

# 콘덴서 용량에 따른 Al/Cu tube 전자기 펄스 접합에 관한 연구 A Study on Magnetic Pulse Welding of Al/Cu tube According to Condenser Capacity

\*#심지연<sup>1</sup>, 강봉용<sup>1</sup>, 강문진<sup>1</sup>, 김인주<sup>1</sup>, 김일수<sup>2</sup>, 박동환<sup>3</sup>

\*# J. Y. Shim(shimjy@kitech.re.kr)<sup>1</sup>, B. Y. Kang<sup>1</sup>, M. J. Kang<sup>1</sup>, I. J. Kim<sup>1</sup>, I. S. Kim<sup>2</sup>, D. H. Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원, <sup>2</sup>목포대학교 기계공학과, <sup>3</sup>웰메이트(주)

Key words : Magnetic Pulse Welding, Capacitor, Dissimilar metals joining

## 1. 서론

최근 자동차산업 등에 있어 에너지 절감을 위하여 경량화에 대한 필요성이 증대되고 있고, 이에 따라 알루미늄과 마그네슘과 같은 경량소재의 적용이 확대되어 가고 있어 이중금속의 접합, 난성형재 가공 등에서의 새로운 공정이 요구되고 있다.

High Velocity Technology의 한 분야인 전자기 펄스 접합 공정은 1950년대 구 소련에서 군사 분야의 적용을 목적으로 연구가 시작되었으며 현재 국외에서는 전기·전자, 우주·항공 및 자동차 산업의 현장에서 본 기술을 적용하고 있다.

전자기 펄스 접합 공정은 기존의 공정에서 발생되었던 응고 균열, 기공, 산화 등의 결함을 최소화 할 수 있으며, 변형 및 접합부 부식이 거의 없어 우수한 품질을 확보할 수 있으며 용가재나 부속재 없이 전자기력에 의해서 접합이 이루어지므로 환경 친화적이다. 또한 작업이 수  $\mu$ s내에서 이루어지기 때문에 전력소모가 적을 뿐만 아니라 생산성 역시 높다.

미국의 OSU(Ohio State University)의 G. Daehn은 FEM을 통한 전자기 펄스 용접 공정중의 금속재의 거동에 관한 연구를 진행하고 있으며 EWI(Edsion Welding Institute)의 P. Zhang는 공정변수 최적화 및 예측시스템을 개발중이며 Ni-Based superalloys의 접합에 관한 연구를 진행하고 있다. 또한 이스라엘의 Pulsar는 최대에너지 100kJ, 최대전압 25kV용량의 전자기 펄스 용접장치 MPW25를 개발하여 생산 현장에 보급하고 있다. 그러나 국내의 경우 본 기술의 연구가 미흡하여 현장 적용이 이루어지고 있지 않은 실정이다.

따라서 전자기 펄스 용접기술의 국내 확산을 위한 연구로서 장비개발 과정을 통한 Al/Cu tube의 이중금속간 접합현상을 관찰하고자 하였으며 특히 캐패시터 용량에 따른 접합현상을 실험을 통하여 분석하였다.

## 2. 실험방법

Al/Cu tube의 접합을 위하여 한국생산기술연구원과 웰메이트(주)에서 개발한 그림 1의 전자기 펄스 용접장치를 사용하여 실험을 실시하였다.



Dimension (mm)	1838×1445×1820
weight (kg)	1800
Power	200V AC, 13.5kVA
Capacity	480uF-10kV(24kJ)

그림 1. 전자기 펄스 용접장치 및 사양

캐패시터 용량에 따른 접합현상을 관찰하기 위하여 접합재와 모재는 각각 Al 1070 tube와 Cu 1220 tube을 사용하였으며 이들의 화학적 성질은 표 1과 같다. 실험 전 시편의 성형 및 가공시 표면에 존재하는 불순물 및 윤활유등을 제거하기 위하여 20분간 초음파 세척을 실시하였다.

시험 후 시편의 접합여부를 판단하기 위하여 100kgf/cm<sup>2</sup>의

압력에서 10분간 유지시킨 후 누수여부를 관찰하였으며 Cross Head speed를 1mm/min으로 하여 인장시험을 실시하였다. 성공적으로 용접이 이루어진 시편은 SEM(Scanning Electro Microscope)을 이용하여 계면을 관찰하였다.

표 1. Al 1070 및 Cu 1220의 화학적 성질

Material	Element(%)	Cu	Si	Mn	Zn	Ti	Fe	Al	P
A 1070		0.04	0.20	0.03	0.04	0.03	0.25	Bal.	0.01
Cu 1220		Bal.	0.20	0.03	0.03	0.04	0.03	-	0.01

시험편의 형상은 그림 2와 같으며 접합재를 코일 가장자리까지 삽입하였으며 코일과 접합재 사이의 거리는 시편 조작 편의 및 절연내압을 고려하여 1mm로 설정하여 표 3과 같은 조건으로 실험을 실시하였다.

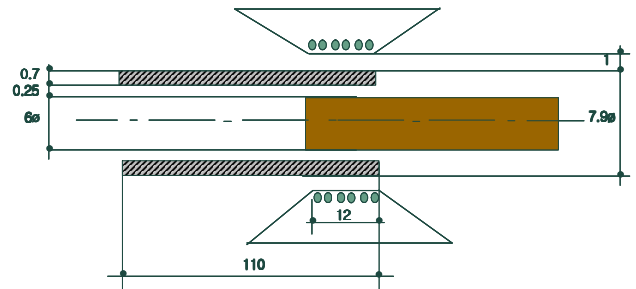


그림 2. 시험편

표 2. 실험 조건

캐패시터	접합재간 거리 (mm)	충전전압 (kV)	캐패시터	접합재간 거리 (mm)	충전전압 (kV)
480uF	0.25	9	240uF	0.75	10
		8			9
		7			8
		6			7
		5			6
	0.75	9		1.25	10
		8			9
		7			8
		6			7
		5			6
	4				

## 3. 결과 및 고찰

그림 3과 같이 4 캐패시터를 사용하였을 경우 접합간격 0.25에서는 8kV의 충전전압에서도 접합이 이루어지지 않았다. 접합을 위하여 충전전압을 9kV로 증가시켰을 경우 접합재 표면에서 결함이 발견되어 더 이상 실험을 진행할 수 없었다. 또한 접합재간 거리가 0.75인 경우 충전전압이 6kV 이상에서 접합이 이루어졌다. 그림 4와 같이 2 캐패시터를 사용하였을 경우 접합간격 0.75 및 1.25 모두 충전전압 10kV에서 접합이 이루어짐을 확인하였다. 따라서 캐패시터 용량이 증가함에 따라 접합간격 및 충전전압이

공정에 주요한 변수로써 작용함을 알 수 있었으며 성공적으로 접합이 이루어진 시편의 절단면에서는 그림 5와 같이 wavy 패턴이 계면에 균일하게 나타났다. 또한 접합부의 기계적 성질을 조사하기 위하여 실시한 수압시험 및 인장시험에서 그림 5와 같이 접합제에서 파단이 일어남을 확인하였다.

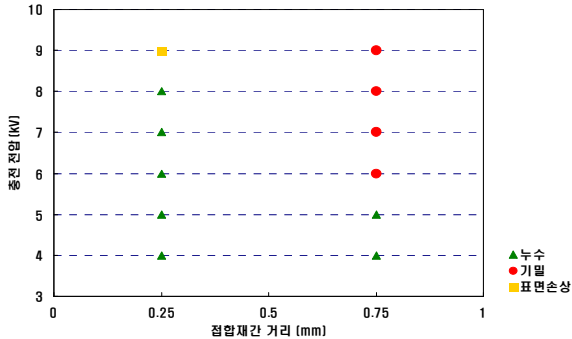


그림 3. 4 캐패시터(480µF)에서의 접합 결과

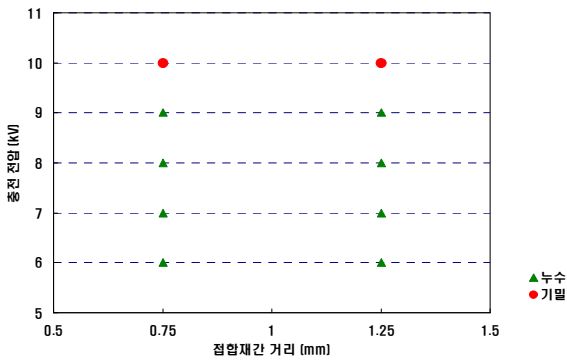


그림 4. 2 캐패시터(240µF)에서의 접합 결과

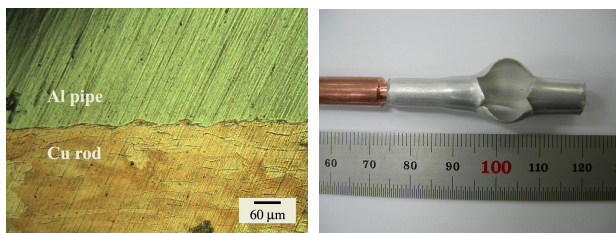


그림 5. 2 접합부 계면의 wavy 패턴 및 접합재 파단

캐패시터 용량에 따른 접합유무를 확인하기 위하여 표 3과 같이 3가지 Case를 비교·분석하였다. Case I의 경우 Case II에 비하여 총 에너지량이 적음에도 접합되었으며 캐패시터 용량이 같은 Case II와 Case III에서는 총 에너지량이 큰 Case III에서 접합이 이루어졌다.

표 3. 캐패시터 용량에 따른 접합 유무

Case	캐패시터 (µF)	접합재간 거리(mm)	충전전압 (kV)	에너지량 (kJ)	접합유무
Case I	4 (480µF)	0.75	6	8.64	접합
Case II	2 (240µF)	0.75	9	9.72	미접합
Case III	2 (240µF)	0.75	10	12	접합

4 캐패시터와 2 캐패시터일때의 방전 전류 파형은 그림 6과 같다. 캐패시터수가 증가함에 따라 접합에 필요한 충분한 공정시간 및 피크 전류값을 확보할 수 있어 접합이 이루어지지만 캐패시터가 감소함에 따라 내부저항 증가로 인하여 방전시 피크 전류값

이 낮고 시간이 또한 감소됨을 알 수 있다. 접합제가 모재로 접합되는 속도가 너무 빠르게 되면 접합이 되었다가 모재에서 다시 분리되는 스프링 백 현상이 발생되었음을 확인하였다.

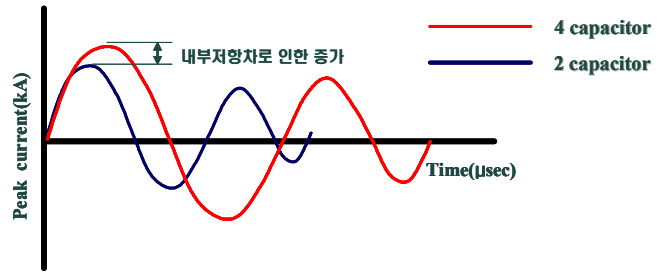


그림 6. 방전 전류 파형

#### 4. 결론

본 연구에서는 캐패시터 용량에 따른 Al/Cu 전자기 펄스 접합에 관한 연구를 실시하였다.

캐패시터 용량에 따라 접합을 위한 적정 조건 영역이 변화됨을 알 수 있었으며 캐패시터 용량이 증가함에 따라 충전전압 및 접합간격등이 주요변수로 작용함을 확인하였다. 또한 공정을 위한 충분한 시간이 확보되지 않았을 때는 금속학적인 접합이 이루어지지만 스프링백 현상이 발생되어 계면 주위의 접합제에서 균열이 발생함을 확인하였다.

#### 참고문헌

1. B. T. Spitz and V. Shribman, "Magnet pulse welding for tubular applications", The Tube & Pipe Journal, 11-2, p.32-34, 2000.
2. K.Okagawa and T.Aizawa, "Effect of gap on seam welding by applying magnetic pressure", Journal of the JSTP, 47-7, p. 632-636, 2006.
3. M. Pezzutti, "Innovative Welding Technologies for the Automotive Industry", Welding Journal, 79-6 p.43-46, 2000.
4. M. Marya, D. Priem and S. Marya, "Microstructures at aluminum-copper magnetic pulse weld interfaces", Materials Science Forum, 426, p.4001-4006, 2003.
5. A. Stern and M. Aizenshtein, "Bonding zone formation in magnetic pulse welds", Science and Technology of Welding and Joining, 7-5, p.339-342, 2002.
6. P. Zhang, "Joining Enabled by High Velocity Deformation", The Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of the Ohio State University, p.183-200, 2003.
7. V. Shribman, "Take advantage of the new magnetic puls welding process", Svetsaren, 2-3,p.14-16, 2001.
8. G. A. Dilts, "Moving least squares particle hydro dynamics", Conservation and boundaries, Int. J. Numer. Meth. Eng., 48, p. 1503-1524, 2001.
9. J. Bednarczyk, "Distributions of forces in the inductors used in metal processing in the pulse magnetic field", Journal of Materials Processing Technology, 133, p.340-347, 2003.
10. A. Kochan, "Magnetic Pulse Welding Shows Potential for Automotive Applications", Assembly Automation, 20-2, p. 129-132, 2003.
11. N. Takatsu, M. Kato, K. Sato, and T. Tobe, "High speed forming of metal sheets by electromagnetic force", Jpn. Soc. Mech. Eng. Int. J., 31-1, p.14, 1988.
12. W. F. Brown, J. Bandas and N. T. Olson, "Pulsed magnetic welding of breeder reactor fuel pin end closures", welding journal, 57-61, p.22-26, 1978.