

A 6061 합금의 기계적 특성에 미치는 2단시효의 영향

이보배 · 임항준 · 정걸채[†]
한국산업기술대학교 신소재공학과

Effects of Two-Step Aging Treatment on the Mechanical Properties of 6061 Al Alloy

Bo-Bae Lee, Hang-Joon Im, Geol-Chae. Jeong[†]

Dept. of Advanced Materials Eng, Korea Polytechnic University, Siheung 15073, Korea

Abstract The impact of two-step treatment on the mechanical properties of the 6061 Al alloy was investigated by testing the hardness and electrical conductance values. After two-step aging treatment, the hardness and electrical conductivity of the alloy was increased, and if the first aging treatment temperature was lower than the secondary aging treatment temperature, both the hardness and the electrical conductivity were not increased. The higher the temperature of the first aging treatment, the higher the hardness. The temperature of the first aging treatment is 175°C, 150°C, 120°C, and the second is 175°C and 120°C.

(Received January 15, 2019; Revised January 17, 2019; Accepted January 21, 2019)

Key words : Two-step aging, 6061 Al alloy, Mechanical properties of 6061, Hardness of 6061, Electrical conductance of 6061

1. 서 론

자동차 산업이 발전하면서 연비향상은 중요한 문제이다. 연비 문제를 해결하기 위해 철보다 비중이 1/3 정도 작고 비강도가 큰 알루미늄 합금 휠 수요가 증가하고 있다. 알루미늄 합금으로 제작할 시에 총중량 기준으로 20~30% 정도 무게를 줄일 수 있기 때문이다[1]. 이런 알루미늄 합금으로 제작한 휠의 중량은 경량화 되지만 강도가 낮고 유지보수가 어려워 디자인이 제한적이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 현재 자동차 알루미늄 휠 용으로 사용되고 있는 A6061 합금을 열처리하여 강도는 개선하는 방안을 찾고 있다. 강도를 개선하는 대표적인 방법은 시효처리를 하여 석출경화를 하는 방법이다. 본 연구에서는 일회 시효처리보다 강도를 향상하는 방법으로 시효를 두 번 진행하는 2단 시효를 하여 기계적 성질이 개선되는지 조사하였다. 2단 시효과정은 시효처리 과정에서 알루미늄 합금 내에 석출되는 Mg₂Si의 크기를 조절하여 강도를 증가시키는 방법이다. 알루미늄

6000 계열의 2단 시효 열처리에 대해 기존의 연구 결과는 상온에서 예비 시효를 한 후 150°C, 170°C, 200°C 등의 온도에서 2단 시효를 한 시험은 경도변화가 큰 차이가 없는 것으로 보였다[2]. 그 대표적인 원인은 열처리 과정에서 석출물이 충분히 생기지 않았다는 것이다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 시효 온도와 시간을 재조정하였다. 이는 TEM 관찰 결과 6시간 이전에 합금 내에 G.P zone이 형성된다는 점과 120°C에서 1차 시효를 한 합금의 경도가 향상되었다는 점을 참고하여[3] 시효 온도를 다시 설정하였고 경도와 전기전도도에 대한 변화를 관찰함으로써 기계적 성질에 대한 영향을 살펴보았다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

본 실험에서 A 6061을 직접 용해 주조하였고, 조성은 Table 1과 같다. 금형을 250°C로 예열한 후 준비된 소재를 고주파 유도로를 이용해 785°C까지

[†]Corresponding author. E-mail : gcjeong@kpu.ac.kr
Copyright © The Korean Society for Heat Treatment

Table 1. Compositions of A 6061

원소	Al	Mg	Si	Cu	Cr
wt%	97.9	1	0.6	0.3	0.2

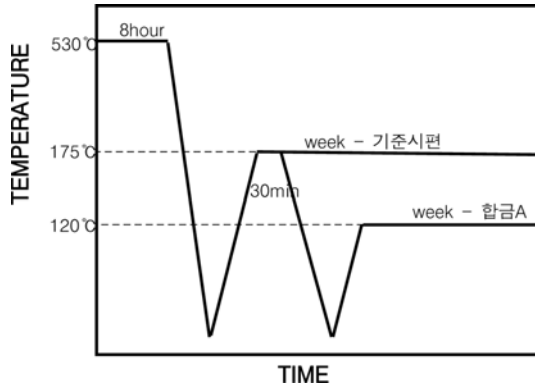


Fig. 1. Heattreatment curve of standard specimen & alloy A.

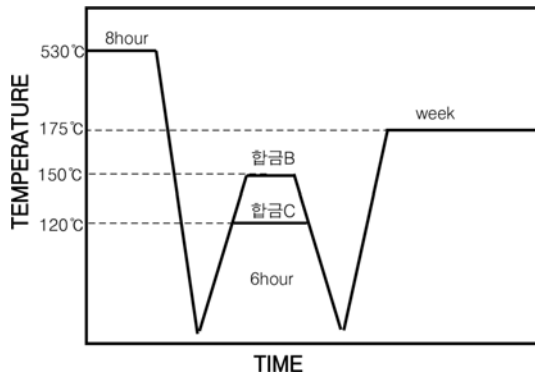


Fig. 2. Heattreatment curve of alloy B & C.

가열해 용융시켜 금형에 주입하여 금속을 주조하였다. 주조 후 금형을 제거한 후 공냉하여 시편을 준비하였다.

2.2 열처리

위와 같이 제작된 A6061 합금을 530°C에서 8시간 동안 균질화 처리를 하여 편석을 제거하였다. 열처리는 530°C에서 8시간 동안 용체화 처리를 진행한 후 얼음물에 수냉 시켰다. 실험의 기준이 되는 기준시편은 175°C에서 1차 시효처리만 하였으며, 합금 A는 175°C에서 30분 1차 시효 후, 120°C에서 2단 시효를 진행했다. 합금 B는 1차 시효를 120°C에서 6시간 그리고 합금 C는 150°C에서 6시간 동

Table 2. Heattreatment condition

Alloy	용체화 처리	1 차 시효처리	2 단 시효처리
기준시편	530°C - 8 hour	175°C : week	x
합금 A		175°C : 30 min	120°C : week
합금 B		120°C : 6 hour	175°C : week
합금 C		150°C : 6 hour	175°C : week

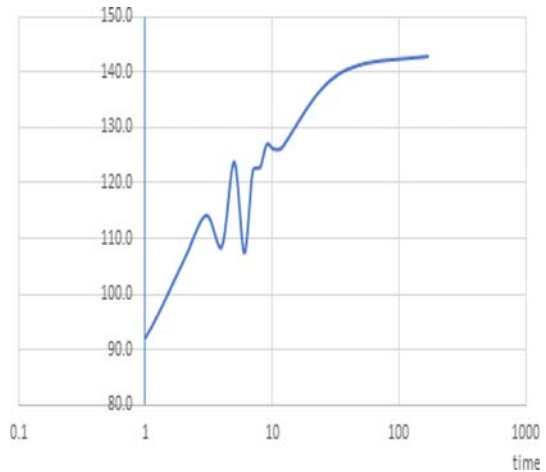


Fig. 3. Hardness of standard specimen after heattreatment.

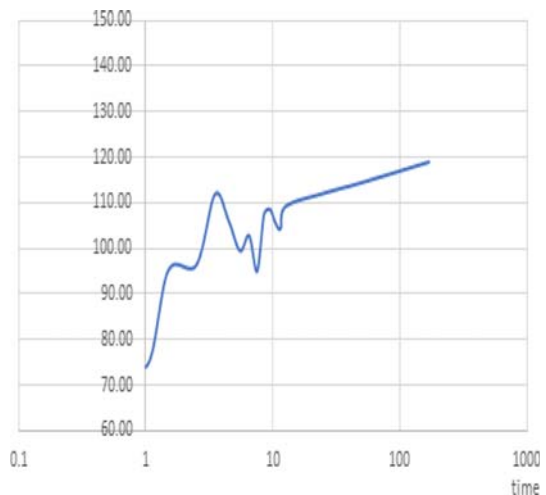


Fig. 4. Hardness change of alloy A after heattreatment.

안 한 후 두 합금 모두 2단 시효 175°C 하였다. 기준시편의 1차 시효 그리고 합금 A, 합금 B, 합금 C의 2단 시효는 모두 일주일 동안 유지하였다. 이에 대해서는 Fig. 1, Fig. 2 그리고 Table 1로 나타내었다.

Table 3. Hardness of standard specimen & alloy A after heattreatment

	5 hour	week
기준시편	123.9 Hv	142.9 Hv
시편 A	99.4 Hv	118.9 Hv

2.3 경도 및 전기 전도도 측정

경도 측정에 앞서 측정을 위해 SiC Paper를 사용해 #80, #1000으로 연마하였다. 경도측정은 마이크로비커스 경도기를 사용하여 하중 1 kg, 유지시간 10초로 하여 총 5회 측정 후 산술 평균하였고 전기전도도는 MLS-STD-1537 규격에 따라 Foester사의 SIGMATEST 2.069을 이용하여 IACS값을 측정하여 5번 측정 후 평균하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 2단 시효에 대한 경도값의 영향

기준시편의 경도는 시효 시간에 따라 증가하며, 시효 시간이 5시간일 때 최대 경도는 123.9 HV이다. 최대 경도값 이후에도 경도는 계속 증가하는 경향을 보이며 시효 24시간 이후에는 그 경향이 감소한다. 기준시편이 시효처리 이후 경도가 증가하는 이유는 Al 합금 내에서 G.P zone이 형성되어 시효 시간이 지남에 따라 상이 석출하기 때문이다[4].

175°C에서 1차 시효 후 120°C에서 2단 시효를 한 합금 A는 1차 시효를 하는 30분 동안은 경도가 증가하였다. 그러나 2단 시효 30분 후 경도가 11.06 HV 정도 감소하였다. 기준 시편의 최고 경도는 시효처리를 하지 않았을 때보다 61 HV 증가했지만 합금 A는 43 HV 정도만 증가하여 기준시편보다 작은 경도 증가 폭을 가진다. 실험에서 1차 시효의 조건을 120°C 6시간으로 지정한 이유는 A6061 합금의 GP zone이 전부 형성되기 위해서이다. 따라서 합금 A는 2차시효 전에 GP zone 형성이 완료되었을 것이다. 1차 시효온도 보다 낮은 온도에서 진행된 2차 시효는 합금 A의 2단 시효 시작 후 1차 시효에서 형성된 GP zone이 임계사이즈 이상의 중간상으로 변태 되어야 하는데 1차 시효온도보다 낮은 온도로 인해 구동력의 부족으로 인해 중간상 변태가 되지 않았고 그로 인해 낮은 온도로 풀림 현상과 유사하게 진행되어 경도가 일부 감소된 것으로

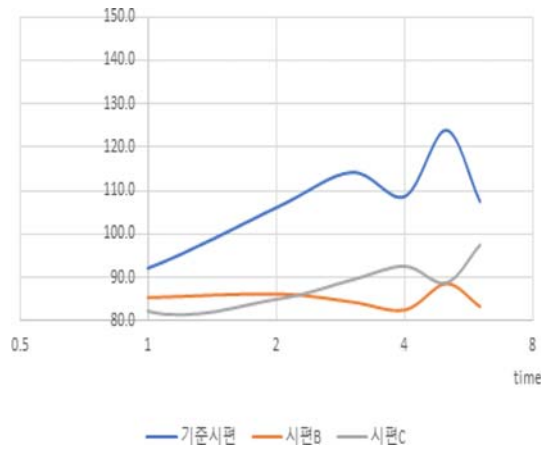


Fig. 5. Hardness change of standard specimen, alloy B & C after 2nd heattreatment.

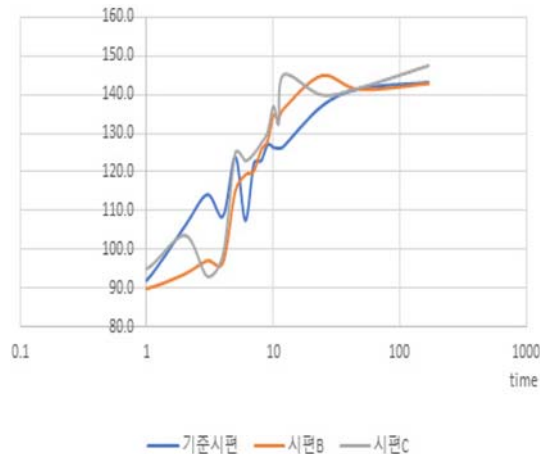


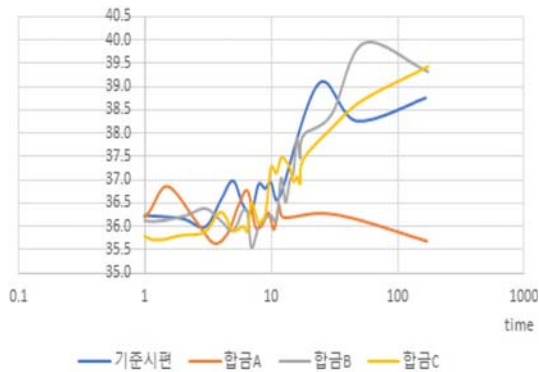
Fig. 6. Hardness of standard specimen, alloy B & C after 2nd heattreatment.

보인다.

합금 B와 합금 C의 경도 값을 보면 합금 B보다 합금 C의 경도 값이 3HV 정도 높다. 합금 B는 2단 시효 10시간 후에 최대 경도 값을 가지며 합금 C는 2단 시효 후 12시간 후에 최대 경도 값을 가진다. 각각의 경도 값은 Table 4에 나타내었다. 합금 B, 합금 C 모두 1차 시효를 하였을 때 기준시편에 10~20 HV 정도 낮은 경도를 가진다. 그 후 합금 B, 합금 C의 경도는 기준시편이 최대 경도 값을 갖는 5시간까지는 기준시편과 비교하면 증가 폭이 크지 않다. 그러나 그 후 10시간 후로부터는 기준시편보다 경도증가량이 더 커지며 뿐 아니라 경도

Table 4. Hardness of standard specimen, alloy B & C after heattreatment (HV)

	기준시편	합금 B	합금 C
0 hour	62.9	83.2	97.4
5 hour	123.9	115.1	124.8
10 hour	126.3	134.6	136.8
12 hour	126.5	136.3	144.9
week	142.9	142.9	147.2

**Fig. 7.** Electrical conductivity of standard specimen, alloy A, B & C after 2nd heattreatment.

도 기준시편보다 증가한다. 2단 시효 일주일 후 합금 C는 기준시편보다 5 Hv 정도 경도 값이 증가하였으며 합금 B는 기준 시편과 비슷한 경도를 가진다. 합금 B와 합금 C는 경도 차이는 합금 B의 1차 시효 온도가 더 낮아 합금 B와 합금 C는 시효 시간에 따라 강도도 역시 향상되었다[5]. 1차 시효 시 형성되었던 상이 성장하면서 미량 존재하던 G.P zone까지 분해되어 강도가 상승한 것으로 보인다.

3.2 2차 시효에 대한 전기전도도의 영향

전기전도도는 합금 A를 제외한 기준시편 합금 B, 합금 C는 시효 시간에 따라 증가하는 경향을 보여준다. 합금 A는 2단 시효 6시간 후 36.77% 최대 전기전도도 값을 갖고 감소하는 경향을 보인다. 기준시편은 시효 24시간 후에, 합금 B는 2단 시효 48시간 후에, 합금 C는 12시간 후에 최대 전기전도도 값을 가지며 각각의 값은 Table 5에 나타내었다. 시효가 진행됨에 따라 기지 내 고용된 용질 원자들이 석출되어 고용상태에서 갖는 용질 원자들의 자유배열이 아니게 되므로 자유전자의 이동이 보다 쉬워

Table 5. Electrical conductivity of standard specimen, alloy A, B & C after 2nd heattreatment (dS/m)

	0 hour	6 hour	12 hour	48 hour
기준시편	37.3	36.8	36.20	36.2
합금 A	37.3	36.5	36.7	38.3
합금 B	37.1	37.0	38.0	39.9
합금 C	37.1	37.5	37.4	39.9

진다[6]. 이러한 이유로 기준시편, 합금 B, 합금 C의 전기전도도가 증가했다. 합금 A는 용질 원자가 적게 석출되어 비교적 용질 원자들이 자유배열을 유지하므로 전기전도도가 감소했다.

4. 결 론

6061 Al 합금의 2단 시효처리에 따른 경도와 전기전도도 변화를 조사한 실험결과에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2단 시효 후 A6061 합금의 경도는 증가하는 경향을 보이며, 150°C로 1차 시효 6시간 후 175°C로 2단 시효를 5시간 하였을 때 가장 우수한 경도 값 124.8 Hv를 얻을 수 있었다.
2. 175°C에서 30분간 1차 시효 후 120°C에서 2차 시효 처리한 시편은 1차 시효에 형성된 G.P zone이 너무 적어 경도가 증가하지 못한것으로 보인다.
3. 전기전도도가 가장 우수한 A6061 합금의 실험 조건은 120°C 6시간 1차 시효 후, 175°C 48시간 2단 시효 후에 39.9% 증가 하였다.

References

1. 이지혜, 이동근, 정현수: 한국소성가공학회지, 제16권, 제 5호 (2007), 2-3.
2. 김한균, 첨단기술정보분석, “용체화 처리한 Al-Si-Mg 계 합금의 2단 시효 거동”, 2-4.
3. 최중환, 김종기, 최현규, 한국재료학회지, 제 9권, 제 7호 (1999), 696.
4. 박진한, 백귀찬, 김용욱, “알루미늄 합금(6063)의 최적 강도 증가를 위한 연구(급냉 및 시효경화 열처리에 관한 연구)”.
5. 우기도, 한국과학재단 (1999), 12-16.
6. 최중환, 김종기, 최현규, 한국재료학회지, 제 9권, 제 7호 (1999), 698-699.