

# 접착제 경화시점에 따른 하이브리드 접합 파단모드 및 접합강도 평가

최철영\* · Dulal Chandra Saha\*\* · 최원호\*\*\* · 김준기\*\*\*\* · 김종훈\*\*\*\* · 박영도\*\*†

\*부산대학교 재료공학부

\*\*동의대학교 신소재공학과

\*\*\*대구대학교 기계공학과

\*\*\*\*한국생산기술연구원 용접접합기술센터

## Evaluation of Failure Mode and Strength on Baking Time of Adhesive for Hybrid Joining

Chul Young Choi\*, Dulal Chandra Saha\*\*, Wonho Choi\*\*\*, Jun-Ki Kim\*\*\*\*, Jong-Hoon Kim\*\*\*\* and Yeong-Do Park\*\*†

\*School of Materials Science and Engineering, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

\*\*Department of Advanced Materials Engineering, Dong-Eui University, Busan, 614-714, Korea

\*\*\*Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Daegu University, Busan, 712-714, Korea

\*\*\*\*Advanced Welding & Joining Technology Center/Micro-Joining Center, KITECH, Incheon 406-840, Korea

†Corresponding author : ypark@deu.ac.kr

(Received April 4, 2011 ; Revised June 28, 2011 ; Accepted December 8, 2011)

### Abstract

With the development of pre-painted steel sheets for automotive body application, a new joining method is required such as hybrid joining with combination of adhesive bonding and mechanical joining. The objective of this study is to investigate the effect of pre- and post-baking of adhesive bonding on failure mode and strength of hybrid joining of automotive steel sheets. Experiments show that the hybrid joining exhibits better bonding strength and displacement than conventional adhesive joining and mechanical fastening each. Comparison of pre- and post-baked hybrid joining results suggested that baking at 160°C after mechanical joining was found to have higher joining properties than pre-baking condition. The pre-baking condition changed its fracture mode from interfacial to button fracture. The changes in fracture mode with post-baking of hybrid joining was attributed to variation in neck thickness and undercut of joint.

Key Words : Hybrid joining, Adhesive bonding, Clinching joining, Baking, Tensile Strength

## 1. 서 론

최근 자동차용 도료 및 도장공정의 기술개발 방향은 친환경적이면서 더 낮은 비용으로 요구 성능을 구현하는 것이며, 특히 자동차 도장공정 모듈화를 통한 대기 오염의 감소 및 생산성 향상을 꾀하고 있는 실정이다. 이러한 기존 도장공정의 문제점을 극복하고자 단축 도장공정에 대한 개발이 진행 중에 있으며, 기존의 자동차 습식 도장 공정을 고속 롤코팅 공정으로 대체하여 개발된 강판을 선도장 강판(Pre-Coated Metal, PCM)

이라 한다<sup>1)</sup>.

자동차용 선도장 강판의 접합기술은 용접공정이 생략된 선도장에 이어 후가공의 접합 공정기술로서 장치 구조설계와 새로운 접합기술을 필요로 하는 실정이며<sup>2)</sup>. 이를 위해 기존의 용접 방식과는 달리 접착제 접합, 클린칭 접합 및 접착제와 클린칭 접합을 병행하는 하이브리드 접합에 대한 프로세스 확립이 요구된다<sup>3)</sup>. Belingardi 등은 접착제의 두께, 길이 및 표면처리 등이 접합부 설계에 있어 중요한 인자라고 주장하였고<sup>4-5)</sup>, Varis 등은 기하학적 구조를 통해 모재의 소성변형을 유발하는 클린칭 접합 방법과 접합강도에 영향을 미치는 성형공정

인자에 대해 제시하였다<sup>6)</sup>. 특히 Jayasekara 등은 접합 강도를 향상시키는 공정으로 클린칭 접합과 접착제를 병행한 하이브리드 접합에 대해 그 효용성을 검증하였다<sup>7)</sup>.

이러한 기존 연구에서는 접합강도 향상을 위한 성형 공정의 최적화 및 접합부 건전성 확보를 위한 연구가 진행되었으나, 선도장 강판의 경우 접착제와 도장면의 접착 성능 및 하이브리드 접합공정에 따른 접합특성 평가는 부족한 실정이다<sup>8)</sup>. 또한 자동차용 선도장 강판의 적용으로 기존 도장공정 단축에 따른 별도의 접착제 경화공정 및 경화시점에 대한 연구도 요구된다. 특히 본 연구에서는 선도장 강판에 대한 하이브리드 접합 특성의 평가 이전에 일반 연강을 적용하여 기본 접합 특성을 파악하고자 하였다. 따라서 본 연구의 목적은 접착제에 클린칭 접합을 적용한 하이브리드 접합의 접합강도 평가와 연강판의 적용으로 기존 도장공정 단축에 기인한 접착제 경화시점이 접합부 강도 및 파단형상 미치는 영향에 대해 연구이다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 실험조건

본 연구에서는 선도장 강판의 접합 평가 시 도장피막이 전체 접착력에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 가정하고 두께 1.6mm의 440MPa급 (CR)SPRC 강판으로 접합 실험을 실시하였다. 시험편 전처리에는 #400 사포를 이용해서 수직방향으로 연마하고 에탄올에 깨끗이 세척 후 상온에서 일정시간 건조하였다. 시험편은 길이 100mm, 폭 25.4mm의 동일한 크기로 절단하였으며, 경화조건은 160°C에서 20분간 실시하였다. 또한 기계적 연마를 실시하고, Nital 4% 용액으로 에칭한 후 광학현미경 및 주사전자현미경으로 접합부 단면을 관찰하였다. 클린칭 접합은 TOX라는 이름으로 상용화된 Round type의 접합을 실시하였으며, 클린칭 접합에 따른 모식도 및 단면을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1b에 클린칭 접합 후 형성되는 목 두께 (Neck Thickness,

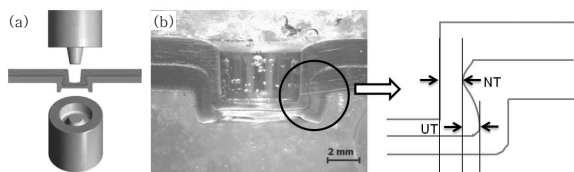


Fig. 1 General mechanical joining set-up die, blank and punch and cross-section of mechanically joining part (a) schematic illustration of clinching joints, (b) cross section of clinching joint with adhesive bonding

Table 1 Process parameters of each joining method used for this investigation

| Methods | Process           |                   |                   |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
| A+B     | Adhesive bonding  | Baking            | -                 |
| C       | Clinching joining | -                 | -                 |
| A+C+B   | Adhesive bonding  | Clinching joining | Baking            |
| A+B+C   |                   | Baking            | Clinching joining |

NT) 및 언더컷 (Undercut Thickness, UT)을 표시하였다. 접합과단규격은 ASTM D 1002를 적용하였으며, 접합공정은 접착제 접합, 클린칭 접합 및 하이브리드 접합으로 각각 구분하여 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 기계적 특성 평가

본 연구에서는 접착제 접합, 클린칭 접합 및 하이브리드 접합에서의 접합강도 평가와 접착제 경화시점에 대한 영향을 고찰하고자 Fig. 2에 제시한 시험편 규격으로 전단인장 시험을 실시하였다. 전단인장시험은 3mm/min 속도로 시험편이 파단 될 때까지 하중을 인가하였으며, 정확한 실험 데이터를 얻고자 각 공정별 5세트 접합 시험편으로 총 2회 반복실험을 실시하였다.

### 2.3 파단면 평가

클린칭 접합 및 하이브리드 접합에서 전단인장시험 (Tensile Shear Test)을 실시한 후 파단위치에 따른

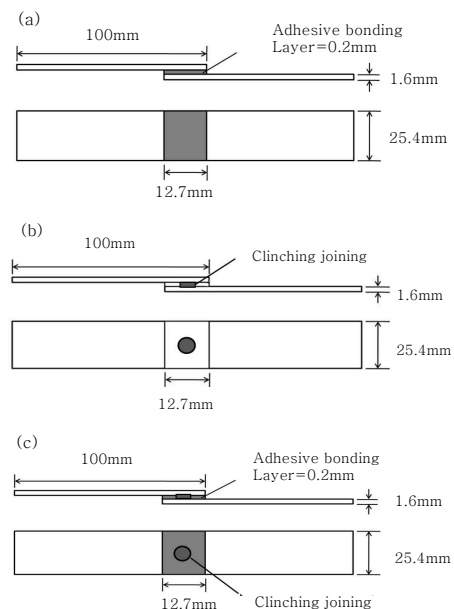


Fig. 2 Schematics drawing and dimensions of each joining processes; (a) adhesive bonding, (b) clinching joining, (c) hybrid joining

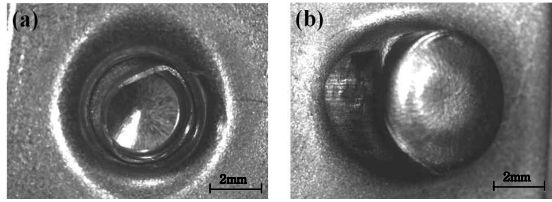


Fig. 3 Typical failure mode after tensile shear test, (a) interfacial fracture, (b) button fracture

파단모드를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3a와 같이 상부 또는 하부판재에서 파단이 발생되어 분리된 경우를 계면파단(interfacial fracture)으로 정의하고, Fig. 3b와 같이 상부판재에서 파단이 발생되지 않고 분리된 경우를 버튼파단(button fracture)으로 분류하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

본 연구는 접착제 접합, 클린칭 접합 및 접착제 접합과 클린칭 접합을 결합한 하이브리드 접합의 접합강도 평가와 파단특성에 대하여 분석하였다. 특히, 선도장 강판 적용을 고려하여 하이브리드 접합의 경우 접착제 경화시점에 중점을 두고 실험을 실시하였다. 현재까지 선도장 강판의 경우 차체 조립 공정 개발이 진행 중이며, 하이브리드 공정의 경우 일반적으로 접착제 접합 시 적용되는 paint baking 공정을 이용한 경화와는 차이점이 존재 할 것으로 사료되어 선경화 및 후경화의 경우를 모두 분석하는 것이 필수적이다<sup>9)</sup>. 따라서 접합 공정의 명칭을 접착제 접합(Adhesive bonding, A), 경화(Baking, B) 및 클린칭 접합(Clinching joining, C)으로 각각 정의하였으며, 하이브리드 접합의 경우 경화시점이 클린칭 접합을 기준으로 클린칭 접합 전 접착제 baking 시 선경화 접합(A+B+C) 및 클린칭 접합 후 접착제 baking 시 후경화 접합(A+C+B)으로 각각 구분하였다.

#### 3.1 접합부 단면 관찰

클린칭 접합의 특징은 접합공정 시 두겹 이상의 판재를 가압하여 상부판재와 하부판재가 다이 내에서 국부적인 소성변형을 발생시켜 기하학적 구속에 의해 접합하는 방법이다. 이러한 기하학적 구속력은 클린칭 접합 공정에서 다이 및 펀치의 형상에 따라 접합강도가 좌우되며, 접합공정에 따라 파단형상도 크게 달라질 수 있다. Lee 등에 의하면 파단형상을 기준으로 한 계면파단은 상부판재의 목 두께가 얇거나 하부판재의 언더컷이 충분히 형성되었을 때 발생되며<sup>10)</sup>, 상부판재의 목 두께가 두껍거나 하부판재의 언더컷이 불충분할 경우 버튼

파단이 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 클린칭 접합을 포함한 하이브리드 접합의 정확한 접합강도 규명을 위해서는 접합부 설계인자와 목 두께 및 언더컷에 대한 비교평가가 요구된다.

Fig. 4는 접착제 접합, 클린칭 접합 및 하이브리드 접합(선경화, 후경화)에 따른 접합부 단면을 비교한 결과이다. 각각의 접합부 단면은 기하학적 구속 및 소성 변형의 영향으로 접합강도에 영향을 미치는 접합부 단면 및 두께 등의 차이를 보인다. Fig. 4a의 접착제 접합에서는 약 0.01mm로 균일한 접착제 층을 이루고 있는 접합부 단면이 관찰되었다. 접착제 접합의 경우 접착제의 두께 및 분포가 접합강도에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며<sup>9)</sup>, 본 연구에서도 접착제 접합 및 하이브리드 접합 모두에서 접착제의 두께 및 분포가 균일함이 확인되었다. 클린칭 접합의 경우 공정변수의 변화에 따른 접합특성의 분석은 배제하고, 일정한 공정변수(펀치 6mm, 가압력 3.6kN 및 다이깊이 1.4mm)를

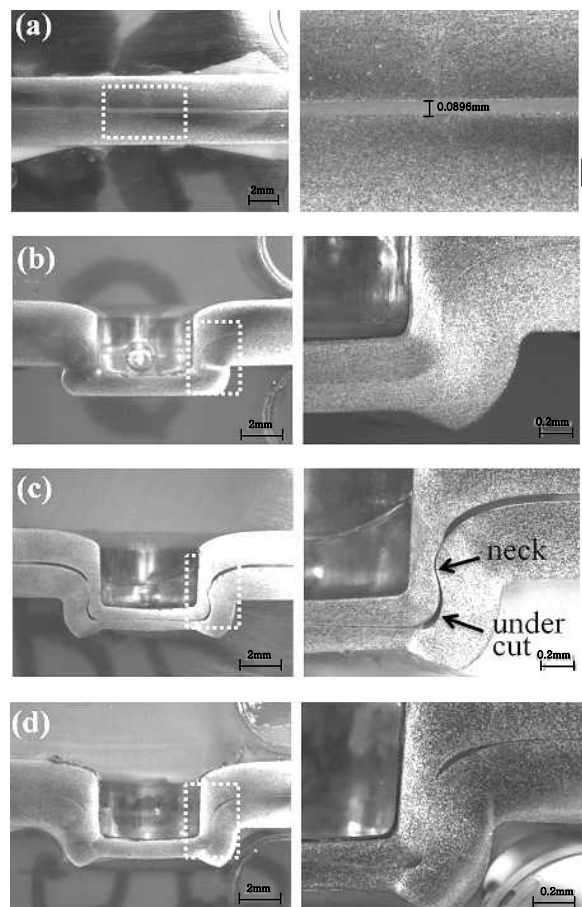


Fig. 4 Macrographs of fracture cross-sections before tensile shear test for (a) adhesive bonding, (b) clinching joining, (c) hybrid joining (A+B+C), (d) hybrid joining (A+C+B)

적용하여 각각의 접합공정에 따른 접합특성을 비교하였다. Fig. 4b의 클린칭 접합 단면에서는 판재간 유격이 없는 일정한 형태의 접합계면이 확인되었으며, 이러한 결과는 클린칭 접합 공정변수가 최적화임을 알 수 있다. Fig. 4c의 선경화 하이브리드 접합에서는 접합 계면을 따라 상부 및 하부 판재 사이의 유격이 관찰되었다. Kim 등은 하이브리드 접합 연구에서 클린칭 접합 시 접착제의 손실을 방지하기 위해 접착제 경화 후 클린칭을 수행하였음을 보고하였다<sup>11)</sup>. 그러나 본 연구의 목적이 하이브리드 접합에 미치는 선경화 및 후경화의 영향 평가이므로 선경화에 따른 클린칭 접합 시 거동변화의 관찰이 중요하며, Fig. 4c에서 관찰된 하이브리드 접합 단면의 유격 발생은 선경화된 접착제의 영향임을 짐작할 수 있다. 그러나 Fig. 4d의 후경화 하이브리드 접합에서는 선경화 하이브리드 접합과는 달리 판재간 유격이 거의 없는 접합계면이 관찰되었으며, 목 두께 부위에서 일부 미세한 계면간의 유격이 확인 되었다.

선경화 및 후경화 하이브리드 접합에서 관찰되는 판재 계면간의 유격 및 접착제 소실 유무를 관찰하기 위하여 확대한 단면을 Fig. 5에 나타내었다. 선경화 하이브리드 접합의 경우 목 상단 부위에서 경화된 잔류 접착제의 흔적이 관찰되며 클린칭 공정 중 소성변형이 크게 발생한 부위에서는 접착제 층이 관찰되지 않았다. 이에 반해 후경화 하이브리드 접합의 경우 접합계면에서 초기에 도포한 접착제 두께 보다 매우 얇거나 거의 관찰되지 않았다. Fig 5a와 b에 하이브리드 접합의 경화 시점에 따른 기하학적 소성 변형 거동을 비교하였다. 단면 확대 사진은 화살표로 표시 한 지점에서 접합부 계면의 유격 형성, 목과 언더컷 부근의 변형 거동에 큰 차이점을 보여주고 있다. 후경화 하이브리드 접합에서 목과 언더컷 주변에 더 큰 소성변형 거동이 관찰되며, 이는 선경화 하이브리드 접합의 경우 경화된 접착제에 의해 판재 소성유동이 구속되어 목 및 언더컷 부

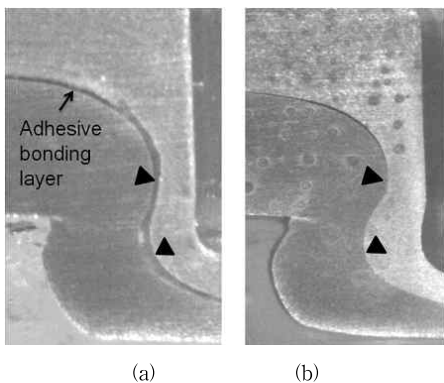


Fig. 5 Enlarged cross-section of (a) pre- and (b) post-baked hybrid joints

위에서 변형 억제가 관찰되었다. 이러한 원인은 선경화 하이브리드 접합 시 이미 경화된 접착제가 클린칭 공정 시 드로잉 성형에 대한 저항이 존재하였음을 짐작 할 수 있으며 경화된 접착제의 파단과 함께 클린칭에 의한 드로잉 성형 및 바닥부 압착 성형이 진행되었다. 이러한 원인으로 선경화 및 후경화 하이브리드 접합 부 목 두께 및 언더컷에 차이가 존재하며 최종적으로 전단인장 시험편의 파단하중에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

Fig. 6은 클린칭 접합 및 하이브리드 접합(선경화, 후경화)에 따른 각각의 목 두께를 비교한 결과이다. 클린칭 접합, 선경화 하이브리드 접합 및 후경화 하이브리드 접합은 목 두께가 각각 0.31mm, 0.22mm 및 0.30mm였다. 클린칭 접합과 후경화 하이브리드 접합에서는 거의 유사한 목 두께를 보였으나, 선경화 하이브리드 접합에서는 상대적으로 얇은 목 두께가 측정되었다. 일반적인 클린칭 접합 공정은 강한 편치압력에 의해 소재 및 접착제 층의 유동이 오목부 안을 채우면서 편치면을 따라 다이 안쪽으로 소성변형이 발생된다<sup>11)</sup>. 이때 선경화 하이브리드 접합에서는 경화된 접착제 일부가 클린칭 접합 시 일부 모재의 소성변형을 간섭하여 목 부위 두께가 얇아진 것으로 사료되며, 그로 인해 파단시험 시 계면파단의 발생이 용이하며 최종 파단강도의 감소가 예상된다. 특히 클린칭 접합과 후경화 하이브리드 접합의 목 두께가 거의 유사하다는 점은 후경화 하이브리드 접합계면서 접착제 층의 영향이 거의 없었음을 보여주는 간접적인 증거이다.

Fig. 7은 클린칭 접합 및 하이브리드 접합(선경화, 후경화)에 따른 언더컷 측정 결과이며, 클린칭 접합은 0.066mm, 선경화 하이브리드 접합은 0.011mm 및 후경화 하이브리드 접합은 0.049mm로 각각 측정되었다. 선경화 하이브리드 접합에서는 클린칭 접합에 비해 언더컷이 약 0.055mm 차이를 보이며 후경화 하이브리드 접합에 비해 큰 편차가 발생되었다. 선경화 하이

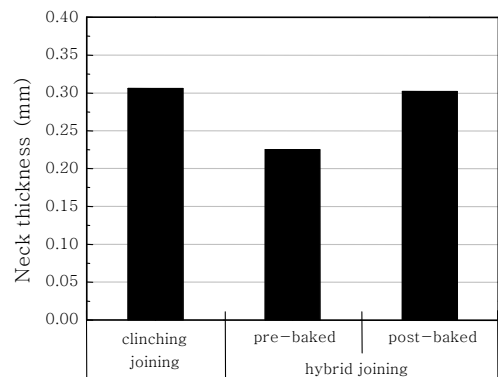


Fig. 6 Variation of neck thickness with combination of each joining process

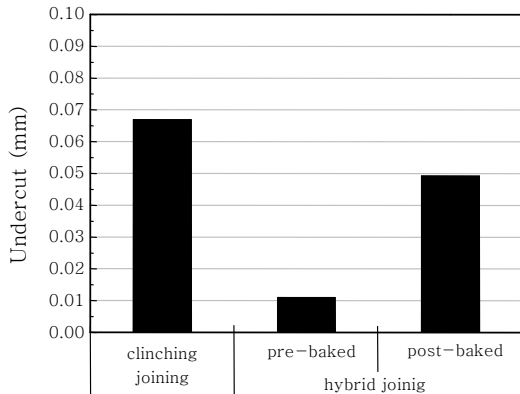


Fig. 7 Variation of undercut with combination of each joining process

브리드 접합의 언더컷이 매우 작은 이유는 목 두께의 감소와 유사한 원인으로, 펀치압력에 대해 경화된 접착제가 상부판재의 구속을 증가시키면서 전체적인 상/하부 판재의 변형 보다는 경화된 접착제가 소실된 영역에서 소성변형이 크게 발생하기 때문으로 판단된다. 만일 목 두께가 충분히 확보된 경우를 가정 하였을 때, 언더컷이 과도하게 얇을 경우 파단형상은 버튼파단이 발생할 수 있으나, 요구되는 접합강도를 확보할 수 없게된다. Kim 등은 클린칭 공정 변수 중 다이 간극이 증가 할 때 목 두께와 언더컷이 함께 감소됨을 보고하였다<sup>11)</sup>. 따라서 선경화 및 후경화 공정이 적용된 하이브리드 접합의 경우 일반적인 클린칭 공정보다 언더컷은 모두 감소 되는 것이 확인되었으며, 선경화의 경우 후경화에 비해 두께감소가 더욱 큰 것을 알 수 있다.

### 3.2 전단인장시험 및 파단면 비교

Fig. 8은 각각의 접합 시험편에 대한 전단인장시험 결과이며, 파단하중은 클린칭 접합 (4.2kN), 접착제 접합 (7.1kN), 선경화 하이브리드 접합 (7.5kN) 및 후경화 하이브리드 접합 (8.5kN) 순으로 증가되었다. 일반적으로 접착제 접합은 인장 및 전단변형에 높은 파단하중이 관찰되며, 최대하중 직후 급격한 하중의 감소를 보인다. 이러한 특징은 클린칭 접합과 비교하여 응력을 보다 균일하게 분포시키는 결합 방식에 의해 응력 집중이 완화되어 높은 전단하중을 보이는 것으로 판단되며, 최대하중 이후 전단응력에 취약한 전형적인 접착제 접합의 특징이 관찰된다<sup>12)</sup>. 클린칭 접합 전단인장시험에서는 점진적 하중의 증가 이후 최대하중이 일정하게 유지되면서 계속적으로 변위가 증가되었다. 이러한 클린칭 접합의 낮은 파단하중은 접착제 접합에 비해 상대적으로 적은 접합부위에 기인되며, 또한 클린칭 접합 공정에서 소성변형에 의해 상부판재의 연신으로 모재

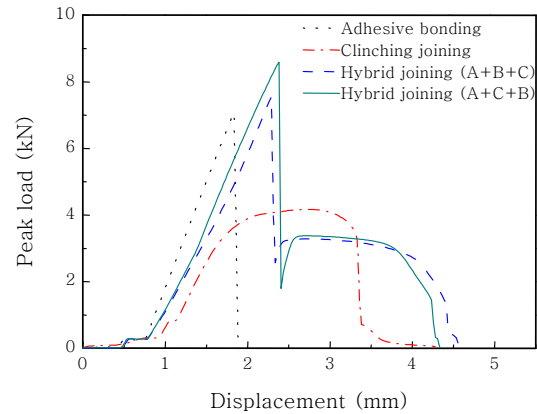


Fig. 8 Displacement-load curve in tensile shear tests with each joining process.

두께 보다 낮은 목 두께에 기인된 것으로 사료된다.

반면 선경화 및 후경화 하이브리드 접합의 전단인장 시험 시 하중 및 변위곡선에서 접착제 접합 및 클린칭 체결의 특성이 동시에 관찰되었다. 접착제 접합부에 기인한 선형적 하중 증가 이후 접착제 파단과 동시에 급격한 하중 감소를 보였으며, 약 2.5mm의 변위 이후에는 클린칭 접합의 영향으로 일정한 파단하중을 유지하면서 변위가 증가되는 양상을 보인다. 이러한 하이브리드 접합(선경화 및 후경화)은 접착제의 접합부와 클린칭 접합부가 상호 혼합된 형태의 파단에 의해 접착제 접합보다 약 10% 및 클린칭 접합에 비해 약 50% 이상의 현저한 최대하중 증가를 보였다. BALAWENDER 등은 파단 강도의 경우 하이브리드 접합이 접착제 접합과 유사하거나 일부 감소한다고 보고하였으나<sup>13)</sup>, 본 연구에서는 이와는 다른 결과를 얻었다. 이러한 차이점은 클린칭 접합부가 접착제 접합부와 함께 최대하중에 기여하는 바가 있음을 보여주고 있다. 또한 접착제 접합을 기준으로 하이브리드 접합의 경우 약 2.5배 이상의 높은 변위 증가가 관찰되었다. 따라서 하이브리드 접합(선경화 및 후경화)은 상대적으로 높은 접착제의 접합강도와 최종파단을 지연시키는 클린칭 접합부의 역할이 상호 연계된 높은 하중-변위 특성을 보유하고 있다.

Fig. 9는 클린칭 접합, 선경화 및 후경화 하이브리드 접합 시험편 파단형상을 관찰한 결과이다. Fig. 9a의 클린칭 접합 파단형상은 목 두께가 0.30mm로 유지되었으나 (Fig. 6), 상부판재의 목 주변에서 응력집중에 의해 파단이 1차 발생 후 계면파단이 발생되었다. 이러한 결과는 클린칭 접합 시 기하학적 형상과 클린칭 접합 공정에서의 성형 형상에 따른 격임이 발생한 노치부의 응력집중에 기인하여 파단이 진행된 것으로 판단된다. 선경화 하이브리드 접합은(Fig. 9b) 클린칭 접합의 성형공정에 의해 수직방향으로 연신이 크게 발생되었으

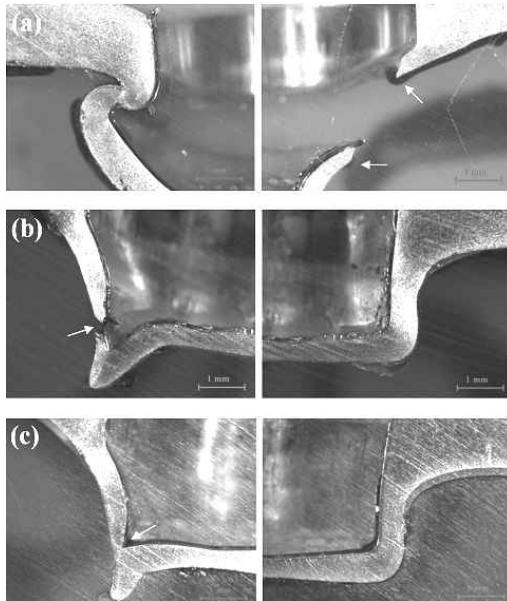


Fig. 9 Macrographs of fracture cross-section of (a) clinching joining, (b) hybrid joining (A+B+C), (c) hybrid joining (A+C+B)

며, 경화된 접착제의 영향으로 클린칭 접합에 비해 파단 위치가 아래쪽 (편치 코너 변형부)으로 이동되었다. 클린칭 접합 및 선경화 하이브리드 접합에서의 계면파단 발생은 최소 단면부를 가지는 목 또는 언더컷의 응력집중과 감소된 두께에 따른 불균일 응력 분포가 주원인으로 판단된다<sup>14)</sup>. 또한 후경화 하이브리드 접합에서도 목 주변 두께 감소가 관찰되었으나, 선경화 하이브리드 접합에 비해 감소폭이 적으며 목 주변에서 파단은 발생하지 않았다. 선경화 하이브리드 접합 대비 후경화 하이브리드 접합부 최대하중의 증가는(Fig. 8) 클린칭 공정 시 경화되지 않은 접착제에 의한 간섭이 적고, 압착성형 시 높은 충진률에 기인한 충분한 목 두께(Fig. 6) 및 언더컷(Fig. 7)이 유지된 것에 기인한다.

### 3.3 접합부 파단 형태 관찰

접합공정에 따른 접합부 파단형태를 Fig. 10에 각각 나타내었다. Fig. 10a의 접착제 접합 파단면은 파단시험 시 전단방향과 수평한 방향으로 계단형태의 파단형상이 관찰되었으며, Fig. 10b의 클린칭 접합은 목 부위를 따라 초기에 발생한 크랙에 의해 계면파단(interfacial fracture)이 진행된 것으로 사료된다. Fig. 10c와 10d에 하이브리드 접합의 경화 시점에 따른 파단형태 차이를 비교하기 위하여 파단면 주위 접착제 잔류 유무를 표시하였다. 점선원형으로 표시한 부분에서 선경화 하이브리드 접합의 경우(Fig. 10c) 파단면 주위에 잔

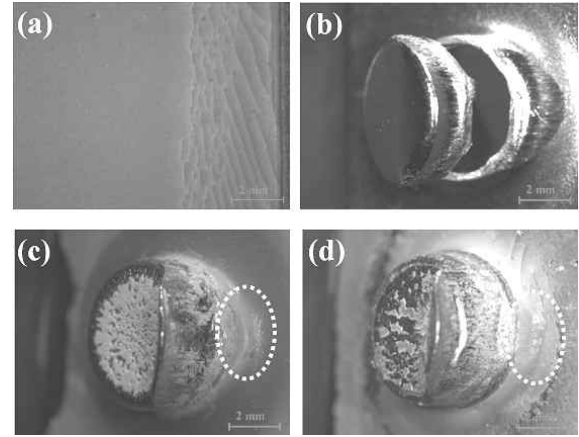


Fig. 10 Macrographs of fractured surface after tensile shear test for (a) adhesive bonding, (b) clinching joining, (c) hybrid joining (A+B+C), (d) hybrid joining (A+C+B)

류 접착제가 거의 존재하지 않은 반면, 후경화 하이브리드 접합 파단면에서는(Fig. 10d) 초기 도포된 접착제 피막과 거의 유사한 계단형태의 접착제 층이 잔류된 것으로 관찰되었다. 이러한 결과는 Fig. 5에서 고찰한 후경화 하이브리드 접합부 계면에서 잘 관찰되지 않은 접착제가 실제 매우 얇게 분포가 되어 있음을 보여주는 증거이다.

이상의 결과에서 선경화 접합부는 클린칭 접합 시 경화된 접착제 층의 균열이 발생되어 파단시험에서 이상적인 접착강도를 보이지 못할 것으로 판단되며, 특히 앞서 설명된 목 또는 언더컷의 두께 감소 등이 복합적으로 작용하여 계면파단의 발생이 용이할 것으로 사료된다. 그러나 Fig. 10(d)의 후경화 접합 파단면에서는 초기 도포된 접착제 피막이 파단시험 이후에도 초기와 유사한 형태로 잔류하고 있으며, 최종적으로 파단시험 시 넓게 형성된 접착제 층에 의한 응력집중 완화와 외력에 의한 충격이 발생할 경우 변형률 향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

따라서 선도장 강판의 하이브리드 접합공정 적용 시 접착제 경화시점은 후경화 접합공정으로 목 및 언더컷의 두께가 충분히 확보될 수 있는 조건이 접합강도의 향상과 파단시험에서 버튼파단 형성에 유리할 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 접착제 접합과 클린칭 접합을 병행한 하이브리드 접합의 접합강도 평가와 선도장 강판 적용을 고려한 접착제 경화시점에 대해 실험을 실시하여 다

음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 접합계면 관찰 결과 선경화 하이브리드 접합이 후경화 하이브리드 접합에 비해 낮은 목 두께 및 언더컷을 가지며, 이러한 결과는 클린칭 접합공정 시 선경화된 접착제에 기인한 소성변형의 간섭으로 인해 목 주위의 급격한 변형이 발생하였기 때문으로 판단된다.

2) 전단 인장시험 결과, 경화시점에 따른 하이브리드 접합부 파단하중은 큰 차이가 없었으며, 클린칭 접합 대비 파단하중은 약 50% 이상 상승되었으며, 소성 변위는 접착제를 기준으로 하이브리드 접합에서 약 2.5배 증가되었다.

3) 선경화 하이브리드 접합에서의 계면파단 발생은 클린칭 접합 성형 형상에 의한 꺾임부 응력집중과 경화된 접착제의 간섭으로 최소 단면부를 갖는 목 및 언더컷 부위의 불균일 응력분포에 기인한 것으로 판단된다.

## 후 기

본 논문은 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원 산업원천기술개발사업(청정기반)의 연구로 수행되었음(10035163).

## 참 고 문 헌

1. H. Kanai, H. Nomura, K. Honda, Y. Kimata, K. Ueda and H. Furukawa, Prepainted Steel Sheets Usable without Painting, Nippon Steel Technical Report, 81 (2000), 47-52
2. H. D. Hwang, Y. H. Lee, H. J. Kim, S. M. Noh, J. H. Nam, J. M. Park and J. H. Kim, Technology for Innovative Automotive Coating Process, KIC News, 13-6 (2010), 36-53
3. J. Varis, Ensuring the integrity in clinching process, Trans. Mater. Process, 174 (2006), 277-285

4. G. Belingardi, L. Goglio and A. Tarditi, Investigating the Effect of Spew and Camfer Size on the Stresses in Metal/Plastics Adhesive Joints, Journal of Adhesion and Adhesives, 22 (2002), 273-282
5. Zhongsen Li, J. K. Lim and Y. J. Kim, Stress Distribution and Strength Evaluation of Adhesive Bonded Single-lap Joints, Journal of KWJS, 19-3 (2001), 342-347 (in Korean)
6. J. Varis, J. Lepisto, A Simple Testing-Based Procedure and Simulation of the Clinching Process Using Finite Element Analysis for Establishing Clinching Parameters, Thin-Walled Structures 41 (2003), 691-709
7. V. R. Jayasekara, J. H. Noh, B. B. Hwang, K. C. Ham and D. H. Jang, A Study on the Forming Characteristics of Clinching Joint Process, Trans. Mater. Process, 16-8 (2007), 603-613
8. M. S. Kim, H. Y. Kim, S. H. Yoo, J. H. Kim and J. K. Kim, Effect of Curing Agent on the Curing Behavior and Joint Strength of Epoxy Adhesive, Journal of KWJS, 29-4 (2011), 416-422 (in Korean)
9. T. A. Barnes, I. R. Pashby, Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in Automobiles Part II. Journal of Materials Processing Technology 99 (2000), 62-71
10. C. J. Lee, J. Y. Kim, S. K. Lee, D. C. Ko and B. M. Kim, Design of Mechanical Clinching Tools for Joining of Aluminum Alloy Sheets, Materials & Design, 31 (2010), 1854-1861
11. J. Y. Kim, C. J. Lee, S. K. Lee, D. C. Ko and B. M. Kim, The Effect of Adhesive Layer on Joining Strength of the Hybrid Clinching Joint, Trans of the KSME Conference, 2008, 220-225
12. A. Roy, C. Mabru, J. L. Gacougnolle and P. Davies, Damage Mechanisms in Composite/Composite Bonded Joints Under Static Tensile Loading, 4-2 (2006), 95-119
13. T. Balawender, T. Sadowski, M. Kneć, Technological Problems and Experimental Investigation of Hybrid : Clinched-Adhesively Bonded Joint, 56 (2011), 438-446
14. D. J. Cartwright, A. P. Parker, Opening Mode Stress Intensity Factor for Cracks in Pin-loads Joint, Int. J. of Fracture, 18-1 (1982), 65-78