

다이캐스팅용 알루미늄의 성분 변화에 따른 LED 방열 특성 연구

여정규¹, 허인성², 유영문², 이세일², 최희락^{3,a}

¹ 부경대학교 LED 융합공학전공

² 부경대학교 LED 해양융합기술연구센터

³ 부경대학교 재료공학과

A Study of Characteristics of the LED Heat Dissipation According to the Changes in Composition of Die-casting Aluminum

Jung-Kyu Yeo¹, In-Sung Her², Young-Moon Yu², Se-Il Lee², and Hee-Lack Choi^{3,a}

¹ Department of LED Fusion Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

² LED-Marine Convergence Technology R&D Center, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

³ Department of Materials Science and Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

(Received June 5, 2014; Revised June 30, 2014; Accepted July 1, 2014)

Abstract: Because of the development of LED technology, products due to high output and compact, the material with high thermal conductivity has been developed. Now that heat radiating part of the LED lamp is currently used for die casting of aluminum. The development of aluminum with excellent thermal conductivity is required. In this study, we measured the thermal properties and compared them while we produced the alloy by changing the component of die casting aluminum. From this study, the thermal conductivity and thermal resistance of the developed alloy were superior to die casting aluminum.

Keywords: LED, Die-casting aluminum, Thermal resistance, Junction temperature, Thermal conductivity

1. 서론

세계적으로 환경보호 추세에 따라 친환경 및 고효율 제품의 개발 및 생산이 활발하게 이루어지고 있다. 조명 분야에서도 형광램프처럼 유해물질이 전혀 사용되지 않고, 저효율적인 백열전구 보다 친환경적이고 고효율, 긴 수명을 가지는 LED (light emitting diode)를 사용한 조명 개발이 활발히 진행 중이며, 판매되고 있다 [1].

LED PKG의 출력이 높아지면서 LED 투광등, 가로등, 스포츠 조명, 경관조명 등 높은 광 출력을 내는 제품들이 개발되고, 높아진 광 출력만큼 발열량도 높아져 LED 접합온도가 상승하게 된다. 접합온도의 상승으로 P-N 접합 부분에서 생성되는 열이 외부로 원활하게 방출되지 못해 칩 내부에 남은 열이 전자와 정공의 비발광 재결합을 증가시키므로 광 효율 하락 및 LED의 수명 및 신뢰성과 내구성에 큰 악영향을 미치게 된다 [2,3].

발생한 열을 방출하는 방법은 대류, 복사, 전도의 3 가지 방법이 있으나, 가장 쉬운 방법인 높은 열전도도를 갖는 소재를 이용하여 방열부 (heatsink, heat-pipe)를 통해 열을 외부로 방출하는 것이다. 방

a. Corresponding author; choihr@pknu.ac.kr

열부의 열전도도를 높이기 위해 현재 카본 소재 (carbon material)와 그래핀 (graphene), 엔지니어링 플라스틱 (engineering plastics), 표면처리 등을 이용한 방열부품 개발의 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 아직까지 방열부품은 열전도도가 90~130 [W/mK] 정도의 알루미늄 소재 (ADC12)를 사용하여 다이캐스팅 기술에 의해 주로 생산되고 있다. 때문에 현재의 알루미늄 소재로는 LED 제품의 소형화 및 고출력화의 한계가 있다 [4,5]. 따라서 본 연구에서는 열전도도 및 열저항 성능 향상을 위해 개발된 방열전용 알루미늄 합금을 이용하여 열 특성을 측정하여 분석하고자 한다. LED 조명에서 중요한 열저항 및 접합온도를 측정하여 비교 분석하였다. 또한, 개발합금의 열전도도를 측정과 히트싱크 (heatsink)를 제작하여 광속유지율을 측정하여 비교 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 이론 고찰

2.1.1 열저항

열저항을 산정하는 방법은 크게 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 구간의 정보 없이 LED 소자의 전압과 전류, 온도 사이의 관계를 이용해서 전체적인 열저항을 알아내는 방법 (K-factor법)이 있다. K-factor 방법은 LED 소자의 구간별 열저항을 구할 수는 없으나 전체의 열저항을 쉽게 구할 수 있는 장점이 있다. K-factor를 이용하여 열저항을 구하는 과정을 그림 1에 나타내었다.

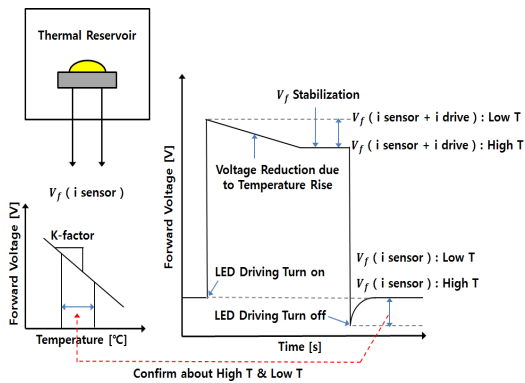


Fig. 1. Procedure of finding thermal resistance using K-factor.

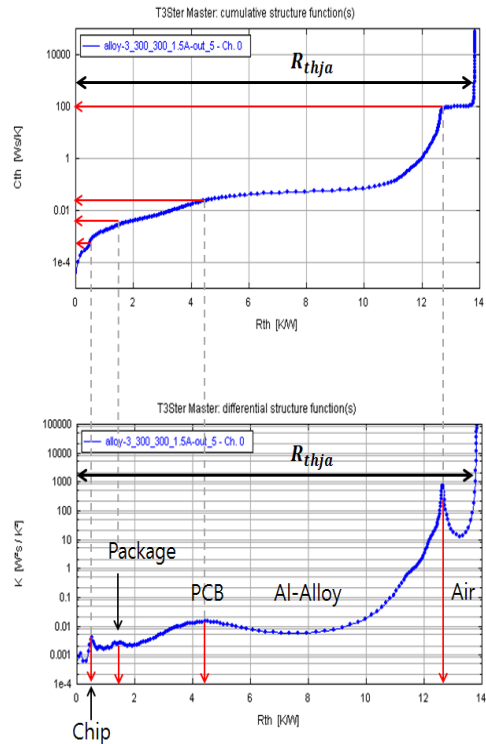


Fig. 2. Cumulative structure functions and Differential structure functions of LED chip.

두 번째로는 구조함수법을 이용하여 각각의 구간 열저항으로부터 전체의 열저항을 알아내는 방법이 있다. 구조함수법을 이용한 세부적인 열저항을 산정하기 위한 방법은 측정된 누적 구조함수의 값과 미분구조함수의 peak값을 통하여 열저항과 열전도계수의 값을 구할 수 있다. 이를 그림 2에 나타내었다 [6].

2.2 열전도도

합금의 열전도도는 보통 열확산계수 α 와 시사주사 열량계법 (differential scanning calorimetry)에 의해 측정된 비열 C_p 및 합금의 밀도 ρ 를 이용하면 식 (1)로 열전도도 k 를 계산으로 얻을 수 있다.

$$k = C_p \cdot \alpha \cdot \rho \quad (1)$$

열전도도를 구하기 위해서는 열확산계수와 비열, 밀도의 측정이 필수적이며, 열확산계수는 현재 세계적으로 약 75[%]가 섬광법 (laser flash method)으로

측정하고 있다. 섭광법은 1961년 Parker 등에 의해 처음으로 개발되어 고체재료의 열확산도 측정법으로 가장 많이 이용되고 있다. 이 방법은 시편 전면을 순간적 섭광으로 가열시킨 후, 시료 후면의 온도를 측정한다. 측정한 온도와 시간에 따른 곡선으로부터 섭광이 가해진 시간을 t_0 이라고 할 때, 시편 후면 온도가 최대일 때의 시간 t_{max} 와 최대 온도의 1/2까지 걸리는 시간 $t_{1/2}$ 을 산출한다. 이 두 값을 열확산방정식에 대입하여 열확산계수를 구하는 방법이다. 그러나 레이저 섭광법은 다음과 같은 가정 조건으로 단순화된 모델에 의해서 해석하였다.

첫 번째 레이저펄스의 시간 폭은 무시할 수 있을 정도로 짧다, 두 번째 레이저빔은 공간적으로 균일한 분포를 가지며 시료의 표면은 균일하게 가열된다, 세 번째 시료는 단열된 상태이고, 시료는 균질하며, 시료는 불투명성재료이다 네 번째 펄스레이저는 시료의 매우 얇은 표면층에서 에너지의 흡수가 이루어진다.

이러한 가정에 의한 단점에도 불구하고 레이저 섭광법을 사용하는 이유는 짧은 측정 시간, 데이터 취득이 용이하고, 측정 시편의 크기를 작게 할 수 있으며, 저온 및 고온에서도 측정이 가능하다. 또한, 전도성 재료와 비전도성 재료, 이방성 재료 모두 측정이 가능하여 많이 사용되어지고 있다. 한편, 비열을 측정하는 방법으로는 시차주사열량계법 (differential scanning calorimetry) 이 있다. 시차주사열량계법은 열유속형과 입력 보상형으로 분류된다, 열유속형은 측정 시료와 기준 시료가 금속판에 올려지고, 금속판은 열을 보내는 가열로와 연결되어 있다. 열이 보내지고 측정 시료와 기준 시료의 온도 차를 측정하는데, 이 온도 차이와 보내진 열로부터 열유량을 얻어 비열을 구할 수 있다. 반면에 입력 보상형은 2개의 가열장치를 사용하여 측정 시료와 기준 시료를 각각 가열하며 특정한 비율로 온도를 올리거나 내린다. 가열장치에 의한 전력 공급이 조정되며 시료와 기준 물질의 온도 차 ΔT 가 항상 0이 된다. 이에 따른 열유량이 기록되어 비열 측정이 가능하다, 입력 보상형에서는 가열장치의 용량이 작고 온도 변화능력이 우수하고 가열장치와 시료 사이의 열저항이 작다. 이 두 가지의 DSC 모두 열을 정확하게 측정하며 비열 측정이 가능하고 얻어진 데이터는 정량적으로 이용할 수가 있다 [7].

2.3 Al-4원계 합금 시료 제작

열전도도가 우수한 알루미늄 합금을 개발하기 위해

Table 1. Chemical compositions of Al alloys (wt%).

Alloy	Cu	Fe	Mg	Zn	Al
1	1.2	0.5	0.5	-	Bal.
2	2.0	0.5	0.5	-	Bal.
3	-	0.5	0.5	2.0	Bal.
4	-	0.5	1.0	4.0	Bal.

서는 합금 원소가 알루미늄의 전기 비저항, 응고에너지, 용탕점도에 미치는 영향을 고려하여 합금을 개발하여야 한다. 또한, 다이캐스팅 시 용탕의 균형과의 소착성을 줄이기 위하여 Fe의 첨가가 중요하다.

이러한 사항을 고려하여 제작한 합금의 조성을 표 1에 나타내었다.

2.4 합금별 열 특성 측정

제작된 4종류의 합금의 열저항 및 열전도도를 측정하여 특성을 분석하였다. 합금의 열저항 측정은 LED-Module을 Thermal Pad를 사용하여 접합한 후 $25 \pm 1[^\circ\text{C}]$ 의 실내 온도에서 열저항 측정 장비 (Mentor Graphics, T3Star)를 이용하여 열저항과 접합 온도 (junction temperature)를 확인하였다.



Fig. 3. Al-alloy for measuring thermal resistance.

그림 3은 열저항 측정에 사용된 합금의 구조를 나타내고 있다. 측정에 사용된 LED는 Samsung사의 LH351A-3535 Ceramic LED 3 [W]를 사용하였고, 모

든 합금의 열저항 측정은 하나의 LED-module을 사용하였다. 합금의 열전도도는 실내 온도 $25 \pm 1[^\circ\text{C}]$ 에서 열확산도 측정 장비 (Netzch, LFA-467)와 비열 측정 장치 (Netzch, DSC-200F3) 이용하여 총 5회에 걸쳐 열확산도와 비열을 측정하여 열전도도를 구하였다.

2.5 합금별 광속유지율 측정

각 합금별로 히트싱크를 제작하여 적분구 (광전자정밀, OPI-1000)를 이용하여 실내온도 $25 \pm 1[^\circ\text{C}]$ 에서 광속유지율을 측정하였다. 측정에 사용된 LED는 열저항 측정에 사용된 것과 동일하며, Metal-PCB를 제작하여 총 8개의 LED를 이용하여 실험하였다.



Fig. 4. HeatSink for measuring lumen maintenance.

그림 4는 광속유지율을 측정하기 위해 제작된 히트싱크이다. 히트싱크의 가로는 110 [mm], 세로는 60 [mm], 두께는 8 [mm]이고, fin의 두께는 2 [mm]이고, 높이는 20 [mm], 총 개수는 8개이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 합금별 열저항 측정 결과 분석

열저항 측정장비를 이용하여 합금별 열저항 측정 그래프를 그림 5에 나타내었다. 측정 시 1,500 [mA]의 구동전류와 1 [mA]의 감지 전류를 인가하여 측정하였다. 합금별 열저항 값은 총 5회의 측정값 중에서 최댓값과 최솟값을 제외한 나머지 3개의 값으로 평균을 구하여 표 2에 나타내었다.

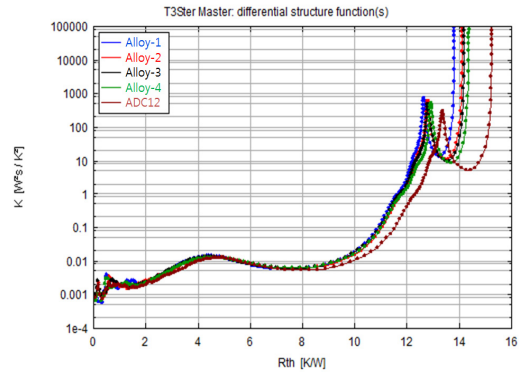


Fig. 5. Measured thermal resistance of Al-alloy.

Table 2. Thermal resistance of Al alloys.

Alloy	1	2	3	4	ADC12
Thermal resistance [K/W]	13.97	14.14	14.17	14.52	15.44

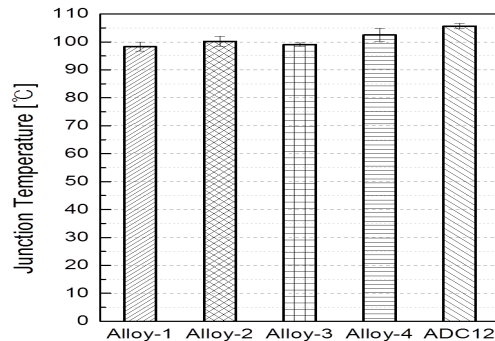


Fig. 6. Measured junction temperature of Al-alloy.

측정 결과 Alloy-1이 가장 낮은 열저항 측정값을 가지는 합금으로서 ADC12 합금에 비해 1.47 [K/W]가 낮은 13.97 [K/W]로 열저항이 측정되었다. 개발합금 중 Alloy-2와 Alloy-3의 열저항 측정값의 차이는 0.03 [K/W]로 큰 차이를 보이지 않았으며, Alloy-4의 열저항 측정값은 다른 합금에 비해 다소 높은 14.52 [K/W]이지만, Alloy-4 합금 역시 ADC12 합금보다는 낮은 것을 확인하였다. LED 조명에서 열저항 만큼 중요한 것이 접합온도이다. 접합온도가 높게 되면 광효율의 감소 및 색 온도 변화, 그리고 LED의 수명과 신뢰성 저하의 원인이 된다.

그림 6은 합금별 접합온도를 나타낸 그래프이다. 측정 결과 Alloy-1의 접합온도가 가장 낮게 측정되었고, ADC12 합금이 가장 높게 측정되었다. Alloy-1은 ADC12 합금보다 7.41[°C]가 낮은 98.24[°C]로 측정되었고, 다른 합금 역시 ADC12 합금보다는 최소 3.1 [°C]가 낮은 접합온도를 보여 4종류의 합금이 ADC12 합금보다 우수하다는 것을 확인하였다.

3.2 합금별 열전도도 측정 결과 분석

개발합금의 밀도와 비열을 표 3에 나타내었다. 4종류의 합금 모두 ADC12 합금과 비슷한 2.68~2.70 [g/cm³] 사이의 밀도를 나타내었고, 합금의 비열 역시 0.88~0.89 [J/g·K]로 ADC12 합금의 비열인 0.95 [J/g·K]과 큰 차이를 보이지 않았다.

Table 3. Measured specific heat and density of Al alloys.

Alloy	1	2	3	4	ADC12
Specific heat [J/g·K]	0.89	0.89	0.88	0.89	0.95
Density [g/cm ³]	2.70	2.68	2.70	2.69	2.72

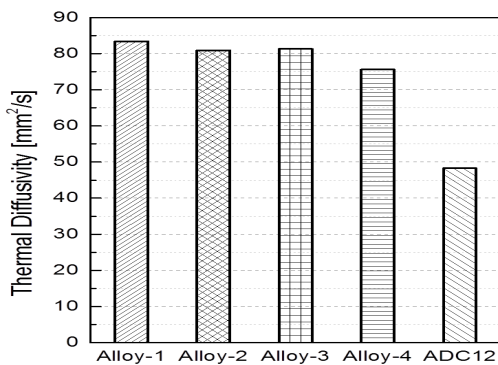


Fig. 7. Measured thermal diffusivity of Al-alloy.

그림 7은 열확산도 장비를 이용하여 측정된 개발합금의 열확산도를 나타내고 있다. 열확산도 역시 5회의 측정값 중에서 최댓값과 최솟값을 제외한 나머지 3개의 값으로 평균을 구하였다. 합금의 열확산도는 ADC12 합금이 48.27 [mm²/s]로 가장 낮게 측정되었고, 가장 높게 측정된 Alloy-1은 ADC12 합금보다

Table 4. Thermal conductivity of Al alloys.

Alloy	1	2	3	4	ADC12
Thermal conductivity [W/m·K]	198.8	192.9	193.1	180.9	124.7

35.09 [mm²/s]가 높은 83.36 [mm²/s]의 열확산도를 가지는 것을 확인하였다. 개발합금 중 Alloy-2와 Alloy-3의 열확산도 차이는 0.39 [mm²/s]로 큰 차이를 보이지 않았고, Alloy-4는 열확산도가 75.57 [mm²/s]로 개발합금 중 가장 낮게 측정되었지만, ADC12 합금보다는 27.30 [mm²/s]가 높았다.

측정된 밀도와 비열 그리고 열확산도를 가지고 식 (1)을 이용하여 합금별 열전도도를 구하여 표 4에 나타내었다. 모든 개발합금의 열전도도는 180 [W/m·K]이상이므로 ADC12 합금의 열전도도인 124.7 [W/m·K]보다 우수하였다. 특히 Alloy-1의 열전도도는 ADC12 합금에 비해 74.1 [W/m·K]가 높은 198.8 [W/m·K]으로 확인되었다. 열전도율이 가장 낮은 Alloy-4 합금 또한 ADC12 합금보다 56.2 [W/m·K]이 높게 측정되어, 4종류의 합금 모두 높은 열전도도를 가지는 것을 확인하였다.

3.3 합금의 광속유지를 측정 결과 분석

합금의 열저항 및 열전도도가 나쁘면 LED 구동 시 발생하는 열을 효과적으로 방출하지 못한다. 그로 인해 광 효율의 저하가 나타나므로 직분구를 이용하여 합금별 광속유지를 측정하였다. 제작된 히트싱크과 LED-Module을 thermal pad로 부착하여 90분 동안 0.7 [A]의 전류를 인가하여 측정하였다.

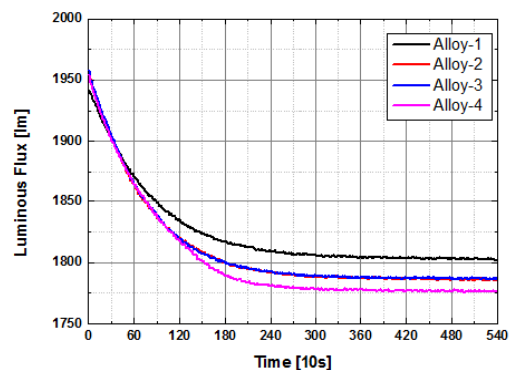


Fig. 8. Measured lumen maintenance of Al-alloy.

그림 8은 시간에 대한 합금별 광속을 나타내며, Alloy-1은 초기광속 대비 7.17[%]의 감소율을 보여 가장 낮은 감소율을 보였고, Alloy-4은 초기광속 대비 9.12[%]의 감소율로 가장 높은 감소율을 보였다.

4. 결론

LED 조명에 이용할 수 있는 낮은 열저항과 높은 열전도도값을 가지는 합금 개발을 목적으로 4종류의 합금의 열 특성을 측정된 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 합금들의 열저항을 측정된 결과, Alloy-1의 열저항 측정값이 13.97 [K/W]으로 가장 낮게 측정되었다. Alloy-2와 Alloy-3의 열저항 측정값 차이는 0.03 [K/W]로 미미하였고, Alloy-4의 열저항 측정값은 4종류의 합금 중에서 가장 높은 14.52 [K/W]로 측정되었으나, ADC12 합금의 열저항 15.44 [K/W]보다 낮은 열저항 측정값을 보였다.

2) 합금들의 접합온도를 측정된 결과, Alloy-1의 접합온도가 ADC12 합금보다 7.41[°C]가 낮았고, 개발합금 중 접합온도가 가장 높은 Alloy-4 역시 ADC12 합금보다 3.1[°C]가 낮은 접합온도를 보였다.

3) 합금들의 열전도도를 측정된 결과, Alloy-1의 열전도도 측정값이 198.8 [W/m·K]으로 가장 높게 측정되었다. Alloy-2와 Alloy-3의 열전도도 측정값이 각각 192.9, 193.1 [W/m·K]으로 두 합금의 열전도도는 비슷하였다. 개발합금 중 가장 낮은 열전도도를 가지는 Alloy-4의 열전도도가 180.9 [W/m·K]으로 ADC12 합금의 열전도도 124.7 [W/m·K]보다 56.2 [W/m·K]이 높게 측정되었다.

4) 합금들의 광속유지율을 측정된 결과, Alloy-1의 광속유지율은 초기 광속대비 7.17[%]로 가장 적은 감소율을 확인하였다.

Alloy-2와 Alloy-3은 초기 광속대비 약 8.8[%]의 감소율을 보였고, Alloy-4의 광속유지율은 초기 광속 대비 9.11[%]로 가장 많은 감소율을 보였다.

위 결론으로 4종류의 개발합금 모두 현재 LED 조명에 이용되고 있는 다이캐스팅용 알루미늄 ADC12 합금보다 열 특성 부분에서 우수한 것을 확인하였다. 하지만, Cu의 함유량이 증가하면 방열 특성이 향상될 것으로 예상했지만 무한정 Cu 함유량이 증가해도 방열특성이 향상되지는 않았다. 또한, Zn의 함유량이 증가함에 따라 방열 특성 향상에 좋지 않은 영향을 미치는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원통상부 산업원천기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] S. I. Kim and Y. D. Kim, *KIIEE*, **27**, 3 (2013).
- [2] S. L. Chuang, A. Ishibashi, S. Kijima, N. Nakayama, M. Ukita, and S. Taniguchi, *IEEE J. Quant. Electron.*, **33**, 970 (1997).
- [3] N. Narendran and Y. Gu, *J. Disp. Technol.*, **1**, 167 (2005).
- [4] K. T. Kim, Y. S. Lim, J. S. Shin, S. H. Ko, and J. M. Kim, *J. Korean Foun. Soc.*, **33**, 171 (2013).
- [5] J. S. Shin, K. T. Kim, S. H. Ko and D. J. An, and M. H. Kim, *Korean Foun. Soc.*, **33**, 22 (2013).
- [6] Integrated Circuits Thermal Measurement Method - Electrical Test Method (Single Semiconductor Device), *EIA/JEDEC Standard No. 51-1*.
- [7] D. S. Gong, *Thesis*, p. 16, Ulsan University, Ulsan (2013).