

광학부품 제조 공정 및 각 공정별 주의사항 ②

지난 호에는 일반적인 광학부품의 제조공정을 알아 보고, 제조 공정 및 특기 사항 가운데 소재선정, 소재 절단 및 blank 제작, 응력 제거, Chemical etching, Blocking을 살펴 보았다.
이번 호에는 Lapping, Polishing, 세척, 측정에 대해서 기술한다.

글: 이수상 책임연구원/대우고등기술연구원

6. Lapping

내용을 기술하기 전에 몇 가지 용어에 대해 간략하게 정의를 하고자 한다. 많은 분들로부터 'lapping과 polishing의 차이점이 무엇인가' 라는 질문을 받고 있다. 필자도 역으로 많은 분들에게 lapping과 polishing의 차이점을 물어 보았

*Grinding(研削) : 연삭이라고 부르는 grinding에 관한 용어 정의에는 혼동이 적은 것 같다. Grinding이란 고정 입자의 공구(예: grinding wheel)를 이용해 재료의 빠른 제거를 목적으로 수행하는 공정이다. 지난 호의 '소재 절단 및 blank제작' 공정이 여기에 해당된다.

*Lapping(smoothing, 砂攪り, 砂掛け): Lapping은 유동 입자를 이용하여 grinding 후 발생한 거친 표면과 깊은 crack층을 보다 매끈하게 하는 것이 목적이다. 광택을 내는 것(polishing)이 주목적이 아니고 광택을 내기 위한 전 단계의 공정이다.

*Polishing(研磨): Polishing은 유동 입자를 이용하여 가공한다는 점에서는 lapping공정과 비슷하나 이는 lapping된 표면에 광택을 내어 최종적인 광학 면을 얻는 것이 목적이다.

는데 답변은 각양각색이었고, 전공에 따라서도 현격한 차이가 있었다. 용어를 정확하게 정의하면 독자들에게 많은 도움이 될 것이다.

가. 목적: Lapping은 SiC 등의 유동 입자와 주물로 만들어진 lap plate를 이용하여 효율적인 polishing을 위해 grinding된 면의 거친 표면과 깊은 crack층을 매끈하게 하기 위한 공정이다. 원리는 그림 7과 같다.

나. Lapping 원리

Lapping의 원리는 그림 7에서 보는 바와 같이 SiC와 같은 유동 입자(loose abrasive grain)에 일정한 압력을 가하면 glass에 crack층이 발생되고 더욱더 큰 압력을 가하면 crack층이 점점 더 성장하여 파괴 현상이 발생되어 chip이 생성

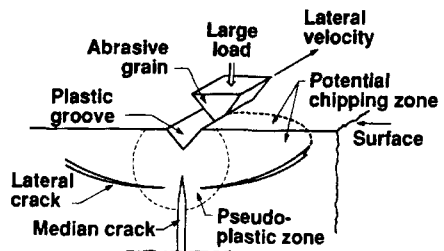


그림 7 Lateral fracture mechanism

되는 것이다. 발생된 chip은 lapping유(optical glass에서는 물 사용)에 의해 제거된다.

다. Lapping의 주요 요소

위의 원리에서 보는 바와 같이 lapping시 적용되는 주요 요소는 loose abrasive, lapping유, lapping plate이다. 이들의 특징과 선정시의 주의 사항은 다음과 같다.

(1) 연마재 : Lapping시 사용되는 연마재는 일반적으로 diamond powder, SiC, Al₂O₃ 등이다. 연마재 선정시 주의할 점은 경도가 피삭재보다 충분히 강해야 하고, 가공 중 적절한 파손이 용이하여 가공 시간에 비례하여 표면이 매끈하게 돼야 하며, 광학 부품의 적용 용도에 적합해야 한다. 가시 영역의 광학 부품에서는 일반적으로 SiC를 많이 사용하며, 저 파장 영역에서는 Al₂O₃를 사용한다. 많이 사용되는 각 연마재별 상세한 물성치는 표 1과 같다.

(2) Lapping유 : Glass를 lapping할 때는 물을 사용하며, 이는 glass와 물의 가수분해 작용으로 glass의 연화를 촉진시키고 마찰열의 냉각 작용과 chip의 제거를 쉽게 하기 위한 것이다. 효과적인 lapping을 위해서는 lapping액을 알칼리성(glass는 알칼리성에 의해 연화가 촉진됨)으로 하는 것도 고려해 볼 수 있다. 금속류를 lapping할 때는 주로 유성의 lapping유를 사용하는데 피삭재별로 적절한 lapping유의 선정이 필수적이다.

(3) Lapping plate : Glass를 lapping할 때 주물(iron cast)이나 황동 등과 같은 기공이 많고 연질인 재료를 사용해야 한다. lapping시 연마재의 일부분이 lapping plate에 박힌 상태로 가공돼야 하며 lapping과 동시에 lap plate 형상의 자기 보정에 유리하기 때문이다. 주로 주물을 많이 사용하는데 기공이 많고

경도가 약한 회주철이 경도가 강한 구상 흑연 주철보다 유리하다. 황동도 많이 사용되지만 중량과 가격 문제로 제한적이다.

라. lapping시 주의 사항

(1) 지난 호의 그림 2와 같이 glass같은 경취 재료는 가공시 crack층이 발생된다. Lapping공정에서 가장 중요한 것은 crack층의 깊이를 최소화하면서 polishing을 가장 효율적으로 하기 위한 표면을 얻는 것이다. Crack층의 깊이는 연마재 크기와 가공 조건이 크게 영향을 미친다. 그러므로 lapping시에는 연마재 크기를 단계별로 작게 하여 crack의 깊이를 최소화해야 한다. 즉, 가공성과 crack층 깊이의 상관관계를 잘 파악하면서 lapping을 해야 한다.

(2) 보다 미세한 연마재로 lapping시 전 단계의 연마재를 확실하게 제거해야 한다. 표면 흠점의 일종인 latent scratch는 주로 전 단계의 연마재와 과중한 가공 조건에 의해 발생되므로 lapping도 polishing과 마찬가지로 이물질의 유입에 유의해야 한다.

7. Polishing

가. 목적 : 용도에 맞게 최종적인 광학 면을 얻기 위한 공정이다. polishing의 진행 과정은 그림 8과 같다.

나. Polishing 원리

그림 8은 optical glass의 polishing의 원리를 나타내는 그림이다(주 : 그림은 설명을 위해

표 1 각종 powder의 특징

명 칭	경도(Hardness)		비 중	융점(°C)
	Mohs	Knoop(HK)		
다이아몬드(C)	10	8500	3.4~3.5	3600
탄화규소(SiC)	9.2~9.5	2550	3.2	2200
알루미나(Al ₂ O ₃)	9	2150	3.8~4.0	2020
산화세륨(CeO ₂)	6	-	7.1	1950
산화철(Fe ₂ O ₃)	5.5~6.5	-	5.2	1565
산화지륨(ZrO ₂)	5.5~6.5	-	5.7	2700

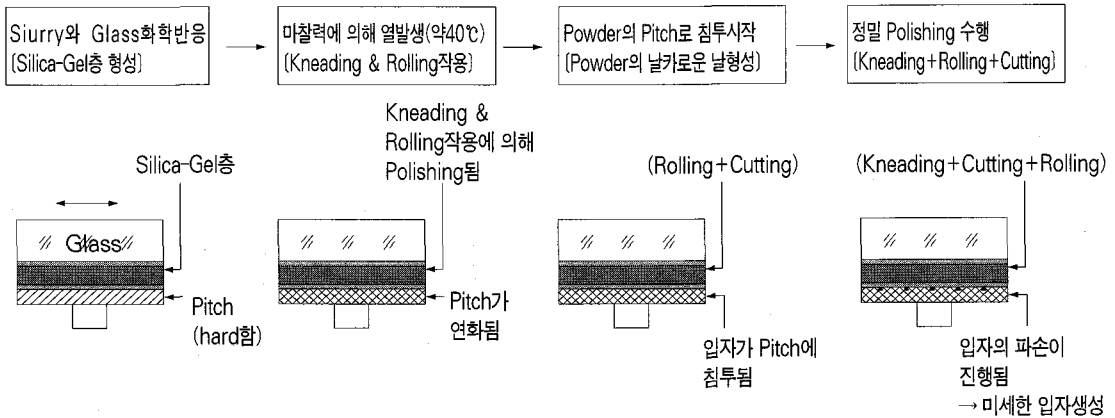


그림 8 Optical glass의 polishing mechanism

non-scale로 작도하였음). 그림에서 보는 바와 같이 optical glass의 polishing은 glass와 물(H₂O)과의 가수분해 작용에 의해 연화된 glass층을 연마재의 굴림(kneading)작용과 절삭(cutting)작용에 의해 glass층이 제거되는 과정이다. 그러므로 polishing시 주요 요소는 pitch 공구라 불리는 polisher, 연마재, polishing용액이다.

다. Polishing의 주요 요소

Optical glass의 polishing시 적용되어지는 주요 요소는 polisher, 연마재, 그리고 polishing용액(물)이다. 이들에 대한 특성과 선정시 주의 사항에 대해서 기술한다.

(1) Polisher : Polisher는 정밀 광학 부품 제작시 사용되는 pitch와 저급 광학 부품 및 rough polishing시 사용되는 polyurethane으로 구분할 수가 있으며 cleanness(청결도), consistency(일관성), 그리고 uniformity(균일성)가 양호해야 한다.

(가) Pitch : Pitch는 주로 정밀 광학 제품의 최종 polishing시 사용되며 wood계(목재계), asphalt계(석유계), tar계(석탄계)가 있는데, wood계가 powder의 침투가 가장 용이하고 특성이 우수하므로 정밀 광학 부품 제작시 가장 유리하다. 국내에서는 주로 스위스의 Gugolz pitch

와 일본의 九重電機의 pitch를 많이 사용하는데 각 case별로 최적의 pitch를 선정해 사용하는 것이 중요하다.

(나) Polyurethane pad : Polyurethane pad는 주로 저급 광학 부품의 제작이나 거친 polishing시 사용하는데 평면도 등 형상을 유지하는데 좋다.

(2) Polishing powder : Polishing시 사용되는 연마재는 가시 광선 영역용의 광학 부품 제작시에는 주로 CeO₂나 Fe₂O₃를 사용하고, 그 외 자외선 영역 등의 용도에는 Al₂O₃이나 Diamond 등을 사용한다. 따라서 용도별로 적절한 연마재를 선정하는 것이 중요하다.

연마재는 주원료 선정 → 분쇄 → 산처리 → 배소(焙燒: 굽어 건조시킴) → 분쇄 → 분급 등의 공정으로 제작되는데 polishing 정밀도에 큰 영향을 미치는 인자는 연마재의 입자 크기, 소결 온도, 그리고 성분이다. 연마재의 선정시 주로 입자 크기만 고려하는데 소결 온도와 성분 등이 정밀 광학 부품 제작시 아주 중요하다. 정밀 광학 부품 제작시에는 소결 온도가 낮고 불소(F)가 첨가되지 않은 연마재를 선정해야 한다. 표 1은 lapping이나 polishing시 많이 사용되는 연마재의 특성을 나타내는 것이다.

(3) 연마액 : 연마재와 물(H₂O)의 혼액을 일

반적으로 연마액(slurry)이라고 부르는데, 연마액은 polishing시 glass와 가수분해를 일으켜 glass층을 연화시켜 polishing을 원활히 하는 역할을 하므로 대단히 중요한 요소이다. 입자의 농도는 경우에 따라 다르나 약 10%가 효율적이며 연마의 효율을 높이기 위해서 연마액을 약 산이나 약 알칼리로 하는 경우도 있다. 표면 거칠기를 향상시키기 위한 용도로 사용할 때는 될 수 있는 대로 중성을 유지하는 것이 좋다.

라. Polishing시 주의 사항

(1) 사용되는 pitch는 연마제의 침투가 용이한 wood계를 사용할 것

(2) Polisher 제작시 pitch의 균일성(uniformity)을 위하여 인화점(flash point)이 상으로 가열하지 말 것.

(3) Pitch의 균일성(uniformity)과 일관성(consistency)의 악화를 방지하기 위하여 여러 가지 pitch를 서로 혼합하여 사용하지 말 것.

(4) Pitch에 이 물질이 침입하면 scratch가 발생의 원인이 되기 때문에 pitch 공구의 제작과 보관은 깨끗한 환경에서 하고, 특히 pitch 공구를 보관할 때는 pitch의 수분을 완전히 제거한 후 보관함에 담아 보관할 것. 그렇지 않으면 pitch에 곰팡이 등이 생겨 수명을 단축시킴.

(5) Pitch 공구는 제작 후 약 10일 후에 사용할 것. Pitch에 포함된 유성 성분이 휘발된 후 사용하면 Pitch의 균일성, 일관성, 입자의 침투성이 좋아짐.

(6) 광학 부품의 사용 영역에 따라 적절한 연마제 종류를 선정해야 하며, 정밀도에 따라 mesh, 소결 온도, 화학 성분 등을 고려해야 한다. 특히 정밀 광학 제품용으로는 F나 HF가 포함된 연마제는 사용하지 말아야 한다.

(7) Polishing액의 pH농도는 경우에 따라 적절한 농도를 선정하여야 하며, 효율성을 위해서는 알칼리성으로, 정밀도를 위해서는 중성으로 하는 것이 유리하다.

(8) Polishing 완료 후 시간이 경과하면 staining이나 dimming과 같은 표면 흠점이 생기기 때문에 즉시 세척하는 것이 좋다.

8. 세척

광학 부품의 제작 공정 중 가장 간과(看過)하기 쉬운 공정이 세척 공정이다. 세척 공정은 정밀 광학 부품 특히 고 반사율, 저 산란율을 요구하는 mirror 제작, lithography 등의 분야에서는 중요한 공정이다. 세척 공정을 원활히 추진하기 위해서는 오염원의 종류, 발생 원인 및 원리, 오염원의 제거 원리, 표면 손상을 최소화(最低化)할 수 있는 세척 방법 선정이 중요하다.

가. 오염 물질의 종류

광학 부품 제작시 발생하는 오염 물질은 유기질, 무기질, 그리고 표면 흠점으로 나누어 볼 수가 있다.

(1) 유기질(organic substance)의 오염물 : 유기질의 오염 물질은 유상(oil) 형태와 고상(solid) 형태로 나누어 볼 수가 있는데, 유상 형태는 지문(유상분), 연삭유, 유상 먼지 등이고, 고상 형태는 pitch, 접착제, 보호막 등이다. 이와 같은 오염원은 계면 활성제와 같은 용제로 쉽게 제거할 수가 있다.

(2) 무기질(inorganic substance)의 오염물 : 무기질의 오염 물질은 수용성(염기성류)과 불 수용성으로 나누어지는데 수용성 무기질은 dimming과 지문(염분성)으로 나눌 수 있고, 불 수용성은 주로 입자 형태로 연마제와 먼지로 나눌 수 있다. 오염 물질 중 가장 제거가 어려운 것이 불 수용성(입자류)의 오염원 중의 연마제이다. 연마제는 그림 9에서 보는 바와 같이 glass 표면에 침투하기 때문에 이를 제거하기 위해서는 표면을 식각(etching)해야 한다.

(3) 표면 흠점(surface deterioration) : 표면 흠점은 dimming(白ヤケ), staining(靑ヤケ), latent scratch로 구분할 수 있는데, dimming은

공기 중의 수분과 glass가 반응하여 발생하는 염분과 같은 오염 물질로 중성 세제로 제거가 용이하다. Staining은 세척 등의 공정에서 물과 glass가 반응하여 원래의 glass층과 다른 물질층이 형성되어 생긴 오염 물질로 이를 제거하기 위해서는 표면을 식각해야 한다. Latent scratch는 polishing 중 발생하는 표면이하(sub-surface)에 존재하는 scratch로 보통은 보이지 않으나 합성 세제로 세척한 후 보이는 scratch로 이를 표면 흠점의 하나로 생각한다. 이는 polishing시 이(異) 물질과 hard한 가공 조건에 의해 발생한다.

나. 오염원의 부착 형태와 제거 메커니즘

아래 그림 9는 각 오염 물질의 광학 표면에의 부착 형태와 제거의 메커니즘을 보여주는 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 연마재같은 불용성의 입자들은 광학 부품의 표면에 미세하면 침투되어 있기 때문에 inorganic builder가 포함

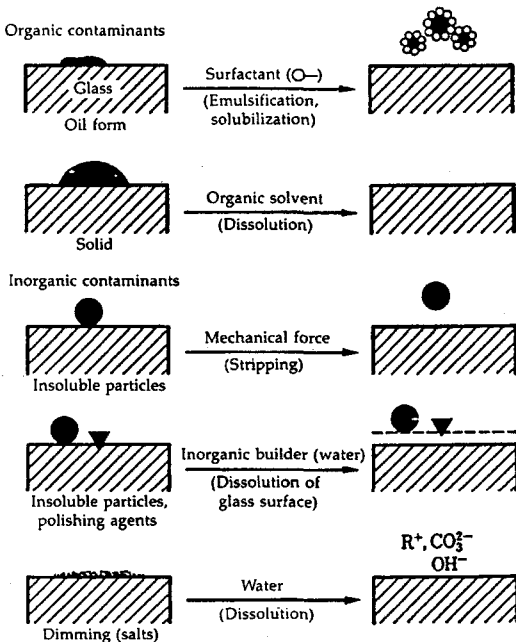


그림 9 각 오염원들의 부착 형태와 제거 메커니즘
(좌 : 부착 형태, 우 : 제거 메커니즘)

된 합성 세제 등을 이용하여 표면을 미세하게 식각시키야만 제거가 가능하다.

다. 세척 절차

(1) 개요

광학 부품의 용도는 크게 나누어 기관만으로 사용되는 것과 기관에 coating을 하여 사용되는 것으로 나누어 볼 수가 있다. 경우에 따라 다르겠지만 기관에 coating을 하여 사용하는 광학 부품에서는 세척 공정이 특히 중요하다. Coating의 용도도 단순한 기관의 보호와 미관을 위한 것과 광(光)의 특성 변화를 위한 것으로 나누어 볼 수 있는데, 용도별로 세척 절차도 달리 해야 된다.

모든 광학 부품의 일반적인 세척 절차는 유기질 오염 물질의 제거 → 무기질 오염 물질 및 표면 흠점의 제거 → rinsing → 탈수 → 건조 → baking 순으로 진행한다. 위에서도 언급했듯이 유기질의 제거는 일반적인 합성 세제나 아세톤과 같은 유기 용제로도 가능하다. 그러나 연마재와 같은 무기질이나 staining과 같은 표면 흠점은 유기 용제로서는 제거가 불가능하다. 세척 공정에서 가장 어려운 부분이 무기질 및 표면 흠점의 제거이다. 이와 같은 무기질 및 표면 흠점을 제거하기 위해서는 polishing된 표면을 미세하게 식각시키지 않으면 안된다. 그러나 식각은 표면의 손상을 필수적으로 수반한다. 그러므로 세척 공정의 개발은 표면의 식각을 최소화시키면서 무기질과 표면 흠점을 비롯한 제(諸) 오염 물질을 완전히 제거할 수 있고 환경 친화적인 용제와 세척 과정의 개발이라고 하여도 과언이 아니다.

또한 각종 용제(detergent)로 광학 부품을 세척할 경우 아무리 고 순도의 용제와 이온수(D.I water)를 사용한다고 해도 각종 이온들이 광학 표면에 부착되어 있다. 이를 효과적으로 제거하기 위하여 초 순수에서의 rinsing 공정이 필수적이다. Rinsing 공정 후 기관에는 물이 스며들어 있기 때문에 이를 효과적으로 제거를 해야 한다. Optical glass의 주 성분인 SiO₂는 H₂O와의 가

수분해에 의해 조직이 변하기 때문에 세척 공정 후 빠른 시간 내 수분을 제거해야 한다. 이와 같은 수분을 제거하는 공정을 탈수 공정이라 하는데, 탈수 공정 후에도 수분이 완전히 제거되지 않는다. Optical glass는 다공질의 조직이기 때문에 수분이 glass조직에 침투된다. 이와 같이 침투된 수분을 제거하기 위해서는 Baking공정을 실시하여야 한다. Baking에 관한 세부적인 내용은 소재 종류와 세척 방법에 따라 다르다. Baking된 기판은 desiccator 등의 진공 보관함에 보관해야 한다.

(2) 세척 절차

세척 공정은 각양각색이지만 필자가 각종 실험을 통해 개발한 세척 공정을 간단히 언급한다 (주: 이 방법은 BK-7, Fused silica, Zerodur 등에 적용 가능함).

(가) 가급적 polishing 직후 아세톤이나 에테르 등에 부품을 담근 후(약 10분간) 문지름 방법으로 부품을 깨끗이 닦는다.

(나) D.I water : H₂O₂ : NH₄OH를 5 : 1 : 0.2로 한 용액을 만들어 약 70℃로 heating하여 초음파 세척조에서 15분 정도 세척한다. 그리고 흐르는 D.I water에 20분 동안 rinsing한다.

(다) D.I water : H₂O₂ : HCL를 6 : 1 : 1로 한 용액을 만들어 약 70℃로 heating하여 초음파 세척조에서 10분 정도 세척한다. 그리고 흐르는 D.I water에 20분 동안 rinsing한다.

(라) IPA(Isopropyl alcohol)로 약 5분 동안 초음파로 탈수한다.

(마) 원심분리기(일명 : spinner)에서 건조시킨다.

(바) 진공로에서 시간당 20℃정도 상승시켜 120℃에서 10시간 정도 가열한 후 노냉시킨다.

(사) 곧 바로 코팅한다.(주: (바) 공정은 코팅 chamber에서 코팅 직전에 하는 것이 효과적이다.)

라. 광학 부품 세척시 주의 사항

(1) 세척시 가장 제거가 어려운 오염 물질은

표면에 박힌 powder와 같은 무기질과 staining과 같은 표면 흠점이다.

(2) Latent scratch나 staining과 같은 표면 흠점은 polishing시 피할 수 없는 현상이다.

(3) 그러나 될 수 있는 대로 표면 흠점이 발생치 않도록 주의해야 한다.

(4) 세척시 오염원의 종류를 정확히 파악한 후 가장 적절한 세척 방법을 선정하여야 한다.

(5) 세척시 될 수 있는 대로 표면을 식각시키지 않으면서 효율적인 세척이 가능한 방법을 적용하여야 한다.

(6) 한가지 세척 방법만으로는 절대 완전한 세척이 이루어질 수가 없다.

9. 측정

광학 부품의 측정은 정밀 기계 가공품에 비하여 간단하다. 광학 부품의 측정 인자는 크게 나누어 굴절률이나 아베계수와 같은 소재에 관한 것과 가공시 요구되는 것으로 나누어 볼 수가 있다. 여기서는 협의(狹義)로 가공시 요구되어지는 측정 인자에 대해서 기술한다.

가. 광학 부품의 주요 측정 인자

광학 부품 가공시 요구되어지는 측정 인자는 아래 내용과 같이 크게 4가지로 나뉘 볼 수 있다.

(1) 치수 정밀도 : 각종 치수 공차, 곡률 반경(Radius of curvature)

(2) 형상 정밀도 : 평면도(Flatness), 구형도(Sphericity), 비구형도(Asphericity)

(3) 방위 공차 : 직각도(Squareness), 경사도(Angularity), 평행도(Parallelism), 각추도(Pyramidality)

(4) 표면 정도 : 표면 거칠기(Surface roughness), Scratch and Dig, 소재의 결함도

나. 주요 측정 인자별 측정 방법

(1) 치수 정밀도

일반적으로 광학 부품의 치수 정밀도 중에서 가장 측정이 난해한 것이 곡률 부품인 경우의 곡

를 반경이다. 곡률 반경의 측정 방법은 3차원 측정기나 구형계(spherometer) 등을 사용하는 기계적인 방법과 간섭계를 이용하는 광학적인 측정 방법으로 나누어 볼 수가 있는데, 기계적인 방법인 3차원 측정기에 의한 방법은 피 측정면의 면적비의 한계로, 구형계(spherometer)인 경우에는 제작상 문제와 표준 구형 확보 한계로 사용이 제한적이다. 일반적으로 많이 사용하는 방법이 간섭계를 이용한 광학적인 방법을 많이 사용하는데, 여기에도 간섭계의 rail 설치 및 정밀도 문제 등의 긴 곡률 반경인 경우에 측정에 한계가 많다. 요즘은 층밀리기 간섭계를 이용한 긴 곡률 반경 측정 방법에 대한 연구가 많이 진행중이다. 향후에 이 분야에 대한 집중적인 연구가 필요하다.

(2) 형상 정밀도

광학 부품의 형상 정밀도는 평면도(flatness), 구형도(Sphericity), 비구형도(Asphericity) 등으로 나누어 볼 수가 있는데, 측정 방법은 3차원 측정기나 stylus profilometer와 같은 장치를 이용한 기계적인 측정 방법과 간섭계를 이용한 광학적인 측정 방법이 있다. 아마 국내에서 광학 부품의 측정 인자 중 가장 앞서가는 부분이 형상 정밀도의 측정 부분이 아닌가 생각하는데, 기계적인 측정 방법은 여러 가지 제약 조건으로 사용이 제한적이므로 현재는 주로 간섭계를 이용한 광학적인 방법을 많이 사용하고 있다.

간섭계를 이용한 형상 정밀도 측정시 반대면의 역 반사로 인한 간섭 무늬의 중첩 현상으로 정밀도의 광학 제품 측정시 많은 어려움이 있다. 이런 경우에는 Fresnel 방정식($R_{\perp} = [(n_t - n_i)/(n_t + n_i)]^2$ at 90° incidence, 여기서 R_{\perp} : Reflectance of rear surface, n_i : Glass의 굴절률, n_t : 뒷면 부착 물질의 굴절률)에서 보는 바와 같이 측정면의 반대면에 소재의 굴절률과 동일한 물질을 바르면 역 반사 현상을 방지할 수가 있어 정밀한 측정이 가능하다.

날로 사용이 증가되고 있는 비구면 광학 부품

의 비구형도 측정에 관해서 현재 국내에서 많은 연구가 진행되고 있으나 주로 실험실 수준이고 상용화가 되지 못했다. 향후에 이 부문에 관해 많은 연구가 진행되어져야 될 것으로 생각되어지는데, 이 부문이 현재 활성화되지 못한 것은 시장성의 문제가 아닌가 생각한다.

(3) 방위 공차

방위 공차는 직각도(Squareness), 경사도(Angularity), 평행도(Parallelism), pyramidity로 나누어 볼 수가 있는데 방위 공차는 주로 Autocollimator를 이용하여 측정하는데 이는 간접적인 측정 방법으로 방위 공차의 절대치 측정은 어렵고, 측정자의 주관적인 판단에 측정치가 많이 변한다. 요즘은 autocollimation 원리와 회전각 센서 원리를 혼합한 분해능이 0.5초 이내인 특수한 방위 공차 측정기인 goniometer가 상용화되어 정밀한 방위 공차뿐만 아니라 굴절률과 같은 소재에 관한 parameter도 측정할 수가 있다. Optician들은 평행도 측정시 간섭계의 역 fringe를 이용한 방법을 많이 사용하는데 역 fringe와 평행도와의 관계는 다음과 같다.

평행도 $\theta(")$ = $2n/LN$ 이다 (여기서 n : Back fringe의 수, L : 제품의 직경<단위 : inch> N : 제품의 굴절률, θ 단위 : 초($"$)).

(4) 표면 정도(表面精度)

표면 정도란 용어는 필자가 임의로 붙인 것인데, 이는 광학 부품 표면의 청결도(cleanness)를 규제하는 것으로 표면 거칠기(surface roughness), scratch and dig, 소재의 결함도 등을 말한다. 특히 고 정밀도의 광학 부품 제작에서 가장 중요시되는 인자가 표면 정도라는 사실을 잊지 말아야 한다.

(가) 표면 거칠기(Surface roughness)

표면 거칠기는 표면 조도(表面粗度)라고도 부르는 것으로 가공된 표면에 작은 간격(고주파 성분)으로 나타나는 미세한 굴곡을 말하며, 이는 절삭 공구 및 연마 입자의 가공 방법이나 다듬질

표 2 표면 거칠기의 측정 방법 및 특징

측정 방법	측정 범위	장점	단점
Stylus profilometer	4Å-50 μ m	* 측정 범위가 크다.	* 접촉식으로 광학면 측정에 적합치 않음.
Electron Microscope	20-1500Å	* 측정 시간 단축 * 표면구조 관찰용이	* 정밀 측정용으로 부적합
SEM (Scanning electron microscopy)	수 nm	* 10-400,000배 확대 가능 * 표면 지형을 원자단위 분해	* 부도체에는 적용 불가 * 제품의 표면 거칠기용으로 부적합
Optical surface profiler (PSI방법)	0.1-1000Å	* 정밀도가 우수 * 측정 폭이 상대적으로 크다.	* 측정 시간 과다 소요 * 환경에 민감
AFM (Atomic force microscopy)	1-500Å	* 표면구조 관찰용이	* 측정 폭이 적다.
TIS (Total Integrated scattering)	0.1-350Å	* 고 반사율 기관 측정으로 우수 * 측정이 간편하고 빠르다.	* 제품에 제약 조건이 많음. * Set-up이 어려움

방법에 의하여 표면에 복합적으로 생긴 표면의 불규칙성이다. 표면 거칠기를 규제하는 방법은 중심선 평균 거칠기(Ra), 제곱 평균 거칠기(Rq, Rms), 최대 높이(Rmax, P-V), 10점 평균 거칠기(Rz) 등이 있다. 이들의 상관 관계는 소성 변형 가공시(일반적으로 금속 제품 가공시)는 $R_{max}(P-V) \approx R_z \approx 4 R_a (\approx 4 R_{ms})$, 취성 파괴 연마시(optical glass가공시)에는 $R_{max}(P-V) \approx R_z \approx 6 \sim 10 R_a (< 10 R_{ms})$, $R_{ms} \approx 1.11 R_a$ 이다. 표면 거칠기의 측정 방법 및 그 특징은 표 2와 같다.

(나) Scratch and Dig

Scratch and Dig는 가공시 발생하는 표면 흠점의 일체를 말하는 것으로 KS 규격이 없어 국내 업체에서는 외국 규격을 원용하고 있는데, 주요 외국 규격은 미국 규격인 MIL-PRF-13830B와 독일 규격인 DIN3140, 그리고 구 소련의 규격인 GOST 11141-84이다. GOST 11141-84는 DIN3140과 비슷하다. 국내에서 일본 영향을 받은 업체는 주로 DIN3140을, 방산 업체는 MIL-PRF-13830B 규격을 이용하는 것 같다. 여기서는 MIL규격에 관하여 간략하게

언급한다.

1) 정의 : Scratch는 표면의 흠집(marking)이나 갈라짐(tearing)을 말한다. dig는 polishing된 표면에 외관상 보이는 작은 구멍(pit)과 같은 작고 거친 흠점을 말하며 일명 point라고도 부른다. Dig는 주로 grinding시 생긴 자국이 polishing시 완전히 제거되지 않은 표면 밑 흠집(sub-surface damage)이 polishing으로 표면에 나타난 bubble들이다. 일반적으로 scratch와 dig의 구분이 애매할 경우가 있는데 흠집의 길이가 폭의 3배 이상이면 scratch, 이하이면 dig로 규정한다.

2) 적용 예 : MIL규격에서는 scratch and dig를 두 그룹의 두 자리 숫자(예 : 60-40)로 표시하는데 앞 그룹의 숫자는 scratch, 뒷 그룹의 숫자는 dig를 나타낸다.

가) Scratch에 관한 사항 : 규정의 앞 그룹의 두 자리 숫자(예 : 60)는 허용 가능한 scratch의 폭을 나타내는데 단위는 0.1 μ m이며, 규정은 5단계로 나누며 공차는 다음과 같다.

#10 Scratch : $1 \pm 0.1 \mu\text{m}$, #20 Scratch : $2 \pm 0.2 \mu\text{m}$, #40 Scratch : $4 \pm 0.4 \mu\text{m}$, #60

Scratch : $6 \pm 0.6 \mu\text{m}$, #80 Scratch : $8 \pm 0.8 \mu\text{m}$

나) Dig에 관한 사항 : 규정의 뒤 그룹의 두 자리 숫자(예 : 40)는 허용 가능한 dig의 지름을 나타내는데 단위는 0.01mm이며, 이 규정도 5단계로 나누며 공차는 다음과 같다.

#5 Dig : $0.05 \pm 0.00254\text{mm}$, #10 Dig : $0.10 \pm 0.00508\text{mm}$, #20 Dig : $0.2 \pm 0.00762\text{mm}$, #40 Dig : $0.40 \pm 0.01016\text{mm}$, #50 Dig : $0.50 \pm 0.01270\text{mm}$

(다) 소재 결합도

소재의 결합도는 소재 제작시 발생하는 기공, 줄무늬(striae) 등으로 가공과는 무관하지만 전호(號)에서 언급했듯이 광학 부품과 같은 경취재료인 부품 가격의 70% 이상이 가공비이기 때문에 가공을 시작하기 전에 소재에 대한 정확한 검사가 필수적이다. 그러나 유감스럽게도

optical glass의 검사가 어렵고 적절한 장치도 부족하다. 그러므로 필자가 권고하고 싶은 것은 소재비가 조금 더 들어가더라도 선진 업체의 소재를 구입하라는 것이다.

이상과 같이 2회에 걸쳐 광학 부품의 제조 공정 및 그 주의 사항에 대해 간략하게 논하였습니다. 논리 내용 중 틀린 부분이나 논리에 맞지 않는 부분이 있으면 독자 여러분께서 넓은 아량으로 이해해 주시기 바랍니다.

광학 부품 제조 공정에는 많은 기술이 필요한데 지면 관계상 상세하게 언급하지 못하는 것이 아쉽습니다.

부디 본 논리가 독자 여러분들의 업무에 미력이나마 도움이 되었으며 합니다.

잠깐 정보

첨단기술정보

1. 고감도의 광 검출 소자

- 개발 내용 -반도체 결정 박막 제조기술 등을 사용해 파장이 짧은 청색의 자외선 영역(약0.45 μm 파장)에서 이용되는 고품질, 고감도의 광 검출 소자를 개발, 기존의 CD 등 광 정보 기억 및 재생 장치에는 적색 레이저와 실리콘 소자를 이용.
- 특징 -광 검출 감도가 기존의 실리콘 소자에 비해 1.5~2배, CD 등의 정보량이 기존에 비해 2배 증가, 실리콘 소자에 비해 1/10 정도의 약한 광 신호로도 소자의 검출이 가능함을 세계 최초로 입증, 1cm당 전압이 약 30V인 외부 전력만으로도 신호 증폭률이 50배가 넘는 것을 검증.
- 향후 계획 -실용화를 위해 신소자의 신뢰성과 수명을 연장시키는 연구도 추진, 기업과 공동으로 대량 생산기술을 연구할 예정

2. 초단파장의 광 발생 장치

- 개발 내용 -새로운 광 발생 장치는 고효율의 파장 전환 기술에 반도체 탑재 레이저의 광 증폭 기술을 조합하여 초단파장의 광을 발생, 특히 효율적인 빛의 중점을 위해 4개의 거울을 채택하였고 열의 영향을 억제하기 위해 정밀 온도제어기술까지 사용.

- 특징 -초단파장의 광을 이용하면 주파수 대역이 넓어지므로 대량의 데이터 입력이 요구되는 통신기기 등에 많이 사용, 소형화가 가능하며, 소비 전력이 지금의 1/10 이하로 절감되어 초고속 광통신 등에 활용, 기존의 광 발생 장치는 대형에다 복잡하고 소비 전력이 많이 사용 분야가 제한되는 것이 단점.
 - 향후 전망 -21세기에 실용화될 차세대 광통신 기반기술에의 활용이 기대
3. 투명 물체의 감지 센서
- 배경 -기존의 광센서는 페트(PET)병과 같은 투명 용기의 빛 흡수율이 낮아 물체의 식별이 곤란하고, 렌즈 오염에 따른 오작동도 지속적으로 발생.
 - 개발 내용 -아주 작은 빛의 변화량에도 투명 물체를 감지할 수 있게 특별 설계된 새로운 센서 기술, 물체의 정확한 작동점을 맞추는 어려운 점을 극복하기 위해 자동조절 가능 채택(렌즈 오염에 따른 빛의 감도 축소사를 대비한 센서가 보완, 물체의 유무 상황을 계속 모니터링하여 조절).
 - 특징 -투명 물체의 사전 감지로 안정된 공장자동화가 가능(유지보수비를 절감하고 생산성 극대화), 자체 모니터링 기능으로 조정이 불가능한 경우는 경고 신호음을 전달.

(자료 : 삼성경제연구소)