

## 조명용 광소자의 광 투과율 향상을 위한 패턴 형상 연구

(A Study on Pattern Shape to Improve the Light Transmittance of Optical Device)

주원돈\*

(Won-Don Joo)

### Abstract

The light transmittance of optical device is one of the important conditions to improve the product performance and it has researched through the various methods. One of these methods to improve the optical transmittance is to use a pattern on optical surface. The advantages of this method are to simplify the manufacturing process and to easy mass production. If a surface of glass has with the proper patterns, we can expect a great effect on optical transmittance. The purpose of this research is to derive a pattern to get high transmittance from a theoretical approach and to analyze the transmittance through the simulation. And then, we made a sample with a pattern and compared with the results from simulation and experiment.

Key Words : Transmittance, Reflectance, Stripe Pattern, Fresnel'S Law

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

광소자의 광 투과율은 LED lamp, Solar cell, 디지털 카메라 등 다양한 분야에서 제품 자체의 성능을 향상시키기 위해 공통적으로 요구되는 조건 중의 하나로 여겨지고 있다. 그 중 필수적으로 사용되고 있는 광소재인 glass의 광 투과율 향상은 매우 중요하다. 이러한 이유로 glass 표면 반사로 인하여 발생하는 광 손

실을 최소화하고 에너지 전달을 최대로 하기 위해 표면 AR 코팅, 광 촉매 코팅, 신 광 소재 개발 등이 이용되고 있다[1].

그러나 사용 목적이 결상이 아닌 조명용이고 기판 크기가 큰 경우에 코팅 등의 방법은 제조공정이 복잡하고 대량생산에 많은 비용이 들어간다[2].

광 투과율을 높일 수 있는 효과적인 방법 중 하나는 glass 표면에 패턴을 이용하는 것이다[3]. 실제 다양한 분야에서, 패턴을 이용하여 투과율을 향상시키고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

또한 최근 LED lamp, 태양 전지 등 Chip에 대한 효율 향상에 대한 연구가 활발해진 만큼 각 제품 최상층에 부착되는 Cover glass의 높은 광 투과율에 대한 문제가 대두되고 있다[4]. 이러한 문제의 해결 방법으로써 광소자에 부착되는 glass 표면에 패턴을 이용하여

\* 주저자 : 삼성전자 수석연구원  
Tel : 031-200-2215, Fax : 031-8041-1914  
E-mail : wdoptic@naver.com  
접수일자 : 2012년 3월 24일  
1차심사 : 2012년 4월 7일, 2차심사 : 2012년 5월 8일  
심사완료 : 2012년 5월 10일

외부로부터 입사하는 광의 손실을 최소화하고자 하는 연구가 증가하고 있다.

따라서 본 논문에서는 이론적인 분석을 통하여 glass 내부에서 일어나는 전반사를 이용하고 표면에서 손실되는 빛을 최소화하여 광 투과율을 향상 시킬 수 있는 패턴형상을 도출하고자 한다. 또한 시뮬레이션과 샘플 평가를 통하여 glass 표면의 패턴이 광 투과율 향상에 기여하는 정도에 대하여 연구하고자 한다.

## 2. 이론적 접근을 통한 패턴 도출

### 2.1 이론적 접근

빛이 glass에 입사될 경우, 입사광의 일부는 표면에서 반사되고 나머지는 투과되며 이때 반사율은 s편광, p편광에 대해서 식 (1)과 같이 프레넬 반사공식 (Fresnel's Law)을 따른다[4].

$$r_s = \frac{\cos\alpha - \sqrt{n^2 - (\sin\alpha)^2}}{\cos\alpha + \sqrt{n^2 - (\sin\alpha)^2}}$$

$$r_p = \frac{(-n^2)\cos\alpha + \sqrt{n^2 - (\sin\alpha)^2}}{(n^2)\cos\alpha + \sqrt{n^2 - (\sin\alpha)^2}}$$

$$R_s = r_s^2, R_p = r_p^2, R = \frac{(R_s + R_p)}{2} \quad (1)$$

각 편광에 대해서  $\alpha$ 는 광의 입사각을 말하며  $n$ 은 입사매질과 굴절매질에 대한 상대굴절률을 의미한다. 실제 식 (1)로부터 일반 glass에 수직 입사하는 광에 대해 상부와 하부 면에서 각각 4%의 반사가 발생하여 약 8%의 빛이 손실됨을 알 수 있다. 이러한 손실은 glass 표면의 어떤 패턴을 통해 최소화할 수 있으며 그 원리로서는 glass 한 면에서의 이중 프레넬 반사나 매질 내에서의 전반사원리를 이용하였다[5].

### 2.2 상부 패턴 도출

현재 상부 패턴에 대한 다양한 형상이 특허를 통해

제시되어 있다[6-8]. 하지만 glass 상부의 경우 외부에 노출이 되어 있는 부분이기 때문에 먼지, 빗물 등 외부적인 요인에 영향을 받기 쉽다. 따라서 본 논문에서는 이러한 영향을 최소화할 수 있고 제작이 용이한 줄무늬(Stripe)형상에 대한 패턴을 제시하고자 한다.

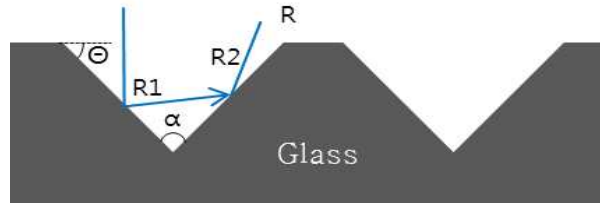


그림 1. 상부 패턴 모식도  
Fig. 1. Front pattern layout

사다리꼴 줄무늬 패턴의 경우 그림 1과 같이 패턴에 입사된 빛은 두 번의 반사 R1, R2가 발생한다. 물질의 굴절률을  $n$ 이라 하였을 때, R1과 R2는 프레넬 반사공식에 의하여 식 (2)와 식 (3) 같이 각각 표현할 수 있으며, 두 값의 곱 R이 최종으로 반사되는 반사율 값이 된다. Glass에서 광의 흡수율을 무시하는 경우, 전체 입사광에서 반사율을 제외한 값이 투과율이 되므로 전체 반사율 R이 최소일 때, 패턴 glass를 투과하는 빛의 양은 최대가 될 것이다.

$$R1 = \frac{(-1 + n^2)^2(1 + 2n^2 + 2(-1 + n^2)\cos 2\theta + \cos 4\theta)}{4(\cos\theta + \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)})^2(n^2\cos\theta + \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)})^2} \quad (2)$$

$$R2 = \frac{(-n^2 + n^2)^2(1 + 2n^2 + 2(-1 + n^2)\cos 6\theta + \cos 12\theta)}{4(\cos 3\theta - \sqrt{n^2 - \sin^2(3\theta)})^2(-n^2\cos 3\theta + \sqrt{n^2 - \sin^2(3\theta)})^2} \quad (3)$$

R1, R2를 곱하면 식 (4)와 같은 최종 반사율 R을 구할 수 있고 이를 패턴의 기울기  $\theta$ 에 대한 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{((-1 + n^2)^4(1 + 2n^2 + 2(-1 + n^2)\cos 2\theta + \cos 4\theta)}{(1 + 2n^2 + 2(-1 + n^2)\cos 6\theta + \cos 12\theta)} \quad (4)$$

$$\frac{(16(\cos\theta + \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)})^2(n^2\cos\theta + \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)})^2)}{(\cos 3\theta - \sqrt{n^2 - \sin^2(3\theta)})^2(-n^2\cos 3\theta + \sqrt{n^2 - \sin^2(3\theta)})^2}$$

식 (4)를 이용해 굴절률 1.5를 가진 glass에 대하여 R을  $\theta$ 에 대한 그래프로 도식화하면 그림 2와 같은 결과를 얻을 수 있다.

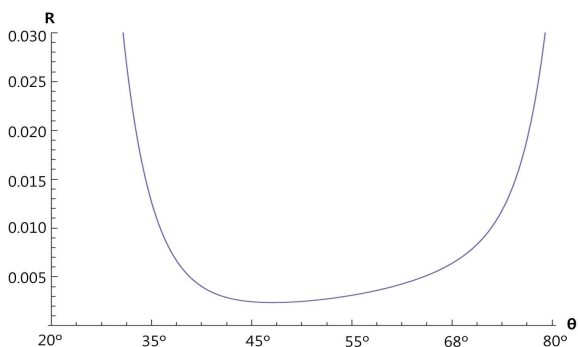


그림 2. 패턴의 기울기에 대한 반사율 그래프  
Fig. 2. Reflectance according to a slope of pattern

x축은 기울기  $\theta$ 값이며 y축은 반사율 R값을 나타낸다. 그림 2로부터 패턴의 기울기가 45도를 가질 때 R값이 최소임을 알 수 있다. 따라서 glass 상부에 패턴을 형성하는 경우 기울기가 45도인 패턴이 투과율 향상에 가장 적합함을 알 수 있다.

### 2.3 하부 패턴 도출

투과 손실이 최소가 되는 하부 패턴은 그림 3과 같이 수직으로 입사하는 광(i)이 A점에 도달하여 반사되고, 반사된 광이 B점에서 다시 반사되어 C점으로 향하게 된다. 이때 B점에서 발생하는 굴절에 의한 손실  $r1$ 과 C점에서 반사에 의한 손실  $r2$ 가 최소가 되는 패턴을 선택할 수 있다.

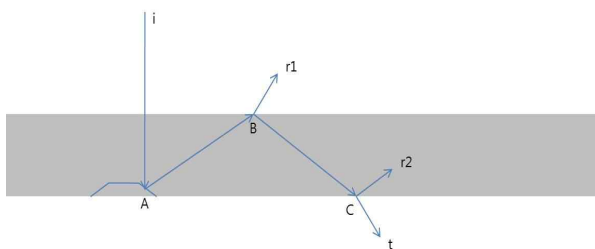


그림 3. 하부 패턴 모식도  
Fig. 3. Bottom pattern layout

이러한 패턴의 모양은 A점과 C점에서는 반사된 광이 최소가 되고 B점에서는 전반사되어  $r1=0$ 이 되도록 해야 한다. 즉 A점에서 반사된 광은 B점에서 전반사가 일어나고, B점에서 전반사된 광이 C점에서 입사각이 최소가 되어 반사율이 최소가 되도록 해야 한다.

B점에서 전반사가 일어나기 위해서 패턴의 기울기  $\theta$ 는 식 (5)를 만족해야 한다.

$$\theta \geq \frac{\theta_c}{2} \tag{5}$$

$$(\theta_c = \text{Sin}^{-1} \frac{1}{n}, n: \text{Glass 굴절률})$$

식 (5)의 조건을 만족하는 패턴의 기울기를 통해 A점에서 반사된 광은 B점에서 전반사 되어 C점으로 향한다. 또한 B점에서 전반사되어 C점에 도달한 빛의 입사각이 최소가 되도록 하기 위해 패턴 우측면에서 반사된 광이 B점에서 전반사 된 후 패턴 좌측면에 입사되도록 패턴에 배열 조건(nPitch)을 부여할 수 있다.

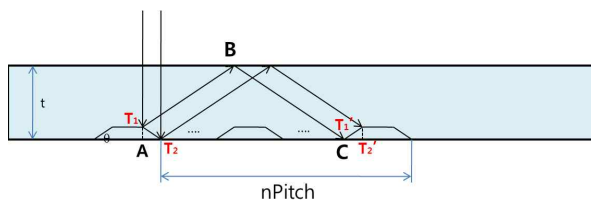


그림 4. nPitch 공식 도출 모식도  
Fig. 4. nPitch layout

그림 4와 같이 B점에서 1회 반사에 의해  $T1$ 은  $T1'$ 에  $T2$ 는  $T2'$ 에 각각 대응이 되어야 한다. 이러한 조건을 만족하는 패턴의 Pitch를 nPitch라 하면 이는 식 (6)과 같이 표현된다.

$$nPitch = ((2t - h) \text{Tan}2\theta) - \frac{\text{Tan}\theta}{h} + a \tag{6}$$

$$= a - \frac{2h}{a-b} + \frac{4h(a-b)h(h-2t)}{(a-b)^2 - 4h^2}$$

식 (6)에서의 a, b, h,  $\theta$ 는 패턴형상을 나타내는 인자들로 그림 5와 같다.

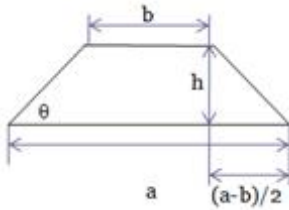


그림 5. 하부 패턴 단면  
Fig. 5. Cross-section of bottom pattern

nPitch 사이에는 다수의 패턴이 균일 간격으로 배열될 수 있으며 이들 패턴은 쌍으로 nPitch 공식을 만족해야 한다. 패턴이 서로 겹칠 수 없으므로 가질 수 있는 Pitch는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$pitch = a + \frac{(nPitch - ma)}{m} \quad (7)$$

$$ma \leq nPitch \quad (8)$$

여기서 m은 Pitch 공식이 성립하는 정수이다. 이 때 m은 패턴끼리 겹치면 안 되므로 식 (8)을 만족하는 정수를 말하고 m이 최대일 때 최대의 투과를 기대할 수 있다. 본 논문에서는 도출해 낸 하부 패턴공식을 이용하여 적절한 패턴 형상을 찾고 시뮬레이션을 통하여 투과율 상승에 대한 효과가 있음을 확인하였다.

### 3. 패턴 도출 및 시뮬레이션

#### 3.1 상부 패턴 시뮬레이션

상부 패턴은 앞서 언급한대로 glass표면에서 이중반사에 의해 총 반사율이 최소화되는 패턴을 도출하였다. 또한 제작성 및 향후 이용 용이성을 고려하여 그림 7과 같은 줄무늬형태의 패턴을 배열하여 설계하였다. 시뮬레이션 및 특허 분석을 통해 임의의 패턴 크기와 Pitch를 정하고 패턴의 기울기 변화에 따른 투과율 변화를 비교 분석하였다. 본 논문에서는 광학설계 프로그램인 ZEMAX의 Non-Sequential Mode를 이용하여 패턴을 설계하고 glass에서의 광 흡수를 고려한 투과율과 반사 시뮬레이션을 하였다. Glass 재질은 BK7

이고 15[mm] × 15[mm] × 3[mm] 정사각형 판재를 이용하였다. 시뮬레이션은 백색광의 균일한 평행광이 glass에 조사되도록 하였다. 시뮬레이션 레이아웃은 그림 6과 같이 검출기 1, 광원, 줄무늬 패턴을 가진 glass, 검출기 2로 구성되어 있으며, 검출기 1은 반사를 측정하기 위한 것이고 검출기 2는 투과를 측정하기 위한 것이다.

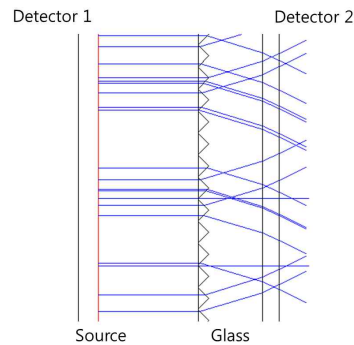


그림 6. 시뮬레이션 레이아웃  
Fig. 6. Simulation layout

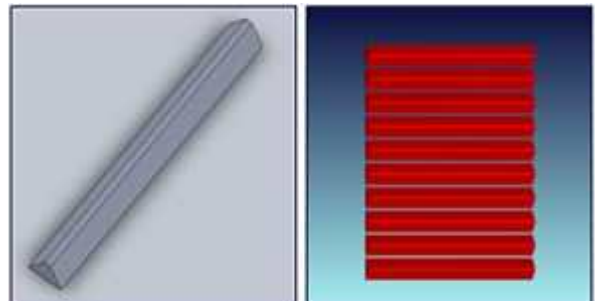


그림 7. (a) 상부 패턴 형상 (b) 상부 패턴 배열  
Fig. 7. (a) Front pattern shape (b) Front pattern array

그림 8과 같은 단면의 형상으로 a=1,000[um], b=0, Pitch=1,100[um]의 경우 시뮬레이션 결과는 그림 9과 같다. 그림 9에서 보이는 바와 같이 패턴 기울기가 45도에서 가장 낮은 반사율(5.6%)과 가장 높은 투과율(94.09%)임을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 이론을 통해 도출한 값과 동일한 결과를 보여준다. 따라서 45도 기울기의 상부 줄무늬 패턴이 투과율 향상에 최대 기여함을 알 수 있다.

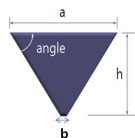


그림 8. 상부 패턴 단면  
Fig. 8. Cross-section of front pattern

이상적인 경우 전체 광량은 반사율과 투과율의 합이 100이 될 것이다[9]. 그러나 시뮬레이션 결과를 통해 보면 알 수 있듯이 0.31[%]의 손실이 발생한 것을 볼 수 있으며 이와 같은 현상이 발생한 이유는 glass 재질 자체의 내부 흡수율과 내부에서 무한대로 발생하는 다중 반사(Multi Reflection) 때문이라고 볼 수 있다[10].

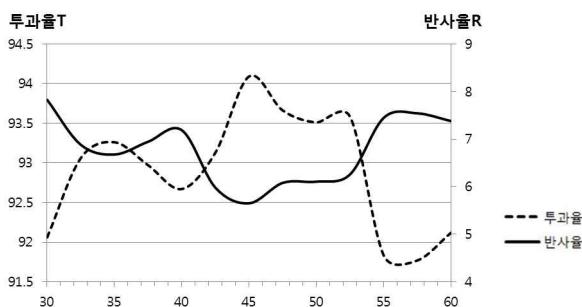


그림 9. 기울기에 대한 투과율, 반사율 그래프  
Fig. 9. Reflectance and transmittance

표 1. 상부 줄무늬 패턴 최종투과율  
Table 1. Transmittance by front stripe pattern

BK7	투과율
평평한 glass	91.72[%]
가공성을 고려하지 않은 경우 상부 패턴 glass (a=1000 b=0 pitch=1100 angle 45 h=0.5)	94.09[%]
가공성을 고려한 경우 상부 패턴 glass (a=1000 b=200 pitch=1100 angle 45 h=0.4)	93.39[%]

실제 완벽한 줄무늬 패턴이 되기 위해선 b 크기가 0이 되어야 하나 그림7에서와 같이 제작성을 고려하여

b =200[um]인 경우에 대해서도 고려하였다. 이 경우에도 패턴이 45도의 기울기를 갖는 경우 가장 높은 투과율임을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 패턴에 따른 시뮬레이션 결과 값은 표 1과 같다. 이 표로부터 가공성, 가공오차, 광 손실 등을 고려하여 상부에 줄무늬 패턴을 형성했을 때 기존 평평한 glass대비 투과율을 약 1.6[%] 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

### 3.2. 하부 패턴 시뮬레이션

하부 패턴 역시 상부와 마찬가지로 제작성 및 향후 이용 용이성을 고려하여 그림 10과 같이 단면이 사다리꼴 모양인 줄무늬 패턴을 설계하였다. 이론적 접근을 통하여 도출한 Pitch 공식 식 (7)과 식 (8)이 실제 투과율에 어떠한 영향을 주는지 확인하였다.

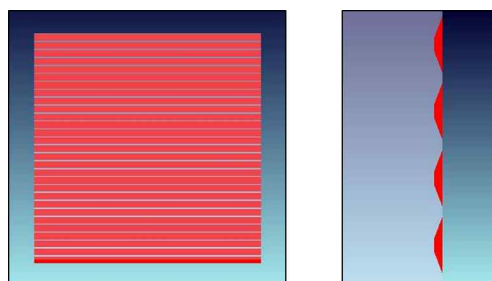


그림 10. (a) 하부 패턴 정면도  
(b) 하부 패턴 단면도  
Fig. 10. (a) Bottom pattern shape  
(b) Cross-section of bottom pattern

먼저 식 (5)를 통해 BK7의 굴절률 n=1.517에 대하여 패턴의 최적 기울기  $\theta$ 를 구할 수 있다 ( $\theta \geq 41.23/2=20.62$ ). 또한 식 (6)의 Pitch공식을 이용해 임의의 a, b (a=0.9[mm], b=0.2[mm])에 대한 Pitch를 구할 수 있다. 이 때 그림 11에서와 같이 정수 m에 따라 Pitch가 달라진다. 그림 11에서 점선은 투과율을 나타내며 실선은 m의 수를 나타낸다. 이를 통해 m이 증가할수록 Pitch는 줄어들고 투과율은 증가하는 경향이 보임을 확인할 수 있다. 이 때 m이 7이상이 되면 그림 12와 같이 패턴끼리 겹치게 된다. 따라서 m은 식 (8)과 같이 패턴이 겹치지 않는 최대 정수인 6을 선택하거나 최대 투과율을 주는 m=7을 선택할 수 있다.

m이 7인 경우 패턴이 겹치게 되고 이는 평판의 두께가 얇아지고 연속적인 패턴이 형성 되는 경우가 된다.

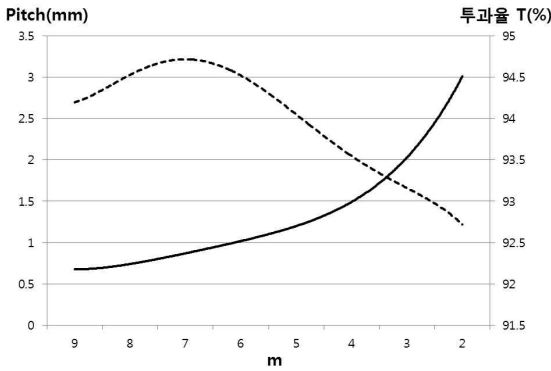


그림 11. m에 대한 Pitch와 투과율 그래프  
Fig. 11. Pitch and transmittance

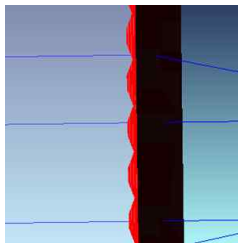


그림 12. m ≥ 7, 패턴 모습  
Fig. 12. m ≥ 7, pattern shape

시뮬레이션으로부터 a=0.9[mm], b=0.2[mm], h=0.132[mm], 기울기θ=20.62 일 경우에 대하여 패턴끼리 겹치게 되지만 최대의 효율을 낼 수 있는 m=7인 경우는 pitch는 0.862[mm]이고 투과율은 94.75[%]로 의 평판 glass대비 약 2.8[%] 향상시킬 수 있으며, 패턴이 겹치지 않는 한에서의 최대 효율을 내는 m=6의 경우 Pitch=1.006이고 이때 투과율은 94.5[%]로 평평한 glass대비 약 2.5[%] 향상시킬 수 있음을 볼 수 있다.

#### 4. 패턴 제작 및 실험

##### 4.1 패턴 제작

시뮬레이션을 통해 도출해낸 패턴 형상을 토대로 줄무늬 패턴이 있는 glass 샘플을 제작하였다. 가공한

샘플 데이터는 그림 13과 같이 앞서 이론 및 시뮬레이션을 통해 도출한 패턴의 사양과 동일하다. 제작 시 비용문제로 인하여 재질은 폴리올리핀(Polyolefin)으로 만들어진 Zeones사의 E48R을 사용하였고 상부에 패턴이 없는 경우와 상부에 줄무늬 패턴이 있는 두 가지를 제작하였다.

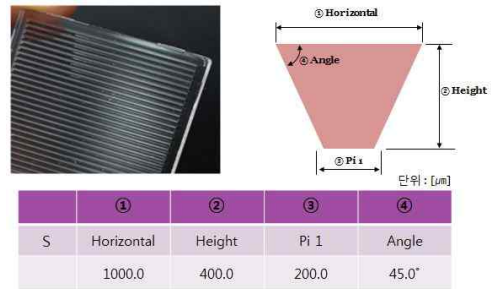


그림 13. 상부 패턴 가공 사양  
Fig. 13. Front pattern manufacture spec

완벽한 가공 환경이 아닌 이상 샘플의 형상은 원래 사양의 크기와 오차가 발생할 것이다[11]. 따라서 가공된 샘플의 형상을 Conforal Microscope 장비로 패턴 형상 및 높이, 길이를 측정하였다. Conforal Microscope는 초심도 3D 형상 측정기로 가공한 샘플의 길이, 깊이, 그리고 2D, 3D 형상을 측정할 수 있다. 측정된 결과는 그림 14와 같다.

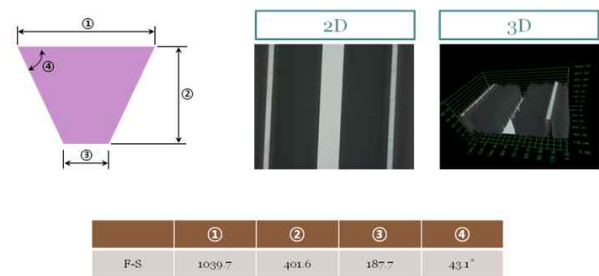


그림 14. 상부 패턴 샘플 측정 데이터  
Fig. 14. Front sample of pattern measurement data

샘플의 측정 데이터를 가지고 다시 시뮬레이션을 하였다. 여기서 시뮬레이션에 사용된 재질은 E48R이고 상부가 평평한 경우와 상부에 줄무늬 패턴이 있는 경

우로 투과율 및 반사율은 표 2와 같다.

표 2. 가공 샘플 시뮬레이션 결과  
Table 2. manufactured sample simulation result

E48R	투과율	반사율
평평한 glass	91.6[%]	8.38[%]
상부패턴glass	92.78[%]	6.5[%]

### 4.2 샘플 측정

가공한 패턴 glass 샘플의 투과율을 분석하기 위하여 시뮬레이션 조건과 같이 샘플에 평행광을 수직으로 입사시켰다. 실험 장치는 백색광(할로겐램프, 220[V] MI-150, Edmund)과 이를 집광시키는 집광렌즈 그리고 집광 렌즈에 의해 광이 맺히는 지점에 10[um]크기의 편홀을 놓았다. 평행광을 만들기 위한 콜리메이터로 초점거리 40[mm]의 대물렌즈(5배)를 이용하였다. 샘플로 입사되는 평행광의 반경은 5[mm] 크기를 갖고 투과광 검출을 위한 포토 다이오드(1.675 inches, NT57-374, Edmund)는 샘플 바로 뒤에 위치시켰다. 이때 샘플이 없는 경우 포토 다이오드의 신호 대비 각 샘플이 있는 경우 신호의 비로 투과율을 산출하였다. 측정 시스템 레이아웃은 그림 15와 같다.



그림 15. 측정 시스템 레이아웃  
Fig. 15. Measurement system layout

그리고 포토 다이오드에 들어온 신호는 그림 16과 같은 증폭기(PDA-750 Photodiode amplifier)를 통해 결과 값을 얻었다.

측정 정확도를 높이기 위해 glass의 같은 지점을 30번 측정하고 평균하여 결과를 얻었다. 그에 따른 결과

는 표 3과 같으며 이는 시뮬레이션 시 예상했던 투과율의 상승률 보다 약간 낮은 값인 약 92.5[%] 임을 확인할 수 있었다. 이는 E48R재질의 흡수율에 대한 부정확성과 광원의 불안정한 상태 등의 원인 때문에 시뮬레이션 값과 오차가 생겼다고 볼 수 있다. 하지만 측정을 통해서 glass에 패턴을 입힘으로써 glass의 투과율을 상승시킬 수 있음을 확인하였다.



그림 16. 포토다이오드 증폭기  
Fig. 16. Photodiode amplifier

표 3. 투과율 측정 데이터  
Table 3. Transmittance measurement data

Type	시뮬레이션	측정
평평한 glass	91.6[%]	91.45[%]
상부패턴 glass	92.78[%]	92.5[%]

### 5. 결론

본 논문에서는 glass 투과율을 향상시키기 위해 glass 상부 혹은 하부에 패턴을 입혀 각 표면에서 발생하는 손실을 이론적인 접근을 통해 최소화하고 투과율을 향상시키는 패턴 형상을 모색하였다.

상부 패턴은 glass에 수직으로 입사하는 광이 최소로 반사되는 기울기를 찾아 패턴 형상을 도출했으며 하부에서는 glass 하부에서 반사되는 광을 전반사 조건을 이용하여 기울기를 찾고 Pitch공식을 이용해 패턴을 배치하여 효과적인 패턴 형상을 도출하였다.

또한 실제 샘플 제작 및 측정을 통해 상부에 사다리꼴 줄무늬 패턴을 입힘으로서 투과율이 상승되는 효과를 확인하였다.

본 논문에 따르면 glass 투과율은 제작성 및 향후 이용성을 토대로 상부, 하부 각각 줄무늬 패턴을 이용하

여 투과율을 94.09[%], 94.5[%]로 패턴이 없는 glass대비 약 2[%] 이상의 상승효과를 기대할 수 있으며 효과적인 패턴 형상을 적용시킴으로써 광소자 자체의 투과율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

## References

- [1] K. S. Kim, G. H. Kang, "The Analysis of Optical Characteristics of Glasses for PV Module Application", The Korean Solar Energy Society Spring annual conference 2008, pp.98-103, 2008.4.
- [2] C. H. Son, K. M. Kim, "Conversion Efficiency Enhancement of a-Si:H Thin-Film Solar Cell Using Periodic Patterned Substrate", The Korean Solar Energy Society Spring annual conference, Vol30, No2, pp433-438, 2010.11.
- [3] J. H. Kim, "Study on the Improvement of light transmittance through the cover glass of Solar cell" Korea Polytechnic University Master's degree paper, 2012.3.
- [4] K. S. Kim, G. H. Kang, "Analysis of Optical Characteristics of Transparent Glasses for PV and Glass-Glass Module Application", The Korean Solar Energy Society, Vol 28, No.5, pp301-304, 2008.
- [5] Y. L. LIM, "Design and Characterization of Nano-patterns for Antireflection", Inha University Master's degree paper, 2009.3.

- [6] Ulf Blieske, US patent 7,368,655 B2, Textured transparent plate with high light transmission, 2008.5.
- [7] Patrick Gayout, US patent 2007/0240754 A1, Textured transparent film having pyramidal patterns that can be associated with photovoltaic cells, 2007.8.
- [8] James M. battiato, US patent 2009/0067048 A1, Structured oriented films for use in displays, 2009.3.
- [9] Y. M. Park, Y. H. Seo "Enhancement of Broadband Light transmission for Nano-Patterned PMMA Substrate", The Korea Society of Manufacturing Technology Engineers 2011 Spring annual conference, pp 318-319, 2011.4.
- [10] C. G. Yoo, "A Study on light reflection effect of the optical micro pattern using ultra-precision technology", The Korea Society of Manufacturing Technology Engineers, pp.546-701, 2009.
- [11] C. Y. Yoon, "Research on scattering simulation the optical micro pattern", The Korea Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol 9, pp. 374-376, 2009.

## ◇ 저자소개 ◇



### 주원돈 (朱願噉)

1963년 4월 6일생. St. Petersburg Institute Fine Mechanics and Optic in Russia (IFMO, Russia) 광학 전공 졸업 (이학 박사). 현재 삼성전자 수석 연구원.