

반사체 회전금형 초경로울러의 개발에 관한 연구(제1보) - 반사체 형상 해석 및 다이아몬드 예각지석 시스템 설계 -

Study on the Development of Sintered Carbide Roller Mold for Reflector
- Analysis of Reflector Geometry and Design of Acute Angle Diamond Wheel System

김동식*; 김정두 (KAIST 기계공학과)
Dong-Sik Kim and Jeong-Du Kim

Key words : Reflector(반사체), Acute Angle Diamond Wheel System(다이아몬드예각지석 시스템),
Sintered Carbide Roller Mold(초경롤러금형), In-Process Electrolytic Dressing(연속전해 드레싱)

ABSTRACT : A sintered carbide roller mold for reflectors which is used for cover of automobile lamp and beacon plate of highway has been developed. The geometry of sintered carbide roller mold has been determined from the analysis of reflector geometry. An acute angle diamond wheel and dressing system also has been designed and developed to manufacture the sintered carbide roller mold.

1. 서 론

자동차의 반사등 커버나 고속도로 표지등을 비롯하여 대부분의 운송기구에 있어서 내부의 매우 많은 반복형상을 통하여 빛을 반사시키는 반사체는 그 수요가 매우 크다. 그러나 현재 이러한 특수반사체는 전량 수입에 의존하고 있어서 국내 개발이 절실히 요구되고 있다.

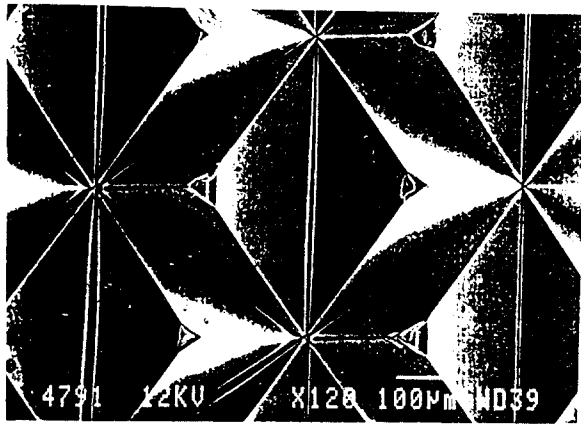
일반적으로 사용되는 반사체는 크게 일반형, 고휘도형, 초고휘도형으로 구분된다. 이러한 구분은 반사체의 구조와 반사휘도의 차이에 의해 구분되는데 구조로는 일반형과 고휘도형은 유리방울(Glass Bead)을 이용하며 초고휘도형의 경우는 유리방울 없이 바로 반사체의 형상을 이용한다. Fig.1은 고휘도형과 초고휘도형 반사체의 형상을 전자주사현미경으로 분석한 것이다. 일반형의 반사휘도를 100으로 기준하면 고휘도의 경우는 250 정도이며 초고휘도의 경우 반사도는 750정도이다. 일반형의 경우는 여러층으로 이루어져 있는데 PET막, 아크릴수지, 유리방울, 알루미늄, 접착제, 이형지 순으로 이루어져 있으며 증착된 알루미늄에서 빛의 반사가 일어난다. 고휘도의 경우도 일반형과 유사하며 단 차이점은 유리방울에 알루미늄막이 바로 증착되어 있다. 초고휘도 반사체의 경우는 아크릴 반사층, 공기층, 접착제, 이형지 순으로 되어 있다. 일반형과 고휘도의 경우 유리방울을 이용하는데 유리방울의 굴절률이 크면 이 비드내에 초점이 맺혀서 지며 굴절률이 작으면 비드외부에 초점이 맺히게 된다. 반사체에 대한 연구로는 홈과 물결모양을 가진 반사구조

를 지닌 평면의 강도분포에 대한 연구[1]가 있었으며 여러 다른 반사재료에 대하여 실시한 결과 표준 알루미늄과 물결무늬 알루미늄이 경면재료와 같은 역할을 수행한다고 보고되었다. 홈과 물결무늬를 가진 이러한 재료의 강도를 계산하기 위하여 광추적법이 제시되었다. 또한 반사재료로는 PMMA가 사용되기도 한다[2]. 금속화되고 유연한 폴리머 반사재료인 이것은 기존의 유리/금속경보다도 더 반사율이 높으며 경제적이다. 현재 National Renewable Energy Laboratory의 도움으로 미국의 3M사에서 ECP-305, PMMA막이 상용화되고 있다. 그리고, 주어진 일정공간하에서 빛의 반사를 위한 실용적인 콤팩트타원집중형(CEC-type) 반사체에 대한 연구도 행하여지고 있으며[3], 실리콘 상에 광학평면이나 반사체를 실리콘 에칭기술을 이용하여 만들기도 한다[4]. 또한 반사표지판을 설치하여 도로상에서 교통사고의 예방과 속도증가를 시험한 연구[5]도 있다. 교통사고는 반사표지판을 설치하여 40-60% 감소시켰으며 교통흐름속도도 약 20km/hr 증가시키는 결과를 얻었다고 보고되었다.

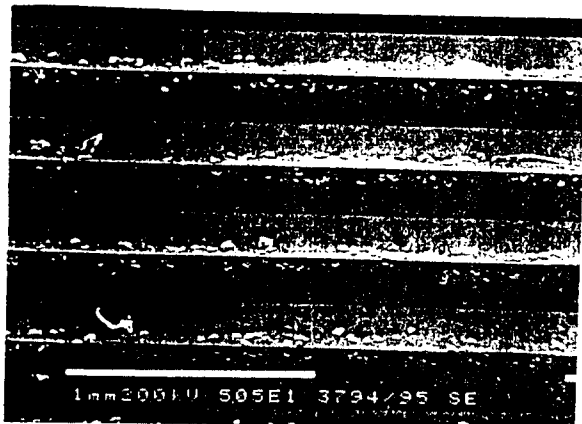
이러한 반사체를 대량 생산하고 특히 자동화를 이루기 위해서는 새로운 형태의 금형의 설계 및 제작이 필요하게 된다. 현재 이러한 반사체를 제작하기 위해서 금형이 이용되며 가능한 방법으로는 Embo-Roll이나 프레스몰드가 가능하다.

본 연구에서는 이러한 반사체를 제작하기 위한 회전금형 초경로울러를 제작하고자 하며 또한 이러한 회전금형 초경로울러를 설계, 제작하기 위해서 다이아몬드 지석에 의한

경면가공을 하였다. 이때 다이아몬드 지석의 형상은 반사체의 형상 해석을 통하여 반사도를 최대도록 결정하였다. 그리고 다이아몬드 지석의 연속드레싱과 트루잉을 위하여 다이아몬드 예각 지석에 연속전해 드레싱 시스템을 설계 및 개발하고 적용하였다.



(a) Geometry of ultra-luminous intensity reflector



(b) Geometry of high-luminous intensity reflector

Fig.1 SEM photographs of reflectors

2. 반사체 형상 해석 및 최적조건 선정

반사체의 형상은 입사되는 빛이 최대도록 반사될 수 있도록 형상이 설계되어져야 한다. 그래서, 본 장에서는 빛의 기본적인 성질과 반사체의 형상을 설계할 시에 최대의 반사도를 가지는 형상의 범위를 이론적으로 규명할 것이다.

빛의 굴절은 서로 다른 종류의 매질을 갈라놓는 경계면에서 일어나는 현상으로 어떤 빛이 바로 그 경계면에 입사할 때 일부는 매질경계면에 투과되어 입사 당시 경계로 방향과 다른 방향으로 전파되는 현상을 굴절이라고 한다. 반사는 입사각과 같은 각도로 이루어진다. 즉 반사법칙은 입사각과 반사각이 같으며 굴절법칙은 유명한 Snell의 법칙에

준한다. Fig.2에서 보는 바와 같이 입사각을 ϕ , 굴절각을 ϕ' , 입사면의 매질의 굴절계수를 n_0 , 굴절면의 매질에 대한 굴절계수를 n_1 이라고 한다면

$$\frac{\sin \phi}{\sin \phi'} = \frac{n_1}{n_0} \quad (1)$$

으로 쓸 수 있으며 이것을 Snell의 법칙이라고 한다. 여기서 굴절계수 n 은 다음과 같이 정의된다.

$$n_0 = \frac{c}{v} \quad (2)$$

여기서 c 는 진공에서의 빛의 속도이고 v 는 매질 내에서의 빛의 전파속도이며 n_0 은 이 매질의 굴절계수(index of refraction)이다[6].

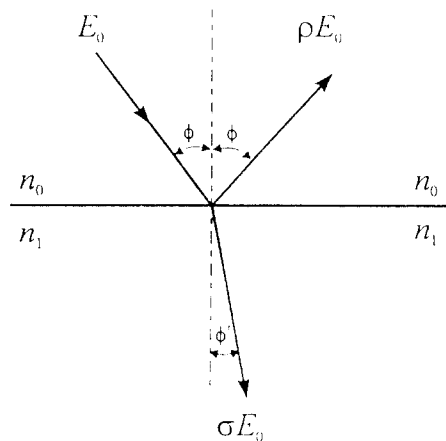


Fig.2 Reflection and transmission at a dielectric interface

반사는 여러 가지로 구분될 수 있다. 가장 근본적인 것은 규칙반사와 난반사이다. 규칙반사는 평행광선이 입사광으로 매끄럽고 평면인 표면에 부딪힐 경우 반사되는 것으로 평행광선이다. 규칙반사가 거의 완전할 때는 사람의 눈에는 그 반사체가 보여지지 않는다. 규칙반사 이외에 우리 주위에 놓여있는 물체에서 일어나는 대부분의 것들이 난반사의 예이다. 굴절현상에서와 같이 반사현상에도 반사법칙이 있다. 반사법칙은 입사각과 반사각이 반사면에 법선을 기준으로 같다는 것이다. 그렇지만 표면이 편평하지 않고 거친 굴곡이 있는 표면을 가진 반사체의 경로에는 비록 입사광선이 평행광선일지라도 반사법칙에 따라서 반사가 되므로 반사광은 평행광선이 될 수가 없다. 왜냐하면 우리는 그 거칠고 굴곡이 있는 표면을 아주 조그만 작은 평면으로 쪼갤 수가 있고, 입사광선은 마치 그 미세하게 쪼개진 작은 평면을 반사면으로 하여 반사법칙에 따라 반사되기 때문이다. 이와 같은 반사를 난반사(diffused reflection)라고 한다. 이와 같은 난반사가 응용되는 곳은 실내장식이나 가구 또는 실내조명에 많이 사용된다.

광파장이 유리나 반사체와 같은 물질의 표면에 빛과장이 입사하면, 일부는 반사되고 일부는 투과된다. 실험적으로 전체 에너지중 반사되는 율은 제질의 굴절률(index of refraction)에 따라 변하게 된다. Fig.2에서 보듯이 에너지 크기 E_0 를 가진 파장이 표면에 입사하면 반사되는 파의 크기를 ρE_0 , 투과되는 파장의 에너지 크기를 σE_0 로 나타낼 수 있다. 반사계수 ρ 는 두 매질의 굴절률에 따라 변하며 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} \quad (3)$$

반사도(reflectivity) R은 반사계수 ρ 의 제곱과 같다. 즉

$$R = \rho^2 \quad (4)$$

여기서 알 수 있듯이 낮은 굴절률의 매질에서 높은 굴절률의 매질로 가면 반사계수 ρ 는 음수가 되며 이것은 반사되는 파의 위상이 180° 바뀐 것을 의미한다. 대부분의 경우 반사계수 ρ 는 복소수이며, 위상차는 어디에서든지 일어날 수 있다. 하지만, 우리는 ρ 의 실수영역만 관심을 두어도 무관하다.

상용하는 공기에서의 반사도 R은, 예를 들면 유리의 경우 굴절률 n_0 은 약 1.5로서 $R = \rho^2 = 0.04$ 가 되며 물의 반사도는 굴절률 $n_0 = 1.33$ 이므로 $R = 0.0166$ 이다. 다이아몬드는 알려진 물질 중 굴절률이 매우 높은 것으로 $n_0 = 2.4$ 이며 반사도는 약 0.17이 된다. 루티일(rutile, TiO_2)의 경우 굴절률 $n_0 = 2.6$ 인데 이 재료는 경취성이며 깨지기 쉽다. 반사는 굴절률의 차이에 의해 설명이 된다. 즉 다른 두 물질이라고 하더라도 동일한 굴절률을 가지고 있으면 반사가 일어나지 않는다.

Fig.3은 이중막이 있을 경우의 빛의 반사와 흡수를 나타낸다. 초기에 입사하는 파의 크기를 E_0 라고 하고 첫 번째 경계면에서의 투과계수와 반사계수를 각각 σ_1, ρ_1 이라고 하며 두 번째 경계면에서의 투과계수 그리고 반사계수를 각각 σ_2, ρ_2 라고 하자.

그러면 반사계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_1 = -\frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}, \quad \rho_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad (5)$$

중간층에 의한 두개의 연속된 반사에서 위상차 δ 은 다음 식과 같이 표현된다.

$$\delta = \left(\frac{2\pi n_1}{\lambda} \right) 2t \cos \phi \quad (6)$$

투과되는 광의 에너지 크기는 다음과 같다.

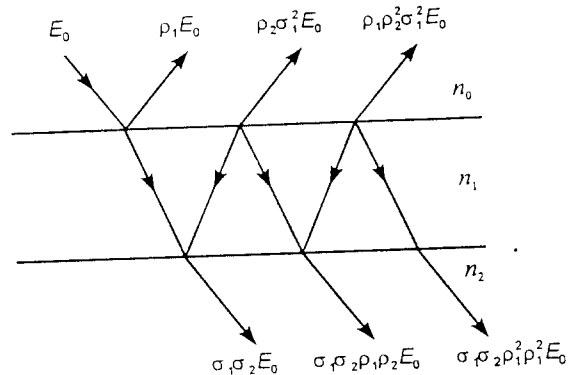


Fig.3 Reflection from two parallel surfaces

$$\begin{aligned} E_1 &= \sigma_1 \sigma_2 E_0 \\ E_2 &= \sigma_1 \sigma_2 \rho_1 \rho_2 E_0 \\ E_3 &= \sigma_1 \sigma_2 \rho_1^2 \rho_2^2 E_0 \end{aligned} \quad (7)$$

그리고 전체 투과되는 에너지 크기를 E_T 라고 하면 다음과 같다.

$$E_T = \sigma_1 \sigma_2 E_0 (1 + \rho_1 \rho_2 e^{-i\delta} + \rho_1^2 \rho_2^2 e^{-2i\delta} + \dots) \quad (8)$$

이것을 다시 쓰면

$$E_T = \frac{\sigma_1 \sigma_2 E_0}{1 - \rho_1 \rho_2 e^{-i\delta}} \quad (9)$$

이로 투과된 밀도의 시간평균 I_T 는 다음과 같다.

$$I_T = \frac{I_0 \sigma_1^2 \sigma_2^2}{1 + \rho_1^2 \rho_2^2 - 2\rho_1 \rho_2 \cos \delta} \quad (10)$$

여기서 $I_0 = E_0^2/2$ 이고 반사계수 R과 투과계수 T의 합은 1이다.

$$R = 1 - T \quad (11)$$

여기서 $T = I_T/I_0$ 이다.

그러므로 최종적으로 이중 코팅막의 반사도 R은 다음과 같이 표현된다.

$$R = \frac{\rho_1^2 + \rho_2^2 - 2\rho_1 \rho_2 \cos \delta}{1 + \rho_1^2 \rho_2^2 - 2\rho_1 \rho_2 \cos \delta} \quad (12)$$

위의 식(12)로부터 한 층의 재료에 얇은 박막을 입힘으로써 반사도를 크게 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. Fig.4에서 보듯이 공기중 매질에서 일산화규소(SiO) 박막으로 빛이 진행하면 굴절계수가 낮은 매질에서 높은 매질로 가므로

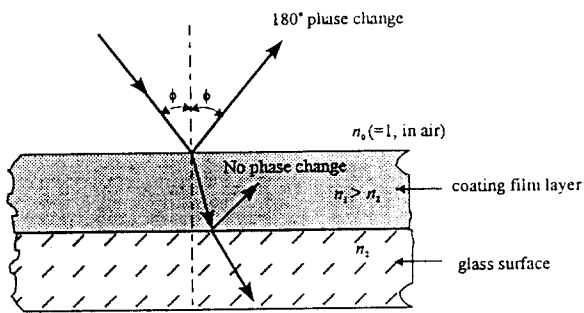


Fig.4 Coating film layer to obtain an increase in reflectivity and phase change

180°의 위상차가 발생하여 빛이 반사되고 계속해서 투과된 빛은 일산화규소에서 굴절계수가 더 낮은 유리매질로 진행할 경우 위상차가 발생하지 않고 빛이 반사되며 박막의 두께를 적절히 조절함으로써 이 반사된 두 빛은 최대 중첩이 되어 반사도를 증가시킬 수 있다. 예를 들어 굴절계수가 1.5인 일반적인 유리재료의 반사도 R은 0.04에 불과하나 여기에 이보다 더 큰 굴절계수(n=2.0)를 가진 일산화규소 박막을 입히면 굴절계수 R은 0.2까지 증가한다.

Fig.5는 위의 여러 가지 박막재료에 따라 입사각(incident angle) ϕ 의 함수로 반사도 R을 나타낸 것이다. 박막재료의 굴절계수 n이 커질수록 반사도가 증가한다는 것을 알 수 있으며 굴절계수가 3.2인 실리콘 산화물 SiO(Silicon Monoxide)를 사용할 경우가 가장 큰 반사도를 얻는다. Table 1은 여러가지 박막에 의한 최대 반사도 값을 보여 준다.

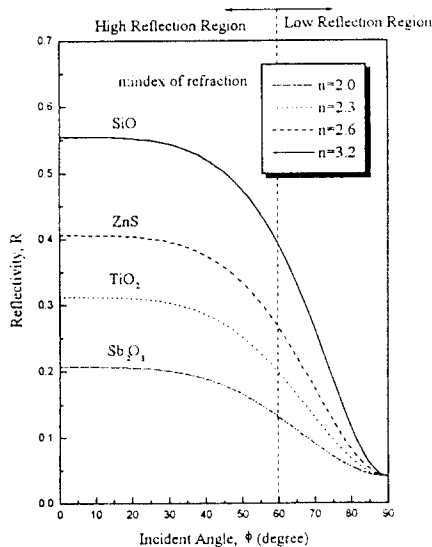


Fig.5 Reflectivity of coated layers according to incident angle

Table 1 Reflectivity of thin films on glass

film	index of refraction n	maximum reflectivity R
SiO	2.0	0.20
ZnS	2.3	0.37
TiO ₂	2.6	0.40
Sb ₂ O ₃	3.2	0.57

그리고 입사각의 변화에 따라 반사도가 변화하게 되는데 입사각이 약 60° 이하에서는 거의 일정한 반사도를 유지하며 입사각이 60° 이상이 되면 반사도가 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 따라서 반사체의 형상을 설계할 때에 반사체로 빛이 수직으로 들어온다는 가정 하에서 반사체 피치의 적절한 경사각을 선정할 수가 있다.

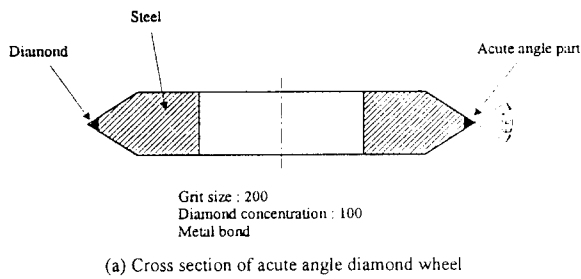
본 연구에서는 반사체의 입사각을 57°로 설정을 하였으며 따라서 반사체 금형 제작을 위한 다이아몬드 예각지석의 예각을 66°로 설계하고 제작하였다.

3. 다이아몬드 예각 지석 시스템 설계

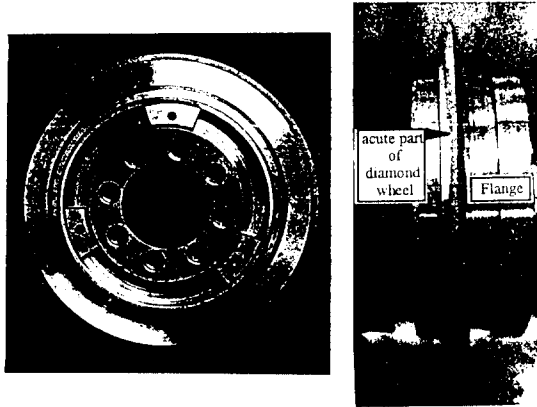
3-1. 다이아몬드 예각 지석 설계 및 제작

현재 선진 공업국들은 중심으로 항공 우주산업, 정보기기 산업, 메카트로닉스산업등 미래 지향적 고부가가치의 첨단 산업분야에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다. 고부가가치 재료를 경면으로 가공하는 경우 종전에는 래핑, 폴리싱의 가공공정을 사용하여 왔으나, 생산성 향상, 가공환경 개선 등을 목적으로 래핑 및 폴리싱 공정을 경면 연삭가공으로 대체시키는 방법이 활발히 연구되고 있으며, 반도체산업에 사용되는 실리콘 웨이퍼, Mn-Zn 페라이트 등을 선진국에서 전해드레싱 방법을 채용하여 경면연삭으로 성공한 사례가 있다[7]. 최근에 들어서는 초미립자(Superabrasive) 다이아몬드 또는 입방결정 질화붕소(CBN) 지석을 이용하여 기존의 지석으로는 연삭이 곤란한 경면가공[8-10]을 실현하고 있으며 #1000 이상의 초미립자 슛들이 사용되어진다. 이상의 가공에는 연삭기의 구조, 초미립자 다이아몬드 또는 CBN 슛들, 드레싱의 새로운 기술 및 측정기술 등이 요구되어 진다.

본 연구에서는 반사체 회전금형 초경로울러를 제작하기 위한 예각 형태의 다이아몬드 지석(Diamond Wheel)을 설계 하고 제작하였다. 다이아몬드 예각지석의 형상은 Fig.6과 같



(a) Cross section of acute angle diamond wheel



(b) Photograph of acute angle diamond wheel

Fig.6 Acute angle diamond wheel system

으며 다이아몬드 지석의 입도는 200, 결합도는 100, 결합체는 연속전해 드레싱을 위하여 금속결합체(Metal bond)로 되어 있다. 다이아몬드 지석의 예각은 반사체가 반사도를 크게 유지할 수 있도록 결정하였으며 앞장에서도 설명한 바와 같이 다이아몬드 지석의 예각을 66° 로 하여 입사각이 57° 가 되게 하였다.

3-2. 연속전해드레싱 시스템 설계 및 제작

다이아몬드 지석을 제작한 후 회전금형 초경로울러를 가공하기 위해서는 다이아몬드지석 예각의 드레싱 및 트루잉 시스템이 필요하다. 최근에 들어서 다이아몬드 또는 입방결정 질화붕소(CBN) 지석을 경제적으로 제작할 수 있게 되어 종래에는 연삭이 곤란하였던 분야에서 활발히 응용이 진행되고 있다. 그러나 다이아몬드 지석을 사용하여 연삭할 경우 눈매움(loading) 또는 입자마멸(glazing)에 대비한 드레싱에 상당한 어려움이 있다. 이러한 문제점에 대한 해결 방안으로서 지석입도에 따라 약전도성 연삭액을 사용하여 전기분해 원리를 이용한 전해 드레싱법이 있다. 종전의 일반적 드레싱이 기계적 제거, 방전드레싱이 전기적 제거에 기반을 둔 반면, 본 연구에서 적용하고자 하는 다이아몬드지석 예각의 드레싱 시스템은 메탈본드 지석에 적합한 전해드레싱으로 적절한 전기화학적 가공원리에 기반을 두고 있다. Fig.7은 연속 전해 드레싱 시스템의 전극설계도로서 예각의

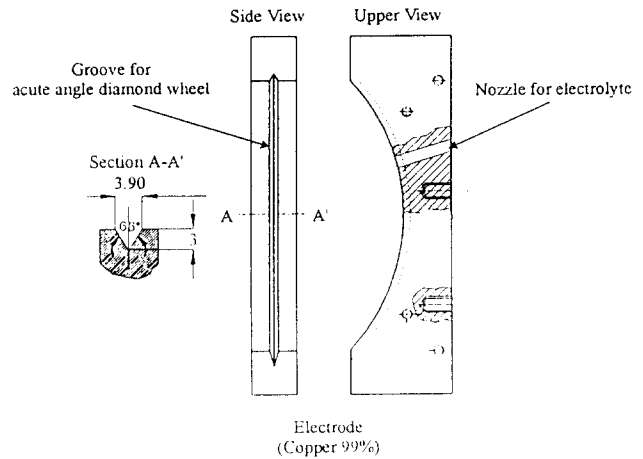


Fig.7 Electrode of In-process electrolytic dressing system for acute angle diamond wheel

다이아몬드 지석과 같은 형상의 홈(groove)과 연삭액은 공급할 수 있는 노즐 등이 있으며 세질은 전도성이 뛰어난 99%의 순도로 제작되었다. Fig.8은 본 연구에서 다이아몬드 예각지석에 적용한 연속 전해 드레싱 시스템의 사진이다. 여기서 전극은 예각 다이아몬드 지석의 예각 형상과 맞도록 제작되어 전극과 지석사이에 정밀한 간극을 유지할 수 있도록 하였으며 전해드레싱 전인 공급시 절연을 유지하기 위한 절연판, 전극을 3축 방향 모두 움직여 고정할 수 있는 지지대 등으로 구성되어 있다.

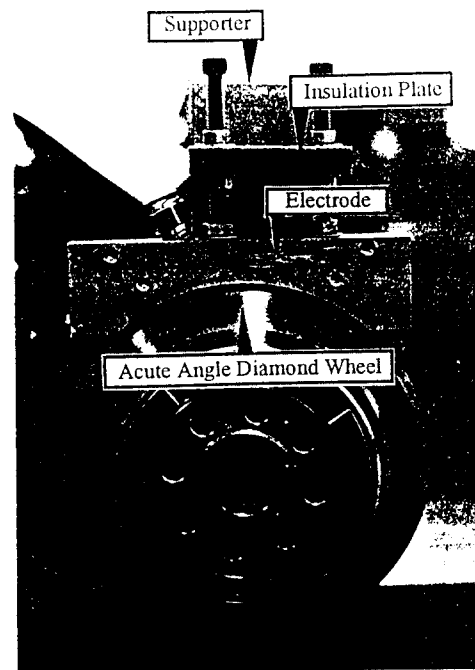


Fig.8 In-process electrolytic dressing system of acute angle diamond wheel

Fig.9는 다이아몬드 예각지석의 전해드레싱 원리를 나타낸 것이다. 전극(electrode)은 음극과 연결하고 지석은 양극과 연결하여 시스템으로부터 전기와 전해액을 공급하면 두 전극의 작은 틈사이에서 전해작용이 일어나게 되며 연삭지석의 메탈본드가 전해작용에 의해 철이온으로 이온화되어 용출되며 물의 전해작용에 의하여 절연물로 지석표면에 응착된다. 이렇게 메탈본드가 용출됨으로 마멸된 지석입자는 메탈본드의 지지력이 약해짐에 따라 방출되고 새로운 입자가 생성되어 연삭입자의 날 무디어짐 현상을 방지하게 되어 경면 연삭이 가능하게 된다. 즉 연속 전해드레싱은 전기분해작용에 의해서, 지석의 마멸된 연삭입자가 제거되고 새로운 입자가 재생되어 마멸되지 않은 연삭입자에 의해서 연삭이 가능하여 경면의 가공표면이 가능한 것이다.

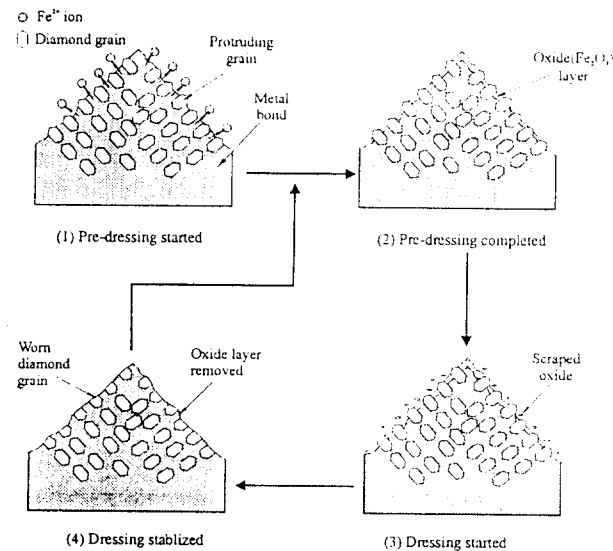


Fig.9 Schematic diagram of in-process electrolytic dressing mechanism for the acute angle diamond wheel

연삭 지석의 결합제는 금속결합제(주철본드)로 구성되어 있어서 전극의 작은 틈사이에서 전해작용이 일어나게 되어 연삭지석의 금속결합제가 Fe^{2+} 로 이온화 되어 용출된다. 이온화된 Fe는 산화물인 $Fe(OH)_2$ 또는 $Fe(OH)_3$ 로 되고, 물의 전해작용에 의해 절연물인 Fe_2O_3 산화물로 빈헤 스톤물 표면에 응착된다.



양극에서 Fe가 전해용출하고, 음극에서는 수소가스가 발생된다. 이 절연물로 인하여 전해용출이 정지하게 되어 일정한 입자만 돌출을 생성시키게 된다. 계속하여 연삭이 진행됨에 따라 다이아몬드 지석의 산화피막이 조금씩 제거되어 전기가 반복하여 통전하게 되면 전해용출이 회복된다. 마멸된 지석입자는 금속결합제의 지지력이 약해짐에 따라 방출되고 새로운 입자를 생성되어 연삭입자의 날 무디어

짐 현상을 방지하게 되어 공작물의 연속적인 연삭이 가능하게 된다.

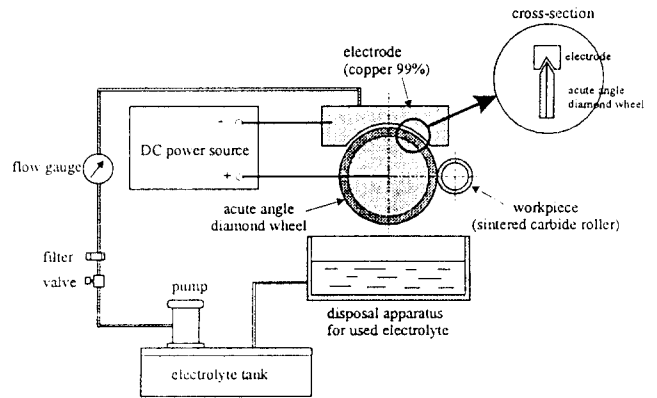


Fig.10 Schematic diagram of acute angle diamond wheel system for sintered carbide roller mold

Fig.10은 반사체 회전급형 초경로울러를 제작하기 위한 다이아몬드 예각지석 시스템 개략도이다. 다이아몬드 예각지석은 특수 제작된 연삭기(연삭 Attachment)에 부착되고 고속으로 3500rpm까지 회전된다. 그리고, 다이아몬드 예각 지석의 연속전해드레싱을 위한 전극과 전해액 순환시스템, 전해작용을 발생하기 위하여 전극에 (-), 연삭지석에 (+) 전원을 공급하는 전해드레싱 콘트롤러로 구성되어 있다.

4. 결론

본 연구에서는 반사체 제작을 위한 반사체 회전급형 초경로울러 개발을 위하여 반사체 형상을 해석하고 다이아몬드 예각지석 시스템을 설계하고 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 반사체의 반사도를 높이기 위한 반사체의 형상을 입사각과 재료의 굴절계수 관계를 이용하여 이론적으로 해석하여 반사도가 높은 입사각의 범위를 구하여 다이아몬드 예각지석에 적용하였다.
- (2) 반사체 회전급형 초경로울러 제작을 위하여 다이아몬드 예각지석을 설계하고 제작하였으며 또한 다이아몬드 예각지석 전해드레싱 시스템을 설계하고 제작하였다.
- (3) 향후 설계되고 제작된 다이아몬드 예각지석과 다이아몬드 예각지석 연속전해드레싱 시스템을 이용하여 반사체 회전급형 초경로울러를 제작하며, 제작된 반사체 회전급형 초경로울러의 실험 및 종합분석을 통하여 반사체 제작을 위한 최적 조건을 도출하고자 한다.

후 기

본 연구는 산학협동재단의 지원에 의하여 이루어진 연구의 일부분으로써 관계자에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1]P.Bengt, K.Bjorn and B.Mikael, "Intensity distribution in the collector plane from structured booster reflectors with rolling grooves and corrugations", Solar Energy, Vol.53, No.2, pp.215-226, 1994.
- [2]S.Paul, J.Gary, K.Cheryl and G.Rita, "Silvered-PMMA reflectors", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol.33, No.2, pp.183-197, 1994.
- [3]W.Roland and H.R.Ries, "Tailored edge-ray reflectors for illumination", Journal of the Optical Society of America A:Optics and Image Science, Vol.11, No.4, pp.1260-1264, 1994.
- [4]L.Rosengren, L.Smith and Y.Backlund, "Micromachined optical planes and reflectors in silicon", Sensors and Actuators A:Physical, Vol.41, No.1, pp.330-333, 1994.
- [5]V.P.Kallberg, "Reflector posts. Signs of Danger?", Transportation Research Record, No.1403, pp.57-66, 1993.
- [6]A.Nussbaum and R.A.Phillips, Contemporary Optics for Scientists and Engineers, Solid State Physical Electronics Series
- [7]Y.Namba, Y.Yamada, A.Tsuboi, K.Unno and H.Nakao, "Surface Structure of Mn-Zn Ferrite Single Crystals Ground by an Ultraprecision Surface Grinder with Various Diamond Wheels", Annals of the CIRP, Vol.41, pp.347-351, 1992.
- [8]Y.Ueno, S.Miyake, K.Kuroda and J.Watanabe, "Precision Grinding of Crystalline Materials with Resin Bonded Fine Grained Diamond Wheels", Annals of the CIRP, Vol.28, pp.219-224, 1979.
- [9]E.Saije, H.H.Damlos and H.Mohlen, "Internal Grinding of High Strength Ceramic Workpiece Materials with Diamond Grinding Wheel", Annals of the CIRP, Vol.34, pp.263-266, 1985.
- [10]H.Ohmori and T.Nakagawa, "Electrolytic In-process Dressing for Mirror Surface Grinding", 2nd ELID Grinding Seminar, Vol.2, pp.12-26, 1992