

LED 조명용 카본 마그네슘 신소재 방열 특성 연구

손일수¹, 신성식^{2,a}

¹ 호서대학교 벤처전문대학원 IT환경학과

² 호서대학교 Co-op학부

A Study of Characteristics of Heat Dissipation Carbon Magnesium New Materials of LED Lighting

Il-Soo Son¹ and Sung-Sik Shin²

¹ Department of IT environment, Hoseo Graduate School of Venture, Seoul 137-867, Korea

² Department of Co-op, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(Received November 1, 2013; Accepted November 18, 2013)

Abstract: This is the study on the development of fusion heat dissipation of carbon magnesium materials. The purpose of this study is for effective utilization of heat emission which is the core of LED lighting. The result of study enabled the derivation of side satisfying result of making the surface temperature of lighting to be below 70°C (actual measurement: 58°C) using magnesium. The lighting products that use magnesium was made possible based on the result of this study. Also from the performance aspect such as light distribution, the measurement of light efficiency demonstrated the level of 90 lm/W. Therefore the commercialization of lighting was made possible and the efficiency could be further enhanced by supplementation of LED performance.

Keywords: LED lighting, Magnesium(Mg), Heat dissipation, LED junction, New materials, Characteristics

1. 서론

현대는 급변 하고 있는 반도체 소자산업과 함께 LED 기술의 발전과 광학기술의 활성화로 인한 가시광선의 효과적인 활용을 통한 조명기술이 발전하고 있다. 이는 환경과 에너지 절감 뿐만 아니라 인간의 감성 조명 분야까지 다방면으로 적용이 되고 있는 상황이다 [1].

반면, 백열전구나 할로겐 이용한 램프의 경우, 에너지 절감의 한계에 부딪히고 있으며, 그린에너지 추진이라는 환경 분야의 변화에 걸림돌로 작용하여 웰빙을 목표로 하는 인간 생활에 부정적인 영향을 주고 있다 [2].

따라서 에너지 절감과 환경 보전 측면에서 인간의 욕구를 충족할 수 있는 기술 분야로 더욱 확대 되고 있으며 보다 안락한 주변 결정 요소로 조명을 통한 환경으로의 변화가 요구되고 있다. 이에 LED 등의 반도체를 활용한 조명기술의 발전과 함께 이를 구성하고 있는 소재와 소자의 발전이 꾸준히 진행되고 있다. 더불어 이를 활용한 응용기술의 상용화 및 핵심기술의 활성화로 미래의 생활 수단으로 자리매김 되

a. Corresponding author: steven@hoseo.edu

고 있다 [3]. 또한 조명장치의 경우, 방열 추진을 위한 소자의 확대에 의한 제품의 무게와 크기의 축소가 한계에 있음이 도입 분야의 애로 사항으로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 광 효율 측면에서 빛의 활성화와 신뢰성 안정의 상품으로 거듭나기 위한 기술의 효과적인 대응이 필요한 시점이라고 할 수 있다.

소자 측면에서 볼 때, 광소자인 LED의 경우, 광 효율 향상과 이를 구성 하고 있는 전원의 최적화된 구동이 향상되어야 한다. 특히 LED 광 출력 시 발생하는 LED 소자의 junction 온도의 Design Margin의 설정이 반도체 활용 조명장치의 신뢰도 향상을 위한 핵심기술로 구성이 되고 있다 [4]. 따라서 LED의 방열을 최적화된 구동회로와 효과적인 열의 방출로 LED 표면의 온도를 섭씨 70℃ 이하로 유지할 수 있는 조명 유지로 최대의 광 효율 달성과 수명을 연장할 수 있는 조명 제품의 개발 또한 필요하다.

따라서 본 연구는 마그네슘 소재의 융합 방열소자인 카본 마그네슘 방열 소자를 이용하여 경량화, 방열효과, 전자파 차폐 등의 특성을 비교 분석한 연구이다. 본 연구를 통하여 마그네슘의 특성과 성분의 최적화로 열 저항을 최소화 하며 방열소자의 크기와 무게도 기존 유사 방열소자인 알루미늄 등에 비하여 30% 이하의 소형화를 달성하고자 한다.

본 연구 결과는 LED를 사용하는 조명 장치 방열기술의 안정화와 상용화기술의 지속적인 연구개발로 가로등 등에 사용하는 조명기술 뿐만 아니라 가정 및 산업용 조명기술로도 활용하게 되기를 기대한다.

2. 실험 방법

2.1 마그네슘 합금 소자 개발

마그네슘 (magnesium)은 원자번호 12번의 원소로 원소기호는 Mg이다. 탄소는 주기율표 14족 2주기에 속하는 원소로 원소기호는 C이다. 마그네슘은 순수한 원소인 금속 상태에서는 화학반응성이 크며 자연 상태에서는 화합물로만 존재를 한다.

마그네슘은 지각무게의 약 2%를 차지하며 풍부한 원소이며 우주 공간에서는 9번째로 많은 원소로 구성이 되고 있다. 이는 약 60여종의 광물질이 마그네슘을 포함하고 있으며 마그네사이트 (magnesite), 돌로마이트 (dolomite), 카널라이트 (carnallite) 등이 있다. 바닷물 1리터에도 1.29 g의 마그네슘 이온을 함유하

고 있다.

금속 마그네슘은 소금물에서 얻은 마그네슘을 전기 분해 시키거나 돌로마이트를 화학적으로 환원시켜 얻고 있다. 금속 마그네슘의 경우, 공기에 노출되면 금속광택을 잃게 되나 얇은 산화마그네슘 (MgO) 보호 피막으로 인해 안정하게 얻을 수 있다. 가루 형태는 공기 중에서 불이 붓기 쉬우며 연소 시 밝은 흰색을 띠고 있으며, 이로 인한 플래쉬 등에 사용이 되고 있다. 은백색의 고체금속으로 밀도는 1.738 g/cm³이며 녹는점은 섭씨 650℃, 끓는점은 섭씨 1,090℃이며 주요 사용으로 자동차, 항공기, 전자 제품 등에 사용되는 경량 합금의 제조, 희생적 양극 불꽃놀이, 소이탄 등에 사용되고 있다.

마그네슘의 주된 용도는 합금을 만드는 것이며 합금화된 마그네슘은 플라스틱만큼 가벼우면서도 강철만큼 단단한 성질을 가지고 있기 때문에 자동차나 항공기 부품, 자전거 프레임, 가전제품 등 휴대용 전기 부품에 활용도가 크다. 철보다 쉽게 산화되는 특성을 가지고 있으므로 선박 등의 철 구조물 부식 방지를 위한 희생적 양극 (sacrificial anode)으로도 사용이 되고 있다. 또한 마그네슘은 모든 살아 있는 세포에 꼭 필요하며 폴리 인산염(ATP, DNA, RNA)기능을 생물학적으로 조정하는 기능을 가지고 있다.

마그네슘의 물리적 성질은 녹는점이 섭씨 650℃로 알루미늄이 녹는점 (섭씨 650℃)과 비슷하며 끓는점이 섭씨 1,090℃이다. 밀도는 알루미늄의 2/3 Ti의 1/3, 철의 1/4에 불과한 특성을 가지고 있는 가벼운 금속이다.

마그네슘은 화학반응성이 큰 금속으로 대부분의 비금속 원소인 물, 암모니아, 산, 알칼, 유기할로젠 화합물과 잘 반응을 한다. 공기에 노출 시에는 투과성이 아주 적은 산화 보호 피막을 만들어 더 이상의 반응을 저해하는 특성도 가지고 있다. 이런 특성으로 큰 덩어리로 반응은 어려우나 용융상태, 가루, 얇은 막 상태에서는 쉽게 반응하는 성질도 가지고 있다. 또한 공기 중에서 발화될 시 산화마그네슘 (MgO)과 질화마그네슘 (Mg₃N₂)을 생성하고 격렬하게 타며 섭씨 3,100℃까지 온도가 올라가며 자외선을 포함하는 밝은 흰빛을 낸다. 습한 상태에서는 할로젠 원소에 의해서도 발화되며 MgX₂를 만든다. 물과 반응하여 MgO와 H₂를 만들며 이산화탄소 (CO₂)와도 반응하여 MgO와 탄소를 형성한다. 이로 인해 마그네슘이 타는 것을 방지하기 위해서는 물이나 이산화탄소를 사용하는 것 보다는 모래를 덮어 공기를 차단시키는 방법을

취해야 한다.

마그네슘은 전기 분해 또는 화학적 환원 방법을 써서 대량 생산된다. 전기분해시에는 주로 흑연을 양극으로, 철을 음극으로 활용하여 용융된 염화마그네슘($MgCl_2$)를 전기분해하여 마그네슘을 얻는다. 화학적 환원 방법은 돌로마이트($MgCO_3$, $CaCO_3$)를 구워서 얻은 산화물을 페로실리콘($FeSi$)으로 환원 마그네슘을 얻는다. 이러한 형태의 방법으로 마그네슘을 진공시켜 고순도의 마그네슘을 얻는다. 금속 마그네슘은 금속 구조체를 만드는데 철과 알루미늄 다음으로 많이 사용되고 있는 금속 중의 하나이다. 산업에 사용하는 경우 대부분은 순수한 마그네슘으로 사용하기 보다는 알루미늄, 아연(Zn), 망가니즈(Mn) 등과 합금을 만들어 사용에 이르고 있다. 마그네슘 합금은 통상적으로 Mg를 90% 이상 포함하고 있으며 밀도가 플라스틱 밀도와 비슷한 $1.76\sim 1.87\text{ g/cm}^3$ 을 이루며 알루미늄을 주 성분으로 하는 합금의 밀도인 $2.56\sim 2.80\text{ g/cm}^3$ 보다 현저히 낮으면서 강도는 비슷하여 강철과 같은 강도를 가지면서 무게는 1/4에 불과한 특성을 가지고 있다. 합금에 첨가되고 있는 금속의 종류와 양을 조절하면 가벼우면서도 기계적으로나, 열적으로 우수한 여러 종류의 합금을 만들 수가 있다 [5].

마그네슘합금은 1차 및 2차 세계대전 때에는 많은 군용기들이 동체의 엔진, 바퀴 등에 많은 사용을 하였고 2차 세계대전 때에는 폭격용으로 쓰이는 소이탄 등에 사용되기도 하였다. 한편, 위험성으로 인한 문제로 인하여 항공기의 내열 마그네슘 합금은 다른 형태의 합금으로 변환이 되었지만 일부 제트기의 엔진 부품, 로켓, 미사일 등에는 아직도 사용이 계속적으로 진행이 되고 있다. 특히 항공기와 자동차를 가볍게 하여 연료를 절약하고 배기가스를 줄이는 것이 중요시 되므로 마그네슘 합금의 사용치가 늘어나고 있으며 새로운 마그네슘을 개발하기 위한 과학자들의 노력이 가열해 지고 있다.

마그네슘 합금은 가볍고 기계적, 전기적, 열적성질이 우수하며 전자파를 차단하는 성질이 있고 가공성이 우수하여 노트북 컴퓨터, 휴대용 전화, 카메라 등의 각종 전자 부품 및 제품으로 활용이 되고 있다. 가정의 주방용품에도 마그네슘의 활용이 많이 늘어나고 있는 추세이며 알루미늄 캔인 음료수 캔도 마그네슘 합금이며 아연과의 합금을 통하여 금형재료로도 활용이 되고 있다.

오래전부터 마그네슘은 불꽃놀이, 조명탄, 소이탄, 사진 플래시 등에 사용이 되어왔고, 마그네슘이 탈

때 나오는 빛을 이용하여 과원의 역할을 대행하기도 하였다.

이 밖에도 그리나르 시약의 제조, 우라늄이나 타이타늄을 환원시켜 금속을 얻기 위한 환원제, 지하탱크의 파이프 등의 구조물을 보호하기 위한 희생적 양극으로도 활용이 되어 왔다. 특히 제철 분야에서는 유황을 제거하기 위한 첨가물로도 활용이 되어 왔다.

위에서 제시한 합금마그네슘의 특성과 교반 기술을 이용하여 마그네슘의 주조성과 압출 성형이 용이한 합금 소자를 얻을 수 있었다.

2.2 카본마그네슘 소재의 융합 방열소자 개발

카본(탄소)은 주기율표 14족 2주기에 속하는 원소로 원소기호는 C, 원자량은 12.0107 g/mol , 승화점은 섭씨 $3,642^\circ\text{C}$, 밀도는 흑연이 2.267 g/cm^3 , 다이아몬드가 3.515 g/cm^3 인 동소체로 비결정성 탄소, 결정성인 흑연, 다이아몬드가 있다. 수소와 산소, 질소 등과 공유결합을 안정적으로 형성할 수 있어 생체 분자의 기본요소로 사용이 되며 지구상의 석탄과 석유의 주성분이다. 융해열은 117 kJ/mol , 전기 음성도는 2.55이며 전자 배열은 $1s^2 2s^2 2p^2$ 의 특성을 가지는 원소로 알려지고 있다 [6].

대기 중에서 기체 상태인 이산화탄소로 존재하고 암석권에서는 탄산염, 물속에서는 탄산이온 형태로 존재하고 있다. 유기 화합물의 주요성분이며 생물체의 몸을 이루는 중요 구성 원소로 자연계에서 각종 경로를 통하여 순환을 하고 있는 매우 중요한 원소이다. 탄소는 수소, 산소, 질소 등과 공유 결합을 안정적으로 쉽게 형성할 수 있으며 단일결합 배열이 가능하여 수백만 종의 무질을 만드는 기본이 되고 있다. 탄소는 융해가 어렵고 물과 알콜 등 모든 용제에 녹지 않으며 고온에서 기체로 되는 성질을 가지고 있으며 산, 염기와 반응하지 않고 대단히 안정하며 공기 중에서 연소시키면 산소와 화합하여 이산화탄소가 된다.

흑연은 자연 상태로 얻어지며 한해 약 100만 톤이 중국, 인도, 북한, 캐나다 등에서 생산이 되고 있다. 합성 흑연은 흑연 도가니, 전지 및 전기 분해조의 전극을 만드는데 사용이 되며 고 분자를 열분해하여 얻고 있는 흑연섬유는 각종 고강도의 보합재료로 활용이 되고 있다. 최근에 연구가 진행 중인 탄소동소체인 풀러렌과 그래핀은 각종 나노 크기의 전자 장치와 부품의 재료로 활용이 크게 기대되며 미래의 신소재로 각광을 받고 있다.

탄소의 구성 및 성질을 이해하여 마그네슘 소자에 반도체 공법을 활용한 탄소의 표면 증착으로 카본마그네슘의 방열 소자를 얻을 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

기존의 마그네슘은 과거 알루미늄 첨가제 등 보조제로 알루미늄과 경쟁하면서 사용되어 왔다. 본 연구에서는 기존 마그네슘의 단점 보완의 측면에서 경량화, 방열효과, 전자파 차폐 등의 특성 비교 면에서 우수한 마그네슘 소자의 융합방열 소자인 카본마그네슘 합금소자 (가칭AZ91+C와 AZ31+C)를 얻을 수 있었으며 세부 내용은 아래와 같다.

3.1 경량화

마그네슘은 무게가 알루미늄의 65%, 철강의 22%로 현재 사용되는 구조용 금속 중 가장 가벼운 금속으로 경량화 소재로 각광받고 있다.

표 1과 같이 실용 금속들의 비중을 비교해 보면 마그네슘의 비중이 알루미늄의 비중보다 0.95 정도 비중이 낮았다.

Table 1. Compare of practical metal share.

Metal type	Weight
Mg	1.74
Al	2.69
Zr	6.49
Zn	7.13
Sn	7.29
Fe	7.87
Pb	11.34
Au	19.3

3.2 방열효과

마그네슘은 방열성이 우수하여 장시간 사용에 따른

Table 2. Comparison of thermal conductivity and specific heat of volumetric.

Type	Thermal conductivity	Volumetric
Al	2.2	0.567
Mg	1.7	0.435

Analysis More than 25% of the low thermal conductivity of magnesium. So high heat dissipation characteristics. More than 25% of the low volumetric of magnesium. So high heat dissipation characteristics.

시스템 내부의 열을 효과적으로 방출해내는데 좋은 소재이다.

표 2와 같이 알루미늄과 마그네슘의 열전도와 체적비열을 비교하였다. 표 2에서 마그네슘의 열전도만 보고 알루미늄의 방열이 더 좋은 것으로 착각을 일으킬 수 있는데, 체적비열은 오히려 마그네슘이 더 작아서 방열이 상대적으로 유리하다. 방열 특성은 열전도만 보고 정하는 것이 아니라 체적비열, 저항 및 열전달 계수 등의 특정계수와 활용도 등의 다양한 인자를 종합적으로 관찰하고 판단하여 특성이 지어진다.

3.3 방열향상 측정 (자체 측정)

방열향상 측정은 그림 1의 마그네슘의 열전도 영상과 그림 2의 알루미늄의 열전도 영상의 비교를 통하여 방열향상 측정의 결과를 확인하였다.

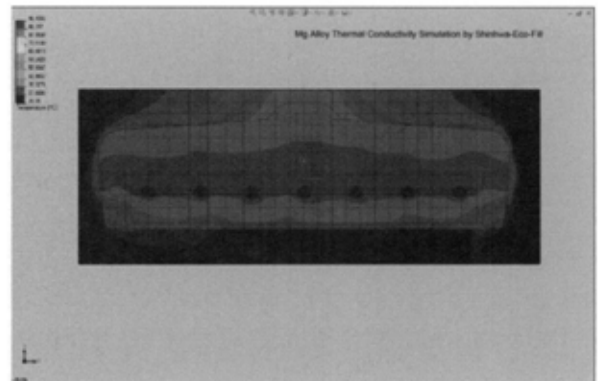


Fig. 1. Image of thermal conductivity of magnesium.

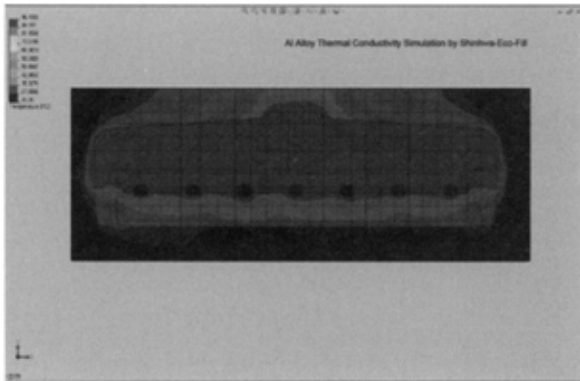


Fig. 2. Image of thermal conductivity of aluminum.

방열 향상 측정에서 상온의 공기와 맞닿아 있는 방열판의 윗부분은 그림 1의 마그네슘의 열전도 영상에서 노란색으로, 그림 2의 알루미늄의 열전도 영상과 비교하여 보면 마그네슘의 열전도의 온도가 낮은 상태인 것을 확인할 수 있다.

3.4 방열형상 및 실제 온도 측정 (자체 측정)

마그네슘과 알루미늄의 열전도와 체적비열을 비교하기 위하여 측정 방법과 측정 온도를 표 3과 같이 하였다.

Table 3. Comparison of thermal conductivity and specific heat of volumetric.

Division	Contents
How to measure	With the same shape Al, Mg samples and LED lights attached to the light emitting module 30 minutes into the image measuring heat sink temperature.
Measured temperature	temperature measurement of maximum

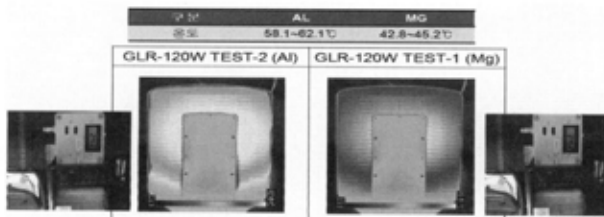


Fig. 3. Heat dissipation shape and actual temperature measurements.

그림 3은 알루미늄과 마그네슘의 방열형상 및 실제 온도를 측정하여 비교한 것이다. 그림 3과 같이 방열판 윗부분이 지칭하는 최대 온도가 마그네슘은 45°C 정도이고, 알루미늄은 62°C 정도로 방열 특성의 차이가 나타났다.

4. 결론

본 연구 결과 표면 온도를 섭씨 70°C 이하 (실측정치 58도) 측면을 만족하는 조명 제품의 설계가 가능하게 되었다. 이는 배광 등의 성능 측면에서 광 효율 90 lm/W의 측정이 완료되어 현존하는 조명 장치로 상용화가 가능하며 LED 성능의 보완 시 효율을 높일 수 있었다.

본 연구 결과를 바탕으로 한 LED를 사용하는 조명 장치 방열기술의 안정화와 상용화 기술의 지속적인 연구개발은 가로등 등에 사용되는 조명기술 뿐만 아니라 가정 및 산업용 조명 기술로도 활용될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구 결과는 반도체의 신뢰를 통한 제품의 기술 향상으로 사업화에 연결되어 경쟁력 향상에 도움이 될 것이다. 본 연구 결과가 산업용 조명기술로의 진입으로 기술의 차별화에 의한 고 신뢰 조명제품의 지속적인 기술개발과 사업영역의 확대에 참여 기업의 경쟁력 향상과 지역경제 활성화에 원동력이 될 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

- [1] J. K. Lee, *B. KIEEME*, 25, 9, 15 (2012).
- [2] S. B. Song, *B. KIEEME*, 25, 9, 4 (2012).
- [3] J. Y. Kim, *B. KIEEME*, 25, 8, 12 (2012).
- [4] K. R. Jo and Y. D. Kim, *B. KIEEME*, 25, 7, 11 (2012).
- [5] US DOE, *Solid-State Lighting Research and Development* (State and Community Programs, 2011).
- [6] S. M. Lee, S. I. Lee, J. K. Yang, J. C. Lee, and D. H. Park, *Trans. KIEE*, 59, 609 (2010).