

## 용접판재의 성형한계에 관한 실험적 연구

허영무\* · 김형목\*\* · 서대교\*\*\*

(1998년 12월 1일 접수)

## Forming Limits for the Welded Sheets

Young Moo Heo, Hyung Mok Kim and Dae Gyo Seo

### Abstract

In sheet metal forming, forming limit diagram is very important to design and analyze of sheet metal forming process. Recently tailor welded blanks of different thickness and different material and strength combinations are used widely in automobile industry to reduce car manufacturing cost. In order to analyze the forming characteristics of tailored welded blanks, we have investigated the forming limit diagrams for 3 kinds of different material using mash seam and laser welding experimentally and discussed for the characteristics of forming for tailor welded blanks. It is concluded that forming limit diagram for the different material combination TWB locates between FLD of the thinner base material sheet and the thicker ones.

**Key Words :** Forming limit diagram, Formability, Tailor welded blanks, Laser welding, Mash seam welding

### 1. 서 론

산업 전반에 걸쳐서 프레스 성형공정은 금속제품의 생산에 매우 널리 사용되고 있으며 박판 금속을 이용한 프레스 공정은 특히 자동차 산업 등에서 많이 사용되고 있다. 이외에도 비행기, 가정용품 등에도 금속 박판재 성형 공정이 응용되고 있는 실정이다.

박판 성형 공정(sheet metal forming process)은 재료의 물리적 특성, 금형의 기하학적 형상, 금형과 재료간의 마찰특성, 금형과 재료간의 윤활 정도, 금형 속도, 금형에 가한 힘 등 여러 가지공정변수들에 의하여 복합적인 영향을 받는다. 이중 재료의 물성은 박판 공정의 성공 여부 및

설계시 설계한계 등을 결정할 수 있는 변수로 요긴하게 사용되고 있는 실정이다. 여러 재료의 성형 특성 중에 성형한계 특성이 있으며, 각 재료에 있어서의 성형 한계 특성은 성형하고자 하는 제품의 형상에 대하여 어떠한 재료를 사용할 수 있는가를 제공하고 있다.

자동차 차체는 크고 작은 300개 이상의 부품으로 이루어져 있으며, 자동차 차체의 제조에 있어서 일체화 방식(one-sheet type)과 분할 방식(individual type)이 있다.

근래 개발된 방식이 용접판재를 사용하는 방식이며, 분할된 블랭크를 사전에 용접한 용접판재(tailor welded blank)를 사용하는 제품 개발이 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 이러한 용접판재 사용의 장점은 일체화 방식과

\* 성균관대학교 대학원

\*\* 대우자동차(주)

\*\*\* 성균관대학교 기계설계학과

분할 방식의 장점을 절충시키는 방법으로서 차체의 용접 조립시 재료비 저감, 차체의 강도 향상과 프레스 금형 비용의 절약 등을 얻을 수 있다.

Tailor welded blank 방식은 두께와 기계적 물성치가 상이한 2매 이상을 조합하여 레이저(laser) 또는 매쉬 심 용접 등을 통해서 하나의 블랭크로 일체화시킨 후 프레스 성형 공정을 통하여 자동차 차체 패널을 제조하는 신기술이다. 용접판재에 대한 성형공정에의 응용은 성형한계에 대한 자료를 토대로 이루어 질 수 있으며 이러한 자료들은 용접부위에서 파단이 발생하지 않고 성공적으로 성형하기 위하여 두 개의 재료 또는 다른 두께를 조합한 판재에서 성형시의 유타율 유무, 용접 방식 등에 의하여 그 성질이 틀리게 나타나므로 용접하기 전 재료만의 성형한계 특성자료를 이용하여 용접판재의 성형한계에 적용하는 것은 무리이며 따라서 이러한 용접 판재에 대하여 성형한계에 대한 실험을 수행하여 얻어진 데이터를 이용하여야 할 것이다.

성형 한계에 대한 연구로는 Keeler 등<sup>(1)</sup>에 의하여 금속 표면에 작은 격자무늬를 입힌 뒤 반구형 편치 또는 평편치를 사용하여 파단이 일어날 때까지 편치형상, 유타율 조건 등을 변화시켜가며 최대 주변형률과 최소 주변형률을 격자원의 측정을 통하여 성형한계 변형률을 측정하여 성형한계도(Forming Limit Diagram)가 제시되었다. 이후에도 Parmar<sup>(2)</sup>, Mellor<sup>(3)</sup>, Azuma<sup>(4)</sup> 등의 연구가 이루어져 왔으며, Hecker<sup>(5)</sup>에 의하여 여러 가지 재료의 성형한계도에 대한 연구가 수행되었고, Usuda<sup>(6)</sup>는 용접판재에 대한 프레스 성형성에 초점을 맞추어 레이저 용접 및 매쉬심 용접으로 이루어진 차체용 강판의 성형한계와 용접비드 특성이 미치는 영향에 대하여 연구하였으며, 레이저 용접판재와 성형성 평가에 대하여는 이론과 실험적인 연구가 병행되고 있다. Shi 등<sup>(7)</sup>은 용접판재에 있어서의 성형성에 대하여 연구하였고, 스트레치 플랜징 모드에 대하여 Hoeven<sup>(8)</sup>이 연구를 수행하였다. 이 외에도 Saundar 와 Wagoner<sup>(9)</sup>는 여러 가지 성형성 평가 실험을 수행하였고 Karima 등<sup>(10)</sup>은 유한요소법을 이용하여 프레임 부재의 성형해석에 레이저 용접판재의 성형성을 적용하였다.

국내에서는 오수익 등<sup>(11)</sup>이 tailor welded blank의 성형시 블랭크 가압력을 변화하여 성형성을 평가하기 위하여 블랭킹 가압재인 프레스를 이용한 연구를 수행하였으며, 서대교<sup>(12)</sup>는 매쉬심 용접판재에 대한 성형 한계를 연구하였고, 김현영<sup>(13)</sup>은 레이저 용접 판재의 실제 성형에 대하여 PAM-STAMP를 이용한 해석연구를 수행하였다. 또한 금영탁 등<sup>(14)</sup>은 레이저 용접판재의 성형한계 평가실

험을 비대칭 시편을 이용하여 용접부를 파단시켜 용접부 HAZ(Heat Affected Zone)의 성형한계에 대하여 연구하였으며, 박기철 등<sup>(15)</sup>은 레이저 용접판재의 신장플랜지 성형특성에 대하여 연구하였다.

본 연구에서는 자동차용 강판재인 SPC1종, SPC3N, SGCD2 재료에 대하여 동종재료-동종두께, 동종재료-이종두께, 이종재료-이종두께 등의 조합으로 레이저 용접과 매쉬심 용접 방법을 이용하여 제작한 용접판재에 대하여 일반판재의 성형한계 실험방법을 이용하여 성형한계 실험을 수행하였으며, 본 연구에서 수행되어진 용접판재의 경우 실제 성형 시에 이용할 수 있도록 성형한계에 대한 기초자료를 얻고 용접판재의 성형한계에 대한 특성을 살펴보자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시편제작

자동차용 강판을 선정하였으며 SPC3N 재료와 SGCD2 재료는 서로 매쉬심 용접을 하여 시편을 제작하였고 SPC1종의 경우는 레이저 용접을 통하여 시편을 제작하였다. 강판의 두께는 SPC3N 재료는 0.7 mm 두께를 사용하였고 SGCD2 재료는 1.2 mm 두께를 사용하였으며 SPC 1종의 경우는 0.8 mm, 1.6 mm를 사용하였다.

매쉬심 용접은 SPC3N 재료간의 용접과 SPC3N와 SGCD2 재료간을 용접하였고 SPC 1종의 경우는 0.8 mm 와 1.6 mm 두께 재료를 레이저 용접하여 시편을 제작하였다. 용접성을 좋게 하기 위하여 시편을 절단한 후 밀링 가공하여 사용하였다. 용접시 사용한 용접조건은 Table 1에 제시되고 있으며 여러 조건으로 용접한 뒤 성형성이 가장 우수한 용접조건을 선정하였다. 각각의 모재에 대한 기계적인 물성치는 Table 2에서 나타내고 있다.

용접부의 특성을 알아보기 위하여 용접부의 경도를 측정하였으며 레이저 용접의 경우에 대한 경도분포를 Fig. 3에서 보여주고 있으며 매쉬심 용접의 경우를 Fig. 1에서 레이저 용접부의 확대 사진을 Fig. 2에서 보여주고 있다.

인장시편은 용접선과 인장축을 일치시켜 KSB0801 제 5호 규격에 맞추어 제작하였으며 용접부의 용접성을 확인하기 위하여 용접선과 인장축이 직각을 이루도록 또한 인장시편을 제작하였다. 성형 한계실험을 위하여 모재와 용접판재를 실험하며 무윤활의 경우 시편 크기는 매쉬심 용접판재(tailor welded blank)의 경우는 모재와 용접판재를 180x180 mm, 180x100 mm, 180x70 mm, 180x50mm,

**Table 1 Welding Condition**

(a) Mash-seam welding condition

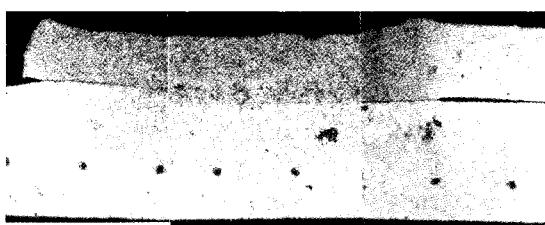
	Ampere (A)	Heat/Cool Time(sec)	RPM of roll
SCP3N 0.7t/SCP3N 0.7t	11900	3/7	600
SCP3N 0.7t/SGCD2 1.2t	12600	2/8	600

(b) Laser welding condition

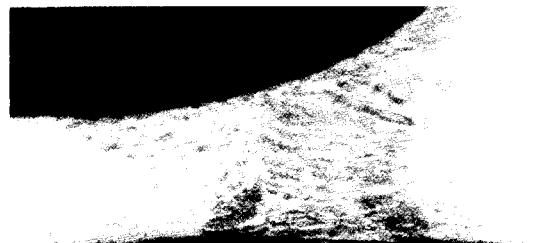
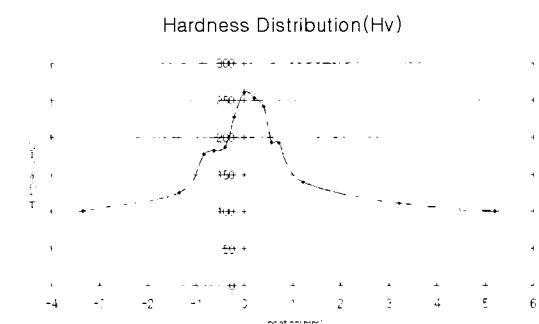
	Laser power	Welding speed	Shielding gas
SPC 1 0.8t/1.6t	3.5 KW	3 m/min	Ar 30 l/min

**Table 2 Mechanical properties of materials**

Material	Thickness	Yield Strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (kgf/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
SCP3N	0.7	9.86	20.07	43.42
SGCD2	1.2	13.52	26.34	48.86
SPC 1	1.6	24.154	38.82	33.1
MSweld	0.7*0.7	24.06	30.2	8.05
MSweld	0.7*1.2	24.01	30.16	25.14
Laser W	0.8*1.6	27.14	44.43	33.1

**Fig. 1 Mash seam weld bead**

180x30 mm를 선정하여 시편을 제작하였으며 윤활의 경우는 180x180 mm 시편을 제작하였으며, 레이저 용접의 경우는 모재, 용접판재를 180x180 mm, 180x150 mm, 180x120 mm, 180x90 mm, 180x70 mm, 180x50 mm

**Fig. 2 Laser weld bead****Fig. 3 Hardness Distribution of Tailor Welded Blanks**

으로 선정하여 시편을 제작하였다. 이때 용접판재의 경우에는 용접선이 시편의 중앙에 오도록 제작하였다.

실험후 시편에서의 변형률을 측정하기 위하여 시편 표면에 직경 2.4 mm의 원을 격자 형태로 photo gridding 하였다.

## 2.2 인장실험

제작한 인장시편을 이용하여 인장실험을 수행하였다. 이때 용접선과 인장하중 축을 일치시킨 시편의 인장실험을 통하여 각각 소재의 항복강도, 인장강도, 연신률 등을 구하였다. 또한 용접선과 인장축을 직각 방향으로 제작한 시편의 인장실험을 통하여 강도가 높은 용접부가 아닌 모재부분이 파단됨을 관찰하여 용접판재의 용접부의 용접성이 양호함을 검증하였다.

Table 2에 실험을 통하여 얻어진 모재의 성질과 용접판재의 경우에 대한 기계적인 성질을 나타내고 있다.

## 2.3 성형한계 실험

용접판재 및 모재에 대하여 성형한계 실험을 수행하였다. 비드가 장착된 스트레칭 방법을 이용하여 성형한계에 대하여 실험하였으며, 실험을 수행하기 위하여

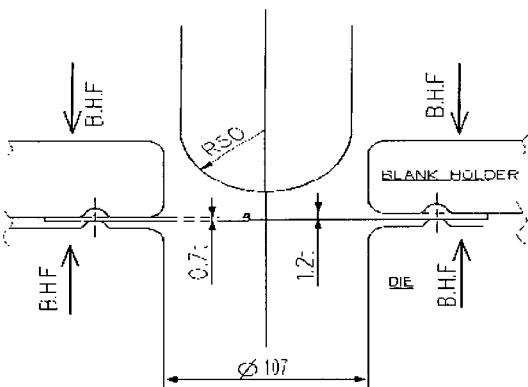


Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

Simazu 사의 30 Ton 만능시험기를 사용하였다. 이때 사용한 반구형 편치와 홀더 및 다이의 형상은 Fig. 2와 같으며 반구형 편치의 직경은 100 mm .다이의 직경은 107 mm이다. 스트레칭 효과를 얻기 위하여 비드를 설치하였으며 비드 설치부의 직경은 140 mm 로 하였고 삼각형 lock bead를 사용하였다. Blank를 고정하기 위한 블랭크 가압력은 시편의 형상에 따라 달리 주었으며 이를 위하여 사전 예비 실험을 행하였다. 예로 레이저 용접판재에 대한 실험의 경우 사용한 블랭크 가압력은 시편의 크기에 대하여 조절하여 150~400 Kg/mm<sup>2</sup>의 값을 사용하였다.

성형한계 실험은 편치를 강하시켜 시편이 변형을 일으켜 파단이 일어날 때까지 실행하며 파단이 발생하면 실험을 중지한다. 이때 파단이 발생하는 시점을 좀더 명확히 하기 위하여 하중의 변화를 별도의 기록지에 기록하였다. 용접판재의 경우는 용접선을 시편의 중앙에 오도록 제작하였으며 실험시 중앙에 위치시켜서 실험을 수행하였다. 성형한계실험을 완료한 뒤 표면에 입힌 격자의 변형 형상을 관찰하였으며 파괴가 일어난 부위와 이웃하여 있으면서 변형이 비교적 크게 발생한 격자, 소성변형이 일어난 격자 및 파단이 발생한 부위의 격자들을 최소한 8개 정도 선택하여 장축과 단축을 공구현미경을 이용하여 측정하여 주변형률(Major strain)과 부변형률(Minor strain)을 구하였다. 이때 장축 방향의 변형률이 주변형률(E1)이고 단축 방향의 변형률이 부변형률(E2)이 된다. 최초에 인쇄한 격자의 직경이 2.4 mm 이므로 변형률은 공칭변형률을 사용하였으며 다음의 식을 사용하였다.

$$\text{변형률} = \left[ \frac{\text{측정길이} - D}{D} \right]$$

성형한계도에서 수평축은 부변형률, 수직축을 주변형률로 하여 선도를 도시하였으며 측정된 측정 점들을 엑셀을 이용하여 분산 도식하였다. 도식된 성형한계도에서 내부가 비어있는 사각형은 파단의 경우이며 다이아몬드 형상은 파괴부위에서 소성영역이 아닌 부분을 측정한 결과를 보여주고 있다. 매쉬심과 레이저 용접된 시편의 경우와 모재의 경우를 별도로 도식하였으며 범례를 이용하여 경우에 따라 구분하였다.

또한 성형한계도에서 양의 부변형률 값을 얻기 위하여 윤활 조건을 추가하여 실험하였으며 이때 사용한 윤활 매제로는 자동차 생산현장에서 사용되고 있는 소성가공유(CINDOL #4683)를 사용하여 실험하였다. 용접판재에 대하여 성형한계실험을 수행할 때에는 STEP 효과를 내기 위하여 용접판재의 두께에 해당하는 두께의 shim을 대고 실험을 수행하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

성형 실험한 경우의 사진을 Fig. 5, 6, 7, 8에서 보여주고 있다.

Fig. 9에서 SPC1 용접판재의 두께변형률을 보여주고 있으며 Fig. 10에서는 SPC1 용접판재의 주, 부변형률을 용접선을 가로지르는 방향으로 측정된 결과를 비교하여 보여주고 있다. Fig. 11에서는 SPC 1종 1.6t 재료의 성형한계도를 보여주고 있으며 Fig. 12에서는 레이저 용접을 이용하여 제작한 SPC 1종 0.8t \* 1.6t 용접판재의 성형한계도를 보여주고 있다. 또한 Fig. 13, 14에서 SPC3N, SGCD2 모재의 경우에 대한 성형한계도를 Fig. 15, 16에서는 SCP3N0.7t/SCP3N0.7t, SCP3N0.7t/SGCD1.2t의 조합으로 매쉬심 용접한 경우를 나타내 주고 있다.

이상에서와 같은 실험 결과를 고찰하여보면 성형한계실험시 파단 현상에 있어서 모재와 동일재료-동종두께 용접판재의 경우 원형형상으로 파단이 일어나고 있으나, 동종재료-이종두께 및 이종재질-이종두께 용접판재의 경우는 시편 폭에 따라 파단 현상이 다르게 나타났다. 모재의 경우 성형한계에 달하여 파단이 발생하였으나 동일 재료-동일 두께를 매쉬-심 용접하여 제작한 SPC3N 용접판재의 경우 성형한계실험에서 SPC3N 모재의 경우와 유사한 파단 특성을 나타내었다. 용접부가 모재에 비하여 강성이

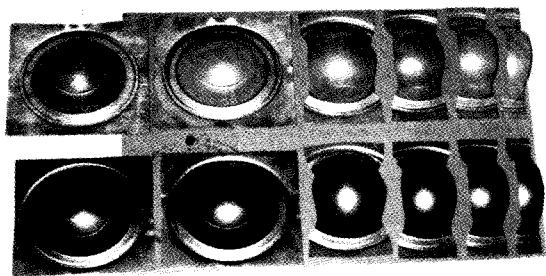


Fig. 5 Formed specimens of FLD test for SPC3N and SGCD2 base materials

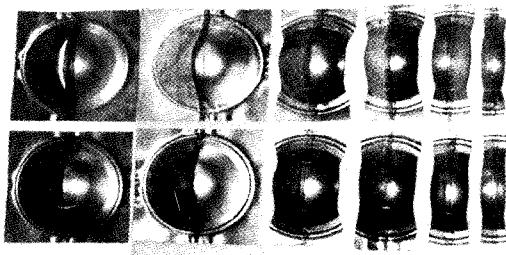


Fig. 6 Formed specimens of FLD test for mesh seam welded sheets with SPC3N and SGCD2

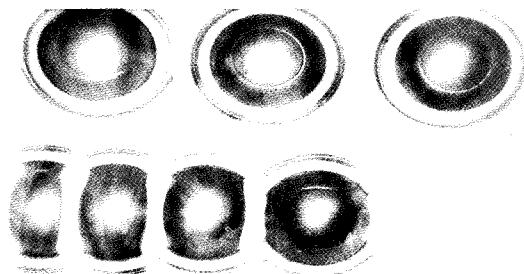


Fig. 7 Formed specimens of FLD test for SPC1 base material

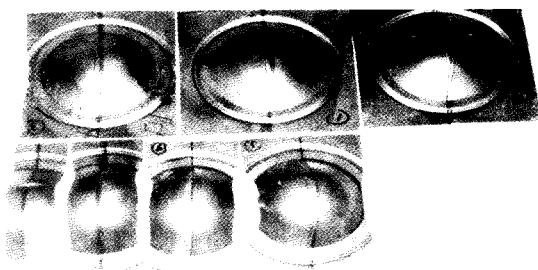


Fig. 8 Formed specimens of FLD test for laser welded sheets with SPC1

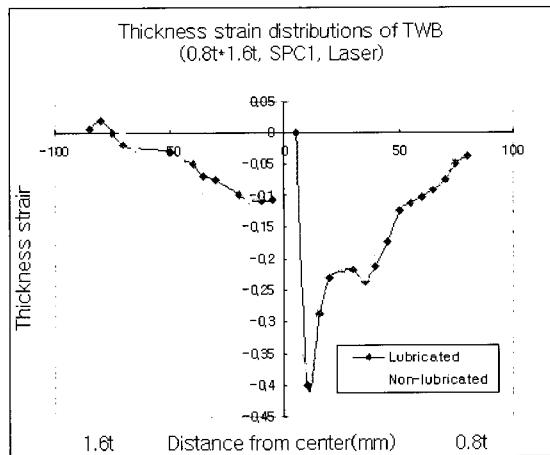


Fig. 9 Thickness strain distribution for SPC1 laser welded sheet

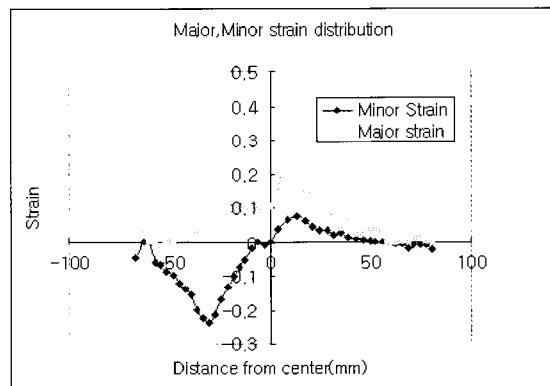


Fig. 10 Major and minor strain distribution for SPC1 laser welded sheet

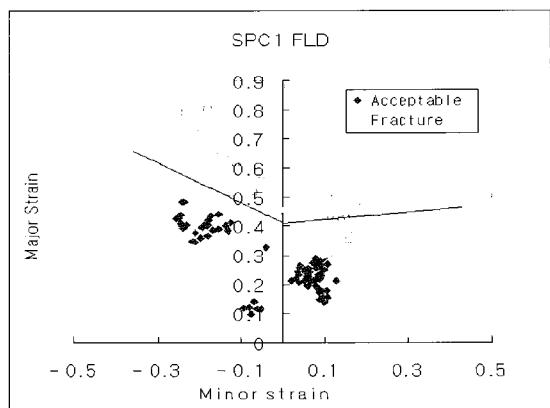


Fig. 11 FLD for SPC1 base material

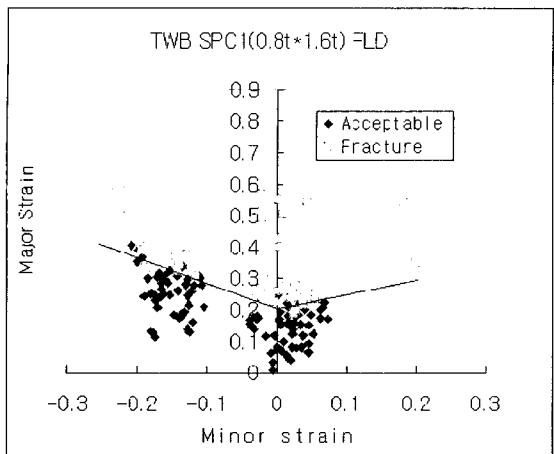


Fig. 12 FLD for laser welded sheet with SPC1 0.8t and SPC1 1.6t

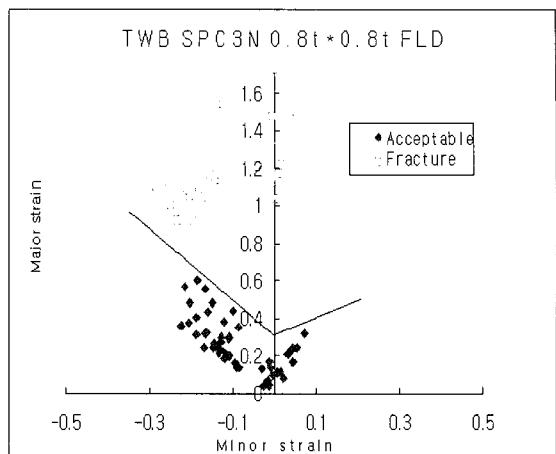


Fig. 15 FLD for mash seam welded sheet with SPC3N 0.8t

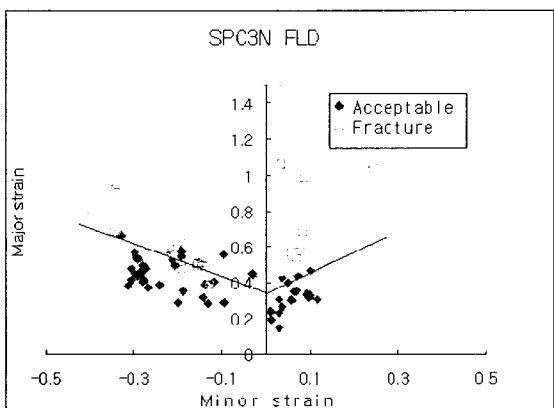


Fig. 13 FLD for SPC3N base material

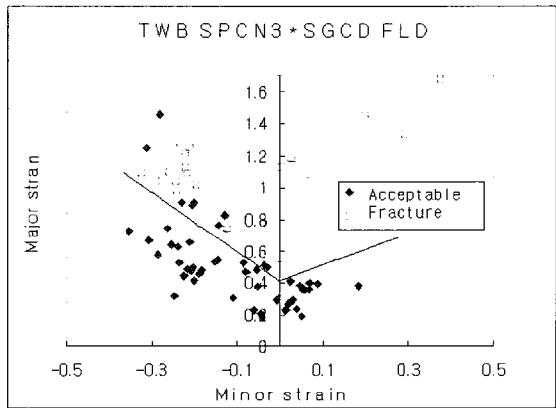


Fig. 16 FLD for mash seam welded sheet with SPC3N 0.8t and SGCD2 1.2t

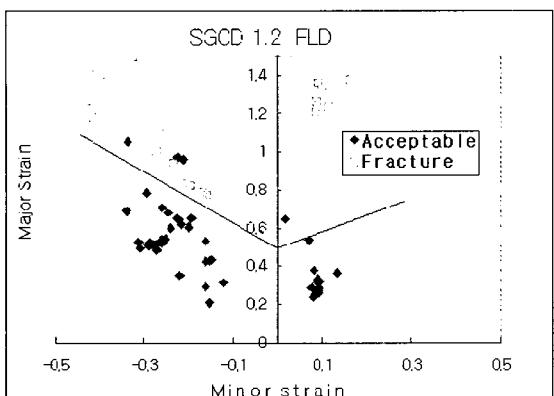


Fig. 14 FLD for SGCD2 base material

크기 때문에 성형 높이가 적게 나타났으며 파단은 폭이 180 mm 시편의 경우도 윤활, 비윤활 모두 용접부에서 발생하였다. 이 이외의 동종재질-이종두께 및 이종재질-이종두께의 용접판재들은 모두 비드부가 전체적으로 고정이 이루어지는 시편의 크기에서는 용접선과 거의 평행하게 두께가 얇거나 성형성이 약한 재료에서 파단 현상이 발생하였으나 폭이 줄어들어 180x120 mm 의 시편서부터는 용접부의 직각방향으로 파단이 발생하였다.

Fig. 9에서는 SPC1종 180x180 mm 시편의 경우에 있어서 윤활과 무윤활의 경우에 대한 용접판재의 성형한계실험 후의 두께변형률 분포를 보여주고 있으며 1.6t 부위에서

의 두께변형률이 용접선 부위에서 약 0.1 정도의 두께변형률을 보였으나 두께가 얇은 쪽 10 mm 부위에서 두께변형률이 최대가 되면서 파단이 일어났음을 알 수 있다. 또한 얇은 부위의 전면에 걸쳐서 두께변형률이 두꺼운 판재부의 최대 두께변형률보다는 그 값이 크게 나타났다. Fig. 10 SPC1 레이저 용접판재의 주, 부변형률을 살펴보면 주변형률의 경우 두께가 얇은 판재쪽으로 용접선 10 mm 부근에서 급격한 변화를 보이고 있으며 부변형률은 이와 반대로 두께가 두꺼운 판재에서 용접선으로부터 약 25~30 mm 부근에서 급격한 증가를 나타내었다.

성형한계에 대하여 Fig. 11, 12를 고찰하여보면 SPC1 종 재료 중 모재의 경우 부변형률이 0인 최대 주변형률이 0.3 이상의 값을 보이고 있으나 레이저 용접 판재의 경우 약 0.22 정도를 보이고 있어 모재의 경우와 비교하여 보면 편차를 보이고 있으며 약 0.08~0.1 정도 성형한계가 저하되고 있음을 알 수 있다. 레이저 용접판재의 경우 용접선 인근의 두께가 얇은 판재에서 변형이 상대적으로 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 13~16을 살펴보면 SPC3N 재료의 경우 용접하지 않은 모재의 경우가 동일재질-동일두께를 매쉬심 용접한 경우에 비하여 전체적인 부변형률 구간에서 성형한계가 약 0.1정도 높게 나타나고 있으며, 또한 성형성이 좋은 아연 도금판재의 경우 최대 주변형률이 0.5정도를 나타내고 있으나 SPC3N 재료와 SGCD 재료간에 매쉬심 용접한 판재의 경우 최대 변형률이 0.4 정도를 나타내고 있다. 이러한 성형한계치는 SPC3N 재료와 SGCD 재료의 성형한계 값의 사이에 두 재료의 용접판재 성형한계값이 위치하고 있음을 알 수 있다. 이는 아연 도금 강판의 성형성이 SPC3N 판재에 비하여 우수하기 때문에 용접판재에서의 성형한계 역시 SPC3N 용접판재에 비하여 우수하게 나타나고 있다. Fig. 15와 Fig. 16을 비교하여 보면 동종재료를 용접한 경우보다 이종 재료를 용접한 경우에 있어서 비록 두께차이가 있다하더라도 성형성이 우수한 재료를 조합하여 성형할 경우 성형성의 차이에 의하여 성형한계가 달라지고 있음을 알 수 있다. 따라서 용접판재를 이용할 경우 용접성에 문제가 발생하지 않는다면 성형성이 우수한 판재 종류를 용접조합으로 사용하여 박판 공정에서의 용접판재의 성형성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

용접판재에서 이종재질-이종두께 및 동종재질- 이종두께의 경우에서 시편 폭이 180 mm, 150 mm의 경우에 대하여 별도의 성형한계 특성을 살펴보면 모재에서 파단이 발생하였고 성형한계 역시 모재의 성형한계와 유사하게 나타났다.

이종두께의 경우 두께차이 또는 재료의 차이에 의하여 불균일한 변형이 발생하게 되고 따라서 성형후 용접선은 두꺼운 쪽으로 이동함을 볼 수 있었으며 얇은 재료부가 두꺼운 쪽에 비하여 성형이 훨씬 크게 나타나 평면변형률 성형한계 시편의 경우 파단이 얇은 부위에서 발생하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자동차 차체분야의 신기술로 대두되고 있는 용접판재 방식의 블랭크 재료의 성형한계를 실험을 통하여 기초 데이터를 얻고자 하였다. 이를 위하여 레이저 용접판재와 매쉬심 용접판재 및 모재에 대하여 성형한계도를 실험적으로 연구하였다. 이상과 같은 연구를 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 용접판재의 경우 비드 구속에 의하여 평면변형률 조건이 작용하는 시편에 있어서 두께변형률의 변화가 용접선 부근에서 강도가 약한 판재 부위에서 급격한 감소 변화를 보였으며 이 부위는 성형한계실험시 파단 위치와 잘 일치하였다. 또한 약한 판재에서의 두께변형률이 전체적으로 두꺼운 판재에 비하여 크게 나타났다.

(2) 강도와 성형성이 요구되는 부품의 성형에 용접판재를 적용할 때에는 강도가 우수한 재료와 성형성이 우수한 이종 재료와 조합하여 용접하여 용접판재의 성형성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

(3) 이종재료를 용접하였을 경우의 성형한계는 두 재료의 성형한계선도 사이에 용접판재의 성형한계가 나타남을 알 수 있다.

(4) 동종재료-동종재료 용접판재의 경우 성형성이 모재에 비하여 감소하지만 그 경향은 유사하게 관찰되었다.

(5) 자동차용 판재에 대하여 용접선이 1개 존재할 경우에 대하여 연구하였으며, 용접선의 위치에 따른 용접판재의 성형한계 변화에 대한 자료를 얻기 위하여 용접선이 2개 이상인 경우에 대한 성형한계 연구가 요구된다.

#### 참 고 문 헌

- S.P.Keeler and W.A. Backofen ,1963 "Plastic instability and fracture in sheets stretched over rigid punches", Trans ASM, Vol. 56, pp. 25~48.
- A. Parmar and P.B.Mellor,1980, "Growth of voids in biaxial stress fields." Int. J .Mech. Sci. Vol.22, pp. 133~150.

- (3) A.K.Tadros and P.B.Mellor, 1975, "Some comments on the limit strains of sheet metal stretching", Int. J. Mech. Sci. Vol. 17, pp. 203~210.
- (4) K. Azuma, 1990, "Press formability of laser welded blanks." IDDRG ,pp. 305~311.
- (5) S.S. Hecker, 1975, "Simple technique for determining forming limit curves", Sheet Metal Industries.
- (6) M. Usuda, 1996, "Press forming of tailored blanks." 제8회 기아학술대회지, pp. 91~105.
- (7) M.F.Shi, K. Picket, K.K.Bhatt, "Formability issues in the application of tailor welded blank sheet", SAE Technical paper series no. 930278.
- (8) J.M. Van der Hoeven, K.M.Ostyn, E.Leirman, 1994, "Stamping of tailor welded blanks", Proceeding of automotive body materials, IBEC '94 USA, pp. 52~59.
- (9) F. I. Saunder and R. H. Wagoner, 1995, "The Use of Tailor-Welded Blanks in Automotive Applications", NUMIFORM, pp. 157~164.
- (10) M.Karima and J.Kolodziejski, 1995, "On the design of weld line location for tailor welded panels a comparision between incremental FEM and FAST-3D," Proceeding of advanced technology & processes, IBEC '95, pp. 78~83.
- (11) 홍주표, 김현영, 오수익, 1997, "레이저 용접판재의 정사각 컵 드로잉 성형성 연구", 한국소성가공학회지 Vol.6 pp. 68~80.
- (12) 김형목, 허영무, 양대호, 서대교, 1997, "매쉬-심 용접판재의 성형 한계", 한국소성가공학회춘계학술대회논문집 pp. 222~225.
- (13) 김현영, 신용승, 김관희, 조원석, 1998, "레이저 용접차체의 성형해석과 금형설계", 한국소성학회지 Vol. 7 No. 4, pp. 382~392.
- (14) 박승우, 구본영, 금영탁, 강수영, 류석종, 1997, "레이저 합체박판의 성형한계평가 실험에 관한 연구", 한국소성가공학회 '97 추계학술대회논문집 pp. 72~75.
- (15) 박기철, 한수식, 김광선, 권오준, 1998, "레이저 용접 테일러드 블랭크의 기본 성형특성 Ⅱ", 한국소성가공학회지 제7권 1호, pp. 36~48.
- (16) J.M. Van der Hoeven, F.Lambert, K.Rubben, I. De Rycke, 1995, "Design And Manufacturing Issues For Components Made From Tailored Blanks", Materials & Body Testing IBEC '95, pp. 96~107.
- (17) M. Ahmetoglu, D. Brouwers, G. Kinzel and T. Altan, 1994, "Deep drawing of round cups from Laser Tailor Welded Blanks," Proceedings of the LANE'94, Vol. 1, pp. 167~175.