

LED 등명기 경량화를 위한 복합재료 적용 기초 연구

유성환* · 신경호* · 이동희*†

A Basic Study on the Application of Composite Materials for the Light-weight LED Beacon

Seong-Hwan Yoo*, Kyung-Ho Shin*, Donghee Lee*†

ABSTRACT: We developed the high-power LED beacon and investigated the applicability of composite materials for the light-weight design of LED beacon. By means of the application of composite materials, the vertical deformation could be reduced by 17% and the total weight of LED beacon 8.9 kg comparable to 20% light-weighting against aluminum beacon. In thermal radiation test, the maximum temperature of LED package was measured to 63.5°C under ambient temperature (20°C), which is acceptable considering both performance and lifespan of LED packages. In this study, the applicability of composite materials was demonstrated for light-weight design of high-power LED beacon.

초 록: 본 연구에서 고출력 LED를 개발하였고 등명기의 경량화 설계를 위한 복합재료의 적용에 대해 검토하였다. 복합재료의 적용을 통해 수직 변형량이 17% 감소하였고 전체중량은 알루미늄 소재 적용 대비 20% 감소에 해당하는 8.9 kg을 줄일 수 있었다. 방열 특성 측정 결과, 외기온도 20°C 조건에서 LED 패키지의 최고온도는 63.5°C로 측정되었다. LED 패키지의 성능 및 수명을 고려할 때 적합한 온도 수준이다. 본 연구에서는 고출력 LED 등명기의 경량화를 위한 복합재료의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

Key Words: LED 등명기(LED Beacon), 복합재료(Composite materials), 방열해석(Thermal radiation analysis), 구조해석(Structure Analysis), 경량화(Light-weighting)

1. 서 론

섬유강화 복합재료는 우수한 비강성, 비강도를 강점으로 다양한 경량화 및 내진동 특성이 요구되는 곳에 사용되고 있다. Kim 등[1]은 섬유강화복합재료-포움 샌드위치 구조를 이용한 공작기계 컬럼을 제작하고 기존 금속재료구조와 유한요소해석 및 실험을 통해 비교연구를 수행하여 구조물 성능을 파악하였다. Kim 등[2]은 섬유강화복합재료-포움 샌드위치 구조를 공작기계의 컬럼과 스테이지 부에 적용하기 위해 파라메트릭 연구를 수행하였다. Chang

등[3]은 섬유강화 복합재료를 이용한 공기정압 주축의 설계 연구를 통해 기존 주축 시스템의 동적특성을 향상시켰다. Choi[4]는 방전가공기용 복합재료 외팔보를 설계 및 제작하여 하중실험 및 유한요소 해석 연구를 통해 기존의 금속 외팔보 대비 우수한 성능을 확인하였다. Seo 등[5]은 초고속 머시닝센터의 이송부에 복합재료를 적용하여 강성설계 및 제작을 수행하였고 강철구조와 복합재료를 접합한 하이브리드 구조의 진동 특성을 실험적으로 비교하였다. 복합재료를 적용한 연구와 함께 해상용 LED를 이용한 다양한 연구들이 수행되었다. Byun 등[6]은 해상용 LED 등

Received 30 September 2015, received in revised form 29 October 2015, accepted 30 October 2015

*KOPTI (Korea Optic Technology Institute)

*†KOPTI (Korea Optic Technology Institute), Corresponding author (E-mail: dhlee@kopti.re.kr)

명기 설계연구를 통해 LED 등명기 의 효율적인 방열성능을 갖기 위한 구조를 제안하였다. Kim 등[7]은 아크릴계 재질을 이용한 렌즈설계를 통해 해상용 등명기를 위한 프레넬 렌즈의 설계및 제작에 관한 연구를 수행하였다. Kim 등[8]은 탄소/에폭시 적층판의 온도변화에 대한 변화를 예측하고 실험적으로 검증하여 복합재료가 다양한 온도 환경에 노출되었을 때 물성치 및 열팽창 계수 등의 특성을 확인 하였다. Jeong 등[9,10]은 해상용 LED 등명기의 실험과 통계 자료를 이용하여 광도 저하 등 수명특성을 확인하고, LED 등명기에 대한 동향과 특성 변화에 관한 연구를 수행하였다.

이러한 선행 연구를 바탕으로 본 연구에서는 등대내부에 설치되는 등명기에 대한 구조성능 향상을 위하여 기존 금속구조 파트에 복합재료를 적용하여 설계를 수행하고 기존 금속 구조와 비교연구를 수행하였다.

2. 등명기

2.1 등명기 구조

등명기 구조는 빛을 비추는 광원부, 광원부에서 나오는 발열을 해결하기 위한 방열 기구부, 그리고 회전부로 구성 되어 있다(Fig. 1).

기존 등명기의 경우 광원부와 회전부가 같이 회전하는 방식이나 LED 등명기의 경우 광원부와 회전부가 분리되어 설계가 수행되었다. 또한 기존 등명기의 경우 4면 발광 구조이기 때문에 광원부 에너지 소모가 상대적으로 크나 기구부 무게가 가볍고 회전속도가 낮기 때문에 모터회전에 대한 소비전력은 작은 편이었다. 그러나 본 연구에서 개발하고자 하는 LED 등명기의 경우 1면 발광구조이며 반사판 및 반사판 지지부 등의 무게에 의해 모터회전에 대한 소비전력이 클 것으로 예상된다. 이러한 필요에 의해본 연구에서는 등명기 구조 중 회전부와 방열부의 설계를 수행하여 적용성을 검토하였고, 구조성능향상 정도와 방열부의 성능을 파악하고자 하였다. 회전부의 경량화를 위해 탄소 섬유강화 복합재료를 적용하여 해석을 수행하여 기존 금속 구조와 비교하였다.

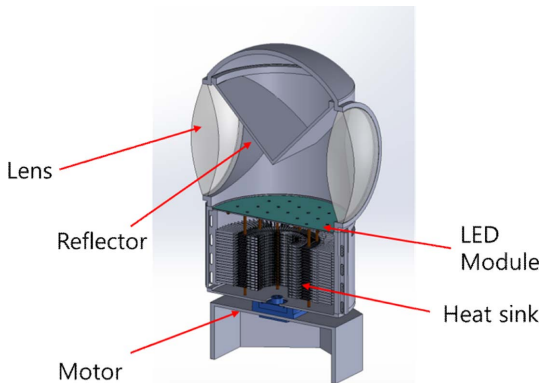


Fig. 1. Conception of LED beacon

Table 1. Properties of materials

Materials	Young's Modulus [GPa]	Shear Modulus [GPa]	Density [kg/m ³]
Aluminum	70	26	2800
USN125	130(E ₁)/ 10.5(E ₂)	4.5(G ₁₂)/ 3.5(G ₁₃) G ₁₃ = G ₂₃	1550

2.2 재료

본 연구에서 적용한 재료는 SK 케미컬에서 생산되고 있는 탄소섬유/에폭시 프리프레그로 기본 물성은 다음 Table 1과 같다.

복합재료를 적용하기 프레임 구조에서 하중을 지지하는 보의 경우 선행연구[1]를 통해 알려진 길이방향 강성과 성형성 등을 고려한 USN125 섬유 [±5]_{20T} 적층 조건을 이용하여 연구를 수행하였으며 기존 금속구조와 알루미늄 복합재료 하이브리드 타입의 비교를 수행하였다.

3. 유한요소해석

3.1 방열부

500W 이상의 고출력을 갖는 LED 등명기의 온도 관리를 위해서는 종래와 같은 히트싱크의 적용만으로 LED칩에 있어서의 T_j(Junction Temperature)를 85°C 이하로 관리하는 데에 어려움이 있다. 본 연구에서는 자중의 영향을 최소화하고 고출력의 열에너지를 열원으로부터 히트싱크로 급속전달하기 위해서 히트파이프(Heat pipe)를 적용하였다(Fig. 2). 히트파이프의 열전도도는 20000 W/mK 수준으로 알루미늄 대비 약 200배 이상의 높은 열전도율을 가지고 있다. 해석에 사용된 프로그램은 Solidworks 2013의 simulation tool이

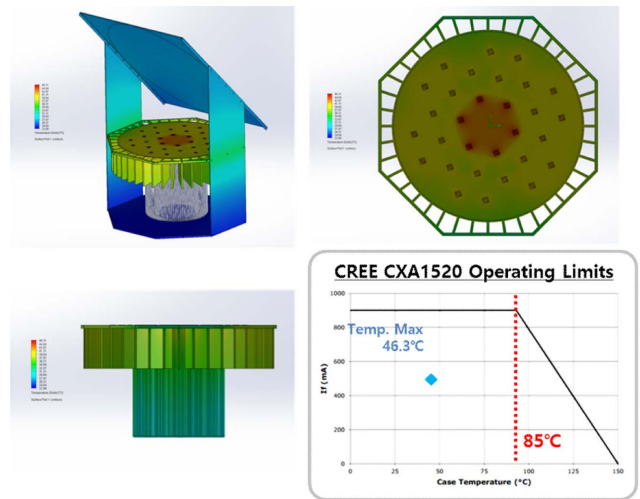


Fig. 2. Radiation part& finite element analysis

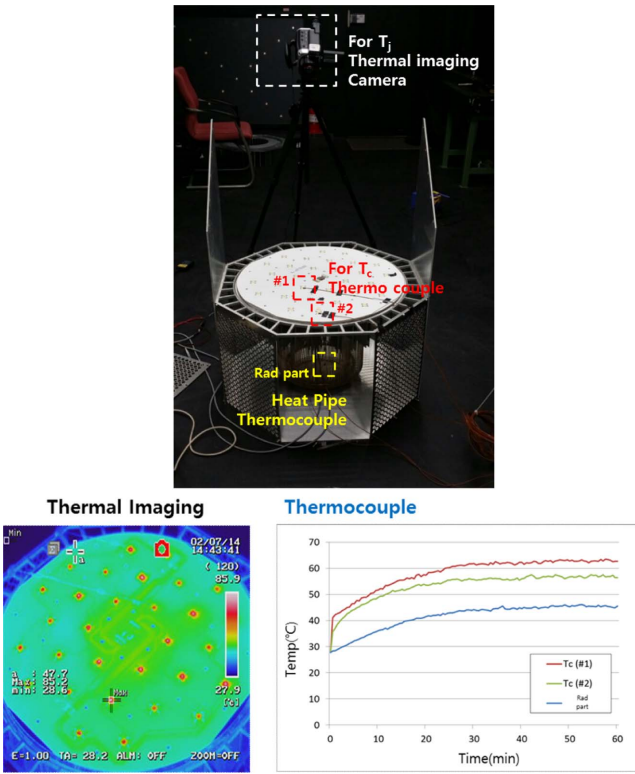


Fig. 3. Evaluation of radiation part

Table 2. Test condition & result

Condition		Test result Temperature (°C)		FEA result Temperature (°C)	
Power [W]	522	Tj	85.2	Tj	46.3
Voltage [V]	37.3	Tc	63.5	Tc	38.7
Current [A]	14	Heat pipe	43.5	Heat pipe	31.4

며, 요소 수는 38462개이다. 외기 온도 조건은 20°C로 설정하였다. 해석 결과 최고 온도가 46.3°C 수준으로 예측되었으며, LED의 광 효율 및 장수명 실현에 필요한 85°C 이하의 온도조건을 충족함을 확인하였다(Fig. 2).

해석과 시제품과의 차이를 확인하기 위하여 열전쌍과 열화상 카메라를 이용한 측정을 수행하였다(Fig. 3). 실험 조건 및 결과는 Table 2와 같다. 해석 결과와 실제 측정과의 결과값 차이가 나는 이유는 두 가지로 분석된다. 첫째 광원과 방열부의 계면과 광원과의 불규칙한 계면으로 인한 방열 성능의 저하이다. 해석에서는 광원과 방열부간의 계면이 완전한 접촉으로 간주하여 모델링 하였으나 가공면의 불규칙한 계면 사이에 공기층이 존재하고 방열용 그리스로는 공기층을 최소화 하는데에 어려움이 있다. 본 모델의 경우 다수의 계면이 적용되어 오차가 누적된 것으로 판단된다. 두번째로 히트파이프의 열 전도도 차이가 실제와 해석간에서 발생한 것으로 파악된다. 히트파이프의 경우 내부 작동 유체의 불규칙한 진동을 통해 열이 전달되는 방식이다.

해석적으로 이를 구현하기 위해서는 다상 유동에 대한 고려가 필요하나 이를 구현하기에 어려움이 있어 등가 모델의 금속으로 가정하여 적용하였으나 실제와 차이가 있었고 적용된 모델의 경우 히트파이프가 가장 이상적인 성능을 내는 직관 타입이 아닌 ‘c’자 형태의 구부러진 모델로 굽힘이 있는 위치에서 형상적인 문제 및 설치 위치에 따른 변수로 인해 결과값이 차이 나는 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발한 LED 방열부의 경우 조명분야 표준인 LM 80에서 요구하는 T_C (Case Temperature, 85°C)가 63.5°C로 만족함을 확인하였다.

금속재료 대비 상대적으로 온도에 취약한 섬유강화 복합재료의 경우 온도에 관한 다양한 선행연구[8]가 수행되었다. 본 연구에서 측정된 결과 63.5°C의 경우 상온 20°C 강성 대비 약 3.2%의 감소를 가져오는 것으로 판단되어 섬유강화 복합재료를 적용하기에 충분한 성능을 유지할 것으로 판단된다.

3.2 회전 기구부

LED를 이용한 등명기의 회전 기구부는 광학적 성능을 담당하는 반사판 및 프레넬 렌즈들을 지지하며 하부 모터에

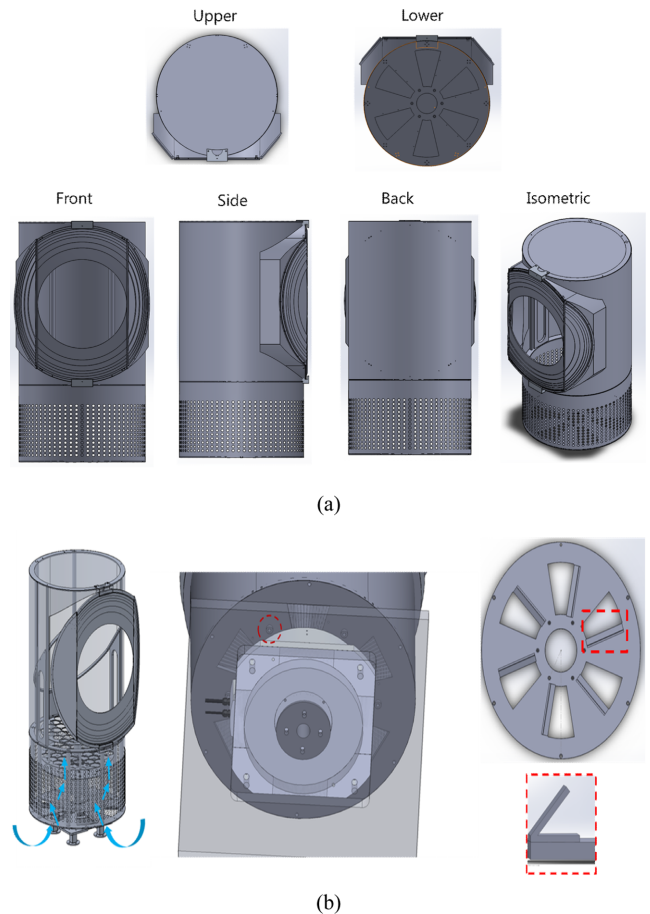


Fig. 4. Housing; (a) outline, (b) lower plate design

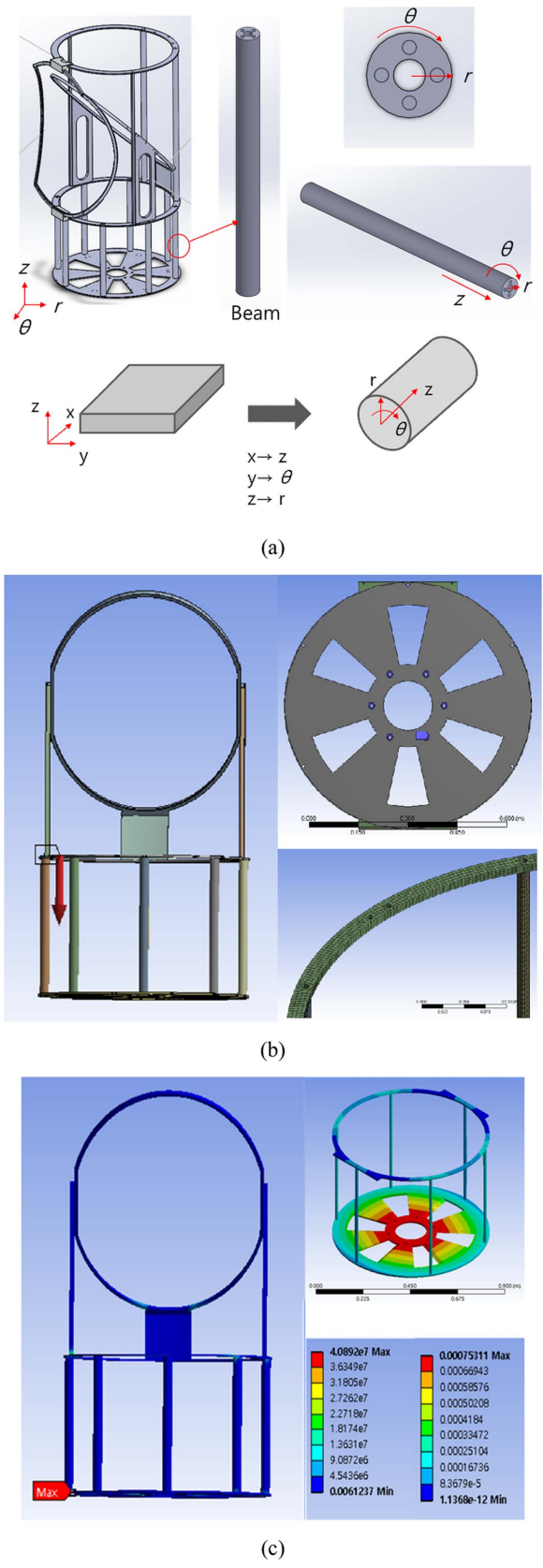


Fig. 5. Finite Element Analysis of housing frame structure; (a) composite beam & coordinate system, (b) mesh& boundary condition, (b) FEA result

고정되어 회전하는 구조를 갖는다(Fig. 4). 이 기구부의 경량화가 이루어졌을 때 등명기 자체의 LED를 이용한 소비 전력감소 효과뿐만 아니라, 모터부의 소비전력을 감소시켜 추가적인 소비전력 감소효과를 기대할 수 있다. 이에 본 연구에서는 주 하중 지지 부인 컬럼부의 복합재료 적용을 통해 경량화를 추구하고자 하였으며, 기존 알루미늄구조와의 성능을 비교하였다. 또한 방열부의 원활한 공기 순환을 위해 회전과 함께 팬 방식의 냉각효과를 부여하기 위하여 하부 평판을 다음 Fig. 4와 같이 설계하여 방열성능향상과 경량화 모두를 만족시킬 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 반사판 및 하우징 등 프레임 구조에 실제 가해질 하중의 200%인 300 N을 부가하여 구조해석을 수행하였다. 구조해석의 경우 방열부와 마찬가지로 Solidworks 2013의 Simulation Tool을 이용하였다. 전체 요소 개수는 48391개이며, 경계 및 하중 조건으로는 모터부와 결합되는 하부 6개의 홀에 Fixed 조건을 부여하였고, 각 부품간 연결은 Tie 조건을 활용하였다.

최대하중의 경우 길이방향으로 약 40 MPa로 알루미늄 및 복합재료 구조 안정성엔 문제 없음을 확인하였고, 수직방향 변형량의 경우 최대 0.067%로 0.081%로 파악된 알루미늄 구조 대비 17% 감소함을 확인하였다.

해석 결과, 복합재료 적용시에 컬럼부의 무게 감소는 8.9 kg 이고 전체 예상 무게 43 kg에서 20%의 경량화를 이룰 것이라 판단된다. 무게 감소 및 수직방향의 변형량 감소를 고려한다면 알루미늄 구조 대비 경량화와 구조 안정성을 동시에 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

4. 시제품제작

실제 제품 제작에서 발생할 수 있는 문제점 등을 파악하기 위하여 본 연구에서는 대형 등명기 시제품을 알루미늄 재질로 제작하였다. 선행 연구들을 통해 설계되었던 방열부와 회전 기구부를 구성하였고, 실제 모터 구동을 통해 소비 전력 및 경량화가 필요한 부품들에 대해 파악을 하였다. 전체 무게의 경우 판금을 포함한 44 kg이며, 프레임 구조를

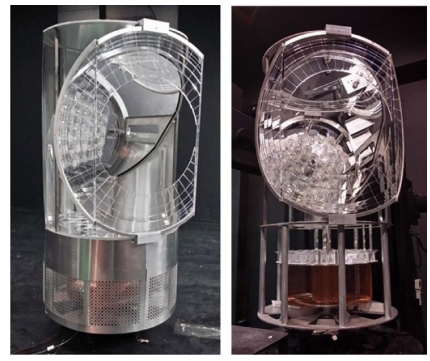


Fig. 6. Prototype

적용하였던 하중 지지부에서는 복합재료가 적용하기 상대적으로 수월할 것으로 예상되나, 반사판 지지부의 경우 두께가 최소 15 mm 이상이기 때문에 샌드위치 구조를 적용해야 할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 해상용 대형 등명기의 경량화에 복합재료를 적용하고자 기초 해석 연구를 수행하였다.

기본적으로 요구되는 방열 성능의 경우, 외기온도 20°C 조건에서 46°C 수준으로 예측되었고, 실제 측정 결과 조명분야 표준인 LM 80에서 요구하는 T_C (Case Temperature)가 63.5°C로 만족함을 확인하였다. 추후 본 기술이 적용될 해상용 등명기 자체의 성능에 적합한 방열설계로 판단된다.

회전 기구부의 경량화를 위한 컬럼부에 복합재료를 적용하였을 시에 총 8.9 kg의 경량화 및 수직방향 변형량이 기존 알루미늄 구조에서 17% 향상됨을 확인하였다. 또한 알루미늄으로 제작한 시제품을 통해 추가 경량화가 가능한 부분에 대해 확인할 수 있었고, 체결성 및 온도 분포에 대한 기본적인 정보를 확인할 수 있었다. 차후 복합재료를 적용한 시제품 제작을 통해 진동 특성 구조 안정성을 확인할 예정이다. 본 연구를 통해 등명기 설계에 있어서 복합재료의 적용성을 해석적 접근을 통해 확인할 수 있었고, 이러한 구조에 대한 연구 이외에도 구동 시 노출되는 자외선 등 환경적 요인에 대해서는 추가 연구가 필요할 것으로 판단되어진다.

후 기

본 연구는 광주녹색환경지원센터의 2014년도 연구사업비(14-2-70-71) 지원 및 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다(과제명: 육지초인용 LED 대형등명기 개발(2013), 등질 인지 향상을 위한 다중배광 기술 적용 소형 LED 등명기 개발(2015)).

REFERENCES

1. Kim, J.H. and Chang, S.H., "Design of μ -CNC Machining Centre with Carbon/epoxy Composite Aluminum Hybrid Structures Containing Friction Layers for High Damping Capacity," *Composite Structures*, Vol. 67, No. 1, 2007, pp. 29-44.
2. Kim, D.I. and Chang, S.H., "Parametric Study on Design of Composite-foam Sandwich Structures for Micro EDM Machine Tool Structures," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 19, No. 2, 2006, pp. 13-19.
3. Chang, S.H., Lee, D.G., and Han, H.S., "Design of High Speed Composite Air Spindle System," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 14, No. 1, 2001, pp. 47-56.
4. Choi, J.H., "Manufacture and Performance Test of the Composite Cantilever Arm for Electrical Discharge Wire," *Journal of the Korean Society for Composite Materials*, Vol. 13, No. 6, 2000, pp. 39-46.
5. Seo, J.D., Kim, H.S., Kim, J.M., Choi, J.K., and Lee, D.G., "Design and Manufacturing of Composite Machine Tool Structures for High Speed Milling Machines," *Proceeding of the KSCM Annual Spring Conference 2002, Korea, May, 2002*, pp. 223-226.
6. Byun, G.S., Kim, G.H., Kim, M., and Kim, C.H., "Design and Manufacturing a Synchronous Flash of LED Marine Lantern Based on GPS-based," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 15, No. 5, 2012, pp. 885-891.
7. Kim, J.T., Park, S.N., and Park, C.W., "Optical Design and Fabrication of Fresnel Lens for Marine Signal Lanterns," *New physics*, Vol. 53, No. 6, pt. 1, 2006, pp. 483-488.
8. Kim, J.S. and Yoon, K.J., "Characterization of Thermal Expansion Coefficients of Carbon/epoxy Composite for Temperature Variation," *New physics*, Vol. 53, No. 6, pt. 1, 2006, pp. 483-488.
9. Jeong, K.W., Park, Y.B., Choi, J.H., and Kweon, J.H., "A Study on Trends and Characteristics of LED Lantern," *Proceeding of the KIEE Annual Spring Conference 2015, Kyung-ju, Korea, May, 2015*, pp. 76-76.
10. Jeong, J.H., Yu, C.H., Kim, H.J., Kim, J.K., and Ahn, J.R., "Life Cycle Characteristic for LED Marine Signal Lights," *Proceeding of the KIEE Annual Spring Conference 2009, May, pp. 160-163*.
11. Lee, D.G. and Seo, N.P., *Axiomatic Design and Fabrication of Composite Structures*, Oxford University Press., USA, 2005.