

광학렌즈의 무반사코팅(Ⅱ)

이상길 과장
V.TEK 기술개발부

3. 최적화 방법

(1) Merit Function

merit function은 최적화하고자 하는 박막계의 error의 크기를 표현하는 스칼라함수로써 일반적으로 ϕ 로 표시한다. 최적화는 merit function을 최소화하는 것이며, 박막계의 설계 조적에 따라 적당한 merit function을 선택함으로써 계산시간을 줄일 수 있다. merit function은 박막계의 목표값과 설계값의 차이의 제곱의 합으로 표현되며, 박막계의 error f_i 는

$$f_i = w_i(e_i - t_i) \dots\dots\dots(3-1)$$

로써 w_i 는 가중치, e_i 는 설계값이고 t_i 는 목표값으로써 박막계의 목적에 따라 결정된다. 따라서 merit function을 박막계 f_i 의 제곱의 합으로 정의하여

$$\phi = \sum_{i=1}^m f_i^2 = F^T F \dots\dots\dots(3-2)$$

로 표시한다.

(2) Least Squares Method와 Damped Least Squares Method

Least Squares Method는 박막계의 f_i 를 Talyor 급수로 전개하여 선형화시키면

$$f_i = f_i|_{x=x_0} + \sum_j \frac{2f_i}{2x_j} \Delta x_j|_{x=x_0} + \dots\dots\dots$$

$F = F_0 + A \Delta x \dots\dots\dots(3-3)$
으로 표현할 수 있다. merit function은 f_i 의 제곱의 합이므로

$$\begin{aligned} \phi &= \sum_i f_i^2 = F^T F \\ &= F_0^T F_0 + 2A^T F_0 \Delta x + \Delta x^T A^T A \Delta x \quad (3-4) \end{aligned}$$

이 된다. 위식에서 ϕ 가 최소로 되는 조건은 $\dot{\phi} = 0$ 이므로

$$\dot{\phi} = 2A^T F_0 + 2A^T A \Delta x = 0$$

$$A^T F_0 + A^T A \Delta x = 0 \dots\dots\dots(3-5)$$

로 주어지며, normal equation이라 한다. (3-5)식에서 변수의 변화량 ΔX 는

$$\Delta x = -[A^T A]^{-1} A^T F_0$$

로 주어진다. Least squares method는 수렴 속도가 빠르나 merit function의 진동이 심한 단점이 있다. 이 문제점을 해결하기 위

하여 Levenburg가 제안한 damped least squares method를 널리 사용하게 되었다. Damped least squares method에서는 least squares method의 normal equation에서 inverse factor $A^T A$ 에 적당한 damping항인 $P^2 Q$ 를 더하여 줌으로써 A 가 0에 수렴하더라도 Δx 가 발산하지 않도록 제한하고 있다. Damping항인 $P^2 Q$ 에서는 P 가 damping factor로써 damping의 크기를 결정하는 변수로 사용되며 Q 는 대각행렬로써 각각의 변수에 damping의 크기를 scaling하는 역할을 하고 있다.

Damped least squares method에서 일반화 된 merit function ψ 는

$$\psi = \phi + \Delta x^T P^2 Q \Delta x = F^T F + \Delta x^T P^2 Q \Delta x \dots \dots \dots (3-6)$$

으로 정의한다. ψ 가 최소로 될 조건은 $\dot{\psi} = 0$ 이므로

$$\dot{\psi} = \dot{\phi} + 2P^2 Q \Delta x = 2A^T F_0 + 2A^T A \Delta x + 2P^2 Q \Delta x = 0$$

이고, normal equation은

$$A^T F_0 + (A^T A + P^2 Q) \Delta x = 0 \dots \dots (3-7)$$

이 된다. Damped least squares method에서는 damping의 방법에 따라 additive damping과 Multiplicative damping으로 나눌 수 있다. Additive damping은 모든 변수에 동일한 크기의 damping을 주는 방법으로 Q 의 대각요소에 $q_{ii} = 1$ 로 주는 반면에 multiplicative damping은 각 변수의 변화가 meritfunction의 변화에 주는 영향을 감소시키기 위하여 서로 다른 크기의 damping을 준다. Multiplicative damping에서 scaling matrices Q 의 대각요소는

$$q_{ii} = \sum_i \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_i} \right) \dots \dots \dots (3-8)$$

로 주어진다.

4. 무반사 코팅의 설계

무반사 코팅의 조건을 구하기 위하여 (2-33)식을 아래와 같이 표현하면

$$\begin{pmatrix} E_0^+ \\ E_0^- \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1/U_0 \\ 1 & 1/U_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} E_{m+1}^+ \dots \dots (4-1)$$

(2-24)식에 의하여

$$r = \frac{B - C/U_0}{B + C/U_0} = \frac{U_0 - Y}{U_0 + Y} \dots \dots \dots (4-2)$$

(단 $Y = C/B$ 이다)

을 얻는다. 광선이 수직입사할 경우 S-편광과 P편광의 admittance는 동일하게 되어 $n_j = U_j$ 가 되고, (4-2)식에서 무반사 조건은 $U_0 = Y$ 가 되며, $U_{m+1} = n_{m+1} = n_s$ 가 된다.

(1) 단층 무반사 코팅

단층 무반사 코팅은 이론적이나 실험적으로 가장 단순하며, 또한 널리 사용된다. 광선이 코팅물질에 수직입사하게 되면 (4-1), (4-2)식에 의하여

$$\begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos g_1 & i \sin g_1 / n_1 \\ i n_1 \sin g_1 & \cos g_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ n_s \end{pmatrix}$$

$$Y = \frac{n_2 \cos g_1 + i n_1 \sin g_1}{\cos g_1 + i n_2 \sin g_1 / n_1}$$

$$Y = \frac{n_0 (\cos g_1 + i n_2 \sin g_1 / n_1) - (n_2 \cos g_1 + i n_1 \sin g_1)}{(n_2 \cos g_1 + i n_1 \sin g_1)}$$

이 된다. 여기서 $g_1 = 2\pi n_1 d_1 / \lambda$ 이므로, 박막두께를 $n_1 d_1 = \lambda_0 / 4$ 로 하면 $g_1 = \pi/2$ 가 되고, $n_1 d_1 = \lambda_0 / 2$ 로 하면 $g_1 = \pi$ 가 된다. 매질을 공기라 하면 n_0 의 굴절률은 1이 된다.

① $n_1 d_1 = \lambda / 4$ 일 경우

$$r = \frac{n_s - n_1^2}{n_s + n_1^2}, \quad R = \left(\frac{n_s - n_1^2}{n_s + n_1^2} \right)^2$$

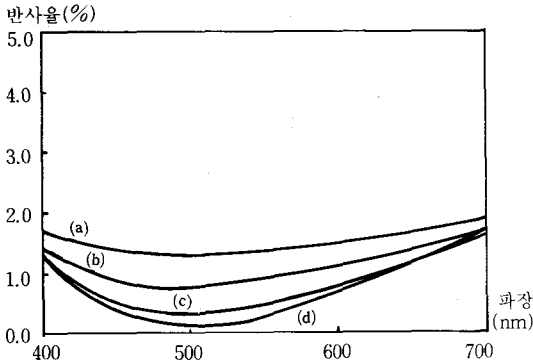


그림.9. 굴절률 n_s 인 평판에 박막의 두께가 $n_1 h_1 = \lambda_0 / 4$ 이고, $n_1 = 1.38$ 인 단층 무반사 코팅의 파장에 따른 단면 반사율 ((a) $n_s = 1.52$, (b) $n_s = 1.60$, (c) $n_s = 1.70$, (d) $n_s = 1.80$).

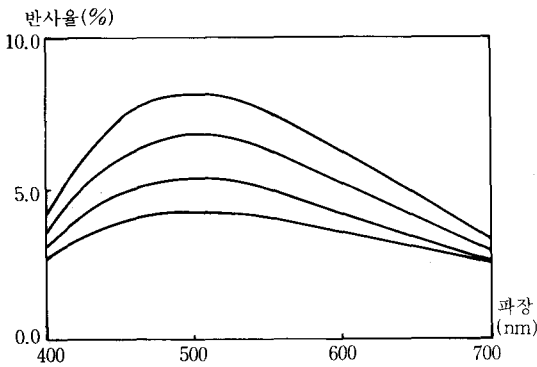


그림.10. 굴절률 n_s 인 평판에 박막의 두께가 $n_1 h_1 = \lambda_0 / 2$ 이고, $n_1 = 1.38$ 인 단층 무반사 코팅의 파장에 따른 단면 반사율 ((a) $n_s = 1.52$, (b) $n_s = 1.60$, (c) $n_s = 1.70$, (d) $n_s = 1.80$).

이 된다. 여기서 반사율 0의 조건은

$$n_s = n_1^2$$

이 된다. n_1 의 굴절률이 1.52일때 n_2 는 1.233이 되지만, 실제 굴절률이 1.233인 코팅 물질이 존재하지 않으므로 굴절률 1.38인 MgF_2 를 사용하게 되며 이때 반사율은 1.26%이다. 그림 9는 기판의 굴절률에 따른 반사율을 표시한 것이다.

② $n_1 d_1 = \lambda / 2$ 일 경우

$$r = \frac{n_s - 1}{n_s + 1}, \quad R = \left(\frac{n_s - 1}{n_s + 1} \right)^2$$

이 된다. 이것은 코팅을 하지 않은 경우와 동일하며 그림 10에 기판의 굴절률에 따른 반사율을 표시하였다.

(2) 이층 무반사 코팅

단층 무반사 코팅이 제작도 용이하고, 널리 사용되고 있으나, 크라운 유리의 경우 가장 낮은 반사율이 1.33%정도가 됨으로 줌렌즈와 같이 렌즈장수가 많은 광학계에서는 투과율이 좋지 않게 된다. 또한 폭이 좁은 레이저용 무반사 코팅과 같이 반사율 0%의 무반사 코팅에는 이층을 사용하게 된다. 그리고 굴절률 1.7이 넘는 광학유리의 경우 단층무반사 보다 넓은 파장영역의 무반사코팅을 해야 할 경우 이층이상의 다층무반사코팅을 하여야 한다. 이층 무반사 코팅에는 일층의 박막두께가 $\lambda_0 / 4$ 이고 이층의 박막두께가 $\lambda_0 / 4$ 인 경우와 일층의 박막두께는 $\lambda_0 / 4$ 이고 이층의 박막두께는 $\lambda_0 / 2$ 인 두가지 경우가 있다.

① $n_1 d_1 = \lambda_0 / 4, n_2 d_2 = \lambda_0 / 4$ 인 경우
 $g_1 = \pi / 2, g_2 = \pi / 2$ 가 됨으로

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \cos g_1 & i \sin g_1 / n_1 \\ i n_1 \sin g_1 & \cos g_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos g_2 & i \sin g_2 / n_2 \\ i n_2 \sin g_2 & \cos g_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ n_s \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0 & i / n_1 \\ i n_1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & i / n_2 \\ i n_2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ n_s \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} -n_2 / n_1 \\ -n_1 n_s n_2 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$Y = \frac{n_1^2 n_s}{n_2^2}, \quad r = \frac{n_2^2 - n_1^2 n_s}{n_2^2 + n_1^2 n_s}, \quad R = \left(\frac{n_2^2 - n_1^2 n_s}{n_2^2 + n_1^2 n_s} \right)^2$$

이 된다. 여기서 반사율 0의 조건은

$$n_2^2 = n_1^2 n_s$$

가 된다. 예를 들면 유리의 굴절률 $n_3 = 1.52$ 라 하고 첫번째 층의 굴절률 $n_1 = 1.38$ 이라 하면 두번째의 층의 굴절률은 1.7014가 된다. 그림 11에 파장에 따른 반사율을 표시하였다.

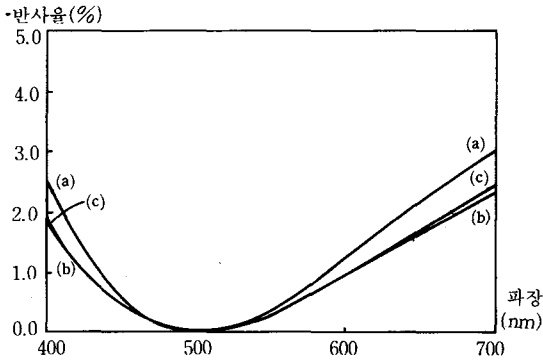


그림.11. 굴절률 n_s 인 평판에 박막의 두께가 $n_1 h_1 = \lambda_0/4$, $n_2 h_2 = \lambda_0/4$ 인 이중 무반사 코팅의 파장에 따른 단면 반사율 ((a) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 1.70$, $n_s = 1.52$, (b) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 1.70$, $n_s = 1.60$, (c) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 1.8$, $n_s = 1.70$)

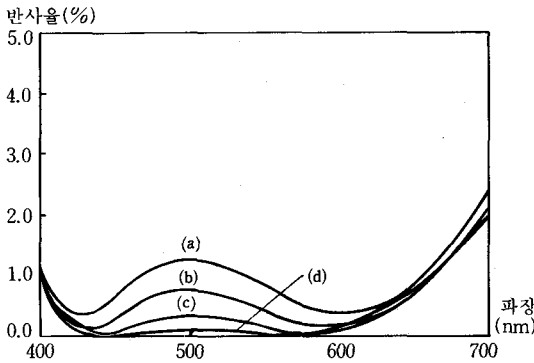


그림.12. 굴절률 n_s 인 평판에 박막의 두께가 $n_1 h_1 = \lambda_0/4$, $n_2 h_2 = \lambda_0/2$ 인 이중 무반사 코팅의 파장에 따른 단면 반사율 ((a) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 2.1$, $n_s = 1.52$, (b) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 2.1$, $n_s = 1.60$, (c) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 2.1$, $n_s = 1.70$, (d) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 2.1$, $n_s = 1.80$)

② $n_1 d_1 = \lambda_0/4$, $n_2 d_2 = \lambda_0/4$ 인 경우
 $g_1 = \pi/2$, $g_2 = \pi/4$ 가 되므로

$$\begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & i/n_1 \\ i n_1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ n_s \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} -i n_s/n_1 \\ -i n_1 \end{pmatrix}$$

$$Y = \frac{n_1^2}{n_s}, \quad r = \frac{n_s - n_1^2}{n_s + n_1^2}, \quad R = \left(\frac{n_s - n_1^2}{n_s + n_1^2} \right)^2$$

이 된다. 이것은 단층무반사코팅과 동일한 무반사 조건식을 갖지만, 두번째층의 굴절률 변화에 따라 넓은 영역의 무반사 코팅 결과를 얻을 수 있다. 그림 12에 $n_s = 1.7$ 인 경우 파장의 변화에 따라 반사율을 표시하였다.

(3) 삼층 무반사 코팅

이층코팅에서도 낮은 반사율이 넓은 파장 영역을 얻을 수 있지만 보다 더 낮고 균일한 반사율을 갖는 넓은 파장 영역을 얻기 위하여 삼층 무반사 코팅을 하게 된다. 삼층 코팅의 수학적 해석은 매우 복잡하다. 이를 간단히 하기 위하여 광선이 수직입사하고, 각층의 막 두께를 $\lambda_0/4$ 의 배수로 제한한다. 이 경우에 일반적으로 사용되는 삼층 코팅은 두가지가 있다. 박막의 두께는 $\lambda_0/4 - \lambda_0/4 - \lambda_0/4$ 와 $\lambda_0/4 - \lambda_0/2 - \lambda_0/4$ 인 경우이다.

① $\lambda_0/4 - \lambda_0/4 - \lambda_0/4$ 인 삼층 무반사 코팅

$$\begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos g_1 & i \sin g_1 / n_1 \\ i n_1 \sin g_1 & \cos g_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos g_2 & i \sin g_2 / n_2 \\ i n_2 \sin g_2 & \cos g_2 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \cos g_3 & i \sin g_3 / n_3 \\ i n_3 \sin g_3 & \cos g_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ n \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} -i n_2 n_s / n_1 n_3 \\ -i n_1 n_3 / n_2 \end{pmatrix}$$

$$Y = \frac{n_1^2 n_3^2}{n_2^2 n_s}, \quad r = \frac{n_2^2 n_s - n_1^2 n_3^2}{n_2^2 n_s + n_1^2 n_3^2} \\ , \quad R = \left(\frac{n_2^2 n_s - n_1^2 n_3^2}{n_2^2 n_s + n_1^2 n_3^2} \right)^2$$

위 식에서 무반사 조건식은

$$n_2^2 n_s = n_1^2 n_3^2$$

이 된다. 그림 13에서 표시한 것과 같이 기관 굴절률 $n_4 = 1.52$ 이고, 첫번째층의 굴절률 $n_1 = 1.38$, 세번째층의 굴절률 $n_3 = 1.63$ 이라 하면 무반사 조건식에서 두번째층의 굴절률 n_2 는 1.825가 된다. 실제 굴절률이 1.825가 되는 유전체 물질은 없으므로 n_2 는 1.8을 사용하도록

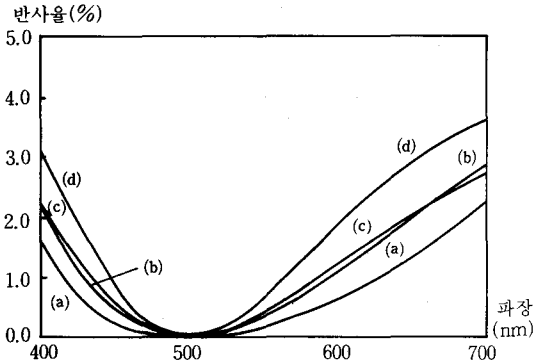


그림.13. 굴절률 n_s 인 평판에 박막의 두께가 $n_1h_1 = \lambda_0/4$, $n_2h_2 = \lambda_0/4$, $n_3h_3 = \lambda_0/4$ 인 삼층 무반사 코팅의 파장에 따른 단면 반사율 ((a) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 1.80$, $n_3 = 1.63$, $n_s = 1.52$, (b) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 1.80$, $n_3 = 1.63$, $n_s = 1.52$, (c) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 1.70$, $n_3 = 1.63$, $n_s = 1.70$, (d) $n_1 = 1.38$, $n_2 = 1.70$, $n_3 = 1.63$, $n_s = 1.80$)

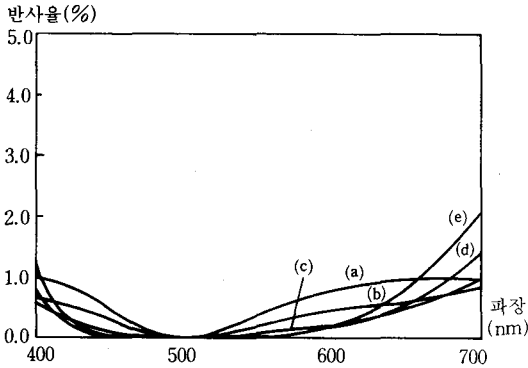


그림.14. 굴절률 $n_s = 1.52$ 인 평판에 박막의 두께가 $n_1h_1 = \lambda_0/4$, $n_2h_2 = \lambda_0/2$, $n_3h_3 = \lambda_0/4$ 이고, $n_1 = 1.38$, $n_3 = 1.70$ 인 삼층 무반사 코팅의 파장과 n_2 의 변화에 따른 단면 반사율 ((a) $n_2 = 1.9$, (b) $n_2 = 2.0$, (c) $n_2 = 2.1$, (d) $n_2 = 2.2$, (e) $n_2 = 2.3$)

한다. 이때 반사율 R 은 0.02%가 된다. 설계 중심파장인 500nm에서는 반사율이 거의 0에 가까우나, 무반사 파장 영역이 좁고 주변의 반사율이 높으므로 실용상가치가 없는 것이다.

② $\lambda_0/4 - \lambda_0/2 - \lambda_0/4$ 인 삼층 무반사 코팅

$$\begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -n_3/n_1 \\ -n_1n_s/n_3 \end{pmatrix}, Y = \frac{n_1^2n_s}{n_3^2}$$

$$r = \frac{n_3^2 - n_1^2n_s}{n_3^2 + n_1^2n_s}, R = \left(\frac{n_3^2 - n_1^2n_s}{n_3^2 + n_1^2n_s} \right)^2$$

위식에서 무반사 조건식은 아래와 같다.

$$n_3^2 = n_1^2n_s$$

그림 14에는 기관 굴절률 $n_4 = 1.52$, 첫번째 층의 굴절률 $n_1 = 1.38$ 이라 하면 위의 무반사 조건식에서 세번째층의 굴절률 n_3 가 1.701이 된다. 실제 굴절률이 1.7인 유전체 물질이 있으므로 실용상 문제가 없으므로 이제 두번째층의 굴절률 n_2 를 1.8~2.3까지 변화될 때 반사율을 나타낸 것이다. 하지만 그림 15에 나타난것과 같이 세번째층의 굴절률 n_3 를 1.63으로 하고, 두번째층의 굴절률 n_2 를 1.8~2.3으로 변화시킬때 반사율의 그래프는 그림 13과 큰 차이를 보이지 않고, 일반적으로 무반사 코팅을 할때 $n_1 = 1.38$, $n_2 = 2.1$, $n_3 = 1.63$ 을 가장 많이 사용한다.

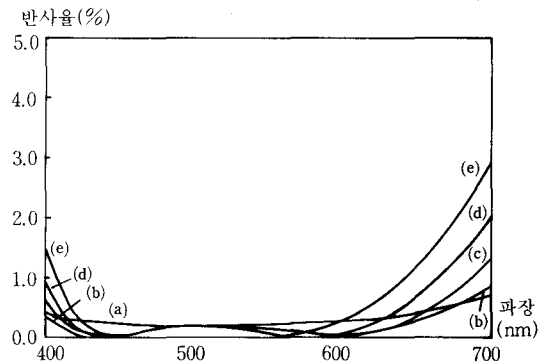


그림.15. 굴절률 $n_s = 1.52$ 인 평판에 박막의 두께가 $n_1h_1 = \lambda_0/4$, $n_2h_2 = \lambda_0/2$, $n_3h_3 = \lambda_0/4$ 이고, $n_1 = 1.38$, $n_3 = 1.63$ 인 삼층 무반사 코팅의 파장과 n_2 의 변화에 따른 단면 반사율 ((a) $n_2 = 1.9$, (b) $n_2 = 2.0$, (c) $n_2 = 2.1$, (d) $n_2 = 2.2$, (e) $n_2 = 2.3$)

(4) 사층 무반사 코팅

사층 무반사 코팅은 $\lambda_0/4 - \lambda_0/2 - \lambda_0/4 - \lambda_0/4$, $\lambda_0/4 - \lambda_0/4 - \lambda_0/2 - \lambda_0/4$ 등과 같이

여러 가지의 반사율이 0인 경우가 있으나, 이 가운데 일반적으로 많이 사용되는 $\lambda_0/4 - \lambda_0/2 - \lambda_0/4 - \lambda_0/4$ 인 코팅만 고려하도록 한다. 여기서 설계 중심 파장 λ_0 에서 두번째층의 박막두께인 $\lambda_0/2$ 의 굴절률은 반사율에 영향을 받지 않는다. 이것은 $\lambda_0/4 - \lambda_0/4 - \lambda_0/4$ 의 박막두께를 갖는 삼층 무반사 코팅의 0반사율 조건과 유사하다. 0반사율을 갖는 조건식은 아래와 같다.

$$\begin{pmatrix} B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos g_1 \sin g_1 / n_1 \\ \sin g_1 \cos g_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos g_2 \sin g_2 / n_2 \\ \sin g_2 \cos g_2 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \cos g_3 \sin g_3 / n_3 \\ \sin g_3 \cos g_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos g_4 \sin g_4 / n_4 \\ \sin g_4 \cos g_4 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 1 \\ n_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin n_s / n_1 n_4 \\ \sin n_4 / n_3 \end{pmatrix} \\ Y = \frac{n_1^2 n_4^2}{n_3^2 n_s}, r = \frac{n_3^2 n_s - n_1^2 n_4^2}{n_3^2 n_s + n_1^2 n_4^2} \\ R = \left(\frac{n_3^2 n_s - n_1^2 n_4^2}{n_3^2 n_s + n_1^2 n_4^2} \right)^2$$

$$n_3^2 n_s = n_1^2 n_4^2$$

위 조건식에서 기관의 굴절률 n_5 가 1.7일때

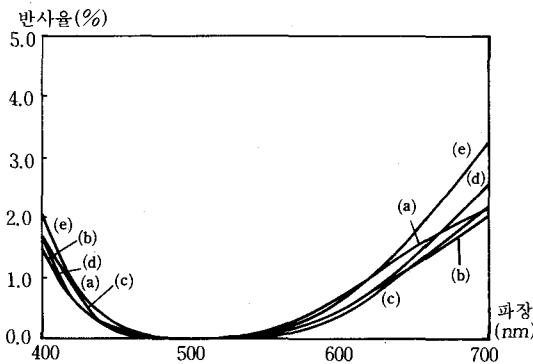


그림.16. 굴절률 $n_s = 1.52$ 인 평판에 박막의 두께가 $n_1 h_1 = \lambda_0/4$, $n_2 h_2 = \lambda_0/2$, $n_3 h_3 = \lambda_0/4$, $n_4 h_4 = \lambda_0/40$ 이고, $n_1 = 1.38$, $n_3 = 1.80$, $n_4 = 1.63$ 인 삼층 무반사 코팅의 파장과 n_2 의 변화에 따른 단면 반사율 ((a) $n_2 = 1.9$, (b) $n_2 = 2.0$, (c) $n_3 = 2.1$, (d) $n_4 = 2.3$, (e) $n_s = 2.3$)

첫번째층의 굴절률 $n_1 = 1.38$, 네번째층의 굴절률 $n_4 = 1.63$ 이면, 세번째층의 굴절률 $n_3 = 1.725$ 가 된다. 실제 n_3 는 1.7인 유전체 물질로 하면, 설계 중심 파장의 반사율은 0.022%이므로 거의 0반사율에 가깝다. 그림 16은 두번째층의 굴절률 n_2 가 1.8~2.3까지 변화될때의 반사율을 나타낸 그래프이다.

(5) 최적화에 의한 오층 무반사 코팅

유전체 물질의 굴절률은 연속적이 아니므로, $\lambda_0/4$ 박막 두께의 배수로 한 무반사 코팅의 설계는 제한을 받는다. 그리고 유전체 물질의 가격은 매우 비싼것도 있고, 짙은 물질도 있으므로, 박막의 강도나 내구성, 유전체 물질의 가격을 고려하여 박막을 설계하여야 한다. 그림 17은 기관의 굴절률이 1.6~1.7인 경우에 적당한 오층 무반사 코팅의 박막두께를 최적화하였을 때 반사율을 나타낸 것이며, 각 층의 굴절률은 $n_1 = 1.38$ 인 MgF_2 와 $n_2 = n_4 = 2.1$ 인 ZrO_2 와 $n_3 = n_5 = 1.63$ 인 Al_2O_3 를 사용하였다. 그림 18은 기관의 굴절률이 1.7~1.8인 경우에 적당한 오층 무반사 코팅의 설계예를 나타낸 것이다. 그림 19는 기관의 굴절률이 1.8~1.9인 경우에 적당한 오층 무반사 코팅의 설계예를 나타낸 것이다. 그림 17~그림 19에 나타난 것과 같이 최적화를 하게 되면 3가지의 유전체 물질로써, 광학기판을 중굴절률에서 고굴절률까지 무반사 코팅할 수 있고 카메라 렌즈의 고급기종에 이 코팅이 적용될 수 있음을 알 수 있다.

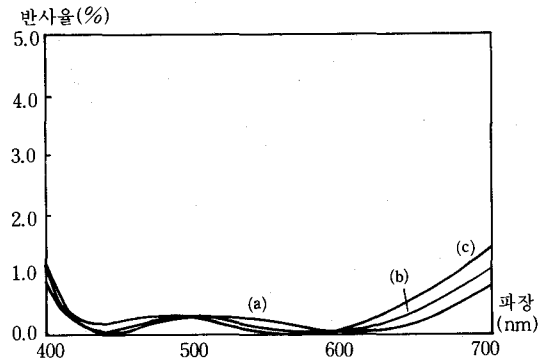


그림.17. 굴절률 $n_s = 1.65$ 인 평판에 $n_1 = 1.38$, $n_2 = n_4 = 1$, $n_3 = n_5 = 1.63$ 인 오층 무반사 코팅의 박막의 두께를 $n_1h_1 = 0.268\lambda_0$, $n_2h_2 = 0.114\lambda_0$, $n_3h_3 = 0.141\lambda_0$, $n_4h_4 = 0.084\lambda_0$, $n_5h_5 = 0.152\lambda_0$ 로 최적화한 오층 무반사 코팅의 파장과 n_s 의 변화에 따른 단면 반사율 ((a) $n_s = 1.60$, (b) 1.65, (c) 1.70)

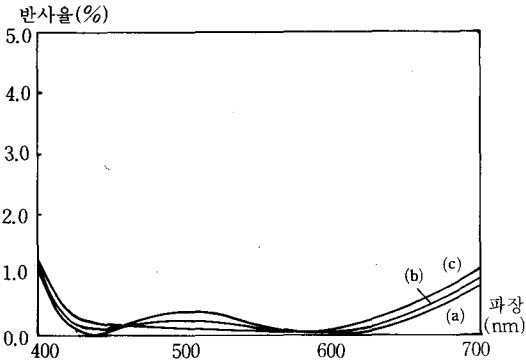


그림.18. 굴절률 $n_s = 1.75$ 인 평판에 $n_1 = 1.38$, $n_2 = n_4 = 1$, $n_3 = n_5 = 1.63$ 인 오층 무반사 코팅의 박막의 두께를 $n_1h_1 = 0.266\lambda_0$, $n_2h_2 = 0.128\lambda_0$, $n_3h_3 = 0.112\lambda_0$,

$n_4h_4 = 0.121\lambda_0$, $n_5h_5 = 0.056\lambda_0$ 인 오층 무반사 코팅의 파장과 n_s 의 변화에 따른 단면 반사율 ((a) $n_s = 1.70$, (b) $n_s = 1.75$, (c) $n_s = 1.80$)

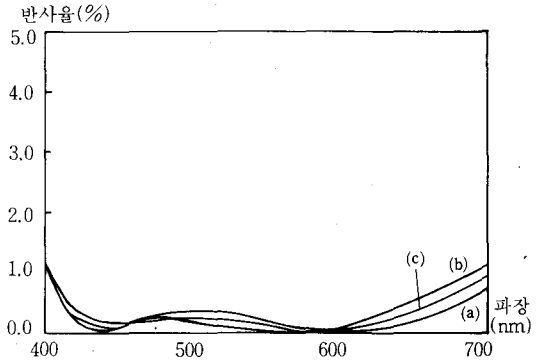


그림.19. 굴절률 $n_s = 1.85$ 인 평판에 $n_1 = 1.38$, $n_2 = n_4 = 1$, $n_3 = n_5 = 1.63$ 인 오층 무반사 코팅의 박막의 두께를 $n_1h_1 = 0.266\lambda_0$, $n_2h_2 = 0.134\lambda_0$, $n_3h_3 = 0.099\lambda_0$, $n_4h_4 = 0.151\lambda_0$, $n_5h_5 = 0.056\lambda_0$ 인 오층 무반사 코팅의 파장과 n_s 의 변화에 따른 단면 반사율 ((a) $n_s = 1.80$, (b) $n_s = 1.85$, (c) $n_s = 1.90$)

準租稅

준조세란 기업활동 과정에서 부담해야 하는 순수한 생산비용과 조세를 제외시킨 비필수적인 기업의 경제적 부담으로서의 공과금이라 할 수 있다. 즉 기업으로부터 징수되는 조세 이외의 이러한 공과금을 조세와 같이 개별적 보상관계 없이 국가 기타 권력기관이 강제력에 의해 징수한다는 점에서 준조세라 불리는 것이다.

준조세는 강제성이 강한 부담인 「협의의 공과금」과 공익성이 강한 「기부금성 공과금」으로 구

분할 수 있다. 「협의의 공과금」은 동업자 조합비·협회비·적십자회비·오물수거료·방범비·각종 수익자 부담금·수수료·저축장려금·의료보험 분담금·수출진흥분담금·직업훈련 분담금·산재보험료 등이 있다. 한편 「기부금성 공과금」에는 이 재민 구호성금·불우이웃돕기·기부금·자선성금·체육성금·학술 및 예술 장학 기부금·국방헌금·국토관계 기부금·예비군 및 민방위 부담금 등이 있다.

한국경제연구원의 조사에 의하면 이러한 준조세가 지난 5년간(85~89년) 매출액대비 평균 0.73%에 이르고 산업별로는 제조업이 0.75%, 건설업 1.07%, 도소매업·운수업 0.84%, 금융부동산업 0.61%로 나타났으며 대기업보다 중소기업이 다소 높은 것으로 나타났다. 금액으로는 89년에 대기업 20억원, 중소기업 1억8천만원으로 업체당 14억원 정도를 부담하고 있는 것으로 조사됐다.