

무용접 후렉시블 조인트 개발에 관한 기초연구 A Fundamental Study on Development of Non-Welded Flexible Joint

오철훈* · 박환철** · 정지현***†

Choel-Hoon Oh*, Hwan-Chul Park** and Ji-Hyun Jeong***†

(Received 17 November 2016, Revised 02 February 2017, Accepted 02 February 2017)

Abstract: The flexible joint with bellows and flange is made by welding bellows and flange in general. The welded parts cause a crack or damage in the flexible joint due to continuous vibration and fatigue limit. This paper is concerned with development of flexible joint with non-welded, free rotation of flange and non-packing to improve fatigue failure condition between bellows and flange. The support box and support plate that are components of press part are designed to compress fore-end of bellows only without damage of bellows. The production system of flexible joint is designed with piston attached on the compression side. The simulation is performed using Deform 3D software. As the result of simulation, the shape of compressed bellows was most proper in the compression power of 157 kg-f and any deformation has not occurred at a part besides fore-end. The result show that the production possibility of the designed flexible joint.

Key Words : Flexible joint, Bellows, Non-welded, Support box, Support plate

1. 서 론

수송 기계용 배기 시스템이나 산업 기계용 배관 시스템 등에서 쓰이고 있는 후렉시블 조인트(flexible joint)는 벨로우즈(bellows)와 플렌지(flange)로 구성되어 있으며, 주로 진동, 소음이나 열변형을 흡수할 목적으로 사용되고 있다. 특히 자동차 배기 시스템(exhaust system)에서 후렉시블은 파워 플랜트계 및 엔진 공회전(idle)시 관성력의 불균형

이나 토크 변동에 의해 발생하는 진동 및 소음을 저감시키고, 주행 중에 노면으로부터 발생하는 진동을 흡수하여 승차감 향상은 물론 배기 시스템의 내구성을 향상시키는데 사용되고 있다.^{1,2)} 또한 선박에서 다양한 형태의 열과 압력, 진동을 받으며 팽창과 수축을 반복하는 곳의 파이프에 완충장치로 후렉시블 조인트가 사용되고 있다. 블랭킹과 피어싱 및 스탬핑 공정을 거친 후 내·외경을 연속적으로 용접하여 주름관 형태로 제작된 탄성체인 후렉시블 조인트는 높은 진공, 고온, 부식성

***† 정지현(교신저자) : 제주대학교 기계공학전공

E-mail : badaro@jeju.ac.kr, Tel : 064-754-3627

*오철훈 : 제주대학교 문화조형디자인전공

**박환철 : 부경대학교 실습선

***† Ji-Hyun Jeong(corresponding author) : Major of Mechanical Engineering, Jeju National University.

E-mail : badaro@jeju.ac.kr, Tel : 064-754-3627

*Choel-Hoon Oh : Department of Culture and Formative, College of Art and Design, Jeju National University.

**Hwan-Chul Park : Training Ship, Pukyong National University.

유체 등의 악조건에서 사용된다. 후렉시블 조인트를 이용한 밀봉장치(mechanical seal)는 상대 운동을 하는 두 부품사이의 기밀을 유지하여 기름 유출을 방지하는 부품으로 우주항공, 자동차, 화학 등 고온, 고압 및 고성능을 요구하는 분야에서 많이 사용되고 있다.³⁻⁵⁾

하지만 기존에 사용되고 있는 후렉시블 조인트는 플렌지와 벨로우즈를 용접에 의해 연결시켰다. 따라서 기기의 진동에 취약하여 용접부위의 크랙(crack) 등의 파손이 빈번히 발생하고 있다. 또한 후렉시플 조인트의 플렌지와 고정 플렌지를 연결할 때 석면패킹이나 구리, 납, 알루미늄 등을 이용한 연결금속패킹을 사용하기 때문에 조립공정이 늘어나며 주기적으로 패킹을 교체해야 하는 번거로움이 있다.

플렌지의 연결과정에서 플렌지와 플렌지 사이의 볼트 체결홀이 일치하지 않으면 벨로우즈에 변형력이 작용한 상태에서 연결되어 벨로우즈 파손의 원인이 되고 있다. 따라서 벨로우즈의 피로 파괴 조건을 향상시킬 수 있도록 플렌지와 벨로우즈가 무용접으로 연결되고, 360도 자유회전을 갖는 플렌지로 구성되며, 패킹이 필요 없는 재료로 이루어진 후렉시블 조인트의 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 무용접 후렉시블 조인트 개발을 위해 기존 벨로우즈의 선단부(최상단 돌출부)를 압착할 수 있는 공정을 제안한다. 벨로우즈를 손상 입히지 않고 선단부만 압착하기 위해 하부 지지대와 지지판을 설계하고 압축이 시작되는 면에 압축판(피스톤)이 평행 밀착되도록 후렉시블 조인트 제작 시스템을 설계한다. 설계한 압축시스템을 형상변형 전용 프로그램인 Deform 3D를 이용하여 설계한 공정을 시뮬레이션하고, 변형된 벨로우즈 압착부의 최적형상과 요구되는 피스톤의 적정한 압축력을 찾아보고자 한다.

2. 장치 모델링 및 설계조건

2.1 후렉시블 조인트 제작 시스템

벨로우즈의 형상은 그 형태에 따라 U형, Ω형,

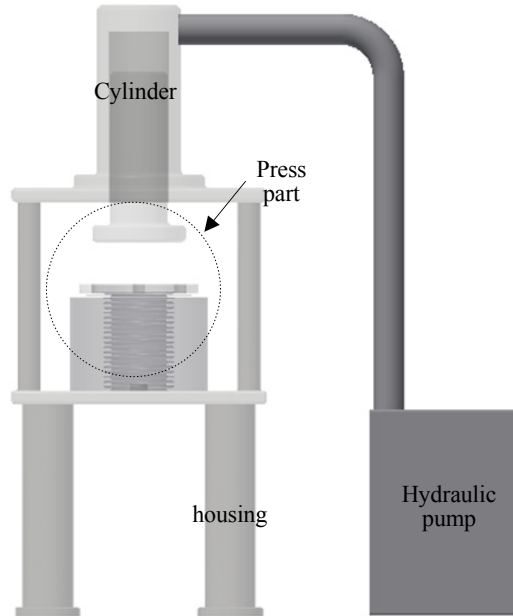


Fig. 1 Design of Making Flexible System

S형으로 나누어지고, 벨로우즈의 겹 수에 따라 한 겹, 두 겹, 다중 겹으로 나눈다. 또한 강화 링(reinforced ring)의 유무에 따라 비강화 벨로우즈(unreinforced bellows), 강화 벨로우즈(reinforced bellows) 등의 여러 가지 형태로 나눌 수 있다. 그 중 U형 벨로우즈는 뛰어난 신축성과 제작 및 적용의 용이성으로 인해 가장 널리 쓰이고 있다.

본 연구에서는 여러 형태의 벨로우즈 중에서 선박에서 주로 사용되고 있는 U형 벨로우즈를 선정하고 그 형태에 맞게 무용접 후렉시블 조인트 제작 시스템을 구성하였다. 본 연구에서 제안하는 무용접 후렉시블 조인트 제작 시스템은 Fig. 1과 같이 유압펌프(hydraulic pump), 본체(housing), 압축부(press part) 등의 3부분으로 구성되어 있다. 유압펌프에서 가압된 유체는 펌프상측에 연결된 유압파이프를 통해서 유압실린더로 들어가고, 유압실린더 내부에 있는 피스톤을 가압된 압력으로 밀어 내린다. 기존에 제작되어 있는 U형 벨로우즈를 후렉시블 조인트 길이에 맞춰 절단하고 피스톤과 접촉되는 절단 부분은 연삭가공(grinding)하여 절단면이 밀봉(sealing)역할을 잘 할 수 있도록 제작한다. 제작된 벨로우즈는 압축부에 플렌지

(flange)와 함께 삽입되어 피스톤의 가압에 의해 절단면이 압착되게 한다. 피스톤의 하강압력에 충분히 견딜 수 있도록 견고한 4축 지지대를 가진 본체는 압력부를 지지한다. 무용접 후렉시블 조인트 제작 시스템 중 벨로우즈를 압착시키는 압축부의 개략도를 Fig. 2에 나타낸다. 압축부는 절삭가공된 절단면을 압착시키는 피스톤과 벨로우즈가 피스톤에 의해 압착이 가능하도록 벨로우즈의 홈(골) 사이에 삽입되는 지지판(support plate), 지지판에 작용하는 압력을 견딜 수 있도록 설계된 원통형 지지대(support box)로 구성되어 있다. Fig. 3에 무용접 후렉시블 조인트 제작 공정을 나타낸다.

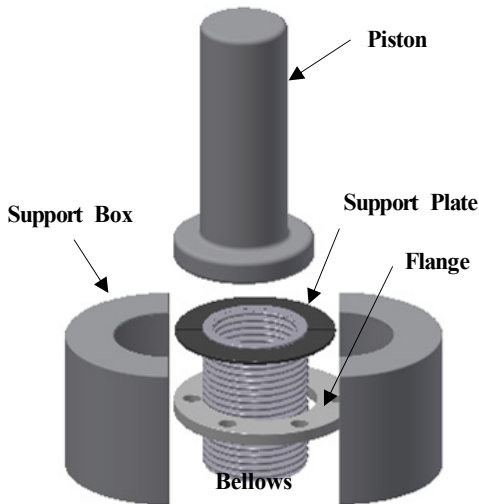


Fig. 2 Schematic Diagram of press part

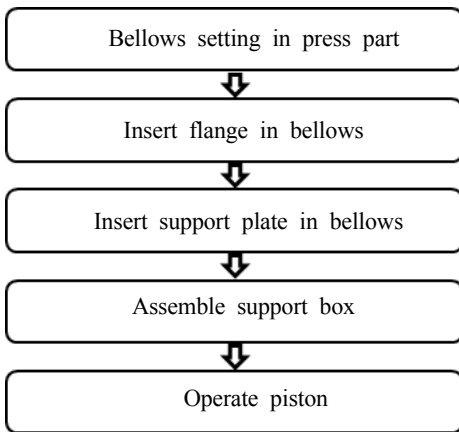


Fig. 3 Sequence for operating of press part

먼저 연삭 가공된 벨로우즈의 선단부가 상부로 향하게 압력부에 위치시키고 플랜지를 삽입한다. 그 다음 압착이 되는 벨로우즈의 선단부 아래의 홈에 반원형 판 2개로 구성된 지지판을 삽입한다. 그리고 원통형 지지대를 지지판 아래에 조립 후 유압펌프를 작동시키면 벨로우즈의 선단부가 피스톤에 의해 압착되어 압착단부가 된다. 이 과정을 벨로우즈의 반대측에서도 동일하게 진행하면 양측의 플랜지가 벨로우즈의 외측에서 고정되지 않고 자유로이 움직일 수 있으며 이탈하지도 않는 후렉시블 조인트가 된다. 플랜지가 벨로우즈 외측에서 움직이면 후렉시블 조인트를 고정된 파이프에 연결 시 파이프에 설치되어 있는 고정 플랜지와 후렉시블 조인트 플랜지 사이의 보울트 구멍을 쉽게 맞출 수 있는 이점이 생긴다. 또한 선단부가 압착되어 압착단부가 만들어지면 고정 플랜지와 후렉시블 조인트 플랜지 사이에 압착단부가 패킹(packings)역할을 하기 때문에 따로 패킹을 삽입할 필요가 없어진다. 그러나 압착단부가 볼트와 너트의 조임 힘으로 눌러지면서 패킹역할을 하기 때문에, 한번 사용된 후렉시블 조인트를 분해 후 다시 사용할 시에는 압착단부의 패킹역할이 미미할 것으로 사료된다.

2.2 벨로우즈 기하 모델

무용접 후렉시블 조인트 제작에 사용되는 벨로우즈는 선박에서 가장 많이 쓰이는 U형 벨로우즈 중 하나를 선택하여 Fig. 4에 나타내었다. 벨로우즈의 파라미터(parameter)는 Table 1에 나타난 것처럼 벨로우즈의 두께, 골을 기준으로 한 벨로우즈의 지름(diameter in), 산을 기준으로 한 벨로우즈의 지름(diameter in), 산을 기준으로 한 벨로우즈의 지름(diameter in), 산을 기준으로 한 벨로우즈의 지름(diameter in)이다.

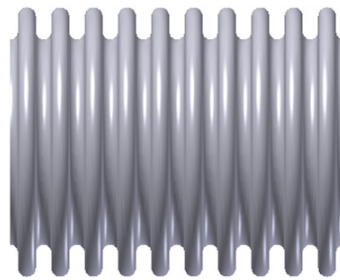


Fig. 4 Geometric model of U type bellows

Table 1 Design parameters of U type bellows

Parameters	Value
Thickness	0.8 mm
Diameter in/out	154/165 mm
Pitch	25 mm
Radius ratio of curvature	1
Diameter of thread	13.3 mm

우즈의 지름(diameter out), 피치(pitch), 산과 골의 곡률반경비(radius ratio of curvature) 그리고 산의 지름(diameter of thread) 등으로 구성되어 있다.

2.3 벨로우즈 유한요소 모델

후렉시블 조인트의 유한요소모델은 Fig. 5와 같다. 벨로우즈의 기하모델에서는 산이 11개로 많지만 해석시간의 다축을 위해서 실제 압착이 되는 부분인 지지판 상측부와 힘을 받는 부분인 지지판 하측부만 유한요소 모델을 하고 해석하였다. 해석 소프트웨어는 벨로우즈의 두께 감소율까지 분석할 수 있는 시뮬레이션 프로그램으로서, 현재 널리 사용되고 있는 상용 소프트웨어인 Deform 3D를 이용하여 FEM(Finite Element Method)을 수

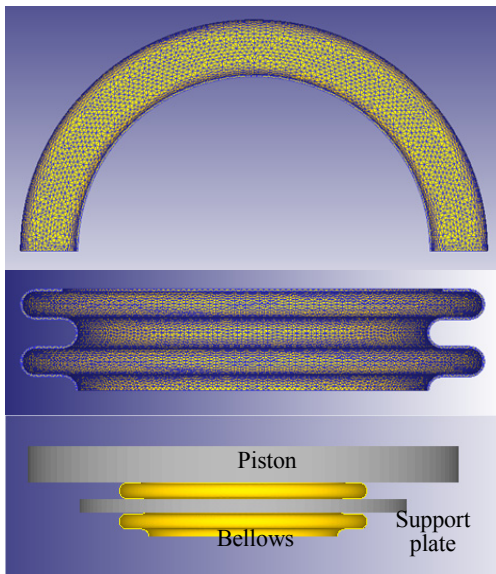


Fig. 5 FE model of U type bellows

Table 2 Material properties of model

Material	SUS 304
Young's modulus	188150 MPa
Possion's ratio	0.3
Thermal expansion coefficient	1.7E-5

행하였다. Deform 3D는 기본적으로 design modeler기능이 없기 때문에 CAD전용 tool인 Autodesk Inventor를 이용하여 후렉시블 조인트 제작 시스템의 형상을 먼저 그리고 난 뒤 Deform 3D상으로 import시켜서 모델링하였다. 대부분의 유한요소해석에서 절점(node)과 요소(element)의 수가 많아지면 해석시간이 길어지고, 수치적으로 국부적인 에러(error)가 발생하는 경우가 많다. 따라서 본 해석에서 대상이 되는 벨로우즈는 Fig. 5의 가장 상부 그림과 같이 한 축으로 상·하 대칭성을 가지기 때문에 한 축(x 축)을 기준으로 대칭면(symmetry plane)을 설정하여 상측(요소 수 : 200,000개, 메쉬타입 : tetrahedral mesh)만 해석하였다. 이것은 해석시간을 줄일 수 있고, 수치적 에러도 줄일 수 있을 것으로 판단된다.^{6,7)}

벨로우즈가 압착되는 동안 벨로우즈의 골에 삽입되어 있는 지지판은 지지대 상부에 고정되어 있어야 하고 벨로우즈의 압착면 하부와 접촉되기 때문에 지지판의 상부면과 벨로우즈의 압착면 하부를 서로 접촉시키고 지지판과 피스톤의 요소들은 변형을 하지 않기 때문에 강체(rigid body)로 설정하였다. 시뮬레이션은 총 400 스텝(step)으로 한 스텝 당 피스톤이 약 1.0 mm가 변하도록 설정하였다. 해석에 사용된 벨로우즈의 물성치는 Table 2에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

벨로우즈가 압착이 되는 부분은 첫 번째 선단부로 압착이 된 후 압착면은 기밀작용을 하는 패킹역할을 한다. 따라서 첫 번째 선단부의 상부면은 요철이 없고 수평하게 모델링하여 해석하였다.

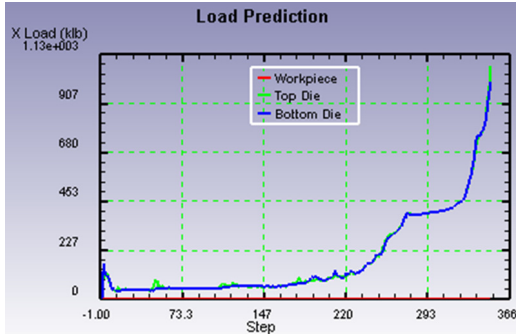
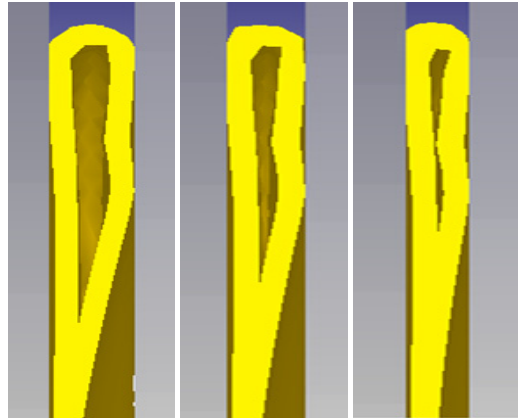


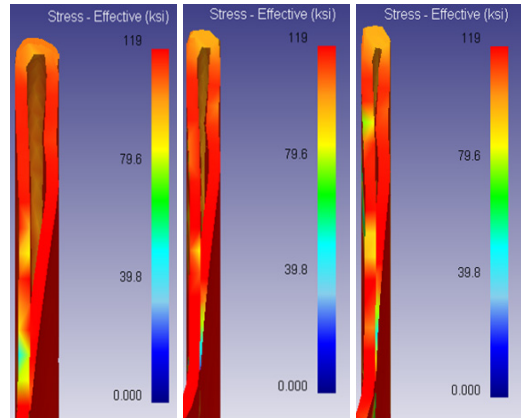
Fig. 6 Load prediction for proposed system

시뮬레이션은 400 스텝으로 설정하였으나 273 스텝부터 선단부가 완전히 겹쳐지고 349 스텝에서 부하(load)가 제한 치인 450 kg·f까지 도달하여 프로그램이 정지하였다. 스텝에 따른 부하의 변화량 추이를 Fig. 6에 나타내었다. 피스톤이 벨로우즈의 첫 번째 선단부 상부면을 압착하기 시작하면서 걸리는 부하는 20.1 kg·f였고, 170 스텝까지 부하는 완만한 상승곡선을 그리며 30.8 kg·f까지 상승하였다. 선단부 상부면의 압착과정은 상부면 전체가 서서히 수평을 유지하면서 수직방향으로 압착이 되는 것이 아니라 절단이 된 상부면의 내측부가 먼저 수직방향으로 휘어지면서 외측부가 압착이 된다. 따라서 선단부 상부면의 내측부가 선단부 하부면과 접촉되는 180 스텝부터 부하가 요동되기 시작하였고, 선단부의 산 모형이 변형되면서 부하의 증가가 뚜렷하게 나타났다. 선단부 상부면과 선단부 하부면의 접촉 면적이 현격히 넓어지는 230 스텝부터 부하는 급격히 증가하였고, 패킹역할을 할 수 있는 최소한의 간극이 남아 있는 270 스텝에서 157 kg·f를 나타내었다. 273 스텝부터는 선단부 상·하부면이 완전히 접촉하여 압착되기 때문에 압착면이 패킹역할을 할 수 없다. 벨로우즈 압착면의 적절한 형상을 비교, 판단하기 위해서 압착면의 변형도와 응력분포도를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 7에서 선단부 상부면과 하부면이 약 1/3 정도 접촉되는 250 스텝과 1/2정도 접촉되는 260 스텝에서 선단부의 외부 압착형상은 양호하다. 그러나 선단부 내부 간극이 상대적으로 커서 후렉시블 조인트 플렌지와



step 250 step 260 step 270

Fig. 7 Deformation of bellows



step 250 step 260 step 270

Fig. 8 Stress distribution of bellows

고정 플렌지를 볼트로 체결시 선단부의 내부 간극을 없애기 위한 추가적인 체결력이 필요하게 된다.

압착된 선단부가 양호한 패킹역할을 수행하기 위해서는 압착면의 상부와 고정 플렌지면, 압착면의 하부와 후렉시블 조인트 플렌지면이 완벽히 밀착되어야 하기 때문이다. 270 스텝에서 선단부 상부면과 하부면은 약 2/3 정도 접촉되고 산 근처의 내부 간극도 남아 있다. 273 스텝에서 선단부 상·하부면이 완전히 접촉하여 압착되고, Fig. 8의 응력분포도에서 스텝 모두 비슷한 응력분포도가

나타난 것을 고려한다면 벨로우즈의 압착된 형상은 270 스텝에서 가장 적절하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 벨로우즈의 피로파괴 조건을 향상시킬 수 있도록 플렌지와 벨로우즈가 무용접으로 연결되고, 360도 자유회전을 갖는 플렌지로 구성되며, 패키징이 필요 없는 후렉시블 조인트 제작을 위한 방법에 대해 연구하였다. 벨로우즈를 손상 입히지 않고 선단부만 압착하기 위해 하부 지지대와 지지판을 설계하였고, 압축면에 피스톤이 평행 밀착되도록 후렉시블 제작 시스템을 설계하였다. 설계한 압축시스템을 Deform 3D를 이용하여 시뮬레이션하고, 변형된 벨로우즈의 최적형상과 요구되는 피스톤의 압축력을 찾아보았다.

그 결과로서 압착된 벨로우즈의 형상이 적절하며 압착된 선단부 이외의 곳에서 변형이 발생되지 않아 설계된 시스템으로 벨로우즈의 선단부만 압착 가능한 것으로 판단된다. 피스톤의 압착력이 157 kg·f인 경우에 벨로우즈의 선단부 상부면과 하부면이 약 2/3 정도 접촉되고, 선단부 산 근처의 내부 간극도 남아 있었다. 또한 선단부가 완전히 전축하기 전의 응력분포도는 스텝별로 큰 차이가 없기 때문에 가장 적절한 압착력으로 판단된다.

본 연구결과를 기초로 무용접 후렉시블 조인트 제작 시스템을 개발하고 적용될 유압펌프의 용량 선택과 압착 컨트롤시스템 설계에 도움이 될 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2016학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

References

1. H. J. Kim, H. S. Kim, J. P. Kim, J. H. Park and M. J. Kim, 2006, "Shape Optimization for Performance Improvement of Ship's U-type bellows", The Korean Society of Ocean Engineers, Vol. 20, No. 6, pp. 123-129.
2. J. P. Hwang, J. G. Kim and Y. K. Park, 2008, "Study on Dynamic Characteristics of Curved Bellows", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 12, No. 2, pp. 29~34.
3. Y. Inoue and M. Kikuchi, 2003, "Present and Future Trends of Stainless Steel for Automotive Exhaust System", Shinnitetsu Technical Report, Vol. 378, pp. 55-61.
4. B. K. Koh and G. J. Park, 1997, "Development of Finite Element Analysis Program and Simplified Formulas of Bellows and Shape Optimization", The Korean Society of Mechanical Engineers(A), Vol. 21, No. 8, pp. 1195-1208.
5. S. K. Oh, K. K. Lee, C. H. Suh, Y. C. Jung and Y. S. Kim, 2011, "Shape Optimization of Multilayer Bellows by Using Sequential Experimental Design", The Korean Society of Mechanical Engineers(A), Vol. 35, No. 9, pp. 1007-1013.
6. B. Y. Kim, and J. H. Jeong, 2014, "Development of an Anti-Seasickness Bed used in Vessel", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 112-116.
7. B. S. Kim, C. N. Kang and J. H. Jeong, 2014, "A Study on High Efficiency Dryer for Food Waste", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 18, No. 6, pp. 153-158.