

로이유리의 전도성 금속박막을 이용한 발열유리 제작에 관한 연구

오재곤
한국산업기술대학교 전자공학부

A study on the fabrication of heatable glass using conductive metal thin film on Low-e glass

Chaegon Oh

Division of Electronics, Korea Polytechnic University

요약 본 논문은 로이유리(Low emissivity glass) 표면에 증착되어 있는 금속박막의 전도 특성을 이용하여 발열유리(Heatable glass)를 제작하는 방법에 대해 제안한다. 로이유리의 발열량은 로이유리 표면저항에 의한 주열(Joule) 열에 의존하므로 소재의 표면저항을 측정함으로써 예측 및 설계가 가능하다. 본 연구에서는 저방사층이 11nm인 소프트로이유리 시료에 각 50mm 간격으로 은(Ag) 전극을 형성시키고, 4단자법으로 면저항을 측정하여 로이유리의 소비전력과 발열량을 예측한 후에, 제작 및 실험을 통해 발열성능을 확인하였다. 기존의 발열유리 제작방법은 크게 두 가지로 일반유리(Normal glass)에 니크롬(Nichrome) 열선을 삽입하는 방법과, 일반유리에 전도성 투명박막을 증착하는 방법이 있다. 니크롬 열선 삽입 방식은 발열성능은 우수하나 유리 고유의 투명성을 저해하고, 전도성 투명박막을 증착하는 방법은 투명성은 양호하나 공정이 복잡하여 실용성이 저하된다. 본 논문에서는 주로 건축물의 단열효과 향상을 위해 사용되는 로이유리를 이용하여 로이유리 전면에 코팅되어 있는 전도성 금속박막에 레이저 빔을 조사하여 원하는 발열성능을 가지는 발열유리를 제작하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 기존의 니크롬 열선을 삽입하는 방법에 비해 투명성이 양호하고, 전도성 투명박막을 증착하는 방법에 비해 제작과정이 보다 수월함을 확인하였다. 아울러, 레이저를 조사하여 로이유리의 표면 박막을 패터닝(Patterning) 하는 형태에 따른 발열특성의 비교와 로이유리에 적합한 레이저 출력조건을 제시하고자 한다.

Abstract This paper proposes a method for fabricating heatable glass using the conduction characteristics of metal thin films deposited on the surface of Low-e(Low emissivity) glass. The heating value of Low-e glass depends on the Joule heat caused by Low-e glass sheet resistance. Hence, its prediction and design are possible by measuring the sheet resistance of the material. In this study, silver electrodes were placed at 50 mm intervals on a soft Low-e glass sample with a low emissivity layer of 11 nm. This study measured the sheet resistance using a 4-point probe, predicted the power consumption and heating value of the Low-e glass, and confirmed the heating performance through fabrication and experience. There are two conventional methods for manufacturing heatable glass. One is a method of inserting nichrome heating wire into normal glass, and the other is a method of depositing a conductive transparent thin film on normal glass. The method of inserting nichrome heating wire is excellent in terms of the heating performance, but it damages the transparency of the glass. The method for depositing a conductive transparent thin film is good in terms of transparency, but its practicality is low because of its complicated process. This paper proposes a method for manufacturing heatable glass with the desired heating performance using Low-e glass, which is used mainly to improve the insulation performance of a building. That is by emitting a laser beam to the conductive metal film coated on the entire surface of the Low-e glass. The proposed method is superior in terms of transparency to the conventional method of inserting nichrome heating wire, and the manufacturing process is simpler than the method of depositing a conductive transparent thin film. In addition, the heat characteristics were compared according to the patterning of the surface thin film of the Low-e glass by an emitting laser and the laser output conditions suitable for Low-e glass.

Keywords : Low emissivity glass, Heatable glass, Sheet resistance, Heat transfer, Laser ablation

Corresponding Author : Chaegon Oh(Korea Polytechnic Univ.)

Tel: +82-31-8041-0475 email: cgoh@kpu.ac.kr

Received November 1, 2017

Revised (1st December 4, 2017, 2nd December 22, 2017)

Accepted January 5, 2018

Published January 31, 2018

1. 서론

그간 자동차 및 항공기, 선박 등의 유리에서 발생하는 내·외부 온도차에 의한 결로를 차단하고 겨울철 성에를 제거하기 위한 용도로 산업용 발열유리의 적용 및 개발이 시도되어 왔다.

기존의 발열유리의 제작 및 연구 방법은 크게 두 가지로 첫 번째 방법으로는 Fig. 1의 (a)와 같이 일반유리(Normal glass)에 니크롬(Nichrome) 열선을 삽입하는 기법으로서 현재, 자동차 후면 유리 제작에 주로 사용되고 있다. 이 방법은 발열성능은 우수하나 열선이 운전자의 시야를 방해하므로 자동차 앞면 유리에는 적용이 불가능하다. 두 번째 방법으로는 첫 번째 방법이 가지는 불투명성 문제를 극복하기 위하여 Fig. 1의 (b)와 같이 일반 유리에 전도성 투명박막을 증착하여 유리 고유의 투명성이 확보된 발열유리를 제작하는 기법이 연구되어 왔다. 이 방법은 불투명한 열선 대신 투명 발열체인 ITO(Indium Tin Oxide)를 사용하기도 하나, 가격이 비싸고 구부리게 되면 균열이 발생하여 전기전도도가 저하되는 문제점이 있어 CNT(Carbon nanotube) 및 메탈 옥사이드 나노와이어(Metal oxide nanowire) 등을 이용한 연구가 시도되어 왔다[1]. 이러한 일반유리에 전도성 투명박막을 증착하는 방법은 발열 효율이 높고 투명성을 확보할 수 있기 때문에 자동차 앞면유리에 사용이 가능하나, 그 제작과정이 복잡하고 발열체의 패턴이 단락되면 사용할 수 없는 문제점과 유연성이 부족하여 가공이 쉽지 않은 문제, 그리고 높은 제작비용 문제 등으로 사용이 크게 확대되고 있지 못하는 실정이다.

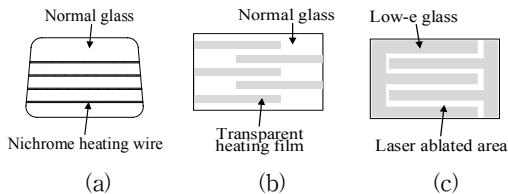


Fig. 1. Comparison of production methods of heatable glass

- (a) Normal glass with nichrome heating wire
- (b) Normal glass with transparent heating film
- (c) Patterned Low-e glass with laser ablation

본 논문에서는 Fig. 1의 (a) 방법이 가진 불투명성과 (b) 방법의 공정 복잡성 문제를 극복하는 (c)의 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 로이유리(Low emissivity glass)의 표면에 코팅되어 있는 금속박막의 전기전도성을 이용하여 발열시키는 것으로, 로이유리 표면의 금속박막을 레이저 어블레이션(Laser ablation)으로 패턴닝(Patterning)하여 원하는 발열특성을 얻도록 하는 방법이다.

현재 주로 건축물의 창호를 통한 열손실량을 줄여 에너지 효율을 높이기 위한 용도로 널리 사용되고 있는 로이유리는 투명성은 유지하면서 열과 관련된 적외선 에너지를 반사시켜 단열성능을 향상시키기 위한 목적으로 유리 표면에 전기전도성이 우수한 금속이나 금속산화물 박막이 코팅되어 있다[3].

그리고 로이유리를 이용하여 발열유리를 제작하는 방법은 Fig. 2의 (c)에 보인 바와 같이 기존의 발열유리 제작 방법들에 비해 상대적으로 그 공정이 단순하다. Fig. 2의 (a), (b)는 기존의 일반유리를 사용하여 발열유리를 제작하는 방식들의 공정이고, (c)는 본 논문에서 새롭게 제안하는 것으로 기존의 일반유리 대신에 로이유리를 사용하여 발열유리를 제작하는 공정을 보인 것이다.

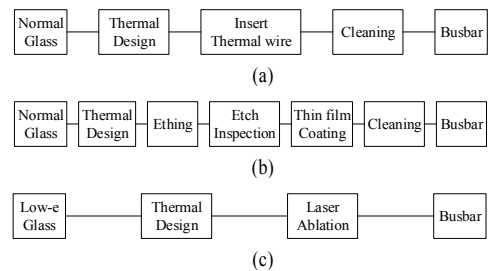


Fig. 2. Classification of heatable glass manufacturing process

- (a) Inserting the nichrome heating wire into the normal glass
- (b) Depositing the transparent heating film on the normal glass
- (c) Patterning the surface conductive metal thin film on Low-e glass by laser ablation.

현대자동차에서는 유리 고유의 투명성이 확보되고 성에나 결로 문제의 극복이 가능한 발열유리를 자동차 앞면 유리에 적용하기 위하여 Fig. 3과 같은 일반유리에 전도성 투명박막을 코팅하는 구조의 발열유리 개발을 연구하였다[2].

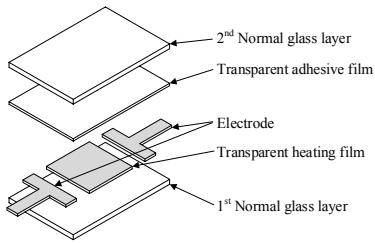


Fig. 3. Transparent heatable glass structure of Hyundai motor

이에 비해 본 논문에서 제안하는 Fig. 4에 나타낸 로이유리에 코팅되어 있는 전도성 금속박막을 레이저 어블레이션하여 발열유리를 제작하는 방법은 기존의 투명 발열유리와 같은 발열성 및 투명성이 확보됨은 물론, 그 제작 공정이 상대적으로 보다 단순하고 실용성이 기대된다.

또한, 본 연구를 통하여 로이유리 표면의 전도성 금속박막에 인가된 전압 및 레이저 패턴에 따른 예측 발열량을 계산하고, 원하는 발열특성을 가지는 효율적인 패턴링 방법과 로이유리 표면 패턴링에 적합한 레이저 어블레이션 조건을 제안하고자 한다.

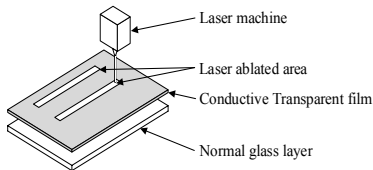


Fig. 4. Proposed method of making transparent heatable glass using Low-e glass

2. 본론

2.1 로이유리

로이유리는 저방사율(Low-emissivity) 특성을 가지는 에너지 절약형 유리로 방사율이 0.84인 일반 유리 표면에 전기전도성이 양호한 금속박막을 코팅하여 방사율 0.1 수준의 우수한 단열특성을 갖는 유리이며, 외부의 가시광선은 실내로 투과시키고 실내의 복사열은 외부로 방출되지 않도록 실내로 재반사 시켜 단열성을 우수하게 하는 기능성 코팅 유리이다.

건축물에서 손실되는 에너지는 벽체나 지붕 그리고

창 등을 통하여 주로 이루어지며, 이 중에서 창을 통한 열손실량은 전체 건물의 약 45% 정도로 큰 비율을 차지하고 있다[4].

국내에서 생산되는 로이유리는 기존의 일반유리를 별도의 진공 챔버 내에 설치하여 물리적으로 금속 코팅막을 증착하여 생산하며 Table. 1에서와 같이 Ag막층의 수에 따라 싱글로이, 더블로이, 트리플로이유리로 분류되며, 코팅막 소재에 따라 소프트로이(Soft Low-e)와 하드로이(Hard Low-e) 유리로 구분된다[5].

Table 1. Classification of Low-e glass types

Normal glass	Single Low-e	Double Low-e
SnO ₂ F	Ag	Ag
Glass	Glass	Glass

2.1.1 로이유리 박막

로이유리는 Fig. 5에서와 같이 일반유리 위에 전도성 금속을 포함한 여러 보호층이 증착된 유리이다.

적외선 영역에서 방사율이 높은 금속성의 저방사층과 저방사층의 산화를 방지하기 위한 금속보호층을 박막으로 증착시켜 여름에는 태양 복사열을 반사시키고 겨울에는 실내 난방기에서 발생하는 적외선을 보존해 줌으로써 건축물의 에너지 절감효과를 가져온다[6].

이러한 저방사층은 열 전도성이 우수한 금속을 포함하여 적외선 영역의 복사선을 차단하는 역할을 하는 기능성 층으로서, 은(Ag), 구리(Cu), 금(Au), 알루미늄(Al), 백금(Pt) 등으로 구성할 수 있으며, 가격과 색상 및 저방사 특성 등을 고려하여 전기전도도가 우수한 은(Ag)이 주로 사용된다.

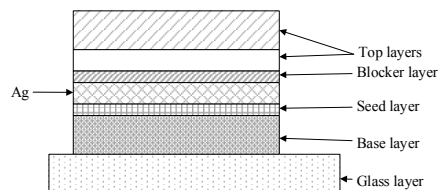


Fig. 5. Coating layers of single Low-e glass

엘지하우시스에서는 마그네트론(C-Mag) 스퍼터 증착기를 사용하여 Table. 2에 나타난 두께와 Fig. 6과 같은 조성의 박막층이 형성된 로이유리를 제작하였다[7].

Table 2. Components of LG's thin film layer

Layer structure	Constituent	Thickness
Top protective layer	SnZnOx	49nm
2nd Dielectric material layer	SnZnNx	4nm
Metal protective layer	NiCr	4.5nm
Low-emissivity layer	Ag	11nm
Metal protective layer	NiCr	3nm
Bottom dielectric material layer	SnZnNx	4nm
Bottom dielectric material layer	SnZnOx	21nm
Glass layer	Glass	6mm

Fig. 6의 태양광 조절 금속층은 저방사층 및 저방사층 상하부에 형성된 금속보호층과 함께 구성되며, 금속보호층은 열처리시 유리기재에서 확산되는 나트륨 및 공기 중의 산소 이동을 방해하거나, 산소를 흡수하는 장벽 기능을 수행하여 높은 열처리 조건하에서도 저방사층의 안정적인 용착이 가능하도록 하는 역할을 한다. 금속보호층은 니켈, 크롬 또는 니켈크롬 합금을 사용할 수 있다.

제1유전체층은 열처리시 태양광 조절 금속층으로 전달되는 산소 또는 이온을 차단하는 기능을 수행하며, 금속산화물의 최하부 유전체층(10~50nm)과 금속(산)질화물의 하부 금속 보호 유전체층(1~10nm)이 적층된 구조를 갖는다. 제1유전체층은 SnZnOx, SnZnOxNy 또는 SnZnOx, SnZnNx의 적층 구조로 형성될 수 있다.

제2유전체층은 제1유전체층과 마찬가지로 열처리시 태양광 조절 금속층으로 전달되는 산소 또는 이온을 차단하는 기능을 수행하며, Al, B, Ti, Nb, Sn 및 Mo로부터 선택된 하나 이상의 원소가 함유된 금속산화물 또는 (산)질화물 등을 사용할 수 있다.

최상부 보호층 역시 제1유전체층 및 제2유전체층과 동일한 기능을 수행하고 재료는 특별히 제한되지 않으며, Al, B, Ti, Nb, Sn 및 Mo로부터 선택된 하나 이상의 원소가 함유된 금속산화물을 사용할 수 있다. 유리기재는 통상의 소다라임 유리로 사용 목적에 따라 2~12mm의 두께를 가지는 유리를 사용한다[8].

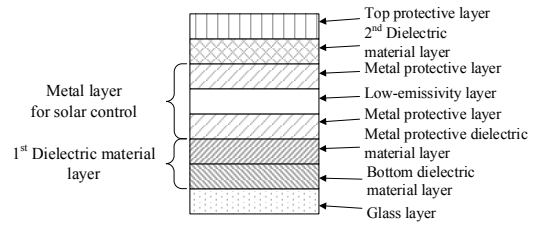


Fig. 6. Solar control metal layers of LG's Low-e glass

2.1.2 로이유리 면저항

로이유리의 면저항(Sheet resistance)은 박막의 단위 두께당 비저항(Electrical resistivity)을 의미하는 것으로, 면저항이 낮을수록 방사율 값도 낮아져 우수한 단열성능을 얻을 수 있다. 이에 따라, 저방사 유리에서 적외선 방사율을 측정할 수 있는 척도가 될 수 있다. 로이유리의 면저항을 작게 하려면 저방사층의 두께가 두꺼워져야 하므로 가시광 투과율이 저하될 우려가 있고, 면저항값이 너무 크면 방사율 값이 커져서 단열효과가 감소될 수 있다[9].

본 연구에서는 저방사층이 11nm인 소프트로이유리를 사용하여 로이유리의 면저항을 구하기 위하여 Fig. 7과 같이 로이유리 시료 양끝과 중간에 각 50mm 간격으로 은(Ag) 전극을 형성시키고 4단자법을 이용하여 측정하였다.

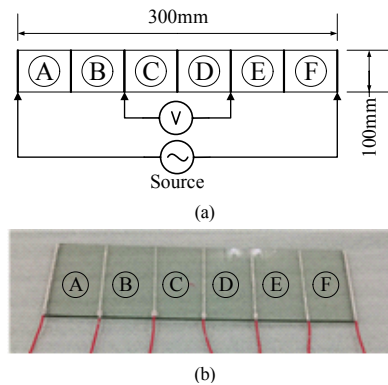


Fig. 7. Sheet resistance measurement of Low-e glass
 (a) Sheet resistance measurement by four point probe method
 (b) Low-e glass sample for sheet resistance measurement (300mm×100mm)

측정값은 구간별 값에 관계없이 일정하여 로이유리 면저항의 분포가 일정함을 확인할 수 있었다. Fig. 8은 측정된 시료의 길이별 저항값을 나타내고 있다.

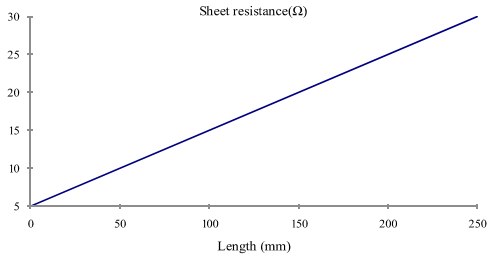


Fig. 8. Variation of resistance value according to length

로이유리의 발열량 또는 발열 표면온도 분포를 제어하기 위해서는 Table. 3과 같은 박막의 패터닝이 필요하다. 일반적으로 패터닝을 하지 않을 경우에는 고정된 동작전류에 대하여 표면저항에 의한 발열량은 최대가 되나, 길이 방향에서의 발열량 분포 차이가 사용 환경에 따라 크게 나타날 수 있다. 반면에 패터닝을 한 경우에는 패터닝 거리와 폭간의 상태에 따른 발열량의 조절이 가능하다.

박막의 폭과 길이에 의하여 결정되는 표면 저항 R1, R2, R3, R4.....Rn에 의하여 총 발열전력은 식 (1), 식 (2)로 표현되어 전압 일정의 조건에서 발열량의 분포 제어가 가능하다.

$$P = \Sigma(P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_n) \quad (1)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

Table 3. Heat generation and temperature distribution according to patterning structures

	Non-Patterning	Patterning
Pattern		
Heat Resistance		

4단자법으로 구한 면저항 측정값에 의하여 저항계수를 다음과 같이 구하였다. 물체의 저항은 비저항이 클수록, 물체의 길이가 길수록, 단면적이 작을수록 커진다. 어떤 물질의 비저항을 ρ , 길이를 l , 단면적을 A 라고 할 때 저항 R 의 크기는 다음과 같은 관계를 보인다.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3)$$

R : 측정저항(Ω)

ρ : 비저항(Ωm)

A : 박막층 통전 단면적(m^2)

l : 박막의 길이(m)

본 연구에서 사용된 로이유리의 비저항(ρ)을 구하기 위하여 Fig. 7 (b) 시료의 길이 250mm 구간의 측정 저항값이 Fig. 8에 나타난 바와 같이 30 Ω 이었으므로 비저항은 식 (4)와 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{R \cdot A}{l} \\ &= \frac{30\Omega \times 11 \times 10^{-9} m^2 \times 0.1}{250 \times 10^{-3} m} \\ &= 1.32 \times 10^{-7} \Omega m \end{aligned} \quad (4)$$

2.1.3 로이유리 발열량

로이유리의 발열량에 대한 이론적 예측과 결과 측정을 위하여 Fig. 9와 같이 패터닝을 하지 않은 시료 100mm \times 100mm 로이유리를 사용하였으며, 이 로이유리의 면저항을 구하기 위하여 식 (4)에서 얻어진 비저항값을 대입하면, 다음의 식 (5)와 같이 예측 면저항값이 얻어지며 이 결과는 Fig. 8에 나타난 실제 측정값과 비슷함을 보인다.

$$\begin{aligned} R &= \frac{1.32 \times 10^{-7} \Omega m \times 100 \times 10^{-3} m}{11 \times 10^{-9} m^2 \times 0.1} \\ &= 12\Omega \end{aligned} \quad (5)$$

Fig. 9의 시료 양 끝단 전극에 AC 27.85V를 인가하고, 로이유리 표면의 전류밀도를 구하면 Fig. 9에서와 같이 2.421A/100mm가 측정되어진다. 이 전압과 전류에 의해 얻어지는 실제 면저항값은 11.5 Ω 으로 식 (5)의 예

측 면저항값과는 0.5Ω의 오차를 가지게 되나, 이 오차는 시료의 양 끝단 전극부분 접합저항에 의한 영향으로 보여진다.

식 (5)에 의해 구해진 예측 면저항값 12Ω과 인가된 전압 27.85V를 식 (2)에 대입하여 발열량을 예측하면 64.63W가 되나, 실제로 측정된 면저항값 11.5Ω을 적용하여 발열량을 예측하면 67.44W로서 Fig. 9의 나타낸 실제 측정결과와 일치함을 알 수 있다.



Fig. 9. Measurement of heating value of a non-patterned Low-e glass(100mm×100mm)

따라서, Fig. 10과 같이 패턴의 폭을 각각 30mm, 10mm, 30mm로 레이저 어블레이션으로 패터닝하여 면저항 분포를 다르게 하고, 위의 결과를 적용하면 로이유리의 중심과 바깥쪽의 발열량을 다르게 할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 로이유리 표면의 전도성 박막을 패터닝하면 사용자가 원하는 조건의 발열이 가능하게 할 수 있음을 예상할 수 있다.

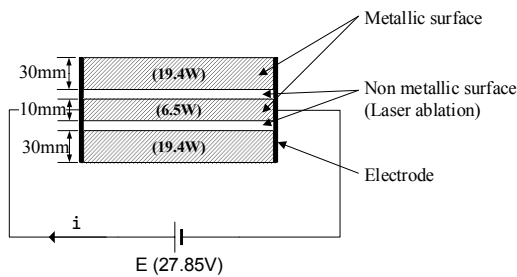


Fig. 10. Prediction of heatable value after Low-e glass patterning (100mm×100mm)

그리고 Fig. 11 (a)에서와 같이 로이유리의 상온상태에서 전압을 인가한 후에 열평형 상태에 도달하면 (b)에 보인 바와 같이 57.1°까지 표면의 온도가 상승하였다.

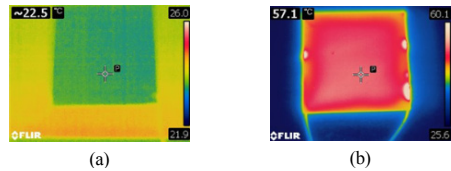


Fig. 11. Surface temperature according to the voltage and time of a non-patterning Low-e glass (100mm×100mm)
(a) Room temperature state
(b) Thermal equilibrium state

2.2 패터닝에 따른 발열특성

로이유리 표면에 코팅되어 있는 전도성 금속박막을 레이저 어블레이션하여 제거하는 형태에 따라 발열특성이 달라지는 현상을 예측하기 위하여 솔리드웍스 (Solidworks, VER 2017)를 사용하고, 금속박막(Ag)의 크기는 100mm×100mm로 하여 시뮬레이션을 실시하였다.

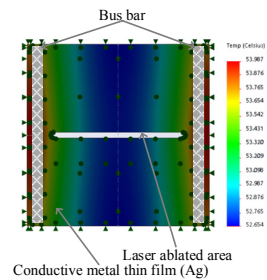


Fig. 12. Heatable glass structure and an example of laser patterning

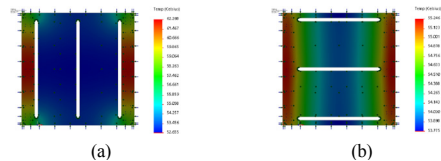


Fig. 13. Comparison of vertical and horizontal patterning results
(a) 3 Vertical patterns
(b) 3 Horizontal patterns

Fig. 12는 발열유리의 구조와 레이저 패터닝의 예를 보인 것으로 양 끝단에 수직의 부스바(Bus bar)를 부착하고 가운데 수평 한 라인을 레이저 어블레이션하여 금속박막(Ag)을 제거한 상태를 보인 것이다.

Fig. 13은 로이유리의 금속박막을 수직과 수평방향으로 패터닝 하였을 경우의 발열특성을 비교한 것으로, (a)

의 수직 패턴 보다 (b)의 수평 패턴이 열전달 특성이 보다 우수함을 알 수 있다.

Fig. 14는 로이유리의 금속박막을 수직방향으로 패턴닝 하였을 경우의 발열특성을 비교한 것으로, (a)의 3개 패턴보다 (b)의 6개 패턴의 경우가 열이 더욱 빠르게 확산되는 것을 볼 수 있어, 다수 라인 패턴닝이 소수 라인 패턴닝 보다 열전달 특성이 양호함을 알 수 있다. 이러한 결과는 수평 패턴의 경우에도 같은 효과를 나타내어 다수 라인 패턴닝이 소수 라인 패턴닝 보다 열전달 특성이 양호하였다.

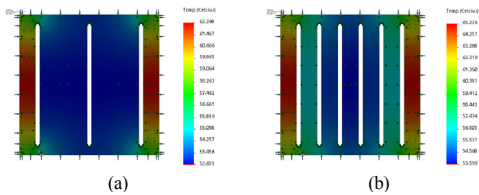


Fig. 14. Comparison of heating performance by number of patterns
(a) 3 Vertical patterns
(b) 6 Vertical patterns

2.3 레이저 어블레이션

레이저 어블레이션은 재료의 표면에 레이저를 투사하여 레이저가 투사된 영역의 물질을 제거하는 것으로 초박막층의 분리 이외에도 나노물질 생산, 유전체 박막의 증착, MEMS 구조의 미세가공과 같은 다양한 기술에 사용되고 있다.

본 연구에서는 Fig. 15에 보인 바와 같이 로이유리 표면에 증착된 금속층의 일부를 제거하여 로이유리 표면의 발열 부위 면적을 제어하고, 금속 박막의 통전 통로를 새로이 구성하여 전기저항을 변화시킴으로써 주울 열을 제어 할 목적으로 레이저 어블레이션을 실시하였다.

사용된 레이저 에너지는 1064nm 파장의 Fiber 레이저로서 pulse 에너지는 1mmJ, pules repeation rate 200kHz의 범위로 가변하여 에너지 밀도를 설정하였다. 레이저 어블레이션 기능은 로이유리 표면의 금속 막을 제거하여 전기적 절연층을 생성 시키는 것이므로 로이유리의 금속층에 레이저 빔을 조사 시킨 후, 통전 시험을 하는 것으로 공정의 효과를 확인 할 수 있다.

다양한 조건의 레이저 출력으로 실험한 결과, Fig. 15의 (a)에서와 같이 1064nm pulse 레이저를 적용한 경우에 $2.63 \times 10^4 (J/cm^2)$ 수준에서 원활한 레이저 어블레

이션이 이루어졌으며 그 이상의 조건에서는 (b)의 시료와 같이 부분적으로 로이유리의 표면 손상이 관찰되었다.

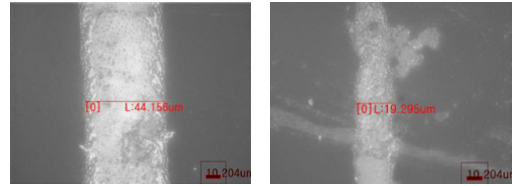


Fig. 15. Cleaning the metal thin film on Low-e glass using laser ablation
(a) Laser intensity, $2.63 \times 10^4 (J/cm^2)$
(b) Laser intensity, $1.9 \times 10^5 (J/cm^2)$

3. 결론

본 연구에서는 로이유리의 표면에 코팅되어 있는 전도성 금속박막을 레이저 어블레이션으로 패턴닝하여 사용자가 원하는 소비전력과 발열특성을 갖는 발열유리를 제작하는 방법을 제안하였다.

기존의 일반유리에 니크롬 열선을 삽입하여 발열유리화 하는 방식은 패턴이 단락되면 발열 기능을 상실하는 문제점이 있으며, 또한 니크롬 열선이 투명성을 저해하므로 자동차나 항공기의 앞 유리 등 유리 고유의 투명성이 요구되는 분야에는 적용이 어렵다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 그 동안 국내에서 연구가 시도되어 왔던 일반 유리에 전도성 투명박막을 증착하여 투명성이 확보된 발열유리를 제작하는 기법은 그 제작과정이 복잡하고 고비용이 요구되는 등 경제적 문제를 유발한다.

본 연구에서 제안하는 로이유리를 발열유리화 하는 방법은 상대적으로 그 제작 과정이 수월하고 용도에 맞는 발열특성을 구현하기가 용이할 뿐만 아니라, 유리 고유의 투명성도 우수하여 기존 방식들이 가지는 문제점의 극복이 가능하다.

이의 검증을 위하여 본 논문에서는 로이유리의 발열 특성을 수식으로 예측하고, 발열량 예측치가 측정된 결과 값과 일치함을 확인하였으며, Fig. 10에서와 같이 레이저 어블레이션으로 발열량의 제어가 가능함을 확인하였다.

아울러, 레이저 패턴닝 형태에 따라 발열특성을 다르

게 할 수 있음을 제시하였으며, 로이유리의 전도성 금속 박막을 어블레이션 하기에 적합한 레이저 에너지 출력 조건을 제안하였다.

REFERENCES

- [1] S. H. Jang, [National R & D Report] Development of transparent Heatable glass for condensation prevention using CNT, Korea Electronics Technology Institute, June, 2013.
- [2] Y. G. Kim, D. H. Kwun, Y. K. Jeon, Heatable glass using graphene and manufacturing method thereof, Korean Intellectual Property Office, 10-2013-0120627, Hyundai motor.
- [3] Y. H. Park, J. S. Seo, B. Y. Cho, A Study on Thermal Performance Improvement of Low-e Glass Using Laser Source, Architectural Institute of Korea Spring Annual Conference, vol. 37, no. 1, p.545-546, April, 2017
- [4] C. Y. Jang, B. L. Ahn, C. H. Kim, J. S. Kim, S. J. Lee, A Comparison of Thermal Performance of Double Low-E Glazing Window according to Various Material, The Korean Solar Energy Society Daegu EXCO Sprint Annual Conference, vol. 31, no. 1, pp. 133-137, Apr. 2011.
- [5] C. Y. Jang, J. G. Kim, B. L. Kim, J. S. Haan, C. Hoon, Thermal performance evaluation of Temperable Low-e glass window through Heating Energy consumption Analysis, The Korean Solar Energy Society Daegu EXCO Spring Annual conference, vol. 32, no. 1, pp. 200-205, Mar. 2012.
- [6] J. S. Park, C. S. Huh, Measurement of the Surface Emissivity of the LED Lighting Module, J. KIEEME, vol. 26, no. 6, pp. 493-501, June, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2013.26.6.493>
- [7] Christoph Köckert, Harald Hagenström, Continued Process Improvements in Architectural Glass Coating, lassoWeb, <https://www.glassonweb.com/article/continued-process-improvements-architectural-glass-coating>, Sep. 2017.
- [8] Y. G. Kim, D. H. Kwun, Y. K. Jeon, Temperable Low-emissivity glass and method for preparing thereof, Korean Intellectual Property Office, 10-1381531, LG Hausys.
- [9] Y. K. Jeon, K. S. Jo, Low emissivity glass and preparing method thereof, Korean Intellectual Property Office, 10-1381531, LG Hausys.

오 재 곤(Chaegon Oh)

[정회원]



- 1989년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과(공학사)
- 1999년 8월 : 경희대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1989년 12월 ~ 1997년 9월 : 삼성 전자 선임연구원
- 1997년 10월 ~ 현재 : 한국산업기술평화위원회 전자공학부 교수

<관심분야>

SoC설계, GPR, Laser 응용