

SP-100 알루미늄 분말 에폭시의 경도 및 압축 강도 평가[§]

한정영* · 김명훈** · 강성수***†

*부산대학교 기계설계전산화인력양성센터, **한국신발피혁연구소, ***전주대학교 기계자동차공학과

Estimation of Hardness and Compressive Strength of SP-100 Aluminum Powder Epoxy

Jeong-Young Han*, Myung-Hun Kim** and Sung-Soo Kang***†

* PECCAM, Pusan National Univ., ** Korea Institute of Footwear & Leather Technology,

*** Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju Univ.

(Received April 10, 2012 ; Revised June 21, 2012 ; Accepted June 22, 2012)

Key Words: Hardness(경도), Compressive Strength(압축 강도), Aluminum Powder Epoxy(알루미늄 분말 에폭시), After-Curing (후경화)

초록: 본 연구에서는 SP-100 알루미늄 분말 에폭시의 경도 및 압축강도를 평가하기 위해, 후경화 조건을 달리한 5 종류의 시편에 대해 온도별 경도 측정 시험과 압축강도시험을 수행하였다. 온도별 표면경도시험 결과, 후경화 온도가 높을수록 경도가 높게 나타나는 것을 확인하였다. 특히, Case 3 과 Case 4 의 경우가 다른 Case 의 시편에 비해 상대적으로 높은 경도를 보임을 알 수 있었다. 압축시험을 통한 시편의 압축강도는 후경화를 실시한 시편들이 비교적 유사한 강성 및 강도를 나타내었으며 미실시한 시편은 열가소성 수지와 같은 압축응력곡선을 나타내었다.

Abstract: In this study, we performed experimental tests on five SP-100 aluminum powder epoxy specimens with several after-curing conditions in order to estimate their hardness with temperature and compressive strength. In the surface hardness test, it was found that the higher the after-curing temperature, the higher was the hardness. In particular, it was found that the hardness of the specimens in cases 3 and 4 was much higher than in the other cases. In addition, in the compression tests carried out to evaluate the compressive strength, it was found that the specimens showed relatively similar stiffness and strength with after-curing, and specimens with no after-curing showed compression stress-strain curves similar to those of thermoplastic resins.

1. 서 론

대부분의 섬유강화 복합재료(fiber-reinforced composite material)들은 기존의 금속재료들보다 강도(strength)와 강성(modulus)이 높다. 이러한 섬유강화 복합재료는 낮은 비중 때문에, 높은 비강도(specific strength)와 비강성(specific stiffness)을 갖는다. 섬유강화 복합재료는 일반적으로 좋은 피로 특성을 가지기 때문에, 경량화가 절실한 자동차, 선박 및 항공우주 재료로 널리 사용되고 있다.^(1,2)

일반적으로 복합재료는 기지재(matrix)와 강화재

(reinforcement)로 구성되는데, 기지재의 역할은 섬유 사이에서 응력을 전달하며, 외부의 환경으로부터 섬유들을 보호하고, 기계적인 마모로부터 섬유를 보호하며, 전반적인 구조물의 형상을 유지하는 역할을 한다. 외력, 열, 수분, 화학적 반응 등의 외부요소에 대한 기지재의 저항성은 매우 중요한 인자이다.⁽³⁾ 특히, 외부로부터 낮은 반복하중을 받을 때에는 주로 기지재가 하중을 지탱하므로 우수한 섬유 강화재의 개발 못지않게 기지재의 기계적 성질도 중요하다. 열경화성 기지재로는 에폭시 수지가 많이 사용되고 있다.

지금까지 실험과 해석을 통하여 에폭시 수지의 경도와 압축 강도에 관한 연구들이 많이 수행되어 왔다. 먼저 경도와 관련하여, 경화제를 첨가하지 않고 비스페놀 A 형 에폭시 수지를 이용한 폴리머 시멘트 경화체의 강도 발현 효과를 명백히 하기

§ 이 논문은 2012 년도 대한기계학회 신회성부문 춘계학술대회 (2012. 4. 5.-6., 영남대학교) 발표논문임.

† Corresponding Author, sskang@jj.ac.kr

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

위해, 가열 양생 온도별로 강도 발현에 대하여 검토하였다.⁽⁴⁾ 또한 다중모드 광섬유를 이용하여 에폭시 복합재료의 경화과정 중 발생하는 광신호를 측정하였으며, 측정된 신호를 온도에 따른 에폭시 점도 변화와 열분석을 이용하여 파괴과정과 연관하여 해석하였다.⁽⁵⁾ 나아가 경화제를 사용하지 않은 에폭시 시멘트 모르타르의 압축강도 특성에 관한 연구를 통하여, 에폭시 혼입률이 증가할수록 압축강도도 비례하여 증가함을 보였다.⁽⁶⁾ 에폭시 수지의 압축강도와 관련된 연구로는, 탄소섬유-에폭시 복합 적층판의 저속 충격 및 잔류 압축강도에 관한 연구를 통하여, 저속 충격 하중으로 인한 복합재료의 내부 손상 결정 및 충격 하중 후 압축하중이 작용할 때 하중 수행 능력과 손상 진전 기구를 결정하였다.⁽⁷⁾ 또한 압축하중 상태에 있는 복합재료의 시편의 크기 증가에 따른 강도 저하 현상을 분석하기 위해, 홀을 갖는 복합재의 압축 강도에 대한 크기 효과를 고찰하였다.⁽⁸⁾ 정수압을 받는 단일방향으로 적층된 탄소섬유/에폭시 복합재에 대하여 변형률 속도 변화에 따른 압축탄성계수와 파괴응력 및 변형률과 같은 압축 특성 변화에 대해 연구하였다.⁽⁹⁾ 나아가, 해수가 흡수된 정수압력하의 탄소섬유/에폭시 복합재의 압축 특성 변화를 검토하였다.⁽¹⁰⁾

본 연구에서는 플라스틱 사출 금형에 사용될 SP-100 알루미늄 분말 에폭시의 경화 과정에 있어, 온도에 따른 경도와 강도의 변화는 재료의 구조 측면에서 매우 중요하다. 후경화에 따른 에폭시 수지의 이러한 특성을 분석하기 위해, 후경화 조건을 달리한 5 종류의 시편에 대해 온도별 경도측정 시험과 압축강도시험을 수행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

플라스틱 사출성형 시 금형은 높은 온도와 함께 높은 압력을 받게 되며 금형의 기계적 강도에 따라 금형의 수명 및 제품의 품질이 크게 좌우되기 때문에, 본 연구에서는 SP-100 에폭시 수지(SP-100 aluminum powder epoxy)를 선정하였으며, 주요 특성은 Table 1 과 같다. 가격이 저렴하고 비교적 높은 경도와 내열온도를 갖는 장점이 있으며, 알루미늄 파우더(aluminum powder)가 60% 함유된 일반적인 비스페놀 A 타입의 수지(bisphenol A epoxy resin)로서 국내산 수지로서 수급이 용이하다. 또한 진공성형 및 발포몰드용으로 주입이 용이하고 발열수축이 적으며 치수안전성이 우수하여, 내열

성을 요구하며 접착 및 주형물을 필요로 하는 제품에 많이 사용된다.

2.1 온도변화에 따른 경도 시험

Case 1 은 SP-100 에폭시를 대상으로 후경화를 실시하지 않은 경우이며, Case 2 의 경우, SP-100 에폭시를 대상으로 70℃에서 1 시간 경화 후 100℃에서 1 시간 경화, 130℃에서 12 시간 경화하였다. Case 3 의 경우, Case 2 의 경화조건에서 130℃ 경화를 2 시간만 실시하고 온도를 160℃까지 올려 12 시간을 경화하는 것이다. Case 4 의 경우, Case 3 에서 12 시간 경화가 에폭시 수지의 유리전이온도에 비해 과도하게 높은 경향이 있고, 실제로 후경화 후 일부 시편에서 산화된 흔적을 찾을 수 있어 160℃ 경화를 2 시간만 실시한 것으로 조건을 설정하였다. Case 5 는 주형용 에폭시인 CDK253 을 대상으로 후경화를 실시하지 않은 경우이다. 이를 정리하면 다음과 같다.

- (a) Case 1 : SP-100 epoxy (no after-curing)
- (b) Case 2 : SP-100 epoxy (70℃-1 hour => 100℃-1 hour => 130℃-12 hours)
- (c) Case 3 : SP-100 epoxy (70℃-1 hour => 100℃-1 hour => 130℃-2 hours => 160℃-12 hours)
- (d) Case 4 : SP-100 epoxy (70℃-1 hour => 100℃-1 hour => 130℃-2 hours => 160℃-2 hours)
- (e) Case 5 : CDK253 epoxy (no after-curing)

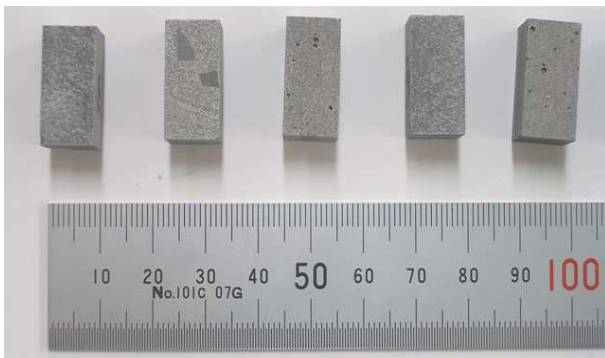
이상의 5 가지 Case 별로 5 종류의 시편을 제작하여 온도를 상온에서 200℃까지 가열하여 경도를 측정하였다. 먼저 5 종류의 시편에 대하여 25℃에서 24 시간 1 차 경화한 후, 각 측정온도에서 약 15 분간 온도를 유지하여 시편의 열평형을 유도하였다. 이는 사출공정의 특성상 고온의 수지가 금형으로 유입되어 단시간에 냉각, 탈형되는 특성을 고려하여 이와 같이 실험을 수행하였다.

2.2 압축강도 시험

후경화된 에폭시수지의 기계적 물성을 평가하기 위해 압축시험을 실시하여 시편의 압축강도와 탄성률, 연신율 등을 계산하였다. 실험은 플라스틱 압축시험 규격인 ASTM D695 에 의거하여 실시하였다. 시험기는 Fig. 1 의 50tonf 만능시험기(UTM)를 이용하여 압하속도 5mm/min 의 속도로 압축하였고, Fig. 2 와 같이 시편은 10 mm×10 mm×20 mm 의 크기로 가공하여 각 조건별로 5 개 이상의 시

Table 1 Mechanical properties of SP-100 aluminum powder epoxy

Hardness (Shore D)	84 ~88
Compressive strength (MPa)	110~120
Bending strength (MPa)	65~77
Thermal deformation temperature (°C)	110

**Fig. 1** UTM for compression test**Fig. 2** Specimens

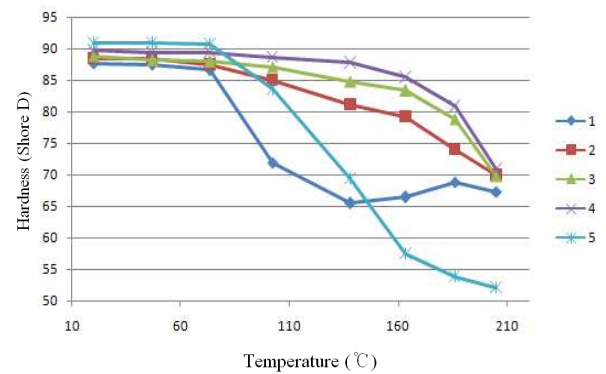
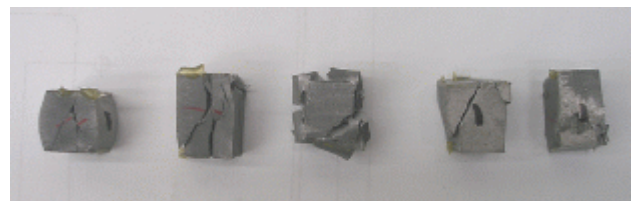
편을 실험하였다.

가공 후 일부 시편에서 가공단면에 육안으로 확인할 수 있는 기공이 나타나기도 하였다. 이러한 기공들이 시편의 거시적인 기계적 물성에 영향을 줄 수 있으므로 유의하여 실험하였으나 결과적으로 큰 결과의 차이는 나타나지 않았다.

3. 실험 결과

3.1 온도에 따른 경도 측정

Fig. 3 은 온도변화에 따른 경도의 변화를 나타

**Fig. 3** Change of hardness due to after-curing conditions

(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4



(e) Case 5

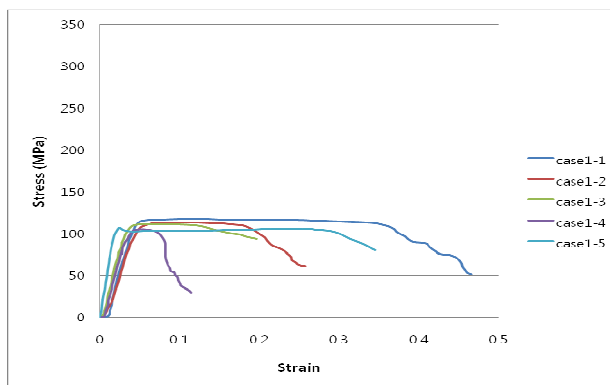
Fig. 4 Photograph of each specimen after compressive test

Table 2 Mechanical properties of each specimen

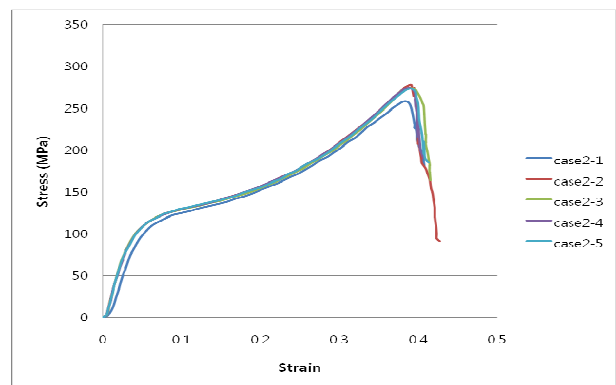
Case	Young's modulus (GPa)	Yield stress (MPa)	Ultimate stress (MPa)	Elongation (%)
1	3.69	110	110	-
2	2.63	107	275	0.38
3	2.82	107	255	0.37
4	2.96	107	265	0.38
5	5.34	135	135	0.27

내고 있으며, 각 Case 별로 5 개의 다른 시편에 대한 시험을 실시하였다. 20℃~73.5℃ 사이에서는 Case 5 가 가장 높은 경도를 보이고 있으나 102.3℃ 이상의 영역에서는 Case 4 가 가장 높은 경도를 보이고 있다.

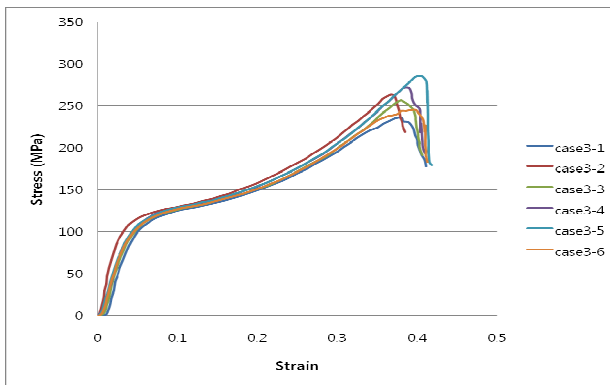
후경화를 실시한 Case 2, Case 3, Case 4 는 비교적 높은 경도를 유지하고 있으나 점차 각 조건 별로 경도의 차이가 발생하기 시작한다. 138℃에서 경도를 측정한 경우 경도의 편차가 더욱 크게 벌어져 Case 2 의 경우 큰 하락폭을 보이며 평균 81 정도까지 경도가 하락하였으나, Case 3, Case 4 는



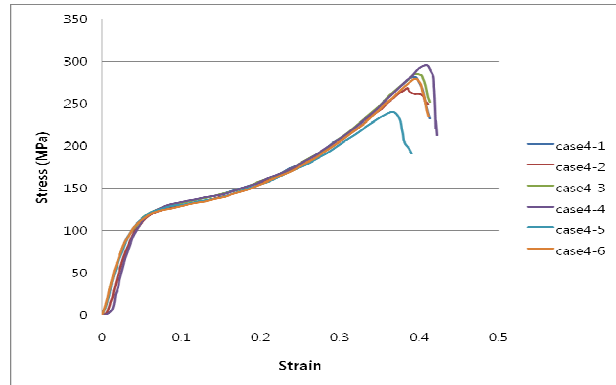
(a) Case 1



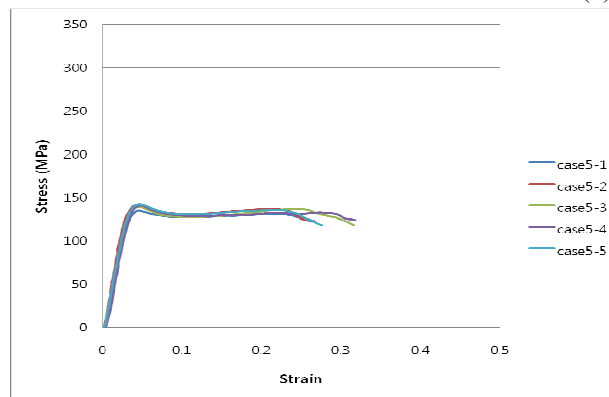
(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4



(e) Case 5

Fig. 5 Stress-strain curve of each specimen

다소 경도가 하락했음에도 불구하고 85 이상의 경도를 유지하고 있음을 알 수 있다.

보다 높은 온도로 가열하였을 경우, SP-100 수지의 경우 열처리 유무와 무관하게 전 Case 에서 급격한 경도의 저하를 확인할 수 있으며 180℃에서 최대 80 정도까지 경도가 하락하였다. 이는 금형 구조재로서의 에폭시 수지가 기능을 할 수 있는 경도의 하한선으로 판단된다.

3.2 압축시험 결과

압축시험결과, 측정 및 계산된 기계적 물성치를 Table 2 에 정리하였다. Case 1 의 경우 재료의 파단 및 변형 경향이 일정하지 않게 나타나 매우 불안정한 결과를 얻어 연신율을 정의할 수 없었다. 그러나 후경화를 실시한 Case 2 ~ Case 4 는 탄성계수 및 압축강도, 극한강도, 연신율 등이 모두 유사하게 계산되었다. Case 1 에 비해 탄성계수가 다소 낮아져 2.63 ~ 2.96 GPa 을 나타내고 있으며 항복강도가 소폭 감소하였으나 극한강도가 크게 향상되는 것을 볼 수 있다. Case 5 의 경우 후경화가 실시되지 않은 재료임에도 불구하고 비교적 안정된 압축 변형 양상을 나타내고 있으며, Case 1 ~ Case 4 에 비해 높은 탄성계수와 압축강도를 보이고 있다. Case 5 는 다른 시편과 재료의 종류가 다르기 때문이며 기 재료가 상온경화 안정성이 높으며 상온에서의 기계적 특성이 우수한 것으로 판단된다.

후경화를 실시하지 않은 Case 1 과 Case 5 가 응력 변형률 곡선상의 유사한 결과를 보여주고 있으며 후경화를 실시한 Case 2 ~ Case 4 이 유사한 결과를 보여주고 있다. Fig. 4 는 각 Case 별로 압축 파단된 5 개의 시편의 형상들을 보여주고 있다.

Fig. 5(a) ~ Fig. 5(e)는 각 Case 에 대한 응력-변형률 곡선들을 보여주고 있다. 후경화를 실시하지 않은 Case 1 의 경우, 매우 불안정한 압축변형거동을 보이고 있어 재료의 가교 또는 경화에 문제가 있음을 예상할 수 있다. 이와 비교할 수 있는 것이 Case 5 의 경우로서, 동일하게 후경화를 실시하지 않은 시편으로 보다 상온경화특성이 우수한 것으로 판단되는 시편이다. Case 5 의 경우 응력 변형률 곡선이 탄성구간에서 소성구간으로 넘어가면서 강도가 소폭 하락하였다가 다시 완만히 상승하며 유지되는 형태의 곡선을 보여준다. 이는 전형적인 열가소성 수지의 압축거동으로서 수지의 경화 또는 가교가 100% 진행되지 않음에서 오는 결과로 판단할 수 있다.

후경화를 실시한 Case 2 ~ Case 4 의 경우 열처리조건의 변화에 거의 무관하게 일정한 응력 변형률

곡선을 보여주고 있다. 초기 탄성 구간 이후에 완만한 변곡점을 지나 감소하는 구간 없이 지속적으로 상승하여 파단직전까지 상승률을 높여간다. 경화 전에 비해 탄성률이 감소하고 항복강도가 떨어지는 특성을 보인다. 수지의 경화 또는 가교가 완전히 이루어졌다고 판단할 수 있다. 즉, 후경화 종류에 의해 재료의 강도 및 강성에 크게 영향을 주지 않음을 알 수 있으며, 또한 재료의 후경화 온도를 높이더라도 상온에서 기본적인 물성향상을 기대할 수는 없다는 결론을 내릴 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 SP-100 알루미늄 분말 에폭시의 경도 및 압축강도를 평가하기 위해, 후경화 조건을 달리한 5 종류의 시편에 대해 온도별 경도 측정 시험과 압축강도시험을 수행하였다.

온도별 표면경도시험 결과, 후경화 온도가 높을수록 경도가 높게 나타나는 것을 확인하였다. 특히, Case 3 과 Case 4 의 경우가 다른 Case 의 시편에 비해 상대적으로 높은 경도를 보임을 알 수 있었다. 압축시험을 통한 시편의 압축강도는 후경화를 실시한 시편들이 비교적 유사한 강성 및 강도를 나타내었으며 미실시한 시편은 열가소성 수지와 같은 압축응력곡선을 나타내었다. 즉, 후경화를 실시한 Case 2 ~ Case 4 의 경우 열처리조건의 변화에 무관하게 일정한 응력-변형률 곡선을 보여주고 있으며, 초기 탄성 구간 이후에 완만한 변곡점을 지나 감소하는 구간 없이 지속적으로 상승하여 파단직전까지 상승률을 높여간다는 것을 알 수 있었다. 다만, 후경화 전에 비해 탄성률이 감소하고 항복강도가 떨어지는 특성을 보였다.

결론적으로 후경화에 의해 재료의 경화도가 높아짐을 알 수 있으나 과도한 온도에서의 후경화는 오히려 경도를 저하시킴을 알 수 있다. 또한 후경화 온도가 높아질수록 시편의 내열 경도가 향상됨을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) Lee, D., G., Jeong, M., Y., Choi, J., H., Cheon, S., S., Chang, S., H. and Oh, J., H., 2010, *Composite Materials*, Hongrung Publishing Co., Korea.
- (2) Chiao, L. and Lyon, R., E., 1990, "A Fundamental Approach to Resin Cure Kinetics," *Journal of Composite Materials*, Vol. 24, No. 7, pp. 739~752.
- (3) Song, S., H. and Kim, C., W., 2001, "The Mixture Ratio Effect of Epoxy Resin, Curing Agent and

- Accelerator on the Fatigue Behavior of FRMLs," *Trans. of the KSME(A)*, Vol. 25, No. 4, pp. 592~601.
- (4) Kim, W., K. and Jo, Y., K., 2010, "Strength Improvement of Hardener-Free Epoxy-Modified Mortars by Heat Curing Method," *Trans. of the AIK*, Vol.26, No. 10, pp. 107~114.
- (5) Suh, K., S., Nam, J., H. and Kim, S., J., 1997, "Measurements of Curing and Fracture Signals in Epoxy Composites by an Optical Fiber Sensor," *Trans. of the KIEE*, Vol.46, No. 10, pp. 1490~1496.
- (6) Park, Y., S., 2007, "Strength Characteristics of Epoxy Cement Mortar without Hardening Agent," *Trans. of the KOSIA*, Vol. 10, No. 4, pp. 207~211.
- (7) Lee, S., Y., Park, B., J., Kim, J., H., Lee, Y., S. and Jeon, J, C., 2000, "A Study on Low Velocity Impact and Residual Compressive Strength for Carbon/Epoxy Composite Laminate," *Proc. of the KSME(A), Fall Conference*, pp. 250~255.
- (8) Kong, C., D., Bang, J., H., Lee, J., H. and Soutis, C., 2001, "Size Effect on the Compressive Strength of Carbon/Epoxy Composite Plates," *Trans. of the KSAS*, Vol. 29, No. 6, pp. 43~51.
- (9) Lee, J., H. and Rhee, K., Y., 2004, "Compressive Behavior of Carbon/Epoxy Composites under High Pressure Environment-Strain Rate Effect," *Trans. of the KSPE*, Vol. 21, No. 4, pp. 148~153.
- (10) Rhee, K., Y., Lee, J., H. and Kim, H., J., 2004, "Compressive Behavior of Carbon/Epoxy Composites under High Pressure Environment-Strain Rate Effect," *Proc. of the KSME, April Conference*, pp. 223~225.