《연구논문》 Hankook Kwanghak Hoeji, Volume 15, Number 6, December 2004

기울어진 비구면 프레넬 렌즈와 C-8 type 전구를 이용한 해상용 랜턴의 배광곡선 시뮬레이션을 통한 성능평가

조현석 · 조재흥†

한남대학교, 자연과학부 광 · 전자물리학 전공
㉾ 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133번지

박승남 · 박철웅 · 김용완

한국표준과학연구원, 광도복사도그룹
㉾ 305-600 대전광역시 유성구 도룡동 1번지

김종태

부경대학교, 화상정보공학부
㉾ 608-739 부산광역시 남구 대연3동 599-1번지

(2004년 7월 12일 받음, 2004년 10월 27일 수정본 받음)

대구경이 가능하며 가벼운 프레넬 렌즈로 10 해리 (18.53 km)까지 빛을 비출 수 있는 해상용 랜턴을 설계하고 배광곡선을 시뮬레이션하였다. 렌즈설계 프로그램으로 직경 250 mm와 300 mm인 프레넬 렌즈를 설계하였으며, 이 프레넬 렌즈의 groove 변수들을 최적화하였다. 해상용 랜턴에서 사용하는 전구의 배광곡선을 고려하여 이 프레넬 렌즈의 배광곡선을 조명설계 프로그램으로 계산하였다. 이 결과 전구를 최적의 위치로 정렬하였을 때 이 해상용 랜턴들의 최대광도는 각각 KS 규격인 720 cd를 훨씬 넘는 1000 cd (직경 250 mm의 해상용 랜턴의 경우)와 1300 cd (직경 300 mm의 해상용 랜턴의 경우)로 계산되었다. 그리고 전구의 정렬오차를 정하기 위하여 렌즈의 초점거리에서 벗어난 정도에 따라 배광곡선이 변하는 정도도 알아보았다.

주제어 : LightTools, Beacons, Fresnel lens, Lantern.

I. 서 론

선박이 안전하고 경제적으로 운항하기 위해서는 항해자가 필요로 할 때마다 선박의 위치를 확인할 수 있어야 한다. 최근에는 대양이나 장애물이 없는 곳에서는 GPS(global positioning system)를 사용하지만, 연안을 항해하거나 입 · 출항할 때에는 해상에 있는 섬, 곶, 산봉우리 같은 뚜렷한 목표를 이용한다. 그러나 뚜렷한 목표가 없는 곳이나 야간에 항해할 때에는 이들 자연목표만으로는 사실상 항해를 안전하게 할 수가 없게 된다. 그래서 선박의 교통량이 많은 항로, 항구, 만, 해협, 암초가 많은 곳에서는 등광, 형상, 채색, 음향, 전파 등을 이용한 인공적인 항로표지시설을 설치하여 선박의 항해를 돕는다. 이중에서 빛을 사용하는 광파표지는 소리를 사용하는 음파표지와 함께 오래 전부터 항로표지시설로 사용하였다. 최근에는 첨단기술을 이용한 전파표지를 많이 사용하고 있지만, 광파표지는 특별한 장치 없이 선박의 위치를 빠르고 직접적으로 확인시켜 주는 장점을 가지고 있기 때문에 아직도 널리 사용하고 있다.[1] 이런 광파표지에서 빛을 멀리 보내는데 직접적인 역할을 하는 핵심장비가 바로 해상용 랜턴인데, 이 해상용 랜턴은 빛이 도달하는 최대거리로 정의되는 광달거리가 5 해리 이하인 소형에서 25 해리 이상인 대형까지 다양한 크기를 사용되며, 등부표에서부터 항해중인 항공기에 비행장의 위치를 알려주는 비행장 등대까지 다양한 용도로 사용하고 있다. 또한 8개 이상의 국내외 제작사가 공급한 21종의 다양한 모델을 국내에 설치하여 현재 사용하고 있다.[2] 이런 다양한 종류의 해상용 랜턴들을 국내에서 운용하고 있기 때문에 이들 서로 간의 호환성 문제 및 부품에 결함이 발생할 때 신속하게 부품을 교체하지 못하는 문제점을 가지고 있다.

이에 본 논문에서는 기존에 사용하는 원통직경 250 ㎜ 해상용 랜턴과 300 ㎜ 해상용 랜턴의 호환성 및 부품 조달의 문제점을 해결하고자 렌즈설계 프로그램으로 설계한 250 ㎜와 300 ㎜ 표준 해상용 랜턴을 소개하고, 이 해상용 랜턴을 제작하기 전에 표준 해상용 랜턴으로써 적합한지를 알아보기 위하여 조명설계 프로그램으로 배광곡선을 시뮬레이션하고자 한다.

† E-mail: jhjo@hannam.ac.kr

II. 해상용 랜턴의 설계

2.1. 프레넬 렌즈의 원리

해상용 랜턴의 렌즈로는 수차를 보정한 비구면 렌즈를 동일 축을 유지하면서 부피를 줄여도 비구면 렌즈의 광학적 특성에는 아무런 영향을 미치지 않는 평판렌즈인 프레넬(Fresnel) 렌즈로 만들 수 있다. 이때 일정한 깊이로 잘라냈을 때의 원뿔 조각을 groove라고 하는데, 각각의 groove는 빛을 정확히 하나의 초점으로 전달시키는 독립적인 렌즈의 특성을 가지고 있다. 또한 프레넬 렌즈의 중심 근처에 있는 groove의 두 경사면 중 렌즈 중심축에 가까운 면이 렌즈 중심축과 이루는 각도가 0°에 가까워서 거의 렌즈의 중심축에 의해서 평행한 평면이지만, 프레넬 렌즈의 중심축에서 바깥쪽에 배치한 groove 일수록 이 각도가 커진다. 이런 groove들을 평면 쪽으로 이동시킬 때 이동에 따른 각도 보정을 하기 위하여 원래의 비구면 각에서 이를 약간씩 수정해야 한다. 그리고 일반적인 렌즈와 비구면 렌즈는 주요면으로부터 초점거리를 결정하는 반면에 프레넬 렌즈는 주요면의 구분이 중요하지 않아서 렌즈의 groove면으로부터 초점거리를 측정한다.[3] 또한 프레넬 렌즈의 groove의 설치 방향에서도 2가지 방법이 있는데, 일반적으로 프레넬 렌즈는 groove가 평행광 쪽을 향하고, groove의 밑면인 평평한 면이 초점을 향하도록 제작한다. 이런 형태를 "out"이라하며 이와 반대로 groove가 초점을 향하고 평평한 면이 평행광을 향하는 형태를 "in"이라고 부른다. 보통 "out"의 형태가 "in"의 형태보다 여러 가지 장점들을 가지고 있기 때문에 일반적으로 groove가 평행광을 향하도록 설계하는 경우를 광학적으로 더 선호한다.[3] 그러나 "in"의 형태를 포함하여 정렬의 흐트러짐을 줄이는 "out"의 형태로도 단일렌즈에 의한 수차의 보정한계와 프레넬렌즈의 불연속적인 면에 의한 파면의 흐트러짐 현상들 때문에 프레넬 렌즈는 영상의 질이 떨어진다. 이러한 단점 때문에 프레넬 렌즈는 검사기판 조명장치[4], 전자칠판용 스크린[5], 프레넬 렌즈를 이용한 자동차용 조명 등[6], 그리고 우리가 잘 알고 있는 OHP(overhead projector) 같은 수차가 그리 중요하지 않은 조명장치에 많이 사용한다.

2.2. 프레넬 렌즈의 설계

해상용 랜턴의 광학계는 광을 멀리 전달하는 것을 목적으로 설계 및 제작을 하는데, 일반렌즈로 해상용 랜턴의 렌즈를 제작할 시에는 직경이 커짐에 따라 부피도 커지는 문제점이 생긴다. 또한 결상장치로 사용하지 않더라도 광을 멀리 보내기 위해서는 수차가 작아야 하므로 (1)식과 같은 비구면 방정식을 이용하여 수차를 제거한 비구면 프레넬 렌즈의 형태를 갖는다.[7]

$$Z(s)=f(X,Y)=\frac{cs^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2s^2}}+As^4+Bs^6+Cs^8+Ds^{10}+\cdots \quad (1)$$

위 식에서 Z는 렌즈의 표면상에 있는 한 점의 세로방향에 대한 광축의 거리이고, c는 구면에서의 곡률반경 R의 역수이다. 그리고 s는 $s=\sqrt{X^2+Y^2}$로 렌즈 중심에서 렌즈면 상의 임의의 위치(X, Y)까지의 거리이다. 이런 비구면 방정식을 이용하여 프레넬 렌즈를 설계할 때 광학적 재질, 초점거리, groove의 개수 및 기울기 등의 광학적 요소들을 사용하여 설계변수들을 결정한다. 이런 광학적 요소들을 이용하여 일반적인 프레넬 렌즈를 설계하듯이 설계를 하면 중심에 있는 렌즈의 두께가 가장 두껍고 외곽으로 갈수록 두께가 얇아진다. 하지만 해상용 랜턴의 렌즈는 중심렌즈와 가장 외곽에 있는 렌즈 사이의 두께가 동일해야 한다. 그러므로 해상용 랜턴에서 사용하는 렌즈는 비구면 프레넬 렌즈의 형태를 가지며, 이 렌즈에 대한 대구경 광학계의 설계시 근축광학이론을 이용한 해석적인 방법을 사용하여 각각의 sag별 광학적 요소들을 독립적인 렌즈의 일부분으로 설정하고, 각각의 sag에 속하는 groove가 위치하는 높이와 직경, 두께, 곡률반경, 비구면 계수, conic constant 등과 같은 구속조건들을 만족하도록 설계 변수를 결정하였다. 그리고 중심 광점에 대하여 시준빔(collimation beam)이 되도록 최적설계를 하였다.

그림 1은 이런 방법으로 최적화 설계를 한 250 ㎜ 해상용 랜턴의 형상을 조명설계 프로그램에 입력한 그림이다.[8] 그림 1에서 보듯이 해상용 랜턴의 중심을 기준으로 상측 절반은 아래에서 위로 올라갈수록 groove의 각도가 커지지만 중심에 있는 groove를 제외하고는 모든 groove의 깊이가 같다는 것을 알 수 있다. 또한 중심부분에 위치한 몇 개의 groove를 제외하고는 모든 groove의 피치(높이)가 같다는 것도 알 수 있다. 그리고 해상용 랜턴의 중심을 기준으로 하측 절반은 상측 절반과 대칭이지만 groove의 수가 더 많아서 하측이 더 길다는 것을 알 수 있다. 이렇게 해상용 랜턴의 렌즈 하측부분이 더 긴 가장 큰 이유는 금형에서 렌즈를 분리할 때 렌즈에 흠집이나 변형을 최소화하기 위해 기울기를 주었기 때문이다. 이 이유 때문에 상측 렌즈와 하측 렌즈에 광이 입사하

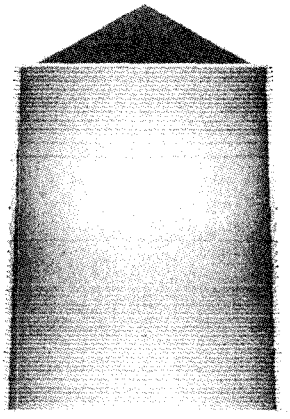


그림 1. 조명설계 프로그램에 형상화한 250 ㎜ 해상용 랜턴.

는 면적을 같게 하기 위하여 하측 렌즈를 더 길게 설계하였다. 그리고 해상등명기 렌즈는 중심렌즈 부분에 대한 원통의 내부 직경으로써 250 ㎜ 해상용 랜턴과 300 ㎜ 해상용 랜턴으로 구별한다.

2.3. 전구의 특성

해상용 랜턴의 광원으로 가장 많이 사용하고 있는 것은 소비전력, 광도, 수명 등의 중요한 특성을 균일하게 유지하면서 대량생산할 수 있고, 고휘도 집광성, 점멸 응답특성, 연색특성이 매우 우수한 백열전구이다. 백열전구는 필라멘트의 형태와 이를 결합하는 베이스의 크기와 형태에 따라 고유의 코드를 정하여 사용하고 있다.[2] 이런 다양한 백열전구들은 필라멘트의 형태와 필라멘트를 고정하고 있는 고정대의 형태에 따라서 배광곡선이 달라진다. 즉 시중에 나와 있는 일반적인 전구는 필라멘트의 고정대에 막혀서 어느 특정방향에서는 광이 나오지 않는다. 따라서 항로표지용으로 사용하는 전구는 수평의 전 회전 방향에 대하여 최대값을 가지면서 일정한 광도를 가지도록 필라멘트의 형태가 원통 대칭이며, 필라멘트를 고정하고 있는 고정대도 전 회전 방향에 대해 광도의 변화를 최소로 하기 위하여 필라멘트를 휘어 감고 있는 형태를 가진다. 이러한 전구들 중 본 논문에서 취급한 것은 C-8 type의 24 W급 전구로 그 형태 및 각종 제원은 표 1에서 볼 수 있다.

표 1. 해상용 랜턴에 사용하는 C-8 형태의 백열전구 형태와 제원들

구 분	오 차 범 위	백 열 전 구
정격전류 (A)	± 7%	2.03
필라멘트 높이 (㎜)	± 20%	8
필라멘트 폭 (㎜)	± 25%	0.6
필라멘트 형식		C-8
유리구 형식		S-25
베이스 형식		P30S-10.3
최소점등시간 (s)		0.3
복사선속 (lm)	± 15%	380

III. 시뮬레이션 방법

3.1. 해상용 랜턴의 형상화

해상용 랜턴은 바다의 어느 위치에 있더라도 선박이 이 랜턴에서 나오는 빛을 볼 수 있어야 한다. 그렇기 때문에 설계한 비구면 프레넬 렌즈를 3차원적으로 원통형으로 형상화하여 어느 위치에서 바라보든지 높은 가시광량이 똑같이 나와야 하며, 퍼짐정도가 거의 평행광 수준으로 나와야 한다. 이 원통형 프레넬 렌즈를 ®LightTools[9]라고 하는 조명설계 프로그램에서 형상화하기 위해서는 (1)식과 같은 비구면 방정식을 이용하여 $s=\sqrt{X^2+Y^2}$을 X=0으로 본 Y-Z 좌표 상에서 Y의 높이에 따른 Z축의 값으로 좌표를 얻고, 이 좌표를 점과 점으로 연결해 가면서 형상을 만들어야 한다. 그런데 groove가 250 ㎜ 해상용 랜턴에서는 상측 렌즈의 groove 수가 27개이고, 하측 렌즈의 groove 수가 37개이고, 300 ㎜ 해상용 랜턴에서는 상측 렌즈의 groove 수가 28개, 하측 렌즈의 groove 수가 41개이고, 한 개의 groove당 10~40개의 입력좌표(Y, Z)가 필요하므로 수많은 이러한 좌표들을 ®LightTools[9]라고 하는 조명설계 프로그램에 입력을 하려면 많은 시간이 필요하다. 이러한 좌표(Y, Z)를 조명설계 프로그램에 입력하는 매크로를 작성하였는데, 원통형 프레넬 렌즈이므로 조명설계 프로그램에서 제공되는 "Revolve"기능을 사용하여 2차원에서 형상화한 렌즈가 중심을 기준으로 전 회전 방향에 대하여 같도록 지정하여 원통형 프레넬 렌즈를 형상화하였다. 이때 전체적으로 렌즈가 2°가 기울어져 있고, 중심렌즈를 기준으로 상측 groove와 하측 groove가 서로 대칭이지만 이들의 개수가 다르기 때문에 상측과 하측을 독립적으로 형상화하여 합쳤다. 이렇게 형상화한 원통형 프레넬 렌즈의 재질은 플라스틱에서 많이 사용하는 PMMA로 설정하였다. 이렇게 조명설계 프로그램으로 형상화한 250 ㎜ 해상용 랜턴의 모습을 앞서의 그림 1에서 볼 수 있다.

3.2. 광원의 특성 측정 및 형상화

조명설계 프로그램으로 시뮬레이션하기 위해서는 시뮬레이션할 렌즈도 필요하겠지만, 시뮬레이션에 들어갈 광원도 중요한 역할을 한다. 따라서 실제 해상용 랜턴에서 사용하고 있는 전구와 똑같은 특성을 가진 광원을 형상화해야만 한다. 그래서 실제 해상등명기 렌즈와 함께 사용하고 있는 전구인 C-8 type의 24 W급 전구에 대한 특성을 얻기 위하여 그림 2와 같은 goniometer(PIMACS, Neolight-3000)를 사용하여 전구의 수직배광곡선과 수평배광곡선을 실험적으로 구하였다.

그림 2에서 보는 것과 같이 전구의 수평배광곡선은 축을 기준으로 전구를 360도 회전시키면서 측정하였고, 수직 배광곡선은 축을 기준으로 전구를 180도 회전시키면서 측정하였다. 그리고 전구에서 나온 광은 광검출기(LMTP30SCO)로 측정하였으며, goniometer와 광검출기의 출력은 컴퓨터를 사용하여 자동적으로 측정이 되도록 하였다. 그림 3(a)와 (b)는 실험을 통하여 얻은 전구의 수직과 수평배광곡선이다. 또한

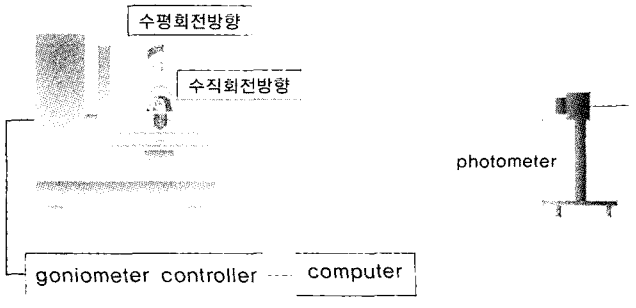
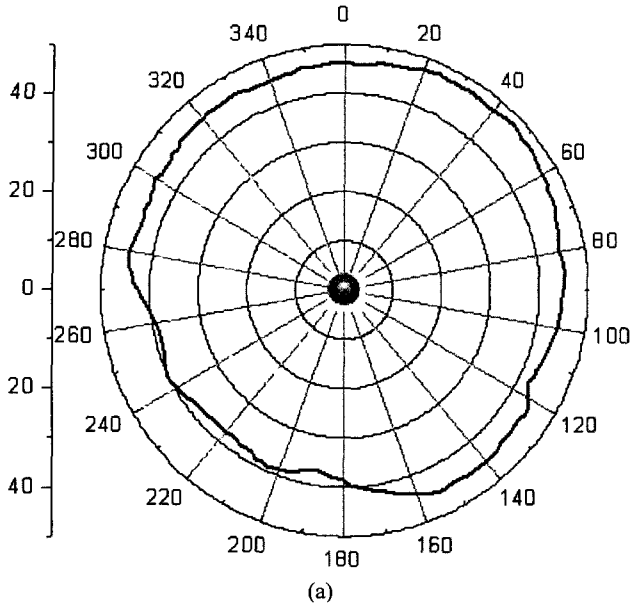
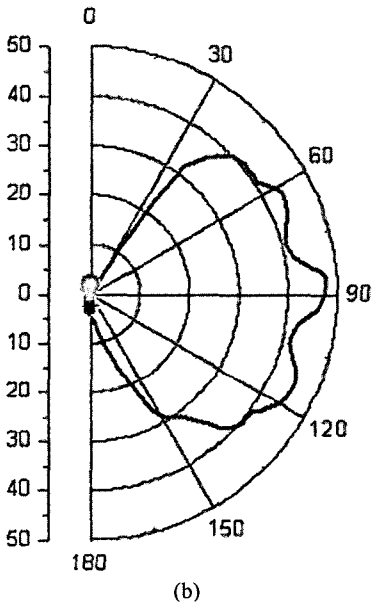


그림 2. 전구의 배광곡선을 측정하기 위한 goniophotometer 구성도.



(a)



(b)

그림 3. 실험을 통하여 구한 전구의 (a) 수평배광곡선 (b) 수직배광곡선

전구의 총 에너지를 표준적분구(KRISS 제작)를 사용하여 구한 결과 397 lm이었다.

해상용 랜턴은 어떤 방향에서 보더라도 모든 회전방향에 따라 같은 결과가 나오므로 전구의 수평에 따른 배광분포를 입력하는 것은 무의미하다. 그래서 전구의 수직에 따른 배광분포만 조명설계 프로그램에서 지원해주는 형식에 따라 입력하면 되는데 이때 총 에너지는 실험에서 얻은 397 lm으로 지정하고, 파장은 설계프로그램에서 최적화할 때 사용한 파장인 550 ㎚로 설정하였다. 그림 4는 그림 3(b)와 같은 전구의 수직배광곡선을 조명설계 프로그램에서 광원에 입력하여 시뮬레이션을 통하여 얻은 수직배광곡선이다.

그림 3(b)와 그림 4를 비교해 보면 수직배광곡선의 분포형

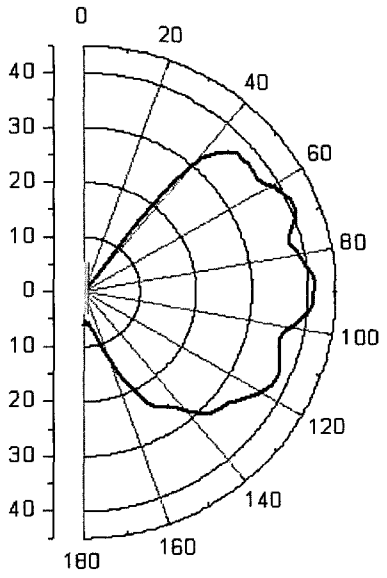


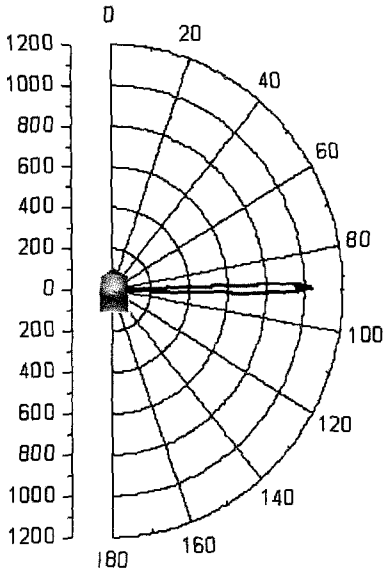
그림 4. 전구의 수직배광곡선을 조명설계 프로그램에 입력하여 구한 광원의 수직배광곡선.

태는 같지만 광도가 다른 것을 알 수 있다. 실제 전구는 그림 3(a)와 같이 수평에 따라 광도분포가 다르다. 하지만 조명설계 프로그램의 광원에 이 수평에 따른 광도분포를 모두 같게 입력하였기 때문에 전체적인 광도가 작게 나온 것이다.

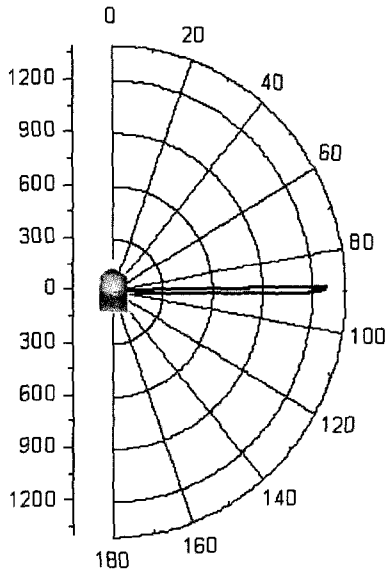
IV. 시뮬레이션 결과 및 논의

조명설계 프로그램에서 그림 1과 같이 Y-Z평면을 가정하였을 때 형상화한 해상용 랜턴의 중심을 원점으로 설정하여 전구를 위치시키고 해상용 랜턴을 통과한 광선을 각도별로 보기 위하여 원형 검출기를 설치하여 시뮬레이션을 하였다. 그림 5는 시뮬레이션을 통하여 구한 원통직경 250 ㎜인 해상용 랜턴과 원통직경 300 ㎜인 해상용 랜턴의 수직배광곡선이다.

한국에서 정한 표준해상용 랜턴의 성능은 250 ㎜ 해상용 랜턴에서는 표준광도가 800 cd이고, 합격 또는 불합격을 판정하는 최소광도는 표준광도보다 10% 작은 값인 720 cd이다. 또한 300 ㎜ 해상용 랜턴에서는 표준광도가 1000 cd이고, 최소광도는 250 ㎜ 해상용 랜턴과 마찬가지로 표준광도보다 10% 작은 값인 900 cd이다.[2] 그런데 그림 8과 같이 250 ㎜ 해상용 랜턴에서는 최대광도가 1000 cd 이상으로 계산되었고, 300 ㎜ 해상용 랜턴에서는 최대광도가 1300 cd 이상으로 계산되었기 때문에 이들의 성능이 모두 기준보다 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 실제로 해상용 랜턴과 전구의 조합에 대한 앞서의 시뮬레이션 과정처럼 정확하게 전구를 해상용 랜턴 중심에 위치시키는 것은 매우 어렵다. 그래서 전구의 위치가 변함에 따라서 어느 정도의 결과가 달라지는지를 확인하기 위해 광원(전구)의 위치를 수직(축)과 수평(축)으로 1~10 ㎜까지 1 ㎜의 간격으로 변화시켜 가면서 시뮬레이션을 하였다.



(a)



(b)

그림 5. 원점에 전구를 위치시켰을 때의 (a) 250 ㎜ 해상용 랜턴의 수직배광곡선 (b) 300 ㎜ 해상용 랜턴의 수직배광곡선.

그림 6은 250 ㎜ 해상용 랜턴과 300 ㎜ 해상용 랜턴의 중심을 기준으로 전구를 수직(축)으로 변화시켜 가면서 시뮬레이션한 최대광도의 변화이다. 그림 6에서 보는 것과 같이 축으로 ±10 ㎜까지 전구를 수직으로 이동시켜도 250 ㎜ 해상용 랜턴의 경우 최대광도는 1100 cd~970 cd 사이에서 변하며, 300 ㎜ 해상용 랜턴은 1320 cd~1200 cd 사이에서 변하므로 거의 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 그러나 그림 7과 같이 전구를 +Y방향으로 이동시키면 최대광도의 위치는 90°보다 커지는 방향으로 이동하게 되며, -Y방향으로 이동시키면 최대광도의 위치는 90°보다 작아지는 방향으로 이동하게 된다. 즉 전구를 이동시키는 방향으로 최대광도가 변하는 것을

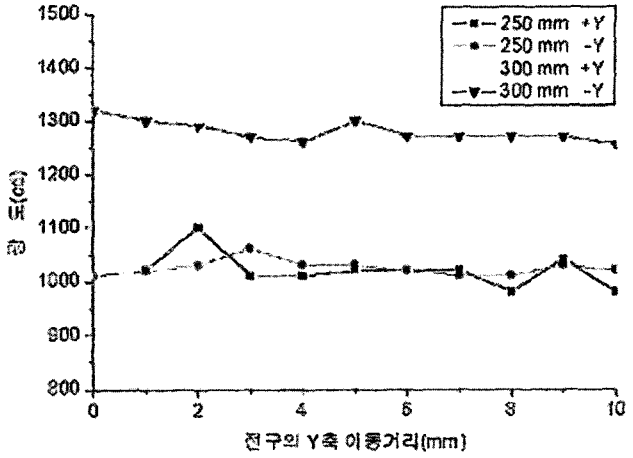


그림 6. 전구의 수직(Y축) 이동에 따른 250 ㎜와 300 ㎜ 해상용 랜턴의 최대광도 변화.

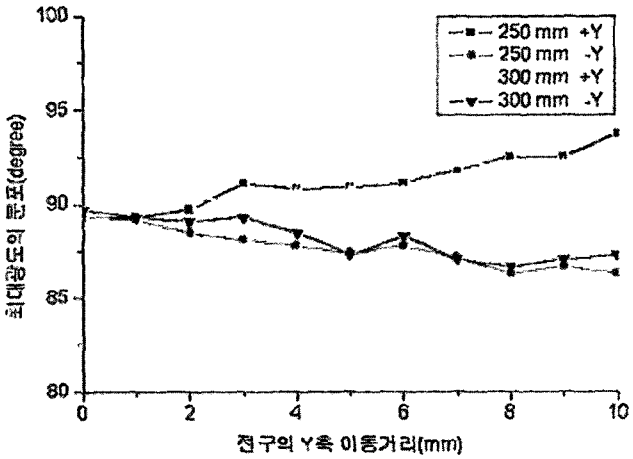


그림 7. 전구의 수직(Y축) 이동에 따른 250 ㎜와 300 ㎜ 해상용 랜턴의 최대광도 위치.

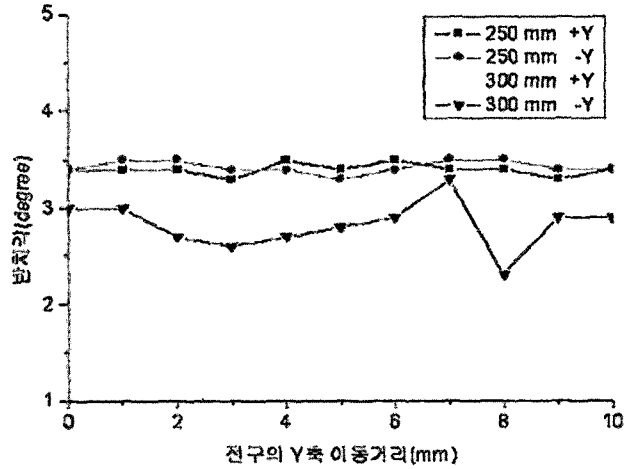


그림 8. 전구의 수직(Y축) 이동에 따른 250 ㎜와 300 ㎜ 해상용 랜턴의 반치각.

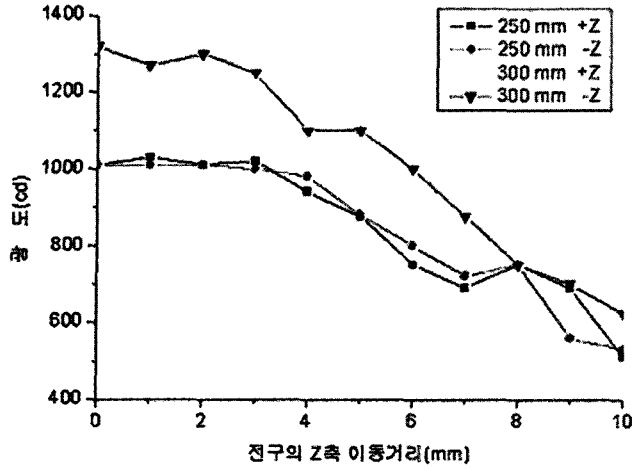


그림 9. 전구의 수평(Z축) 이동에 따른 250 ㎜와 300 ㎜ 해상용 랜턴의 최대광도 변화.

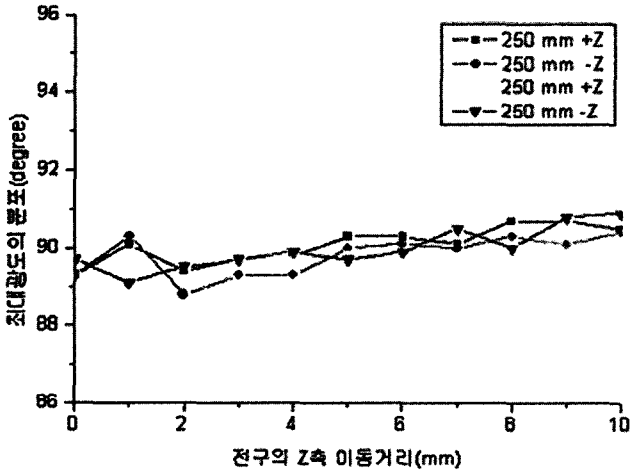


그림 10. 전구의 수평(Z축) 이동에 따른 250 ㎜와 300 ㎜ 해상용 랜턴의 최대광도 위치.

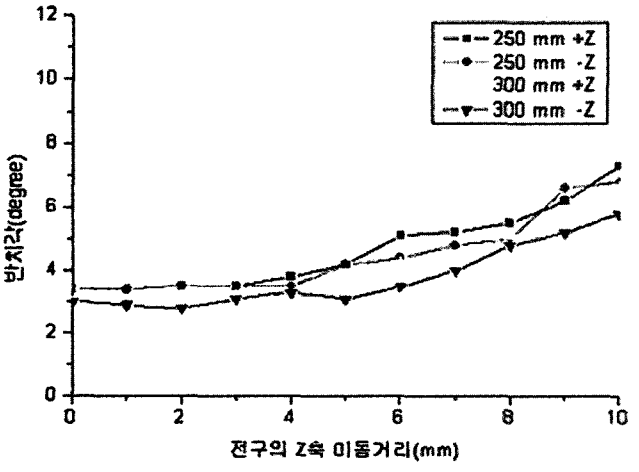


그림 11. 전구의 수평(Z축) 이동에 따른 250 ㎜와 300 ㎜ 해상용 랜턴의 반치각.

알 수 있다. 이는 각각의 groove에 들어오는 광선들의 입사각이 해상용 랜턴의 중심으로부터 들어오는 광선의 각에 대해서 평행광이 나가도록 최적화했기 때문에 전구의 위치를 수직으로 이동했을 경우 전구의 이동방향에 따라 광선의 방향만이 변하기 때문이다. 그러나 최대광도가 나오는 방향과는 다르게 그림 8과 같이 반치각(최대광도의 1/2되는 지점에서의 광의 퍼진 각도)은 250 ㎜ 해상용 랜턴의 경우 3.3°~ 3.5° 사이에, 300 ㎜ 해상용 랜턴의 경우 3.2°~3.3° 사이에 분포하므로 반치각의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있다. 즉 전구를 초점에서 위아래로 약간 틀리게 배치하여도 광의 퍼짐이 거의 없이 여전히 평행광이 나간다는 것을 알 수 있다.

이와 반대로 렌즈의 중심을 기준으로 전구를 수평(Z축)으로 변화시켜 가면서 시뮬레이션 한 결과 그림 9와 같은 최대광도의 변화를 얻었다. 이 그림에서 전구를 수직(Y축)으로 변화시켰을 때(그림 6)와는 다르게 최대광도가 250 ㎜ 해상용 랜턴의 경우 1000 cd에서 500 cd까지 300 ㎜ 해상용 랜턴의 경우 1320 cd에서 640 cd까지 급속도로 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이 이유는 각각의 groove들의 초점이 바로 해상용 랜턴의 중심이기 때문에 해상용 랜턴의 중심에서 나오는 광선들이 각각의 groove들에서 평행광이 되도록 렌즈의 굴절능을 정했기 때문이다. 즉 이 전구의 위치가 이 초점을 벗어나게 되면 이 해상용 랜턴은 일반렌즈처럼 평행광이 아닌 모이거나 퍼져나가는 광의 분포만을 가지기 때문이다. 이 경우 250 ㎜ 해상용 랜턴과 300 ㎜ 해상용 랜턴 모두에서 그림 10과 같이 최대광도의 위치가 88.7°~ 91.2° 사이에서만 변할 정도로 작은데, 이는 전구를 앞뒤방향으로 틀리게 배치한다면 광의 분포가 퍼지거나 모이더라도 최대광도의 위치는 거의 변화가 없기 때문이다. 다만 소량이나마 약간씩 위로 그 위치가 이동하는 이유는 프레넬 렌즈가 2° 기울기를 갖고 있어서 완전한 대칭이 아니기 때문이다. 그러나 그림 11에서와 같이 반치폭이 250 ㎜ 해상용 랜턴의 경우 3.3°~ 7.3° 까지 서서히 커지면서 최대광도가 감소하는 것을 알 수 있다. 마찬가지로 300 ㎜ 해상용 랜턴의 경우에도 반치폭이 3.0°~ 6.5°까지 서서히 커지면서 최대광도가 감소한다. 이는 그림 9의 이유와 같은 이유로 설명할 수 있다.

V. 결 론

렌즈설계 프로그램으로 설계한 250 ㎜ 해상용 랜턴과 300 ㎜ 해상용 랜턴을 조명설계 프로그램으로 형상화하여 표준 해상용 랜턴으로서 적합한지를 시뮬레이션을 통하여 알아보았다. 시뮬레이션 결과 250 ㎜ 해상용 랜턴은 표준광도 800 cd보다 높은 1000 cd 이상으로 확인되었고, 300 ㎜ 해상용 랜턴은 표준광도 1000 cd보다 높은 1300 cd 이상으로 확인되었다. 또한 전구와 해상용 랜턴의 조합에서 전구를 수평(Z축)으로 이동시켰을 때 빛의 진행방향에는 문제가 없지만 빛이 퍼져서 전체적인 광도가 떨어짐을 알 수 있었다. 또한 전구를 수직(Y축)으로 이동시켰을 때에는 광도의 변화는 거의

없지만 광의 진행방향이 특정방향으로 향하는 것을 알 수 있었다. 이 같은 결론으로부터 해상용 랜턴과 전구와의 조합오차시 광속의 편집정도와 특정방향으로 쏠리는 것을 감안하여 250 ㎜ 해상용 랜턴과 전구와의 조합오차 범위를 수직으로는 1 ㎜ 내에서, 수평으로는 2 ㎜ 내에서 맞추어야 한다. 그리고 300 ㎜ 해상용 랜턴과 전구와의 조합오차도 수직으로는 1 ㎜ 내이고 수평으로는 2 ㎜ 내로 확인하였다.

렌즈설계 프로그램으로 설계한 250 ㎜ 해상용 랜턴과 300 ㎜ 해상용 랜턴을 시뮬레이션 한 결과 매우 우수한 성능을 가지고 있음이 확인하였다. 앞으로 이 논문에서 설계하고 성능을 평가한 표준해상용 랜턴을 실제로 정교하게 제작하여 표준해상용 랜턴의 제작시 발생하는 문제점들을 파악하여 표준해상용 랜턴을 빠른 시일 내에 국내에 보급하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 해양수산부 "표준화 등명기 연구개발(2차년도)"의 지원으로 진행되었음을 알려드리며 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] IALA, "Recommendation for the notation of luminous intensity and range of light", 1967.

[2] 박승남, "표준화 등명기 연구개발 최종 보고서", (한국표준과학연구원, 대전, KRISS-2003-062) 2003.

[3] Fresnel technologies inc, "Fresnel lenses", www.fresneltech.com.

[4] 김병렬, 박상형, "검사기판 조명장치", 한국특허 10-0400455, 2003.

[5] 김병일, "전자칠판용 스크린", 한국특허 20-0247382, 2001.

[6] 김종운, 장세희, "프레넬 렌즈를 이용한 자동차용 조명등", 한국특허 1997-0006280, 1997.

[7] Warren J. Smith', Modern Optical Engineering: third edition (McGraw Hill, Seoul, 2000), pp 312-317.

[8] Seung Nam Park, Chul Woung Park, Yong Wan Kim, Hyun Seok Cho, Jae Heung Jo, and Jong Tae Kim, "Optical design and illumination simulation of Fresnel lenses for marine signal lanterns", to be submitted in proceedings of SPIE (Photonics Asia 2004, Peijing, Nov. 8-11 2004).

[9] Optical Research Associates, "LightTools ver 4.0 Illumination Module User's Guide", 2003.

Performance evaluation by simulation for the angular luminous intensity distributions of marine lanterns using a tilting aspherical Fresnel lens and a C-8 type light bulb

Hyun Seok Cho and Jae Heung Jo†

Applied Optics and Electromagnetics, School of Natural Sciences, Hannam University, Ojung-dong 133, Daeduk-gu, Daejeon 306-791, KOREA

†*E-mail: jhjo@hannam.ac.kr*

Seungl Nam Park, Chul Woung Park, and Yong Wan Kim

Photometry and Radiometry Group, Korea Research Institute of Standards and Science, Doryong-dong 1, Yuseong-gu, Daejeon 305-340, KOREA

Jong Tae Kim

Division of Imaging Science and Technology, Pukyong University, Daeyeon 3-dong 599-1, Nam-gu, Pusan 608-739, KOREA

(Received July 12, 2004, Revised manuscript October 27, 2004)

Providing marine signal lanterns with advantages of little weight as well as large aperture, a Fresnel lens has been adopted to transfer the beam from the lanterns up to 10 nautical miles (18.53 km). A Fresnel lens with the diameter of 250 mm and 300 mm was designed by a lens design program and optimized by adjusting the groove parameters of the lens. The angular luminous intensity distribution (ALID) of this lens was calculated by using an illumination analysis program considering the ALID of a light bulb. At the best alignment of the bulb, the maximum luminous intensities (MLI) of the lantern were 1000 cd (in the case of 250 mm diameter) and 1300 cd (in the case of 300 mm diameter). These are more than the critical value of 720 cd that is the Korean Standard of MLI for the marine lantern. The ALID was investigated as a function of misalignment from the lens focus to determine the tolerance of the alignment ranges.

OCIS Codes : 080.2740, 220.4830, 080.3620.