

# 블라인드 리벳 너트 체결 적합성에 관한 연구

김찬양<sup>1</sup>·구본준<sup>1</sup>·이사람<sup>1</sup>·최정목<sup>2</sup>·홍석무<sup>3,#</sup>

## Accurate Fastening of Blind Rivet Nuts: A Study

C. Kim, B. Gu, S. Yi, J.M. Choi, S. Hong

(Received September 9, 2020 / Revised November 11, 2020 / Accepted November 16, 2020)

### Abstract

Blind rivet nuts (BRNs) are increasingly used in automotive industry because unlike conventional bolt fastening, BRN fastening requires access from one side only. Generally, fastening is conducted using automated units, but manual fastening may be resorted to in case of small quantities. Since the fastening direction is not exactly perpendicular to the sheet metal, the BRN axis is tilted with respect to the plate and may result in damage or incomplete fastening. As the tilt angle (clamping angle  $\alpha$ ) increases, undesired plate deformation occurs and the contact area of the plate with the BRN fastening area decreases, reducing the clamping effect. In this study, the reduction of the clamping effect with the  $\alpha$  was investigated to ensure stable fastening force. M6 BRNs were used in the tests. The fastening force was measured as follows: the plate was cut in half through the center of the hole; the BRN was inserted into the hole and fastened; and the clamping angle  $\alpha$  was measured (values,  $0^\circ \leq \alpha \leq 9^\circ$ ). The force leading to the separation of the halves was measured using a universal testing machine (UTM). The maximum  $\alpha$  range, in which the fastening force remains stable, was determined. Finite element (FE) analysis confirmed that the fastening force decreases approximately linearly with increasing  $\alpha$ . Based on the experiment and FE analysis using various  $\alpha$ , the fastening force was found to decrease with  $\alpha$ . Further, the maximum tolerance for  $\alpha$  that provides secure fastening without damage is suggested.

**Key Words:** Blind Rivet Nut, Clamping Angle, Clamping Force, Fastening, Finite Element Analysis

## 1. 서 론

금속 접합법에는 용접, 납땀과 같은 화학식 접합법과 볼트와 너트를 사용하는 기계식 접합법이 있다. 화학식 접합법은 숙련된 기술자가 아니면 접합강도 차이가 발생하며 열에 의한 부재 변형이 쉽게 일어난다. 반면 기계식 접합법은 일반인들도 손쉽게 접합할 수 있는 장점이 있지만, 작업물의 양방향에서 작업을 수행하기 때문에 반대편을 볼 수 없는

상황에서는 작업이 불가능한 단점이 있다. 이런 단점을 해결하기 위해 한방향에서 체결이 가능한 리벳이 사용된다. 리벳 종류는 판재 위아래에서 리벳을 압축시켜 고정하는 일반 리벳(rivet), 압축시키면 판재를 파고 들어 고정하는 셀프-피어싱 리벳(self-piercing rivet, SPR)과 위에서 잡아당겨 고정하는 블라인드 리벳(blind rivet, BR) 및 블라인드 리벳 너트(blind rivet nut, BRN) 등이 있다[1]. SPR과 일반 리벳은 판재 양쪽에서 작업이 이루어지나 BR과 BRN은 한 면에서도 작업이 가능하다. 이 때 리벳 종류마다 체결 공정이 달라 리벳 연구에 있어 각 리벳 공정 특성에 맞는 연구가 필요하다.

1. 국립공주대학교 미래융합공학과, 석사과정

2. (주) 진합, 상무이사

3. 국립공주대학교 기계자동차공학부, 교수

# Corresponding Author : Department of Automotive & Mechanical Engineering, Kongju National University, E-mail: smhong@kongju.ac.kr

ORCID : <https://orcid.org/0000-0001-5569-6285>:

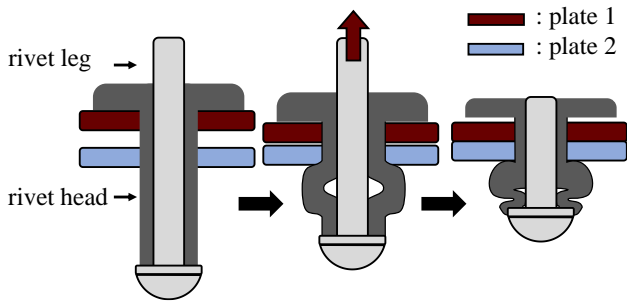


Fig. 1 (a) Blind rivet fastening

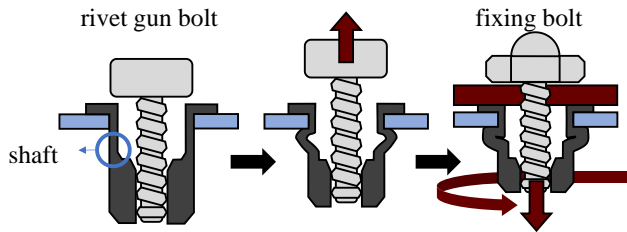


Fig. 1 (b) BRN fastening

Fig. 1 (a)은 BR 체결 공정의 개략도로 plate 1, 2에 있는 holes에 리벳을 넣고 리벳 다리(rivet leg)를 잡아당기면 리벳 머리부분(rivet head)이 찌그러지며 판재를 접합한다. 접합 후에는 리벳 다리가 절단되어 불필요한 이물질을 남기지 않는다. BRN 체결공정은 BR와 비슷하지만 체결 공정 차이가 있다[Fig. 1 (b)]. 먼저 BRN을 plate 1에 넣고 리벳건 볼트를 BRN에 넣어 고정시킨다. 고정된 리벳건 볼트를 위로 잡아당기면 샤프트(shaft)가 변형되며 형성된 압착플랜지(flange)가 BRN 머리부와 압착되면서 첫번째 판재와 접합된다. 그 후 plate2를 올린 후 고정용 볼트로 고정시켜 서로 다른 판재를 접합한다. BRN은 한쪽 면에서만 작업이 가능한 장점 때문에 이중접합 등 많은 분야에서 활발히 사용된다[2]. BRN을 사용한 보다 안정적인 접합을 위해 다음과 같은 연구가 진행됐다. Gu 등 [3]은 BRN 형상 설계 시 변수에 따른 최적 형상에 대해 연구했다. Cho 등 [4]은 서로 다른 금속판재 속의 세 가지 접합 조건에 대해 설계 및 최적 형상을 제시했다. Haque [5]는 SPR 조인트 품질에 영향을 미치는 몇 가지 주요 매개변수 및 품질 개선 가능성을 가진 보조 기술 연구를 진행했다. Yoo 등 [6]은 복합 패널을 수리할 수 있는 리벳 너트 조인트의 강도 시험에 관한 연구를 진행했으며, De Jesus 등 [7]은 리벳 조인트에 대한 일반적인 피

로 평가를 연구했다. Al-Bahkali [8]는 리벳 조인트에 접착 레이어 도입 시 조인트에서 발생하는 응력 감소에 관한 연구를 진행했으며, Jeon 등 [9]은 소재의 두께와 조합 순서에 따른 인장하중과 조합별 파단을 확인하여 접합성에 미치는 영향을 연구했다. Manes 등 [10]은 리벳 체결에 관련된 다양한 매개변수와 구멍의 잔류응력이 조인트에 미치는 영향에 관한 연구를 진행했다. 이 때 매개변수에는 리벳 체결 시 리벳이 기울어진 정도인 클램핑 각도도 포함되었다. 이 때 클램핑 각도는  $2^\circ$ 까지만 고려했으나 수동으로 BRN 체결 시 일반적으로 클램핑 각도 범위는  $2^\circ$ 보다 더 크므로 이에 대한 연구가 필요하다. 기존 리벳 연구에서는 BRN에 관한 연구는 거의 없으며 BRN에 관한 연구라 하더라도 체결력에 관한 연구는 이루어지지 않았다. 따라서 BRN 체결력에 관한 연구가 필요하며 특히 다양한 클램핑 각도에 따른 체결력에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 BRN 체결 시 발생할 수 있는 여러 클램핑 각도에 대해 실험 및 해석적 연구가 진행되었다. 먼저 클램핑 각도에 따른 전단방향의 분리력 실험을 수행하였다. 그리고 유한요소해석을 통해 클램핑 각도에 따른 BRN과 판재 사이의 접촉면적 변화를 확인하여 체결력 감소의 관계를 연구하였다. 결론으로 리벳을 손상시키지 않으면서 안정적인 체결력을 확보하는 최대 체결 허용 각도를 제시하였다.

## 2. BRN 체결력 시험

### 2.1 클램핑 각도 정의

BRN은 일반적으로 자동 공급 장치로 체결되지만, 소량 다품종의 체결 및 판재 정비 시 수동 체결을 하게 된다. 수동 체결 시 판재 표면과 BRN 중심축이 항상 직각이 될 수 없으며 기울기가 발생한다. 체결 시 발생하는 각도에 대한 개념을 Fig.2에 나타냈다. 이 때  $x$  축은 판재 절단면 방향,  $y$  축은 절단면에 수직인 판재 방향이며  $z$  축은 BRN이 수직일 때 중심선이다. BRN을 체결할 때 기울기가 발생하는데, 이 때  $z$  축을 기준으로 기울어진 각도를  $\alpha$ 로 정의해 이를 클램핑 각도라고 명명한다.  $xy$  평면에서 기울어진 각도를  $\theta$ 라고 하면  $\theta$ 값이  $0^\circ$ 일 때를 기준으로  $\alpha$ 를 측정했다.

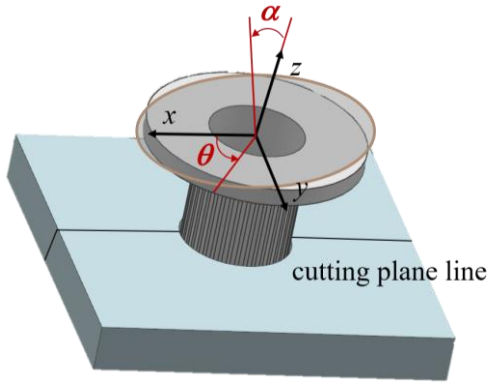


Fig. 2 Change of  $xy$  plane angle  $\theta$  and clamping angle  $\alpha$  during BRN fastening

2.2 시험 시료 및 분리력 정

$\alpha$ 에 따른 체결력 차이를 알아보기 위해 A16061-O 판재와 SWCH10A 소재로 가공된 M6 BRN 을 사용해서 시료를 제작했다. BRN 으로 체결한 형상을 Fig. 3 에 나타냈다. A16061-O 판재에 체결용 구멍을 뚫고 이를 기준으로 반으로 절단해 38mm × 40mm × 2mm 판재에 반원모양의  $\phi 9.25$ mm 홈이 파인 형상을 만든다. 이 판재 2 개를 이어 놓으면 BRN 삽입을 위한 체결용 구멍이 형성되며 이 구멍에 BRN 을 삽입 후 체결했다. 판재가 절단되지 않은 상태로 체결할 경우 BRN 체결력 외에 판재에 작용하는 응력으로 인해 BRN 체결력만을 측정할 수 없기 때문에 절단된 판재를 사용했다. 이 때  $\alpha$ 를 다르게 하여  $0^\circ \leq \alpha \leq 9^\circ$ 에서 다양한 각도로 시료를 만들었다. 만능재료시험기(Universal Testing Machine, UTM)를 사용해 시료의 판재 양쪽을  $y$  축 방향으로 잡아당겨  $F$ 를 측정하였으며(Fig4), UTM 제원은 Table 1 에 기술했다. UTM 시험을 통해 얻은 최대 하중을 체결력의 지표로 사용하였다. 이 힘은  $y$  축 방향이기 때문에  $z$  축 방향인 실제 체결력과 차이가 있다. 따라서  $y$  축으로 당기는 힘을 분리력(separation force,  $F$ )으로 정의했다.  $y$  축과  $z$  축 사이의 관계는 마찰력과 수직항력의 관계로 나타낼 수 있다. 마찰력( $F_f$ )은 식(1)과 같으며  $\mu_s$ 는 정지마찰 계수,  $N$ 은 수직항력이다. 수직항력은 BRN 이 판재를 누르는 힘인 체결력과 같다. 분리력은 BRN 과 판재 사이의 마찰력으로 정량화 할 수 있다. 따라서 마찰력과 같은 힘인 분리력을 체결력의 지표로 사용하였다.

$$F_f = \mu_s N \quad (1)$$

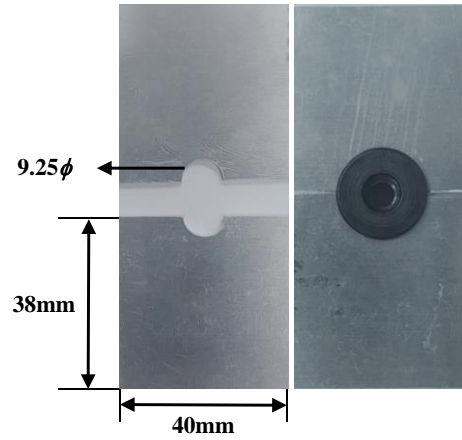


Fig. 3 (a) Split plate without and with BRN (top view)

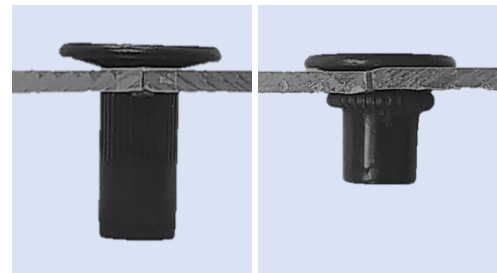


Fig. 3 (b) split plate with BRN before and after fastening (front view)

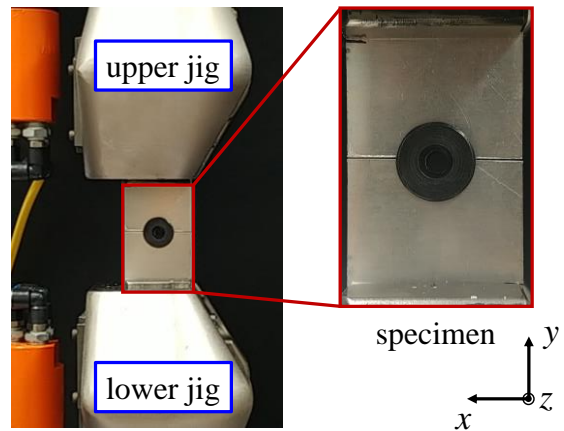


Fig. 4 Measurement of separation force  $F$  using UTM

Table 1 Specification of universal testing machine

| SHIMADZU AG-X                    |            |                     |
|----------------------------------|------------|---------------------|
| Load cell                        | Capacity   | 5000N(50kN)         |
|                                  | Resolution | 1/5000              |
|                                  | Accuracy   | ±0.1% of full scale |
| Testing speed                    |            | 5mm/min             |
| Crosshead measurement resolution |            | 1/48mm              |
| Crosshead speed accuracy         |            | ±0.1%               |

### 2.3 분리력 시험 결과

$\alpha$ 에 따른 분리력 시험은 70개의 시료로 진행했으며  $0^\circ \leq \alpha \leq 9^\circ$ 에서  $1^\circ$ 단위로 구간을 나누었다. 실험 결과  $\alpha$ 가 커질수록  $F$ 가 선형적으로 감소하는 경향을 보인다(Fig. 5).  $\alpha$  범위가  $0^\circ \leq \alpha < 2^\circ$  이면  $F$ 가 최소 700N 이상으로 유지되지만  $\alpha$ 가  $2^\circ$ 이상이면  $F$ 가 감소하기 시작해  $3^\circ$ 부터 감소량( $\Delta F$ )이 증가한다.  $\alpha$ 가  $4^\circ$ 보다 커지면 분리력  $F$ 가 400N으로 일정하다가  $\alpha$ 가  $6^\circ$ 보다 커지면 400N 미만으로만 체결된다.  $\alpha$  값이  $n$ 일 때,  $n^\circ$ 구간을  $n^\circ \leq \alpha < n+1^\circ$  이라고 하면 구간별 평균  $F$ 값은  $1^\circ$ 구간 837.15N,  $2^\circ$ 구간 762.63N,  $3^\circ$ 구간 617.11N,  $4^\circ$ 구간 419.17N 그리고  $5^\circ$ 구간에서

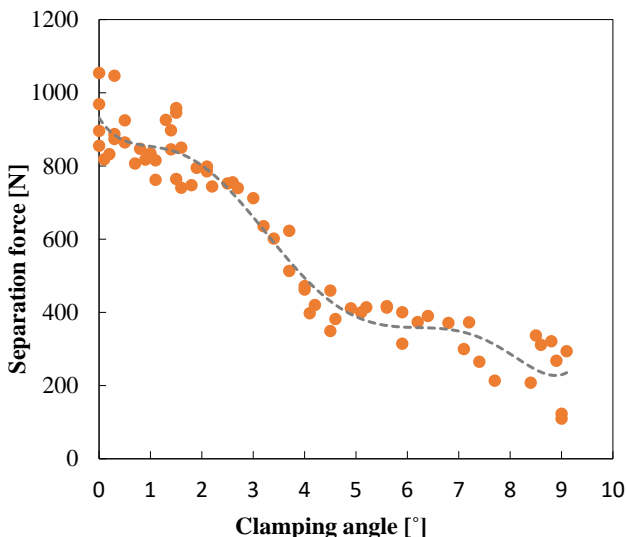


Fig. 5 Change of separation force  $F$  with clamping angle  $\alpha$

393.13N 이다.  $3^\circ$ 구간은  $1^\circ$ 구간에 비해  $F$  값이 27%정도 감소했으며,  $5^\circ$ 구간은  $1^\circ$ 구간에 비해 53%정도 감소했다. 이 결과를 통해  $\alpha$ 의 감소량이 적어도  $\Delta F$ 는 큰 것으로 보아  $\alpha$ 가 분리력에 상당한 영향을 미친다고 판단된다.  $1^\circ$ 구간과  $2^\circ$ 구간은 9%로 다른 구간에 비해  $\Delta F$ 가 작았다. 따라서  $2^\circ$ 구간까지는  $F$ 가 다소 유지되지만,  $3^\circ$ 부터는  $\Delta F$ 가 증가하여  $\Delta F$ 가  $2^\circ$ 구간의 3 배 이상이 된다. 분리력  $F$ 를 바탕으로 체결력을 판단했을 때, 이는 BRN 본래( $1^\circ$  미만) 체결력을 유지하기 힘들다고 판단된다. 동일한  $\alpha$ 구간에서  $F$ 가 상이하지만 이는 BRN 걸 지름 및 판재 홀 공차로 인한 BRN 과 판재 접촉면적이 달라 발생한 오차로 판단된다.

## 3. BRN 유한요소해석

### 3.1 BRN 유한요소해석 모델링

BRN 유한요소해석을 위해 Fig. 6 과 같은 모델을 설계했다. 사용된 모델은 BRN, 리벳건 볼트, 체결할 판재이며 범용 해석 프로그램 AFDEX[11]를 사용했다. 탄소성 유한요소법을 진행하였고, 리벳건 볼트는 강체, 판재 소재는 Al6061-O, BRN 소재는 SWCH10A 이며 세부 물성은 Table 2 에 기술했다. 나사산은 일정한 각도로 상승하는 형상이기 때문에 너트 내부는 비대칭 형상이다. 따라서 너트 내부의 비대칭면을 고려하여 BRN 전체를 모델링했고, 사용된 요소 수는 약 300,000 개이다. 참고문헌에 따르면 BRN 유한요소해석에 미치는 마찰계수의 영향은 4% 차이로 미비하므로[3], 본 연구에서는 리벳건 볼트에 윤활유가 있는 조건으로 마찰계수를 0.05 로 고정했다. 체결을 위해 리벳건 볼트를  $y$  방향으로 1mm/s 속도로 상승시켰으며, 초기에 BRN 과 판재는 접촉 상태이다. 볼트가 상승할 때 BRN 이 같이 상승하면 플랜지 형성이 안된다. 이를 해결하기 위해 BRN 머리부분을 고정하여 실제의 체결과 같은 경계 조건을 만들었다. BRN 체결 시  $\alpha$ 값에 따른 BRN 과 판재사이의 접촉면적 확인을 위해  $\alpha$ 값을  $0^\circ \sim 5^\circ$ 범위에서  $1^\circ$ 단위로 증가시켜 해석을 진행했다.  $5^\circ < \alpha$  범위는  $F$  값이 50% 미만이므로 고려하지 않았다.

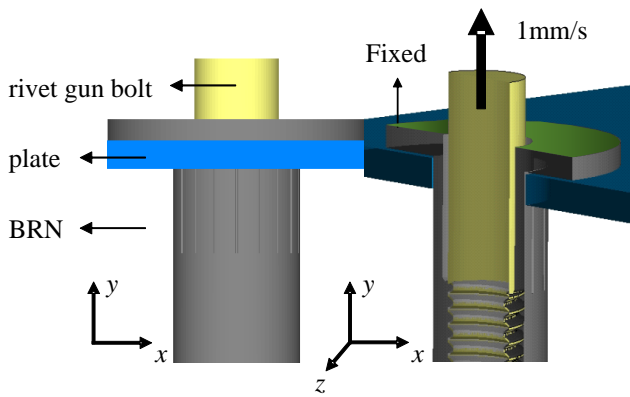


Fig. 6 FE model for simulation of BRN fastening

Table 2 Material properties of Al6061-O and SWCH10A

| Parameter                       | Value    |         |
|---------------------------------|----------|---------|
|                                 | Plate    | BRN     |
|                                 | Al6061-O | SWCH10A |
| Ultimate tensile strength (MPa) | 124      | 438     |
| Young's modulus (GPa)           | 68.9     | 206     |
| Poisson's Ratio (-)             | 0.33     | 0.3     |
| $K$ (MPa)                       | 203.9    | 526.4   |
| $n$                             | 0.112    | 0.127   |

### 3.2 접촉면적 정의

BRN 샤프트 변형으로 생긴 압착플랜지와 판재 사이에 닿는 부분이 발생한다. 이 부분을 접촉면적으로 정의했다. BRN 머리부분 접촉면적은 판재 소재에 따라 체결 공정 시 판재 변형량이 달라진다. 소재 변형은 압착플랜지가 생성으로 인한  $y$ 축 방향 압력 때문에 발생한다. 따라서 판재에 응력이 가해지는 면적은 오롯이 판재의 압착플랜지와 접촉면적이다. 이 접촉면적에 의해 판재 변형이 일어나므로 압착플랜지 접촉면적이 적다면 압력이 적어 변형이 적고 접촉면적이 넓으면 압력이 커져서 변형이 많아진다. 따라서 압착플랜지 접촉면적은 변형에 의한 영향이 적다고 판단하였다. 판재 상단에는 접촉면이 BRN 머리부분 모서리 일부에만 존재하기 때문에

고려하지 않았다. 해석 결과  $\alpha$ 가  $1^\circ$ 를 기준으로 BRN에 걸리는 최대 하중( $P$ )은 20.9kN이고 이 때 상승길이( $L$ )는 6.4mm이다(Fig. 7). 리벳건 볼트가 5mm 이상 상승하면 압착플랜지 생성으로 인해 BRN 첫 번째 나사산과 리벳건 볼트 사이에 간격이 생기게 된다. 첫 번째 나사산과 리벳건 볼트의 간격이 발생함에 따라 전체 분리력은 점차 감소하게 된다. 본 연구에서는 이를 damaged gap이라고 정의했다[Fig. 8]. Fig. 7에서  $L$ 이 3mm일 때 까지는 그래프가 거의 유사한 것을 보여준다.  $L$ 이  $5\text{mm} \leq L \leq 6\text{mm}$ 에서 rivet gun force( $P$ ) 값이 조금씩 달라진다. damaged gap이 점점 증가하다가 6mm이상 길어지면 두 번째 나사산에 변형이 생기고 최대 하중에서 리벳건 볼트 접촉면적이 50% 미만으로 감소한다. 최대 하중을 지나면 하중이 급격히 감소하며 나사산 파손이 시작된다. BRN은 리벳건 볼트로 체결 후 고정용 볼트로 판재를 추가 결합하지만 BRN 나사산이 변형되면 고정용 볼트 체결이 불가능하다. 첫 번째 나사산은 압착플랜지 형성을 위해 벌어지므로 이 부분은 고려하지 않았다. 두 번째 BRN 나사산이 변형되기 전까지 공정이 진행된 길이가 6mm이다. 따라서 두 번째 나사산 변형이 일어나지 않도록  $L = 6\text{mm}$ 시점에 압착플랜지와 판재 사이 접촉면적을 측정했다. 면적 측정은 유한요소 해석프로그램 AFDEX에서 계산된 금형과 소재의 접촉 요소를 이미지로 export하고 이 이미지 데이터로부터 픽셀 수를 적분하여 접촉 면적을 계산하였다.

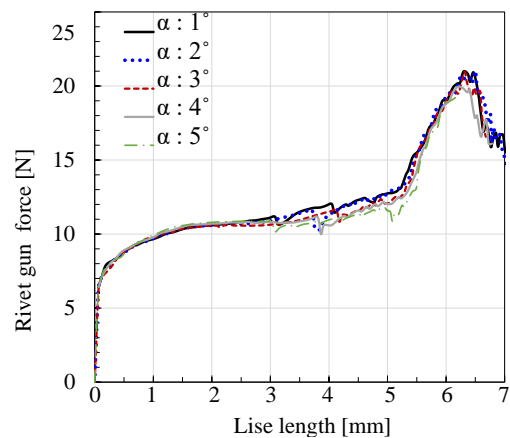
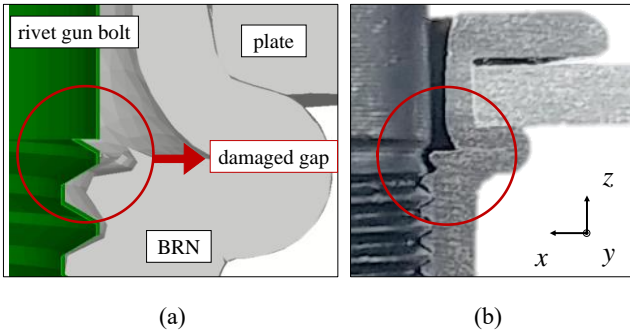


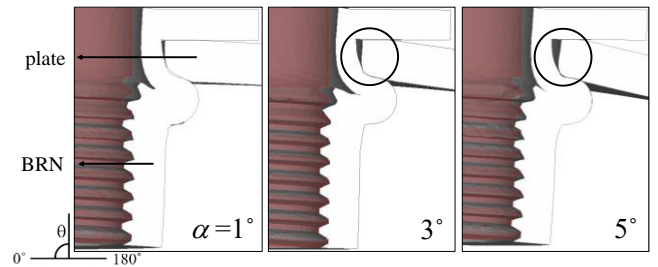
Fig. 7 Rivet gun force( $P$ ) from the BRN fastening simulation according to different contact angle( $\alpha$ )



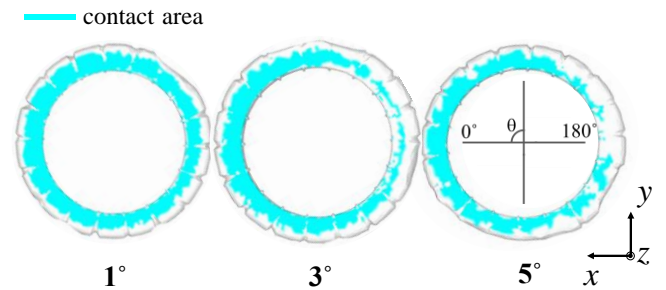
**Fig. 8 Gap due to damage to BRN region (a) FE simulation (b) experiment**

**3.3 BRN 유한요소해석 결과**

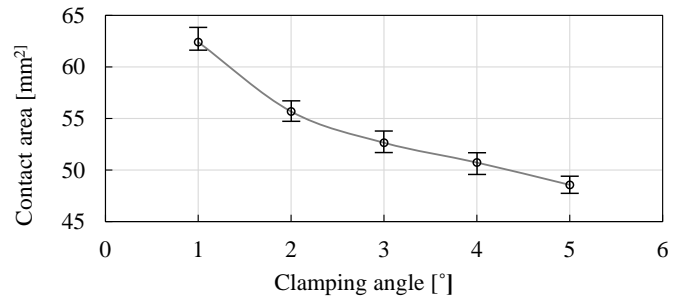
Fig. 9는 해석 후에 BRN을  $\theta$ 가  $0^\circ$ 인  $xz$ 평면을 기준으로 절단한 형상이며 Fig. 10에 있는 접촉면적 측정 시점이다. 실험과 동일하게 유한요소 해석 결과에서도 각도  $\alpha$ 가 커질수록 이에 비례해서 plate와 BRN사이의 틈이 커짐을 보여준다. 모든  $\alpha$ 에서 damaged gap이 발생한 것을 확인했으며,  $\alpha$ 가 커질수록 BRN 머리와 판재 사이의 틈이 벌어져 머리부분 접촉면적이 감소하는 것을 확인했다.  $\alpha$ 가 커질수록 압착플랜지 접촉면적이 감소하며 Fig. 10에 나타냈다. Fig. 10에서  $\theta=0^\circ$  방향 접촉면적은 체결 공정 시작부터 판재와 접촉되어 변화가 작다.  $\theta=180^\circ$ 방향 접촉면은  $\alpha$ 가 커질수록 압착플랜지와 판재사이 거리가 벌어지기 때문에 접촉면적 변화가 크다.  $\alpha$ 에 따른 접촉면적  $1^\circ, 3^\circ$  그리고  $5^\circ$ 에 따라 계산된 면적 값은  $62.4\text{mm}^2, 52.6\text{mm}^2$  그리고  $48.6\text{mm}^2$  이다[Fig. 11].  $\alpha$  값이  $1^\circ$ 에서  $3^\circ$ 가 될 때 면적 감소량은 15.7% 정도이다. 하지만 실제 접촉면 변화는 전체면적의 1/2 범위,  $\theta=180^\circ$  방향에서 많이 일어난다. 따라서 접촉면적 감소량에 영향을 미치는 면적을 전체 접촉면적의 1/2인  $31.2\text{mm}^2$ 로 가정했다. 이를 통해 분리력 ( $F$ )에 영향을 미치는 접촉면적 감소량은 15.7%의 2배인 32% 정도로 추론된다. 동일한 방법으로 계산 시  $\alpha$ 가 5일 때 감소량은 44.2%이다. 이는 Fig. 5에서 보여지는 실험 결과 값에서  $3^\circ$ 구간이  $1^\circ$ 구간에 비해 27% 정도,  $5^\circ$  구간은 53% 감소한 것과 근사한 값이다. 따라서 접촉면적 감소량은  $F$ 와 상관관계가 있으며 접촉면적 감소량을 분리력 감소의 참고 지표로 활용 가능하다고 판단하였다.



**Fig. 9 BRN cross section (FE analysis)**



**Fig. 10 Contact area between BRN and plate (top view)**



**Fig. 11 Change of contact area with clamping angle  $\alpha$**

**4. 결론**

본 연구는  $\alpha$ 에 따른 BRN 체결 적합성 분석을 위해 실험과 해석적 연구를 진행했으며 다음과 같은 결론에 도달했다.

(1) BRN은 수동 체결 시 BRN과 판재구멍 사이 간격 때문에 체결 각도  $\alpha$ 가 발생하며 이에 따른 영향을 분석하기 위해  $0^\circ \leq \alpha \leq 9^\circ$  범위에서 분리력을 측정했다. BRN의 분리력은  $\alpha$ 가 증가할수록 감소하며  $3^\circ$ 에서  $\Delta F$ 가 증가하여  $4^\circ$ 이상일 경우 400N이며, 이는  $0^\circ$ 일 때 보다 50% 감소한 값이다. 따라서 분리력을 바탕으로 판단했을 때 체결력을 유지하기 위

한  $\alpha$ 는 3° 미만이다.

(2)  $\alpha$ 에 따른 형상과 체결력을 분석하기 위해 유한요소해석을 진행했으며 접촉면적은  $\alpha$ 가 커질수록 감소했다.  $\alpha$ 가 1°에서 3°로 커질 때 접촉면적은 32%,  $F$ 는 27% 감소했다. 따라서 접촉면적은 분리력 감소에 대한 지표로 사용될 수 있다.

(3) 판재 소재에 따라 BRN 체결 시 판재 변형량이 달라지므로 BRN 머리부분 접촉면적이 미치는 영향이 달라진다. 추후 판재 소재 및 두께가 체결력에 미치는 영향을 분석하여 BRN 형상 별 적합한 소재 조건을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

(4) BRN는 체결 시  $\alpha$ 는 최대 3° 미만이어야 하지만 수동 체결 시 이에 대한 정확도 확보가 어렵다. 다양한 체결 상황에서  $\alpha$ 가 3° 미만으로 유지할 수 있는 BRN 체결용 지그 개발이 필요하다.

## REFERENCES

- [1] S. Hassanifard, M.R. Adibeig, M. Mohammadpour, A. Varvani-Farahani, 2019, Fatigue life of axially loaded clamped rivet-nut joints: Experiments and analyses, *International Journal of Fatigue*, Vol. 129, No. 105254. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105254>
- [2] T. Sakiyama, G. Murayama, Y. Naito, K. Saita, Y. Miyazaki, H. Oikawa, T. Nose, 2013, Dissimilar metal joining technologies for steel sheet and aluminum alloy sheet in auto body, *Nippon steel technical report*, 103, 91-98.
- [3] B. Gu, J.M. Choi, S. Hong, 2020, Design Optimization of M8 Blind Rivet Nut Geometry using Finite Element Analysis, *Trans. Mater. Process*, Vol.29, No.3, pp. 157-162. <https://doi.org/10.5228/KSTP.2020.29.3.157>
- [4] H. Y. Cho, D. B. Kim, I. H. Lee, J. K. Park, M. Y. Lee, 2011, Finite Element Analysis for Shapes Design of SPR, *Trans. Korean Soc. Mech. Eng.*, p. 1181-1186.
- [5] R. Haque, 2018, Quality of self-piercing riveting (SPR) joints from cross-sectional perspective: A review, *Arch. Civ. Mech. Eng.*, Vol.18, pp.83-93.
- [6] S. Y. Yoo, C. H. Kim, J. H. Kweon, J. H. Choi, 2016, The structural analysis and strength evaluation of the rivet nut joint for composite repair, *Composite Structures*, Vol 136, pp. 662~668. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.11.012>
- [7] A. M. De Jesus, A. L. da Silva, J. A. Correia, 2014, Fatigue of riveted and bolted joints made of puddle iron—A numerical approach, *J. Constr. Steel Res.*, Vol. 102, pp. 164-177. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2014.06.012>
- [8] E. A. Al-Bahkali, 2011, Finite element modeling for thermal stresses developed in riveted and rivet-bonded joints, *Int. J. Eng. Technol*, Vol 11, No. 6, pp. 86-92.
- [9] N. K. Jeon, T. E. Jeong, S. H. Rhee, D. H. Kam, 2019, Evaluation of CFRP/Steel/Aluminum Three Layer Joining with Self-Piercing Rivet, *J. Welding and Joining*, Vol. 37, NO. 1, pp. 56-61. <https://doi.org/10.5781/JWJ.2019.37.1.7>
- [10] A. Manes, M. Giglio, F. Vigano, 2011, Effect of riveting process parameters on the local stress field of a T-joint, *Int. J. Mech. Sci.*, Vol 53, No. 12, pp 1039~1049. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2011.07.013>
- [11] AFDEX, <https://www.afdex.com>.