



# A Study on the Surface Properties of RGP Lens by Changing Power in Low-temperature Atmospheric-pressure Plasma Surface Treatment

Moon-Chan Park\*

The Faculty of Beauty Health Sciences, Major in Ophthalmic Optics, Shinhan University, Uijeongbu 11644, Korea  
(Received November 16, 2018; Revised December 3, 2018; Accepted December 11, 2018)

**Purpose:** This study was conducted to observe the surface properties of an RGP lens based on power changes by a plasma torch at a low temperature and under atmospheric pressure. **Methods:** A lens bar with a diameter of 13 mm and length of 300 mm was cut flatly to a thickness of 3 mm and polished by a grinder. Subsequently, a plasma treatment was performed by changing the power to 200, 250, 300, 350, and 400 W, using an atmospheric plasma power source, which was injected with air. The contact angle and transmittance of the RGP lens were measured, and XPS was used to observe the change of the RGP lens surface composition. **Results:** When the plasma was treated at 200 W, the contact angle was reduced to 31.3° as compared to the case without the plasma treatment. It was seen that the contact angle decreased slightly as the power increased from 250 to 400 W, by steps of 50 W, which was due to an increase of the hydrophilic O-C=O from the XPS analysis. The average transmittance of the plasma treatment at 200 W was not significantly different from that without the plasma treatment, but it decreased gradually as the power increased beyond 250 W. **Conclusions:** As the power applied to the plasma increased, the contact angle on the surface of the RGP lens became smaller, and the transmittance of the lens decreased slightly. The decrease in the contact angle was due to an increase of hydrophilic molecules on the surface of the RGP lens.

**Key words:** RGP lens, Plasma treatment, Wetting angle, Transmittance

## 서 론

RGP(rigid gas permeable) 콘택트렌즈는 소프트 콘택트 렌즈보다 산소투과성이 높고 시력 교정이 좋아 눈 건강에 는 좋지만, 재질이 소수성이라서 렌즈 표면의 습윤성이 낮 고 딱딱해서 착용감이 나쁘다. 습윤성이 좋은 렌즈는 눈물 층이 유허제 역할을 하여 렌즈에 대한 이물감을 줄여주어 더 빨리 적응할 수 있도록 한다.<sup>[1]</sup>

RGP 콘택트렌즈 재질의 습윤성을 높이는 방법은 RGP 렌즈에 fluorine원자를 첨가하는 방법으로, methacrylate에 있는 hydrogen원자를 대체한 fluorosilicone acrylate 계열 의 콘택트렌즈가 개발되어 습윤성을 높일 뿐만 아니라 산 소투과율도 높였다. 이 때, 다른 방법으로 siloxy acrylate 함량을 낮추면 산소 투과율은 떨어지지만 습윤성은 향상 되었다.<sup>[2]</sup>

또한 국외에서는 콘택트렌즈에 저온 플라즈마 처리를 하여 렌즈 표면의 성질을 변형시켜 렌즈 표면 재질의 습 윤성을 높이는 연구가 진행되어왔다. 이 때 플라즈마 생성

시 사용되는 가스 종류, 플라즈마에 렌즈 표면 노출시간, 압력, power에 따라 렌즈 표면 성질 변화에 영향을 미친 다. 산소 저온 플라즈마를 처리할 경우 렌즈 클리닝에 매 우 효과적일 뿐 만 아니라 습윤성이 좋아져 렌즈 사용 시 편안하게 해준다.<sup>[3]</sup> 그리고 아르곤, 질소를 사용하여 저온 플라즈마 처리를 할 경우 친수기 결합이 증가하면서 접촉 각이 낮아지므로 습윤성이 향상되는 것을 XPS 표면 분석 을 통해 알 수 있었다. 이 때 power는 RF 방전을 사용하 였고 30 W, 60 W, 90 W, 120 W, 150 W에서 실험을 하 였다.<sup>[4-5]</sup>

국내에서는 실온 공기 중에서 방전형 플라즈마를 이용 하여 70 W로 플라즈마 처리를 하여 친수성기가 증가하고 소수성기가 감소하여 접촉각이 증가하였음을 보고하였고, 200 W로 플라즈마 처리를 하여 친수성이 증가하여 접촉 각이 증가하였음을 보고하였다.<sup>[6-8]</sup>

플라즈마 방전은 낮은 압력에서 발생시키는 것이 더 쉽 기 때문에 대부분의 플라즈마는 대기압 보다 낮은 압력에서 방전되고 있다. 낮은 압력에서 플라즈마를 발생시키려

\*Corresponding author: Moon-Chan Park, TEL: +82-31-870-3432, E-mail: mcpark@shinhan.ac.kr

면 진공 용기와 진공 펌프를 장착해야 하기 때문에, 진공이 아닌 대기압에서 플라즈마를 발생시키는 비교적 간단한 방법으로 플라즈마 처리에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. 대기압에서 플라즈마를 발생시키는 상압 플라즈마는 표면처리 비용과 장비유지 관리비용이 상대적으로 저렴한 장점이 있다.

본 연구는 RGP 렌즈 표면을 장비와 비용이 적게 드는 저온 상압플라즈마를 사용하여 200 W에서 400 W까지 변화하면서 플라즈마 처리를 한 후 접촉각을 측정하였고, XPS분석을 통해 RGP 렌즈 표면의 변화를 관찰한 후 접촉각과 RGP 렌즈 표면의 변화를 연관하여 연구하였다.

## 대상 및 방법

RGP 렌즈를 만들기 위해 tris(trimethylsiloxy) silane, MA(methacrylic acid), MMA(methyl methacrylate)를 사용하고 교차결합제로 EDMA(ethylene glycol dimethacrylate)를, 개시제 AIBN(2,2-azobisisobutyronitrile)을 사용하여 중합하여 지름 13 mm이고 길이 300 mm의 봉 형태를 만든 다음 두께 3 mm 버튼 형태로 잘랐다. 접촉각을 정확하게 측정하기 위해 연마기를 이용하여 표면을 평면으로 연마하였다.

연마한 RGP 렌즈를 플라즈마 처리를 하기 위해 Fig. 1과 같이 도식되어 있는 산업용으로 사용하고 있는 저온 상압 토치형 플라즈마 장치를 이용하였다. 이 때 플라즈마 source는 25 MHz 최대 12 V를 사용하였으며, 가스는 공기를 사용하고, 시료와 플라즈마 장치 입구와의 간격은 7 mm로 하였으며 플라즈마 처리시간은 2초로 하였다. 플라즈마 power는 200 W, 250 W, 300 W, 350 W, 400 W를 사용하였다.

플라즈마 처리에 따른 RGP 렌즈의 광투과율의 변화는 Transmittance Meter(Topcon, TM-1, Japan)을 이용하여 280 nm에서 780 nm 파장 영역의 스펙트럼을 관찰하였고, 플라즈마 처리에 따른 RGP 렌즈의 습윤성의 변화를 관찰

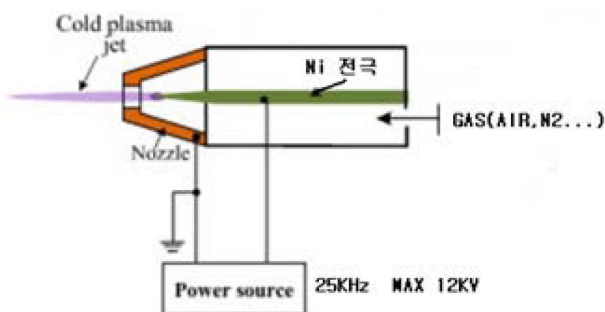


Fig. 1. Schematic diagram of a low-temperature atmospheric pressure plasma torch.

하기 위해 RGP lens 표면의 접촉각을 측정하였으며, 접촉각은 디지털카메라와 스마트앱(각도기 프로그램, Simple Protractor, v1.0.0)을 이용하여 측정하였다.

RGP 렌즈의 접촉각의 변화가 RGP 렌즈 표면에서 왜 일어나는지를 관찰하기 위해 XPS(X-ray Photoemission Spectroscopy, K-Alpha, ThermoScientific, UK)를 사용하여 wide scan과 narrow scan을 하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. RGP 렌즈 접촉각

Fig. 2는 RGP 렌즈에 플라즈마 처리를 하지 않았을 때와 200 W, 250 W, 300 W, 350 W, 400 W로 플라즈마 처리를 했을 때 RGP 렌즈 중앙 부분에서의 접촉각을 나타낸 것이다. (a)는 플라즈마 처리를 하지 않았을 때 RGP 렌즈 표면의 접촉각으로 90°를 가리킨다. (b), (c), (d), (e)는 각각 200 W, 250 W, 300 W, 350 W, 400 W의 power로 플라즈마 처리를 RGP 렌즈에 한 후 접촉각을 나타낸 것으로 58.7°, 46.1°, 45.0°, 42.0°, 37.5°를 나타내며, 이를 그래프로 나타낸 것이 Fig. 3이다. RGP 렌즈에 플라즈마 처리를 하지 않았을 때 렌즈 표면의 접촉각이 90°였고, 200W로 RGP 렌즈에 플라즈마 처리를 했을 때 접촉각이 58.7°로 처음 90°에서 31.3°만큼 줄었다. 그 후 250 W로 플라즈마 처리를 했을 때 46.1°로 58.7°에서 12.6°만큼 줄고, 300 W로 플라즈마 처리를 했을 때 45.0°로 46.1°에서 1.1°만큼 줄고, 350 W로 플라즈마 처리를 했을 때 42°로 45°에서 3°만큼 줄고, 400 W로 플라즈마 처리를 했을 때 37.5°로 42°에서 4.5°만큼 줄었다.

이와 같이 처음 200 W로 플라즈마를 처리했을 때 플라즈마 처리를 하지 않았을 경우와 비교하여 접촉각이 31.3°로 줄고 50 W씩 power가 증가하여 400 W까지 power가 증가함에 따라 접촉각이 조금씩 증가하는 것은 친수기인 O-C=O가 증가하기 때문이라는 것을 알 수 있다.<sup>[5]</sup>

### 2. RGP 렌즈 투과율

Fig 4에서 윗 투과율 곡선은 플라즈마 처리를 하지 않았을 때 투과율 곡선이고, 아랫 투과율 곡선은 플라즈마 처리를 400 W로 했을 때 투과율 곡선이다. 이 때 플라즈마 처리를 하지 않은 RGP 렌즈의 평균 투과율이 상용 RGP 렌즈에 비해 69.97%로 많이 떨어지는 것은 실험에서 사용한 RGP 렌즈는 두께를 3.5 mm로 두껍게 만들었기 때문이며 실제 sample이 청색으로 보이는 것은 스펙트럼에서 나타난 것처럼 장파장 쪽에서 흡수가 있기 때문이다.

RGP 렌즈에 400 W로 플라즈마 처리를 했을 때의 투과율이 플라즈마 처리를 하지 않았을 때보다 가시광선 영역

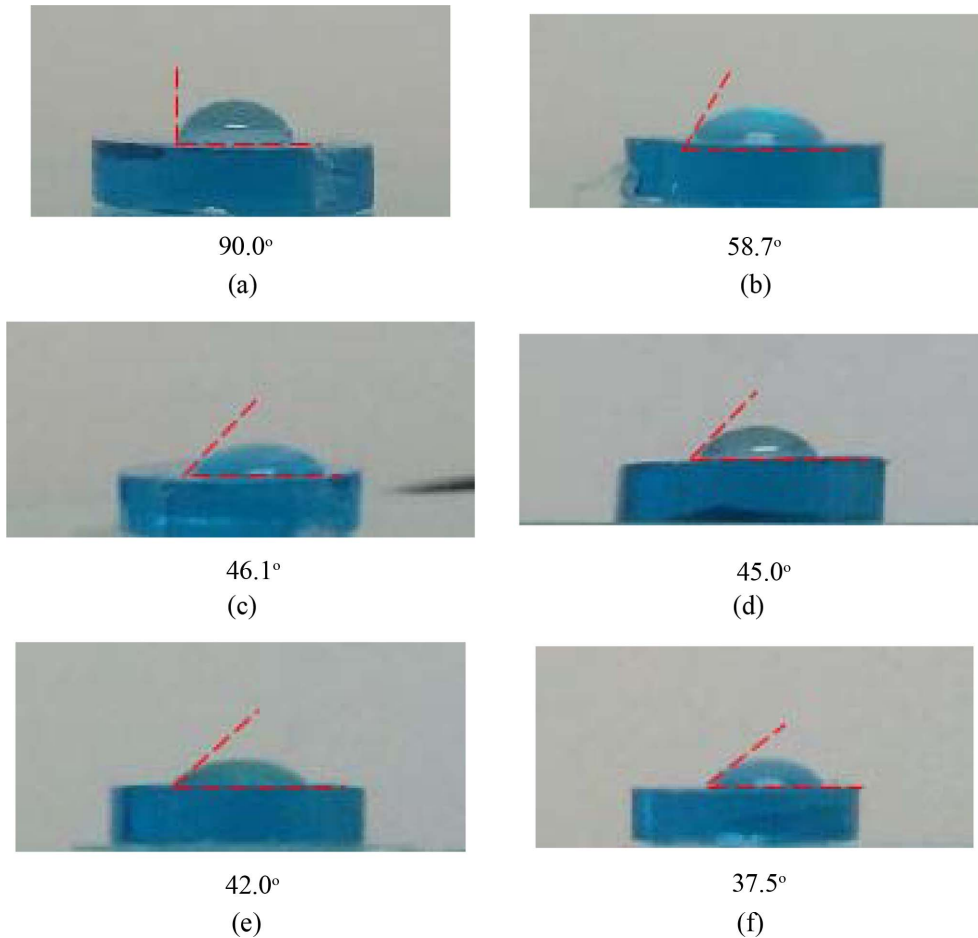


Fig. 2. The contact angles of an RGP lens (a) without applying the plasma treatment; and when applying plasma power values of (b) 200 W (c) 250 W (d) 300 W (e) 350 W (f) 400 W.

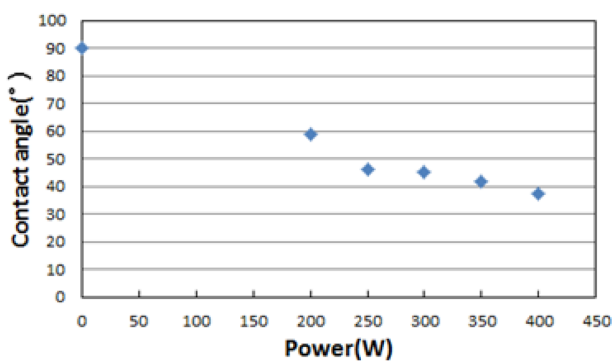


Fig. 3. The contact angles of an RGP lens (a) without applying the plasma treatment; and when applying plasma power values of (b) 200 W (c) 250 W (d) 300 W (e) 350 W (f) 400 W.

인 파장 400 nm에서 780 nm 사이에서 3% 떨어지는 것을 알 수 있으며 그 외 파장 영역인 자외선 영역인 300 nm에서 400 nm사이에서는 1% 떨어짐을 알 수 있었다. Fig. 4 오른쪽에 있는 CIE 좌표는 (0.276, 0.317)에서 (0.273, 0.316)으로 (x, y)가 약간씩 줄어드는 쪽으로 이동한다.

200 W, 250 W, 300 W, 350 W, 400 W로 플라즈마 처리한 RGP 렌즈의 평균투과율은 변화가 작아 투과율 스펙트럼에서 분간하기가 어려워 별도로 Fig. 7에 평균투과율을 표시하였다. 그래프로부터 플라즈마 처리를 안 했을 경우의 평균투과율은 67.97%이며, 200 W로 플라즈마 처리를 했을 때 평균투과율은 67.74%이고, 250 W일 때는 67.04%이고, 300 W일 때는 66.35%이고, 350 W일 때는 66.08%이고, 400 W로 플라즈마 처리를 했을 경우의 평균투과율은 65.23%이다. 처음 200 W로 플라즈마 처리를 했을 경우에는 평균투과율이 큰 변화가 없으나 power가 점점 커짐에 따라 평균투과율이 조금씩 감소함을 알 수 있었다. 이로써 플라즈마 처리를 할 경우 power가 200 W일 경우 접촉각은 많이 감소하지만 평균 투과율은 변화가 거의 없고, 250 W이상인 경우는 접촉각이 조금씩 감소되고 평균투과율도 조금씩 감소됨을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 플라즈마 처리에 의한 친수성기가 커지므로 가시광선 파장에서 흡수가 약간 있어 평균 투과율이 조금 감소한다고 여겨진다.

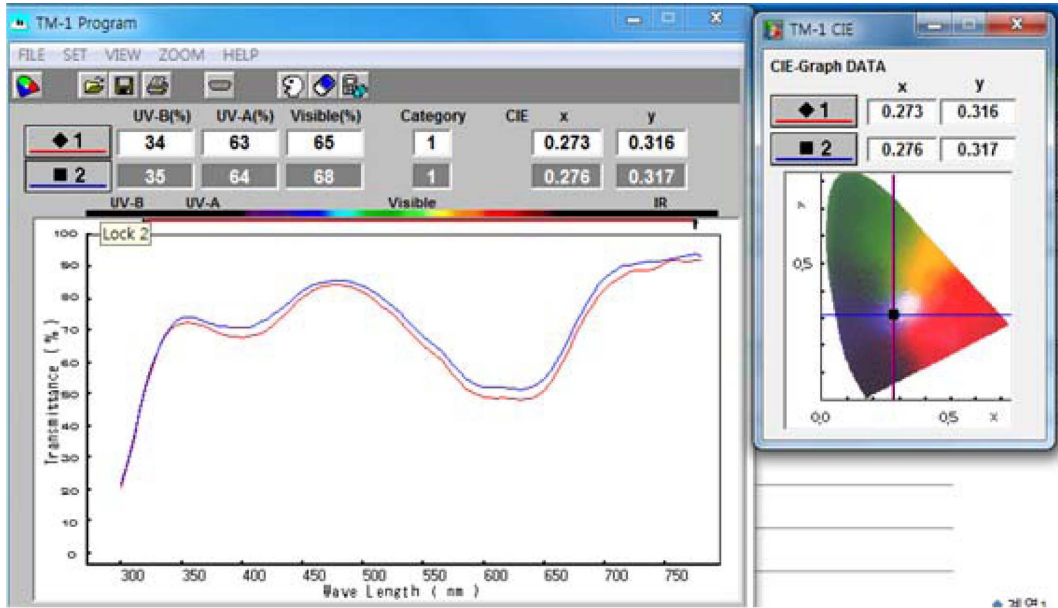


Fig. 4. The transmittance spectrum of an RGP lens without applying the plasma treatment, and when applying a plasma power value of 400 W.

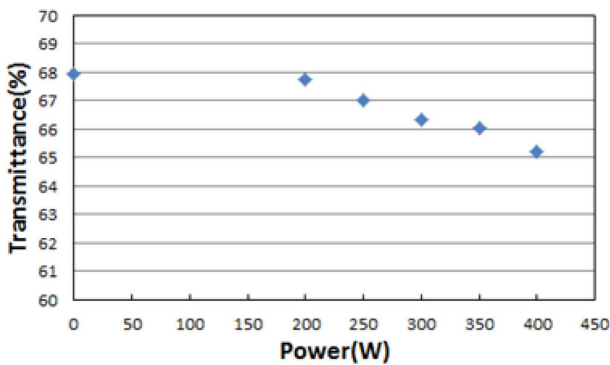


Fig. 5. The transmittance values of an RGP lens without applying the plasma treatment, and when applying plasma power values of 200, 250, 300, 350, and 400 W.

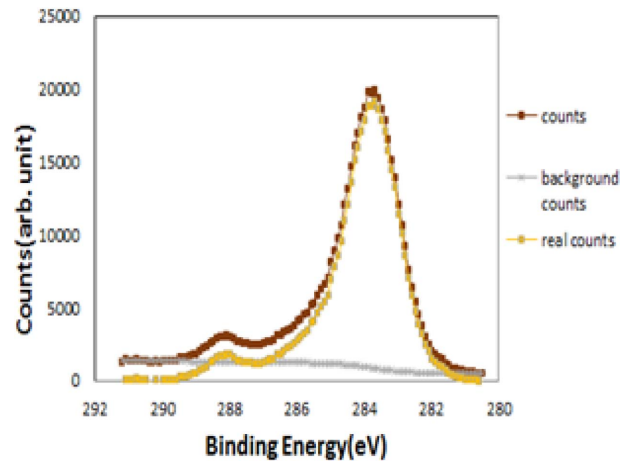


Fig. 6. The XPS narrow scan of C 1s for an RGP lens without applying the plasma treatment.

### 3. XPS 분석

Fig. 6은 RGP 렌즈에 플라즈마 처리를 하지 않았을 때 렌즈 표면을 XPS로 분석한 data로 C 1s 피크 근처의 narrow scan이다. narrow scan 범위는 281 eV에서 292 eV 까지이며, 윗 피크는 background 피크를 포함한 data이고 기저에 있는 완만한 곡선은 background이며 아랫 피크는 background 피크를 뺀 실제 data이다. 이 곡선에서 두드러지게 눈에 띄는 부분은 284.3 eV의 큰 피크와 288.3 eV에 작은 피크이다. 284.3 eV의 큰 peak은 C 1s 피크이며, 288.3eV의 작은 피크는 O-C=O결합에 의한 피크로 친수성기를 나타낸다.

Fig. 7은 RGP 렌즈에 플라즈마 처리를 하지 않았을 때와 200 W, 250 W, 300 W, 350 W, 400 W로 플라즈마 처리를 했을 때 렌즈 표면을 XPS로 분석한 data로 C 1s 피

크 근처의 narrow scan이다. O-C=O결합에 기인하는 288eV에 나타난 피크가 플라즈마 처리를 하지 않았을 때는 피크가 약간 튀어 나왔고 200 W 이상에서는 피크가 형성됨을 알 수 있었다. O-C=O peak의 크기를 수치로 나타내기 위해서 기준이 되는 C 1s 피크의 크기를 20000으로 잡고 O-C=O 피크를 환산하였다. Fig. 8과 같이 플라즈마 처리를 하지 않았을 때 1406이고 200W에서 1779으로 많이 증가한 후 250W 이상에서는 조금씩 커지는 경향을 나타낼 수 있었다.

이러한 결과로부터 플라즈마 처리를 200 W 이상으로 했을 때 접촉각이 커지는 효과는 플라즈마 처리 시 RGP 표면에 O-C=O 결합인 친수성기가 증가하는 것과 밀접한

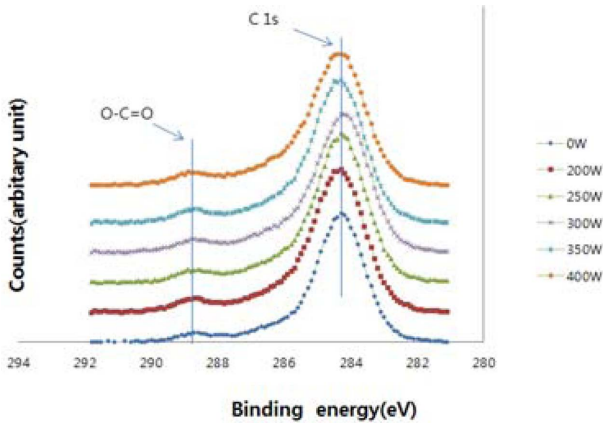


Fig. 7. The XPS narrow scan of C 1s for an RGP lens without applying the plasma treatment, and when applying plasma power values of 200, 250, 300, 350, and 400 W.

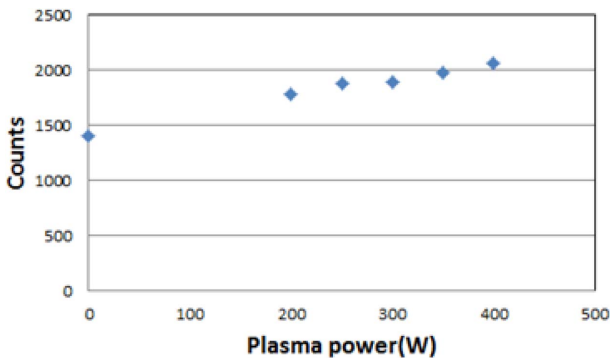


Fig. 8. The count of O-C=O peaks on an RGP lens without applying the plasma treatment, and when applying plasma power values of 200, 250, 300, 350, and 400 W.

관계가 있음을 알 수 있었다.

**결 론**

지름이 13 mm이고 길이가 300 mm인 RGP 렌즈봉을 3 mm의 두께로 편평하게 자른 후 연마기로 연마하였다. 그 후 저온 상압 플라즈마 전원 장치를 이용하여 가스는 공기를 주입시키고 power를 200 W, 250 W, 300 W, 350 W, 400 W로 변화시켜가며 플라즈마 처리를 하였다. RGP 렌즈의 접촉각과 투과율을 측정하였고, 표면의 성분 변화를 관찰하기 위해 XPS 분석을 하였다.

RGP 렌즈에 플라즈마 처리를 하지 않았을 때 렌즈 표면의 접촉각이 90°였고, 200W로 RGP 렌즈에 플라즈마 처리를 했을 때 접촉각이 58.7°로 90°에서 31.3°만큼 줄었다. 그 후 250 W로 플라즈마 처리를 했을 때 46.1°로 58.7°에서 12.6°줄고, 300 W로 플라즈마 처리를 했을 때 45.0°로 46.1°에서 1.1°만큼 줄고, 350 W로 플라즈마 처리를 했을 때 42°로 45°에서 3°만큼 줄고, 400 W로 플라즈

마 처리를 했을 때 37.5°로 42°에서 4.5°가 줄었다.

이와 같이 처음 200 W로 플라즈마를 처리했을 때 플라즈마 처리를 하지 않았을 경우와 비교하여 접촉각이 31.3°로 줄고 50 W씩 power가 증가하여 400 W까지 power가 증가함에 따라 접촉각이 조금씩 증가하는 것을 알 수 있었다.

플라즈마 처리를 안 했을 경우의 평균투과율은 67.97%이며, 200 W로 플라즈마 처리를 했을 때 평균투과율은 67.74%이고, 250 W일 때는 67.04%이고, 300 W일 때는 66.35%이고, 350 W일 때는 66.08%이고, 400 W로 플라즈마 처리를 했을 경우의 평균투과율은 65.23%이다. 처음 200 W로 플라즈마 처리를 했을 경우에는 평균투과율에 큰 변화가 없으나 power가 점점 커짐에 따라 평균투과율이 점점 감소함을 알 수 있었다. 이로써 플라즈마 처리를 할 경우 power가 200 W보다 클 경우 접촉각은 점점 증가하지만 투과율이 떨어짐을 알 수 있었다.

RGP 렌즈에 플라즈마 처리를 하지 않았을 때와 200 W, 250 W, 300 W, 350 W, 400 W로 플라즈마 처리를 했을 때 렌즈 표면을 XPS로 분석한 data에서 O-C=O결합에 기인하는 288 eV에 나타난 피크가 플라즈마 처리를 하지 않았을 때는 약간 튀어 나왔는데 200 W 이상에서는 피크 모양이 형성되는 것을 알 수 있었다. 그 후 250 W 이상에서는 피크가 조금씩 커지는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 플라즈마 처리를 200 W 이상으로 했을 때 접촉각이 커지는 효과는 플라즈마 처리 시 RGP 표면에 O-C=O 결합인 친수성기가 증가하는 것과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

**감사의 글**

본 논문은 2018년도 신한대학교 학술연구비 지원으로 연구되었습니다.

**REFERENCES**

[1] Kim HA, Byun JW, Kim HJ, Jeon IC, Mah KC. The short-term effect and durability of surface plasma treatment of RGP contact lenses. Korean J Vis Sci. 2012; 14(4):391-401.  
 [2] Gasson A, Morris J. The contact lens manual: a practical guide to fitting, 3rd Ed. Butterworth-Heinemann, 2003; 87-88.  
 [3] Young R, Tapper T. Contact lenses: plasma surface treatment. Optician. 2007;6(7):48-52.  
 [4] Yin S, Wang Y, Ren L, Zhao L, Kuang T, Chen H et al. Surface modification of fluorosilicone acrylate RGP contact lens via low-temperature argon plasma. Appl Surf

- Sci. 2008;255(2):483-485.
- [5] Ren L, Yin S, Zhao L, Wang Y, Chen H, Qu J. Study on the surface of fluorosilicone acrylate RGP contact lens treated by low-temperature nitrogen plasma. Appl Surf Sci. 2008;255(2):473-476.
- [6] Jang JK, Shin HS. The effects of plasma surface treatment on fluorosilicone acrylate RGP contact lenses. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2010;15(3):207-212.
- [7] Lee KN, Shin HS, Andre B, Jeon IC, Mah KC. Effect of surface plasma treatment on physicochemical characteristics of rigid gas permeable contact lens. Korean J Vis Sci. 2013;15(2):189-200.
- [8] Shin HS, Jang JK, Kwon YS, Mah KC. Surface modification of rigid gas permeable contact lens treated by using a low-temperature plasma in air. J Korean Phy Soc. 2009; 55(6):2436-2440.

## 저온 상압 플라즈마 표면처리 시 power 변화에 따른 RGP렌즈 표면성질 연구

### 박 문 찬\*

신한대학교 뷰티헬스사이언스부 안경광학전공, 의정부 11644, Korea  
투고일(2018년 11월 16일), 수정일(2018년 12월 3일), 게재확정일(2018년 12월 11일)

**목적:** RGP 렌즈 위에 플라즈마 처리를 power 변화에 따라 RGP 렌즈의 물성 변화를 관찰하고자 하였다. **방법:** 지름이 13 mm이고 길이가 300 mm인 렌즈 봉을 3mm의 두께로 편평하게 자른 후 연마기로 연마하였다. 그 후 저온 상압 플라즈마 전원 장치를 이용하여 가스는 공기를 주입시키고 power를 200 W, 250 W, 300 W, 350 W, 400 W로 변화시켜가며 플라즈마 처리를 하였다. RGP 렌즈의 접촉각과 투과율을 측정하였고, 표면의 성분 변화를 관찰하기 위해 XPS 분석을 하였다. **결과:** 200 W로 플라즈마를 처리했을 때 접촉각이 플라즈마 처리를 하지 않았을 경우와 비교하여 31.3°로 많이 줄었다. 그 후 250 W에서 50 W씩 증가하여 400 W까지 power가 증가함에 따라 접촉각이 조금씩 감소하는 것은 XPS분석으로부터 친수기인 O-C=O가 증가하기 때문이라는 것을 알 수 있다. 200 W로 플라즈마 처리를 했을 경우의 평균투과율이 플라즈마 처리를 하지 않았을 경우의 평균투과율에 비해 큰 변화가 없으나 250 W 이상에서 power가 점점 커짐에 따라 평균투과율이 점점 감소함을 알 수 있었다. **결론:** 플라즈마 power가 커짐에 따라 RPG 렌즈 표면이 접촉각이 점점 작아지고 투과율이 조금씩 떨어짐을 알 수 있었다. 플라즈마 power가 커짐에 따라 접촉각이 작아지는 현상은 플라즈마 처리로 인해 RGP 렌즈 표면에 친수성 분자가 증가하기 때문에 나타난다고 여겨진다.

**주제어:** RGP 렌즈, 플라즈마 처리, 접촉각, 투과율