

# 바이메탈을 이용한 자동차용 가스 스프링 구조해석에 관한 연구

박철우<sup>+</sup>, 김호윤\*

(Manuscript received: Nov, 1, 2012 / Revised: Nov, 26, 2012 / Accepted: Nov, 27, 2012)

## A Study on the Auto-moblie Gas Spring Structural Analysis Using of Bimetal

Chul Woo Park<sup>+</sup>, Ho Yoon Kim\*

### Abstract

Gas springs have been widely used in motor vehicles as well as in most areas of industry. Instead of coil springs, these gas springs are easily operated to extrusion process or compression process the doors because N<sub>2</sub> gas with high pressure and oil are charged in tube. Gas spring sustain the constant elasticity change rate in the high reaction force and long stroke, and they have compact design, appearance and an excellent assembling ability to be mounted easily with any applicatory products. By means of these aspects, gas springs have been widely used in stead of coil springs in the over all industries. In this study, using acommonly used program, ANSYS, the basic research about the heat transfer and equivalent stress change of bimetal.

**Key Words** : Bimetal(바이메탈), Gas spring(가스스프링), Reaction force(반발력), Finite element method(FEM,유한요소해석), Temperature(온도)

## 1. 서론

최근 자동차의 급격한 수요 증대로 인한 자동차 메이커에서는 각종 유공압 시스템을 이용한 전자 제어기술 발전과 더불어 차량의 본 네트를 비롯한 트렁크 등에 레이아웃 최소화를 위한 가스 스프링의 사용이 날로 증대되고 있다.

가스 스프링은 높은 반력과 긴 행정에서도 일정한 탄력 변화율을 유지하고 콤팩트한 디자인과 외형을 지니며 어떠한 적용품에도 쉽게 장착 가능한 뛰어난 조립성을 가지고 있기 때문에 코일 스프링을 대신하여 자동차뿐만 아니라, 산업 전반에서 그 이용범위가 넓다고 할 수 있다<sup>(1)</sup>.

본 연구에서는 가스실린더에 장착되어 있는 바이메탈의 역학

적인 운동원리에 대해서 알아보았다. 바이메탈의 형상과 작동 온도에 따른 가스 실린더의 작용하중에 대해서 실험해 하였다. 상용 소프트웨어인 ANSYS를 이용해서 바이메탈에 대한 열응력과 구조해석을 수행하였다.

## 2. 기본 이론

가스 스프링에 장착된 바이메탈(bimetal)은 온도 변화에 따라서 작동한다. 낮은 온도상태에서는 가스 스프링이 원활히 작동하기 위해서는 수식 (1)과 같이 온도와 체적은 반비례 관계이고 온도의 변화에 따른 압력변화를 제어한다.

\* 한국과학기술정보연구원

+ 교신저자, 현대제철(주) 중기생산부

주소 : 경북 포항시 남구 대송면 444번지

✉ Corresponding Author E-mail: p016535@empas.com

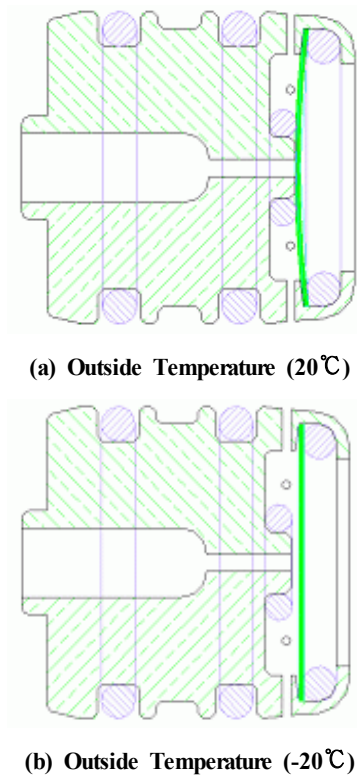


Fig. 1 Operate of bimetal gas valve

$$Pv = nRT \quad (1)$$

외부 온도가 실온(20°C)에서는 바이메탈이 작동하지 않지만, 외부 온도가 영하로 내려가게 되면 바이메탈이 변형하면서 체적이 일정하게 된다. 바이메탈이 장착되지 않은 가스 실린더는 영하의 온도에서 실린더 안의 가스가 압축이 발생하게 된다. 실린더 안의 압축된 가스는 실린더의 오작동 및 실린더가 멈추게 된다. 이러한 오작동에서 벗어나기 위해서 바이메탈이 장착된 가스 실린더가 개발되게 되었다. Fig. 1은 외부 온도 변화에 따른 바이메탈의 작동 상태를 나타내고 있다.

### 2.1 바이메탈 제작과정

Fig. 2는 바이메탈의 제작 공정을 나타내고 있다. 첫째, 제작하고자 하는 바이메탈(bimetal)의 원 소재를 용광로에 넣어서 주물 잉곳(ingot)으로 제작을 한다. 둘째, 주물 잉곳을 단조공정과 냉간 압연공정을 거쳐서 두께 5mm 이하의 원판으로 제작이 된다. 셋째, 제작된 원판을 냉간 압연공정을 거쳐서 두께 0.5mm 이하의 압연판재를 생산한다. 넷째, 사용자의 요구에 따라서 바이메탈 원판을 가압 롤을 이용해서 접착공정을 하게 된다. 다섯째, 냉간 가공에 의한 가공경화현상을 제거하기 위한 열처리공정이 이루어진다. 여섯째, 사용자가 원하는 바이메탈의 두께를 결정하기 위한 최종 압연공정이 수 차례에 걸쳐서 이루어진다. 일곱 번째, 제품의 검사 및 포장 공정이 있겠다.

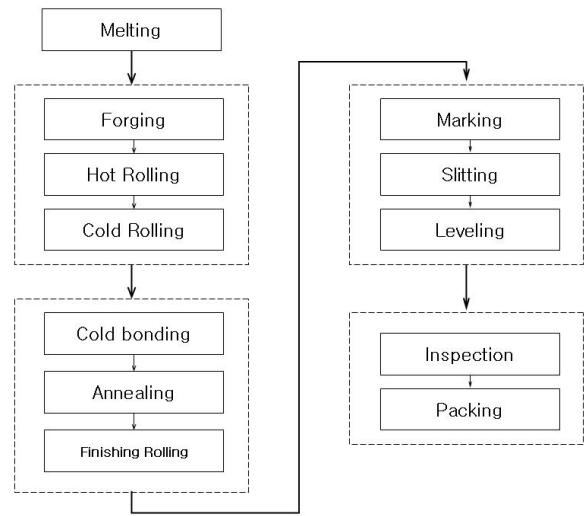


Fig. 2 Manufacture of bimetal

### 2.2 바이메탈 운동메커니즘

Fig. 3은 바이메탈의 운동메커니즘을 나타내고 있다. 일반적인 바이메탈의 형상이 평판(일자)형상이라면 온도변화에 따른 하중과 변위는 일차원적으로 발생한다. 그러나, 본 연구에서 사용되는 바이메탈의 형상은 평판이 아닌 원뿔형상을 가지고 있다. 그래서, 제품의 온도와 하중의 변위는 2차원의 함수관계를 가지게 된다. 2차 함수에 의한 바이메탈의 온도 보상이 이루어지게 된다.

### 2.3 바이메탈 재료 물성치

Table 1은 High-expansion과 Low-expansion의 화학적 물성치를 나타내고 있다. Fig. 4은 바이메탈 재료에 대한 인장시험장치를 나타내고 있다. 소형 MTS 장비(5,000N)로써 싱글 칼럼 장비이다. 시험편 규격은 KSB 175규격을 이용해서 만들었으며, 시험편 두께는 0.2mm이다. Table 2은 바이메탈의 양쪽 재질에 대한 인장시험결과는 다음과 같다.

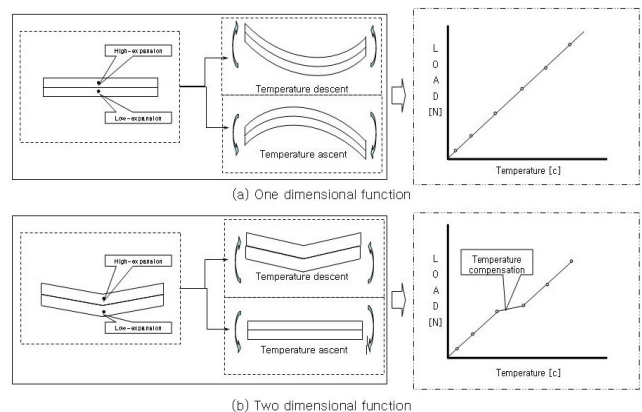


Fig. 3 Movement mechanism of bimetal

**Table 1 Chemical composition of bimetal materials(wt. -%)**

	High-expansion (72-18-10 alloy)	Low-expansion (Invar alloy)
Si	-	0.114
P	0.028	-
S	0.034	-
Mn	70.79	0.581
Fe	0.15	61.226
Ni	10.68	37.224
Cu	18.27	-

**Table 2 Result of tension test**

	Young's modulus (Gpa)	Poisson's ratio (%)
High-expansion	135	40
Low-expansion	130	39



**Fig. 4 Photo of small size MTS**

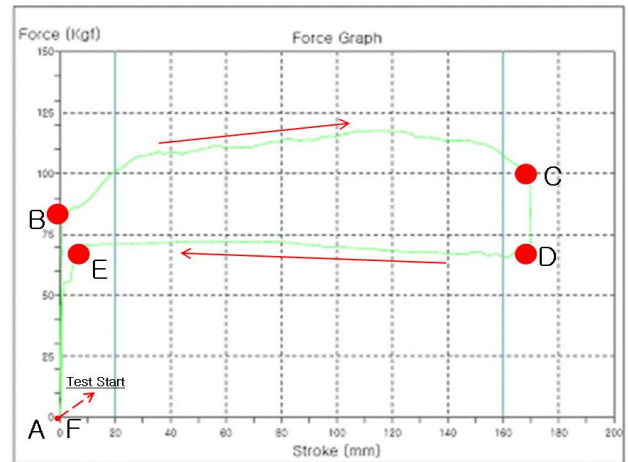
### 3. 시제품 테스트

#### 3.1 압축 및 내구성시험

가스 스프링에 압축에 따른 반발력의 변화와 가스의 누수 및



**Fig. 5 Photo of compression test and durability test  
(Test stroke : 170mm), (Test speed : 2 mm/sec)**



- A : 테스트 시작점
- A~B : 초기 압축구간
- B~C : 말기 압축구간
- C : 최대 압축행정거리
- C~D : 압축 반력 제거구간
- D : 정지 반력구간
- D~F : 제하구간
- F : 원점복귀(테스트 끝)

**Fig. 6 Graphics of repulsive force**

작동상태에서 대한 평가를 하기 위해서 압축 및 내구성 시험이 필요하다. 가스스프링에 가장 중요한 작동성능을 평가하기 위한 시험이다. Fig. 5은 압축 및 내구성 시험 장치를 나타내고 있다. Fig. 6은 압축에 따른 가스스프링의 반발력그래프를 나타내고 있다.

#### 3.2 내환경성시험

온도변화에 따라 가스스프링의 왕복운동 이후에 제품의 내구성을 평가하는 시험이다. 본 시험에서는 20°C에서 4,750회, -20°C에서 125회, 70°C 125회를 작동하게 된다. Fig. 7은 내환경성 시험 장치를 나타내고 있다.



**Fig. 7 Photo of salt water tester chamber**

Table 3 Analysis condition of bimetal valve

	Temperature (°C)	Bimetal Diameter (mm)	Bimetal angle (°)
Case 1	- 20	15.2	2
Case 2	- 10	15.2	2
Case 3	0	15.2	2
Case 4	10	15.2	2
Case 5	20	15.2	2
Case 6	- 20	15.0	2
Case 7	- 20	15.4	2
Case 8	- 20	15.2	1
Case 9	- 20	15.2	3

#### 4. 유한요소해석

##### 4.1 열전달해석

해석요소(element)는 축대칭 요소인 plane55를 사용해서 해석을 수행하겠다. 온도설정은 바이메탈의 하단과 상단에 온도를 지정하는 선 요소 선택을 사용하였다. Fig. 8은 key를 이용해서 바이메탈 밸브를 모델링하는 것을 나타내고 있다. Table 3은 바이메탈의 온도변화, 지름변화, 바이메탈의 각도 변화에 따른 해석 변수를 설정하였다. 온도변화를 해석변수로 설정했는 근거는 바이메탈 밸브가 온도에 따른 작동상태를 알아보기 위해서이며, 제품의 크기와 형상각도가 압력과 온도에 따라서 변화하는 양상을 파악하기 위해서이다. 바이메탈의 두께는 1mm이다. 바이메탈의 지름은 가스 실린더의 직경 보다 작으며, 밸브몸체에 조립 가능한 설계치수를 결정하게 된다. 온도대역에 따른 바이메탈의 운동구역의 제어를 위해서 바이메탈에 삼각뿔모양의 성형을 하게 된다.

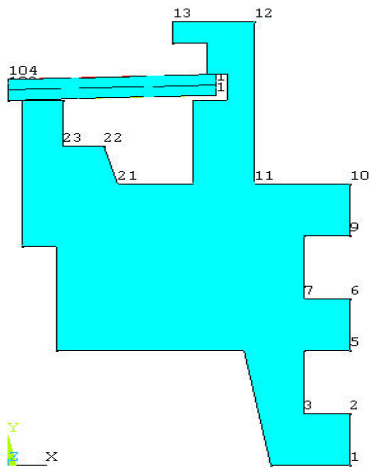


Fig. 8 Modeling of bimetal valve

#### 4.2 열·구조 연성해석

열·구조 연성해석에서는 열전달해석 이후에 제품의 열응력을 이용해서 구조해석을 수행하게 된다. 열전달해석의 결과를 pre process에서 불러온다. 바이메탈 밸브는 O-Ring을 이용해서 구속을 하지만, 본 해석에서는 바이메탈의 바깥쪽 측면을 y방향으로 고정하도록 하였다. 단 x방향으로 자유단으로 설정하였다. 해석요소는 열·구조 연성해석에 사용되는 plane182를 사용하였다.

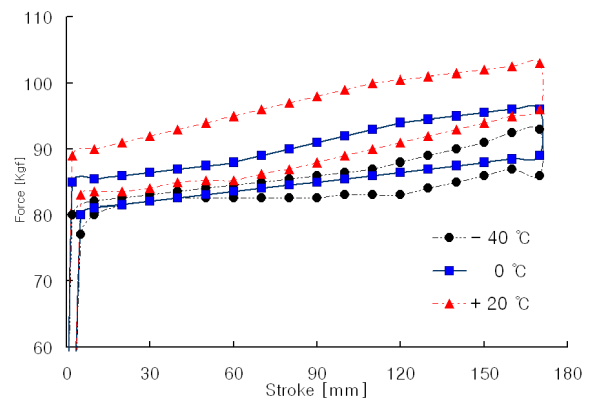
### 5. 결과 및 고찰

#### 5.1 시제품 테스트 결과

Fig. 9는 내구성 시험결과를 나타내고 있다. 온도 변화에 따른 가스 스프링의 반발력을 나타내고 있다. 영하 40 °C에서 가장 작은 Ft가 작용하고 있다. 내환경시험(염수분무시험) 전후에 발생하는 가스 스프링의 반발력을 측정하였다. 시험 전후에 반발력 변화율이 미세하게 발생하지만, 제품의 성능과는 아무런 문제가 없을 정도의 오차이다. 일반적으로 자동차의 트렁크를 열고 닫을 때, 트렁크가 열릴 때 보다 닫을 때 힘이 더 많이가해지는 것을 볼 수 있다. 이것은 Fig. 9를 보면 가스 스프링 반발력 선도를 통해서 알 수가 있다. 20°C에서 트렁크가 완전히 닫혀진 상태에서 열리기 위해서 가스 스프링에 작용되어야 하는 힘은 89Kgf이지만, 완전히 열려진 상태에서 트렁크를 닫기 위한 압축 힘은 103Kgf 이상이 되어야 한다.

#### 5.2 유한요소해석 결과

Case 1(0.485mm), Case 2(0.317mm), Case 3(0.146mm),



	Ft (Kgf)	Fc (Kgf)
-40°C	80	93
0°C	85	96
20°C	89	103

Fig. 9 Result of compression test and durability test

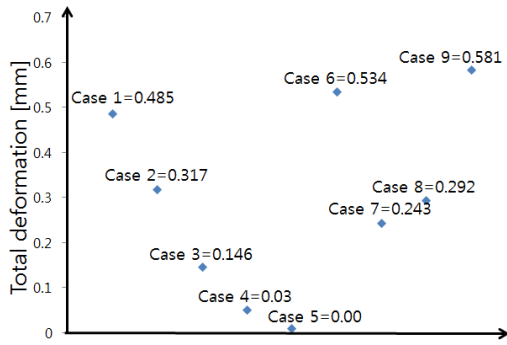
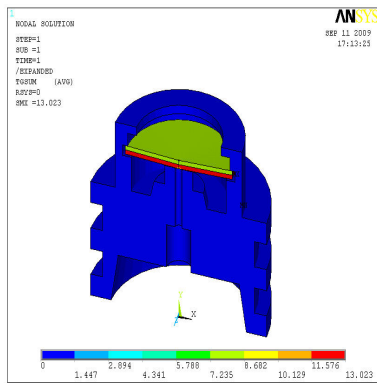
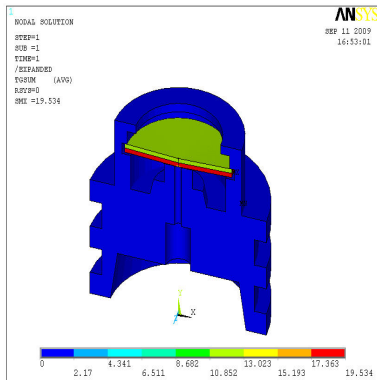


Fig. 10 FEM result of Total deformation

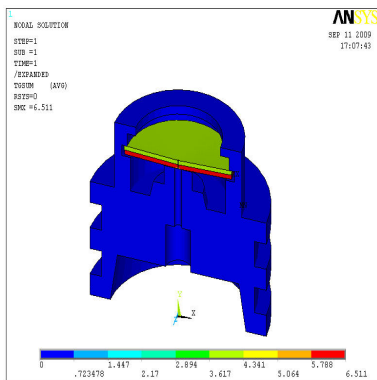
Case 4(0.03mm), Case 5는 온도변화에 따른 바이메탈의 변형량(total deformation)을 나타내고 있다. 그러나 실온상태에서는 Case 5(0.00mm)와 같이 아무런 변형이 없다. Case 1( $\varnothing$  15.2mm), Case 6( $\varnothing$  15.0mm), Case 7( $\varnothing$  15.4mm)은 바이메탈의 지름 변화에 따른 변형량을 나타내고 있다. 바이메탈의 지름이 증가할 수록 변형량은 증가하는 것으로 해석결과는 보여주고 있다. Case 1, Case 8(0.292mm), Case 9(0.581mm)는 바이메탈의 각도에 따른 변형량을 보여주고 있다. 각도가 클수



(a) Case 1

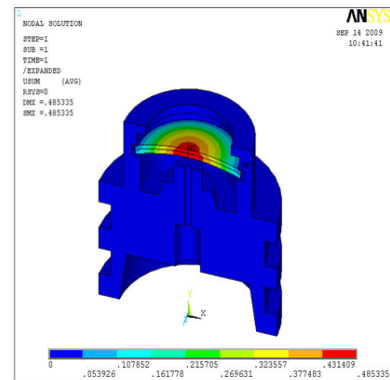


(b) Case 6

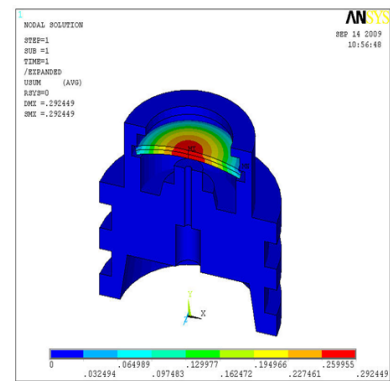


(c) Case 7

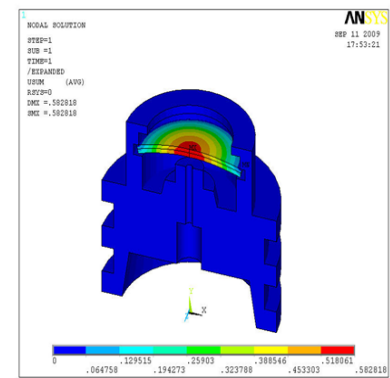
Fig. 11 FEM result of thermal gradient



(a) Case 1



(b) Case 8



(c) Case 9

Fig. 12 FEM result of thermal-structural coupled analysis (Total deformation [mm])

록 바이메탈의 변형량은 큰 것으로 알 수 있다. 바이메탈 밸브는 상온에서는 작동하지 않으며, 영하로 내려갔을 때 바이메탈이 변형하게 된다. Fig. 10은 바이메탈의 설계변수에 따른 변형량을 나타내고 있다.

Fig. 11은 바이메탈의 지름 변화에 따른 열전달해석 결과이다. 지름이 증가 할수록 Thermal gradient는 감소하고 있음을 알 수 있다. Fig. 12와 Fig. 13은 열·구조 연성해석 결과는 나타내고 있다. 바이메탈의 각도변화에 따른 변형량과 상당응력분

Table 4 Von Mises Stress distribution

	Von Mises Stress (Kgf/mm <sup>2</sup> )
Case 1	968
Case 2	851
Case 3	350
Case 4	306
Case 5	245
Case 6	981
Case 7	630
Case 8	660
Case 9	1,056

포(von mises stress)를 나타내고 있다. Case 1(968 Kgf/mm<sup>2</sup>), Case 8(660 Kgf/mm<sup>2</sup>), Case 9(1,056 Kgf/mm<sup>2</sup>)와 같이 각도가 증가 할수록 변형량과 상당응력이 크게 분포하고 있다.

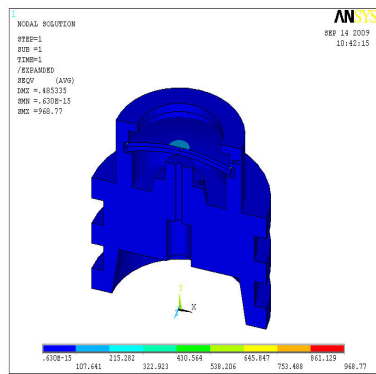
### 6. 결론

본 연구에서는 바이메탈을 이용한 가스 스프링의 작동원리와 바이메탈의 형상변화에 따른 유한요소해석을 수행하였다.

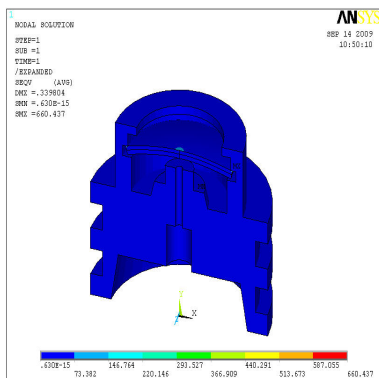
- (1) 바이메탈 가스 실린더는 상온에서는 작동하지 않으며, 영하의 온도로 내려갔을 경우에 바이메탈 좌우의 압력 차이를 보상하기위해서 바이메탈이 작동하게 된다. Case 1 (0.485mm), Case 2(0.317mm), Case 3(0.146mm), Case 4 (0.03mm), Case 5(0.0mm)
- (2) 바이메탈의 지름이 증가 할수록 변형량(total deformation)은 증가하는 것으로 유한요소해석에서 알 수 있다. Case 1 (∅ 15.2mm), Case 6(∅ 15.0mm), Case 7(∅ 15.4mm)
- (3) 바이메탈의 각도가 클수록 바이메탈의 변형량은 큰 것으로 알 수 있다. Case 1(0.485mm), Case 8(0.292mm), Case 9 (0.581mm)
- (4) 바이메탈의 크기, 각도에 변화에 따른 온도보상구간을 설계할 수 있다.

### References

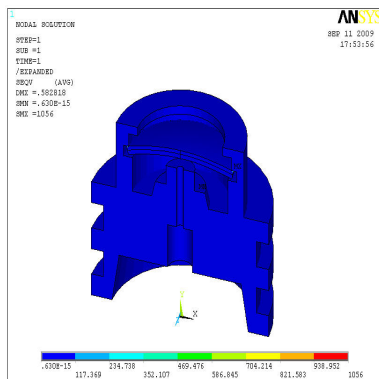
- (1) Kim, C. H., 2005, *Numerical Study of the Operation in a Gas Spring, A Thesis for a Master*, Inje University, Republic of Korea.
- (2) Park, S. S., Bae, D. S., Lee, J. H., and Bae, D. H., 2007, "Development of New Bimetal Material for Home Appliances by using the Rolling Process," *Transactions of Materials Processing*, Vol. 16, No. 5, pp. 375~380.



(a) Case 1



(b) Case 8



(c) Case 9

Fig. 13 FEM result of thermal-structural coupled analysis (Von Mises Stress [Kgf/mm<sup>2</sup>])

- (3) Kim, Y. B., 1998, "A Study on the Optimal Design of Gas Spring for Vehicle," *Journal of the KSPE*, Vol. 15, No. 11, pp. 39~45.
- (4) Lee, G. H., 2005, *On the Computation of Gas Flows and Convective Heat Transfer in Gas Springs, A Thesis for a Master*, Daejeon University, Republic of Korea. pp. 317~334.
- (5) Kim, D. -T., Kim, D. -S., and Ju, M. -J., 2009, "A Study on the Design of a High-speed Pneumatic Cushion Cylinder," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 18, No. 5, pp. 491~497.
- (6) ANSYS, 2009, *ANSYS User's Manual Version 10.0*, ANSYS Inc.
- (7) Kwon, H. -H., Song, S. -E., and Kim, O. -S., 2011, "Finite Element Analysis on the Cold Forging Process of the Unified Universal Shaft Joint for the Automobile," *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 20, No. 5, pp. 582~588.
- (8) Han, M. S., Cho, J. U., 2011, "Structural Analysis of Excavator Arm and its Connection Pins," *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol. 20, No. 1, pp. 7~12.