

외부마감재 고정용 앵카볼트 및 브라켓의 최적설계를 위한 구조해석

이석영[†]

인하공업전문대학 기계과

(2020년 7월 24일 접수, 2020년 8월 25일 수정, 2020년 8월 27일 채택)

Structural Analysis for Optimal Design of Anchor Bolts and Brackets for Fixing External Finishing Materials

Suk Young Lee[†]

Department of Mechanical Engineering, Inha Technical College

(Received 24 July 2020, Revised 25 August 2020, Accepted 27 August 2020)

요 약

외부마감재인 석재벽체를 고정하는 앵카볼트와 브라켓에 대하여 초기 설계단계에서부터 기계 구조물에 요구되는 성능을 유지하고 높은 내구성을 확보가 필요하다. 이를 위해서는 하중조건을 고려한 설계 및 안전성 평가가 필요하므로 이를 검증하기 위한 방법으로 유한요소 해석기법을 적용한 구조해석을 진행하였다. 최적설계를 위해 다양한 형상에 대하여 구조해석을 실시한 결과, 볼트와 접촉되는 브라켓 후면 부위에서 발생하는 최대응력을 완화시키기 위하여 보강 구조물을 추가하였다. 또한, 브라켓에 보강판을 추가로 부착하여 L자 형상 브라켓의 응력 집중을 완화하여 응력분포를 균일하게 함으로서 안전율이 기준조건에 만족하는 결과를 얻었다. 이와 함께, 반복 하중에 의한 피로수명 해석까지 진행하여 피로안전계수를 분석한 결과 내구성을 검증할 수 있는 결과를 얻었다.

주요어 : 앵카볼트, 브라켓, 내구성, 최적설계, 구조해석

Abstract - For the anchor bolts and brackets that fix the stone wall, which is an external finishing material, it is necessary to maintain the performance required for the mechanical structure from the initial design stage and secure high durability. For this, the design and safety evaluation in consideration of the load conditions are necessary, so the structural analysis applying the finite element analysis technique was performed as a method to verify durability. As a result of structural analysis for various shapes for optimal design, a reinforcing structure was added to alleviate the maximum stress generated at the rear part of the bracket in contact with the bolt. In addition, a reinforcing plate was additionally attached to the bracket to relieve the stress concentration of the L-shaped bracket to make the stress distribution uniform, so that the safety factor satisfies the standard conditions. In addition, the fatigue life analysis by cyclic load was performed, and the fatigue safety factor was analyzed. As a result, the durability was obtained.

Key words : Anchor bolt, bracket, durability, optimal design, structural analysis

1. 서 론

최근 산업화와 더불어 건축물이 거대화되는 추세에 있으며, 이에 따라 건축물에 부착되는 벽체의

크기가 커지고 재질의 중량도 증가되는 추세에 있다. 이러한 벽체는 부재와의 연결에 의해서 이루어지며 부재의 연결 방법은 Fig. 1과 같이 앵카볼트와 브라켓을 이용하는 방법이 주로 사용되고 있다. 앵카볼트의 체결은 구조물에서 부품끼리 결합, 조립 및 밀폐 기능을 유지하기 위하여 사용된다. 볼트의 내구성은 연결되는 구조물 안전성에 많은 영향을

[†]To whom corresponding should be addressed.
Tel : 032-870-2131 E-mail : sylee@inhatc.ac.kr

미치게 되며, 설계가 제대로 이루어지지 못한 경우에는 응력집중에 의한 내구성 감소에 큰 영향을 주게 된다.⁽¹⁻²⁾ 이러한 앵카볼트 초기 설계단계에서부터 기계 구조물에 요구되는 성능을 유지하고 높은 내구성을 확보하기 위해서는 하중조건을 고려한 설계 및 안전성 평가가 필요하므로 이를 검증하기 위한 방법으로 유한요소 해석기법을 적용하는 것이 효과적이다.⁽³⁾ 따라서, 해석의 중점사항으로 앵카볼트 형상에 따른 모델링과 구조해석을 통해 내구성이나 성능의 만족 여부를 판단하여 반복해석을 진행함으로써 설계시간과 제작비용을 줄이는 것이다. 이와 관련된 연구는 활발하게 진행되고 있으며, Kim⁽⁴⁾은 인장력이 작용하는 볼트 이음부 거동을 규명하는 연구를 진행하였고, Han⁽⁵⁾은 압축력 하에서 볼트의 거동을 분석하는 연구를 진행하였다. 또한, Hong⁽⁶⁾은 기존의 유한요소해석을 통한 볼트 이음부의 연구들은 볼트를 제원을 통해 모델링하여 거동을 구현하기도 하였다. 따라서, 본 연구에서는 건축물 벽체를 연결시키는 앵카볼트에 대하여 내구성 검증을 위한 유한요소법을 적용한 구조해석으로 재설계를 통해 석재 앵카볼트 최적화 설계에 기여하고자 한다.

2. 구조 및 재질

구조는 앵카볼트와 너트, 브라켓으로 구성되어 있고 브라켓은 벽체와 연결되고 앵카볼트는 구조물에 삽입 후 고정되어 지지역할을 한다. 앵카볼트는 나사산이 2가지 형태이며 구조물과 접촉되는 부위와 단열재 및 브라켓과 접촉되는 부위로 나누어진다. 브라켓은 2개 부품이 서로 체결된 상태에 있고 한쪽 부품은 앵카볼트와 함께 체결되고 다른 쪽 부품은 벽체와 연결되고 있다. 이러한 구조는 Fig. 2와 같이 기존과 개선된 방식으로 나누어지는데 기존방식은 이미 언급한 구성부품으로 고정시키는 방식이고 개선된 방식은 단열재와 접촉되는 볼트의 처짐을 감소시키기 위하여 볼트지지대를 추가하여 보강시키는 방식이다. 큰 하중을 받는 볼트류와 브라켓에는 고장력강인 SUS304을 사용하였으며 재질의 물성치는 열처리가 된 상태이고 항복강도는 210MPa이며 자세한 물성치는 Table 1에 제시되어 있다.

3. 수치해석

본 해석은 시간을 연속적으로 설정하고 해석 진행하였으며 2D 설계자료를 통해 구조해석을 위한 3D 모델링을 실시하고 정확한 계산을 위해 엘리먼트

Table 1. Material specifications

Material	SUS304
Density(kg/m ³)	7,750
Young's modulus(GPa)	193
Poisson's ratio	0.31
Tensile yield strength(MPa)	210
Tensile ultimate strength(MPa)	586



(a) Existing (b) Improving

Fig. 2. Anchor bolt, bracket and support

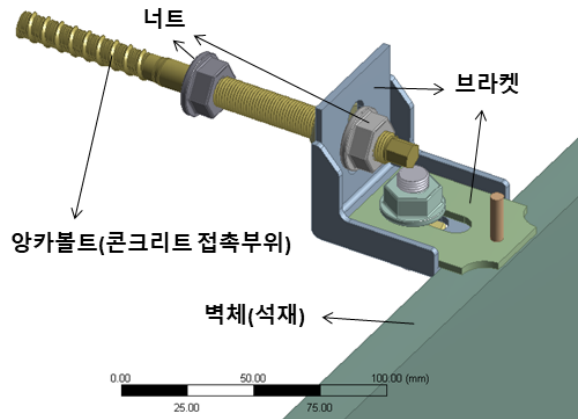


Fig. 3 Modeling in assembled state

트 및 노드 개수를 적절하게 유지하면서 격자를 생성하였고 유한요소법을 통해 구조해석을 진행하여 내구성을 검증한 후 미비점은 설계보완을 통해 시행착오 방식으로 계산을 진행하였다.

3-1 모델링 및 격자생성

Fig. 3에서와 같이 구조해석을 위해 구조물 등의

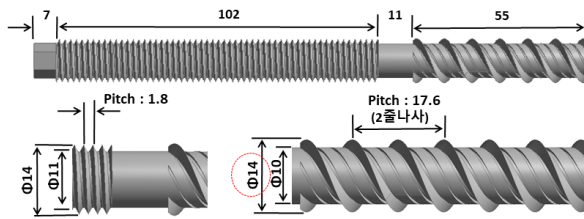


Fig. 4. Specifications of the modeled anchor bolt

Table 2. Parameters of modeling in each case

Items	Case			
	1	2	3	4
Bracket thickness(mm)	3	5	5	5
Bracket reinforcement plate	×	○	×	○
Bolt support structure	×	×	○	○

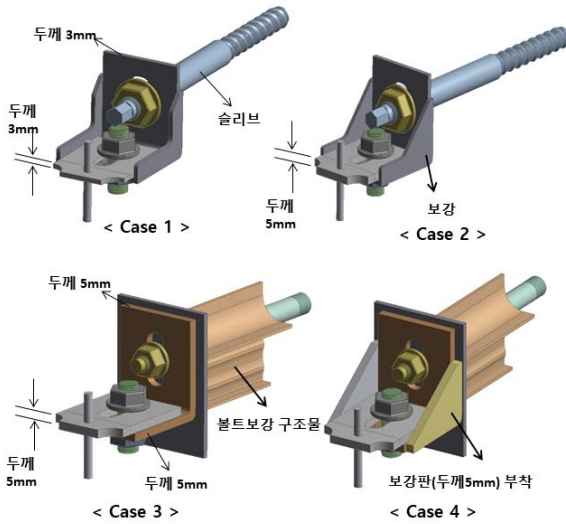


Fig. 5. Modeling divided into 4 cases



Fig. 6. Mesh generation

불필요한 부위는 생략하였고 벽체의 하중을 고려하여 벽체는 생략하고 브라켓에 벽체의 자중만큼 하중을 부여하였다. 앵카볼트는 M14로서 나사산과 피치 등에서의 응력 집중현상을 구현하기 위하여 Fig. 4와 같이 실제에 근접하여 모델링을 진행하였다. 해석과정에서 내구성 검증을 통해 보완된 모델링을 Fig. 5, Table 2와 같이 크게 4가지 Case로 구분하여 분석하였다.

수치해석에 사용된 격자는 ANSYS Tubogrid를 사용하였으며, Fig. 6은 생성된 격자를 보여주며, 앵카볼트 나사면을 정확하게 표현하기 위하여 격자를 밀집시켰다. 나사면 주변에는 사면체 (Tetrahedral), 브라켓 영역에는 주로 육면체 (Hexahedral)를 적용하였고, 전체 격자수는 노드수 (Nodes)가 27.1만개, 엘리먼트수(Element)는 15.4만개로 생성하였다.

3-2 경계조건

외부마감재인 벽체의 질량이 60kg이므로 중력작용 방향을 고려하여 Fig. 7과 같이 -Y축 방향으로 벽체가 접촉된 면에 하중을 적용하였고 앵카볼트와

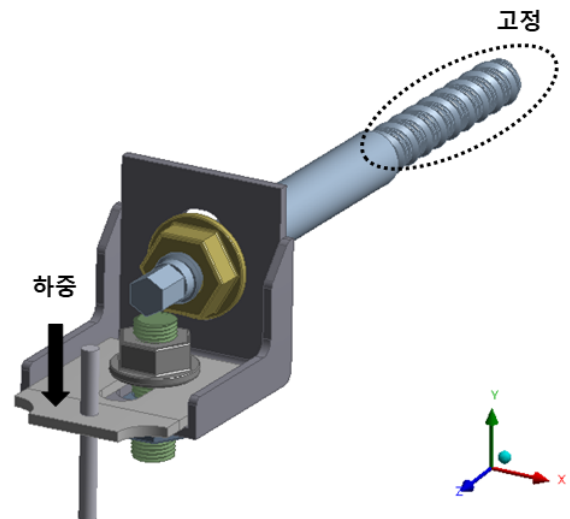


Fig. 7. Boundary condition

브라켓 자중도 함께 고려하였다. 또한, 앵카볼트에서 콘크리트 구조물에 삽입되어 접촉된 면을 앵카볼트면에 고정조건을 부여하였고 모든 부품과의 접

촉조건은 체결된 상태로 가정하였고 접촉면이 미끄러지지 않는다는 가정하에 고정(bonded)조건을 부여하였다.

4. 해석결과 및 고찰

구조해석을 통해 양카볼트와 브라켓에 대한 등가응력, 총변형량, 및 피로안전계수 등의 결과를 도출할 수 있었다. Fig. 8은 4가지 Case에 대한 응력분포를 보여주고 있으며 Table 3은 이러한 응력분포값 뿐만 아니라 변형량까지의 계산결과값을 종합한 것이다. 먼저, 최대응력은 Case 1에서 141MPa로서 가장 높게 나타나며 양카볼트와 접촉되는 브라켓 후면 부위에서 보여준다. Case 2는 Table 2에서 설정한 바와 같이 비교한 바와 같이 브라켓 두께를 2mm만큼 증가시키기에 따라 최대응력이 127MPa로 감소되었지만 양카와 브라켓 재질인 SUS304의 항복강도가 210MPa임에 따라 안전율이 1.7로서 내구성 측면에서 바람직하지 않다고 판단된다. 안전율 설정은 기계부품의 사용환경이나 용도에 따라

다르게 나타나는데 본 연구에서 양카볼트와 브라켓의 사용조건은 벽체를 지지하는 정하중의 역할 뿐만 아니라 시공작업에서 발생할 수 있는 동하중 또는 충격하중까지 안전성을 우선적으로 고려하여야 하기 때문에 충격하중을 정하중의 4배로 가정하고 안전성을 고려하여 안전율 5 이상을 내구성 검증 기준으로 설정하였다. 따라서, Case 1, 2의 안전율은 Table 3에서 보는 바와 같이 5에 미치지 못하므로 보완이 필요하게 되었다. Fig. 5의 Case 3, 4에서는 볼트 보강 구조물로 보완하여 볼트의 굽힘현상에 의한 브라켓 후면에서의 응력집중 현상을 완화시켰는데 이러한 결과로서 Case 3의 경우 응력집중 현상이 많이 감소되었으나 L자형 브라켓의 접혀진 부위에서 응력집중이 71MPa로 발생되어 Table 3에서 보는바와 같이 안전율이 2.9로 내구성 검증 기준인 5에 미치지 못함으로서 추가적인 보완이 필요하다고 판단되었다. Case 4는 Case 3의 이러한 문제점 보완을 위해서 Fig. 5와 같이 브라켓에 보강판을 추가로 부착하여 L자형상 브라켓의 응력집중 현상을 완화시켰다. Fig. 8에서 Case 4의 경우 응력분

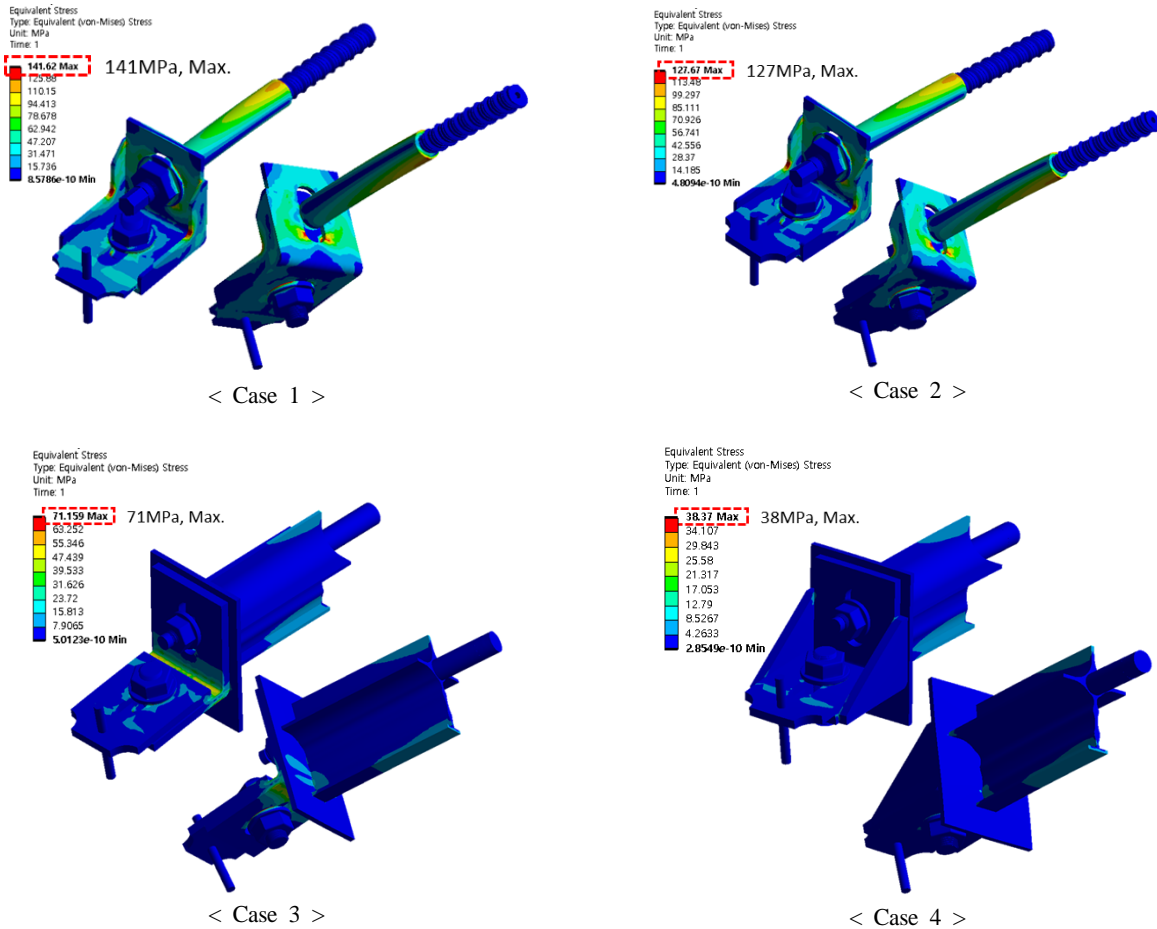


Fig. 8. Equivalent Stress distribution

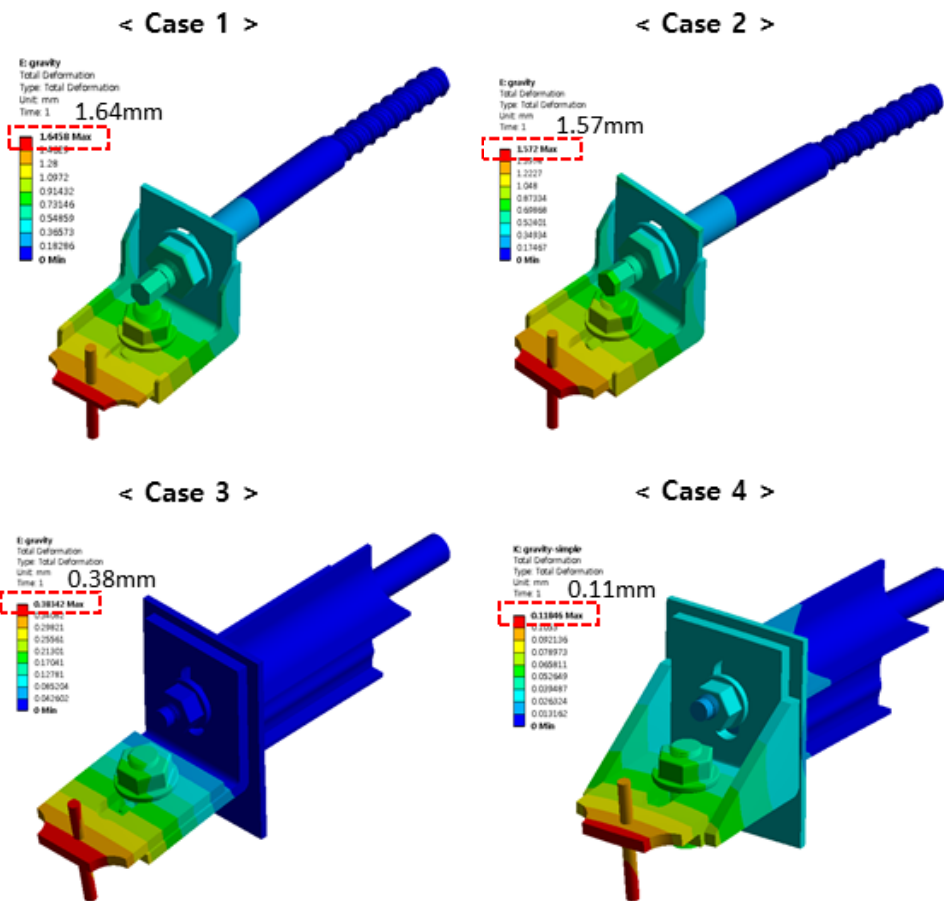


Fig. 9. Total deformation distribution

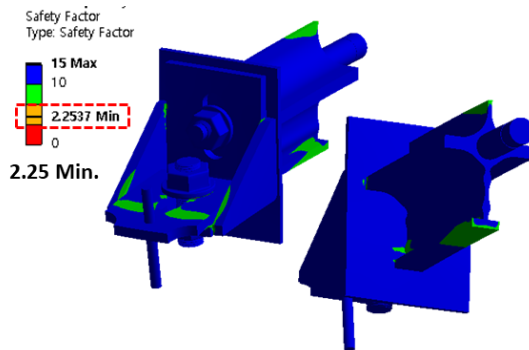


Fig. 10. Safety factor of fatigue of Case 4

포가 Case 1, 2, 3에 비해 균일하게 나타났으며 최대응력이 38MPa이며 안전율이 5.5로 내구성 검증 허용 기준 조건에 만족하는 결과가 나왔다.

Fig. 9는 4가지 Case에 대한 변형량을 보여주며 Case 1, 2의 변형량이 1.64, 1.57mm인 반면에 볼트 보강 구조물로 보강한 Case 3, 4의 변형량이 0.38, 0.11mm로서 크게 감소한 결과를 얻었다.

Table 3. Structure analysis results

Items	Case			
	1	2	3	4
Max. stress(Mpa)	141	127	71	38
Safety factor	1.5	1.7	2.9	5.5
Max. deformation(mm)	1.64	1.57	0.38	0.11

상기 4가지 Case에 대하여 최대응력, 안전율 및 변형량 등을 고려한 결과 내구성 측면에서 Case 4의 설계조건이 가장 만족한 결과라고 판단되며, 앵카볼트와 브라켓이 고정하는 벽체가 풍압 등의 외부조건에 의해 반복하중이 작용한다고 볼 수 있으므로 반복하중에 의한 피로수명 해석을 고려하였다. 이러한 판단하에 피로수명해석을 진행한 결과 피로수명횟수는 10^6 으로 계산되었고 피로안전계수는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 최소값이 2.25로서 만족한 결과를 얻었다.

5. 결 론

외부마감재인 석재재질인 벽체를 지지하는 앙카볼트와 브라켓에 대한 내구성 검증을 통한 최적설계를 유한요소법 구조응력 해석을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 안전율 5 이상을 내구성 검증 기준으로 설정하고 4가지 Case에 대하여 구조해석한 결과, Case 1, 2는 앙카볼트와 접촉되는 브라켓 후면 부위에서 최대응력이 발생하였고 안전율도 기준치를 충족하지 못하였다.

2. Case 3, 4는 볼트 보강 구조물을 보강함으로써 볼트의 굽힘현상에 의한 브라켓 후면에서의 응력집중 현상을 감소시켰으며 응력집중 현상이 많이 감소되었으나, Case 3의 경우 L자형 브라켓의 접히는 부위에서 응력집중 현상이 발생되어 안전율이 2.9로 내구성 기준인 5에 미치지 못하였다.

3. Case 4는 Case 3의 단점을 보완하기 위하여 브라켓에 보강판을 추가로 부착하여 L자형상 브라켓의 응력집중을 완화시켰고 응력분포의 균일화와 함께 최대응력이 38MPa이며 안전율이 5.5로서 내구성 기준 조건에 만족되었다.

4. 3. Case 4는 Case 3의 단점을 보완하기 위하여 브라켓에 보강판을 추가로 부착하여 L자형상 브라켓의 응력집중을 완화시켰고 응력분포의 균일화와 함께 최대응력이 38MPa이며 안전율이 5.5로서 내구성 기준 조건에 만족되었다.

5. 구조응력과 변형률 측면에서 내구성이 검증된 Case 4를 반복하중에 의한 피로수명 해석을 진행한 결과, 피로수명횟수 10^6 으로 값으로 계산되었고 피로안전계수는 최소값이 2.25로서 만족한 결과를 얻었다.

References

1. Yoon, J. C., Kang, B. S. and Kim, J., A Study on Finite Element Modeling of the Structure with Bolted Joints, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 8, pp. 205~212, 2003.
2. Kwon, Y. D., Goo, N. S., Kim, S. Y. and Cho, M. H., Finite Element Modeling for Static and Dynamic Analysis of Structures with Bolted Joints, Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 26, No. 4, pp. 667~676, 2002.
3. Lee, K. E., Kang, D. W. and Lim, G. U., The Effect of Bolt Shape on the Fatigue Property,

Proc. of KSME Spring and Autumn Conference, pp. 1560~1563, 2013.

4. Kim, H. D., Evaluation of Tensile Behaviors of Beam Splice with High Strength Bolts According to Steel Grades, Journal of Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 21, No. 1, pp. 129-137, 2020.
5. Han, J. H. et al., Slip Behavior of High-Tension Bolted Joints Subjected to Compression Force, Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 20, No. 2, pp. 279-288, 2008.
6. Hong, J. H. and Kim, T. S., Numerical Analysis on Structural Behaviors of Single Shear Two-Bolted Connection with Lean Duplex Stainless Steel, Journal of Korean Society Of Steel Construction, Vol. 32, No. 2, pp. 75-84, 2020.