

가상초점광원을 이용한 LED 등명기 연구

† 고성광

† 뉴마린엔지니어링(주) 대표이사

요약 : 종래의 프레넬렌즈가 회전하는 중대형 회전식 등명기는 고압방전등(메탈할라이드) 전구를 광원으로 사용하고 있으나, 에너지효율, 수은 등의 함유로 인한 환경오염과 폐기 문제로 인해 2010년 초에서 현재에 이르기까지 선진국을 중심으로 사용규제가 강화되고 있는 실정이다. 국내에 설치 운영되고 있는 회전식 등명기는 내용연수 초과 혹은 도래시기 점차 다가오고 있기 때문에 이에 대한 대응 방안이 필수적인 상황이다. 프레넬렌즈를 회전시키는 회전식 등명기의 LED 광원 개발은 2010년 초부터 해외업체에서 제품출시가 이루어졌으나 국내 중대형 회전식 등명기에 적용된 사례는 없으며 국내에서도 해당 기술 미비로 개발된 사례가 없었다. 이에 본 연구를 통해 단일 고출력 COB LED, 리플렉터, 집광렌즈 등을 이용한 가상초점광원 구현 기술로 회전식 등명기용 LED 광원 연구를 수행하고 해당 연구기술이 적용된 시제품 제작을 통해 성능을 검증하였다.

핵심용어 : 가상초점광원, COB LED, 리플렉터, 집광렌즈, 방열장치

I. 연구 배경 및 목적

연구 배경

- 중대형 회전식 등명기 수명 도래 대비**
- 중소형 점멸식 등명기 내용연수 기준 : 8년
 - 중대형 회전식 등명기 내용연수 기준 : 15년
 - 항로표지시설 관리지침 : 해양수산부예규 제128호 [별표6] 항로표지시설 장비용품 내용연수(2021.12.21 일부개정)

중대형 회전식 등명기 최초 시기

- 중형 회전식 등명기 : 2004년 (18년 경과)
- 대형 회전식 등명기 : 2002년 (20년 경과)

백열전구 규제 / 퇴출

- 미국 : 2012년~2014년 백열전구 점차적 퇴출
- 영국 : 2021년 8월부터 항로표지 전구 판매금지
- 유럽연합 : 2018년 신규 항로표지 전구 출시금지
- 한국 : 2014년 1월부터 백열전구 생산/수입금지되고 있으며, 항로표지 전구 및 메탈할라이드 전구 또한 대체 LED 전구 출시시 점차적으로 퇴출
- 고압방전등(메탈할라이드) 폐기를 문체(수은 함유)

연구 목적

중대형 회전식 등명기용 광원을 LED로 대체

- 수은을 함유하고 있어 환경오염을 유발시키는 **메탈할라이드 전구 대체 광원 개발**
- 고출력 단일 COB LED를 이용한 **360도 수평배광** 구현하여 회전식 등명기용 광원으로 활용
- 회전식 등명기의 **고가 프레넬렌즈 유지/보존**
- 회전식 등명기의 유지관리비용 절감



II. 국내외 LED 등명기 추이

2. 국외 LED 등명기 추이

점멸식 등명기

- 국외 점멸식 LED 등명기의 출시 초기는 1990년대 말 ~ 2000년대 초반으로 추정
- 2022년 현재 광달거리 22NM 제품까지 출시

국외 대표 제조사별 점멸식 LED 등명기 사양

등명기 모델명	광달거리	소비전력	수직발산각	제조사명	국명
SL-300-2D5-2	19 NM	768 W	> 2.5°	Sealight	호주
SL-300-1D5-2	21 NM	768 W	> 1.5°	Sealight	호주
LED 350H	18 NM	300W	1.5°	SABIK	필란드
VLB-92	22 NM	-	1.6°	VEGA	뉴질랜드
MBL500LD	21 NM	450W	2°	M&M	스페인

회전식 등명기

- 회전식 LED 등명기 출시는 2015년 이후로 추정
- 2022년 현재 광달거리 27NM 제품까지 출시

국외 대표 제조사별 회전식 LED 등명기 사양

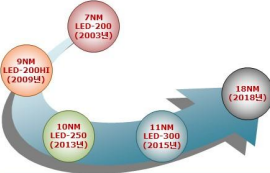
등명기 모델명	광달거리	소비전력	수직발산각	제조사명	국명
VRB-25 LED	25 NM	91 W	1.5°	VEGA	뉴질랜드
MR300L	21 NM	- W	-	M&M	스페인
MR300R	23 NM	- W	-	M&M	스페인
MR400R	24 NM	- W	-	M&M	스페인
MR600R	24 NM	- W	-	M&M	스페인

II. 국내외 LED 등명기 추이

1. 국내 LED 등명기 추이

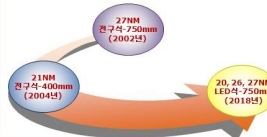
점멸식 등명기

- 2003년 광달거리 7NM LED-200 등명기 설치
- 2015년 전후 광달거리 11NM 이상인 LED-300 중형 등명기 설치
- 해양수산부시설 제2018-112호 항로표지 장비용품의 기능 및 규격기준 전부개정을 통해 광달거리 3, 5, 7, 9, 11, 15, 18NM 점멸식 LED 등명기 표준규격화



회전식 등명기

- 해양수산부시설 제2018-112호 항로표지 장비용품의 기능 및 규격기준 전부개정을 통해 광달거리 20, 26, 27NM 회전식 LED 등명기 표준규격화
- 국내 회전식 LED 등명기의 신규 출시 형태는 LED와 집광렌즈가 일체화된 광원을 회전시키는 형태임
- 이는 기존 중대형 전구식 회전식 등명기에 적용되는 150W 이상 출력의 메탈할라이드 광원과 같이 LED를 이용한 360도 수평배광 구현 기술 미비로 추정



III. 회전식 등명기의 광원 현황

국내 회전식 등명기의 광원

- 2022년 현재 국내 운영되고 있는 중대형 회전식 등명기의 광원은 대부분 메탈할라이드전구(150W, 700W)를 사용하고 있음
- 신규 출시되는 회전식 LED 등명기는 5W 내외 출력의 Power LED와 집광렌즈가 일체화된 광원을 4면 혹은 6면으로 다수개의 광원을 배치하여 사용되며 기존 외곽 프레넬렌즈 회전방식의 전구식 회전식 등명기와 달리 내부 광원을 회전시키는 구조 특성을 가짐



국외 회전식 등명기의 광원

- 국외의 경우 2012년을 전후하여 회전식 등명기 전용 별도의 LED 광원을 제품으로 출시하여 메탈할라이드 전구를 대체하고 있음
- 더불어 국내 신규 출시되고 있는 회전식 LED 등명기 형태와 유사하게 LED와 집광렌즈가 일체화된 광원을 4면 혹은 6면으로 다수개의 광원을 배치하여 사용

국외 제조사별 회전식 등명기 전용 LED 광원 사양

LED 광원 모델명	광도	소비전력	제조사명	국명
SL-LED 324	2499 ccd	200 W	Sealight	호주
MLL1000	-	150 W	Sealight	호주

† 교신저자 : 고성광, skko@newmarine.co.kr, 051)920-3333

IV. 회전식 등명기용 LED 광원 연구 내용

1. LED 광원 구조설계 및 광학 시뮬레이션을 활용한 광학설계

※ COB LED, 리플렉터, 집광렌즈 등을 이용한 회전식 등명기용 가상초점광원 구현

LED 광원 구조설계

LED 광원 광학해석

광학	광학 시뮬레이션 결과값
출도(120°) 광속	23000 Lumen
실 상향 광속	2294.5 Lumen
실 측향 광속	12361.9 Lumen
총 수평 광속	9303.99 Lumen
예외 광속	1421.8 Lumen
방출각(90°)	56.4°

※ 부위(단위) 광속 대비 약 50%가 내부 구조로 리플렉터, 집광렌즈 등에서 흡수되고 약 50%가 수평으로 빛이 방사되는 것으로 해석됨.

IV. 회전식 등명기용 LED 광원 연구 내용

4. LED 광원 적용 중형 회전식 등명기의 광학시험 결과

400mm 중형 회전식 등명기 프레넬렌즈(6면) 적용

시험 결과 - 부동광도

시정	부동광도
1000	258,000
500	516,000
200	1,290,000
100	2,580,000

시험 결과 - 유효광도

시정	유효광도
1000	258,000
500	516,000
200	1,290,000
100	2,580,000

T-21-042 258,000~298,000 213,383

✓ 회전식 LED 등명기 120mm 기준 한계
✓ 시정 기준 - 환-속도(100%) 기준 시험 결과

IV. 회전식 등명기용 LED 광원 연구 내용

2. LED 광원 적용 중형 회전식 등명기 광학 시뮬레이션

중형 등명기 LED 광원 배치

중형 등명기 광학 시뮬레이션

광학	광학 시뮬레이션 결과값
피크 광도	204.471 cd
수직 방산각 (95%)	-1.65 ~ +2.95
수평 방산각 (95%)	-1.95 ~ +1.95

IV. 회전식 등명기용 LED 광원 연구 내용

5. LED 광원 방열장치 설계

1안 설계 구조

구성품	
LED Base	1개
냉각팬	3개
히트파이프 고정용 히트싱크	1개
히트파이프(외부)	6개
메인 히트싱크	4개

2안 설계 구조

구성품	
LED Base	1개
냉각팬	4개
히트파이프 고정용 히트싱크	1개
히트파이프(외부)	8개
히트파이프(내부)	4개
메인 히트싱크	4개

3안 설계

구성품	
히트싱크	1개
냉각팬	17개
히트파이프	6개
Zipper Fin Upper Plate	1개
Zipper Fin	56개
Zipper Fin Lower Plate	1개
Cone	1개

IV. 회전식 등명기용 LED 광원 연구 내용

3. LED 광원 광학시험 결과

해의 MsM사 LED 광원 시험결과

시험항목	단위	결과	비고
전압공차	V	±4.5%	0.719V ~ 3.784V (4)
광원전류공차	A	±3.8%	
광속차	-	±2.8	
비율	-	0.39	
전압	V	AC 220	
전동	A	0.78	
전력	W	164.9	
전류	-	0.65	

연구 시제품 LED 광원 시험결과

광원사 번호	출입전압(V)	소비전력(W)
R21-098	12.78(44.4)	160
R21-099	12.78(44.4)	
R21-100	12.78(44.4)	

✓ 광원사 번호: R21-098~100 최대 출력은 4.54% (10% 이내 편)
✓ 시험기준: LED-400 광원기술 연구센터

IV. 회전식 등명기용 LED 광원 연구 내용

6. LED 광원 방열장치 방열해석

※ 200W COB LED 출력의 75%를 투입열원량(150W)으로 방열해석

1안 방열해석

투입열원량 : 150W
최고온도 : 130,439°C

2안 방열해석

투입열원량 : 150W
최고온도 : 103,169°C

3안 방열해석

투입열원량 : 150W
최고온도 : 76,525°C

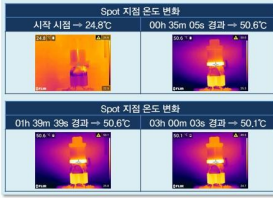
IV. 회전식 등명기용 LED 광원 연구 내용

7. LED 광원 방열장치 시험 결과

※ 150W COB LED에 1안 방열장치 구조 적용 시험

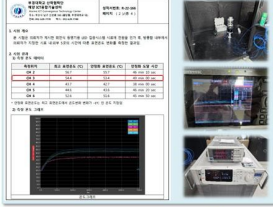
자체 시험결과

- LED와 가장 근접한 곳을 Spot으로 설정하고 열화상카메라로 3시간 연속 온도변화 영상을 촬영하여 분석
- 시험 시작으로부터 약 35분 05초에 안정화 확인



공인시험기관 시험결과

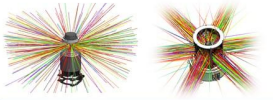
- LED 광원 5개소에 열전대 설치 후 온도변화 측정
- 시험 시작으로부터 40분에 안정화 확인
- 시험기관 : 해양 ICT융합기술센터



V. 결론 및 향후 연구방향

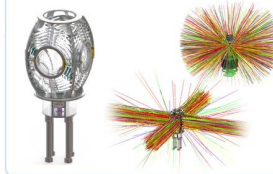
결론

- 본 연구를 통해 150W COB LED, 리플렉터, 집광렌즈 등을 이용한 회전식 등명기용 360도 수평배광의 가상초점광원 구현
- 국내 최초 가상초점광원을 이용한 광달거리 20NM(해리)의 회전식 LED 등명기 시제품으로 성능 실증
- 국내 기술로 해외 제품보다 성능이 우수한 회전식 등명기용 LED 광원 기술 확보



향후 연구방향

- 200W 이상의 고효율 COB LED를 적용한 가상초점광원 구현 기술 연구
- 200W 이상의 고효율 COB LED의 방열장치 기술 연구
- 가상초점광원을 이용한 광달거리 21NM(해리) 이상의 회전식 등명기 연구



후 기

본 연구는 산업통상자원부 소관 국가혁신융복합단지지원 (R&D) 사업 “ICT 기반의 LED와 반사경을 활용한 등명기의 섬광기 개발” 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 해양수산부 「항로표지 장비·용품의 기능 및 규격 기준」, [해양수산부고시 제2018-112호]
- [2] 해양수산부 「항로표지 장비·용품의 기능 및 규격 기준」, [해양수산부고시 제2020-4호]
- [3] SABIK MARINE, Lighthouse Beacons Datasheet
- [4] Sealight, Marine Lantern Datasheet, Lighthouse Equipment
- [5] MsM, Marine Lanterns Datasheet, LED Rotating Beacons Datasheet, Lighthouse Equipment
- [6] (주)엠에스엘테크놀로지, 해상용등명기 제품소개
- [7] 대기해양주식회사, Marine Signal Lantern 제품소개