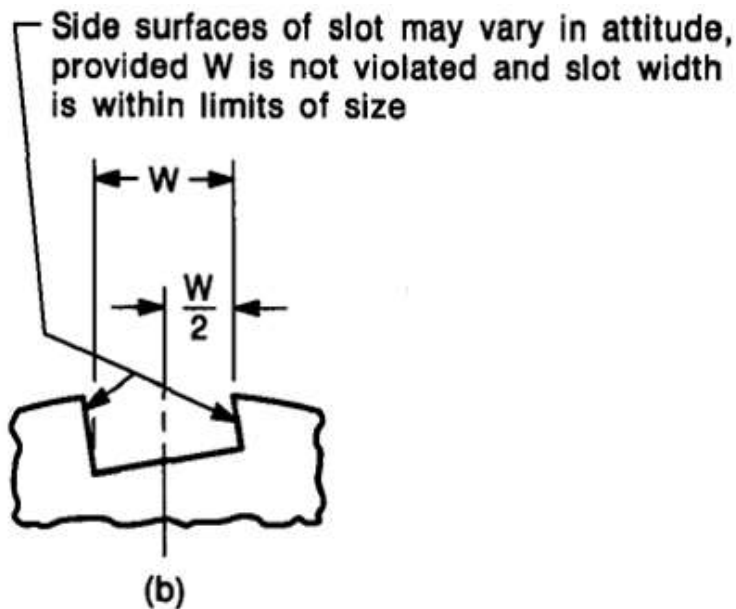
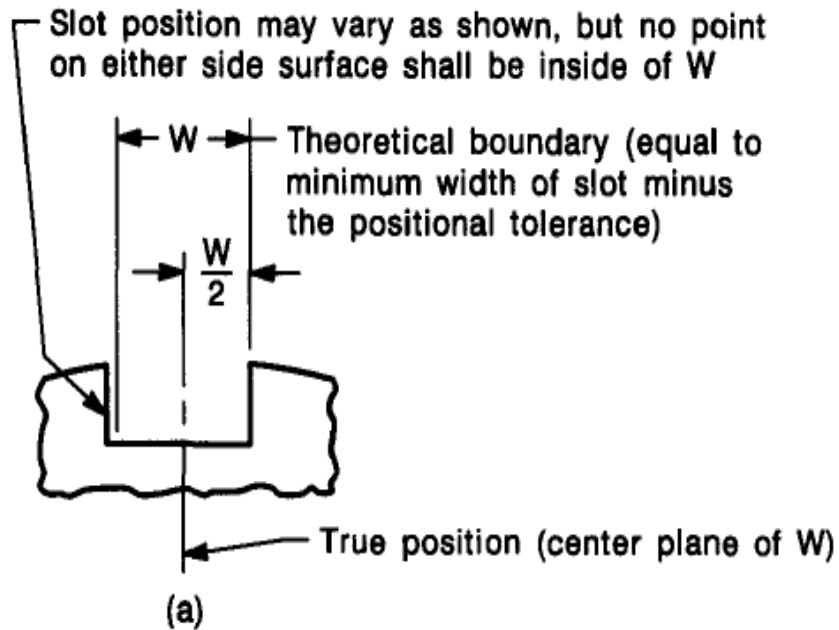
<도면 5-29>



<도면 5-30>



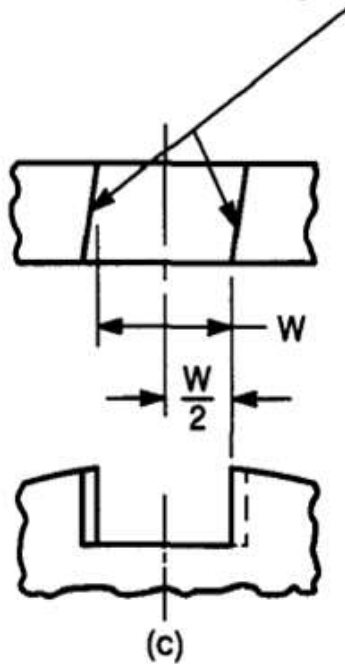
형체의 표면에 적용된다면, 형체의 규정된 한계의 폭을 유지해야 할 경우, 그의 측면의 어떠한 요소도 정의된 이론적인 경계의 안쪽에 있어서는 안 된다. (이전의 LMC의 개념에서의 기어의 홈은 한정된 값 이내에만 있는 경우였다.)



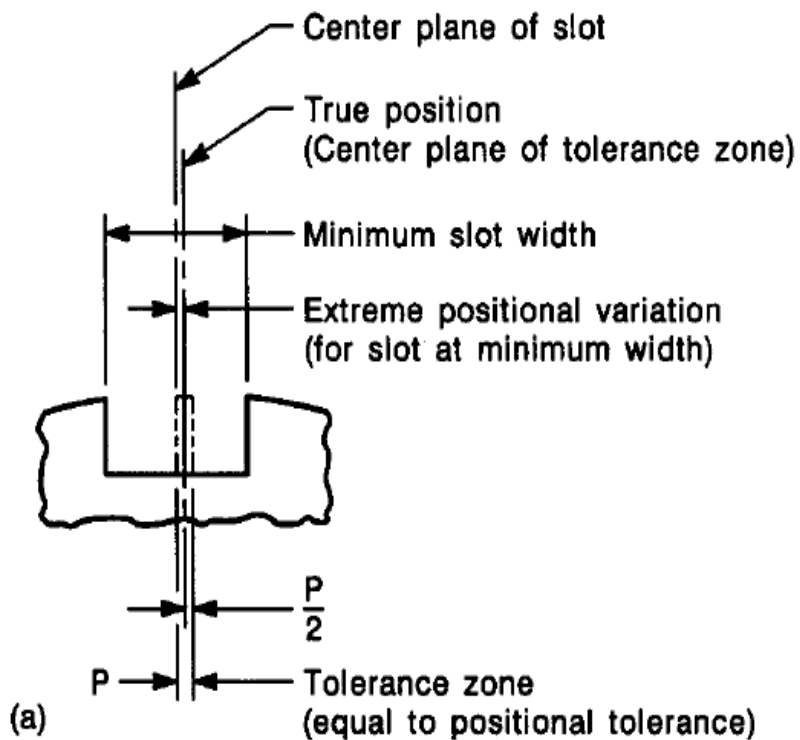
<그림 5-45>

(a), (b) 두 경우와 아래의 (c)의 경우를 포함한 어떤 경우에도 이론적인 경계 W 내측에 있어서는 안 된다.

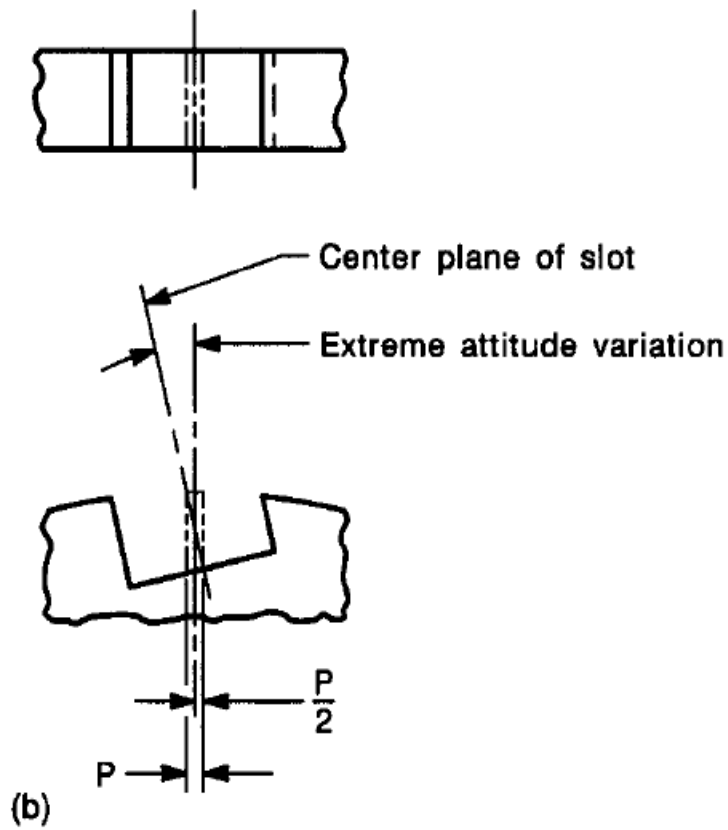
Side surfaces of slot may vary in attitude, provided W is not violated and slot width is within limits of size



형체의 중심 면에 적용된다면, 형체의 규정된 한계의 폭을 유지해야 할 경우, 그의 중심 평면은 제한된 공차영역 범위 내에 있어야 한다.

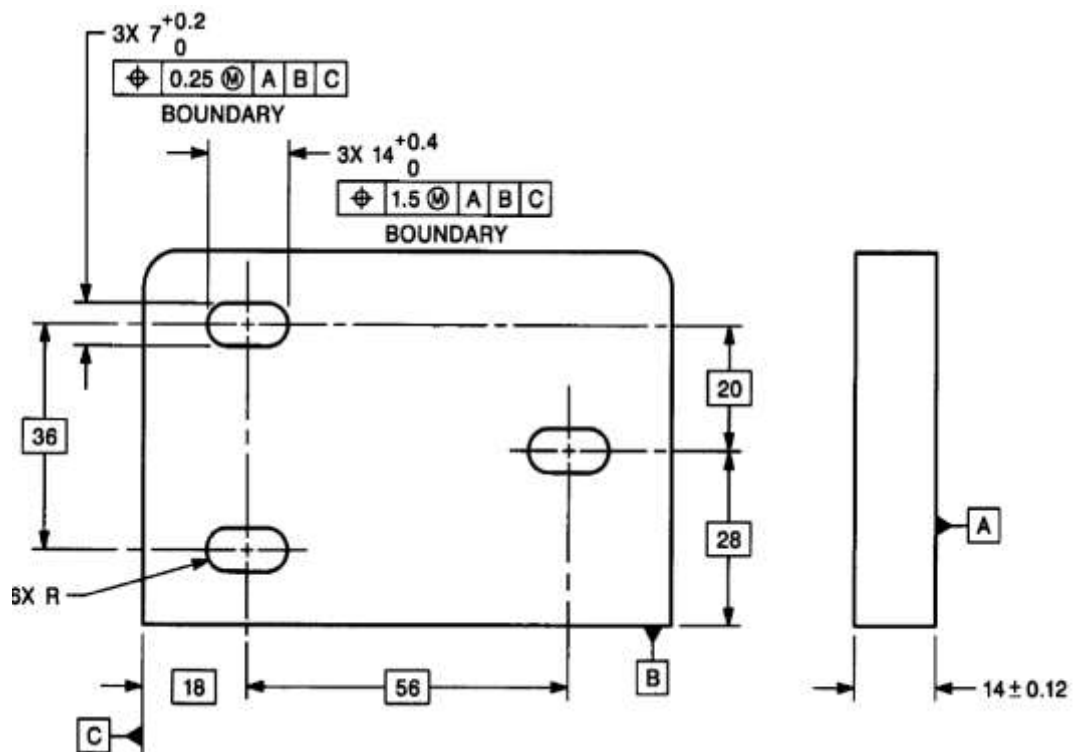


<그림 5-46>



늘린 형체를 위한 경계에 적용되면,

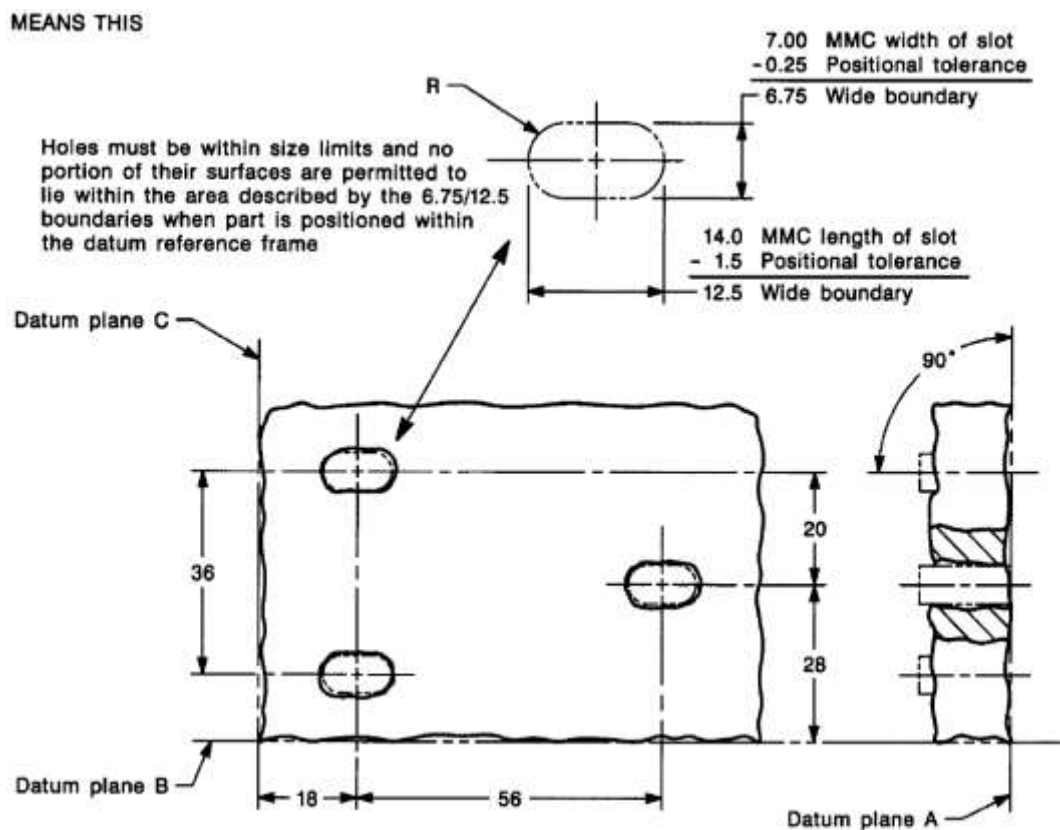
<도면 5-30>



적용된 표면의 어떠한 요소도 이론적인 경계의 안쪽에 있어서는 안 된다.
 경계의 크기는 늘린 형체의 MMC 치수에서 위치도 공차를 뺀 것과 같으며,
 “경계” 라는 주기를 삽입한다. (이 표기는 앞서 윤곽도에서도 설명한 바
 있지만 홀이 아닌 형체에 Φ 공차를 줄 수는 없기 때문이기도 하다.)
 위 도면의 의미는 다음의 개념과 같다.

Slot 홀의 완벽한 형체를 따라 긴 쪽 1.5mm, 짧은 쪽 0.25mm의 공차영역을 부여한다.

<그림 5-47>

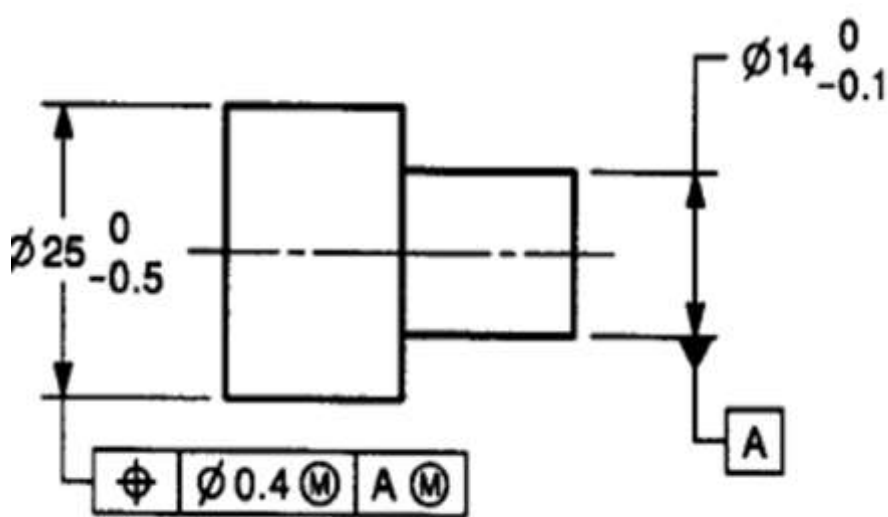


5-1-11. 동축 형체

동축도는 둘 또는 그 이상의 회전표면의 축심이 일치하는 조건으로, 데이

탐의 형체는 설계의 요구 조건에 의해 MMC나 RFS 로 규정한다.

<도면 5-31>



A 데이텀인 $\varnothing 14.0\text{mm}$ 에 치수공차가 -0.1mm 부여되어 있고, 좌측의 규제하고자 하는 형체인 $\varnothing 25.0\text{mm}$ 에 치수공차가 -0.5mm 부여되어 있다. 여기에 위치공차를 A 데이텀의 MMC 조건을 기준으로 큰 쪽 원통형체가 MMC 조건일 때, $\varnothing 0.4\text{mm}$ 로 규제되어 있다.

도면에 규제된 그대로의 A데이텀과 규제형체가 모두 MMC일 때, $\varnothing 0.4\text{mm}$ 의 공차가 부여되며, 데이텀 또는 규제형체가 MMC로부터 벗어나면 벗어난 양 만큼 보너스 공차가 부여되어 허용공차 값이 커지게 된다.

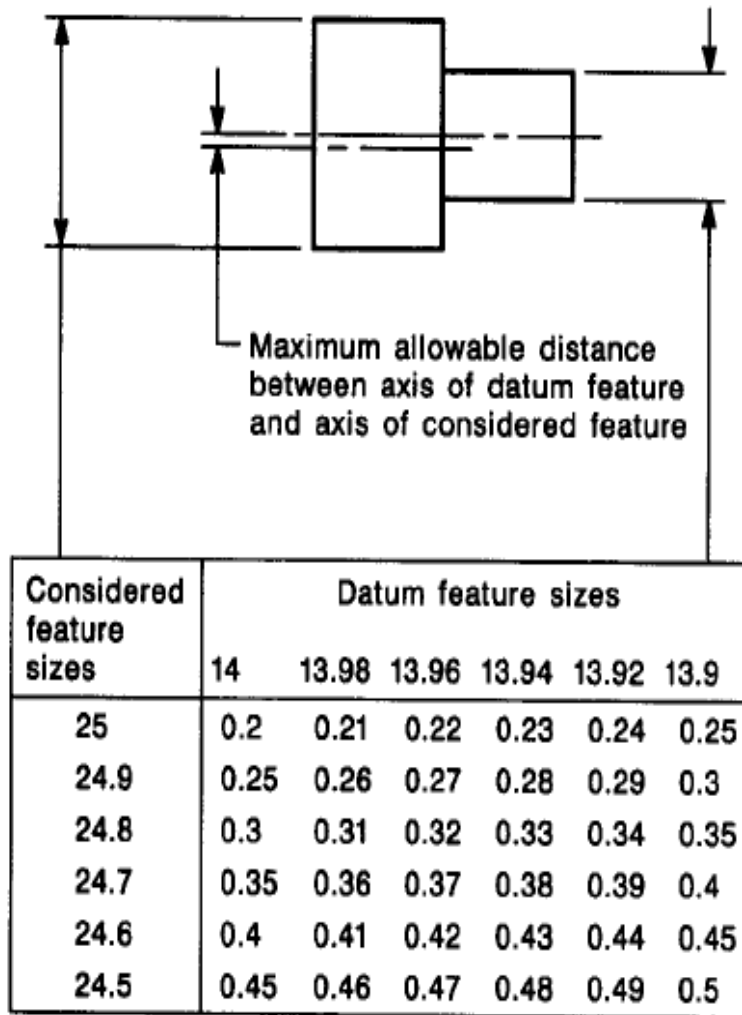
만일 데이텀이 LMC 재료조건인 $\varnothing 13.9\text{mm}$ 이고, 규제형체가 MMC $\varnothing 25.0\text{mm}$ 라면, 부여되는 보너스 공차는 $\varnothing 0.5\text{mm}$ 가 된다.

만일 데이텀이 MMC 재료조건인 $\varnothing 14.0\text{mm}$ 이고, 규제형체가 LMC $\varnothing 24.5\text{mm}$ 라면, 부여되는 보너스 공차는 $\varnothing 0.9\text{mm}$ 가 된다.

만일 데이텀과 규제형체가 모두 LMC로, A데이텀이 $\varnothing 13.9\text{mm}$ 규제형체가 $\varnothing 24.5\text{mm}$ 라면, 부여되는 보너스 공차는 $\varnothing 1.0\text{mm}$ 이 된다.

그렇다면 아래의 그림과 표는 어떤 의미인가? 아래의 그림은 두 원통형체의 중심 값의 차이를 표기한 것이다.

<그림 5-48>



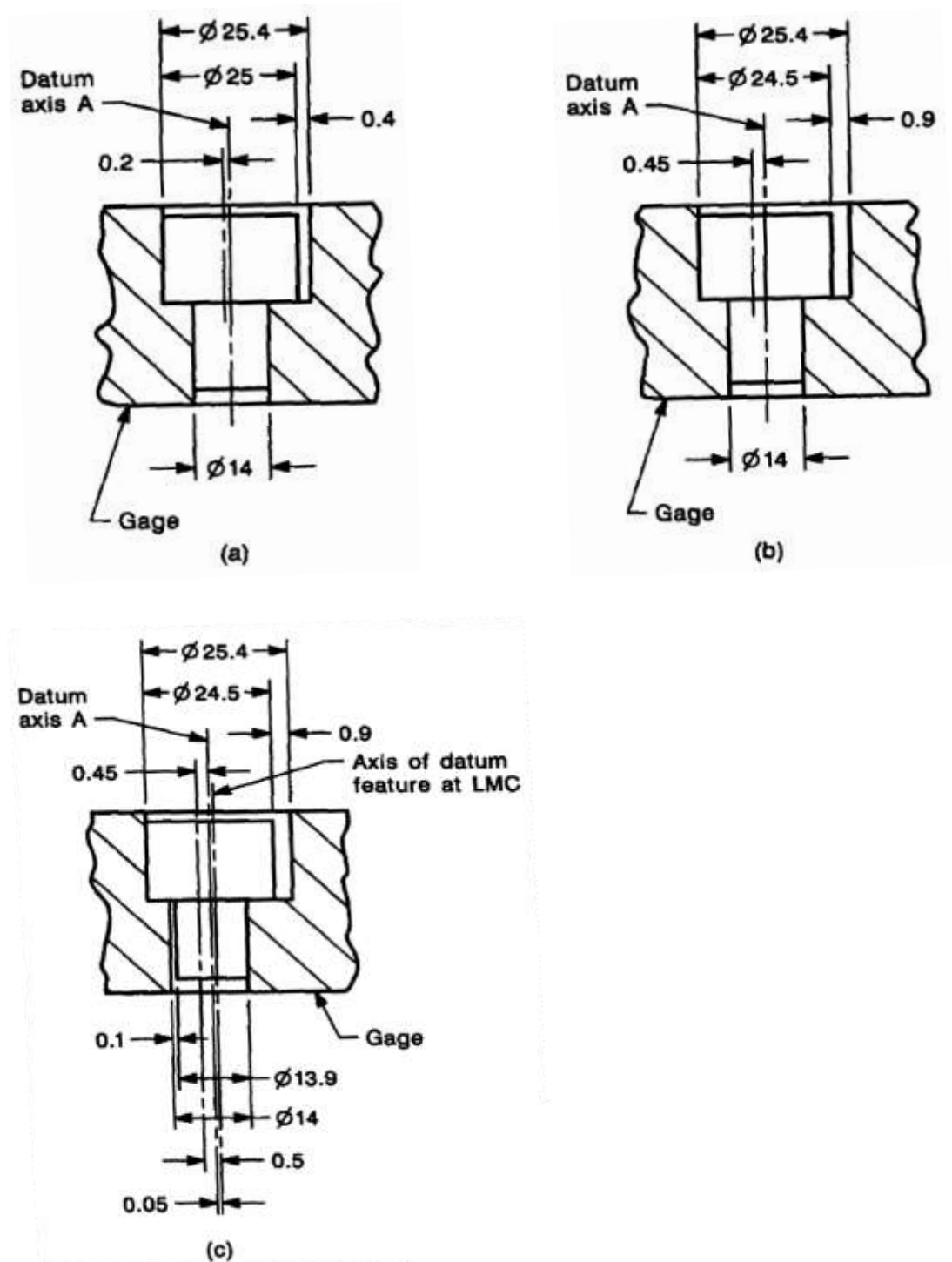
이 제품에 대한 게이지의 개념을 생각해 보자.

A 데이텀을 MMC 로 규제했으므로, 게이지에서 데이텀 A는 MMC인 $\Phi 14.0\text{mm}$ 로 제작한다. 그리고, 규제한 형체가 MMC $\Phi 25.0\text{mm}$ 일 때, 위치도 허용 공차가 $\Phi 0.4\text{mm}$ 이므로 외접하여 더해줘야 한다. 따라서 $\Phi 25.4\text{mm}$ 의 규제형체의 게이지 치수를 얻을 수 있다.

이 게이지를 아래와 같은 세 가지 경우의 제품과 더불어 양품으로서 검사

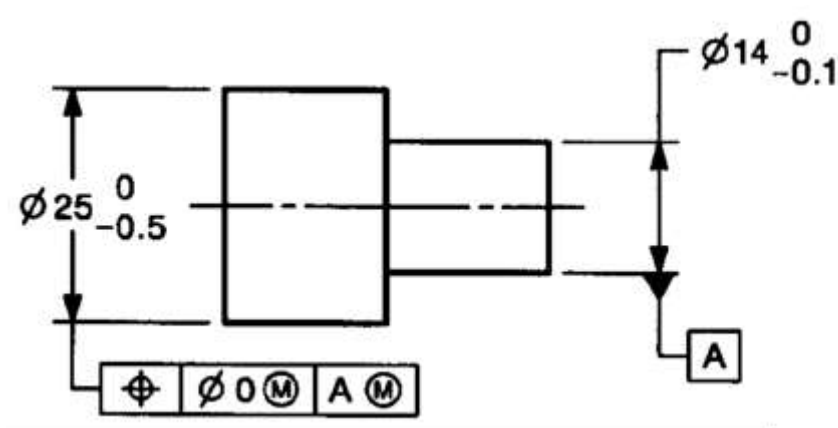
되는데 문제가 없음을 보여주고 있다.

첫 번째의 경우는 데이텀과 형체가 모두 MMC 인 경우, 두 번째의 경우는 데이텀은 MMC, 형체는 LMC 인 경우, 세 번째의 경우는 데이텀과 형체가 모두 LMC 인 경우이다.



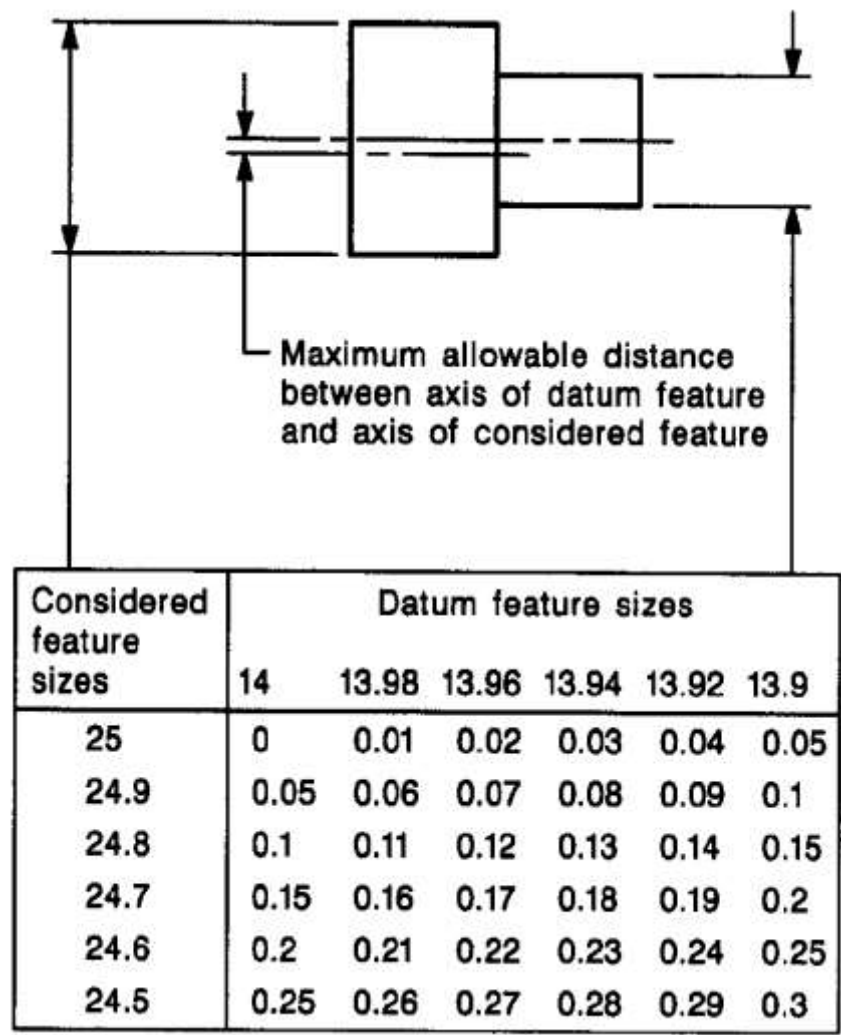
<그림 5-49>

MMC 위치도 공차 0인 경우, 두 형체가 모두 MMC일 때, 완전한 형상의 경계는 진 동축이 되어야 확립된다.



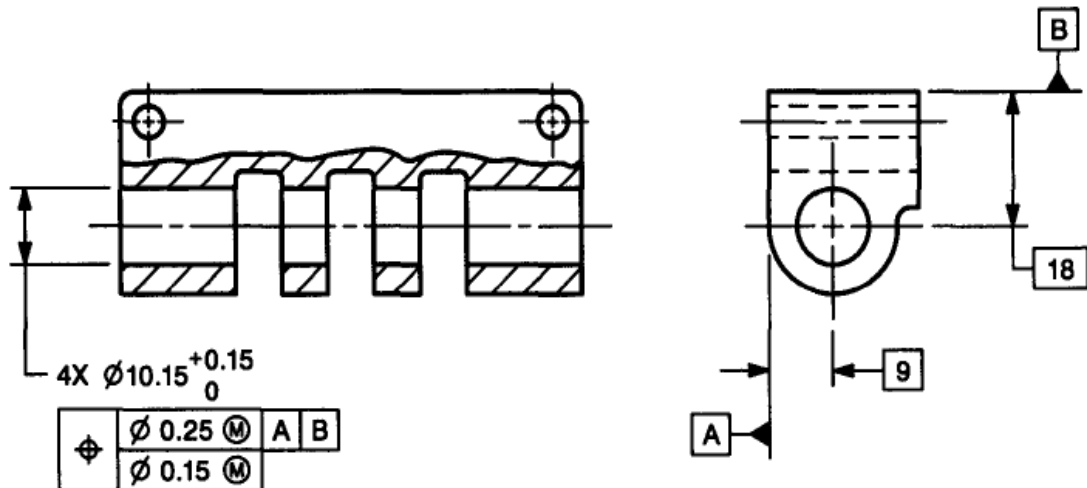
<도면 5-32>

<그림 5-50>



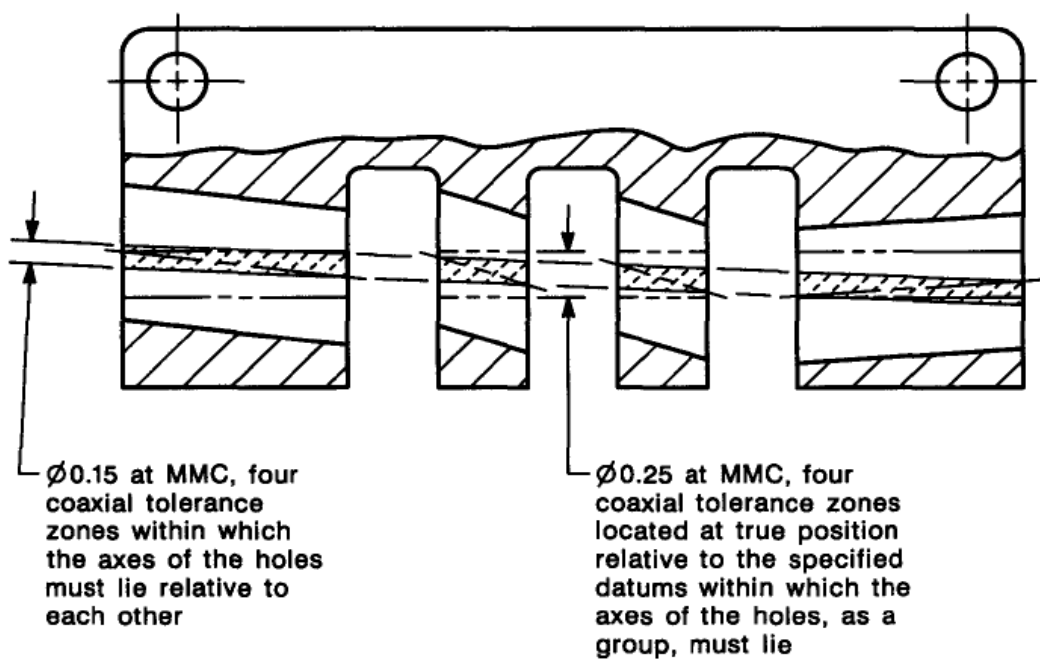
둘 또는 그 이상의 패턴 위치 공차에 대한 사례를 보고, 그 의미를 알아보자.

<도면 5-33>



복합공차로 요구된 두 공차의 위쪽 요구사항은 데이텀 A, B를 기준으로 한 네 개 홀 전체에 대한 요구사항으로 홀의 중심이 네 개 모두 $\Phi 0.25\text{mm}$ 영역 안에 있어야 함을 의미하며,

<그림 5-51>

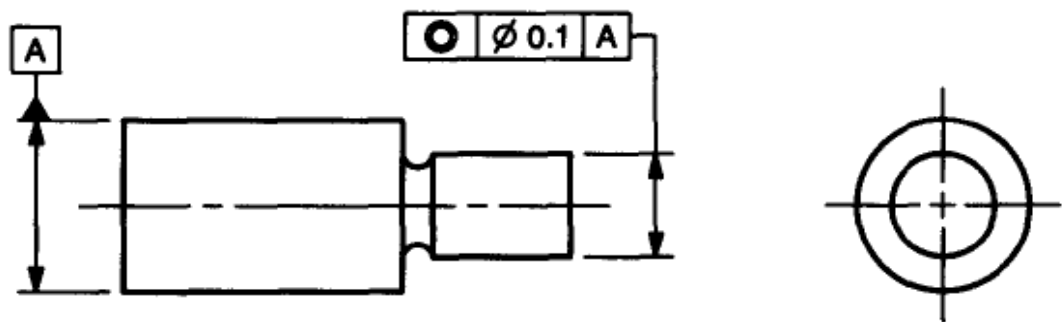


아래쪽에 요구사항은 개별 홀의 중심이 $\Phi 0.15\text{mm}$ 안에 있어야 한다는 것을 의미한다. 물론 $\Phi 0.15\text{mm}$ 의 공차영역은 전체 네 개의 홀이 위치해야 하는 공차역인 $\Phi 0.25\text{mm}$ 영역 내에 있어야 한다.

5-2. 동심도(Concentricity Tolerancing)

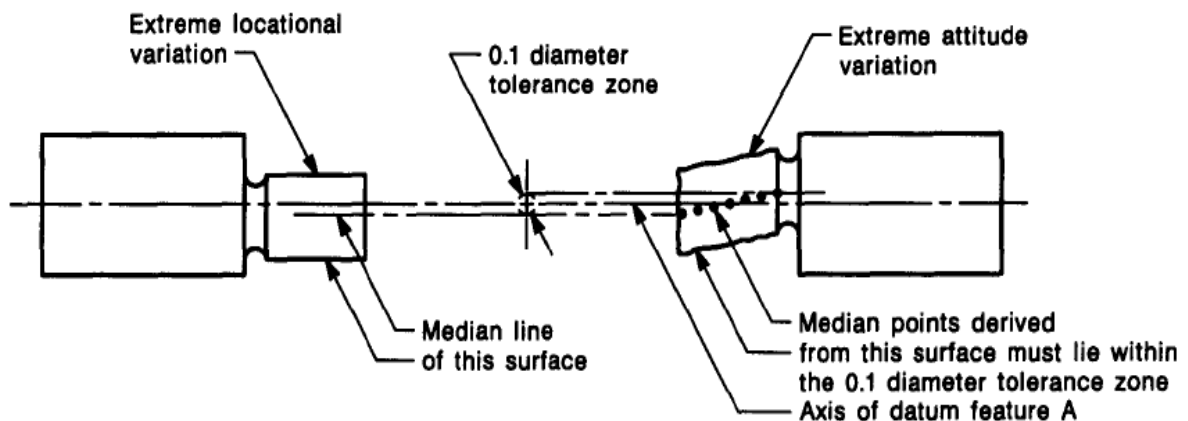
동심도는 축심이 데이텀 형체의 축심과 일치하는 원통(구)의 공차영역의 요구사항이며, 규정된 공차와 데이텀 참조는 RFS 조건으로만 적용된다.

<도면 5-34>



의미를 살펴보면, A 데이텀의 중심을 기준으로 $\Phi 0.1\text{mm}$ 의 원통형 공차영역 안에 규제한 작은 원통 형체의 중심들이 들어와야 한다.

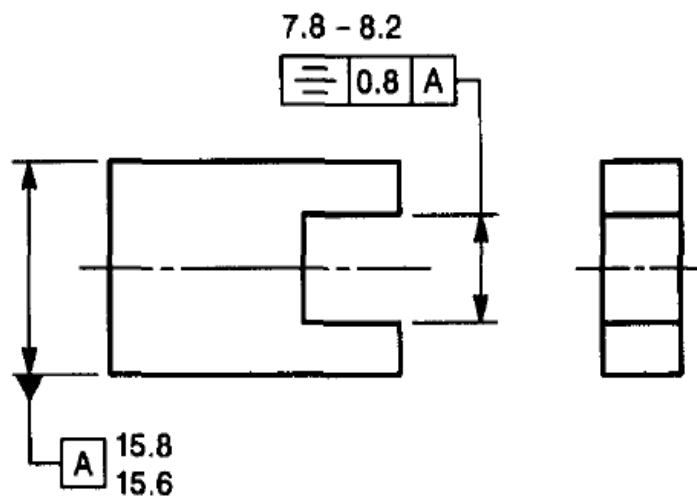
<그림 5-52>



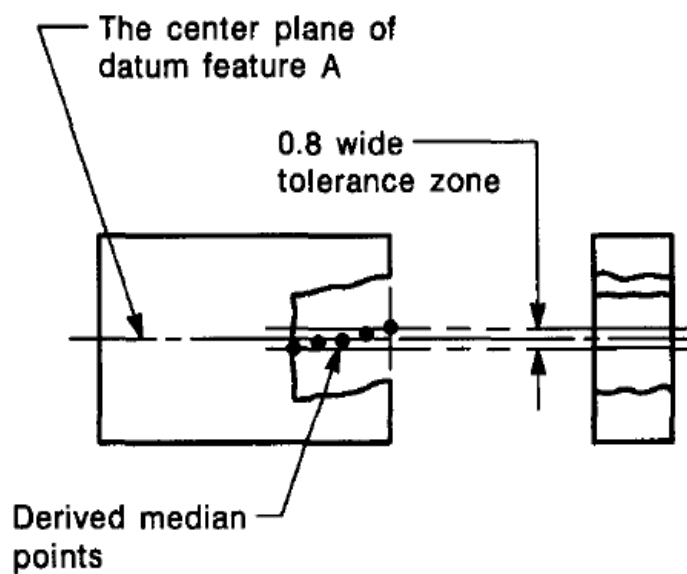
하지만, 형체의 중심점을 규제한다는 것이 명확하지 않기 때문에 흔들림
공차나 위치도 공차로 규정하는 경우가 많다. 위치도의 동축형체 규제가
이렇게 사용되는 예이다.

5-3. 대칭도(Symmetry Tolerancing)

포위선의 중심 면이 규정된 한계 내에서 데이텀 형체의 축심이나 중심과
일치하여야 하는 조건을 의미한다.



<도면 5-35>

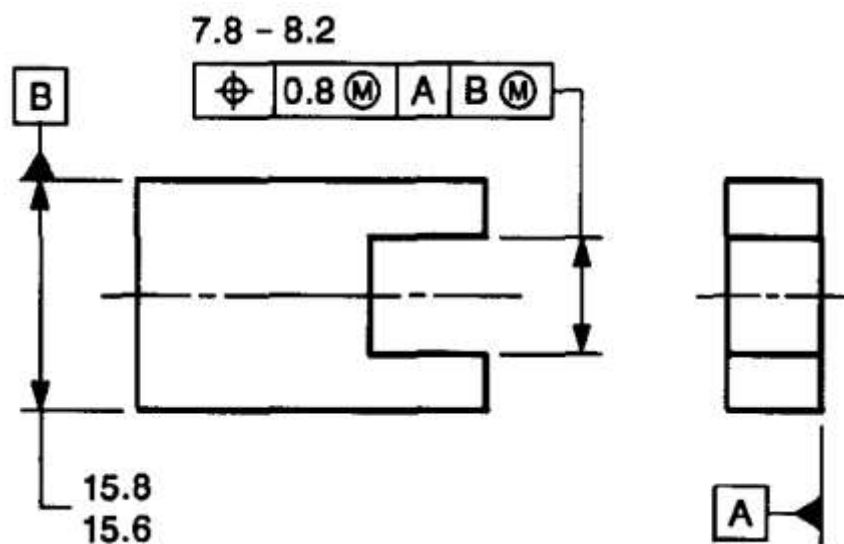


<그림 5-53>

A 데이텀을 기준으로 평행한 0.8mm의 평행 공차영역 안에 규제한 내측 홈의 중심이 들어와야 한다는 의미이다. 여기서 내측 홈의 중심이란 내측 홈의 상대되는 벽면의 각 위치에 대한 중앙점을 의미하는데, 위 그림과 같이 모든 중앙점이 0.8mm 평행선 안에 있어야 한다.

하지만 중앙점들을 얻는 것이 쉬운 방법은 아니므로 위치도로 규제하여 아래와 같은 MMC 조건을 부여함으로써 게이지를 이용한 쉬운 검사를 이용하는 경우가 많다.

<도면 5-36>



도면 요구사항을 해석해 보자.

A 데이텀을 첫 번째 기준으로 설정하였으며, B 데이텀인 제품의 외측 폭을 두 번째 데이텀으로 설정하고 MMC 재료조건을 부여하였다.

두 데이텀을 기준으로 내측 홈에 대한 위치공차를 MMC 조건에서 0.8mm 부여한 7.8mm ~ 8.2mm의 대칭형 내측형체를 규제한다.

B 데이텀의 MMC 재료조건이 15.8mm이고, 홈 형체의 MMC 조건이 7.8mm일 때, 위치도 허용공차가 0.8mm가 되고,

B 데이텀의 MMC 재료조건이 15.8mm이고, 홈 형체가 LMC 조건인 8.2mm일 때, 위치도 허용공차가 0.8mm에 보너스 공차 0.4mm가 추가되어 1.2mm가 되고,

B 데이텀이 LMC 재료조건이 15.6mm이고, 홈 형체가 MMC 조건인 7.8mm일 때, 위치도 허용공차가 0.8mm에 데이텀으로부터의 보너스 공차 0.2mm가 추가되어 1.0mm가 되며,

B 데이텀이 LMC 재료조건이 15.6mm이고, 홈 형체가 LMC 조건인 8.2mm일 때, 위치도 허용공차가 0.8mm에 0.4mm 및 0.2mm가 추가되어 1.4mm의 공차가 허용된다.

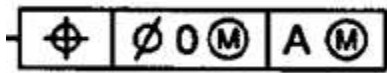
<표 5-4>

		Feature Size				
		7.8	7.9	8.0	8.1	8.2
Datum Size	15.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
	15.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
	15.6	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4

위치도를 정리하며, 동축형체를 놓고, 몇 가지의 기하공차 특성 부여시 의미를 참조해 보도록 하자.

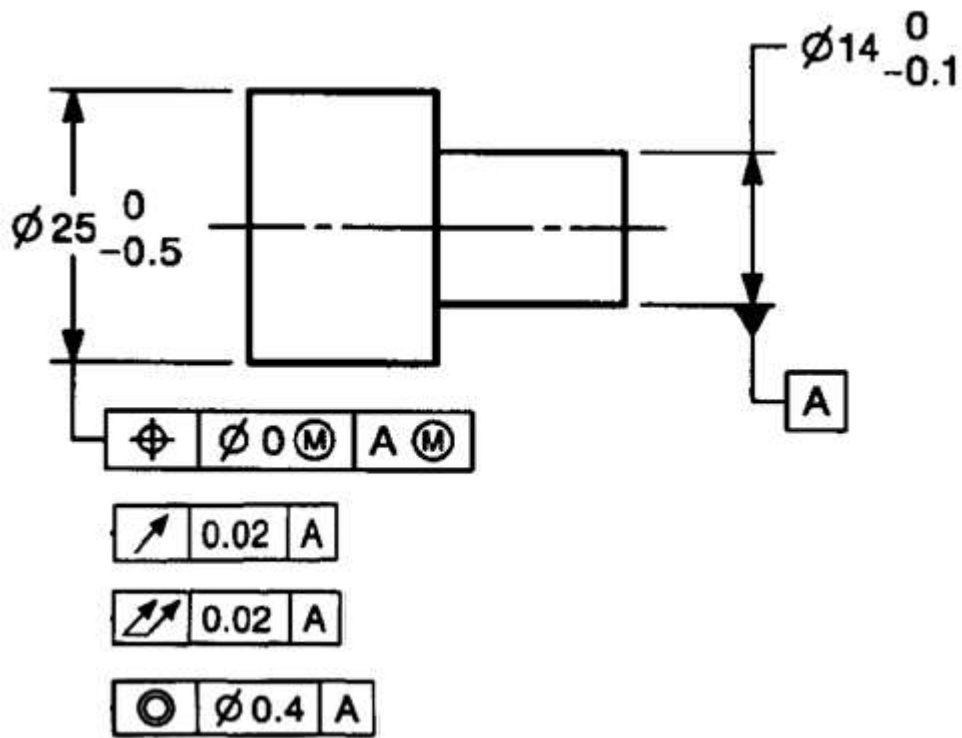
동일한 동축 형체라 하더라도 특성에 따라 다음의 의미를 가질 수 있음을 고려하여 설계하고 해석해야 한다.

- 위치도로 규제한 경우

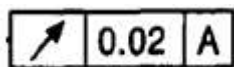


상대부품과 결합되는 경우, 기능적인 관계에서 호환성과 결합을 보증하기
위한 결합부품에 MMC 위치도 공차 규제

<도면 5-37>

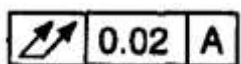


- 원주 흔들림으로 규제한 경우



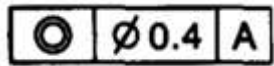
원형 횡단면의 표면을 형체치수공차와 관계없이 규제할 경우

- 전 흔들림으로 규제한 경우



원통전체 또는 표면 전체를 규제할 경우

- 동심도로 규제한 경우



축 선을 기준으로 회전하는 부품의 편심량을 규제할 경우

정리하면, 기능, 결합, 상태, 호환성 등 설계요구를 만족시킬 수 있는 부품의 특성에 맞는 적절한 기하공차를 규제해야 한다는 의미이다.

5장을 마치며, GD&T의 포괄적 정의를 다시 한번 다뤄보자.

“GD&T 는 가장 경제적으로 제품을 만들 수 있도록 부품 형상(Part Feature)의 실제적인 기능(Function) 또는 관계(Relationship)에 중점을 두고 도면의 치수 및 공차를 정하는 수단”

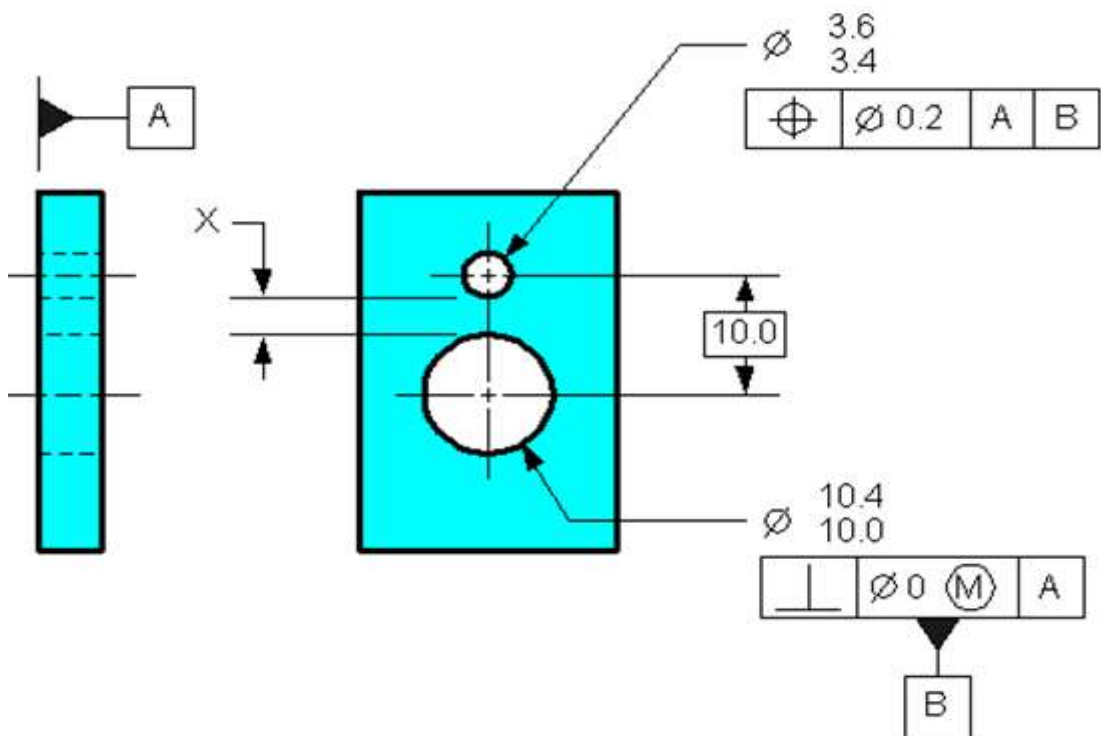
결국 GD&T에서도 가장 중요한 개념은 기능과 관계이다. 엔지니어 입장에서 큰 의미에서도 항상 잊지 말아야 할 것은 기능과 관계임을 명심해야 할 것이다.

제6장 공차의 해석 및 공정능력

6-1. 공차의 해석

치수 공차 및 기하 공차의 요구사항을 해석하여 양품의 치수 범위를 구하여 보자.

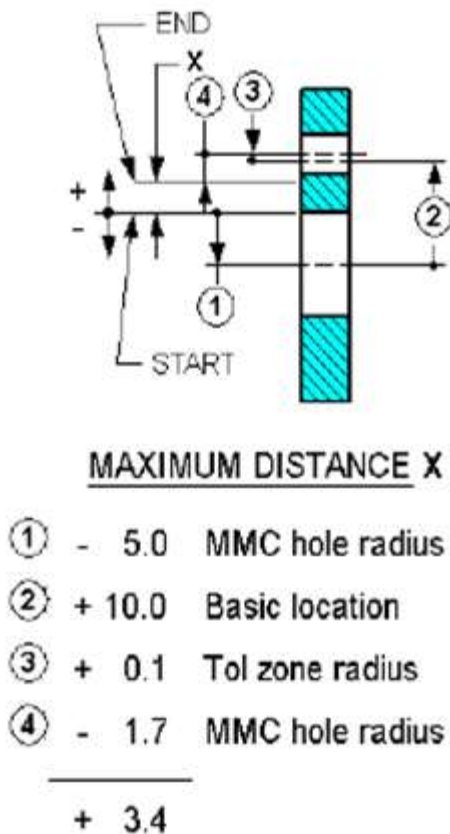
<도면 6-1>



X 값에 대한 범위를 구하기 전에 우선 조건을 생각해 보자. X 값이 가장 크기 위해서는 두 홀의 크기가 가장 작은 치수여야 하고, 두 홀의 위치가 가장 벌어져 있어야 한다. 또한 X 값이 가장 작기 위해서는 두 홀의 크기가 가장 큰 치수여야 하고, 두 홀의 위치가 가장 모여 있어야 한다.

이 두가지 조건을 머리에 두고, X의 가장 큰 값을 구하여 보자. 이 값을 구하는 방법은 제품의 복잡성에 따라 시뮬레이션, 프로그램, CAD, 엑셀

등의 소프트웨어를 이용할 수 있고, 간단하게는 조건을 따져보거나 좌표를 이용할 수 있다. 여기서는 개념을 명확히 이해하기 위해 좌표를 이용해 X 값을 구해 보도록 한다.



<그림 6-1>

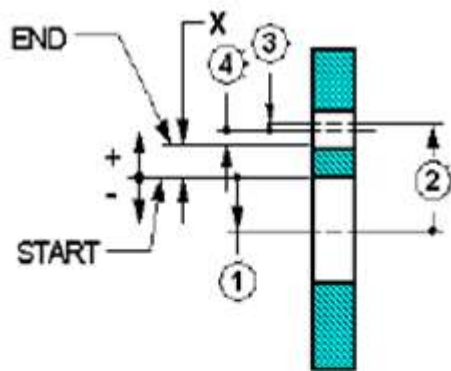
우선 X의 가장 큰 값을 구하기 위해 X 치수의 하단위치를 0으로 하고 좌표를 아래쪽은 -, 위쪽은 +의 좌표를 이용한다.

0에서 출발한 ① 항목은 X가 가장 큰 경우이므로 홀이 가장 작은 경우에 해당된다. 따라서 5mm의 아래홀 반지름이 적용되며, 아래쪽으로 내려왔으므로 -가 붙게 된다.

다음은 상부로 ② 항목만큼 올라가는데, 여기서는 기준치수인 10mm를 이용하였다. 이렇게 이동된 위치는 기준치수를 이용하였으므로 상부 홀의 이론적인 중심에 해당된다. 이 중심을 기준으로 $\Phi 0.2\text{mm}$ 의 공차영역을 부

여하였으므로 상부 홀이 최대한 치우치면 상부로 0.1mm 만큼 올라갈 수 있다. 이것이 ③ 항목에 해당된다. 상부 홀의 중심에서 최소 크기의 홀 반지름만큼 내려오게 되므로 MMC 치수인 $\Phi 3.4\text{mm}$ 의 반지름인 ④항의 1.7mm 만큼 아래로 내려오게되면 X의 상단위치에 이르게 되고, 이 값을 모두 계산하면 3.4mm인 X의 최대값을 구할 수 있게 된다.

다음으로는 X의 최소값을 구해보자.



MINIMUM DISTANCE X

- ① - 5.2 LMC hole radius
- ② + 10.0 Basic location
- ③ - 0.1 Tol. zone radius
- ④ - 1.8 LMC hole radius

+ 2.9

<그림 6-2>

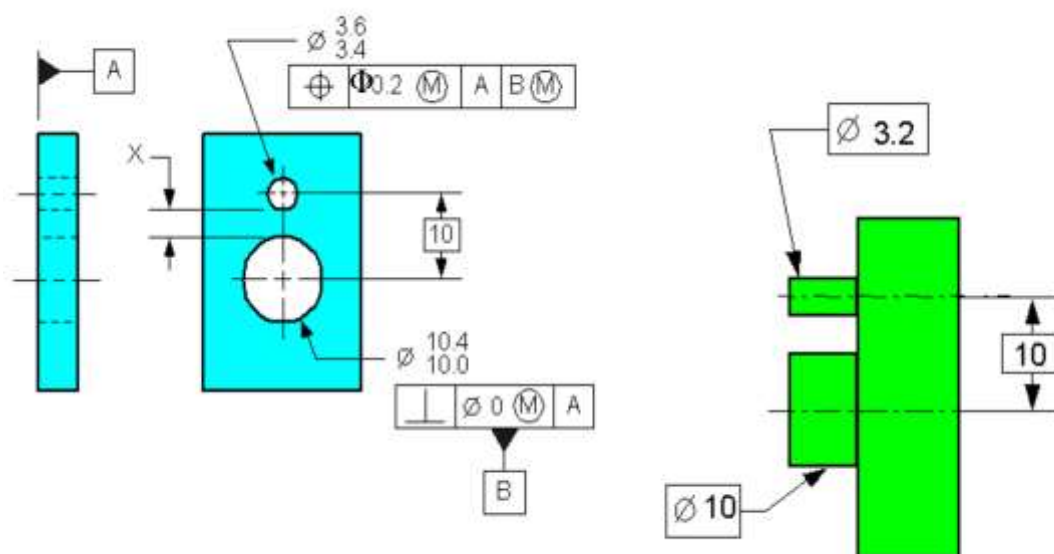
마찬가지로 X의 하단에서부터 출발하여 아래쪽으로 ① 항만큼 내려온다. X가 가장 작은 경우이므로 하부 홀의 크기는 가장 큰 경우가 되며, $\Phi 10.4\text{mm}$ 의 반지름에 해당하는 5.2mm의 값이 된다. 여기서 기준치수를 이용하여 ② 항만큼 상부로 이동한다. 이론적인 중심을 기준으로 상부 홀이 가장 하단으로 치우치게되는 경우이므로 ③ 항인 하단으로 0.1mm 만큼 이

동하게 되며, 마지막으로 상부홀의 가장 큰 크기인 $\Phi 3.6\text{mm}$ 의 반지름에 해당하는 ④ 1.8mm만큼 하단으로 내려오면 X의 상단에 이르게 된다. 이 값들을 정리하면 2.9mm의 최소값을 얻게 된다.

결국 도면상의 X 값에 대한 범위를 2.9mm ~ 3.4mm로 구할 수 있게 된다. 그렇다면 이것을 왜 구해야하는지도 알아야 하지 않을까? 상대물과의 관계에 있어서 양품인 내 제품의 치수 범위를 구하고, 이것을 상대물과 비교 검토하기 위한 것이 목적이다.

한가지 사례만 더 알아보도록 하자.

<도면 6-2>



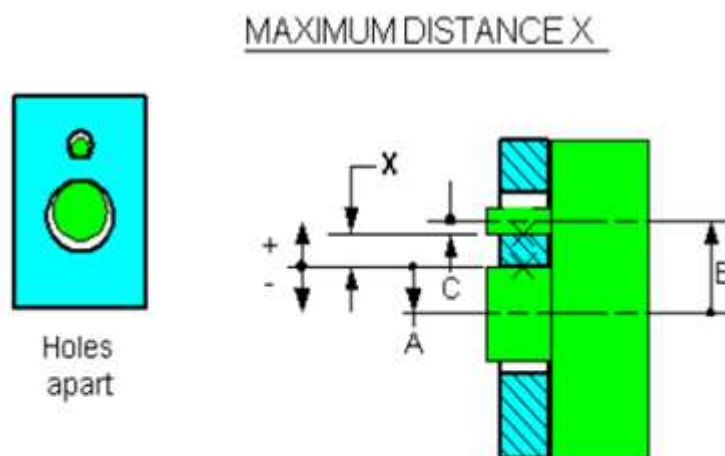
앞의 사례와 달라진 점은 MMC 조건이 부여된 요구사항이라는 것이다. 앞서 계속해서 강조한 것이 MMC는 게이지를 위한 요구사항이라는 것이었다. 치수의 범위를 구하는데 있어서도 MMC조건이 부여되면 게이지를 이용하는 것이 쉽다. GD&T의 모든 영역에서 그렇지만 MMC가 부여된 조건을 치수값

또는 측정한 값으로부터 따지면 복잡해지고 어렵게 된다.

그래서 위 도면 옆에 게이지의 개념을 그려놓은 것이다. 가장 간단한 형태의 두 핀(아래 홀의 실효치수인 $\Phi 10\text{mm}$ 와 상부 홀의 실효치수인 $\Phi 0.2\text{mm}$ 를 이용한 것)과 두 핀간의 기준치수 10mm 를 적용한 게이지의 개념이 된다.

이것도 우선 X의 가장 큰 값과 가장 작은 값에 대한 조건을 먼저 생각하는데, 여기에 게이지를 적용하여 개념을 맞춰보자.

X가 가장 큰 값을 가진 제품에 게이지를 끼우게 되면, 아래와 같이 제품과 게이지가 내측에서 접하게 된다. 이것이 게이지를 이용하여 쉽게 X값을 구하게 될 개념이 된다.



STEP 5

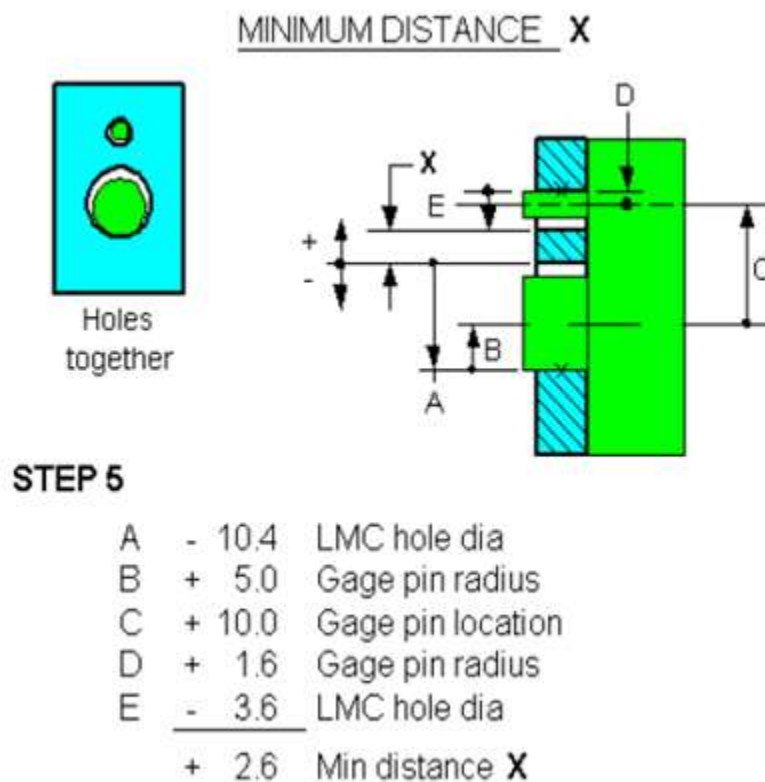
A	-	5.0	Gage pin radius
B	+	10.0	Gage pin location
C	-	1.6	Gage pin radius
+		3.4	Max distance X

<그림 6-3>

이전 사례와 마찬가지로 X의 하단을 0로 놓고 출발해 보자. A 만큼 이동하는데 0에서 제품과 게이지가 접하게 되므로 A의 양은 게이지 하부 핀의

반지름이 된다. 따라서 5mm 만큼 아래로 내려오게 된다. 하단의 핀 중심 으로부터 기준치수를 이용하여 상부 핀의 중심까지 이동하며 이것이 10mm 인 B 값에 해당된다. 여기서 하단으로 상부 핀의 반지름인 1.6mm에 해당하는 C만큼 내려오게되면, X의 가장 큰 값인 3.4mm를 얻을 수 있게 된다. MMC조건을 부여하였지만 게이지의 개념을 이용하니 훨씬 쉽게 값을 구할 수 있게 된 것을 볼 수 있다.

다음은 X의 가장 작은 값을 구해보자.



<그림 6-4>

X의 가장 작은 값을 가진 제품을 게이지에 적용하면, 위 그림과 같이 제품과 게이지가 두 홀의 최외곽에서 접하게 된다. 이 개념을 이용하여 X의 가장 작은 값을 구하여 보자.

X의 하단 0위치에서 출발하여 A 치수인 제품 아래 홀의 지름만큼 이동한

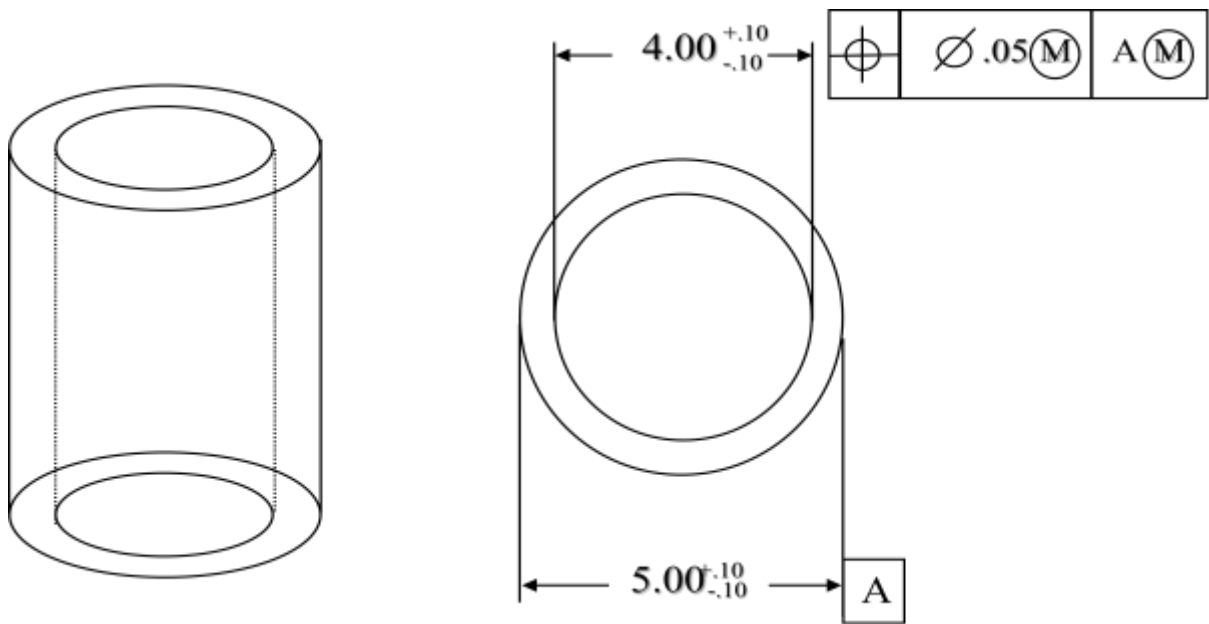
다. 이 지름은 X의 최소값을 구하는 것이므로 최대의 홀 크기가 된다. 따라서 아래쪽으로 3.6mm 만큼 이동한다. 이 위치에서 게이지의 아래 핀 반지름을 이용하여 상부로 5mm 만큼(B) 이동하게 되고, 아래 핀의 중심으로 부터 상부 핀의 중심까지 기준치수를 이용하여 이동한다(C). 상부 핀의 중심으로부터 상부 핀의 반지름만큼 이동(D)하면 제품과 게이지의 접촉점에 이르게 된다. 여기서 상부 홀의 지름만큼 내려오면(E), X의 상부점에 이르게 된다. 이 값을 정리하면 2.6mm의 값을 구할 수 있으며, 도면상의 X 값에 대한 범위를 2.6mm ~ 3.4mm로 구할 수 있게 된다.

이상의 두 가지 사례는 제품의 가장 간단한 개념을 통해 공차의 해석을 수행한 것이다. 실 제품의 대부분은 이보다 복잡한 형태 또는 여러 제품의 조립을 통해 이루어지므로, 실 제품에서의 공차분석을 위해 사용하게 될 프로그램들의 기본 개념을 잡는데 이용하면 될 것이다.

6-2. 공정능력의 분석

여기서 공정능력에 대한 의미를 알아보고자 하는 목적은 MMC 재료조건의 개념을 좀더 명확히 하고자 함이다.

<도면 6-3>



위 <도면 6-3>에 명기된 치수의 값(4.00 ± 0.10 , 5.00 ± 0.10)은 원통형체의 내/외측의 치수이며, 다른말로 표현하면 스펙(Specification)이다. 그런데 이런 치수의 스펙은 고정되어 있다. 따라서 제품이 만들어지면 그 제품의 치수가 스펙 안에 들어 있는지 아닌지 또는 들어 있다면 얼마만큼 중심값에 가까운지를 판단하게 된다. 이것이 고정된 스펙이기 때문에 가능한 개념이 된다.

하지만 위치도에 MMC 재료조건이 반영되면 고정된 스펙의 의미가 달라지게 된다.

예를 들어, 어떤 제품을 시료로 추출하여 측정했더니 위치도 값이

0.140mm 였다면, 이제품은 양품인가 아니면 도면에 쓰여있는 $\Phi 0.05$ 공차 값보다 크므로 양품이 아닌가?

MMC로 부여되었기 때문에 제품의 치수가 내/외측 MMC 조건에서 얼마만큼 벗어나 있는지를 확인하고 이 값을 보너스 공차로 도면상 공차 $\Phi 0.05$ 에 추가부여 한 후, 비로소 구해진 스펙을 기준으로 양/불량을 판단할 수 있다. 이 개념이 여기서 알아야할 가장 중요한 개념이다.

정리하면, MMC 재료조건이 부여되면 위치도의 스펙이 변하게 되고, 변하는 스펙을 기준으로 양/불량의 판단 및 여러 제품들이 얼마만큼 중앙값에 가깝게 된 것인지를 판단하는 것이 필요하다.

위 도면으로 생산된 제품의 측정값이 아래 <표 6-1>과 같다. 각 생산품의 보너스 공차를 구하여 제품의 공정 능력을 산출해 보자.

첫 번째 시료의 경우만 설명하고, 나머지는 아래 <표 6-2>로 설명을 대신하도록 하겠다.

Part	OD	ID	ID Position
1	5.023	4.022	0.140
2	5.055	4.086	0.105
3	5.045	3.955	0.025
4	4.955	4.110	0.021
5	5.090	4.050	0.068

<표 6-1>

제품의 외측 치수가 5.023mm인 것은 A 데이텀의 MMC 조건인 5.10mm으로부터 0.077mm의 차이값을 가지게 된다. 이것이 앞서 다룬 데이텀의 변화량

이고, 데이텀으로부터 추가되는 보너스 공차이다. 또한 제품의 내측 치수가 4.022mm인 것은 규제하는 형체가 MMC 조건인 3.90mm로부터 0.122mm의 차이값을 가지게 된다. 이것이 규제형체로부터 추가되는 보너스 공차이다.

<표 6-2>

Part	OD 보너스공차	ID 보너스공차	ID + OD 보너스 공차	기준 위치 공차 포함	제품별 측정공차	Percent of Toleranc e
1	5.10-5.023 =.077	4.022-3.90 =.122	.077+.122 =.199	0.199+0.05 =0.249	0.140	56.22%
2	5.10-5.055 =.045	4.086-3.90 =.186	.045+.186 =.231	0.231+0.05 =0.281	0.105	37.37%
3	5.10-5.045 =.055	3.955-3.90 =.055	.055+.055 =.110	0.110+0.05 =0.160	0.025	15.63%
4	5.10-4.955 =.145	4.110-3.90 =.200	.145+.200 =.345	0.345+0.05 =0.395	0.021	5.32%
5	5.10-5.090 =.010	4.050-3.90 =.150	.010+.150 =.160	0.160+0.05 =0.210	0.068	32.38%

위 <표 6-2>와 같이 데이텀 A로부터 추가되는 보너스 공차와 규제형체로부터 추가되는 보너스공차를 합하여 도면상 공차인 $\Phi 0.05$ 에 더해준 0.249mm가 위치도 허용공차의 한계인 스펙이 되는 것이다.

결국은 외측 치수 $\Phi 5.023\text{mm}$, 내측 치수 $\Phi 4.022\text{mm}$ 인 제품의 위치도 공차 스펙은 0.249mm가 되는 것이다.

위 <표 6-2>는 이 내용을 5개의 시료에 대하여 정리한 것이고, <표 6-2>의 마지막에는 5개의 시료에 대하여 측정한 측정값을 스펙을 기준으로 한 %값으로 표기한 것이다.

Percent of Tolerance	56.22%
	37.37%
	15.63%
	5.32%
	32.38%
Average	29.38% (0.2938)
Std Dev	0.1976

<표 6-3>

이 %값을 데이터로 평균과 표준편차를 구해 아래와 같이 공정능력의 식에 대입하여 공정능력의 값을 산출할 수 있다.

$$Cpk = (UTOL - \bar{X}) / (3 * Std\ DEV)$$

(Upper tolerance is 1.00 (or 100%))

$$Cpk = (1.00 - .2938) / (3 * .1976) = (.7062) / (.5928) = 1.19$$

제7장 기계, 자동차의 GD&T

이 장에서는 기계, 자동차의 GD&T와 관련하여 이전 내용의 주요 영역인 Y14.5에서 다뤄지지 않은 것을 언급하도록 한다. 이전에도 언급한 바 있지만 GD&T의 대부분의 영역은 Y14.5에 따르므로 이 장에서 다뤄지는 내용은 Y14.5의 보완 정도로 이해하면 좋을 것이다.

7-1. 범위, 정의, 일반치수

7-1-1. 일반 원칙

특별히 지정되지 않은 각 치수는 공차를 가진다.

모든 형태의 특성을 완전히 이해할 수 있도록 치수와 공차를 부여한다.

최종 품에서 필요한 치수를 명기한다.(참고치수의 사용은 최소화)

치수는 기능(Function)과 관계(Relationship)에 맞도록 설정한다.

도면상에는 제조방법 외에 제품을 정의한다. (만약 요구사항의 핵심적인 부분이라면 도면상 또는 문서로 정의)

치수는 실 형태와 가시적인 외형에 부여한다.

지름 또는 두께의 지시는 선형치수로 지시한다. (게이지 또는 코드 필요 시 치수 뒤에 괄호로 표시)

각도가 명기되지 않은 중심선은 90° 이다.

특별한 지시가 없는 한 모든 치수는 $20^\circ\text{C}(68^\circ\text{F})$ 에 적용된다.

모든 치수 및 공차는 자유상태로 적용된다.(변형 부품은 별도 지시)

별도 지시가 없는 한, 모든 기하공차는 형태의 전 깊이, 전 길이, 전 폭

에 적용된다.

치수 및 공차는 적용된 도면의 수준(Level)에서만 적용된다.

별도의 지시가 없는 한, 모든 치수는 열처리/표면처리 후에 적용된다.

7-1-2. 치수한계 원칙

치수공차만 주어진 형체는 MMC 형체의 완전한 영역 내에 규제된다.

RFS조건으로 규제되거나 형상 기하공차가 규제되지 않으면, MMC 형체 내에서 규제된다.

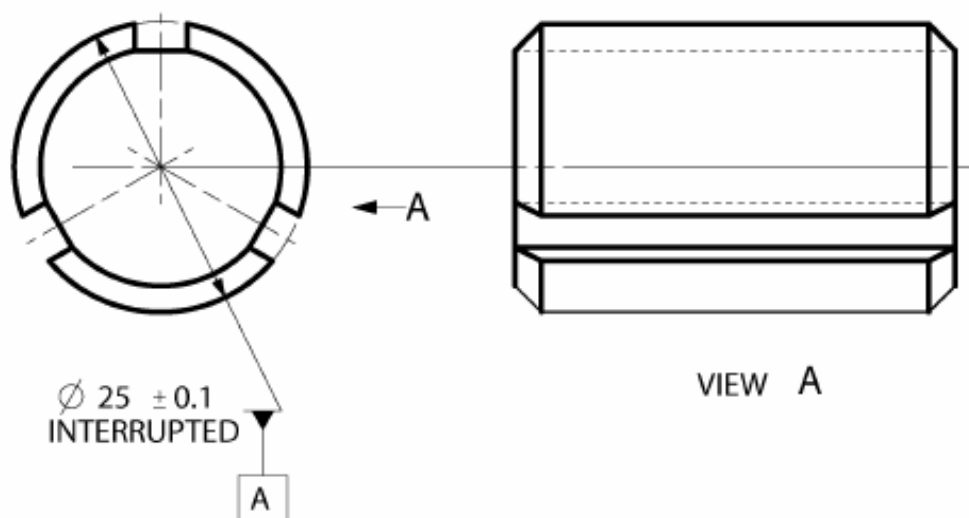
방향 기하공차가 MMC 크기 형체에 적용되고, 형상 기하공차가 규제되지 않으면, MMC 실효조건(Virtual Condition)에 따른다.

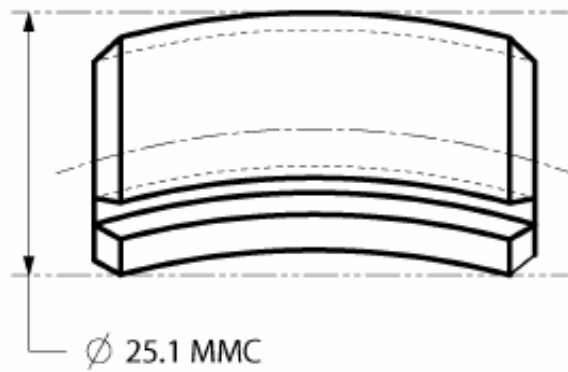
MMC에 위치 기하공차만 적용되면, 위치공차의 MMC 실효조건에 따른다.

방향 기하공차가 LMC 크기 형체에 적용되고 형상기하공차가 규제되지 않으면, LMC 실효조건에 따른다.

7-1-3. 끊긴 형체(Interrupted Feature)

<도면 7-1>

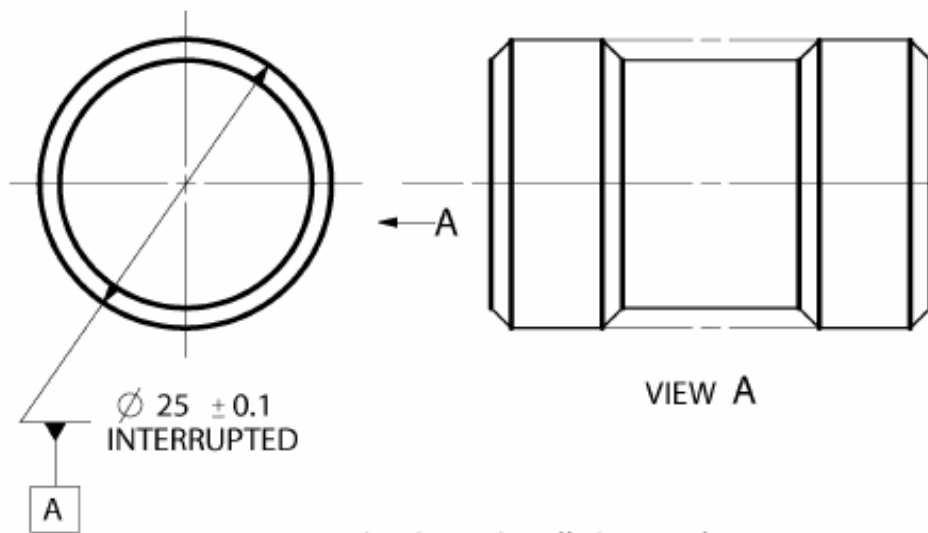




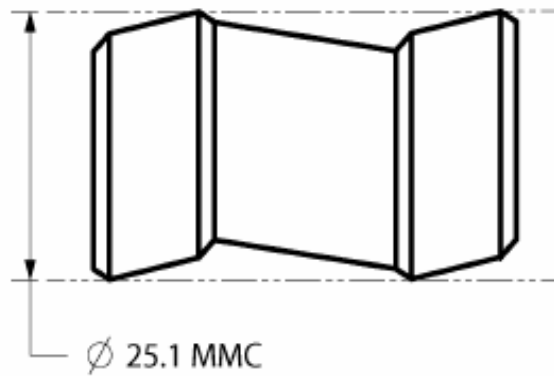
<그림 7-1>

위 <도면 7-1>과 같이 $\varnothing 25\text{mm}$ 의 부위는 완전한 원형이 아니지만, 굽긴 형태의 요구사항을 치수값 아래에 반영하고 있으므로 완전한 형태의 MMC인 $\varnothing 25.1\text{mm}$ 의 요구사항을 반영할 수 있다. 따라서 <그림 7-1>과 같이 포위선의 요구를 가지는 $\varnothing 25.1\text{mm}$ 의 완벽한 경계의 안에 제품의 모든 형상이 들어와야 한다.

<도면 7-2>



위 <도면 7-2>의 요구사항도 $\varnothing 25.1\text{mm}$ 의 굽긴 형태 요구를 가지므로 우측의 View A와 같이 MMC의 완벽한 포위선의 영역 안에 들어와야 한다.

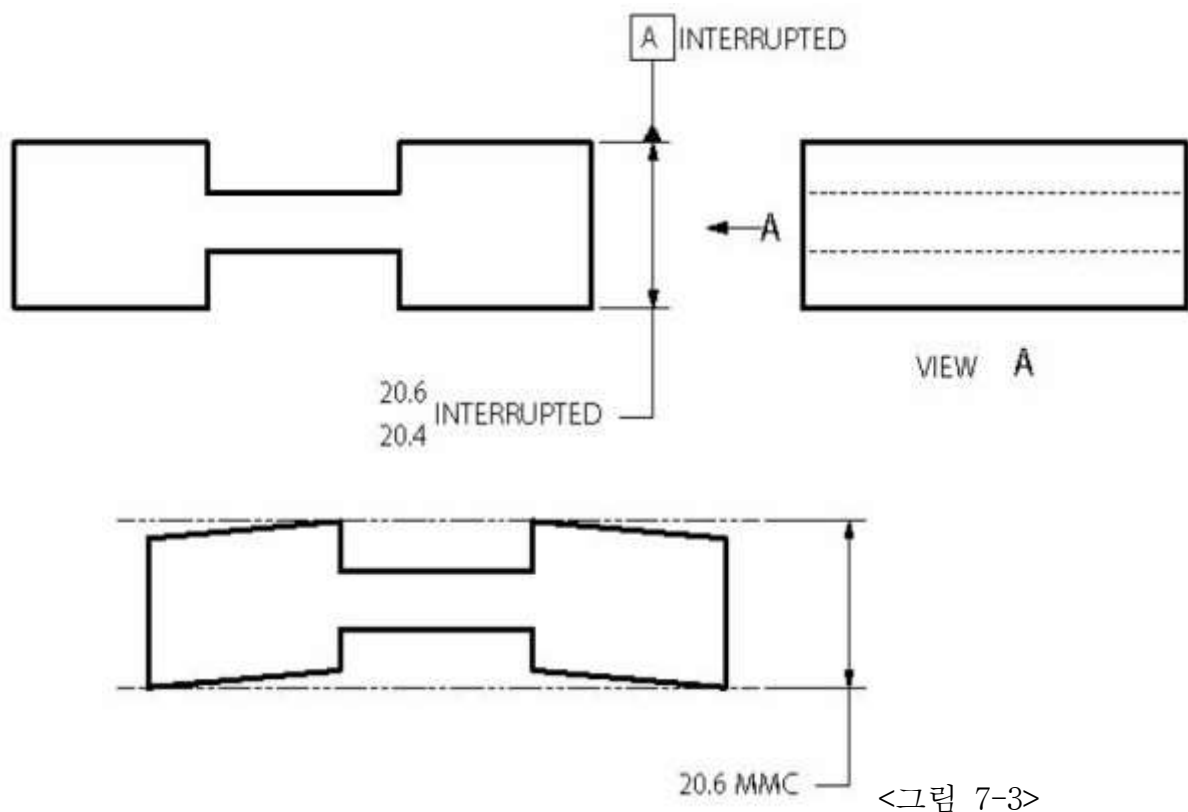


<그림 7-2>

원통의 길이 방향의 꿰긴 형체도, <그림 7-2>와 같이 꼭찬 형체와 같이 간주토록 하는 요구사항이다.

위와 같은 원통형체에만 꿰긴 형체가 적용되는 것이 아니고, 평면 형체에도 요구되어질 수 있다.

<도면 7-3>

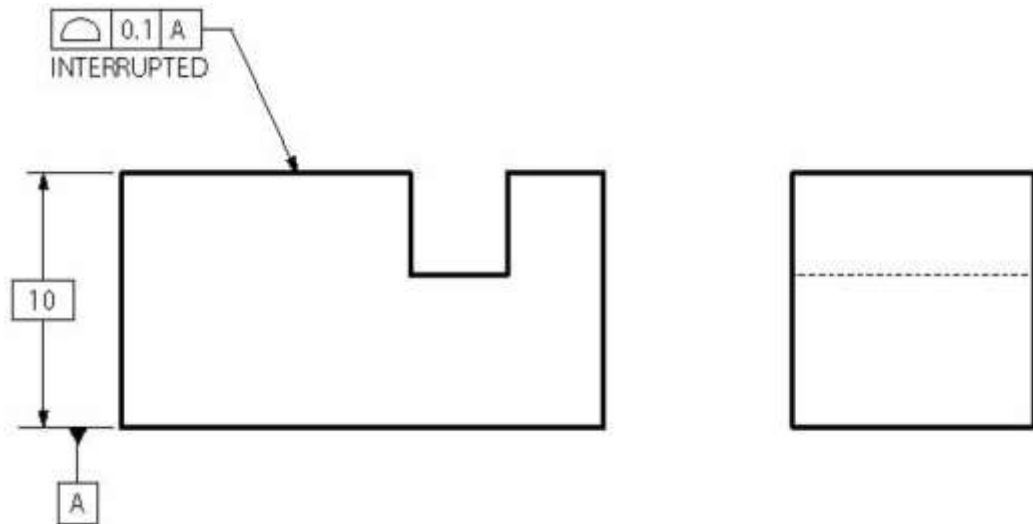


<그림 7-3>

평면형체에도 꿰긴형체의 요구사항이 적용되면 중간에 움푹 들어간 형체

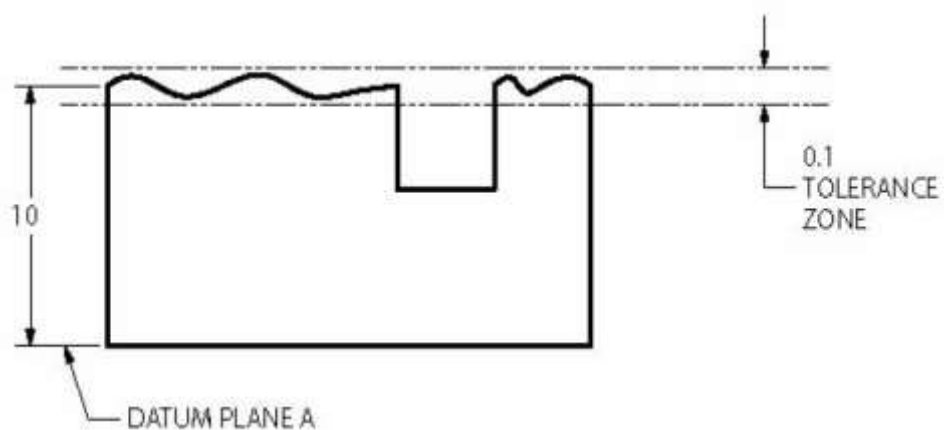
가 있더라도 이 형체를 넘어 두꺼운 부분의 형상이 함께 20.6mm의 MMC 포위선의 개념을 만족해야 한다.

<도면 7-4>



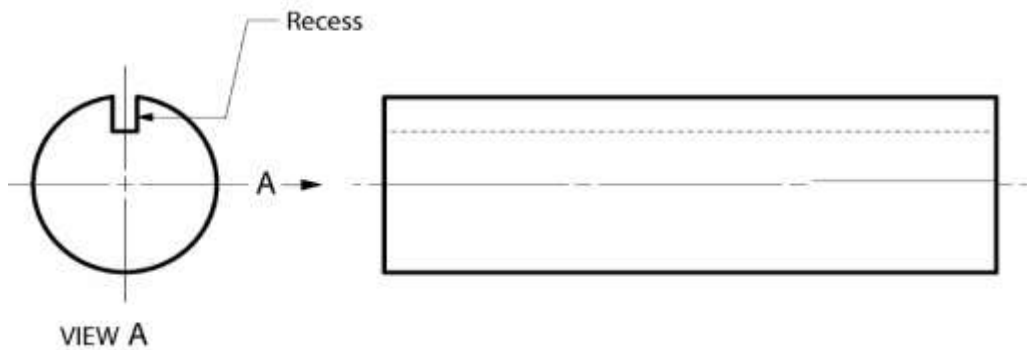
위와 같이 윤곽의 요구사항에 끊긴형체의 요구가 추가되면 기본 약속인 이어진 면뿐만이 아니라, 아래와 같이 홈을 지난 형체까지도 포함한 요구사항이 된다.

<그림 7-4>

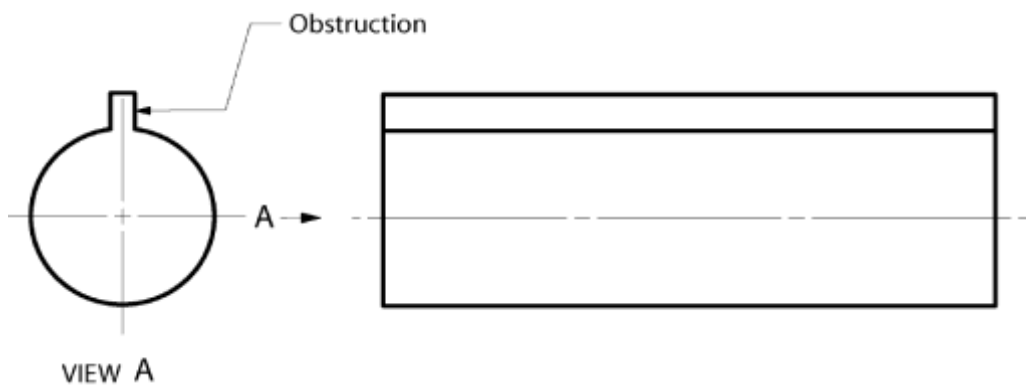


7-1-4. 홈(Recess)과 돌출(Obstruction)

<도면 7-5>



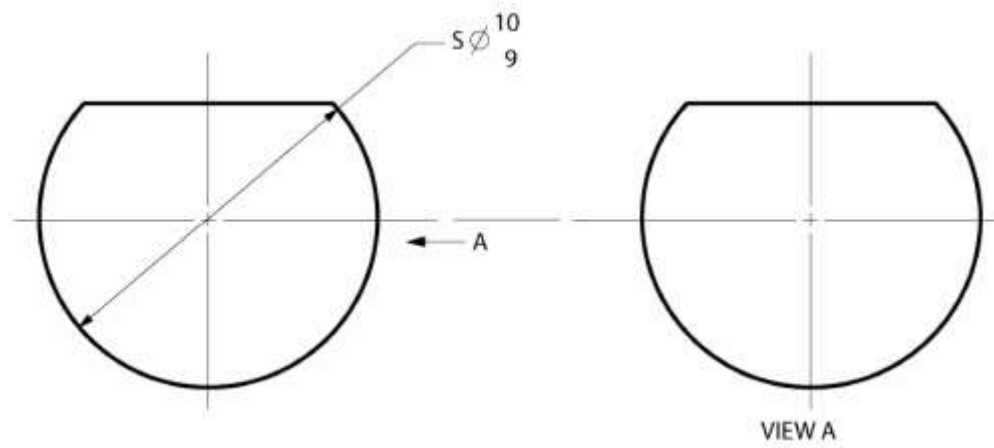
<도면 7-6>



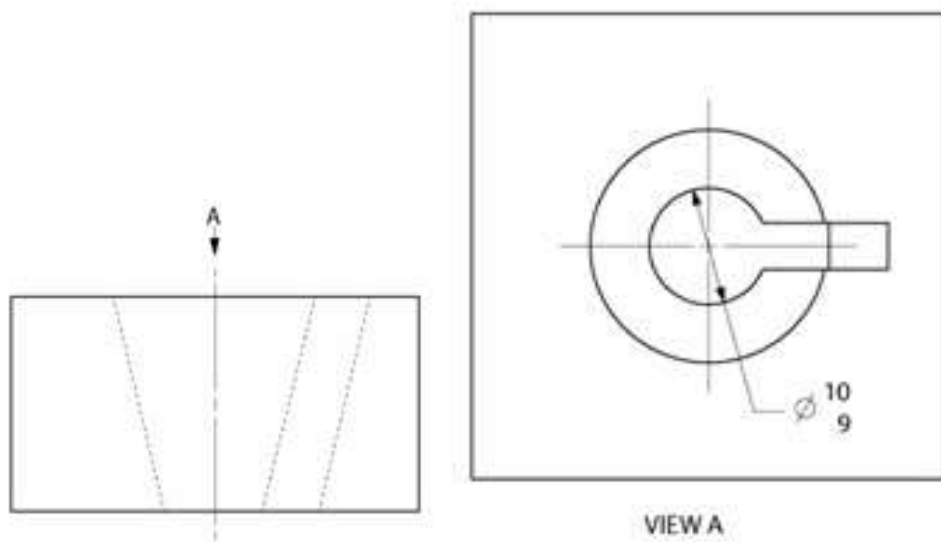
<도면 7-5>와 <도면 7-6>의 두 사례에 홈과 돌출 형체에 대한 사례가 요구되어 졌다.

또 하나의 중요한 개념은 <도면 7-7>와 <도면 7-7>과 같이, 원형/원통형/구형 표면의 모든 홈 및 돌출 형상은 축 기준 180도 이내의 형체라면 없는 형체의 표기와 같은 방법이 가능하다.

<도면 7-7>



<도면 7-8>

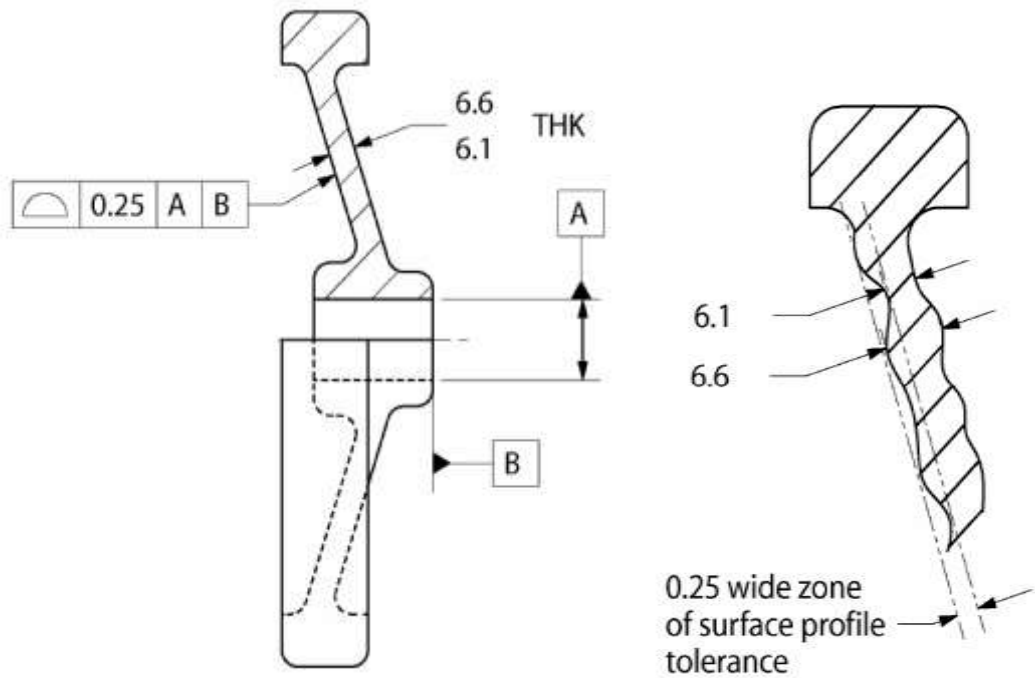


위 두 도면과 같이 $S\varnothing$ 로 표기된 구 형체나 $\varnothing$ 로 표기된 원 형체가 실제로는 잘라진 부분이 있기 때문에 완벽한 구 또는 원이 아닌데도 불구하고 $S\varnothing$ 나 $\varnothing$ 로 표기한 것을 말하며, 이것이 가능하다는 것이다.

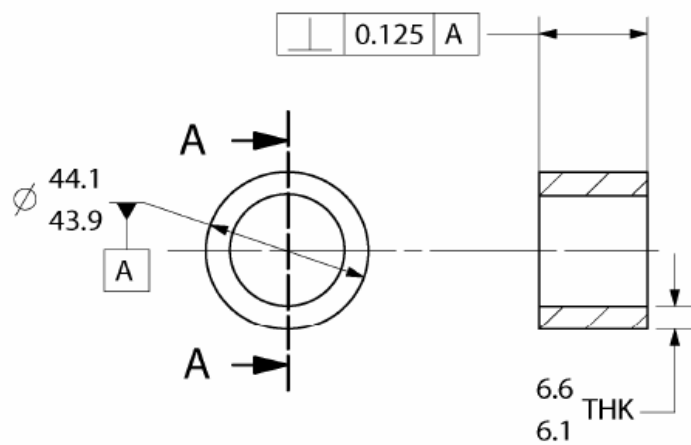
7-1-5. 균일한 두께 형체(THK)와 균일한 간격 형체(GAP)

<도면 7-9>

<그림 7-5>



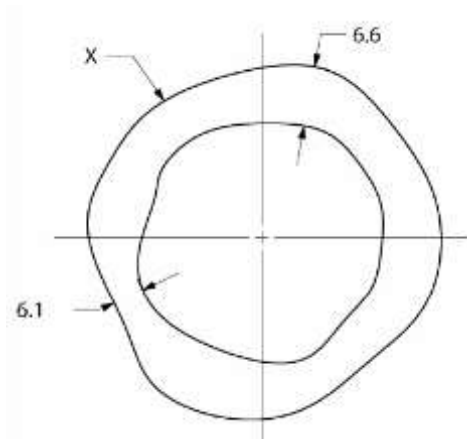
THK 요구사항이 부여되면 제품의 어떤 부위도 두께가 6.1mm ~ 6.6mm 사이에 있어야 한다. 이것은 두께 만을 요구하므로 전체 제품의 영역을 요구하지는 않는다. 따라서 위 사례와 같이 윤곽을 추가 부여하여 표면의 윤곽을 규정할 수 있다.



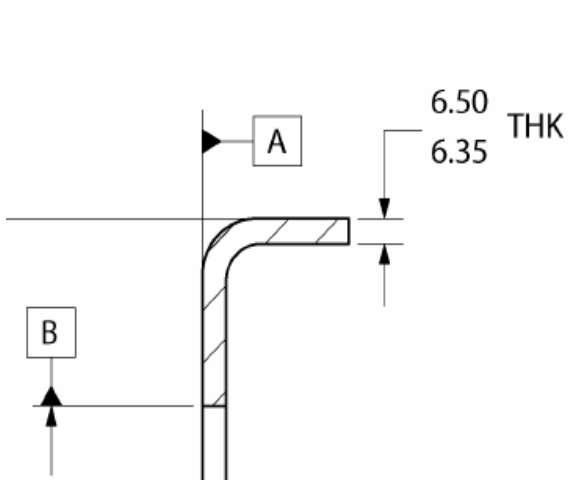
SECTION A-A

<도면 7-10>

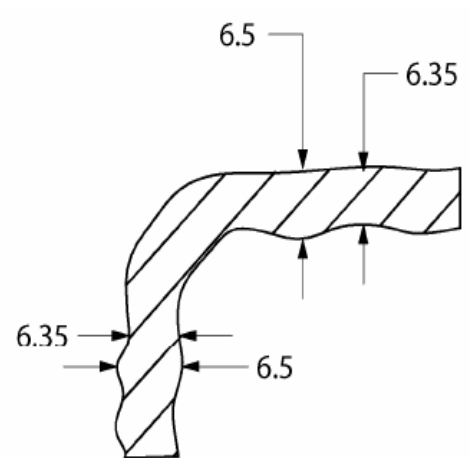
몇가지 THK의 사례를 더 살펴보면, 링의 두께에 부여된 THK 요구사항이 있고, 제품 단면의 두께를 요구하는 두번째 사례도 있다. 각각의 사례에 요구사항 및 의미를 표현한 아래의 <도면 7-10>을 참조하기 바란다.



<그림 7-6>

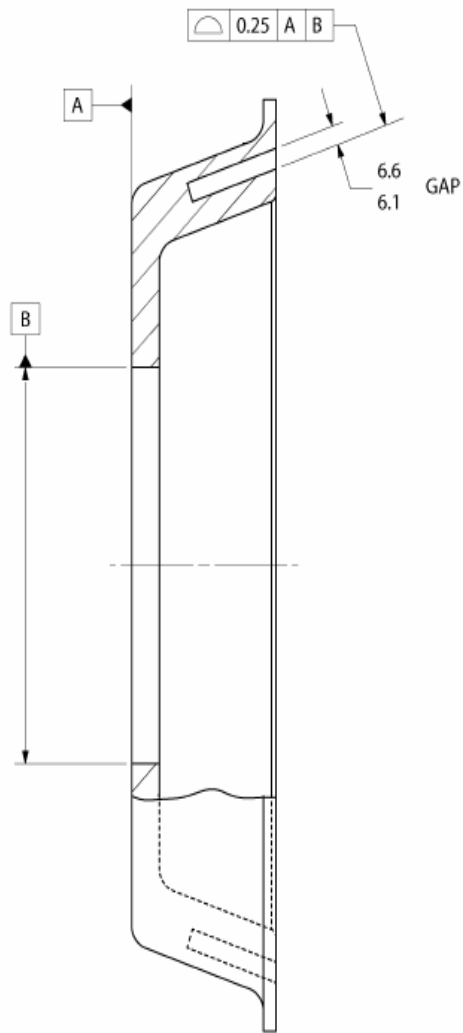


<도면 7-11>

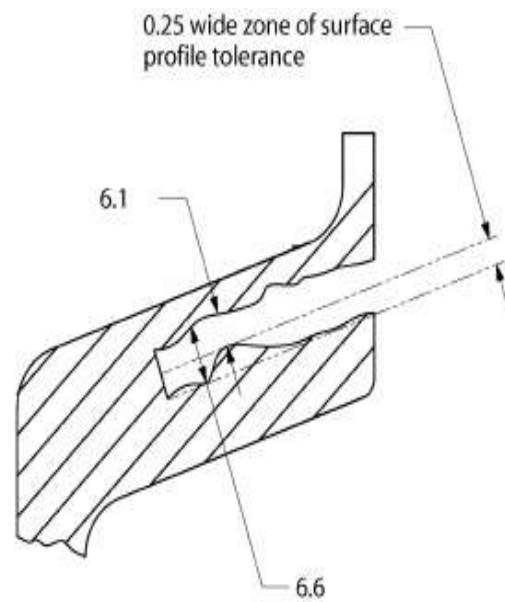


<그림 7-7>

아래에는 균일한 간격 형체(GAP)의 사례이다.



<도면 7-12>

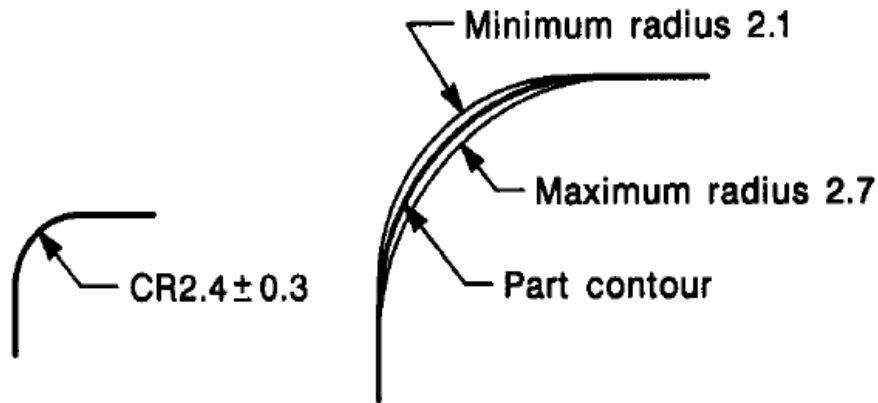


<그림 7-8>

GAP 요구사항이 부여되면 제품의 어떤 부위도 간격이 6.1mm ~ 6.6mm 사이에 있어야 한다. 이것은 임의의 형상의 간격만을 요구하므로 전체 제품의 영역을 요구하지는 않는다. 따라서 위 사례와 같이 윤곽을 추가 부여하여 표면의 윤곽을 규정할 수 있다.

7-1-6. 수정기호

CR (Controlled Radius)이 지정되면 최대와 최소값의 두 호에 의해 공차 역이 정의된다.

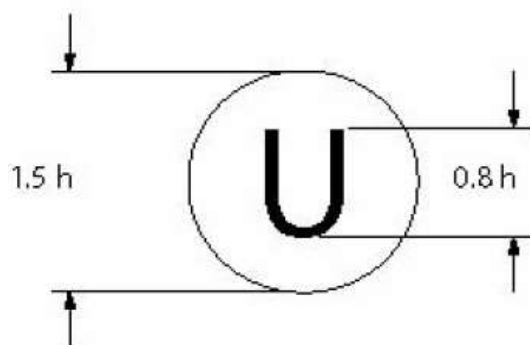


<도면 7-13>

<그림 7-9>

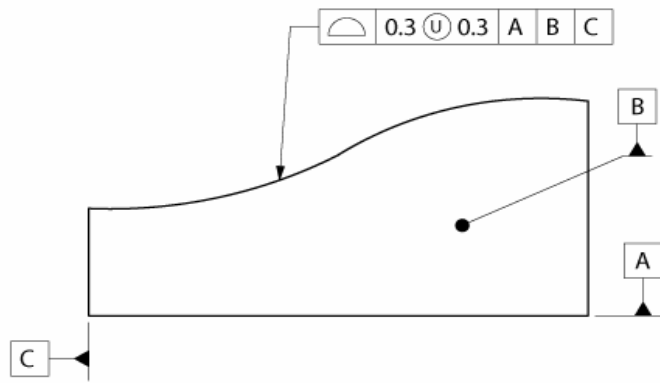
통계공차  의 기호가 사용되는데, GM의 경우에는 사용하지 않는다.

양측이 다른 기호(Unequal bilateral Symbol)를 정의하여 윤곽에서의 가상선 및 지시선의 요구를 간단히 표기할 수 있다.

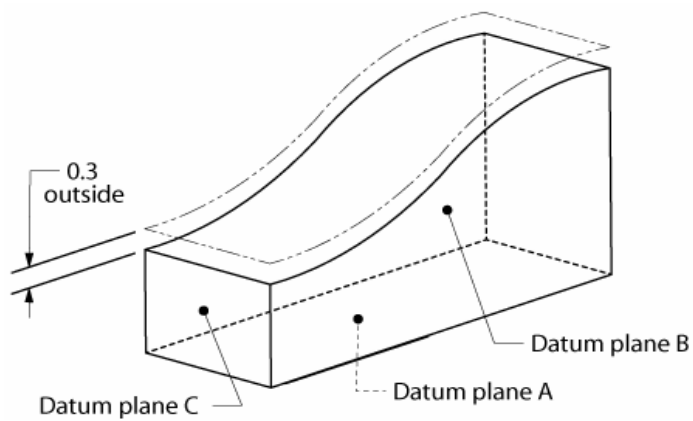


예를 들어, 진 윤곽의 외측으로만 요구사항을 갖는 경우에는 도면상에 외측으로 요구하는 외측에 가상선을 그려 표기하여야 하는데, 아래 사례의 첫 번째의 경우처럼 양측이 다른 기호를 사용하여 가상선 없이 표기할 수

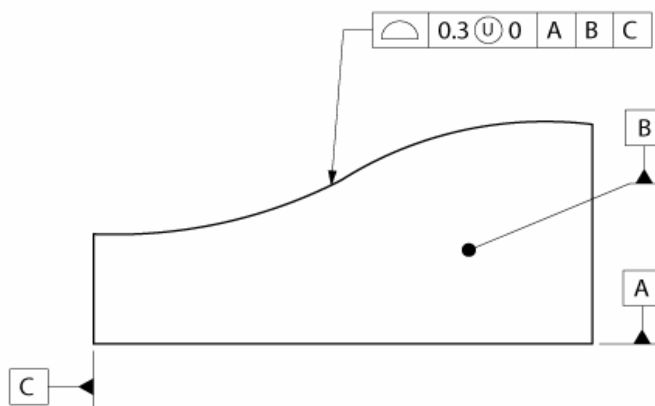
있다. 두 번째 경우는 내측으로 만의 요구사항을 가지는 사례이며, 세 번째는 내외측으로 윤곽의 요구사항을 가지는데 동일한 양이 아니라 외측 1.0mm, 내측 1.5mm의 요구를 가지는 것이다.



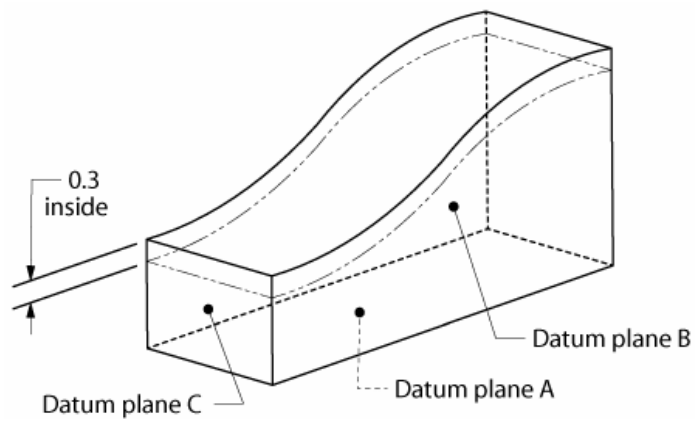
<도면 7-14>



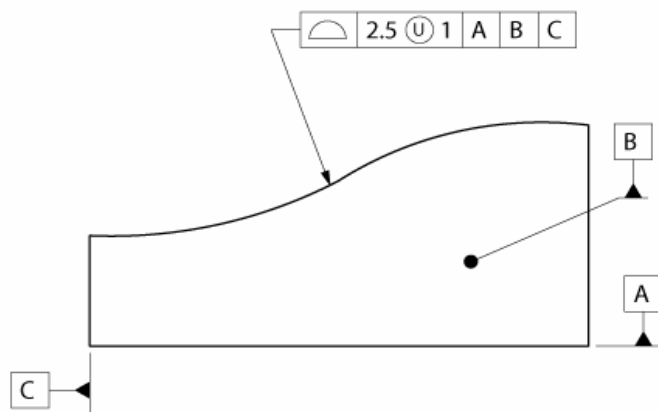
<그림 7-10>



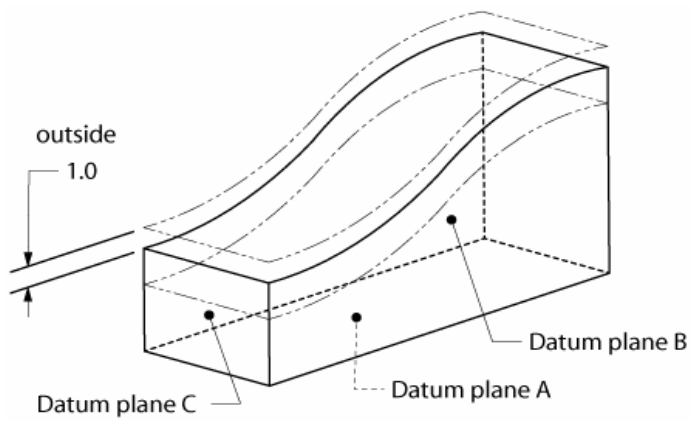
<도면 7-15>



<그림 7-11>



<도면 7-16>

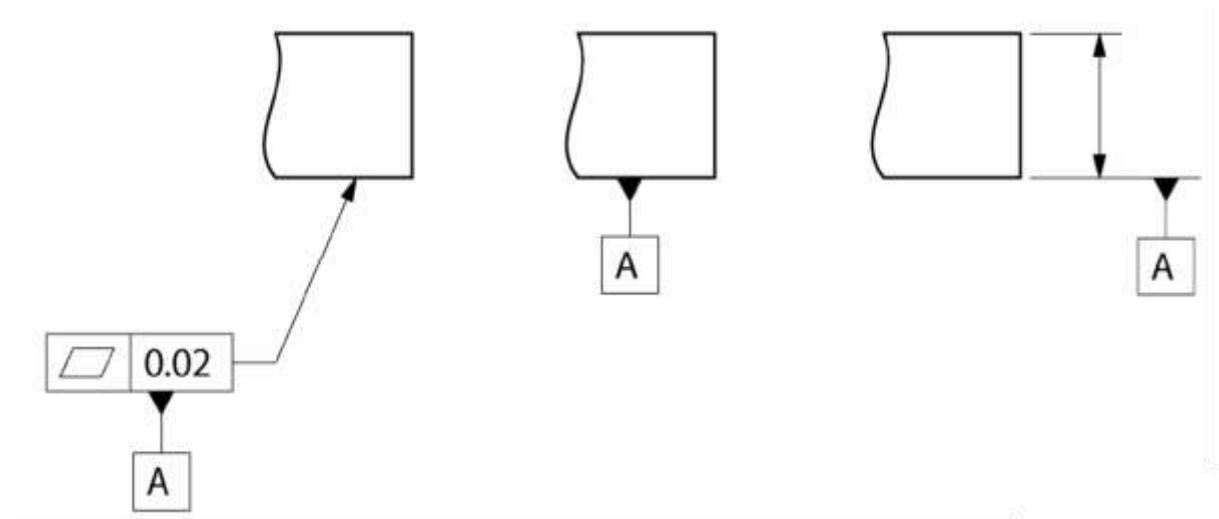


<그림 7-12>

7-1-7. 데이텀

데이텀의 표기 방법으로 데이텀 형체가 표면 그 자체일 때,

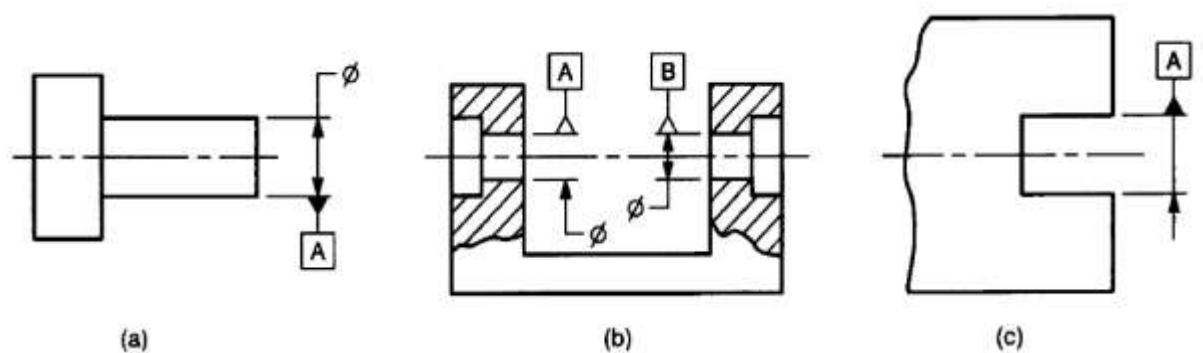
<그림 7-13>



또한 숫자와 혼동되는 오류가 있기 때문에 데이텀 글자로 I, O, Q 는 사용하지 않는다.

데이텀이 축 또는 중심 면일 때,

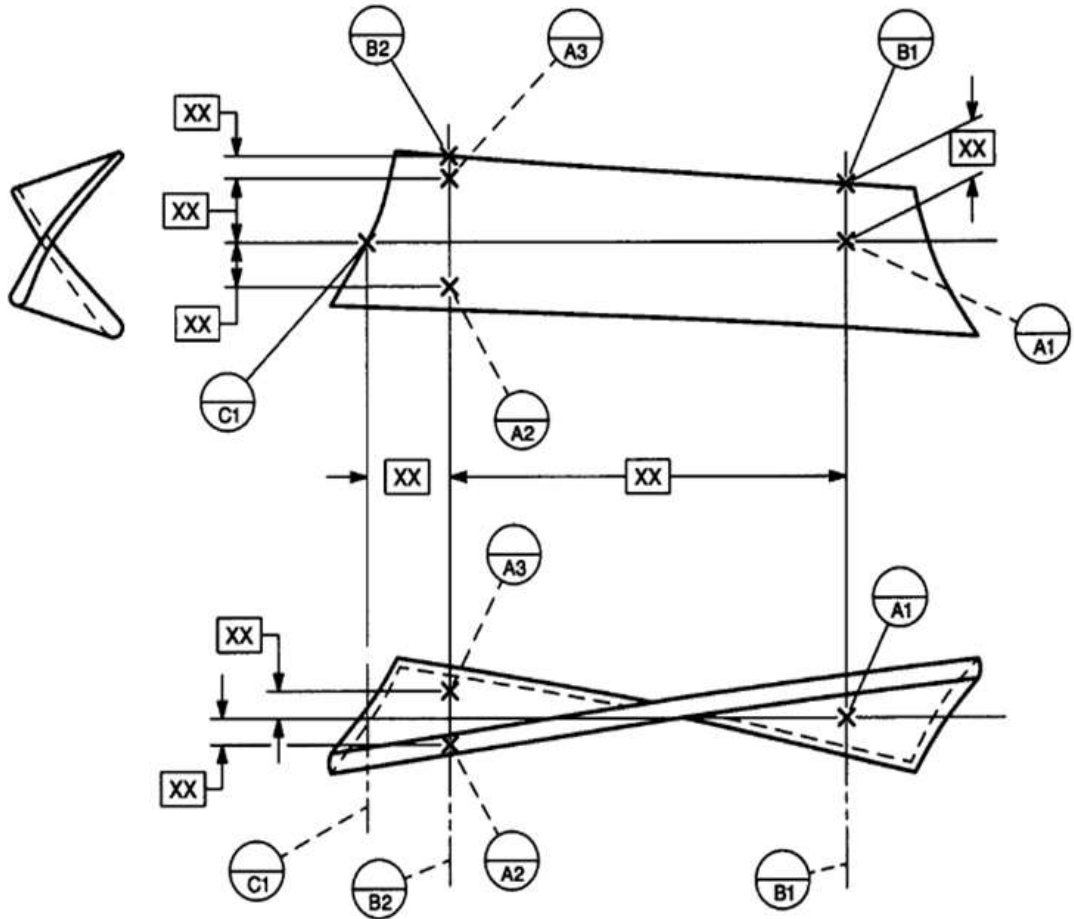
<그림 7-14>



치수선의 두 화살표를 넣기 위한 공간이 부족할 때 데이텀 기호를 대신 사용할 수 있고, 데이텀 기호의 삼각형 내부는 채워지지 않을 수도 있다.

데이텀 목표를 이용한 면을 규정 할 때,

<그림 7-15>



데이텀 형체가 숨겨진 면이면 데이텀 목표 지시선도 은선으로 표시한다.

데이텀의 고정 개념으로 데이텀으로 정의되는 형체에 대한 기하학적으로 정확한 상대물은, 평면/MMC 경계/LMC 경계/실효조건의 경계/첫 번째 데이텀을 위한 실 상대물과 무관한 형체 또는 두 번째/세 번째 데이텀을 위한 실 상대물과 관련된 형체/수학적으로 정의된 윤곽 등이 가능하다.

단 제품을 위해 진행되는 공정들(주조, 단조, 가공, 조립 등)에서 쓰여지는 데이텀은 영구 데이텀으로부터 임시로 수립될 수 있으나,

이런 형태의 임시 데이텀은 제조 공정 중에서 유지되어야 한다.(즉, 일부 작업을 위해 일시적으로 제거될 수 없다.)

RFS 데이텀 수립 - 크기를 가지는 데이텀 형체에 RFS가 적용되면, 데이텀은 공정 상의 장비(척, 맨드릴, 바이스, 선반 등) 면과 면 형체 사이의 물리적 접촉에 의해서 정의된다. 그래서 우리는 RFS 데이텀에 대하여 가변식 게이지의 개념을 앞서 설명한 것이다.

LMC 데이텀 수립 - LMC에서의 데이텀 형체 수립 개념은 Y14.5에는 규정되어 있으나 GM 부가기준에서는 사용하지 않는다.

제8장 한계 및 기능 게이지

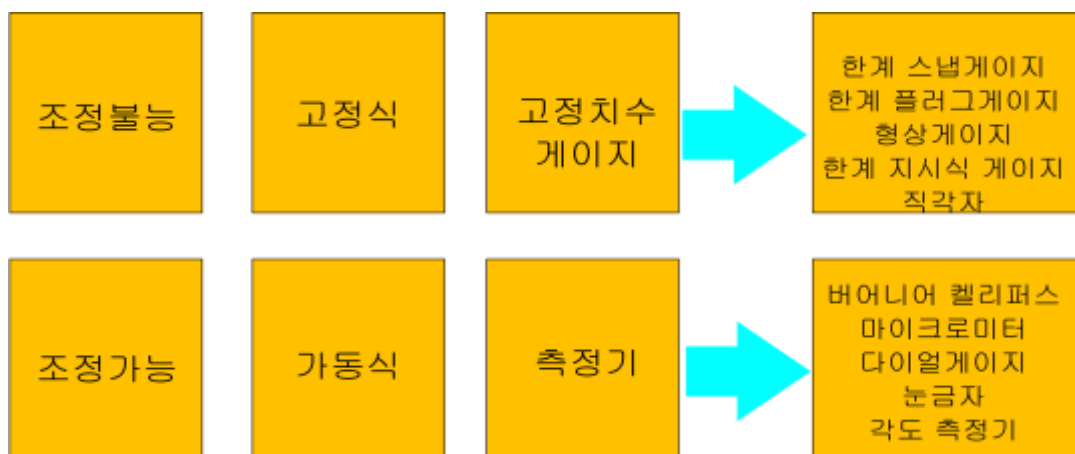
한계 게이지(Limit Gage)는 미리 정해진 제품의 치수 공차를 지키기 위해 사용되는 도구이고, 기능 게이지(Functional Gage)는 직각도나 위치도 등의 형상이나 위치 관계를 검사하기 위한 도구를 말한다.

GD&T의 영역에서는 기능게이지를 통상 게이지라고 말하지만, 기능게이지의 기본이 되는 것이 한계 게이지이므로 그 개념을 함께 알아야 한다.

한계 게이지는 주로 호환성의 입장에서 종합적인 판정이 목적이므로, 개개 요소의 측정치가 얻어지지 않아도 된다. 한계 게이지는 통과 측 한계 게이지(Go side limit, MMC)와 정지 측 한계 게이지(Not go side limit, LMC)로 구분할 수 있다. 괄호 속의 MMC와 LMC에 관계된 개념은 이미 설명한 바 있다.

참고로 테일러의 원리를 정의한다. “한계 게이지의 통과 측 검사는 하나의 게이지에 의해 종합적으로 많은 요소에 대해 이루어질 수 있으나, 정지 측 검사는 단독의 요소만을 검사할 수 밖에 없다.”

<표 8-1>



게이지의 종류를 위와 같이 구분할 수 있지만, GD&T 영역에서 게이지라고 부르는 것은 통상 고정치수 게이지를 말한다.

홀 용 한계 게이지의 설계(H; 게이지공차, z; 마멸여유)

통과 측 게이지에는 게이지 공차 이외에도 마멸여유를 주어야 한다.

$$\begin{aligned}\text{홀 용 한계 게이지의 통과 측 치수} &= (\text{홀 MMC} + z) \pm H/2 \\ &= (\text{홀 MMC} + z - H/2) + H/0\end{aligned}$$

정지 측 게이지에는 게이지 공차만 주면 된다.

$$\begin{aligned}\text{홀 용 한계 게이지의 정지 측 치수} &= \text{홀 LMC} \pm H/2 \\ &= (\text{홀 LMC} + H/2) 0/-H\end{aligned}$$

축 용 한계 게이지의 설계(H; 게이지공차, z; 마멸여유)

통과 측 게이지에는 게이지 공차 이외에도 마멸여유를 주어야 한다.

$$\begin{aligned}\text{통과 측 링 게이지} &= (\text{축 MMC} - z) \pm H/2 \\ &= (\text{축 MMC} - z + H/2) 0/-H\end{aligned}$$

정지 측 게이지에는 게이지 공차만 주면 된다.

$$\begin{aligned}\text{정지 측 링 게이지} &= \text{축 LMC} \pm H/2 \\ &= (\text{축 LMC} - H/2) + H/0\end{aligned}$$

기능게이지 적용공차는 한계게이지에 적용되는 공차와 동일하며, 기능게이지는 정지 측 게이지가 필요 없고, 기능 게이지의 기본 치수는 MMC 실효 치수이다. 앞서 중요하게 다룬 실효치수가 이제 게이지에 적용

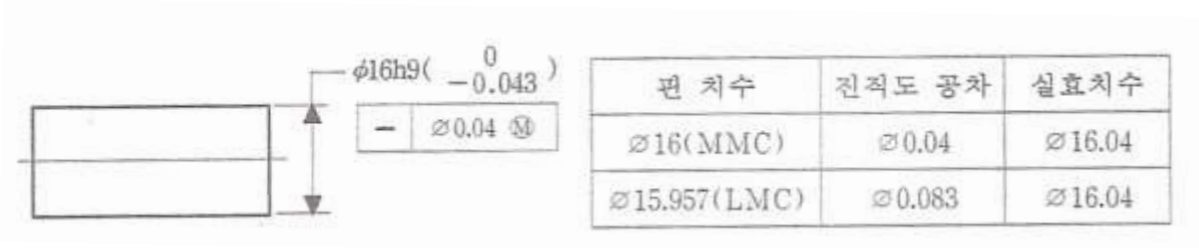
되는 기본치수로 사용됨을 연계시켜 알아두어야 한다.

진직도 공차의 기능 게이지 설계

외경 $\phi 16$ 에 공차가 $0/-0.043$ 인 편이 MMC일 때 진직도 허용공차가 $\phi 0.04$
(마멸여유는 0.009, 게이지 공차는 0.005)

<도면 8-1>

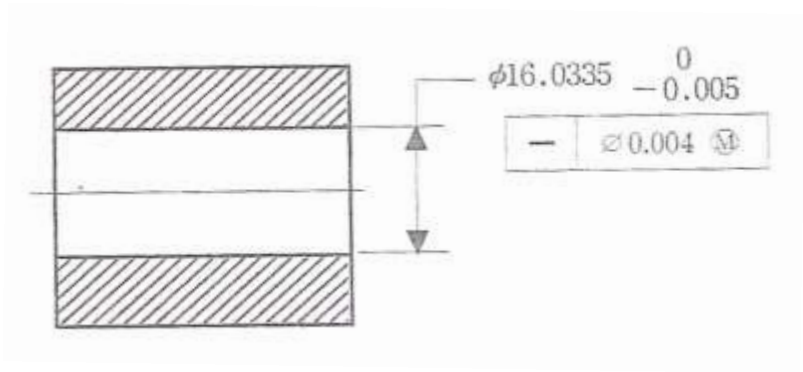
<표 8-2>



기능게이지의 홀 치수는 한계게이지의 치수결정과 동일하므로 게이지의
홀 치수는 $(\phi 16.04 - 0.009) \pm 0.005/2 = \phi 16.031 \pm 0.0025$
 $= \phi 16.0335 \ 0/-0.005$

게이지 홀의 진직도 공차는 제품 공차의 10%인 0.004가 된다.

<도면 8-2>



직각도 공차의 기능 게이지 설계

Φ20에 공차가 0/-0.05인 편이 MMC일 때 직각도 허용공차가 Φ0.02 (마멸 여유는 0.011, 게이지 공차는 0.006)

기능게이지의 홀 치수는 한계게이지의 치수결정과 동일하므로 게이지의 홀 치수는 (편의 실효치수-마멸여유)±게이지공차/2

$$= (\Phi 20.02 - 0.011) \pm 0.006 / 2$$

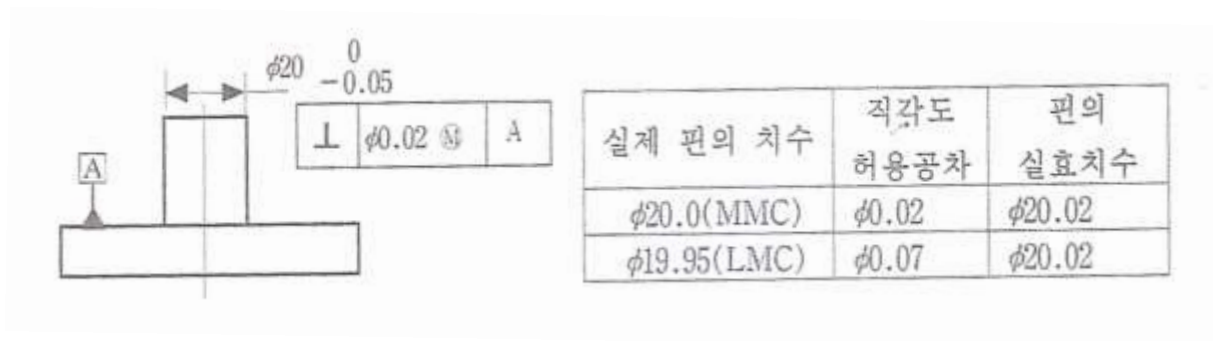
$$= \Phi 20.009 \pm 0.003$$

$$= \Phi 20.012 \text{ } 0 / -0.006$$

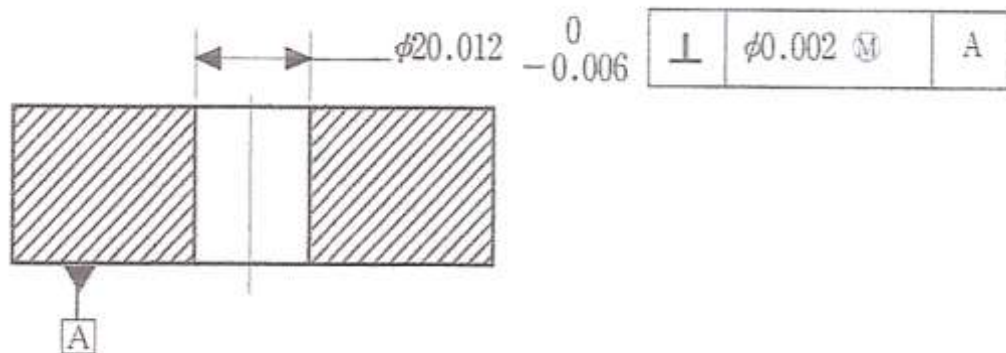
게이지 홀의 진직도 공차는 제품 공차의 10%인 0.004가 된다.

<도면 8-3>

<표 8-3>



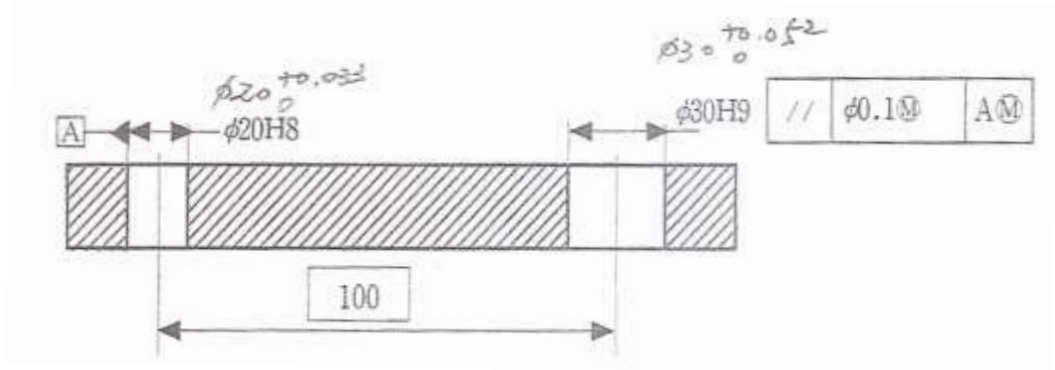
<도면 8-4>



평행도 공차의 기능 게이지 설계

<도면 8-5>와 같이 제품 데이텀 A는 $\Phi 20$ 홀에 공차가 $+0.003/-0$ 이고, MMC 재료조건으로 규제되어 있고, 홀 $\Phi 30$ 은 공차가 $+0.052/-0$ 으로 평행도 공차가 MMC로 규제되어 있다. 따라서 다음과 같이 평행도 공차가 허용될 수 있다.

<도면 8-5>



<표 8-4>

Datum A의 홀 치수	$\Phi 30$ 의 홀 치수	평행도 허용공차	$\Phi 30$ 의 실효 치수
$\Phi 20(\text{MMC})$	$\Phi 30(\text{MMC})$	$\Phi 0.1$	$\Phi 29.9$
	$\Phi 30.052(\text{LMC})$	$\Phi 0.152(=0.1+0.052)$	
$\Phi 20.033(\text{LMC})$	$\Phi 30(\text{MMC})$	$\Phi 0.133(=0.1+0.033)$	
	$\Phi 30.052(\text{LMC})$	$\Phi 0.185(=0.1+0.052+0.033)$	

$\Phi 20$ 의 마멸여유는 0.006 / 게이지 공차는 0.004

$\Phi 30$ 의 마멸여유는 0.011 / 게이지 공차는 0.004 라면,

데이텀 기능 게이지의 통과 측 치수

$$= (\Phi 20 + 0.006) \pm 0.004/2 = \Phi 20.006 \pm 0.002 = \Phi 20.004 +0.004/0$$

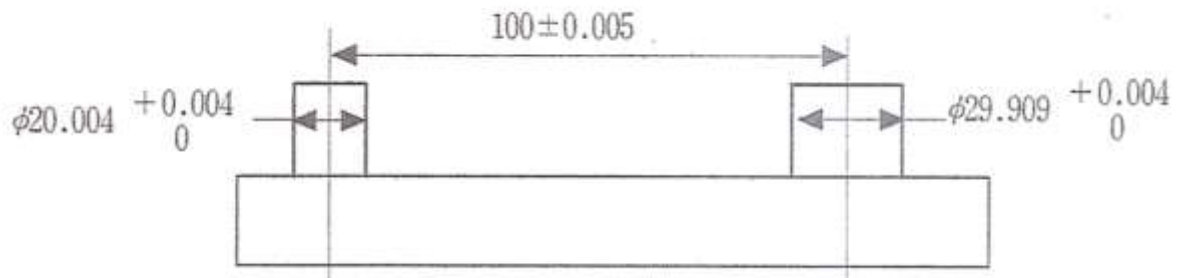
$\Phi 30$ 측 기능 게이지의 핀 치수(실효치수 기준)

$$= [(\text{구멍의 MMC} - \text{평행도 공차}) + \text{마멸여유}] \pm \text{게이지공차}/2$$

$$= [(\Phi 30 - 0.1) + 0.011] \pm 0.004/2 = \Phi 29.911 \pm 0.002$$

$$= \Phi 29.909 + 0.004/0$$

<도면 8-6>



또한, 기능 게이지의 핀 사이의 거리는 홀 중심간의 치수가 100이고, 위치도 공차는 $\Phi 0.1$ 의 10%인 $\Phi 0.01$ 즉, ± 0.005 가 된다.

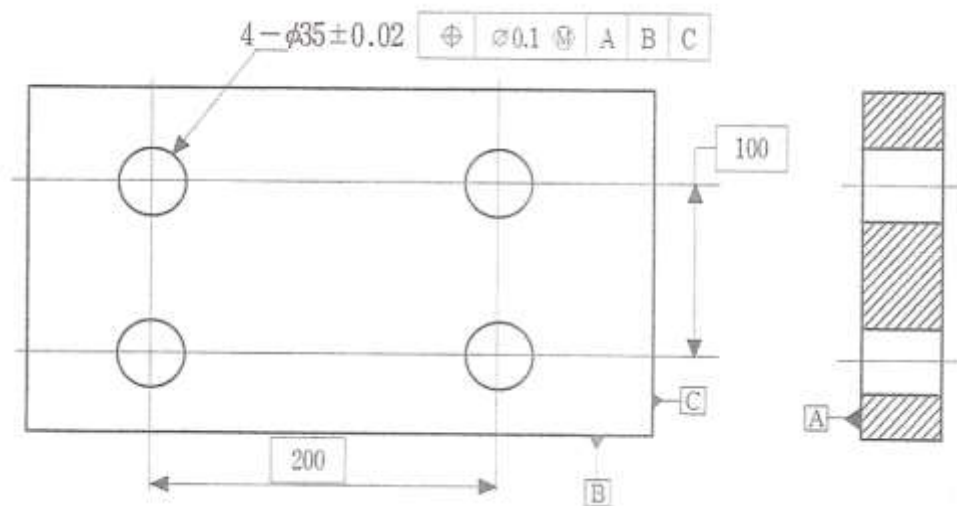
위치도 공차의 기능 게이지 설계

대개의 위치도 공차는 MMC/LMC 재료조건이 적용되는데, LMC 재료조건으로 규정된 경우 일반적으로 최소 벽 두께를 일정하게 제한하기 위한 것이므로 정지 측에 해당한다. 즉, LMC 규제 시에는 기능 게이지가 검사하고자 하는 제품에 통과되지 않아야 합격이 된다.

동심도/대칭도는 통상 RFS 로 규제한다. RFS 재료조건일 경우 반대 형상의 모범인 실효치수가 일정하지 않으므로 기능게이지를 설계할 수 없다. 즉, 범용 측정기를 이용하여야 한다.

MMC 규제의 기능 게이지 설계

<도면 8-7>



마멸여유는 0.007, 게이지공차는 0.004, 위치도 공차가 $\Phi 0.1$ 이므로 게이지의 위치도 공차는 ± 0.005 이다.

기능게이지 편 치수 = (홀 실효치수 + 마멸여유) $\pm$ 게이지공차/2

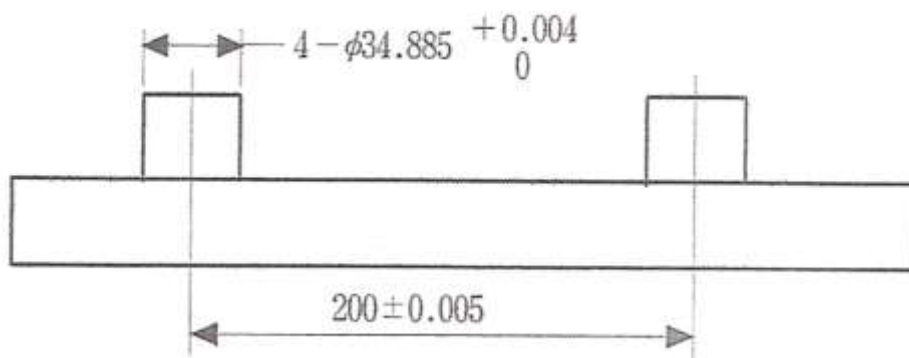
$$= (\Phi 34.88 + 0.007) \pm 0.004/2 = \Phi 34.885 \pm 0.004/0$$

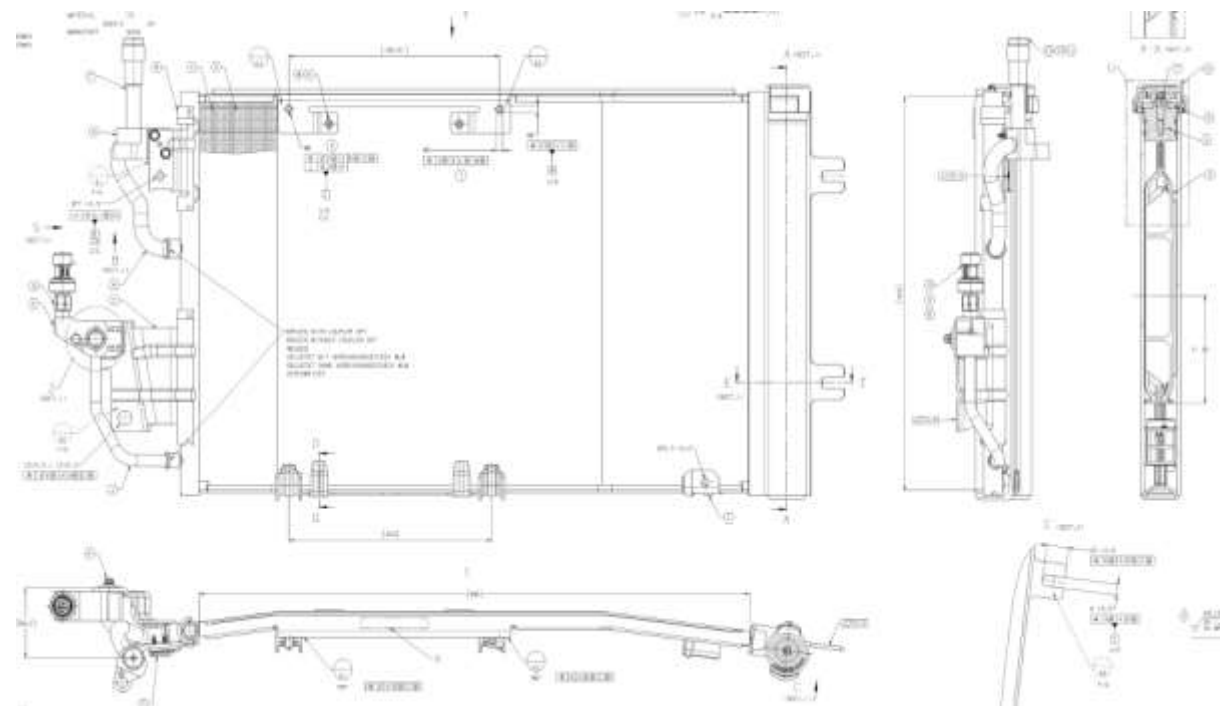
4개의 게이지 핀의 위치는 각각 200 ± 0.005 와 100 ± 0.005

<표 8-5>

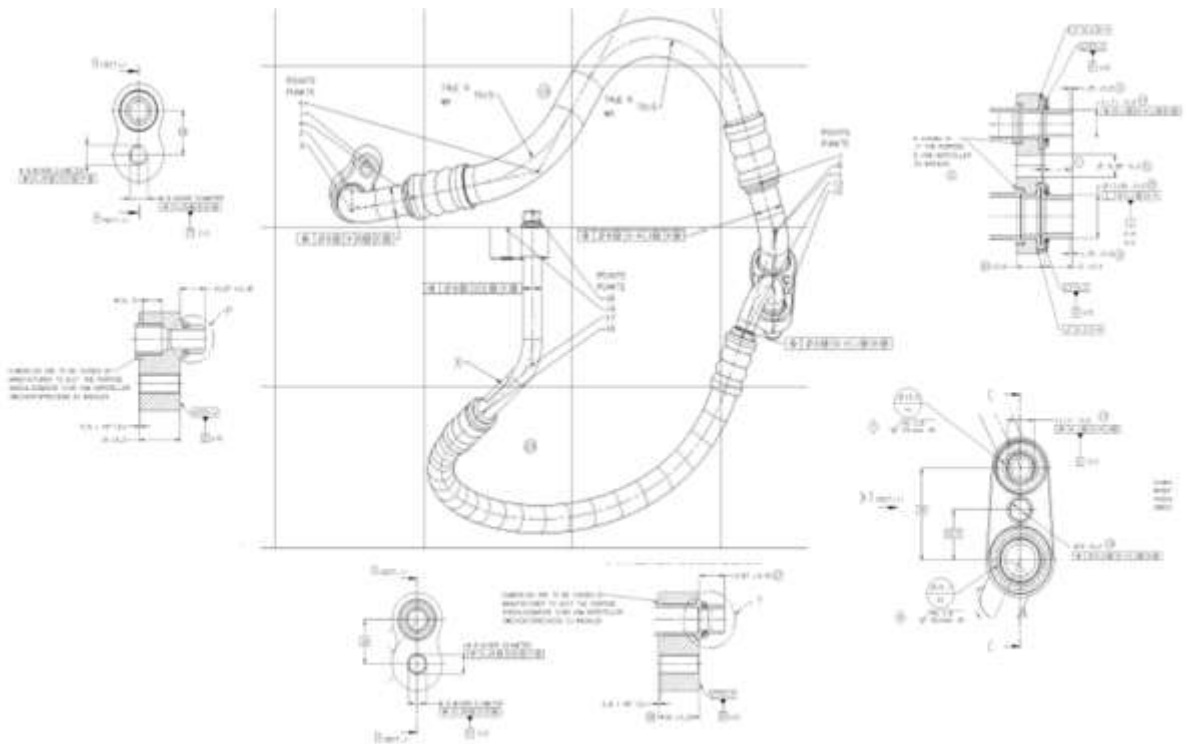
홀 치수	위치도 허용공차	홀 실효치수
$\Phi 34.98(\text{MMC})$	$\Phi 0.1$	$\Phi 34.88$
$\Phi 34.99$	$\Phi 0.11$	
$\Phi 35$	$\Phi 0.12$	
$\Phi 35.01$	$\Phi 0.13$	
$\Phi 35.02(\text{LMC})$	$\Phi 0.14$	

<도면 8-9>

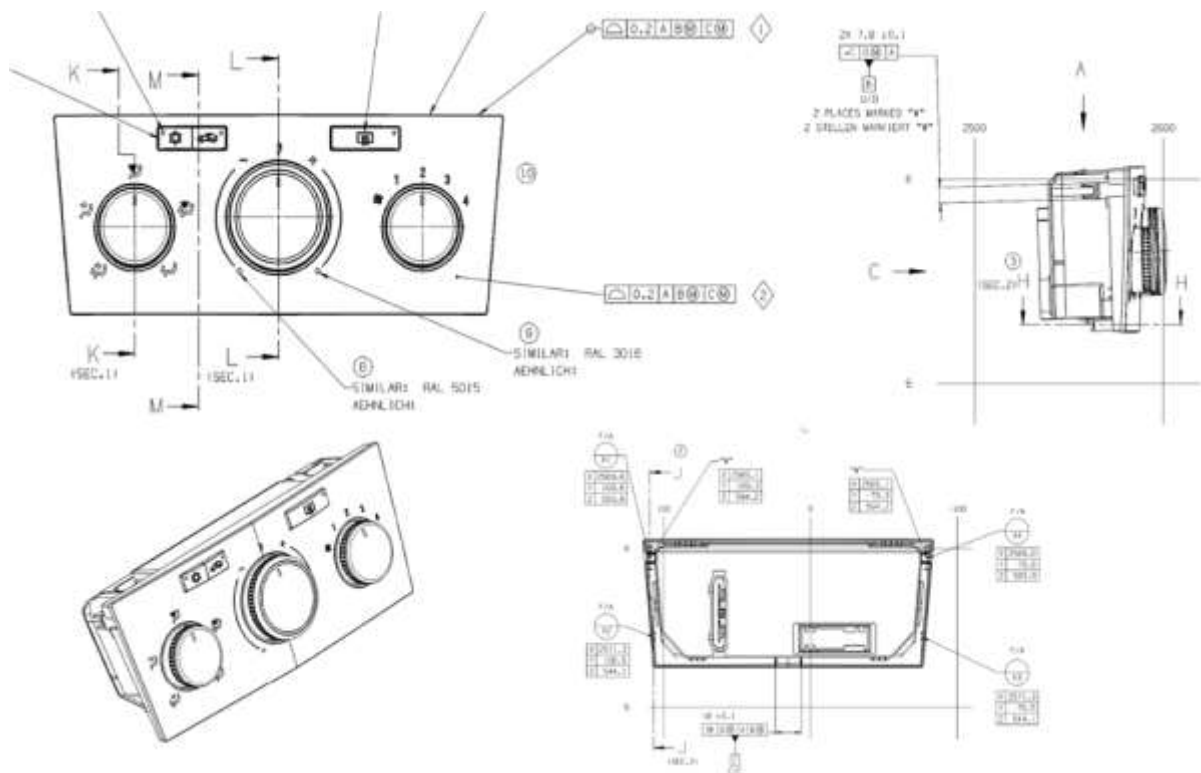




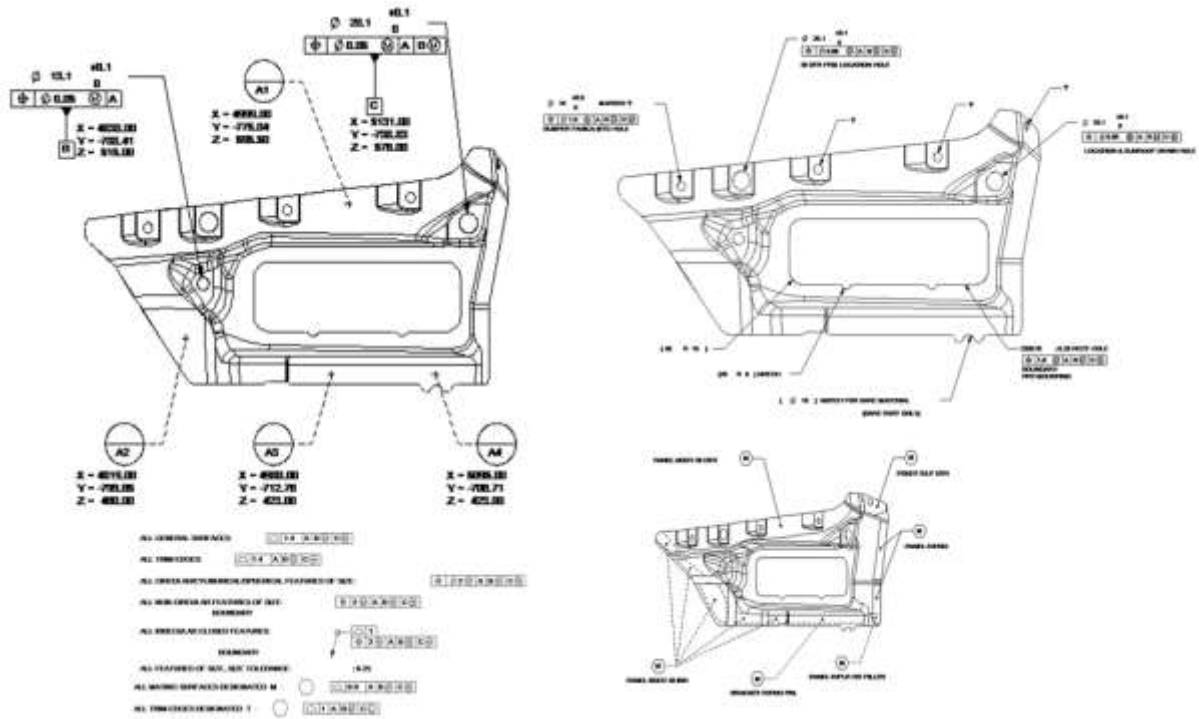
<도면 #3>



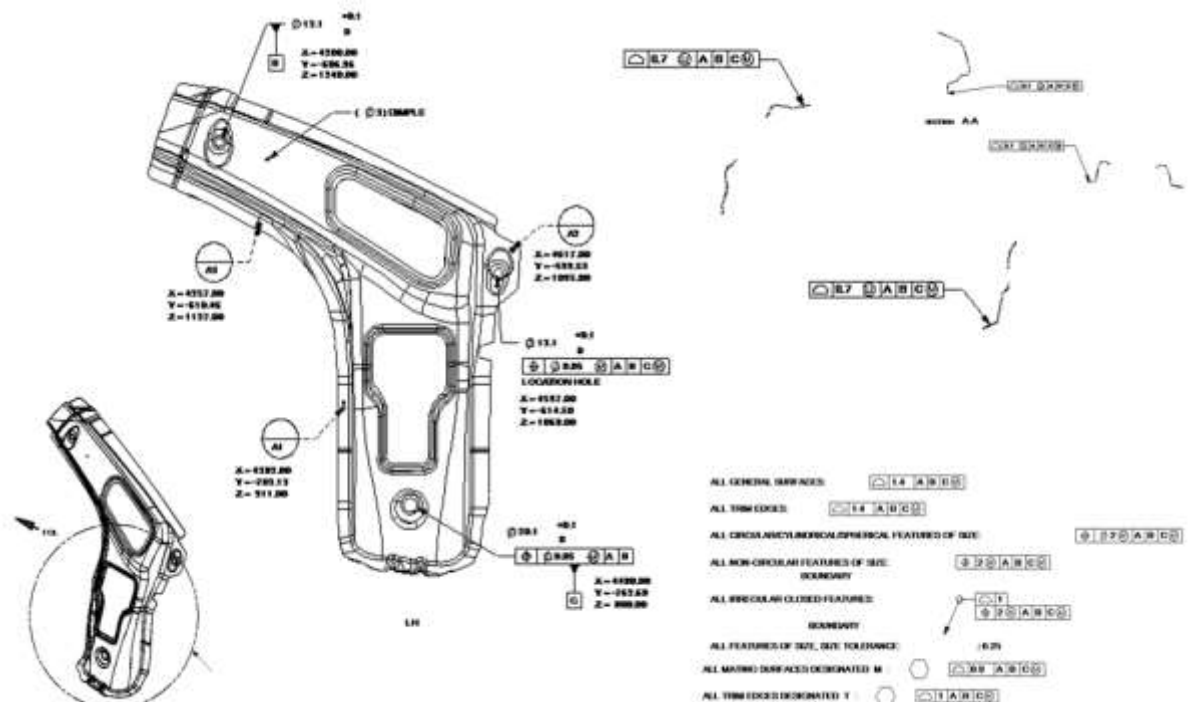
<도면 #4>



<도면 #5>



<도면 #6>



Performance Requirements - DEP (Dimensional Engineering Plan)

공급업체는 기술적 사양 요구사항을 만족할 수 있는 방법을 개발(요구되는 각 임무에 대하여 누가/무엇을/언제/어디서/어떻게 수행할 것인지를 포함)

최소 요구사항

Task Timing Schedule (Chart) ; timing milestones

Technical Review Frequency

Tools & Process ; for SOR

Formal Documentation ; for Build Strategies

Plan ; for GM Management System

Open issues-Action Plans

; GM 5-phase(identify, analyze, plan, implement, evaluation)

공급업체는 계약 후, 2개월 내에 GM DSE (Dimensional System Engineer)와 DEP를 검토하며, GM의 DSE는 초기 DTS list와 Target을 배포(허용공차 한계 값)한다.

공급업체는 제품도면 요구사항 개발 시, 치수적 분석을 사용하며, 치수적 분석은 통계적 누적공차(Statistical Tolerance Stacks) 또는 3-D 통계적 분석(Monte Carlo Simulation)을 수행한다.

제조/조립 책임이 있는 공급업체는 GD&T 도면 및 측정 요구된 모든 PQC 항목은 치수 데이터를 필요로 한다.