

# 펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용한 Cu의 레이저 브레이즈 용접 특성

## Mechanical, Metallurgical and Electrical Consideration in Welding

변진귀, 한원진, 박광수, 김우성, 박상훈

두산중공업(주) 소재/용접기술연구팀

### 1. 서론

수냉각 방식이 적용되는 대용량 발전기의 고정자 권선은 무산소 Cu 소재를 브레이징하여 제작하고 있으며, 15년 이상 장기 운전 후 결함이 발생하게 된다. 결함은 부식에 의한 결함과 균열에 의한 결함으로 나눌 수 있으며, 부식에 의한 결함은 브레이징시 용가재로 사용되는 BCuP-5에 내재된 인(P)과 증류수가 반응하여 생성된 인산염에 의해 발생하며, 균열에 의한 결함은 제작시 브레이징부에 내재된 기공이 장기간 운전에 의해 표면까지 성장하여 발생한다. 이러한 결함을 방지할 경우 냉각수의 누수에 의한 중대사고가 발생하기 때문에 반드시 보수를 해주어야 한다. 그러나 기존의 TIG 브레이징을 이용할 경우 과입열에 의한 고정자 권선의 절연체가 파괴되는 문제가 발생하며, 고정자 권선 Water clip의 입구가 너무 협소하여 작업이 불가능하다. 따라서 절연체의 파괴를 방지함과 동시에 보수가 가능한 기술이 필요하며, 그러한 보수 기술 중의 하나로 고밀도 저입열의 레이저빔을 사용하는 방법이 있다. 레이저빔을 열원으로 이용할 경우 광파이버를 이용하여 쉽게 열원의 전송이 가능하고, 레이저 헤드를 특수하게 제작할 경우 Water clip의 입구가 협소하다는 문제를 극복할 수 있기 때문에 결함부위에 대한 보수가 가능하다.

본 연구는 결함이 발생한 발전기 고정자 권선의 결함부분을 보수하기 위한 기초 기술로써 펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용하여 Cu의 레이저 브레이즈 용접 시험을 실시하고, 그 단면을 검사하여 결함부분의 보수에 필요한 레이저 브레이즈 용접 조건을 확립하고자 하였다.

### 2. 시험 방법

시험은 발전기 고정자 권선에 사용된 소재와 동일한 무산소 Cu를 모재로 사용하였으며, 용가재는 BCuP-5 파우더와 DF125 플럭스를 혼합하여 Paste 형태로 만들어 사용하였다. Table. 1에 용가재로 사용된 BCuP-5 Powder의 사양을 나타냈으며, Table. 2에 Flux로 사용된 DF125의 사양을 나타냈으며, 시험편의 형상을 Fig. 1에 나타냈다. 또한 시험에 사용된 장치에는 Table. 3에 나타낸 것과 같은 사양을 가지고 있는 펄스형 500W급 Nd:YAG 레이저 시스템을 열원으로 사용하였으며, Photo. 1과 Table.4에 나타낸 특수 제작된 레이저 브레이즈 용접 헤드를 사용하였다.

시험시 용가재는 시험하고자 하는 위치 주입하여 핫플레이트에서 건조하여 시험하였으며, 시험 조건은 레이저빔의 펄스폭, 주파수, 에너지, 조사속도, 예열온도 등을 변화시켜 시험하였다.

### 3. 시험결과

Photo.2는 그루브 플레이트의 브레이즈 용접시 양호한 결과를 나타낸 시험편의 표면 비드 형상과 단면의 형상을 나타낸 것으로 이때 시험조건은 펄스폭 18ms, 주파수 1Hz, 에너지 110J, 빔 주사속도

36mm/min 및 시편과 Head 사이의 거리가 70mm이다. 시험결과 주파수가 높고, 펄스폭이 낮은 조건에서는 젖음성이 낮아 계면에서의 접착이 불충분하였으며, 펄스폭이 높고 주파수는 낮을때에 내부까지 용융이 되어 계면에서의 충분한 접착성을 나타냈다. 또한 빔 조사속도가 너무 낮을 경우 내부에 기공이 많이 발생하고, 조사속도가 너무 빠른 경우에는 그루브의 벽면에만 용착물이 부착되는 현상이 발생하여 빔 주사속도에 대한 적절한 제어가 요구되었다.

#### 4. 결론

시험결과 대용량 발전기의 고정자 권선의 결함부를 보수하기 위한 기초 기술로써 Cu 소재의 레이저 브레이즈 용접 조건을 확립할 수 있었다. Cu는 열전도도가 매우 우수한 소재로써 고온 예열이 기존의 브레이징 방법을 사용할 경우 빠른 열확산으로 절연물을 파괴하는 단점을 가지고 있어 대용량 발전기의 고정자 권선의 결함부 보수에는 부적당하다. 따라서 본연구에서와 같이 고밀도 저입열의 레이저 브레이즈 용접 방법을 적용할 경우 절연체의 파괴를 방지함과 동시에 보수가 가능할 것으로 판단되며, 실제 보수에 적용하기 위해서는 발전기 고정자 권선 Mock-up 시험을 통한 검증이 필요하다.

#### 참고문헌

1. AWS committee on brazing and soldering, "Brazing handbook", 1991, pp43-84.
2. C.E. Witherell and T.J. Ramos, "Laser brazing", Welding Journal, 1980, pp267s-277s

Table. 1 Specifications of Filler metal powder

Alloy	Powder size	Composition (%)						M.P (°C)
		Ag	Cu	P	Zn	Cd	Other	
BcuP-5	Mesh -100 ~ +150	14.5~15.5	Rem	4.8~5.2	-	-	0.15	802

Table. 2 Specifications of Flux

Type	Form	Filler metal type	Typical Ingredients	Activity Temperature(°C)
DF125	Paste	BAG and BCuP	Borates, Fluorides, Petroleum distillates	565~925

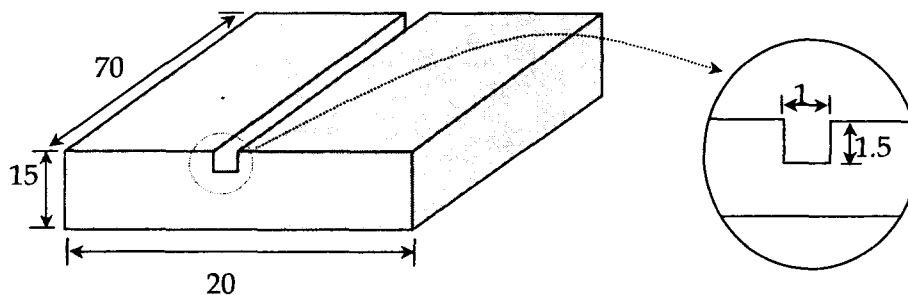


Fig. 1 Specimens of groove plate braze welding

Table. 3 Specifications of pulsed 500W Nd:YAG laser system(Model : 한빛레이저 HBL610E)

항 목	사 양	항 목	사 양
Max. average power	500 W	Frequency	Single ~ 100Hz
Pulse width	0.1 ~ 20ms	Max. peak power	20kW

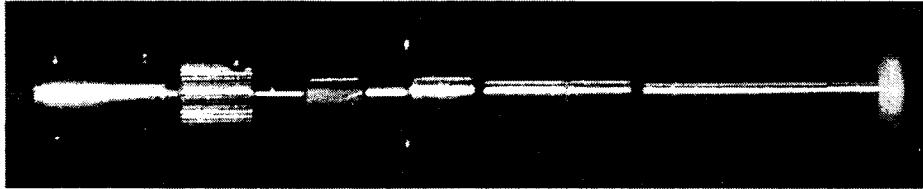


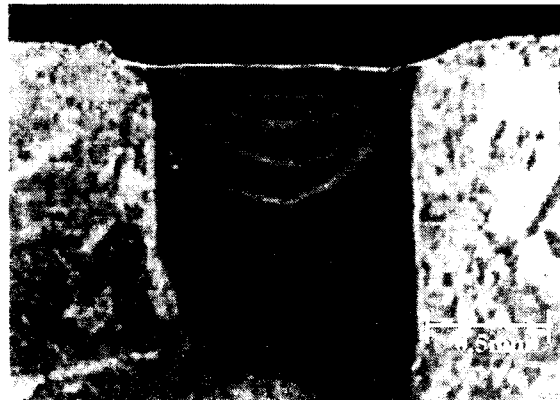
Photo. 1 Laser braze welding head

Table. 4 Specifications of laser head

항 목	사 양
직경	Max. 15mm
길이	73mm
초점에서 집속된 빔의 직경	2.4mm
헤드 끝에서 초점까지의 거리	100mm
적용 가능 레이저의 형태	500W급 Nd:YAG 레이저



(a) Weld bead



(b) Cross section

Photo.2 Weld beads and cross section of laser braze welding