

## 철강 하니콤구조의 접합강도

송 건 · 홍영환

수원과학대학 신소재응용과

### Bond Strength of Steel Honeycomb Structure

Keun Song and Young Hwan Hong

Dept. of Application of Advanced Materials, Suwon Science College, Gyeonggi 445-742, Korea

**Abstract** Honeycomb structure has been fabricated by brazing method using 0.1 wt%C and 1.0 wt%C carbon steel core and STS304 stainless steel face sheet. Core shear strength ratio in W and L directions was 1:1.03 in 7 mm cell size, whereas 1:1.45 in 4 mm cell size. Flexural strength on face sheet was 166.4 MPa (0.1 wt%C, W direction), 171.1 MPa (0.1 wt%C, L direction), and 120.2 MPa (1.0 wt%C, W direction) in 7 mm cell size. And in 4 mm cell size specimen, it was 169.2 MPa (0.1 wt%C, W direction), 224.2 MPa (0.1 wt%C, L direction). This means that flexural strength of 0.1 wt%C core material was higher than that of 1.0 wt%C core material, which was contrary to expectation. SEM and EDS analysis represented that grain boundary diffusion had occurred in 0.1 wt%C core, but no grain boundary diffusion in 1.0 wt%C core. And corrugated surface of 0.1 wt%C core was flat, whereas that of 1.0 wt%C core was not flat. As a result, contact area between two 1.0 wt%C cores was much less than that of 0.1 wt% cores. It is thought to be main reason for lower flexural strength of 1.0 wt%C core.

(Received April 21, 2003)

**Key words** : Honeycomb structure, Core shear strength ratio, Flexural strength, Cell size, Grain boundary diffusion.

### 1. 서 론

하니콤 코어(Honeycomb core)란 무수히 많은 6각형의 셀(Cell)로서 구성된 구조재를 말하는 것으로서, 그 형태가 벌집모양과 유사하기 때문에 유래된 용어이며, 샌드위치 구조는 이러한 코어의 양쪽면에 표면판재(Facing material)를 부착시킨 재료를 말한다[1-5].

이와 같은 샌드위치 구조는 전체 부피의 90% 이상이 비어있는 공간이고, 나머지 수 %만이 구성소재로 이루어져 있으므로 극히 가볍고 비강도가 뛰어나며, 코어의 특성상 충격에너지 흡수성이 우수하여 내충격성이 요구되는 구조재로 적합하다. 또한 공기층에 의한 단열효과에 의해서 동일두께의 재료에 비해서 단열성이 뛰어나고, 수많은 셀에 의해서 응력이 분산되므로 응력집중이 방지되어 내피로성도 매우 우수해진다. 특히 셀 자체에 의한 음파의 흡수가 가능하므로 뛰어난 방음 및 방진효과[6]도 얻을 수 있다.

현재 금속계로서는 Al 하니콤이 가장 많이 사용되고 있는데, Al 하니콤의 경우 Al 자체의 중량도가

벼운데다 전체부피 중에서 Al이 차지하는 부피는 약 3% 정도이고 나머지는 비어있는 공간이므로 비강도가 매우 우수하다는 커다란 장점이 있는 반면에, 구성소재인 Al이 철강에 비하여 고가이므로 민수용으로 응용시 원가상승이라는 단점을 갖게 된다. 또한 자동차를 비롯한 운송기기 등에 응용하기 위해서는 큰 압축강도와 방진, 방음 특성이 요구되므로 본 연구에서는 아직까지는 세계적으로 그리 연구개발되어 있지 않은 철강계 하니콤 구조를 제조하기 위한 기초연구를 시도하고자 하였다.

코어용 재료로서 탄소강판을, 표면판재용 재료로서는 오스테나이트계 스테인리스강인 STS304를 사용하여 브레이징(Brazing)법으로 하니콤 판재를 제조하고, 코어용 재료의 탄소량, 셀 크기(Cell size), 접합 방향 등이 하니콤 구조의 기계적 특성에 미치는 영향에 대해서 연구 검토하였다.

### 2. 하니콤 판재의 강도

판재의 강도에 영향을 미치는 요소로는 사용한 재

료의 종류, 코어의 형상, 표면판재와 코어의 치수에 따른 판재의 밀도, 표면판재와 코어 간의 접합강도, 코어 자체의 접합강도 등이 있다. 특히 밀도는 코어 셀의 크기, 사용 재료의 종류, 코어용 박판의 두께, 코어 높이와 표면판재 두께 간의 비에 의하여 결정되는 변수로서 제품의 강도와 가장 밀접한 관계를 가진다.

하니콧 코어의 밀도를 계산하면, Fig. 1에서 셀의 한변의 길이  $a$ 와 셀의 크기  $b$ 의 관계는 아래의 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$a = \frac{b}{\sqrt{3}} \tag{1}$$

Fig. 1에 표시된 면적  $A_e$ 와 셀의 크기  $b$ 의 관계는 다음의 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$A_e = \frac{b}{2} \cdot \left(a + \frac{a}{2}\right) = \frac{\sqrt{3}}{4} b^2 \tag{2}$$

재료의 밀도를  $\rho$ , 박판의 두께를  $t$ 라 하면 하니콧 코어의 밀도  $\rho_c$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\rho_c = \frac{2at\rho}{A_e} = \frac{8}{3} \left(\frac{t}{b}\right) \rho \tag{3}$$

하니콧 코어를 구조재로 사용할 수 있기 위해서는 일반적으로  $\rho_c$ 가  $0.02 \sim 0.03 \text{ g/cm}^3$  이상이어야 한다고 알려져 있다[3]. 참고로 위에서 구한 밀도  $\rho_c$ 는 접착제의 무게를 제외한 값이다. 접착제의 무게를 고려하면 코어의 밀도는  $\rho_c$ 보다 증가하게 된다.

한편, 시편의 단위면적당 작용하는 강도( $\sigma$ )를 이용하여 단위접합면적당 강도를 예측할 수 있다. 시편의 면적을  $A_s$ 라 할 때, Fig. 1에서 시편의 면적에 포함

된 면적요소  $A_e$ 의 개수  $n$ 은 다음과 같다.

$$n = \frac{A_s}{A_e} = \frac{4}{\sqrt{3}} \frac{A_s}{b^2} \tag{4}$$

각 면적요소당  $2a$  길이만큼의 리본이 접합되어 있으므로, 실제 접합면적  $A_b$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\sigma_b = \frac{P}{A_b} = \frac{3b}{8t} \frac{P}{A_s} = \frac{3b\sigma}{8t} \tag{5}$$

결국 단위 접합면적당 강도( $\sigma_b$ )는 하중  $P$ 를  $A_b$ 로 나누면 되므로 다음 식과 같다.

$$\sigma_b = \frac{P}{A_b} = \frac{3b}{8t} \frac{P}{A_s} = \frac{3b\sigma}{8t} \tag{6}$$

### 3. 실험방법

#### 3.1 하니콧 판재의 제조

하니콧 판재의 코어에 사용된 재료는 일반탄소강으로서, 두께 0.05 mm, 넓이 12 mm의 박판이며, 0.1%C, 1.0%C의 2가지 탄소조성을 사용하였다. Table 1에 코어로 사용된 탄소강의 화학조성을 나타내었다. 하니콧 판재의 표면판재로는 POSCO에서 생산된 두께 1.0 mm의 STS304 스테인리스강을 사용하였다. 또한 코어와 코어, 코어와 표면판재의 브레이징에 사용된 filler metal은 미국 SCM금속에서 생산되는 Cubond paste로서, 스테인리스강이나 고탄소강의 브레이징에 주로 사용되는 filler metal이며, 동과 동합금 상태의 페이스트이다.

브레이징시 용융된 filler metal의 유동에 영향을 주는 윤활재 및 녹을 제거하기 위하여 코어 및 표면판재 재료를 아세톤으로 2시간 이상 세척하였다.

하니콧 판재는 먼저 코어재료를 주름법(Corrugating method)에 의해 파형을 만든 후 파형 정상에 filler metal을 도포하여 적층하였으며, 표면판재용 재료를 코어의 양면에 부착시켜 1095°C, 환원성 암모니아 분위기에서 브레이징하여 제조하였다.

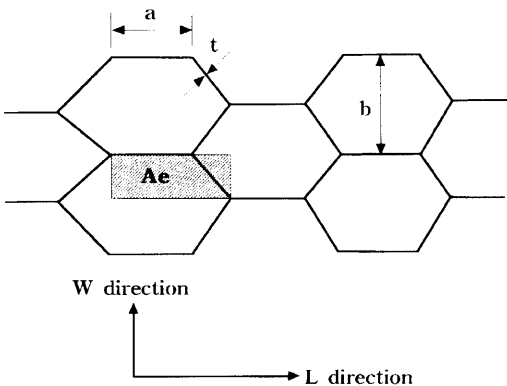


Fig. 1. Cross section of core.

Table 1. Chemical composition of core materials (wt%)

Elements	C	Mn	Si	Fe
Core 1	0.10	0.22	0.02	Bal.
Core 2	1.11	0.49	0.19	Bal.

### 3.2 굽힘 시험

#### 3.2.1 시편

하니콧 판재의 굽힘 특성을 평가하기 위해 셀 크기, 코어재료의 탄소함량, 코어의 방향을 실험조건으로 설정하였다. 셀 크기는 4 mm, 7 mm의 두가지로 하였고, 코어재료는 탄소함량이 0.1 wt.%(Core 1) 및 1.0 wt.%(Core 2)인 강을 선택하였으며, 또한 각 조건에 대한 측방향 W 및 길이방향 L의 시편을 준비하였다. 시편의 크기는 250×50 mm이었다.

제조된 하니콧 판재의 밀도는 1.38 g/cm<sup>3</sup>~1.50 g/cm<sup>3</sup> 사이의 값을 가지고 있었으며, 이 값은 Fe 밀도의 약 1/5 정도에 지나지 않는다.

#### 3.2.2 시험 방법

굽힘시험방법은 ASTM C 393(샌드위치 구조체의 굽힘시험방법) 및 MIL-STD-401B(샌드위치 구조체 및 코어재의 일반적인 시험방법) 등에 규정되어 있으며, 본 실험은 이에 준하여 행하였다. Fig. 2에 4점 하중 굽힘시험의 모식도를 나타내었다.

ASTM에 따르면 3점하중 굽힘시험으로부터 코어의 전단강도와 표면판재의 굽힘강도를 구할 수 있고, 3

점하중 굽힘시험과 4점하중 굽힘시험으로부터 굽힘 stiffness와 코어의 전단탄성계수를 구할 수 있다.

Crosshead 속도는 3점하중 굽힘시험시에는 0.5 mm/min, 4점하중 굽힘시험시에는 1 mm/min을 선택하였다. 또한 span 길이는 3점하중 굽힘시험시 150 mm, 4점하중 굽힘시험시 190 mm로 결정하였다. 굽힘시험에 사용한 장치는 Instron model 1350이었다.

### 3.3 EDS 분석

접합계면에서 코어재료와 filler metal 사이의 상호 확산층 두께 및 상호확산도가 하니콧 판재의 기계적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 계면부위에서 EDS분석을 실시하였다. 이 때 사용된 장비는 JEOL-JXA-8600SX로 가속전압은 20 kV, 전류밀도는 1.5×10<sup>-7</sup>A이었다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 접합부 조직

Fig. 3은 위의 방법으로 제조된 하니콧 판재 접합

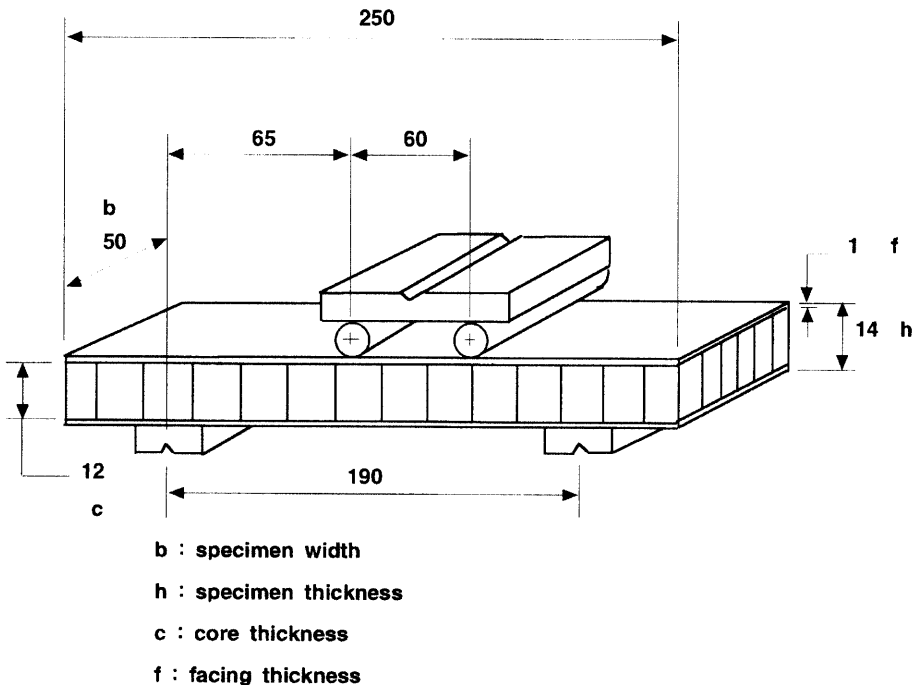


Fig. 2. The shape and size of the 4-point bending test specimen.

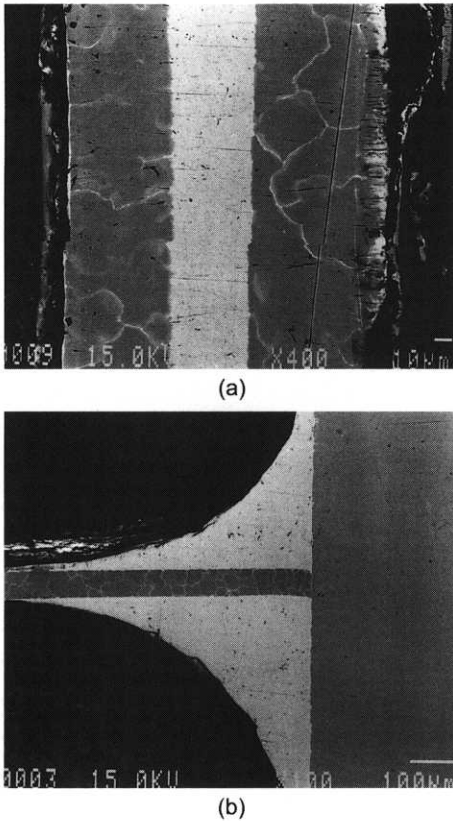


Fig. 3. Scanning electron micrographs of brazed bonding joints (0.1 wt% C core); (a) core and core and (b) core and face sheet.

부의 SEM사진을 나타낸 것이다. Fig. 3에서 알 수 있는 바와 같이 한 곳에 묻쳐있던 filler metal이 브레이징 후 젖음(wetting)과 모세관 현상에 의해서 접합면 전체로 균일하게 퍼져있음을 알 수 있다. 코어와 표면판재의 접합상태는 매우 양호하며, 코어 사이의 접합면은 약 10~50  $\mu\text{m}$  정도의 두께 분포를 가지고 있었다.

## 4.2 굽힘강도

3점하중 굽힘시험으로부터 하중-변위 곡선을 얻고, 이 결과를 통해 코어의 전단강도와 표면판재에 가해지는 굽힘 응력을 계산하였다. 또한 3점하중 굽힘시험과 4점하중 굽힘시험의 결과를 조합하여 굽힘 stiffness와 코어의 전단탄성계수를 구하였다[7,8].

보통 접착제법에 의해 제조된 하니콤 판재의 경우는 코어와 표면판, 또는 코어와 코어의 접합부에서의

Table 2. Shear strength of core

Core	Cell Size (mm)	Direction	Shear strength (MPa)
0.1 wt% C	4	W	2.26
		L	2.99
	7	W	2.22
		L	2.28
1.0 wt% C	7	W	1.60

파괴가 지배적으로 일어나며, 이 때 하중-변위 곡선에서 강도가 급격하게 강하하는 지점이 나타나지만, 본 연구에서는 접합부에서의 파괴는 보이지 않았다.

### 4.2.1 코어의 전단강도(S)

3점하중 굽힘시험에서 beam 시편이 중심하중  $P_1$ 을 받고 있을 때 하니콤 판재에 작용하는 코어의 전단 응력 S는 (7)의 관계식으로부터 구할 수 있다.

$$S = \frac{P_1}{(h + c)b} \quad (7)$$

여기서 h는 샌드위치 판재의 두께, c는 코어의 두께이며 b는 샌드위치 판재의 넓이다. 관계식 (7)에서  $P_1$ 은 실험으로부터 구했고, 본 실험에서는 h가 14 mm, c가 12 mm, b는 50 mm이다. 계산 결과 코어 최대전단강도를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에 의하면 0.1 wt.% C 강으로 제조한 하니콤 코어의 경우 셀 크기가 4 mm인 시편은 2.26 MPa (W방향), 2.99 MPa (L방향), 7 mm인 시편은 2.22 MPa (W방향), 2.28 MPa (L방향)의 값을 나타내었다. 7 mm 셀 크기 시편의 경우 W방향과 L방향의 전단 강도비는 1 : 1.03로서 전단강도값의 차이는 거의 보이지 않았으나, 4 mm인 경우는 전단강도비가 1 : 1.45로서 L방향이 더 큰 전단강도값을 나타내었다.

또한 L 방향의 경우는 셀 크기가 작은 재료의 전단강도가 더 크게 나타났으나, W방향의 경우에는 7 mm와 4 mm의 셀 크기에서 전단강도의 차이가 거의 없는 것으로 나타났으며, 이같은 결과는 A. Petras 등[9]의 결과와 동일한 거동을 보이고 있다.

### 4.2.2 표면판재의 굽힘강도(F)

3점하중 굽힘시험에서 beam 시편에 중심하중  $P_1$ 이

가해졌을 때 시편의 표면판재에 가해지는 굽힘 응력은 관계식 (8)로부터 구할 수 있다.

$$F = \frac{P_1 a_1}{2f(h+c)b} \quad (8)$$

여기서  $a_1$ 은 3점하중시 span 길이이고,  $f$ 는 표면판재의 두께를 나타내며,  $h, c, b$ 는 식 (7)과 동일하다. 계산 결과를 Table 3에 나타내었다. 표면판재에 가해진 최대의 응력은 0.1 wt% C강으로 제조한 하니콤폴 코어의 경우 셀 크기가 4 mm인 시편은 169.2 MPa (W방향), 224.2 MPa(L방향), 7 mm인 시편은 166.4 MPa(W방향), 171.1 MPa(L방향)의 값을 가졌으며, 1.0 wt% C강으로 제조한 하니콤폴 코어의 경우에는 120.2 MPa(W방향)로 나타났다.

#### 4.2.3 굽힘 Stiffness(D)

같은 종류의 시편에 대하여 3점하중 및 4점하중 굽힘시험을 병행하여, 3점하중에서 중심부 하중  $P_1$ 과 그 때의 중심부 변위  $w_1$ 을 구하고, 4점하중에서 전체 하중  $P_2$ 와 중심부 변위  $w_2$ 를 구한 뒤 식 (9)를 이용하여 굽힘 stiffness를 구할 수 있다.

$$D = \frac{P_1 a_1^3 [1 - (11a_2^2 / 8a_1^2)]}{48w_1 [1 - (2P_1 a_1 w_2 / P_2 a_2 w_1)]} \quad (9)$$

Table 3. Flexural strength of face sheet

Core	Cell Size (mm)	Direction	Flexural strength (MPa)
0.1 wt% C	4	W	169.2
		L	224.2
	7	W	166.4
		L	171.1
1.0 wt% C	7	W	120.2

계산에 사용된 데이터와 결과를 Table 4에 나타내었다. 계산에 사용한 하중은 각 시편의 하중 변위 곡선에서 최대값을 취하였고, 이 때의 변위를 사용하였다.

계산 결과 0.1 wt% C 강으로 제조된 코어의 경우, 셀크기가 7 mm인 시편은 207.6 Nm<sup>2</sup>(L방향), 158.7 Nm<sup>2</sup>(W방향)의 굽힘 stiffness를 가졌고, 4 mm인 시편은 395.7 Nm<sup>2</sup>(L방향), 234.2 Nm<sup>2</sup>(W방향)의 값을 가졌다. 1.0 wt% C강으로 제조된 코어의 경우는 80.1 Nm<sup>2</sup>로 전단강도와 마찬가지로 다른 시편에 비해 낮은 굽힘 stiffness를 가지고 있는 것으로 나타났다. 이 값들은 기존의 알루미늄 하니콤폴 판재의 수배에 해당한다.

#### 4.2.4 코어의 전단탄성계수(G)

코어의 전단탄성계수는 다음의 식 (10)으로부터 구할 수 있다.

$$G = \frac{P_1 a_1 c [(8a_1^2 / 11a_2^2) - 1]}{w_1 b (h+c)^2 [(16P_1 a_1^3 w_2 / 11P_2 a_2^3 w_1) - 1]} \quad (10)$$

Table 4에 나타나 있는 데이터를 이용하여 코어의 전단탄성계수를 계산한 결과 0.1 wt% C 코어의 경우, 4 mm L방향을의 시편이 287.6 MPa, 4 mm W방향을의 시편이 211.1 MPa이었고, 7 mm L방향인 시편이 196.6 MPa, 7 mm W방향을의 시편이 182.5를 나타내었다. 그리고 1.0 wt% C 코어의 경우, 7 mm W방향인 시편이 109.7 MPa 등의 값을 가지고 있는 것으로 나타났다. 0.1 wt% C 코어의 경우 셀크기가 7 mm인 경우에는 시편의 방향에 따른 이방성은 별로 보이지 않으나, 4 mm인 경우는 방향에 따른 약간의 이방성을 보이고 있다.

Table 4. Flexural stiffness (D) and core shear modulus (G)

Core	Cell Size (mm)	Direction	P <sub>1</sub> (kgf)	W <sub>1</sub> (mm)	a <sub>1</sub> (mm)	P <sub>2</sub> (kgf)	W <sub>2</sub> (mm)	a <sub>2</sub> (mm)	D (Nm <sup>2</sup> )	G (MPa)
0.1 wt% C	4	W	299.0	1.62	150	382.0	2.17	190	234.2	211.1
		L	396.3	1.41	150	457.5	1.64	190	395.7	287.6
	7	W	294.1	2.12	150	331.0	2.61	190	158.7	182.5
		L	302.5	1.80	150	350.5	2.21	190	207.6	196.6
1.0 wt% C	7	W	212.5	2.84	150	268.0	4.03	190	80.1	109.7

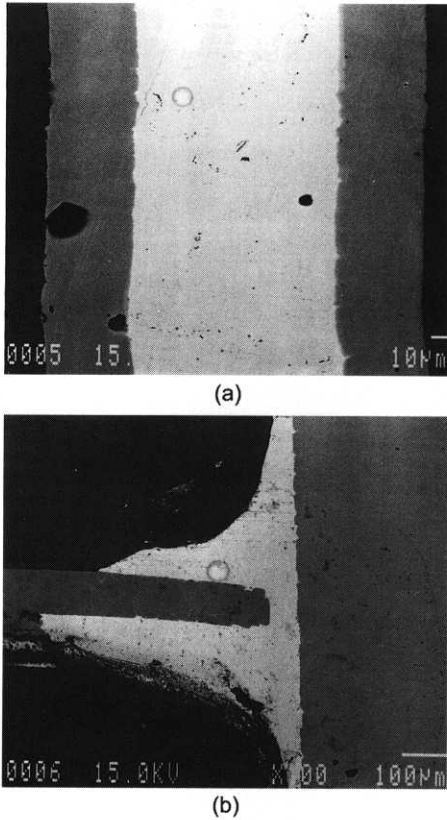


Fig. 4. Scanning electron micrographs of brazed bonding joints (1.0 wt.%C core); (a) core and core and (b) core and face sheet.

#### 4.3 코어재료의 탄소함량의 영향

본래 0.1 wt.%C강보다는 강도가 더 높은 1.0 wt.%C강으로 제조한 코어의 전단강도가 더 클 것이라고 예상하였다. 그러나 실험 결과 0.1 wt.%C강으로 제조한 코어의 전단강도가 2.22 MPa(셀 크기 7 mm, W방향), 1.0 wt.%C강으로 제조한 코어의 전단강도가 1.60 MPa(1.0 wt.%C, 셀 크기 7 mm, W방향)으로 나타났으므로, 오히려 탄소의 함량이 적은 경우가 더 높은 전단강도값을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

이와 같은 거동을 보이고 있는 것은 0.1 wt.%C강의 경우는 주름이 완전한 육각형으로 접혀지지만, 1.0 wt.%C강의 경우에는 재료의 탄성에 의해서 주름을 만들 때 거의 곡선 형태를 만듦으로서 아래의 (2)항과 Fig. 7에서 언급한 바와 같이 접합면적이 감소하는 것이 주된 원인이라고 사료된다.

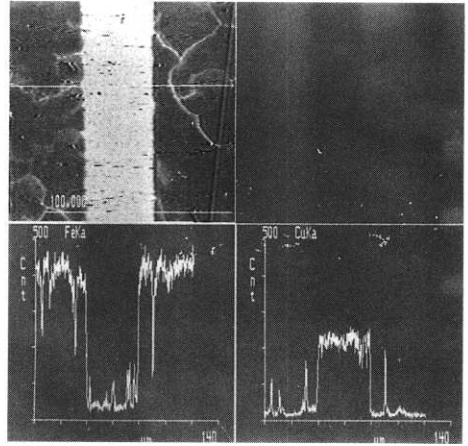


Fig. 5. EDS line profile analysis of core-core brazed joints (0.1 wt.%C core).

#### 4.3.1 접합계면부의 EDS 분석

Fig. 4는 1.0 wt.%C 강으로 제조한 하니콤 코어의 접합계면을 나타낸 SEM 사진이다. 앞의 Fig. 3과 비교해 보면 알 수 있듯이 접합면의 두께가 약 100 µm 이상으로 나타나 있어서 0.1 wt.%C강으로 제조한 하니콤 코어에 비해서 상당히 두껍다. 또한 코어와 표면판재와의 접합부도 0.1 wt.%C 코어의 경우만큼 양호한 상태는 아닌 것으로 나타났다.

한편, 0.1 wt.%C 코어의 경우에는 Fig. 3에서 보면 입계부위를 따라서 망상의 흰색 띠가 선명하게 나타나고 있어서 이종원소의 입계확산이 일어난 것으로 보여진다. 이 흰색 띠에 대하여 입계확산 여부 및 확산원소를 좀더 자세히 알아보기 위하여 Fig. 5에 0.1 wt.%C 코어의 입계확산에 대한 EDS 분석 결과를 나타내었다. 사진에서 볼 수 있는 것처럼 입계 부분에서 Cu 피크가 나타나고 있는 것으로 보아 filler metal인 Cu가 확산해 들어간 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 filler metal과 코어재료 계면에서의 EDS 분석 결과이며, 두 경우 모두 2 µm 정도의 확산층을 가지고 있다.

#### 4.3.2 코어의 형상

Fig. 7에 0.1 wt.%C강과 1.0 wt.%C강으로 제조한 코어의 형상을 도식적으로 비교하였다. 0.1 wt.%C강 코어의 경우 주름 작업을 통해 거의 정확한 육각형

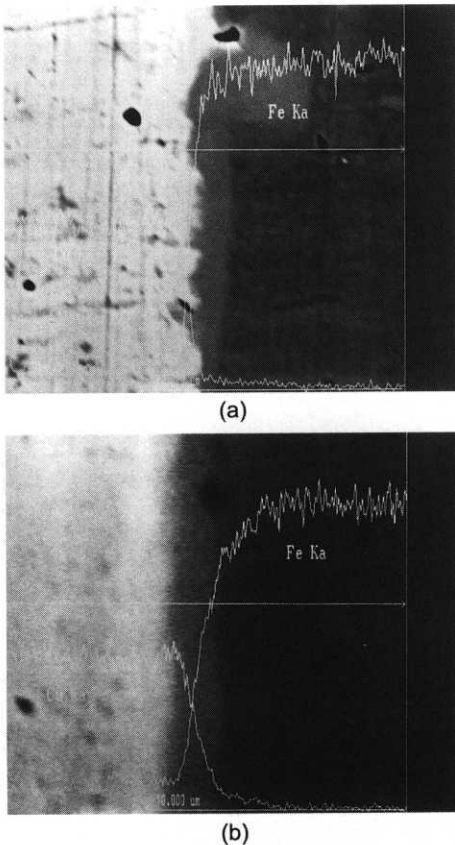


Fig. 6. EDS line profile analysis of brazed boundary; (a) 0.1 wt% C core and (b) 1.0 wt% C core.

형태의 셀을 얻을 수 있지만, 탄성이 있는 1.0 wt.%C강 코어의 경우는 탄성 때문에 거의 곡선에 가까운 셀모양을 함으로서 브레이징시 접합면적이 감소하게 되며, 전체 셀의 갯수마저 적어지게 된다.

이상의 두가지 요인에 의해서 1.0 wt.%C강으로 제조한 하니콧 코어의 전단강도가 0.1 wt.%C강으로 제조한 하니콧 코어의 전단강도보다 더 작은 값을 가진다고 사료된다.

### 5. 결 론

브레이징법에 의해 탄소강 하니콧 판재를 제조하여 접합특성 및 굽힘강도를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. W방향과 L방향 사이의 코어 전단강도비는 7mm 셀 크기 시편의 경우 1:1.03으로서 차이를

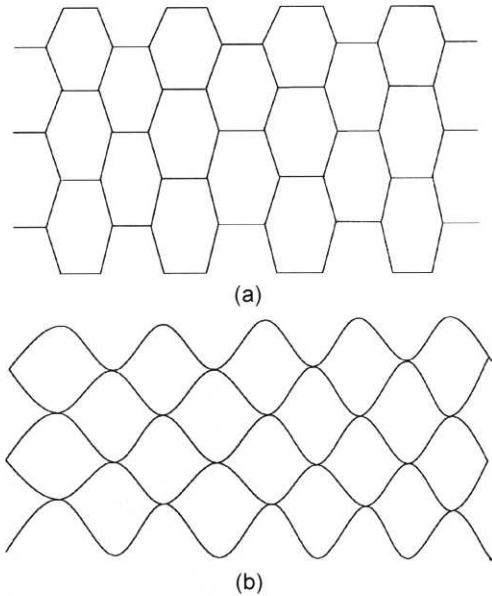


Fig. 7. Schematic diagram of brazed core shape. (a) 0.1 wt% C core and (b) 1.0 wt% C core.

보이지 않았지만, 4mm인 경우는 1:1.45로서 L방향에 더 큰 전단강도값을 나타냈다.

2. 굽힘하중시 표면판재에 가해진 최대굽힘강도는 7mm 시편의 경우 166.4 MPa(0.1% C, W방향), 171.1 MPa(0.1% C, L방향), 120.2 MPa(1.0% C, W방향), 4mm 시편의 경우 169.2 MPa(0.1% C, W방향), 224.2 MPa(0.1% C, L방향)이었다.

3. 굽힘 stiffness는 7mm 시편일 때 207.6 Nm<sup>2</sup>(0.1% C, L방향), 158.7 Nm<sup>2</sup>(0.1% C, W방향), 80.2 Nm<sup>2</sup>(1.0% C, W방향), 4mm 시편인 경우 395.7 Nm<sup>2</sup>(0.1% C, L방향), 234.2 Nm<sup>2</sup>(0.1% C, W방향)로 Al 하니콧에 비해 비교적 높은 값을 가지고 있는 것으로 나타났다.

4. 코어의 전단탄성계수를 계산한 결과 7mm 시편일 때 196.6 MPa(0.1% C, L방향), 182.5 MPa(0.1% C, W방향), 109.7 MPa(1.0% C, W방향), 4mm 시편인 경우 287.6 MPa(0.1% C, L방향), 211.1 MPa(0.1% C, W방향)으로 나타난 것으로 보아 셀 크기가 7mm인 경우에는 시편의 방향에 따른 이방성은 별로 보이지 않으나, 4mm인 경우는 방향에 따른 약간의 이방성을 보이고 있다.

5. 0.1% C강 코어보다 1.0% C강 코어가 굽힘특성

이 작게 나온 이유는 입계 확산의 부재와 코어형상에 따른 접합면적의 감소 및 셀 수의 감소에 기인하는 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Isaac M. Daniel, Jandro L. Abot: Composites Science and Technology, 60 (2000) 2455.
2. M.M. Schwartz; "Braze Honeycomb Structures", ASM Engineering Bookshelf, Source book on Brazing and Brazing Technology, Section IV, 222.
3. Y. Takeshima and K. Hirata; 住友輕金屬技報, 27(1) (1986), 50.
4. H. Nakanishi, K. Nanba, H. Sano and Y. Ito; 住友輕金屬技報, 29(3) (1988) 218.
5. A. Marshall; "Sandwich Construction", Handbook of Composites, Ch. 21, 557.
6. B. Wang, M. Yang; J. Materials Processing Technology, 105 (2000) 67.
7. ASTM C393-62: Standard Test Method for Flexural Properties of Flat Sandwich Constructions.
8. K. Lingaiah and B. G. Suryanara, "Strength and Stiffness of Sandwich Beams in Bending", Experimental Mechanics, 3 (1991) 1.
9. A. Petras, M. P. F. Sutcliffe: Composite Structures, 1999, 44, 237.