

< 논문 >

하이드로 임베딩시 연결요소의 회전을 통한 체결력 개선 연구

김봉준* · 김동규** · 김동진*** · 문영훈†
(2005년 11월 9일 접수, 2006년 11월 7일 심사완료)

Improvement of Connection Force in Hydro-Embedding Process Through the Rotational Piercing of the Connection Element

Bong-Joon Kim, Dong-Kyu Kim, Dong-Jin Kim and Young-Hoon Moon

Key Words : Embedding(임베딩), Hydroforming(액압성형), Connection Element(연결요소), Rotational Piercing(회전 피어싱), Connection Force(체결력)

Abstract

To increase the applicability and productivity of hydroforming process, hydro-embedding process was developed by combining the hydro-forming process with embedding process simultaneously. It is necessary in the automotive parts to form hollow bodies with connection elements which combine one part with another. The hydro-embedding process is embedding the connection element hydraulically during the operating steps of the hydroforming. In this study, technique of rotational piercing is added on the existing hydro-embedding to increase the connection force of hydro-embedded element. To estimate the feasibility of new trial process, integrated researches on the hydro-embedding process technology have been performed by analyzing the deformed mode of the tubes and the optimal process parameters for various shapes of the connection elements.

1. 서론

하이드로 임베딩(hydro-embedding) 공정의 기본적인 메커니즘은 관재 내부의 유압이 작용하면서 연결요소가 금형의 가이드저널(guide journal)을 따라 이동하면서 관재 반경방향으로 압축하중을 가하여 연결요소 단면을 따라 관재에 전단응력과 내부압력에 따른 소성변형을 발생시켜 연결요소와 관재를 결합시키는 것이다.⁽¹⁻⁴⁾ 이 때 관재 내부의 고압의 유체는 끝단이 관재와 연결요소를 밀어내면서 소성변형시킬 때 지지대 역할을 하여 관재에 피어싱과 동시에 연결요소의 결합이 일어나도록 한다.

그러나 관재의 두께와 연결요소의 형상에 따라 결합력이 좌우되므로 최적연결요소를 설계하여 파악하여 결합력을 향상시켜야 한다.

따라서 본 연구에서는 임베딩시 주요 공정변수인 연결요소의 끝단 형상, 연결요소 외측부의 나선 피치 형상이 결합력에 미치는 영향도를 분석하고 실제 하이드로포밍 공정이 적용되고 있는 자동차 차체 부품에 적용 가능한 공정기술을 개발하는 것이다. 이를 위해 각각의 형상별 플랜지 깊이와 인장실험을 통한 체결력을 각각 비교, 분석하였다. 또한 관재와 연결요소간 결합력을 개선시키기 위해 유압모터를 이용하여 연결요소를 관재 벽면을 가압하여 전단력을 통해 피어싱이 일어남과 동시에 회전력을 발생시켜 연결요소가 직선운동과 동시에 회전운동을 하여 관재 내부에 안착되도록 하는 장치 시스템을 적용하여 체결력을 개선하고자 하였다.

2. 본론

2.1 실험장치

하이드로포밍 실험에 사용된 실험장치는 4 주형 하향식 유압프레스 800KN 에 고압생성장치로

† 책임저자, 회원, 부산대학교 정밀기계공학과

E-mail : yhmoon@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-1672, FAX : (051)512-1722

* 회원, 부산대학교 정밀기계공학과

** 성우하이텍 기술연구소

*** 포항제철 기술연구소

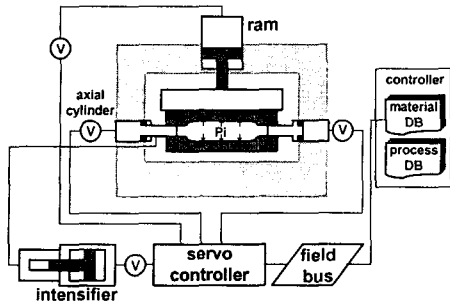
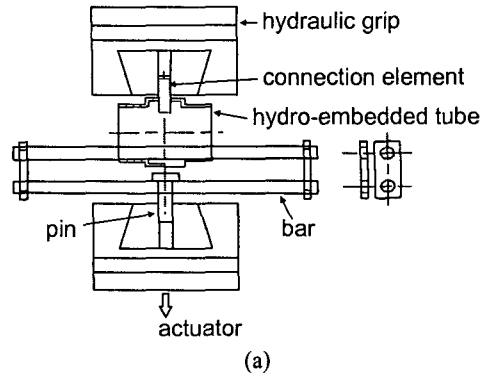
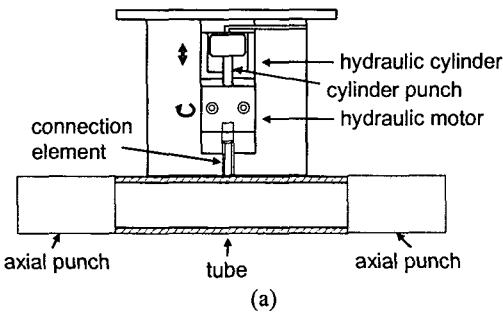


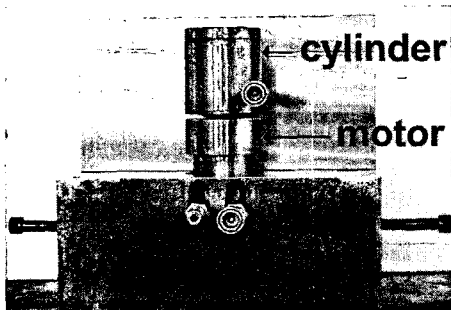
Fig. 1 Schematic drawing of hydroforming machine



(a)



(a)

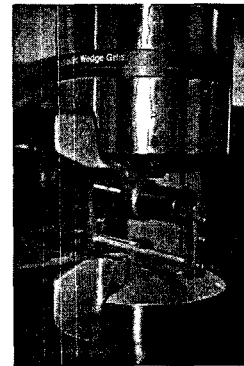


(b)

Fig. 2 (a) Schematic drawing and (b) photograph of hydro-embedding apparatus

증압기(intensifier 200MPa)가 있으며, 좌우 양쪽에 800KN의 축방향 유압 실린더 2대에 축방향 펀치가 장착되었고, 유압을 공급하는 서보 하이드로릭 유닛(servo hydraulic unit)등으로 구성된다.(Fig. 1) 하이드로포밍기의 상금형에 장착한 임베딩장치의 개략도와 사진을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에 보인 바와 같이 연결요소가 직선운동을 통해 부품 내에 피어싱될 때 유압모터를 이용하여 회전시킴으로써, 관재 벽면으로 가압시킴과 동시에 회전력도 부가하여 체결력을 개선시킬 수 있도록 하였다.

Fig. 3은 연결요소를 체결한 후 그 체결력을 평가하기 위한 인장용 지그로서 인장실험을 통한



(b)

Fig. 3 (a) Schematic drawing and (b) photograph of connection force measuring device

하중-변위곡선으로부터 체결력을 평가하였다.

연결요소는 형상을 Fig. 4에 보인 바와 같이 5가지로 설계를 하였으며⁽⁵⁾, 소재는 냉간금형용 합금공구강 SLD를 사용하였다. 1번 형상에서는 연결요소의 앞부분에 6mm 정도의 펀치 형상으로 돌출되게 설계를 하였으며, 2번 형상은 나사형상으로 일장에서 많이 사용하는 형태이며, 쉽게 가공이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 3번 형상은 연결요소의 앞부분 6mm 정도를 펀치형상으로 돌출시켰으며, 돌출부분에 각도를 112°로 설계하였다. 이는 딥드로잉에서 다이 계단부에 라운딩이나 테이퍼를 줌으로 성형성을 높이는데 이를 연결요소에 적용을 시켜 더욱 깊은 플랜지 깊이를 얻을 수 있다. 테이퍼는 양쪽으로 56°씩 112°를 주었다. 4번 형상은 일반나사형상의 연결요소에 112°의 돌출 형상을 주었다. 아울러 5번 형상의 경우 1번 형상의 끝단 형상에서 1mm 가량으로 내측으로 오목한 형상으로 제작하여 연결요소의 끝단 접촉의 영향도를 평가하기 위해 제작하였다.

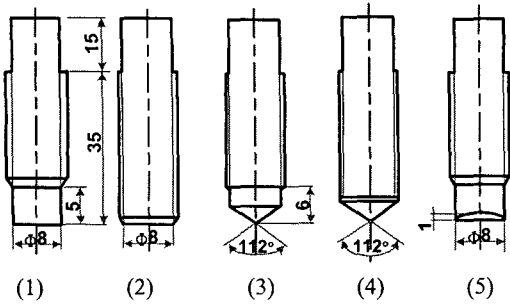


Fig. 4 Shape of the connection elements

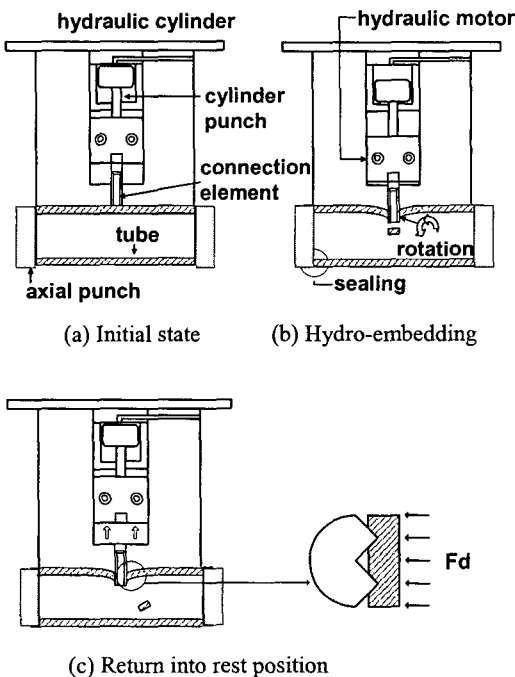


Fig. 5 The sequence of the hydro-embedding process

2.2 공정순서

Fig. 5 에서 보는 바와 같이 하이드로 임베딩 공정을 위해 상금형과 하금형 사이에 안착된 관재 양 끝단의 가압 펀치를 통해 고압의 유체로 관재 내부를 충전시킨다. 유압실린더가 작동되면 실린더 펀치 끝단에 연결된 유압 모터가 상하로 왕복 운동을 하여 유압 모터 끝단에 연결된 연결요소가 직선운동과 회전운동을 동시에 할 수 있도록 한다. 유압 실린더부에서 유압이 작용시 실린더 펀치를 전방으로 밀어내면서 연결요소가 관재 벽면을 가압하여 전단력을 통해 피어싱이 일어남과 동시에

유압 모터부의 유압 입출단을 통한 오일 유입으로 회전력이 발생하여 연결요소가 직선 운동과 동시에 회전 운동을 하며 관재 내부에 체결된다.

유압 실린더만을 이용하여 연결요소를 단순히 관재 반경방향으로 가압하는 비회전 하이드로 임베딩 실험 순서는 다음과 같다.

- ① 유압 실린더에 미리 체결될 연결요소를 장착시켜 준다.
- ② 관재의 내부압력을 증가시키는 동시에 관재 축방향 압입을 주어서 관재를 미리 예비성형을 시킨다.

③ 관재 내부에 32MPa 의 내부압력(Fd)이 유압 실린더를 작동시켜 연결요소를 가압한다..

④ 예비성형 후 내부압력을 제거한 뒤 다시 내부압력을 36MPa 까지 올려 줌과 동시에 유압실린더를 작동시켜 연결요소를 가압한다.

⑤ 연결요소가 체결 후 체결력을 측정하기 위하여 인장장비로 인장실험을 한다.

하이드로 임베딩 공정시 체결력 개선의 목적으로 연결요소를 회전시키면서 관재 반경방향으로 가압하는 회전 하이드로 임베딩 실험 순서를 아래에 나타내었다.

- ① 유압 실린더와 함께 연결된 유압 모터 끝단에 체결될 연결요소를 장착시켜 준다.
- ② 유압모터의 회전수에 따라서 체결력의 변화가 있기 때문에 회전수를 최적의 조건으로 조절한다.

③ 관재 내부에 30MPa 의 내부압력이 작용시 유압모터를 회전 시킨 후 약 32MPa 에서 유압 실린더를 작동시켜 연결요소를 가압한다.

④ 연결요소가 체결된 관재에 내부압력을 36MPa 까지 상승시킨다.

⑤ 연결요소가 체결 후 결합력을 측정하기 위하여 인장장비로 인장실험을 한다.

회전 하이드로 임베딩 실험의 경우 유압실린더 속도에 따른 유압모터의 회전수 조절이 중요하므로 예비시험을 거쳐 최적으로 판단되는 설정속도인 640RPM 으로 실험하였다.

SAPH370 관재(외경 50.8mm, 두께 2.5t)를 이용하여 최대 성형압력 50MPa 과 전체 축방향 압입량을 5.5mm 로 예비성형 후 내부압력을 0 으로 압력을 낮춘 뒤 다시 내부압력을 36MPa 과 전체 축방향 압입량을 5.8mm 까지 작용을 시켜 연결요소를 체결시킨 공정곡선을 Fig. 6 에 나타내었다. 연결요소가 체결된 단면 형상으로부터 내부압력과 연결요소 형상에 따른 플랜지 깊이를 측정하여 분석하였다.

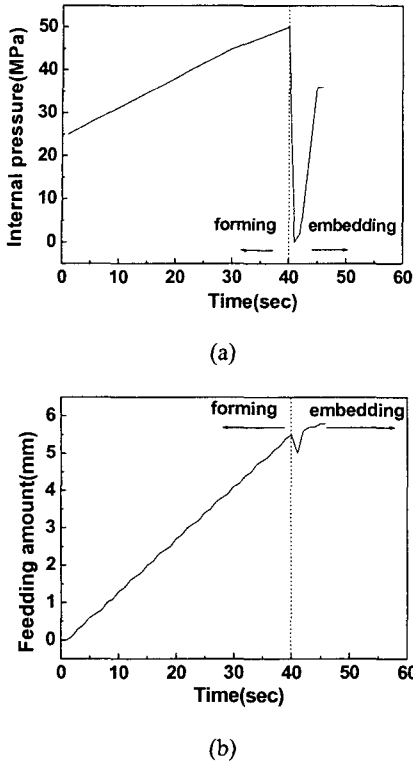


Fig. 6 The loading path (a) pressure-time curve (b) feeding amount-time curve

3. 실험 결과

3.1 비회전 임베딩시 연결요소의 형상에 따른 체결력 연구

형상별 연결요소를 이용하여 전술한 과정에 따라 임베딩 실험을 진행하였다. 실험결과 얻어진 시편은 체결력을 평가하고 Fig. 7 과 같이 성형형상 분석을 위해 0.1mm 와이어를 이용하여 단면을 절단해서 플랜지 깊이와 체결부의 나선선 생성 여부를 분석하였다.

Fig. 8 에는 임베딩된 튜브의 체결력 평가시험을 통해 얻어진 하중-변위곡선의 예를 나타내었다. Fig. 3 의 장치를 이용하여 연결요소 끝단과 관재를 지그에 고정하고, 5mm/min 의 크로스헤드(cross head) 속도로 인장시험을 하였다. 하중-변위곡선의 최대하중치를 결합력으로 간주하였다.

형상별 연결요소에 대한 분석결과를 Fig. 9 에 나타내었다. 실험은 결과값의 재연성을 위해 같은 성형조건으로 3 회씩 실시하고, 그 평균값과 편차를 측정하였다. 하이드로 임베딩시 형성되는

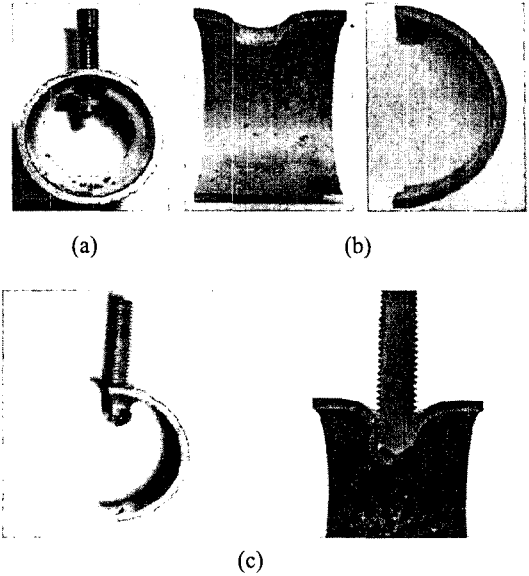


Fig. 7 (a) Hydro-embedded tubes, (b) sectioned tubes for measuring flange depth, and (c) sectioned connection element to investigate degree of contact with flange

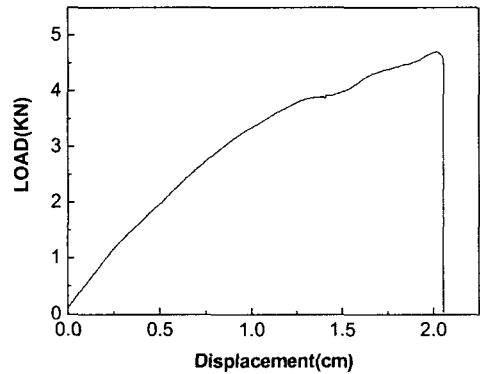


Fig. 8 Example of load-displacement curve for connection force

플랜지깊이가 클수록 체결력도 증가함을 알 수 있으며 플랜지 깊이와 체결력이 3 번 형상에서 가장 컸다. 이것은 하이드로 임베딩 공정시 관재에서 소성변형이 점진적으로 발생하여 결국에 전단이 일어나는데, 전단이 일어나는 과정에서 끝단부의 직경이 점진적으로 증가하게 되면, 계속적인 가압으로 관재 끝단이 플랜지 형상으로 소성변형을 일으키기 때문이다. 하이드로 임베딩시 형성되는 플

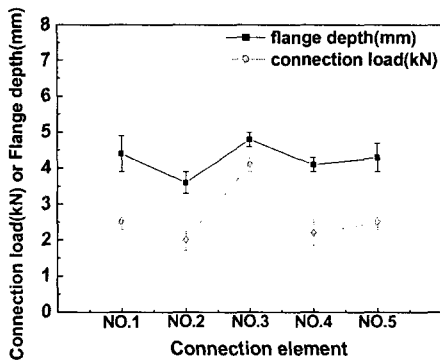


Fig. 9 Flange depth and connection force non-rotational hydro-embedding

랜지는 관재 내부에 가해진 내부압력에 의해 가압되어 연결요소의 나사부 표면에 밀착하기 때문에 플랜지 깊이가 깊은 3번 형상의 경우 관재와 연결요소의 나사부의 접촉 면적이 넓어지고 이로 인한 마찰로 인해 가장 높은 체결력이 나왔다. 그리고 5번 형상의 경우 1번 형상과 펀치 바닥면의 접촉마찰이 줄긴 하지만 성형되는 플랜지 깊이상의 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았으며, 체결력에서도 큰 차이가 없었다.

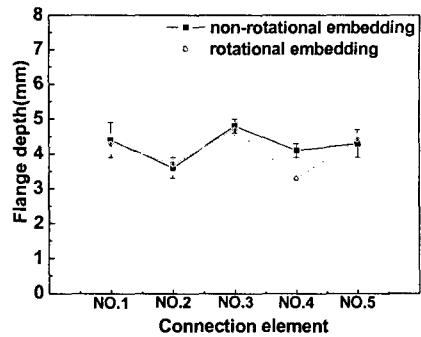
앞의 실험을 통해서, 비회전 임베딩시 연결요소의 형상별 체결력 추이가 형성되는 플랜지 깊이에 크게 의존함을 알 수 있다.

3.2 회전 임베딩시 연결요소의 형상에 따른 체결력 연구

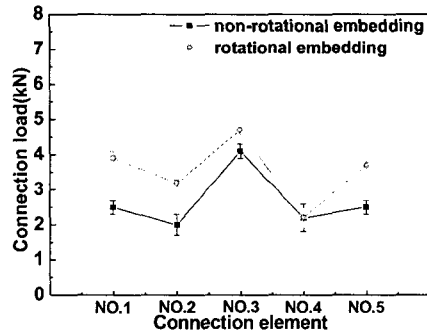
‘3.1’절과 달리 하이드로 임베딩시 연결요소를 회전시키면서 연결요소를 체결하는 방법을 적용하여 체결력을 평가하였다.⁽⁶⁾ 전술한 실험절차에 준하여 실험을 진행하였고 비회전 하이드로 임베딩의 경우와 비교하기 위해 플랜지 깊이와 체결력을 평가하였다.

실험 결과 얻어진 각각의 연결요소 형상별 플랜지 깊이와 체결력을 Fig. 10에 나타내었는데 비회전 임베딩실험에서 유압실린더만을 적용시켜 관재 반경 방향으로 단순히 연결요소를 압입하는 경우에 비해 체결력이 크게 향상되었다. 플랜지 깊이의 경우 Fig. 11에 보인 바와 같이 비회전 임베딩에 비해 뚜렷한 증가 경향을 보이지는 않았는데 이는 플랜지 깊이가 연결요소의 끝단형상에 의한 소성변형에 크게 의존하기 때문인 것으로 판단된다.

체결력의 경우, 회전임베딩의 경우가 대부분의



(a) Flange depth



(b) Connection load

Fig. 10 Comparison of depth and connection force between non-rotational and rotational hydro-embedding

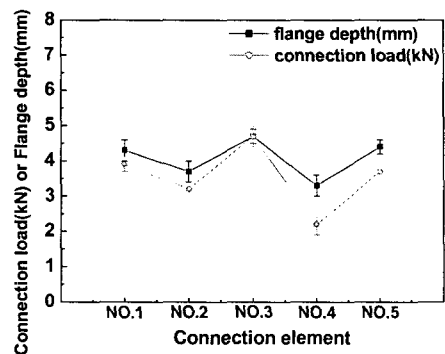


Fig. 11 Effect of flange depth on connection force in hydro-embedding

경우 높은 체결력을 보인 것은 공정으로 회전시 단면부위에 나사선의 형성이 용이해짐에 기인한 것으로 판단된다. 이는 연결요소와 관재 간의 결

합 면적이 높아지는 것을 의미하며, 이를 통해 연결요소에 외력이 작용시 체결력을 높일 수 있다.

본 연구에서 진행된 일련의 시험결과를 볼 때 비회전 임베딩실험에서 체결부의 플랜지 깊이에 의해 체결력 차이가 크게 발생을 하였지만 회전 임베딩 실험에서는 플랜지 깊이에 일차 영향을 받되 회전시 나사산 형성의 용이성으로 인한 연결요소 나사부와 플랜지부위의 접촉정도 개선이 체결력 개선에 크게 기여하는 것으로 판단된다.

4. 결론

하이드로 임베딩시 연결요소의 체결력 개선을 위한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 비회전 임베딩시 연결요소의 형상에 따른 체결력 연구결과 하이드로 임베딩시 형성되는 플랜지 깊이가 클수록 체결력도 증가함을 알 수 있으며, 플랜지 깊이에 영향을 미치는 것은 주로 연결요소의 끝단 형상이었다.

(2) 하이드로 임베딩시 형성되는 플랜지는 관재 내부에 가해진 내부압력에 의해 가압되어 연결요소의 나사부 표면에 밀착하기 때문에 나사부의 접촉 면적이 넓어지고 이로 인한 마찰로 인해 가장 높은 체결력이 나왔다.

(3) 연결요소의 회전 임베딩실험에서 체결력이 크게 향상되었다. 플랜지 깊이의 경우 비회전 임베딩에 비해 뚜렷한 증가 경향을 보이지는 않았음에도 체결력이 증가한 것은 연결요소의 회전으로

인한 나사산 형성의 용이성으로 연결요소 나사부와 플랜지 부위의 접촉정도 개선에 기인한 것으로 판단된다.

(4) 비회전 임베딩실험에서 체결부의 플랜지 깊이에 의해 체결력 차이가 크게 발생을 하였지만 회전 임베딩 실험에서는 플랜지 깊이에 일차 영향을 받되 회전으로 인한 연결요소 나사부와 플랜지 부위의 접촉정도 개선여부에 의해 체결력이 결정된다.

참고문헌

- (1) Schulze, B., 2000, "Method for Embedding Connection Elements in a Wall," US Patent, USP 6,134,767.
- (2) Mario, D. R. and Paolo Giuseppe, G., 1994, "Process for Fixing a Tubular Reinforcing Insert to a Tubular Metal Structure and Apparatus for Carrying out the Process," European Patent, EP0593950A1.
- (3) Mario, D. R. and Paolo Jiyuzetsupe, G., 1994, "Method and Device for Fixing Tubular Reinforcing Insert into a Tubular Metal Structure," Japanese Patent, JP6198358.
- (4) Gerhard, S. and Wolfgang, R., "Joining Part to Second Part Method," German Patent, DE19508632.
- (5) Lee, B. C. and Kim, Y. K., 1989, "A Parametric Study of Bolt-Nut Joints by the Method of Finite Element Contact Analysis," *Transactions of KSME*, Vol. 13, No. 3, pp. 353~361.
- (6) Hong, S. J., You, J. H. and Lee, D. J., 2005, "Prediction of the Dynamic Characteristics of a Bolt-Joint Plates According to Bolting Conditions," *Transactions of KSME A*, Vol. 29, No. 9, pp. 1175~1182.