

## 중첩된 알루미늄 판재의 셰이빙 전단접합에 관한 연구

상리동<sup>1</sup>, 김태현<sup>1</sup>, 진인태<sup>#</sup>

### A Shaving Shear-Welding Process for Overlapped Aluminum Plates

L. Shang, T. H. Kim, I. T. Jin

(Received August 27, 2012 / Revised November 22, 2012 / Accepted November 26, 2012)

#### Abstract

Shaving shear-welding is a solid-state welding process, which utilizes plastic deformation of surplus material. The solid-state nature of this process contributes to high integrity and strength of the weld. The objective of this study was to investigate the effects of process variables on the material flow patterns and identify the process condition for obtaining the best weld. FEM simulations were carried out along with experimental characterizations. The results showed the importance of the cutter angles and the overlap lengths, and helped attain the optimum shaving shear-welding die and the best process condition.

**Key Words** : Shear-welding, Solid-state Welding, Aluminum Plate, Welding Die, FEM

#### 1. 서론

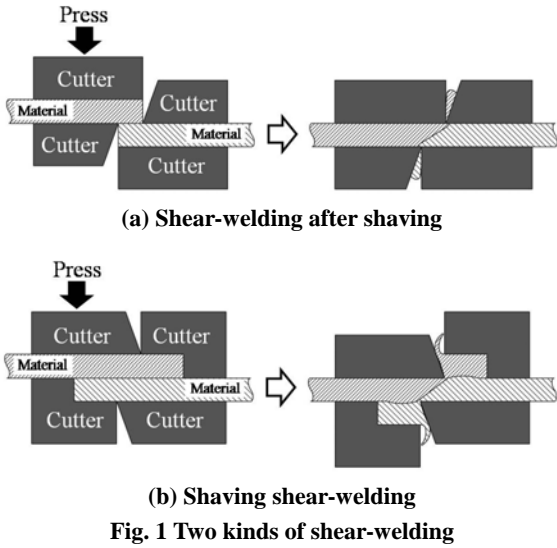
지난 10 년 동안 경량화를 추구하는 자동차산업과 우주항공산업분야에 알루미늄 합금을 사용함에 있어서 기술자들 사이에 많은 기술적 해결책과 더불어 많은 연구주제를 제시하였다. 그러나 자동차산업과 우주항공산업분야에 사용되는 대부분의 알루미늄 합금은 알루미늄이 가지는 고유의 특성으로 인하여 소재를 녹여서 접합하는 기존의 용접방법으로 접합이 어려운 실정이다. 그래서 현재 여러 연구자들에 의해 마찰교반접합과 같은 고상접합(Solid-phase welding)을 기반으로 하는 접합방법에 대한 연구 및 개발이 진행되고 있다[1~2].

이러한 고상접합은 피접합재가 녹지 않는 온도

분위기에서 압력 또는 원자들의 상호 확산을 이용하여 접합하는 방법이다. 피접합재의 용융점 이하에 해당하는 온도에서 접합을 하기 때문에 접합 후의 열변형이 적고, 이종금속간의 접합이 용이하며, 알루미늄과 같이 용접이 힘든 비철금속의 접합이 쉽게 이루어진다는 장점을 가지고 있다. 하지만 기계분야에 사용되는 대부분의 금속은 고상접합에 방해가 되는 오염층(Oil layer) 및 산화피막(Oxide film)과 같은 표면층이 존재한다. 따라서 고상접합이 잘 이루어지기 위해서는 이러한 표면층을 제거하고 순수한 금속끼리의 접촉이 중요하다[3~5].

본 연구의 선행 연구로서 K. K. Lee[6]는 Fig. 1의 (a)와 같은 형상의 금형을 이용하여 두 판재를 전단접합(Shear-welding) 하였고, 결과적으로 높은

1. Department of Production Automation Engineering, The Graduate School, Pukyong National University  
# Corresponding Author: Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, E-mail:jint@pknu.ac.kr



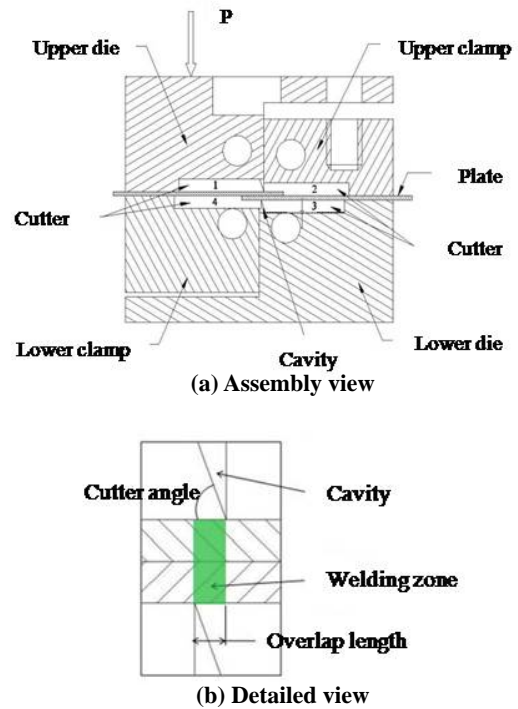
접합 강도와 잔여 금속의 자동 탈락이라는 좋은 성과를 보였음에도 불구하고 접합공정에 앞서 순수한 금속표면을 얻기 위해 접합하고자 하는 판재의 선단면을 깎아내는 셰이빙(Shaving) 공정이 필요했다. 이러한 선행공정을 줄이고 전단접합의 장점을 살리기 위해 제안된 방법이 판재의 선단면을 깎아냄과 동시에 전단접합을 할 수 있는 Fig. 1의 (b)에 해당하는 셰이빙 전단접합이다.

셰이빙 전단접합은 고상접합이 가지는 장점들을 가지고 있으며, 순수한 소재의 분포가 균일하도록 접합부의 산화막층을 포함한 불순물(Impurities)들을 과잉 금속(Surplus material)과 함께 배출시키기 때문에 접합 단면에서 좋은 접합 상태를 얻을 수 있다. 그리고 캐비티(Cavity)의 형상, 피 접합재의 겹침 길이(Overlap length), 과잉금속의 형상 등이 접합 강도에 중요한 영향을 준다.

이에 본 연구의 주요 목적은 캐비티의 형상과 소재의 겹침 길이가 과잉금속의 유동과 접합강도에 어떠한 영향을 주는지를 파악하여 최적의 금형 형상을 찾는 것이다. 결과를 도출하기 위하여 DEFORM-3D를 활용한 시뮬레이션을 통하여 접합 변수에 대한 범위를 좁혀 감과 동시에 실험을 통해서 최적의 결과를 도출하였다.

## 2. 셰이빙전단접합금형의 구조와 접합원리[7]

셰이빙 전단접합은 소성유동을 이용하여 금속을 접합하는 방법으로서 소재에 변형을 가할 수



있는 금형을 필요로 한다. 접합에 사용되는 금형은 Fig. 2의 (a)와 같이 총 8개의 주요 부품으로 구성되어 있다. 먼저 두 장의 판재 소재와 커터를 고정할 수 있는 4개의 금형 및 클램프(Clamp)가 존재하고 과잉소재가 배출되는 캐비티와 전단을 담당하는 4개의 커터(Cutter)로 구성되어 있다.

커터부분에서도 소재의 전단 및 접합이 이루어지는 부분을 Fig. 2의 (b)와 같이 확대해 보면 본 연구에서 접합 변수로 잡고 있는 커터 날의 각도와 소재의 겹침 길이를 파악할 수 있다. 두 판재를 접친 상태에서 이루어지는 용접은 대부분 두 소재가 겹쳐지는 길이를 겹침 길이로 표현하지만 셰이빙 전단접합은 겹쳐진 모든 소재 구간에 대하여 접합이 이루어지는 것이 아니다. 접합에 영향을 주는 중요한 지점은 두 소재 사이에 전단력을 받는 부분이기 때문에 본 논문에서는 상부 커터 날과 하부 커터날이 겹쳐지는 길이를 겹침 길이로 정의하였다.

셰이빙 전단접합은 기본적으로 용융점 이하의 온도와 압력을 이용하여 두 소재를 원자 단위로 접합하는 고상접합을 기반으로 하고 있다. 따라서 가열로와 같은 간접적인 가열에 의해 가열된 소

재에 프레스로부터 발생된 압력을 가해 줌으로서 접합이 이루어진다. 이때 Fig. 2의 1번 커터와 3번 커터가 겹쳐지는 범위에 속한 소재들은 강한 전단압력을 받게 되고 접합에 방해가 되는 불순물을 포함한 과잉 금속이 캐비티로 유출되면서 접합효율을 증가시킨다. 따라서 과잉 금속의 배출 속도 및 밀폐공간에서 소재가 받게 되는 압력과 관련된 커터날의 각도와 접합 구간의 면적을 결정하는 겹침길이 및 접합 당시의 소재 상태를 결정하는 온도가 전단접합의 주요 변수로 작용하게 된다.

### 3. 셰이빙 전단접합의 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이션 조건

셰이빙 전단접합을 효과적으로 시뮬레이션 할 수 있는 프로그램 중에서 범용 소성 해석 프로그램인 DEFORM-3D를 사용하여 금형의 움직임에 따른 소재의 유동과 접합이 완료된 이후의 접합선(Welding line)에 대한 형태를 조사하였다.

본 연구에서 셰이빙 전단접합의 접합 강도에 영향을 주는 주요 인자로 온도, 겹침길이, 커터날의 각도로 정하였다. 이 세가지 인자에 대하여 모든 실험을 할 경우 매우 많은 실험이 진행되어야 하기 때문에 시뮬레이션을 통하여 최적의 접합 형태를 갖는 커터날의 각도를 선정하였다. 그리고 실험과 시뮬레이션간에 일치성을 확인하기 위하여 실험과 동일한 수준의 겹침길이를 시뮬레이션을 진행하여 실험결과와 비교하였다. 이러한 설정으로 결정된 시뮬레이션 조건과 설정 값들은 Table 1에서 보는 바와 같다. 조건으로 설정된 값들은 세가지 온도조건에 따른 전단접합실험을 통하여 520°C가 최적의 접합 조건으로 결론지어진 K. K. Lee[6]의 선행연구를 통하여 시뮬레이션 온도를 결정하였고, 커터날의 각도와 겹침길이는 선택된 조건의 변화에 따라 유동형태에 영향을 주는지에 대하여 조사하고자 영향력이 있을 것으로 판단되는 구간을 임의로 선택하였다.

#### 3.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

시뮬레이션을 진행한 결과 모든 조건에서 Fig. 3과 같은 형태로 접합과정이 진행되었고, Fig. 4와 같이 소재의 변형을 대표하는 두 부분의 영역인 과잉돌출높이(Overflow height)  $h$ 와 잔여 금속과 원 소재간에 접촉되는 부분을 나타내는 잔여길이

Table 1 Conditions for simulation

Cutter angle(°)	60, 70
Overlap length(mm)	0.6, 0.9, 1.2
Material	AL5052
Initial plate temperature(°C)	520
Initial die temperature(°C)	520
Speed of pressing down(mm/s)	0.2
Friction factor between plate and die	0.7
Friction factor between plate and plate	0.4

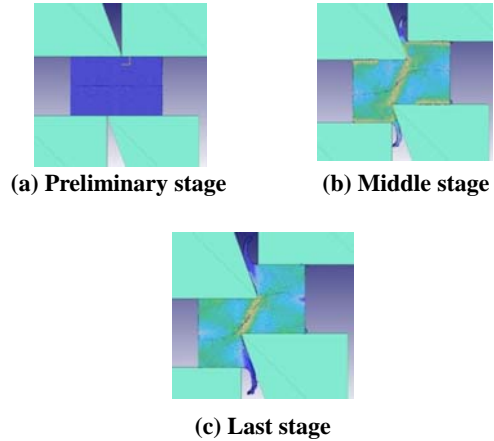


Fig. 3 Substage view of the shaving shear-welding process

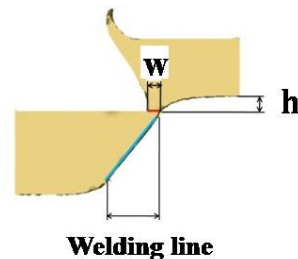


Fig. 4 Characteristic parameter on the plate

(Residual length)  $w$ 에 해당하는 두 부분을 측정하여 결과를 도출 하였다.

Fig. 5는 각각의 조건에 해당하는  $w$  값과  $h$  값을 그래프화하여 나타낸 것으로 커터날의 각도가 60° 일 때 보다 70° 일 때 모든 조건에서 낮은 값을 보임을 확인 할 수 있다. 과잉돌출높이  $h$ 는 캐비티로 유출되어 순수한 금속을 얻는데 영향을 주는 과잉금속이 캐비티로 잘 유출되지 못하고 기존소재의 변형으로 발생하는 경우에 발생하는 높

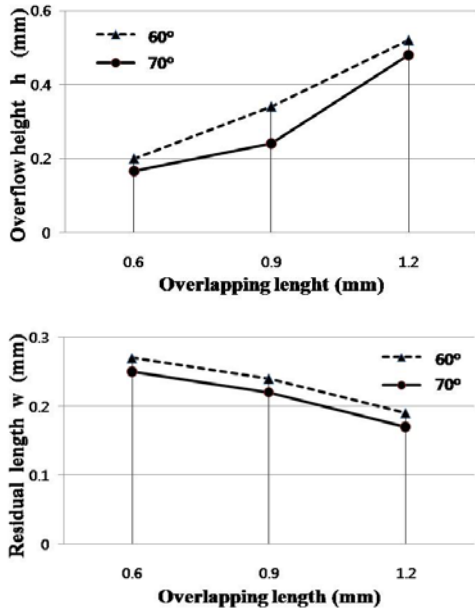


Fig. 5 The variation tendency of overflow height (h) and residual length (w) according to simulation

이로서 높이가 높을수록 접합에 좋지 못한 영향을 준다. 또한 잔여길이인 w 는 접합 후에 제거되어야 하는 잔여금속의 제거 공정에 있어서 적을수록 좋은 영향을 준다. 따라서 모든 수준에서 좋은 결과치를 얻은 커터날의 각도 70°가 전단접합에 있어서 60°보다 좋은 성능을 보일 것으로 사료된다.

#### 4. 셰이빙 전단접합 실험

##### 4.1 실험 조건 및 장비

실험은 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 최대 100ton 의 하중을 인가 할 수 있는 프레스에 금형을 안착하고, 가열로 내부의 온도를 온도 제어기를 통하여 조절한 후에 프레스로 압력을 가하는 방법으로 진행하였다.

실험 조건은 시뮬레이션을 바탕으로 결정된 커터날의 각도 70°로 고정하고, Table 2 와 같이 세가지의 겹침 길이와 접합 온도를 실험 조건으로 설정하였다.

##### 4.2 실험 결과 및 고찰

각각의 조건에서 전단접합 실험을 한 결과 Fig. 6과



Fig. 6 Hydraulic press machine with electric furnace

Table 2 Conditions for experiment

Cutter angle(°)	70
Temperature(°C)	510,520,530
Overlap length(mm)	0.6,0.9,1.2
Material	Al5052 alloy
Dimension(mm)	150x50x1.6



Fig. 7 Shaving shear-welded plate

같이 접합된 시편들을 얻을 수 있었다. 이 시편들을 접합부 단면을 확인하기 위하여 절단 후 마운팅 작업을 하였으며 Fig. 7 과 같이 각각의 조건에 해당하는 시편편의 접합선을 파잉 돌출높이 h 와

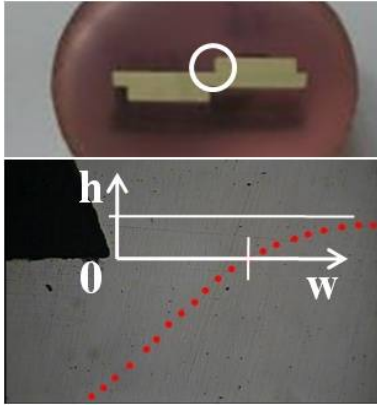


Fig. 8 Sectional view at welding line

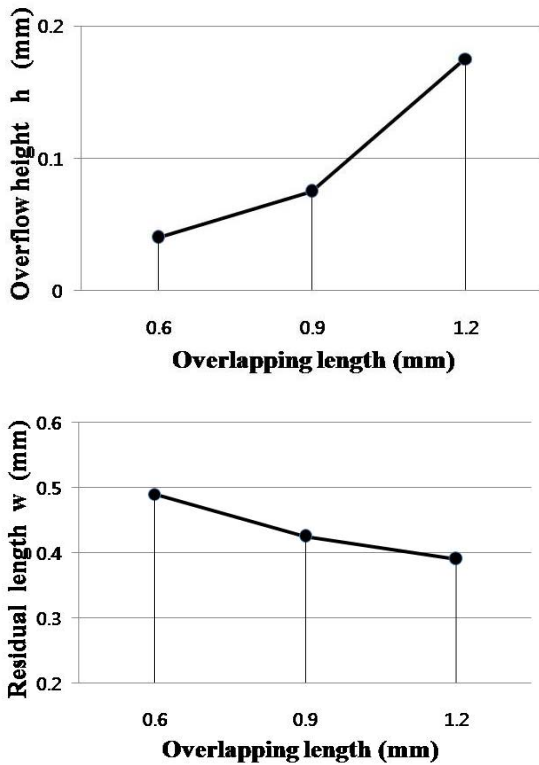


Fig. 9 The comparison of overflow height and residual length

잔여길이  $w$  의 관점에서 측정하여 Fig. 8 과 같은 그래프를 얻었다.

실험결과 접합선의 형태는 겹침길이에 큰 영향을 받았고, 온도의 차이는 크게 영향을 주지 못하였다. 겹침길이에 따른 과잉돌출높이  $h$  와 잔여길이  $w$  의 그래프로 보아 같은 조건에서의 시뮬레이

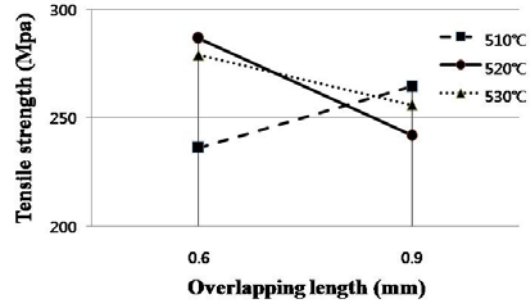


Fig. 10 The effect of temperature on tensile strength

션과 유사한 형태의 그래프를 얻을 수 있었다. 하지만 값에 있어서 약간의 차이를 보임을 알 수 있었다. 이는 시뮬레이션에 설정된 계면의 마찰계수와 실제 실험에서의 마찰계수의 차이에 의한 결과로 사료된다.

실험에서 또한 시뮬레이션과 마찬가지로 겹침길이의 값이 커질수록  $h$  값은 증가하고  $w$  값은 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 겹침길이에 대한 영향이 두 그래프 사이에 교호적인 영향이 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 인장 시험을 통하여 접합 강도를 측정하여 겹침길이를 비교한 결과 Fig. 10과 같은 그래프를 얻었다. 여기서 겹침 길이 1.2mm에 해당하는 시험편은 실제 원소재의 두께의 10%가 넘는  $h$  값을 가지기 때문에 돌출된 소재와 원소재간의 접합이 이루어졌을 가능성이 크므로 인장시험에서는 배제하였다.

인장시험 결과 온도와 겹침길이가 접합강도에 영향이 있음을 알 수 있었고, 접합온도가 520°C이고 겹침길이가 0.6mm 일 때 가장 높은 접합강도가 나오는 것을 확인 할 수 있었다.

### 5. 결론

본 연구는 세이빙 전단접합에 대한 시뮬레이션과 실험적 접근법을 통하여 접합선의 형태에 대해 관찰하였다. 그리고 시뮬레이션과 실험을 비교 분석하였고, 접합강도를 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시뮬레이션을 통하여 커터날의 각도를 비교해 본 결과 60° 보다는 70°의 환경에서 더 좋은 성능을 내는 것을 확인하였다.
- (2) 시뮬레이션과 실험을 통하여 겹침 길이가 커질수록 과잉돌출높이  $h$  는 증가하고, 잔여길이  $w$  는 감소함을 알 수 있었다.

(3) 인장 시험을 통하여 접침 길이와 접합 온도는 접합강도에 영향을 주는 것을 확인하였고, 두 인자 사이에는 교호적인 관계가 있음을 확인하였다.

(4) 알루미늄 5052 합금을 셰이빙 전단접합 할 때 원소재의 두께가 1.6t 인 경우 접침 길이가 0.6mm 이고 온도가 520℃일때 가장 좋은 접합강도를 얻을 수 있음을 확인하였다.

### 후 기

이 연구는 한국연구재단의 광역경제권 선도사업 인재양성사업의 지원 하에 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] C. W. Park, J. G. Paeng, J. S. Ok, 2012, A Study on Numerical Thermo-Mechanical Analysis for Aluminum 6061 Friction Stir Welding, J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol. 29, No. 6, pp. 632~639.
- [2] J. H. Cho, M. H. Kim, J. W. Choi, 2012, Application of Friction Stir Welding Processes for Aluminum Alloy Boat, J. Kor. Welding Joining Soc., Vol. 30, No. 2, pp. 135~140.
- [3] K. K. Lee, I. T. Jin, 2006, Proc. Kor. Soc. Manuf. Process Eng. Conf.(M. K. Ha), Kor. Soc. Manuf. Process Eng., Jinju, Korea, pp. 381~384.
- [4] J. H. Lee, T. H. Kim, M. Y. Lee, I. T. Jin, 2010, A Study on Welding Strength of Extrusion-Riveting Process of Aluminum Plates, Trans. Mater. Process, Vol. 19, No. 8, pp. 460~467.
- [5] H. Y. Wu, S. Lee, Y. H. You, 2002, Genuine Solid-state Bonding Characteristics of Superplastic Al-alloys, J. Mater. Process. Technol., Vol. 122, No. 2-3 pp. 226~231.
- [6] K. K. Lee, M. Y. Lee, I. T. Jin, 2010, A Study on Extrusion-Shear Welding(ESW) Process of Aluminum Plates, Trans. Mater. Process, Vol. 19, No. 8, pp. 452~459.
- [7] I. T. Jin, 2006, Apparatus and Method for Hot Bonding Metal Plates, Korea Patent, 10-0622524.