

대용량 알루미늄 브레이징 히트싱크 개발에 관한 연구

이영림^{1*}, 황순호¹, 전의식¹
¹공주대학교 기계자동차공학부

A Study on Development of Large-capacity Aluminum Heat Sinks Brazed with a Batch Furnace

Young Lim Lee^{1*}, Soon Ho Hwang¹ and Euy Sik Jeon¹

¹Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 최근들어 고전력 및 고성능 전자제품 시장이 확대됨에 따라 대용량 알루미늄 히트싱크의 수요가 급증하고 있다. 이를 위해 고효율의 브레이징 히트싱크가 선호되고 있지만, 기존의 대기 연속로에서는 불충분한 가열과 모재 금속의 서로 다른 두께 때문에 생산이 사실상 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 브레이징 히트싱크 개발을 위하여 새로운 인덱스 배치로 및 브레이징 공정을 최적화하였다. 또한, 개발된 브레이징 히트싱크에 대하여 용착효율 및 인장응력 실험도 수행하였다. 끝으로 브레이징 히트싱크와 실리콘 히트싱크의 열저항에 대한 실험을 통하여 수치해석 결과와 비교 검증하였다.

Abstract Recently demand for large-capacity aluminum heat sinks has been increased as market for high power electricity expands and high-performance electronic products develop. While the brazed heat sinks are in particular preferred, it is almost impossible to manufacture them with an atmospheric continuous furnace due to insufficient heating rate and various thickness of the parent metals. Therefore, a new index batch furnace is developed and the process variables are optimized. Then, brazing efficiency and tensile stress are obtained for brazed parts of the heat sinks. Finally experiment as well as numerical analysis has been performed to compare thermal efficiency of the brazed heat sinks with that of the silicone-bonded heat sinks.

Key Words : Large-capacity heat sink, Brazing, Batch furnace, Numerical analysis

1. 서론

대용량 알루미늄 브레이징 히트싱크는 대전력 시장의 확대 및 제품의 고성능화에 따라 단순 압출 및 가공에서 전열면적 증대 및 열저항을 없앤 브레이징 형태로의 전환이 필요하게 되었다.

현재 사용되는 대기 연속로는 3 kg이하의 알루미늄 열교환기 및 0.5 mm 이하의 박판 튜브와 박판 방열 핀을 접합하는 용도로 사용하는데 이를 이용하여 대용량 히트싱크를 제작하는 데는 여러 가지 어려움이 따른다. 먼저, 대기 연속로에서는 대형 히트싱크의 접합에 충분한 열량 확보가 어렵고 베이스 판과 방열핀의 두께 차로 인한 소요열량 분배에 어려움을 가지고 있다. 일부 저중량 히트

싱크는 외부 히터를 통한 예열, 연속로 승온 및 구동속도 저하 등을 통하여 생산하고 있으나 생산성 및 품질 확보가 힘들다. 또한 대기 연속로는 승온 및 하온시 많은 시간이 필요하고 200 ℃까지 예열하는 것도 30분 이상 소요되어 생산성 향상이 불가능한 실정이다. 더구나 현재 사용되는 대기 연속로 공정에는 예열 및 운반에 따른 플럭스(flux) 비산으로 먼지 및 분진 등 환경 유해요인이 발생하여 작업자의 기피 요인이 되고 있다. 따라서, 대용량 히트싱크를 위한 배치(batch) 형식의 브레이징 시스템이 개발 될 경우 대형 알루미늄 브레이징 히트싱크 생산의 당면 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 고부가가치를 창출할 수 있다.

한편, Nocolor 브레이징은 플럭스 용액을 접합부분 전

*교신저자 : 이영림(ylee@kongju.ac.kr)

접수일 09년 04월 01일

수정일 09년 06월 29일

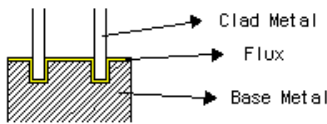
수정일 09년 07월 22일

면에 도포하여 질소 가스를 충전한 불활성 분위기에서 가열하여 접합하는 방법이다. 그림 1에 전형적인 클래드 (Clad) 금속과 플럭스 및 베이스 금속이 브레이징되는 공법을 나타내었다.

브레이징 및 히트싱크에 관해서는 지금까지 방대한 연구가 이루어졌으나 대용량 알루미늄 브레이징 히트싱크에 관한 연구는 아직 초기 단계이다. 먼저, Shin[1]은 브레이징로를 사용하여 브레이징 플럭스의 종류에 따른 도포법 등에 대한 연구를 실시하였다. Jung 등[2,3]은 첨가 원소의 변화를 통한 알루미늄 모재와의 내식성 검사를 통한 진공 브레이징 및 비부식성 플럭스 브레이징에 대한 연구를 수행하였다. 임병문 등[4]은 염수분무 환경에서 알루미늄의 부식생성물이 내식성에 미치는 영향에 대해 발표하였다. Kim 등[5]은 히트싱크 핀 피치(fin pitch) 및 핀 두께에 따른 방열 성능에 관해 연구하였고, Kim[6] 등은 자연대류와 강제대류인 경우에 열저항 특성 및 히트싱크 높이에 따른 방열특성을 발표하였다.

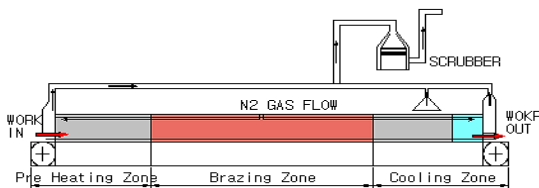
그림 2에 전형적인 연속로와 본 연구에서 개발할 배치로(batch furnace)의 개략도를 나타내었다. 배치로에서는 진공챔버를 이용하여 질소 사용량을 감소시키고 예열 과정 없이 한 번에 브레이징할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 대형 브레이징 히트싱크 생산을 위한 배치로를 개발하고 공정 변수 최적화를 이룩하고자 한다. 또한, 생산된 대용량 알루미늄 브레이징 히트싱크의 접합부 용착 효율 및 인장 강도를 평가하고 실리콘 분당 히트 싱크와의 비교를 통해 알루미늄 히트싱크의 열성능을 평가하고자 한다. 끝으로 분당 히트싱크와 브레이징 히트싱크의 접촉저항을 알아보기 위하여 수치해석을 수행하고자 한다.

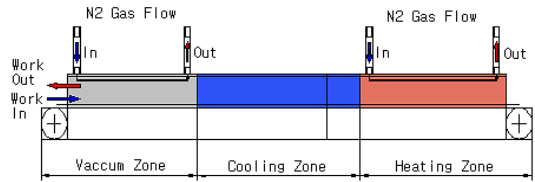


Brazing temperature	600℃ - 620℃
O2 concentration	1,000 PPM 이하
Duration time	180sec - 300sec

[그림 1] Nocolok 브레이징의 개념도



(a) continuous type



(b) batch type

[그림 2] NB 로의 개략도

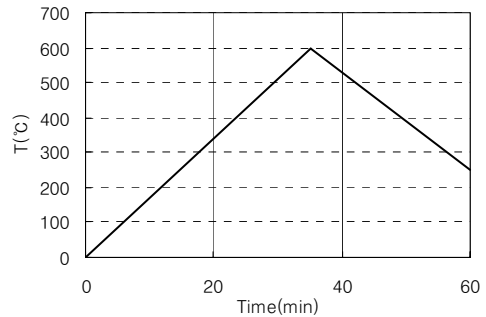
2. 실험 및 수치해석 방법

2.1 브레이징 로 온도 곡선 실험

대용량 브레이징 히트싱크의 생산성을 향상하기 위하여 배치로의 공정 변수 중 가장 중요한 가열 공정의 온도 최적화 실험을 수행하였다.

한 시간 이내에 가열, 브레이징 및 냉각까지 마칠 수 있도록 하기 위하여 다음과 같은 승온 곡선을 구상하였고 실제 열전대를 사용하여 온도 측정 및 접합부 브레이징 검사를 통하여 최적화된 승온곡선을 도출하였다.

그림 3은 1시간 이내에 대용량 브레이징 히트싱크를 생산하기 위하여 구상한 기본 온도 곡선을 보여 준다. 브레이징이 약 600℃ 정도에서 약 3~5분 동안 발생할 수 있도록 온도 곡선의 기울기를 조절하였다.



[그림 3] 인텍스 배치로의 초기 온도곡선

2.2 대용량 히트싱크 접합부 특성 실험

광학 현미경을 사용하여 브레이징한 부분의 접합 분석과 필릿(fillet) 형상을 관찰하였다. 또한, 용착효율을 구하기 위해서 브레이징된 시료를 5등분하여 절단하고 핀의 접합 면적을 조합하여 구하였다.

접합부의 인장강도를 알아보기 위하여 배치로를 사용하여 두 개의 시편을 L*W*H 기준으로 120×19.9×0.9mm와 120×19.9×1.9 mm를 가공한 후 인장시험기를 사용하여

여 인장시험을 진행하였다. 이 때 램(ram)의 속도는 1 mm/min으로 설정하였다.

2.3 대용량 히트싱크 열성능 실험

대용량 히트싱크에 일정한 열유속을 가하기 위하여 니크롬선을 사용하였다. 가변 전압 조절기를 통해 방열량을 조절하였는데 45V의 전압을 니크롬선에 가하였다. 열전대는 K 타입을 사용하여 히트싱크의 베이스와 핀의 높이에 따라 부착하여 온도 변화를 측정하였다. 강제 대류인 경우를 고려하였으며 팬(fan)을 이용하여 공기 속도를 조절하며 브레이징형 및 실리콘 본딩(silicone bonding)형 히트싱크의 온도 변화를 각각 측정하였다.

2.4 대용량 히트싱크 수치해석

실험과 수치해석에 사용된 브레이징형과 본드형 대용량 히트싱크의 제원을 그림 4에 나타내었다. 50 개의 핀들이 3 mm의 깊이로 베이스 금속(base metal)에 박혀있으며 0.6 mm의 두께 및 470 mm의 길이를 가지고 있다.

온도는 정상 상태(steady state)로 가정하여 해석하였고 주변 온도는 25℃이다. 온도 경계 조건은 가열 부분을 제외한 모든 곳에 대류열전달 조건을 주었다. 열유속은 약 3.8 kW/m^2 을 가정하였고 대류 열전달계수는 평판 유동을 가정하여 다음과 같이 속도에 따른 Nu수를 구하여 사용하였다.

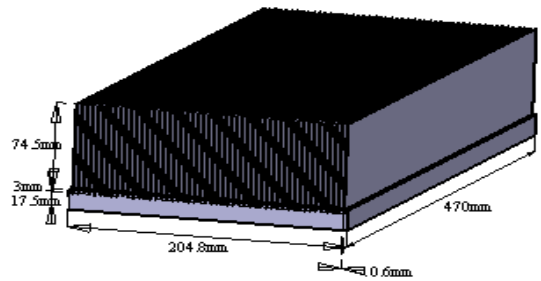
$$\overline{Nu} = 0.664Pr^{\frac{1}{3}}Re^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

여기서, Pr과 Re는 각각 Prandtl 수와 Reynolds 수를 나타낸다. 유체의 물성치는 다음과 같은 막온도(film temperature)에서 정의되어진다[7].

$$T_f = \frac{T_{fin\ surface} + T_{free\ stream}}{2} \quad (2)$$

여기서, $T_{fin\ surface}$ 와 $T_{free\ stream}$ 은 각각 핀표면 온도 및 자유유동 온도를 나타낸다.

베이스 금속의 바닥면에 열을 가하여 대용량 히트싱크의 방열 성능을 측정하였으며, 브레이징 타입과 본드 타입의 열저항을 비교하였다. 수치 해석을 위하여 상용화 프로그램인 Fluent[8]를 이용하였다.

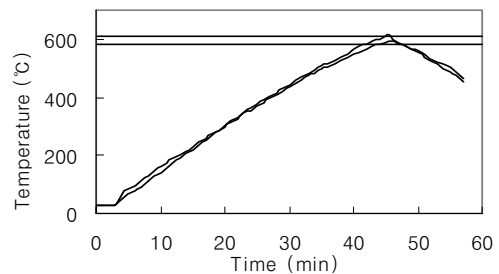


[그림 4] 히트싱크의 제원

3. 결과 및 고찰

3.1 브레이징 로 온도 곡선

그림 5는 히트싱크 더미(dummy)에 부착된 두 곳의 열전대를 통해 최적화된 온도곡선을 보여 주고 있다. 가열 및 냉각의 2단계로만 이루어져 약 1시간 이내에 예열, 브레이징 및 냉각까지 마칠 수 있었고 실제 브레이징이 발생하는 구간은 부착된 열전대 온도 기준 약 580 ~ 610℃ 사이로 확인되었다. 초기 온도 곡선에서는 브레이징이 35분 근처에서 발생하도록 하였으나 가열 구간이 너무 급격하여 실제 브레이징 곡선에서는 브레이징이 45분 근처에서 발생하도록 조절하였다. 보통 자동차 열교환기 제작에 많이 쓰이는 대기 연속로에서는 모재의 두께 차이로 인한 접합 불량 많이 나타나는데 배치로에서는 충분한 가열이 가능하므로 이러한 문제점이 사라지게 되었다. 브레이징 지속시간은 약 3-5분 정도로써 성공적으로 대용량 히트 싱크의 제작이 가능하였다.



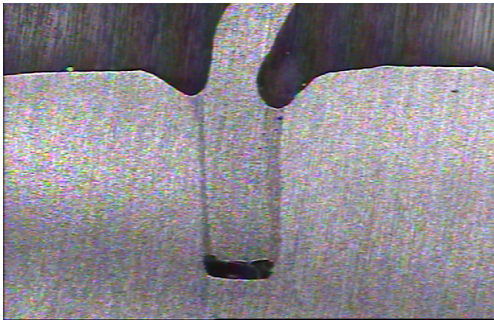
[그림 5] 배치로의 최적화된 승온 곡선

3.2 대용량 히트싱크의 접합부 특성

광학 현미경을 이용하여 접합부를 관찰한 결과를 그림 6에 나타내었다. 접합부에는 어떠한 미세 홀이나 크랙(crack)도 관찰되지 않아 브레이징이 성공적으로 수행된 것을 알 수 있었고 필트 형상 역시 매우 양호함을 확인할

수 있었다.

용착이 얼마나 효율적으로 일어났는지를 알아보기 위하여 표 1에 접착 불량률 검사 결과를 나타내었다. 20 개의 시료 중에 1 개만이 90~95 %의 접착률이었고 나머지는 모두 95 %이상의 접착률을 보여주고 있어 전체적으로 불량률이 5 % 미만으로 매우 양호함을 알 수 있었다.



[그림 6] 브레이징 접합부 광학 현미경 사진

[표 1] 접착 불량률

접착률 (20개기준)	구분	수량	품질
	90%이하	0	-
	90~95%	1	불량
불량률	95%이상	19	합격
		5%	



(a) 120mm×19.9mm×0.9mm



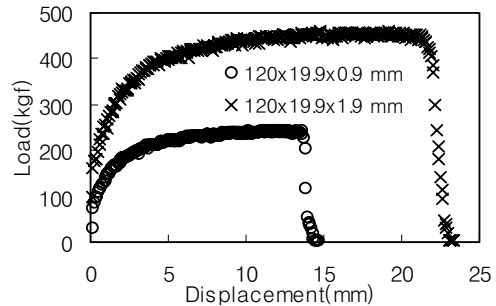
(b) 120mm×19.9mm×1.9mm

[그림 7] 시험편

[표 2] 인장시험

Sample No.	최대하중 (kgf)	인장강도 (kgf/mm ²)	Speed (mm/min)
1	245	13.7	1
2	459	12.5	1
평균	230	13.1	

그림 7과 같은 두 개의 시험편을 사용하여 인장시험을 수행한 결과를 표 2에 나타내었다. 파단강도는 평균 13.1 kgf/mm²로 양호한 인장강도를 얻을 수 있었다. 파단위치는 그림 7에서 나타난 바와 같이, 전 시험편에 걸쳐 브레이징 접합부가 아닌 알루미늄 모재에서 파단이 이루어졌다. 그림 8에 인장시험 시 전형적인 하중-변위 곡선을 나타내었는데 최대 강도는 접합부가 아닌 모재의 파괴가 일어날 때의 인장강도를 나타낸다.



[그림 8] 하중-변위 곡선

3.3 대용량 브레이징 히트싱크 열성능

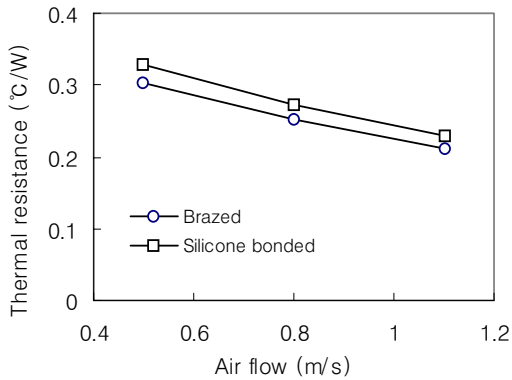
본 연구에서 개발된 대용량 브레이징 히트싱크의 방열 성능을 실리콘 본딩형 히트싱크와 강제대류인 경우에 비교하였다. 같은 열량을 가하였을 때 핀 베이스 평균온도가 1.1 m/s 기준 주변온도 대비 브레이징형과 본드형 각각 17.2, 18.7℃로 브레이징형이 상대적으로 효율적으로 열을 방출하고 있음을 알 수 있다.

이것은 본드형에서 접착제로 사용된 실리콘 열저항이 추가되면서 접촉면에서 열저항을 증가시켰기 때문이다. 그림 9에 공기 속도에 따른 브레이징형과 본드형 히트싱크의 열저항을 나타내었다. 대용량 히트싱크이어서 CPU 쿨러 등 기존 히트싱크 대비 열저항 값은 매우 작았으며 브레이징형의 열저항이 본드형 대비 약 8 % 정도 작음을 알 수 있다.

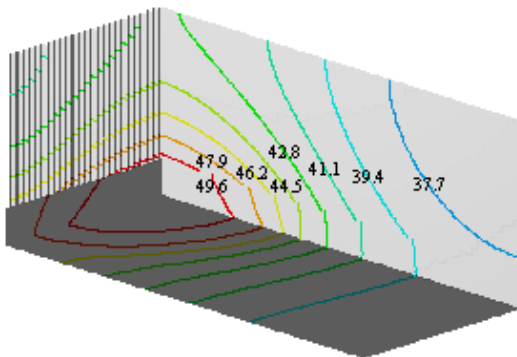
다음으로 히트싱크 수치해석을 통하여 브레이징형 대비 본드형 히트싱크의 접촉 부분에서 추가되는 열저항을 실험 결과와의 비교를 통하여 유추하여 보았다. 히트싱크 베이스 평균온도를 기준으로 하여 얻어진 실리콘 본딩형의 추가 열저항은 고려되었던 공기 속도에서 전체 열저항의 약 8 % 내외에 해당되어 실험 결과와 일치하고 있다. 실리콘 접착제의 전도율(k)은 약 1.08 W/m℃로써 실리콘의 접착제의 도포 면적(A) 및 두께(t)가 증가함에 따라 t/kA 만큼 전체 방열 성능을 악화시킨다.

그림 10은 수치해석을 통하여 얻어진 대용량 히트 싱

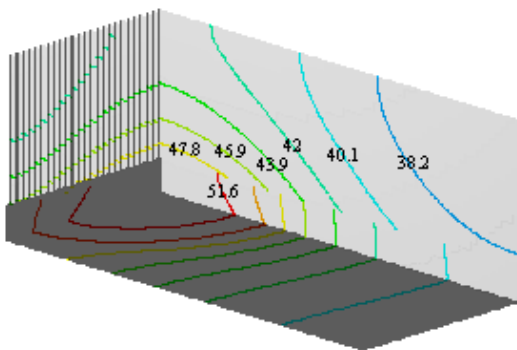
크의 중심부에서 전형적인 온도분포를 보여 준다. 브레이징형과 실리콘 본드형과의 온도 분포는 거의 동일하고 가열면 부근에서 등온선의 모양은 거의 원(circle)으로써 선형성을 보여 준다.



[그림 9] 공기 속도에 따른 열저항 변화



(a) brazed



(b) silicone-bonded

[그림 10] 핀(fin)형 히트싱크의 온도 분포

4. 결론

본 연구에서는 대용량 알루미늄 히트싱크 브레이징을 위한 배치로 개발 및 공정 변수 최적화를 통하여 대용량 알루미늄 히트싱크를 개발하고 히트싱크의 성능을 분석하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 배치로의 온도 곡선을 단순화된 2단계로 최적화하여 브레이징 시간을 투입에서 출고까지 약 1시간 이내로 단축하였다. 이것은 기존 대기 연속로에서는 불가능한 것으로 생산성 향상에 획기적으로 기여하였다.
- 2) 브레이징 접합부는 어떠한 미세 홀이나 크랙도 관찰되지 않았고 필릿 형상도 양호한 것으로 나타났으며 접착 불량률은 5% 미만으로 판명되었다. 인장 시험에서도 파단이 접합부가 아닌 모재에서 발생하여 브레이징의 양호함을 알 수 있다.
- 3) 브레이징 알루미늄 히트싱크는 실리콘 본딩 알루미늄 대비 접촉 열저항을 제거하여 상대적으로 우수한 방열 성능을 보여 주고 있음이 검증되었다.

결론적으로, 본 연구에서 개발된 배치로를 활용하여 대용량 브레이징 히트싱크 대량 양산 체제를 확립하였고 성능 검증을 통하여 대용량 히트싱크가 필요한 대전력 분야의 고효율 히트싱크로 사용될 수 있음을 보였다. 하지만 히트싱크의 설계와 선택은 성능뿐만 아니라 가격에 의해서도 결정되므로 신중한 접근이 필요하다.

참고문헌

- [1] Y. S. Shin, "Selection Technology for Brazing Fluxes", Journal of KWS, Vol. 22. No. 5. pp. 412-419, October, 2004.
- [2] J. P. Jung, T. Takemoto and C. S. Kang, "Aluminum Vacuum Brazing in Japan", journal of KWS, Vol. 13, No. 1, pp. 62-72, Mar, 1995.
- [3] J. P. Jung, T. Takemoto and C. S. Kang, "Non-corrosive Flux Brazing of Aluminum", Journal of KWS, Vol. 13, No. 2, pp. 53-59, Jun, 1995.
- [4] B. M. Lim, S. H. Hong, J. I. Jeong, J. H. Choi and W. S. Chung, "Effect of Corrosion Products of Hot-Dip Al-Cr Steel Sheet on the Corrosion Resistance in Salt Corrosive Environment", J. Kor. Inst. Met. & Mater. Vol. 41, No. 10, 2003.
- [5] C. N. Kim, S. I. Moon, "A Numerical Study on the

Heat Transfer of Extruded Heat Sink”, The Journal of Materials Science and Technology. Vol. 11, pp. 27-32, 1998.

- [6] J. H. Kim, J. H. Yun, C. S. Lee, “An Experimental Study on the Thermal Resistance Characteristics for Various Types of Heat Sinks”, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, v.14 n.8, pp. 676-682, 2002.
- [7] Frank P. Incropera and David P. DeWitt, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, 4th Edition, Wiley, New York, 1996
- [8] Fluent, Version 6.1, fluent, Inc., Lebanon, NH 2005.

전 의 식(Euy Sik Jeon)

[종신회원]



- 1995년 2월 : 한양대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1989년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>
설계 및 자동화

이 영 림(Young Lim Lee)

[정회원]



- 1995년 5월 : U of Texas at Austin 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 2000년 2월 : 삼성자동차-삼성전자 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>
열유체공학, 에너지공학, 자동차공학

황 순 호(Soon Ho Hwang)

[준회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계설계공학전공 (공학학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 석사과정

<관심분야>
열유체공학, 에너지공학