

Analysis of the Reflection Characteristics of a Rectangular Corner Cube Retro-Reflector

Yong-Beom Jeong, Young-Hoon Kim, and Beom-Hoan O[†]

Department of Information and Communication Engineering, Inha University, LED-Smart Technology Advanced Research Center(LED-STAR), 100 Inharo, Nam-gu, Incheon 402-751, Korea

(Received October 23, 2014; Revised manuscript December 12, 2014; Accepted January 5, 2015)

The applications for retro-reflectors, with their unique reflection characteristics, have been expanding, to include venetian blind slats, displays, traffic safety mark, etc. We propose expandable structures of inclined corner cube retro-reflectors and analyze their corresponding reflection characteristics. Various traffic safety structures with retro-reflectors may be designed more quantitatively using the chart of characteristics we have presented.

Keywords: Geometric optics, Corner cube reflector, Retro reflection, Traffic safety, Retro-reflection characteristic chart
OCIS codes: (080.0080) Geometric optics; (080.4035) Mirror system design

사각면 코너 큐브 재귀 반사체의 반사출력광 특성 및 응용

정용범 · 김영훈 · 오범환[†]

인하대학교 정보통신공학부, 광소자 및 LED 연구실
Ⓞ 402-751 인천시 남구 인하로 100

(2014년 10월 23일 받음, 2014년 12월 12일 수정본 받음, 2015년 1월 5일 게재 확정)

재귀 반사체(Retro Reflector)는 그 반사특성을 살려 베네치안 블라인드 슬랫, 디스플레이, 그리고 교통 안전 분야 등에서 활용 영역이 넓어져 가고 있다. 재귀 반사율 분포를 조절할 수 있는 코너 큐브 재귀 반사체를 정의하고, 입사각도에 따라 그 재귀반사 광의 특성을 분석하여 교통 안전 분야에 적용하고자 하였다. 특성 분석 결과를 용이하게 파악할 수 있도록 시각화한 특성 도표를 고안하였으며, 이를 이용하여 다양한 교통 안전 분야의 재귀 반사 시트를 정량적으로 설계할 수 있음을 보였다.

Keywords: 기하광학, 재귀 반사, 코너 큐브, 교통 안전, 반사 특성 도표
OCIS codes: (080.0080) Geometric optics; (080.4035) Mirror system design

I. 서 론

재귀 반사체(Retro reflector)는, 일반적인 반사와는 달리, 광원 방향으로 입사광을 반사하는 특성을 가진 반사체로 다양한 응용 분야에서 널리 사용되고 있다. 베네치안 블라인드(Venetian Blinds)의 슬랫(Slat)으로 적용되어^[1], 일반적인 모양을 지닌 슬랫의 차양 특성을 넘어서 채광의 목적을 달성하는 경우가 있으며^[2, 3], 디스플레이^[4], 광소자의 공진기^[5]로도 사용되고 있다. 특히 교통 표지 및 야간 안전복 등 교통 안전 분야^[6-9]에서 야간 가시성을 요하는 대상에 범용적으로 적용되는데, 이는 사용자의 안전에 직결되기 때문에 그에 해당하는 관련 지침이 제정되어 있으며^[7, 8], 관련 지침에서 제시

하는 재귀 반사 기준은 제작 기술의 발전으로 인하여 점차 증가하고 있다. 교통 안전 분야에 적용되는 재귀 반사체는 평면형 시트에 단위 재귀 반사 요소를 포함시키는 구조에 따라 크게 두 종류로 나뉘는데, 각각은 방울 모양의 비드(bead)^[6]형 또는 코너 큐브(corner-cube)^[11, 12]형이다.

비드형은 용이한 공정을 바탕으로 저렴한 제작이 가능해 널리 사용되어 왔다. 이는 미세한 유리구슬 (bead)을 시트에 균일하게 띄우거나, 시트 내에 분포시키는 방법으로 제작하며 그 분포 특성 때문에 재귀 반사율은 비교적 낮다. 반면, 코너 큐브형은 입방체 형태의 단위 반사체로 이루어진 격자 구조를 시트 위 또는 시트 내에 형성하는 방법으로 제작되는데, 미세 격자구조를 제작하는 공정이 비교적 까다로워^[11, 12]

[†]E-mail: obh@inha.ac.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

비드형에 비해 비용적 측면에서 경쟁력이 떨어지지만, 높은 성능의 재귀 반사율을 얻을 수 있어 고휘도의 재귀 반사시트가 필요한 예에 적용되고 있다. 이러한 코너 큐브형 재귀 반사체(CC-RR, Corner Cube Retro Reflector)의 재귀 반사 특성은 필요에 따라 실험적으로 제시되어 왔으나 그 반사 분포를 조절하는 구조는 아직 발표된 바 없으며, 반사 효율을 개선하는 구조 최적화와 이와 관련한 반사특성의 정량화는 아직 미비하므로 체계적인 논의가 필요하다.

이제 기준 모델로 삼각면 CC-RR과 사각면 CC-RR을 제시하고 이들을 간략히 비교 평가 후, 사각면 CC-RR을 선택하여 정량화된 논의를 진행한다. 기준 모델을 기울였을 때 요구되는 구조 특성을 제시하며, 재귀 반사 특성을 확인한다. 이렇게 정량화된 반사특성은 ‘특성 도표’를 이용해 시각화되며, 교통 안전 분야의 적용 가능성을 제시한다.

II-1. 사각면 CC-RR의 단위구조

CC-RR의 단위구조는 서로 ‘수직을 이루는 세 반사면’이다. 단위구조의 경우에는 세 반사면이 어떠한 평면도형이어도 상관없으나, 평면적 격자구조 형성을 위해서는 반사면 형태가 삼각형과 사각형으로 제한되며, 각각을 “삼각면 CC-RR”, “사각면 CC-RR”로 정의할 수 있다. 이제 Fig. 1. (a), (b)에 보인 바와 같이, 구조의 수직축(그림에서 입사광 방향벡터를 중심으로 대칭 구조를 갖는 두 CC-RR을 고려하면, 각 CC-RR은 직각이등변삼각형, 정사각형으로 이루어지게 되

로, 이를 기준 단위구조로 설정한다. 이러한 단위구조들을 평면적으로 배치하면, 삼각면 CC-RR은 투영면이 바로 서거나 뒤집힌 정삼각형인 격자를 이루고, 사각면 CC-RR은 동일한 정육각형이 연속적으로 이어지는 정육각 격자를 이룬다.(Fig. 1. (c), (d)) 이러한 구조를 갖는 각각의 CC-RR의 경우, Fig. 1.의 (a)와 (b)에서 A, B, C 세 점을 잇는 평면과 그 평행한 평면을 ‘수평면’으로 두면, 수평면에 수직인 각도로 빛이 입사할 시에, 각각 50%, 100%의 재귀 반사율을 가지는 것이 알려져 있다. 반사 특성 상 사각면 CC-RR이 우수하나, 제작상 어려움으로 인해 삼각면 CC-RR이 비교적 많이 사용되고 있다.^[12]

앞서 제시한 기준 단위구조를 바탕으로 수직이 아닌 입사각도로 입사하는 광에 대하여 최대 재귀 반사율(삼각면 50%, 사각면 100%)을 갖도록 하기 위해서는 수평면에 대하여 서로 상보적으로 기울어져야 하며, 최대 재귀 반사율을 보이는 입사각도를 ‘광축’이라고 한다.^[11] 삼각면 CC-RR의 경우, 단위 CC-RR(ΔABO , ΔACO , ΔBCO 의 세 이등변삼각형)이 존재하므로 이를 광축 방향으로 기울이면서 평면 배열을 유지하려면 각 삼각형이 변형되어야 하며, 바로 선 삼각형과 뒤집힌 삼각형의 기울인 광축방향이 서로 반대가 되는데, 이를 동일하게 하려면 평면적 격자구조 형성이 불가능하다. 반면 사각면 CC-RR은 동일한 정육각형이 연속적으로 이루어져 있기 때문에, 단위구조를 기울일 경우에도 격자구조 생성이 가능하므로, 특정 목표각에 대한 최대 재귀 반사율 달성이 가능하다. 이러한 삼각면 CC-RR보다 나은 재귀 반사율 및

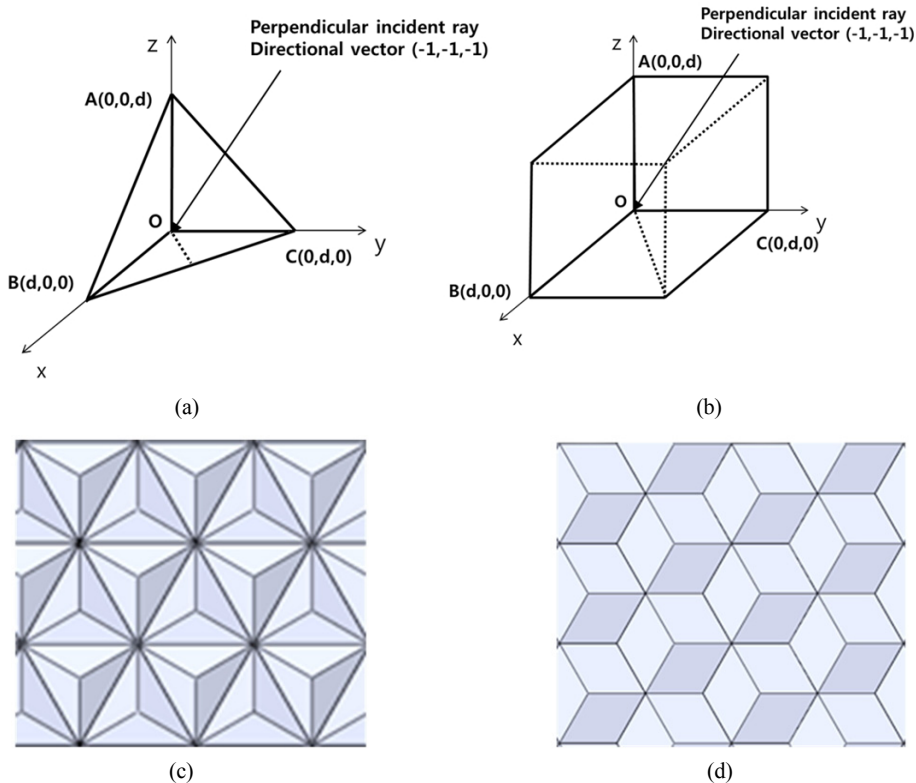


FIG. 1. (a), (b) Structure of triangular, rectangular CC-RR unit, (c), (d) Lattice structure of triangular, rectangular CC-RR.

기울어짐 특성들을 바탕으로, 사각면 CC-RR의 특성 분석을 진행한다.

기준구조(Fig. 2. (a)의 첫 그림, $\gamma=0^\circ$)를 기울이는 것을 기술하기 위하여, ‘기울임 평면’을 Fig. 2.(b)의 D-O-A를 포함하는 평면으로 정의하자. 이 때 Fig. 2. (c) 및 (d)의 관점으로 보아, 시계방향으로 기준구조가 기울어지는 각도를 ‘기울임 특성 각도 γ ’로 하여 일반화하면, 사각면 CC-RR의 ‘구조 특성 각 θ ’를, 수평면으로부터 ‘두 반사면의 경계’까지의 각도로 정의할 수 있다. 기준 구조의 ‘구조 특성각 θ_0 ’는 $\theta_0=35.26439^\circ$ (상수)이며,(Fig. 1. (b)로부터 간단히 계산 가능) 이를 이용하면 기울어진 구조의 ‘구조 특성각 θ ’는 θ_0 와 γ 를 이용하여 $\theta = \theta_0 + \gamma$ 로 결정할 수 있다.

이러한 정의에 따른 기준구조($\gamma=0^\circ$)와, 기울어진 구조 중, 구조파악의 편의상, 음, 양에 대해 대표적으로, $\gamma=15^\circ$, $\gamma=-15^\circ$ 를 선택하여 그 구조를 (Fig. 2)에 표현하였다. γ 에 따른 구조적 특징을 명확히 확인할 수 있도록, 수평면을 수직 위에서 바라보는 그림(Fig. 2(a), 전체 구조) 및 수평면을 옆에서 바라보는 그림(Fig. 2(c), 수직 구조)을 표현하였고, 이들을 각각 간략화해 Fig. 2(b), Fig. 2(d)에 제시하였다. Fig. 2(a)의 구조 중 단위요소에 검정색 육각형을 표시하였는데,

이를 간략화한 것이 Fig. 2(b)이며 ‘단위구조 평면형상’라고 한다. 전체 구조와 단위구조 평면형상을 살펴보면, γ 가 0일 때는, 반사면의 원래 구조는 모두 정사각형이면서 단위구조 평면형상은 각각이 평행사변형 꼴로 사영되어 전체는 정육각형임을 확인할 수 있으며, γ 가 0이 아닐 경우, 반사면의 원래 구조는 한 정사각형과 두 직사각형으로 이루어지면서, 사영된 평면형상은 정육각형이 아닌 육각형이 된다. 만약 여기서 항상 존재하는 한 정사각형 반사면(A, O를 포함하는 정사각형 반사면)의 크기를 한변의 길이를 1로 하여 고정한다면, γ 가 0° 보다 클 때는 단위구조 평면형상 육각형의 위, 아랫변이 작아지고 γ 가 0° 보다 작을 경우, 육각형의 위, 아랫변이 길어진다는 일반화가 가능하다. 또한 Fig. 2. (a)의 점선으로 이어진 부분의 측면도를 수직 구조로, Fig. 2. (c)에 나타내었다. 흐리게 처리된 부분은 다음 배열의 단면 구조이며, 점 D-O-A를 잇는 선분 구조를 간단히 표현한 것이 Fig. 2. (d)로, ‘수직 간단 구조’라고 한다. 수직 간단 구조를 보면, $\gamma=0^\circ$ 인 경우를 기준으로 γ 를 조절할 때 각 변의 길이가 변화하는 것을 확인할 수 있다.

γ 를 조절할 때 만족해야 하는 평면격자 형성을 위한 조건은 A, B, C, D, O점 간의 수평면에 대한 관계로 간략히 표현

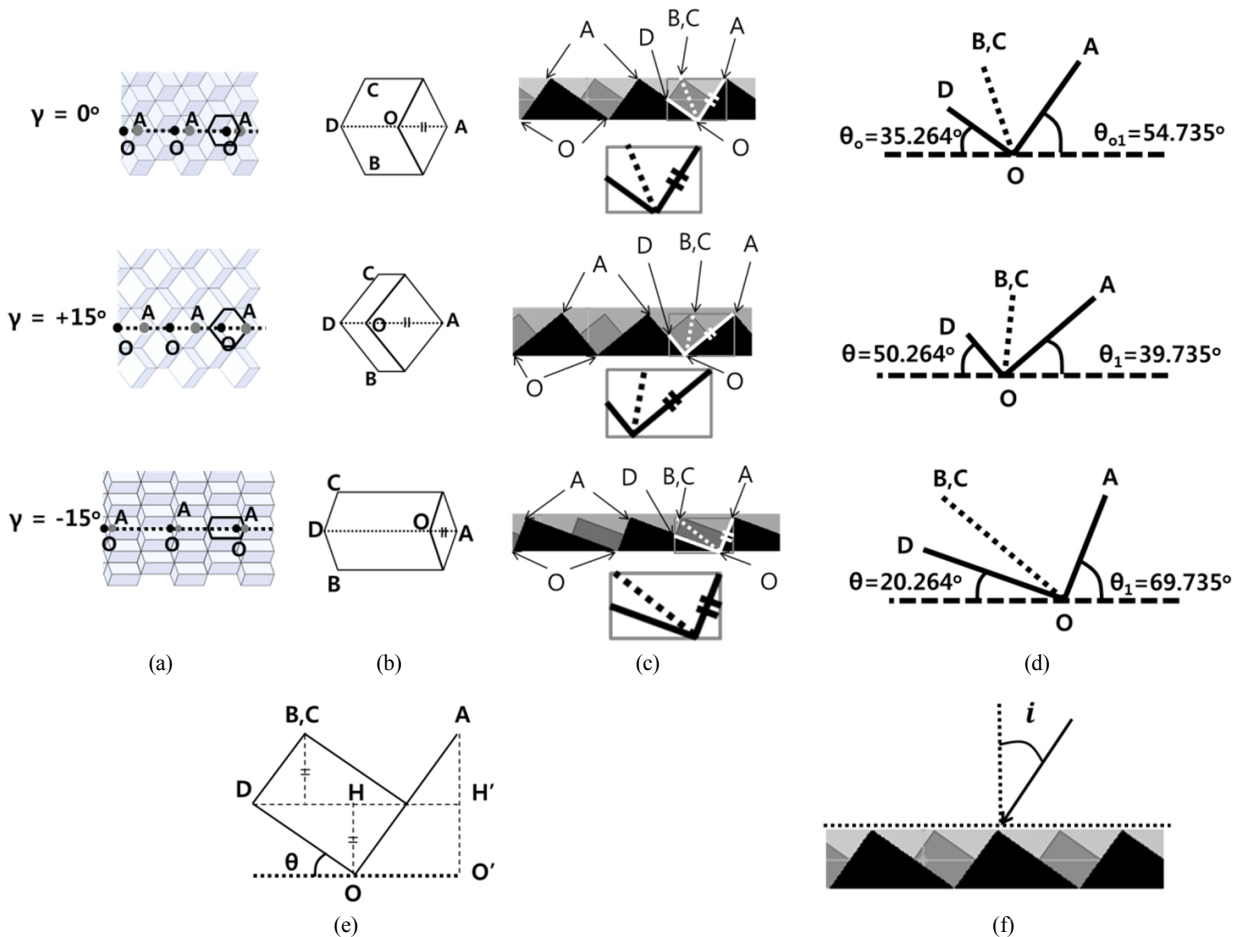


FIG. 2. Structure of CC-RR, (a) Whole structure, (b) Top-view of a unit structure, (c) Perpendicular structure, (d) Simple perpendicular structure, (e) Conditions for forming the planar lattice structure, (f) Definition of incident angle.

된다. (Fig. 2. (e)) 즉, D점의 높이(\overline{OH})가 A점 높이(\overline{OA})에 비해 반이어야 하는 것으로, 이 경우에만 배열을 이루어 연이어진 구조가 문제 없이 생성된다. 그리고 정규화된 입사각 i 는 기울임 평면에서 존재하는 각도이며(Fig. 2(f)) 수평면에 수직인 각도를 기준 0° 로 삼아 시계방향을 +, 반시계방향을 -로 정의한다.

II-2. 사각면 CC-RR의 특성함수 및 도표

기준 사각면 CC-RR은 광축각도로 입사하는, 수직입사광에 대하여 100%의 재귀 반사율을 갖는다. 이는 수직입사광이 세 반사면 중 한 반사면에 입사한다면, 그 반사광이 나머지 두 반사면에 차례로 모두 반사되므로(총 3회 반사), 그에 따라 모두 재귀 출사하기 때문이며, 이를 보이기 위하여 기준 사각면 CC-RR의 가장 바깥 부분에 수직 입사광이 입사하는 경우(격자구조 형성 시, 타 단위구조와의 경계)를 가정하여 Fig. 3. (a)에 정리하였다. 그림에서, 방향벡터가 (-1,-1,-1)인 수직입사광(Inc.)이 xy평면의 점선($\delta,1,0$)으로 입사할 경우, 첫 번째 반사광은 \overline{PA} 벡터(-1,-1,1) 성분을 갖고 yz평면 상의 점선($0,1-\delta,\delta$)로 반사되며, 이 두 번째 반사광은 (1,-1,1) 방향으로 반사되어 zx평면 상의 점선($1-\delta,0,1$)을 향한다. 이 지점에서 마지막으로 반사된 빛(Ref.)은 (1,1,1) 방향벡터를 가지는데, 이는 입사광 벡터 (-1,-1,-1)과 반대 방향이므로, 재귀 반사가 이뤄졌음을 알 수 있다. 앞선 유도과정을 대칭적으로 고려할 경우, 수직입사광은 재귀 반사체의 어떤 지점으로 입사하더라도 모두 재귀 출사함을 알 수 있다. 그러나 광축각도를 제외한 특정 입사각으로 빛이 입사한 경우, 일부 빛은 한 반사면에 반사된 후 탈출되어 추가 반사가 없거나, 혹은 추가적인 반사(총 2회 반사)에 의하여 비재귀 반사할 수 있으므로, 재귀 반사율은 모든 입사각도에서 항상 100%가 아

니며 입사광 각도의 함수로 주어짐을 알 수 있다.

기울어진 사각면 CC-RR의 경우 ‘광축각도’가 수직이 아니며, γ 에 따른 해당 ‘광축각도’는 반사의 법칙과 재귀 반사의 이해를 통하여 유도할 수 있다. Figure 3. (b)는 Fig. 2. (d)에서 보인 기울어짐을 포함한 일반적인 사각면 CC-RR의 수직 간단 구조를 나타낸 것으로, 광축각도 결정에 사용된다. 광축각도 결정 조건은, Fig. 3. (b)에서, 입사광이 구조의 최고점 A를 향해 ‘특정 입사 각도’로 입사할 때, 반사광이 D점을 향하는 것이다. 이 조건을 검증하기 위하여 ‘기울임 평면’ 내에서 이를 평면적으로 확장하면, \overline{OA} 선상의 점에 ‘동일한 입사각도’의 입사광이 입사할 경우에, \overline{DO} 선상의 대응되는 점으로 반사되므로(반대의 경우도 동일) 두 번 반사에 의하여 평면 내 입사광량 모두가 재귀 반사하는 것을 알 수 있으며,^[1] 이를 ‘기울임 평면’에 평행한 평면들로 다시 확장하여도, 항상 세 번의 반사를 통한 재귀 반사가 가능함을 추후 시뮬레이션 결과로 확인할 수 있다. 광축 결정 조건에 해당하는 ‘특정 입사 각도’ i 를 ‘광축각도’ $i_p=P$ 로 정의하며, γ 에 따른 그 유도는 다음과 같다.

각 DAO를 α 라고 정의하면, ‘광축각도’ P는 $P=90^\circ-\theta_1-\alpha$ 로 결정된다. 여기서 θ_1 은 기울어짐 γ 와 구조 특성각 θ 에 의해서,

$$\theta_1 = \theta_0 - \gamma \quad (\theta = \theta_0 + \gamma)$$

로 결정되어 있는 각도이다. 기울어짐 γ 이 0이 아님에도 항상 존재하는 정사각형(를 대각선으로 하는 정사각형)의 한 변의 길이를 1로 가정해, 의 길이는 라 하자. 이와 Fig. 2. (e)의 평면격자 형성조건을 이용하면 x는 식 (1)과 같다.

$$x = \frac{\tan\theta_1}{\sqrt{2}} \tag{1}$$

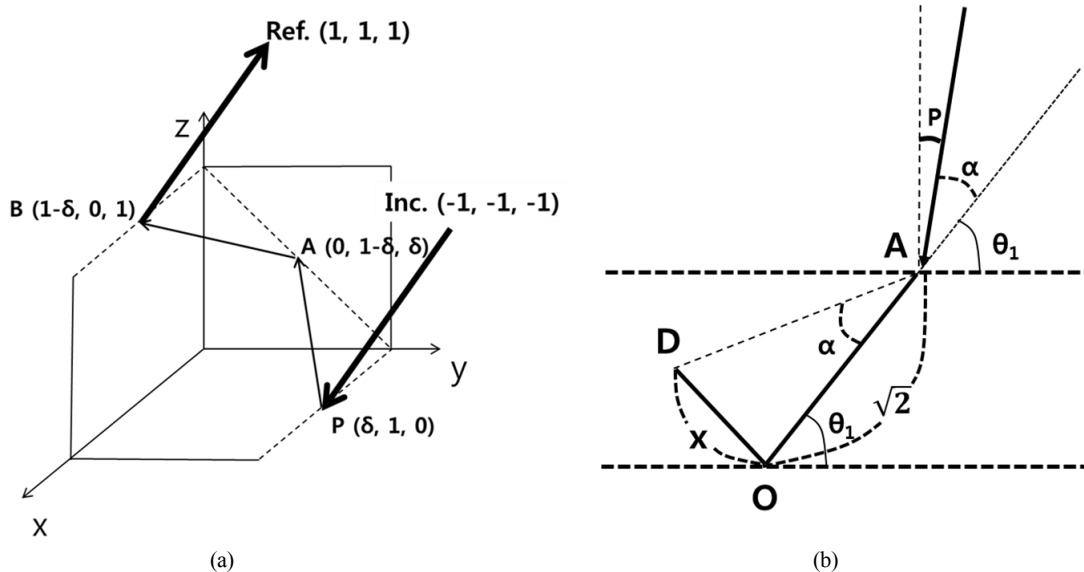


FIG. 3. (a) Retro reflection characteristics of standard CC-RR under normal incidence condition (b) Optical axis calculation under changeable γ condition.

그리고 광축 입사광과 \overline{AO} 의 연장선 간의 각 α 는,

$$\alpha = \arctan\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) = \arctan\left(\frac{1}{2}\tan(\theta_1)\right)$$

로 구할 수 있다. 따라서 광축각도 P 는 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} P &= 90^\circ - \theta - \alpha \\ &= 90^\circ - \theta - \arctan\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \\ &= 90^\circ - \theta - \arctan\left(\frac{1}{2}\tan(\theta)\right) \end{aligned}$$

이를 통해 기준 단위 구조($\gamma=0^\circ$)에 대해서 $P=0^\circ$ 를 구할 수 있으며, 기타 기울어진 구조($\gamma \neq 0^\circ$)에 대해서도 광축각도 P 를 구할 수 있다. 또한 광축각도 P 는 γ 에 대하여 비선형적임을 확인 가능하다.

일반적인 사각면 CC-RR의 재귀광 특성은 앞서 제시한 광축각도를 중심으로, 주변부로 갈수록 비대칭적으로 작아지며 양쪽 거울면 경계를 가리키는 구조 특성각 θ 에 다다를 경우 0이 될 것을 예상할 수 있다. 사각면 CC-RR에 대한 해석적인 특성함수 유도는 반사면의 반사율을 1이라 가정한 경우에 대해, 입사각 i 인 입사각에 대한 기하학적인 투영 면적비를 고려하여 얻을 수 있으며, 얻은 결과를 ‘사각면 CC-RR의 특성함수’라고 한다. 기준 사각면 CC-RR의 특성함수를 시각화한 특성도표(Fig. 4.(a))는 직관적인 각도의 표현을 위하여 각도기와 같은 형태를 하고 있으며^[1], 입사각도 i 는 반원의

끝 부분에, 입력광속 대비 재귀 반사율 $R_R(0\sim 1)$ 은 왼쪽과 하단 축에 표기하였다. 도표의 실선은 광축각도 P 에서 1이며, “구조 특성각”에 따른 구조의 범위 내에서 0이 아닌 재귀 반사율을 가지고 있다.

추가적으로, 시뮬레이션에 의한 특성도표 도출을 위하여, 사각면 CC-RR 구조를 시뮬레이션 툴 내에서 정의하고, 이 구조에 입사 각도 i 의 빛을 입사시켜 같은 방향으로 되돌아오는 빛의 입사광 대비 비율을 도출하였다. 이를 통해 완성된 기준 사각면 CC-RR의 특성도표(Fig. 4(b))는 해석적 방법에 의하여 도출된 특성도표(Fig. 4(a))와 전산모사의 정확성 한계 내에서 거의 동일함을 볼 수 있으며, 기울어진 ($\gamma=15^\circ$, $\gamma=-15^\circ$) 사각면 CC-RR의 특성도표를 시뮬레이션을 통하여 도출하고, Fig. 4(c)와 (d)에 제시하였다. 앞서 제시한 ‘ γ 에 따른 광축각도 P ’와 동일한 지점에서 재귀 반사율이 최대임을 확인할 수 있으며 그 주위로 반사율이 연속적으로 감소하는 것을 직관적으로 나타내고 있다.

II-3. 특성도표의 적용 및 논의

노면 표지, 교통 표지판, 야간 안전복 및 자전거 및 차량의 후미등 등, 교통 안전 분야에서는 재귀 반사체가 매우 중요하게 사용되고 있으며, 반사체로 입사하는 빛을 다시 사용자에게 되돌려 가시성의 확보를 꾀하고 있다. 특히 안전과 관련된 분야이기에, 각종 재귀 반사체의 성능은 중요하여, 매뉴얼 및 지침에 휘도 기준이 포함되어 있으며 이러한 기준은 제조 기술을 발달로 인해 점차 상승하고 있는 실정이다. 따

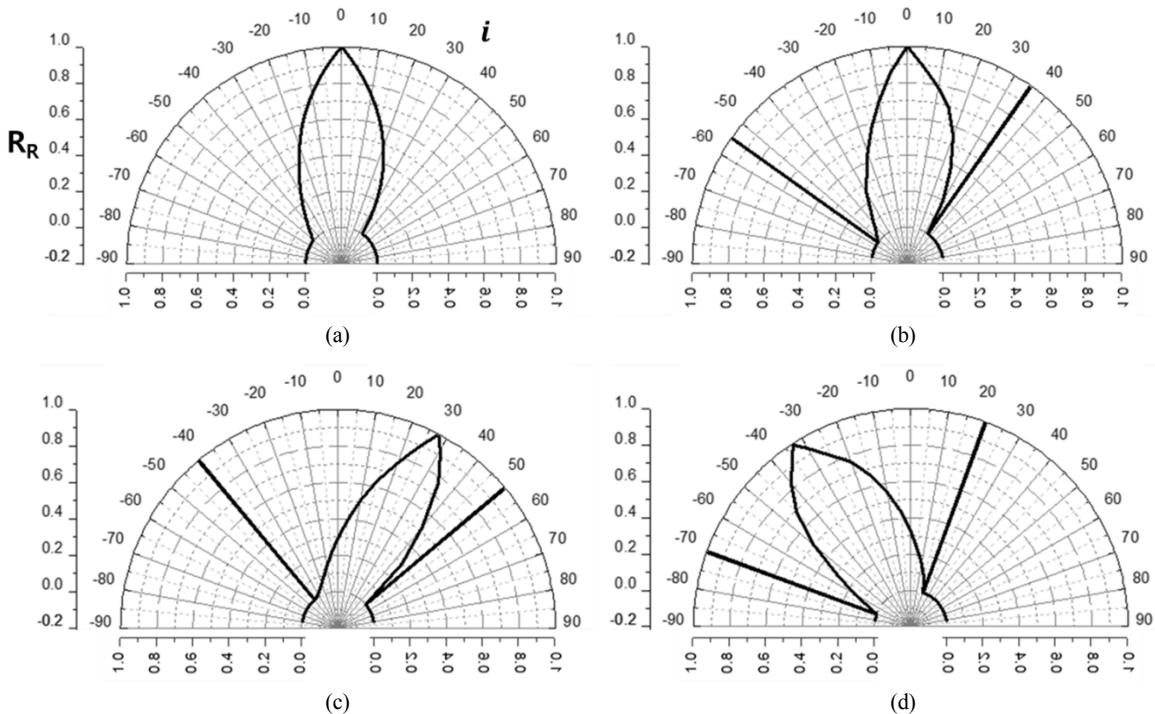


FIG. 4. CC-RR's Retro-ratio Characteristic chart (a) calculated ($\gamma=0^\circ$), (b), (c), (d) simulated($\gamma=0^\circ$, $\gamma=15^\circ$, $\gamma=-15^\circ$).

라서 상승하는 휘도 기준보다 높은 제품을 만들기 위하여, 재귀 반사율이 높은 제품을 설계해야 할 필요성이 있으나 해석적 설계기술은 아직 제안되지 않고 있다.

앞선 절에서 사각면 CC-RR의 특성 도표는 입사각에 따른 재귀 반사율을 시각적으로 직관화 하였기에, 이를 사용하면, 필요로 하는 입사각에 대해 구조 결정이 용이할 수 있다. 즉, 자동차의 헤드라이트와 같이 수직방향 대비 큰 입사각의 빛을 재귀 반사해야 할 경우에, 광축각도를 적절한 각도로 두도록 기울임 γ 인 사각면 CC-RR 구조를 형성하면, 높은 재귀 반사율에 따른 높은 휘도를 얻을 수 있다. 이와 같이 목적에 맞는 γ 를 선택하여, 광축각도 또는 광축각도 주변의 높은 재귀 반사율 특성을 이용하면 설계에 도움을 주므로, 효과적인 CC-RR 제작 기술에 기여할 것으로 판단된다.

III. 결 론

교통안전 분야에서 널리 사용되는 코너 큐브 재귀 반사체의 최대 재귀 반사각도 및 최적화를 위하여 사각면 CC-RR의 단위구조 반사체를 기울임 γ 에 따라 재귀광 특성을 파악하고 그를 직관화하는 특성 도표를 고안하였다. γ 가 변화함에 따라 광축각도는 비선형적으로 변화하였으나 계산이 가능하였고, 광축각도를 중심으로 연속적으로 변화하는 재귀 반사율 거동을 확인하여 그래프로 나타내어 이를 활용하는 구조체 설계 기법을 제안하였다.

CC-RR을 적용하는 다양한 광학구조물의 정량적인 설계에 본 CC-RR의 특성 도표가 널리 활용될 수 있을 것으로 기대하며, 특히 교통안전 분야의 재귀 반사체로 사용 시, 적절한 γ 를 선택하여 기존 대비 높은 재귀 반사율을 지니는 재귀 반사체를 형성할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 ‘중소기업융복합기술개발사업’과 지식경제부 및 정보통신산업진흥원 ‘대학 IT 연구센터 육성지원 사업’의 연구결과로 수행되었음.

References

1. Y.-B. Jeong, S.-H. Hong, S.-G. Lee, and B.-H. O, "Analysis and application of the reflection characteristics of a simple retro-reflector," Korean J. Opt. Photon. (Hankook Kwanghak Hoeji) **25**, 239-244 (2014).
2. H. Koster, "Sun protection installation comprising sun protection lamellae having a toothed upper side," United States Patent, US 6,367,937 B2, Frankfurt, Germany (2002).
3. H. Koster, "Toothed daylight blinds," United States Patent, US 6,845,805 B1, Frankfurt am Main, Germany (2005).
4. Susumu TACHI, "Telexistence and retro-reflective projection technology(RPT)," in *Proc. The 5th Virtual Reality International Conference* (Laval Virtual, France, 2003), pp. 69/1-69/9.
5. Z. E. Bagdasarov, "Investigation of the characteristics of formation of the angular distribution of laser radiation in resonators with retroreflecting mirrors," Sov. J. Quantum Electron. **11**, Moscow, Russia (1981).
6. D.-H. Lim, M.-H. Lee, J.-H. Ahn, J.-W. Park, and J.-H. Yu, "Structural and physical properties of reflective sheets prepared by using glass beads," *Elastomers and Composites* **46**, 277-283 (2011).
7. Traffic Safety Signal Setting & Management Manual, Korean National Police Agency, 10-15 (2011).
8. Traffic Road Signal Setting & Management Manual, Korean National Police Agency, 19-23 (2012).
9. K. Choi, S. Lee, I. Yun, and Y. Yi, "A methodology development for estimating the retroreflectivity of pavement markings and traffic guide signs using digital images," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* **34**, 185-194 (2014).
10. C. M. Collier, X. Jin, J. F. Holzman, and J. Cheng, "Omni-directional characteristics of composite retroreflectors," *Journal of Optics A: Pure And Applied Optics* **11**, 085404 (10pp), BC.V1V 1V7 (2009).
11. MNtech, "Retro-reflective sheet," Korea Patent, Cheongwon, Korea, 10-2010-0079855 (2010).
12. Sharp, "Micro corner cube array, manufacture method, display device," Korea Patent, 10-0472883 (2005).