

## Ni기 삼입금속에 의해 진공 브레이징된 stainless steel의 특성평가

장세훈 · 홍지민 · 정창열 · 최세원 · 오익현<sup>†</sup>

한국생산기술연구원 광주연구센터

### Evaluation of the Vacuum brazed stainless steel by Ni-based filler metals

Se-Hun Chang, Ji-Min Hong, Chang-Yeol Jeong, Se-Weon Choi, Ik-Hyun Oh<sup>†</sup>

Korea Institute of Industrial Technology(KITECH), Gwangju Research Center, Gwangju 500-480, Korea

(2007년 6월 13일 받음, 2007년 6월 20일 최종수정본 받음)

**Abstract** Microstructure and tensile strength of the vacuum brazed stainless steel were investigated in this study. For vacuum brazing of the stainless steel 303 and 304, the BNi-2, 3, 4 and 7 were used as filler metals. Among these filler metals, the BNi-2 showed excellent wettability at 1050°C. Indeed, the brazed stainless steel using the BNi-2 showed the highest tensile strength (483 MPa) among all brazed specimens. This is attributed to degree of interfacial reaction between the filler metal and stainless steel. Brazed stainless steel with BNi-2, 3 filler metals showed almost elastic deformation followed by plastic yielding and strain hardening up to a peak stress. On the other hand, it is likely that the fracture of the brazed specimens with BNi-4, 7 was occurred in elastic range without plastic yielding up to a peak stress.

**Key words** tensile strength, intermetallic compound, BNi filler metal, stainless steel.

#### 1. 서 론

브레이징이란 용점이 450°C 이상이고 모재의 고상선보다 낮은 용가제를 사용하여 적당한 온도에서 모재를 접합시키는 일련의 용접공정 그룹으로 정의한다<sup>1)</sup>. 그 중 니켈 삼입금속을 이용한 브레이징 접합은 접합이음부의 고온강도가 높고, 내식성 및 고온내산화성이 우수하므로, 항공기, 각종 엔진, 터빈, 원자로등에 많이 사용되고, 앞으로 전망이 기대되는 삼입금속이며, 색상이 스테인레스강과 흡사하여 스테인레스강의 브레이징에는 최적의 삼입금속이라 할 수 있다<sup>2-4)</sup>. 하지만, 접합부의 조직과 기계적 성질의 상관관계에 관한 연구는 불충분한 현실이다.

본 연구에서 백색가전 등에 널리 사용되는 전자식 밸브 계폐장치에 사용되고 있는 스테인레스/스테인레스(STS303-ST304)의 접합을 만족시킬 수 있는 최적의 용가제와 브레이징 특성을 알아보기 위해 Ni삼입금속의 용점을 낮추기 위하여 공정조성을 이루는 B, Si 및 P를 첨가하고, 기계적 성질을 증가시킬 목적으로 Cr, Co등이 첨가된<sup>2)</sup> 미국용접학회(A.W.S)<sup>5)</sup>에서 규정하고 있는 BNi-2, 3, 4, 7을 사용하였으며, 용가제의 조성변화에 따른 미세조직 및 생성상의 변화를 조사 하고, 이에 따른 접합강도와와의 관계를 조사하였다.

#### 2. 실험 방법

본 연구에서 사용한 브레이징 시편은 STS303과 STS304를 사용하였으며, 시편편은 20(l)×6(w)×20 mm(h)의 판재로 가공 후 에탄올용액과 증류수로 10분씩 초음파 세척을 하여 불순물을 제거하였다. Table 1에 본 연구에서 사용한 BNi용가제의 종류 및 각 조성 등을 나타내고 있다. 용가제의 형태는 분말을 사용하였고, 분말을 루카스사의 paste (Handy flo 420)에 혼합하여 슬러리 형태의 용가제를 시편의 접합부에 바른 후 진공로에서  $1 \times 10^{-4}$ Torr의 진공 하에서 열처리하였다. Fig. 1은 진공로에서의 브레이징 시간과 온도를 나타내었다. 접합 온도는 미국 용접학회의 규격을 고려하여 BNi-2, 3, 4

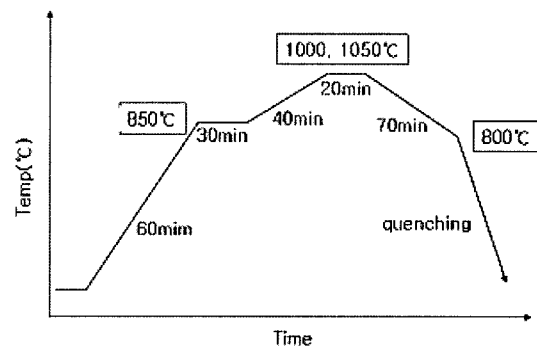


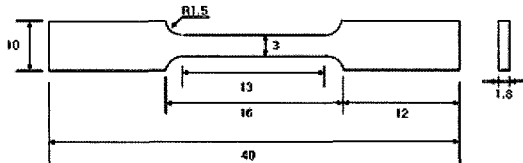
Fig. 1. Vacuum heat treatment cycle for brazing.

<sup>†</sup>Corresponding author

E-Mail : ihoh@kitech.re.kr (I. H. Oh)

**Table 1.** Characterization of BNi filler metal used in this study.

AWS classification	Chemical composition (wt%)									Melting temperature range (°C)	Brazing temperature range (°C)
	Ni	Cr	B	Si	Fe	C	P	Mn	Cu		
BNi-2	Bal.	7	3.5	4.5	3	0.06	0.02	-	-	971-999	1010-1177
BNi-3	Bal.	-	3	4.5	-	0.06	0.02	-	-	982-1038	1010-1177
BNi-4	Bal.	-	2	3.5	-	0.06	0.02	-	-	982-1066	1010-1177
BNi-7	Bal.	14	-	-	-	0.08	10	0.04	-	888	927-1093



**Fig. 2.** Schematic of brazed specimen for tensile test.

는 1050°C에서, BNi-7은 1000°C에서 수행하였으며, 냉각시 800°C이하에서는 Ar가스로 급랭을 하였다. 브레이징 후 각 시편을 절단하여 경면 연마 후 주사전자현미경(SEM)과 에너지 분산형 X선 분광기(EDS)를 이용하여 단면 조직을 관찰하였다. 접합강도시험을 위한 인장 시편의 형상과 치수는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. 인장시험시 변형속도는 0.78 mm/min로 속도로 만능시험기를 (Universal testing m/c) 사용하여 인장시험을 수행하였으며, 파단면을 SEM과 EDS를 이용하여 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 브레이징 후 인장시편으로 가공한 시편의 사진을 나타낸다. 1000°C와 1050°C의 조건으로 브레이징 시편 모두 크랙이나 모재의 무너짐 현상등의 이상현상은 발견되지 않았다. Table 2는 paste를 건조시킨 후 EDS로 성분을 분석한 결과 Si와 S를 주성분으로 하고 있는 것을 알 수 있었다.

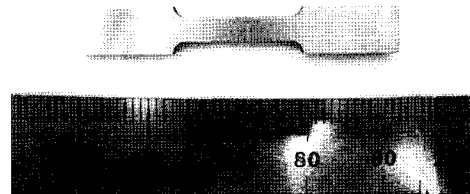
Fig. 4는 STS304와 STS303을 BNi-2, 3, 4, 7 용가재를 사용하여 1000, 1050°C의 온도에서 접합한 단면 조직사진이다. 스테인레스강과 접합부 사이에서 균열은 발견할 수 없었으나 BNi-7의 용가재를 사용한 경우 BNi-2, 3, 4의 경우와는 달리 접합부의 중간 부위에서 contrast가 다른 생성물을 관찰할 수 있었고, 그 부위에서 균열이 관찰되었다. 스테인레스강과 접합부의 계면에서 contrast가 짙은 회색의 생성물이 관찰되었으며, 모재의 내부와 접합부에서 contrast가 검은색의 생성물이 관찰되었다. 접합부의 두께는 BNi-2가 46 μm, BNi-3이 60 μm, BNi-4가 83 μm, BNi-7이 83 μm로 BNi-2의 젖음성(wettability)이 가장 우수한 것으로 나타났다.

Fig. 5는 각 시편의 브레이징 접합부의 성분을 분석하기 위하여 EDS로 line profile을 행한 결과를 나타내었

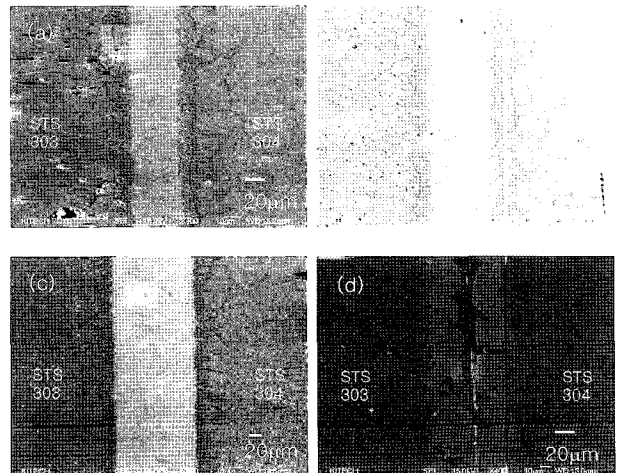
**Table 2.** Chemical composition of paste.

Composition	wt%
Si	63.143%
S	21.321%
Ca	10.745%
K	3.976%

다. 이 분석결과 접합부와 스테인레스강의 계면과 입계에 생성된 생성물은 Cr이 증가하고 Fe가 감소하는 것으로 보아 Cr rich임을 알 수 있었으며, 산소 또한 증가하는 것으로 보아 산화크롬(Cr-O)인 것을 알 수 있었다.



**Fig. 3.** Apparent shape of brazed specimen for tensile test.



**Fig. 4.** Cross-sectional SEM photographs of brazed specimen at 1000 and 1050°C. (a) BNi-2, (b) BNi-3, (c) BNi-4, (d) BNi-7.

BNi-2, 3, 4의 경우는 Cr rich 부분에서 B도 증가하는 것으로 보아 용가재에 존재하고 있던 B이 스테인레스강

모재에 확산하여, Cr-B의 화합물을 형성하는 것으로 사료된다. 용가재가 Si를 함유하고 있는 BNi-2, 3, 4뿐 아니라 Si를 함유하고 있지 않은 BNi-7의 접합부내에서도 Si의 성분이 높게 나오는 것을 알 수 있다. Table. 2에서 알 수 있듯이 paste가 함유하고 있는 Si이 원인인 것으로 사료된다. 또한 각 시편의 접합부에서 Fig. 6-(a)와 같이 SiO<sub>2</sub>가 발견되었는데, 용가재와 paste가 함유하고 있던 Si이 일부 산화되어 형성된 것으로 판단된다. BNi-7의 접합부위에서 발견된 화합물은 Fig. 5-(d)의 EDS line profile과 Fig. 6-(b), (c), (d)의 EDS spectra를 통해 Ni-Cr-P의 화합물인 것을 알 수 있었으며 Ni과 Cr, P의 조성비에 따라 contrast가 틀리게 관찰되는 것을 관찰할 수 있었다. 그 부위에서 균열이 발생한 것으로 보아 Ni-Cr-P의 합성물은 기계적으로 취약한 것으로 사료된다.

Fig. 7은 스테인레스강의 모재 내부에서 발견된 검은 생성물을 EDS spectra분석결과를 나타낸다. 스테인레스강 모재에서 발견되었던 contrast가 검은 생성물은 Mn-S의 화합물임을 알 수 있었으며, paste가 함유하고 있던 S성분이 모재로의 확산에 의해 반응 형성된 것으로 사료된다.

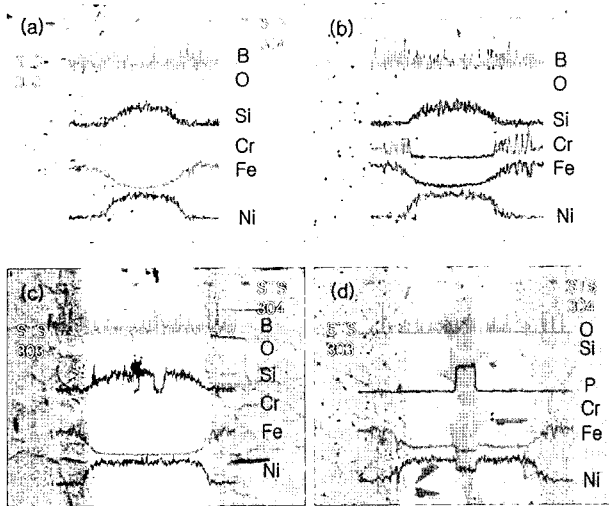


Fig. 5. EDS line profiles of brazed specimen at 1000 and 1050°C. (a) BNi-2, (b) BNi-3, (c) BNi-4, (d) BNi-7

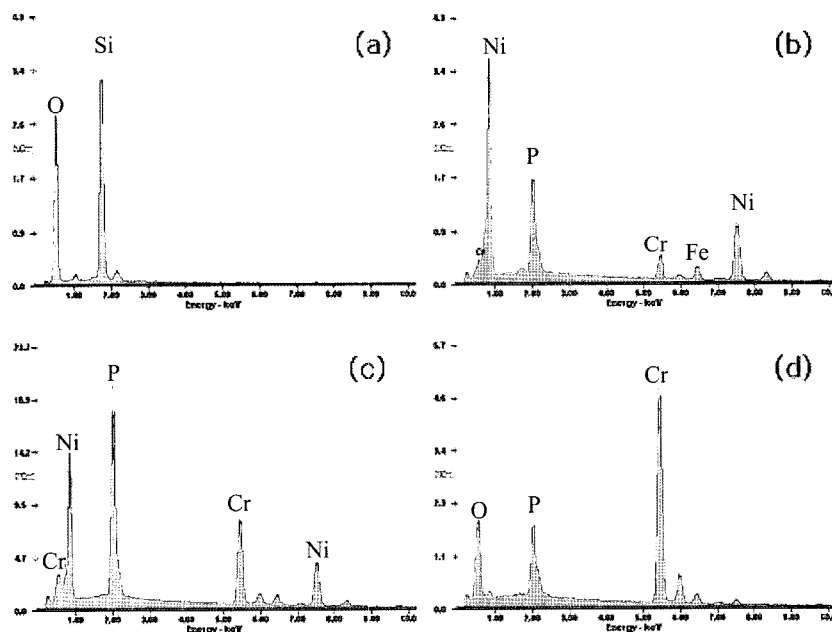
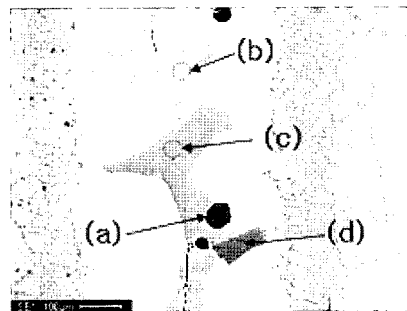


Fig. 6. SEM photograph and EDS spectra of brazed specimen with BNi-7 filler metal at 1000°C.

Fig. 8은 인장시험후의 시편사진이다. 파단은 브레이징된 접합부에서 발생한 것을 알 수 있다.

Fig. 9에 브레이징 접합 시편의 인장시험후의 S-S곡선을 나타내었다. BNi-2, 3은 탄성변형과 소성변형을 동반한 파괴거동을 나타내었으나, BNi-4, 7은 탄성변형 후 소성변형 없이 파괴되어 취성파괴 거동을 나타내었다. 인장강도는 용가재별로 5번씩 측정하여 평균값을 계산하였으며, BNi-2가 483.8 MPa, BNi-3이 380 MPa, BNi-4가 241.4MPa, BNi-7이 54.5MPa를 나타내어 젓음성이 좋은

BNi-2의 접합강도가 가장 큰 것을 알 수 있었다.

Fig. 10은 1050°C에서 BNi-2에 의해 브레이징된 접합 시편의 인장시험후의 파단면 SEM 사진과 EDS spectra 분석 결과를 나타낸다. BNi-2, 3, 4는 파단면의 주성분이 Ni이고 B가 검출되지 않은 것으로 보아 접합부의 가운데서 파단이 진행된 것으로 사료된다. 기계적 강도를 떨어뜨리는 것으로 알려져 있는 Cr-B의 금속간 화합물에서 파괴가 일어나지 않은 것으로 보아 인장 강도에는 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. 일반적인 금

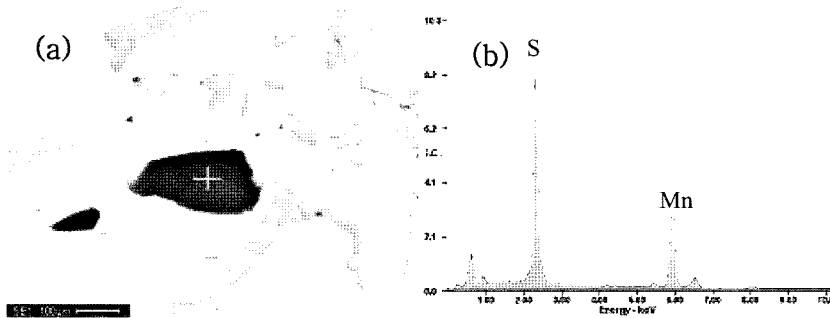


Fig. 7. SEM photograph of (a) new compound (black contrast) and EDS spectrum for (b) new compound observed at stainless steel matrix.

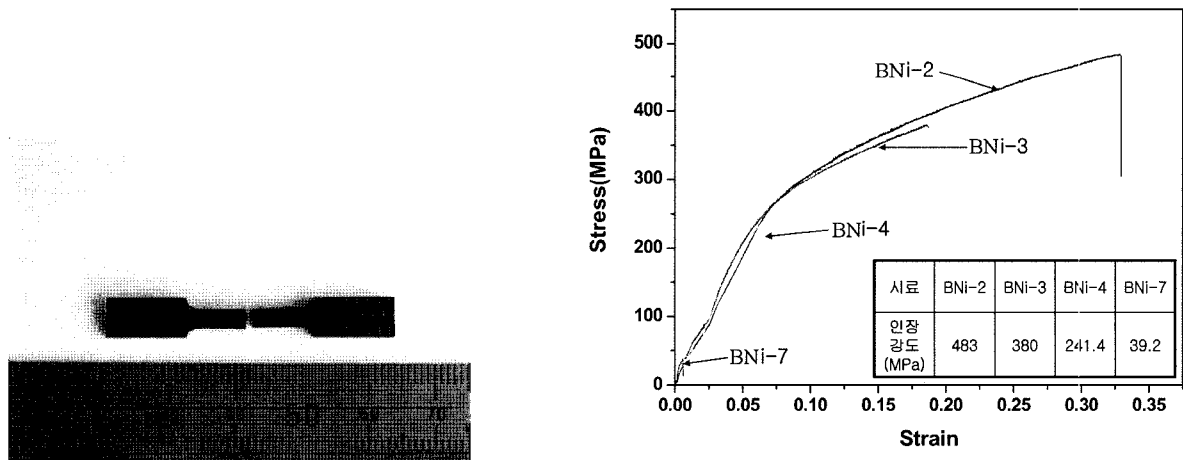


Fig. 8. Photograph of brazed specimens after tensile test.

Fig. 9. Strain-stress curves and tensile strength of brazed specimens obtained by tensile test.

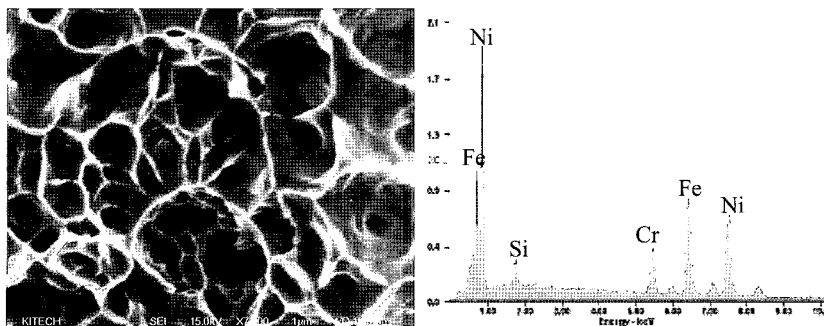


Fig. 10. SEM photograph and EDS spectrum for fracture surface of brazed specimens with BNi-2 filler metal at 1050°C.

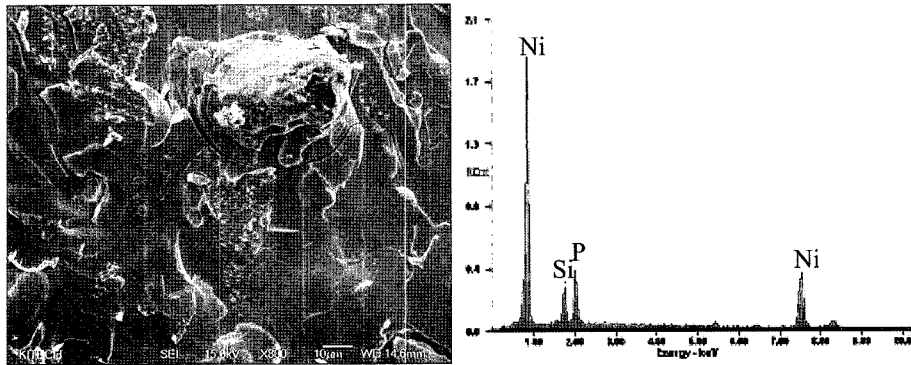


Fig. 11. SEM photograph and EDS spectra for fracture surface of brazed specimens with BNi-7 filler metal at 1000°C.

속간 화합물은 경하고 취약하여 충격강도가 낮지만, 정적 인장강도는 높은 값을 나타내는 경우가 많다.<sup>6)</sup> 높은 접합강도를 나타낸 BNi-2, 3은 딴플현상을 확인 할 수 있었고, BNi-3보다 BNi-2가 높은 접합강도를 나타내었는데 그 이유로는 높은 젖음성(wettability)과 Cr성분에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 11은 1050°C에서 BNi-7에 의해 브레이징된 접합 시편의 인장시험 후의 파단면 SEM 사진과 EDS spectra 분석 결과를 나타낸다. 비교적 낮은 강도를 갖은 BNi-4, 7은 Fig. 11의 SEM사진과 같이 취성적인 파단 형태를 보였으며, 가장 낮은 접합강도를 나타낸 BNi-7은 파단면의 주성분이 Ni과 P가 검출된 것으로 보아 접합부 가운데의 Ni-Cr-P의 화합물에서 균열이 진행된 것으로 사료된다. 동일한 젖음성을 나타낸 BNi-4, 7중 BNi-7이 낮은 접합강도를 나타냄으로써, Ni-Cr-P의 금속간 화합물이 Cr-B의 금속간 화합물보다 취약한 것을 알 수 있다. 젖음성이 가장 우수했던 BNi-2의 인장강도는 젖음성이 좋지 않았던 BNi-7보다 약 1232% 높게 나타났다. 이것으로 브레이징 접합강도와 젖음성의 높은 상관관계가 있음을 알 수 있으며, STS303-ST304의 브레이징 접합에서는 BNi-2 용가재가 가장 우수한 접합성능을 나타내는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

BNi계 용가재를 사용하여 진공분위기 하에서 1000, 1050°C의 온도에서 브레이징 접합한 STS303-ST304 접합체의 미세구조의 관찰 및 인장시험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. BNi-2, 3, 4용가재를 사용한 스테인레스강과 접합부의 계면에서 용가재가 함유하고 있는 B의 확산에 의해 Cr-B의 금속간화합물을 생성하는 것을 확인할 수 있었다.
2. BNi-2, 3은 딴플(dimple)현상과 함께 탄성변형과 소성변형을 동반한 파괴거동을 나타내었으나, BNi-4, 7은 취성적인 파단평태를 보이며 탄성변형 후 소성변형 없이 파괴되어 취성적인 파괴거동을 나타내었다.
3. 가장 낮은 접합강도를 나타내었던, BNi-7용가재를 사용한 시료의 경우 접합부의 중간부위에서 Ni-Cr-P의 금속간화합물이 형성되었으며, 인장 시험에서는 BNi-2, 3, 4 용가재를 사용한 시료에서 나타난 Cr-B의 금속간화합물보다 더 취약한 기계적 강도를 나타내는 것을 알 수 있었다.
4. BNi-2가 가장 높은 접합강도(483MPa)를 나타냄으로써 브레이징 된 스테인레스강의 경우 삽입된 용가재의 상호 계면의 젖음성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. J. H. Park, W. C. Lee and C. S. Kang; J of K.W.S., **12**(3), Sep, 48-55 (1994).
2. J. Y. Kang, U. Y. Kim; J of K.W.S., **10**(3), Sep, 13-25 (1992).
3. M. D. Bellware; Welding J, July, 683-671 (1958).
4. X. W. Wu, R. S. Chandel, H. P. Seow, H. Li, J. Mater. Proc. Tech, **113**, 215~221 (2001).
5. Brazing Manual, A.W.S, Inc, (1976).
6. J. Y. Kang, U. Y. Kim, J of K.W.S., **10**(2), 11~18 (1992).