

---

# 한국 성인의 연령에 따른 각막 전후면 구면수차에 관한 분석

송윤영\*, 정미아\*\*, 강인산\*, 최지영\*

## Analysis of anterior and posterior corneal spherical aberration with age in the korean

Yun-Young Song\*, Mi-A Jung\*\*, In-San Kang\*, Ji-Young Choi\*

**요 약** 20~71세 성인을 연령에 따라 5군으로 분류하여 연령에 의한 정상 한국인의 각막 전후면 수차를 알아보기 위하여 수행되었다. 본 연구의 취지에 동의한 사람 가운데 전진질환이나 안질환이 없으며, 굴절이상 수술을 포함하여 안과 관련 수술병력이 없는 성인 290안을 대상으로 Pentacam 을 사용하여 각막곡률반경, 비구면도, 각막 구면수차를 측정하였다. 전체 대상군의 평균 전면 곡률반경과 구면수차 사이에는 음의 상관관계가 나타났고( $r = -0.22, p < 0.0001$ ), 평균 후면 곡률반경과 구면수차 사이 또한 음의 상관관계가 나타났고( $r = -0.27, p < 0.0001$ ). 또한, 평균 전면 비구면도와 구면수차 사이에는 양의 상관관계가 나타났으나( $r = 0.24, p < 0.0001$ ), 평균 후면 비구면도와 구면수차 사이에는 음의 상관관계가 나타났고( $r = -0.17, p = 0.00288$ ) 전체 대상군의 전면 구면수차의 평균 값은  $0.482 \pm 0.099 \mu m$ , 후면 구면수차의 평균값은  $-0.098 \pm 0.029 \mu m$ 이고, 전체 구면수차의 평균값은  $0.385 \pm 0.097 \mu m$  로 나타났다. 연령에 따른 구면수차의 상관관계를 분석한 결과 전면수차는 연령과 유의한 양의 상관관계( $r = 0.227, p < 0.0001$ )를 보였고, 후면 또한 연령과 유의한 양의 상관관계( $r = 0.349, p < 0.0001$ )를 나타냈다. 한국 정상인의 각막 구면수차 분석을 통하여 한국 정상인 눈의 광학적 부분의 더 나은 이해를 제시하였으며, 현대인의 시력의 질을 향상시키기 위한 추가적인 연구에 활용될 수 있는 기초 자료로 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

**주제어** : 각막곡률반경, 비구면도, 구면수차

**Abstract** We have investigated the variation of spherical aberration of the anterior and posterior surface in a Korean sample population with various age between 20 to 71 years old. We used Pentacam (Oculus Inc., Germany) to measure the corneal radius, asphericity, and spherical aberration of 290 patients with normal cornea. There were negative correlation between corneal anterior radius and spherical aberration( $r = -0.22, p < 0.0001$ ), and, there were negative correlation between corneal posterior radius and spherical aberration( $r = -0.27, p < 0.0001$ ).

There were positive correlation between anterior asphericity and spherical aberration( $r = 0.24, p < 0.0001$ ), however there were negative correlation between posterior asphericity and spherical aberration( $r = -0.17, p = 0.00288$ ). The average of anterior spherical aberration and posterior spherical aberration was  $0.482 \pm 0.099 \mu m$  and  $-0.098 \pm 0.029 \mu m$ . The average of spherical aberration was  $0.385 \pm 0.097 \mu m$ . There were significant positive correlations between anterior spherical aberration and age( $r = 0.227, p < 0.0001$ ), and there were positive correlations between posterior aberration and age( $r = 0.349, p < 0.0001$ ). It is considered that this data can be used as basic information for future studies for improving the quality of vision of modern human and, through the analysis of the spherical aberration of cornea was to provide a better understanding of the optical part of the Korean's eye.

**Key Words** : Corneal radius, Asphericity, Spherical aberration

---

\*제주관광대학교 안경광학과 교수(교신저자),

\*\*극동대학교 안경광학과 겸임교수

논문접수: 2012년 11월 11일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 11월 30일

## 1. 서 론

수차란 원거리의 한 점에서 나온 빛이 광학계에 의하여 상을 맺을 때, 이론상 평행광선은 광학계를 지난 후 한 점으로 맺혀야 하지만, 실제로 한 점에 완전히 모이지 않고 흐려지거나 일그러져 보이는 현상을 말한다. Artal 등은 2001년 전체 안구수차의 구성은 각막전면의 수차와 internal optics의 수차로 구성된다고 하였으며 internal optics란 각막후면, 수정체, 유리체를 모두 포함하는 개념이라고 하였다[3][11]. Physiological optics에서 잘 알려진 두 가지 수차가 있는데 구면수차와 코마수차이다. 구면수차와 망막 상에서 주변광의 초점이탈로 인해 발생하고[3], 코마수차는 안광학적 요소들이 같은 축이 아닐 때, 시축이 동공의 기하학적 중심을 통과하지 않은 경우 발생하게 되며 망막에서의 상은 점 모양의 원형이 아닌 혜성 모양을 갖게 된다[26]. 코마수차는 이중상(double image)과 구면수차는 눈부심(glare)이나 달무리(halo)와 관련이 있다고 보고되었다[8]. 특히 구면수차의 경우 수술 받지 않은 눈에서는 젊은 성인의 각막이 양의 구면수차를 나타내지만, 수정체가 음의 구면 수차이므로, 구면수차가 서로 상쇄되어 비교적 좋은 시력의 질을 유지할 수 있었으나, 나이가 들에 따라 수정체가 양의 구면수차 값으로 증가하게 됨으로써 시력의 질이 떨어지게 된다[1][2][10][17][18]. 현대 사회에서 삶의 질에 대한 요구와 만족도가 점차 커지고, 선진사회 복지의 목표가 됨에 따라, 근래에는 라식등의 각막굴절 교정수술에서 눈의 고위수차를 교정하여 시력의 질을 향상시키려는 목적으로 웨이브프론트라식이 시행되고 있고, 백내장 수술에서도 각막의 구면수차를 보정하는 비구면 인공수정체가 개발이 보급되었다[28]. 그러나, 현재 우리나라에서 사용되고 있는 비구면 인공수정체인 Tecnis(AMO, USA), Acrysof IQ(Alcon, USA), Sofport AO(B&L,USA)는 서양인의 각막 전면 구면수차를 분석하여 개발하고 제작된 것으로[4][5][6][19][21][24], 한국인의 각막 수차에 대한 적합성과 신뢰성에 대한 확인이 미흡하다[23]. 따라서 본 연구에서는 한국인의 각막곡률반경, 비구면도, 각막 구면수차를 측정하고 연령에 따른 변화를 분석해보고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 연구대상 및 방법

본 연구의 취지에 동의한 사람 가운데 전신질환이나

안질환이 없으며, 굴절이상 수술을 포함하여 안과 관련 수술병력이 없는 20~71세의 성인 290안을 대상으로 실시하였다. 대상자의 평균 연령은 33.71±13.70 세이다. 각막 전면과 후면의 각막곡률반경, 비구면도, 구면수차, 코마수차 측정은 Pentacam(Oculus Inc., Germany)을 이용하여 각각 3회씩 측정한 후 평균을 내었다. 측정값을 동공크기 5mm로 표준화시켜 분석하였다.

### 2.2 연구결과 및 고찰

#### 2.2.1 비구면도 k, 곡률반경 r

각막전면과 후면의 곡률반경, 비구면도 k를 측정한 결과 각막 곡률반경은 전면이 7.77±0.24mm, 후면이 6.32±0.22mm로 나타났고, 비구면도 k는 전면이 0.80±0.15, 후면이 1.00±0.28 였다.

각막전면과 후면의 곡률반경은 연령에 따라 감소하였고(전면 r=-0.202, p<0.0001 후면 r=-0.185, p=0.002), 비구면도 k는 연령에 따라 각막전면은 양의 상관관계, 각막 후면은 음의 상관관계를 나타냈으며, 비구면도와 각막 전후면의 상관관계는 각막후면과의 상관관계가 더 높은 것으로 나타났다. (전면 r=0.129, p=0.028 후면 r=-0.441, p<0.0001)[Table 1].

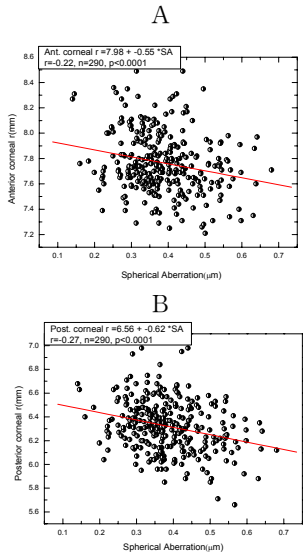
<Table 1> Mean Value(±s.d.) of the Radius and k Value of the Anterior and Posterior surfaces of the Cornea.

Parameter	Mean (±s.d.)	Linear Regression Age Trend (standard error specified)	r	p
Anterior r(mm)	7.77 ±0.24	7.89(±0.037)-0.0035 (±0.001)×age	-0.202	<0.0001
Anterior k	0.80 ±0.15	0.76(±0.023)+0.0014 (±0.0006)×age	0.129	0.028
Posterior r(mm)	6.32 ±0.22	6.42(±0.034)-0.0029 (±0.0009)×age	-0.185	0.002
Posterior k	1.00 ±0.28	1.31(±0.040)-0.0089 (±0.0011)×age	-0.441	<0.0001

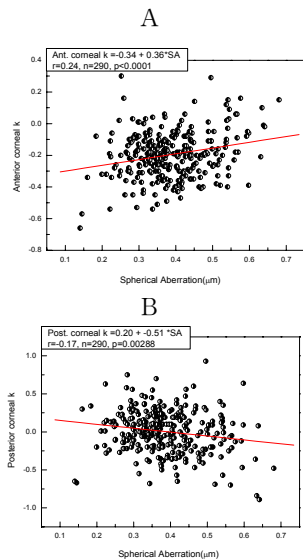
#### 2.2.2 Radius r and Asphericity k with Spherical aberration

전체 대상군의 평균 전면 곡률반경과 구면수차 사이에는 음의 상관관계가 나타났고(r = -0.22, p < 0.0001), 평균 후면 곡률반경과 구면수차 사이 또한 음의 상관관계가 나타났다(r = -0.27, p < 0.0001)[Figure 1].

또한, 평균 전면 비구면도와 구면수차 사이에는 양의 상관관계가 나타났으나( $r = 0.24, p < 0.0001$ ), 평균 후면 비구면도와 구면수차 사이에는 음의 상관관계가 나타났다( $r = -0.17, p = 0.00288$ )[Figure 2].



[Figure 1] The change in the mean radius(r) of the anterior(A) and posterior(B) surface of the cornea with spherical aberration.

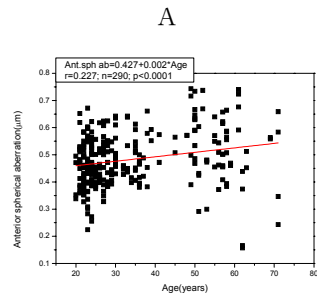


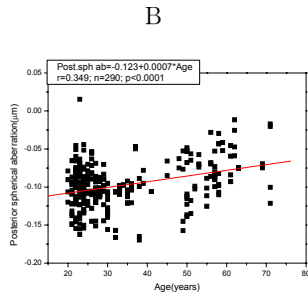
[Figure 2] The change in the mean asphericity k of the anterior(A) and posterior(B) surface of the cornea with spherical aberration.

Sicam 등[25]의 선행 연구에서도 연령에 따른 각막전면 비구면도는  $r=0.39, p<0.001$ , 각막후면 비구면도는  $r=-0.53, p<0.001$ 로 각막전면은 양의 상관관계, 각막후면은 음의 상관관계를 나타내 본 연구결과와 유사한 결과가 보고되었다. Smith 등[9]의 k값은 0.76, Kiely 등[20]의 k값은  $0.74 \pm 0.18$ 로 본 연구결과와 k값 보다 낮아, 이는 Lam C 등[13]의 선행논문에서 아시아인의 각막형상은 코카서스인의 각막형상보다 구형으로 더 스티프하다라는 결과와 일치하여 본 연구에서도 서양인 보다 한국인이 각막의 형태가 더 구형임을 알 수 있다. Sicam 등[25]은 각막 곡률반경과 비구면계수(k)를 이용한 구면수차를 계산하였을 때 구면수차가 없는 비구면계수는  $k = 0.4718$ 이므로 모든 눈의 비구면계수는 이보다 크다고 하였다. 또한, 그는 각막의 구면수차는 곡률반경보다 비구면계수 k에 더 민감하고  $\Delta k = 0.01$ 일 때 구면수차에 2% 변화를 변화시킨다고 보고하였다. 본 연구에서는 비구면계수의 평균이 비구면도 k는 전면이  $0.80 \pm 0.15$ , 후면이  $1.00 \pm 0.28$ 으로 Lee 등[14] 및 Mah 등[16]의 연구결과와 거의 일치하였으나, Carney 등[7]과는 차이가 있었다.

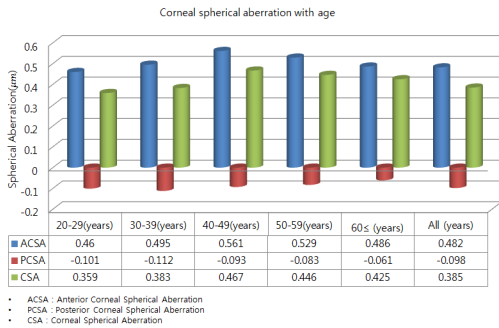
### 2.2.2 구면수차

전체 대상군의 전면 구면수차의 평균 값은  $0.482 \pm 0.099 \mu m$ , 후면 구면수차의 평균값은  $-0.098 \pm 0.029 \mu m$ 이고, 전체 구면수차의 평균값은  $0.385 \pm 0.097 \mu m$ 로 나타났다. 연령에 따른 구면수차의 상관관계를 분석한 결과 전면수차는 연령과 유의한 양의 상관관계( $r=0.227, p<0.0001$ )를 보였고, 후면 또한 연령과 유의한 양의 상관관계( $r=0.349, p<0.0001$ )를 나타냈다. 연령대 중에서는 40대가  $0.467 \pm 0.080 \mu m$ 로 가장 높았다[Figure 3][Figure 4].





[Figure 3] Spherical aberration for the anterior corneal surface and posterior corneal surface as a function of age.



[Figure 4] Corneal spherical aberration with age.

(Table 2) Mean value(±s.d) of Calculated SA of the Corneal Anterior Surface from Different Data Sets.

Investigators	Technique	Age Group(yr)	Nuber of Eyes	Anterior Surface SA	Increase with Age?
Sicam et al. J. Opt. Soc. Am. A/Vol.23.No.3(2006)	Scheimpflug	[18,65]	114	0.049±0.015(μm/mm <sup>2</sup> )	Yes
Amano et al. Am. J. Ophthalmol.137.988-992(2004)	CT*	[18,69]	75	0.2-0.3(μm)	No
Wang et al. J. Cataract Refractive Surg.29. 1514-1521(2003)	CT	[20,79]	228	0.28±0.086(μm)	No
He et al. J. Opt. Soc. Am. A 20. 1152-1163(2003)	CT	[9,29]	90	0.30±0.08(μm)	-
Guirao et al. J. Opt. Soc. Am. A 17. 1697-1702(2000)	CT	[20,30] [40,50] [60,70]	27 15 17	0.032±0.011(μm/mm <sup>2</sup> ) 0.043±0.010(μm/mm <sup>2</sup> ) 0.044±0.011(μm/mm <sup>2</sup> )	Yes

본 연구에서는 각막 전면의 구면수차 평균값은 0.482로 Amanof[22], Wang[15], He[12] 등이 연구한 각막 구면수차의 값보다 컸다[Table 2][25]. 이처럼 차이가 다른 결과를 보이는 이유는 본 연구의 비구면 계수 평균값이 0.80이고 서양인의 비구면 계수 평균값이 0.74[20]이기 때문이다. 이는 Sicam[25]등에서 각막의 구면수차가 비구면계수 k값에 의존하고, 비구면계수  $\Delta k = 0.01$ 일 때 구면수차에 2% 변화를 변화시킨다고 보고가 있어, 이것을

실제적으로 계산해보면, 서양인과의 비구면계수 차이가 0.06 이므로 참고논문에 비해 서양인의 수차값보다 12%가 더 큰 수차값의 결과가 나올 수 밖에 없다. 하지만, 이 계산된 값과 본 연구의 측정된 수차값의 차이가 나는 이유는 Sicam[25] 등의 논문은 서양인에 의한 것이므로 비구면계수  $\Delta k$ 에 따른 구면수차의 변화가 동양인과 다르다고 보여지기 때문에 인종적인 차이에 의한 것을 무시할 수가 없다고 생각되어 진다.

각막 후면의 평균구면 수차값은  $-0.098\mu m$  로 전면과 후면의 구면수차의 합인 전체 각막의 구면 수차값은 전 연령대 평균  $0.385\mu m$  로 비구면 인공수정체 수차값 기준이 되는 Wang[15] 등의 평균 수차값  $0.28\mu m$ 보다 크다. 따라서 각막후면의 구면수차 값까지 고려하였을 때는  $-0.27\mu m$  를 갖는 Technis를 넣는 경우 상쇄되지 않는 구면수차가 잔류하게 된다. 이와 같이 상쇄되지 않는 값 때문에 한국인에 대해서는 서양인에 대해서 고려했던 수차와 다른 값을 고려해야 된다. 또한 연령에 따른 각막 구면수차의 변화는 나이가 들면서 전면과 후면 수차 모두 증가하는 양상을 보여 Sicam[25]등의 결과와 비슷하였으나, 본 연구의 각막전면의 수차와 Sicam[25]의 각막 전면수차를 연령별로 비교해본 결과 한국인의 수차증가에 비해 외국인의 수차증가율이 36% 가량 높았다. 연령에 따라 수차 값이 증가하다가 50대부터 다시 조금씩 줄어드는 것을 볼 수 있었다. 이에 기존의 연구들에서 본 연구와 마찬가지로 연령별로 각막의 구면수차값이 달라, 환자들에게 수차값이 획일화된 비구면 인공수정체를 삽입할 경우 구면수차의 완전한 교정이 이루어지지 않으며, 오히려 보정하지 못한 양의 구면수차를 유발하여 시력의 질을 저하시킬 수 있다. 그러므로 각각의 연령에 맞는 수차값을 가진 비구면 인공수정체 설계도 고려해야 된다.

### 참 고 문 헌

[1] Artal P, Berrio E, Guirao A, Navarro R.(2002) Contribution of the cornea and internal surface to the change of ocular aberrations with age. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis 19:137-143.  
 [2] Artal P, Guirao A.(1998) Contributions of the cornea and the lens to the aberrations of the human eye. Opt Lett 23:1713-1715.  
 [3] Artal P, Guirao A, Berrio E, Williams DR.(2001)

- Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye. *J Vis* 1:1-8.
- [4] Awwad ST, Lehmann JD, McCulley JP, Bowman RW.(2007) A comparison of higher order aberrations in eyes implanted with AcrySof IQ SN60WF and AcrySof SN60AT intraocular lenses. *Eur J Ophthalmol* 17:320-326.
- [5] Bellucci R, Scialdone A, Buratto L, et al.(2005) Visual acuity and contrast sensitivity comparison between Tecnis and AcrySof SA60AT intraocular lenses: A multicenter randomized study. *J Cataract Refract Surg* 31:712-717.
- [6] Caporossi A, Martone G, Casprini F, Rapisarda L.(2007) Prospective randomized study of clinical performance of 3 aspheric and 2 spherical intraocular lenses in 250 eyes. *J Refract Surg* 23:639-648
- [7] Carney LG, Mainstone JC, Henderson SA (1997) Corneal topography and myopia, A cross-sectional study. *Investigative ophthalmology & visual science* 38(22), 311-320.
- [8] Chalita MR, Chavala S, Xu M, Krueger RR.(2004) Wavefront analysis in post-LASIK eyes and its correlation with visual symptoms, refraction, and topography. *Ophthalmology* 111:447-453.
- [9] G. Smith, M. J. Cox, R. Calver, and L. F. Garner (2001) "The spherical aberration of the crystalline lens of the human eye," *Vision Res.* 41, 235 - 243.
- [10] Guirao A, Redondo M, Artal P.(2000) Optical aberrations of the human cornea as a function of age. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 17:1697-1702.
- [11] Ivanoff A.(1953) *Aberrations de l'oeil*. Paris: Editions de la Revue d'Optique.
- [12] J. C. He, J. Gwiazda, F. Thorn, and R. Held (2003) "Wave-front aberrations in the anterior corneal surface and the whole eye," *J. Opt. Soc. Am. A* 20, 1155-1163.
- [13] Lam C and Loran D. (1991) Designing contact lenses for oriental eyes, *J. Br. Contact Lens Assoc.* Vol.14, Issue 3, 109-114.
- [14] Lee HJ, Won CH, Song YY, Mah KC (2002) Correlations between Refractive Error. and Corneal Shapoe. *Korean J. Vis. Sci.* 4(1), 11-18
- [15] L. Wang, E. Dai, D. D. Koch, and A. Nathoo (2003) "Optical aberrations of the human anterior cornea," *J. Cataract Refractive Surg.* 29, 1514 - -1521.
- [16] Mah KC, Lee HJ, Kwon YS (2000) Measurements of ocular dimensions and its intercorrelations in Koreans. *Korean J. Vis. Sci.* 2(2), 145-160.
- [17] McLellan JS, Marcos S, Burns SA.(2001) Age-related changes in monochromatic wave aberrations of the human eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 42:1390-1395.
- [18] Oshika T, Klyce SD, Applegate RA, Howland HC.(1999) Changes in corneal wavefront aberrations with aging. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 40:1351-1355.
- [19] Packer M, Fine IH, Hoffman RS, Piers PA.(2002) Prospective randomized trial of an anterior surface modified prolate intraocular lens. *J Refract Surg* 18:692-696.
- [20] P. M. Kiely, G. Smith, and G. Carney,(1982) "The mean shape of the human cornea," *Opt. Acta* 29, 1027 - 1040.
- [21] Rocha K, Soriano E, Chalita M, et al.(2006) Wavefront analysis and contrast sensitivity of aspheric and spherical intraocular lenses. *Am J Ophthalmol* 142:750-756.
- [22] S. Amano, Y. Amano, S. Yamagami, T. Miyai, K. Miyata, T. Samejima, C. Oshika, and T. Oshika, (2004) "Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations," *Am. J. Ophthalmol.* 137, 988-992.
- [23] Tae Hyung Lim, Jong Rak Lee et al (2010) Anterior and Posterior corneal spherical aberration measured with pentacam in the Korean, *J Korean Ophthalmol Soc*, 51(6), 816-821.
- [24] Tzelikis P, Akaishi L, Trindade F, Boteon J.(2007) Ocular aberrations and contrast sensitivity after cataract surgery with AcrySof IQ intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 33:1918-1924.
- [25] V. A. Sicam, M. Dubbelman, R. G. L. van der Heijde (2006) Spherical aberration of the anterior

and posterior surface of the human cornea, J. Opt. Soc. Am. A, Vol.23, 544-549.

- [26] Walsh G.(1988) The effect of mydriasis on the pupillary centration of the human eye. Ophthalmic Physiol Opt 8:178 - 182.
- [27] Winnie S. H. Goh and Carly S. Y. Lam (1994) Changes in refractive trends and optical components of Hong Kong Chinese aged 19-39 years. Ophthal. Physiol. Opt. Vol. 14, 378-382.
- [28] Yum JH, Choi SK et al.(2009) Comparison of aberrations in korean normal eyes measured with two different aberrameters, J Korean Ophthalmol Soc, 50(12), 1789-1794.

### 최 지 영



- 2002년 6월: 부산대학교 제약학과 생화학전공(석사졸업)
- 2004년 3월~현재: 제주관광대학교 안경광학과 교수
- 관심분야: 안과학, 양안시
- E-Mail: chemji@ctc.ac.kr

### 송 윤 영



- 2004년 2월: 성균관대학교 물리교육(교육학석사)
- 2007년 8월: 성균관대학교 물리학과(박사과정 수료)
- 2006년 3월~현재: 제주관광대학교 안경광학과 교수
- 관심분야: 안경광학, 수차
- E-Mail: yun8260@hanmail.net

### 정 미 아



- 2008년 2월 : 성균관대학교 나노과학 전공(이학박사)
- 2010년 3월~현재: 극동대학교 안경광학과 겸임교수
- 관심분야: 광학, 재료, 안광학기기
- E-Mail: pearlsma@naver.com

### 강 인 산



- 1997년 7월: 대구가톨릭대학교생물학과(이학석사)
- 2001년 3월~현재: 제주관광대학교 안경광학과 교수
- 관심분야: 안경학, 굴절
- E-Mail: kanginsan@hanmail.net