

압축 충격파를 이용한 평판형상 세라믹의 파괴거동

황권태* · 김재훈* · 이영신* · 박종호** · 송기혁** · 윤수진***

Fracture Behavior of Plate Shape Ceramic using Compressive Shock Wave

Kwontae Hwang* · Jaehoon Kim* · Youngshin Lee* · Jongho Park** · Keehyuck Song** · Soojin Yoon***

ABSTRACT

Fracture characteristics of plate shape using shock tube for glass filled ceramics was carried out. Glass filled ceramics have been considered as a promising candidate material for the dome port cover of air breathing engine. This part of the air breathing engine has an important role separating solid and liquid fuel, and needs the frangible characteristics that the fracture of a part should not affect the internal components of combustion. The objectives of this study are to evaluate the fracture pressures for various thicknesses and diameters of shock impact area. Also fracture phenomena of separated membrane using a shock tube are observed. The experimental apparatus of shock tube consists of a driver, a driven section and a dump tank. The used material is glass filled ceramic made from Corning company. Specimens are used 3, 4.5 and 6mm thickness. Also diameters of shock wave area are chosen 70, 60 and 50 mm. It is expected that the results obtained from this study can be used in the basic data for the dome port cover design of an air breathing engine.

Key Words: Dome port cover(돔포트커버), Glass filled ceramic(유리충진세라믹), Shock tube(충격파관), Plate shape(평판형상), Fracture pressure(파괴압력), Fracture behavior(파괴거동)

1. 서 론

본 연구의 목적은 고체연료와 액체연료를 추진제로 사용하는 공기 흡입식 엔진의 연료 분리막인 돔포트 커버의 재료로 사용될 수 있는 세라믹을 선정하여 파괴 거동을 관찰하는 것이다.

돔포트 커버 재료의 설계 요구조건에는 파괴 시 잘게 부스러져 배출에 용이하여야 하며, 일정 압력과 높은 온도에 대한 저항성으로 파괴 직전까지 변형이 일어나지 않아야 하며, 가공이 용이해야 한다[1]. 이러한 성질을 가진 세라믹인 Corning사의 Macor 세라믹을 선정하여 두께와 형상에 따른 파괴된 형상과 파괴 압력을 측정하였다. 실험장비는 돔포트 커버가 일정 압력을 견디다가 고체연료가 모두 소진되면 압력이 떨어져 램압으로 파괴되는 원리[2]를 구현할 수 있는

* 충남대학교 기계설계공학과

** 충남대학교 기계공학과

*** 국방과학연구소

연락처 : 김재훈, E-mail: kimjhoon@cnu.ac.kr

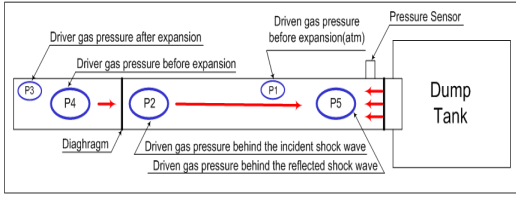


Fig. 1 Schematic diagram of shock tube

충격파관을 이용하였다. 충격파관은 고압부에 압력을 채우고 다이어프램 파괴 시 압축파가 관을 따라 흐르게 되어 출구 쪽으로 방출되는 원리를 가지고 있다. 본 연구에서는 평판형상의 세라믹 시편에 대하여 두께 및 직경을 변화시켜 파괴 압력을 측정하고 이론적인 파괴압력과 비교 및 파괴된 시편의 형상과 특성을 충격파 터널을 이용하여 관찰하였다.

여기에서 얻어진 충격파관을 이용한 세라믹의 파괴특성 데이터는 공기흡입식 엔진의 분리막 소재 개발의 기초 자료로 이용될 것으로 기대되어 진다.

2. 관련이론

충격파관에서 유동의 해석은 1차원 유동, 가스의 비열비는 온도에 관계없이 일정, 기체는 완전 기체이며 충격파를 제외하고 점도와 전도가 없는 등엔트로피 유동이며, 고압실과 저압실을 막고 있는 격막은 순간적으로 열리고 초기 조건으로 정한 일정 강도의 충격파가 형성되어 전달되는 가정을 가지고 연속방정식과 운동량방정식, 에너지 방정식을 이용하여 아래와 같은 식을 구할 수 있다[3].

Figure 1은 충격파관의 개략도를 나타내는 것으로 고압부 압력(P_4)과 저압부 압력(P_1)의 비 P_4/P_1 은 다음과 같다.

$$\frac{P_4}{P_1} = \left[\frac{2k_1 M_s^2 - (k_1 - 1)}{k_1 + 1} \right] \cdot \left[\frac{1}{1 - \frac{a_1}{a_4} \frac{k_4 - 1}{k_1 + 1} \left(M_s - \frac{1}{M_s} \right)} \right]^{\frac{2k_1}{k_1 - 1}} \quad (1)$$

세라믹 시편에 충격을 가하기 위한 시험을 하기 위하여 반사 충격파 뒤의 가스를 이용하는 방법을 사용할 것이다[4].

입사파 압력(P_2)과 저압부 압력(P_1)비 P_2/P_1 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{2k_1 M_s^2 - k_1 - 1}{k_1 + 1} \quad (2)$$

또한 반사파(P_5)와 입사파(P_2)의 압력비 P_5/P_2 는 다음과 같다.

$$\frac{P_5}{P_2} = \frac{(3k_1 - 1)M_s^2 - 2(k_1 - 1)}{(k_1 - 1)M_s^2 + 2} \quad (3)$$

본 논문에서는 시험가스와 구동가스 모두를 공기로 사용하였다.

3. 시험재료 및 시험방법

3.1 시험재료

본 연구에 사용된 재료는 Corning 사의 Macor 세라믹이다. Table 1은 세라믹의 화학조성을 나타낸 것이며[5], Table 2는 기계적 특성을 나타낸 것이다. 또한 Fig. 2는 세라믹 시편의 형상을 나타낸 것으로 시편의 지름은 $D_0=98, 80, 70$ mm로 가공하여 충격파를 받는 직경이 각각 $d=70$,

Table 1. Chemical compositions of glass filled ceramics

Compositions	Approximate weight (%)
Silicon, SiO ₂	46
Magnesium, MgO	17
Aluminum, Al ₂ O ₃	16
Potassium, K ₂ O	10
Boron, B ₂ O ₃	7
Fluorine, F	4

Table 2. Mechanical properties of glass filled ceramics

Mechanical property	Value
Density, (g/cc)	2.52
Young's modulus at 25°C, (GPa)	67.7
Poisson's ratio	0.27
Compressive strength, (MPa)	341.7
Hardness of Rockwell, (H _{RA})	47.4
Fracture toughness, (MPa√m)	1.7

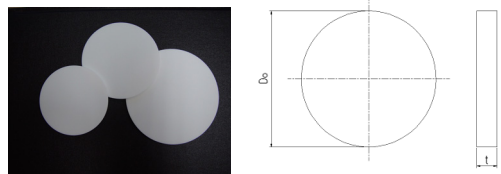


Fig. 2 Configuration and dimension of specimen



Fig. 3 Experimental apparatus of shock tunnel

60, 50 mm 가 되도록 하였으며, 시편의 두께는 $t=3, 4.5, 6$ mm가 되도록 하였다.

3.2 시험방법

세라믹의 압축 충격파에 의한 파괴 현상을 연구하기 위한 장비는 Fig. 3과 같은 Shock Tube 이다. 최대 입사충격파의 마하수 M_s 는 4이며, 공기 흡입식 엔진이 마하수 3~4에서 작동되고, inlet 압력은 마하수 1 전 후 압력에서 분리막이 파괴된다고 예상하여 마하수 1~2.5를 얻을 수 있는 구동가스, 시험가스로 모두 공기를 사용하였다[6]. 높은 압력과 압력의 조절을 용이하게 하기 위하여 같은 2중 다이어프램을 사용하였으며 [7], 재료로는 1장당 5bar의 압력을 견디는 OHP 필름을 사용하였다.

고압부의 압력은 3상 에어 컴프레서를 이용하여 1~2 bar 단위로 압력을 증가시켜 파괴 압력을 측정하였다. 시험장치의 끝부분에 시편을 Shock Tube에 수직하게 설치한 후 소켓을 끼워 완전히 고정하였다. 입사파와 반사파의 측정은 시편 장착부분에서 각각 150, 250 mm 떨어진부분에 압력센서 PCB112A를 설치하고 오실로스코프와

연결하여 측정하였다. 세라믹이 압축 충격파에 의해 파괴된 후 파괴된 시편은 10 mm 두께의 강화 고무판을 장착한 덤프탱크에 수집을 하였다.

4. 결과 및 고찰

Table 3은 세라믹시편의 두께 및 충격파 면적에 따른 파괴압력의 실험과 이론의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 4는 이론과 실험의 결과를 비교한 그래프로 입사파는 비교적 잘 일치하나 반사파는 압력이 증가할수록 오차의 폭이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 시험편의 장착부위에서 실험으로 발생하는 압력의 손실에 의한 것으로 사료된다[8]. Fig. 5는 충격파 직경 및 두께에 따른 평판형상 세라믹의 파괴압력 P_4 를 나타낸 것으로 두께 3 mm의 시편은 직경의 감소에 따라 파괴압력의 증가를 보이지 않는 구간이 나타났으며, 두께 4.5 mm의 시편은 직경의 감소에 따라 선형적 증가를 보였다. Fig. 6은 분리막 설계의 기초 자료로 이용될 수 있도록 두께의 증가와 직경의 감소에 비례하는 특징을 이용하여

Table 3 Result of pressures P_4 , P_2 and P_5

d(mm) t(mm)	70			60		50	
	3.0	4.5	6.0	3.0	4.5	3.0	4.5
P_4	9	16	27	10	30	20	45
P_2 (Theory)	2.75	3.45	4.20	2.87	4.36	3.76	5.01
P_2 (Exp.)	2.8	3.9	4.3	3.2	4.8	4.0	5.1
P_5 (Theory)	6.53	9.65	13.30	7.05	14.13	11.10	17.64
P_5 (Exp.)	5.4	8.5	10.5	6.3	10.9	9.5	13.0

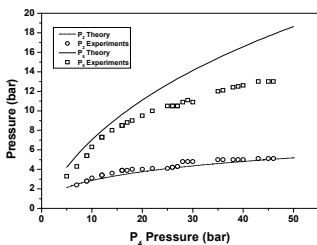


Fig. 4 Pressures P_2 and P_5 for pressures P_4

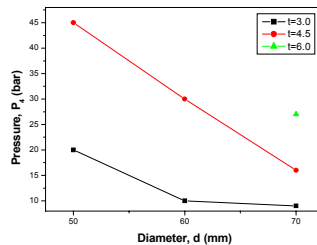


Fig. 5 Fracture pressures P_4 for various diameters and thickness

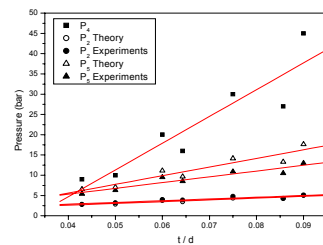


Fig. 6 Fracture Pressures for dimensionless t/d

d (mm)	70			60		50	
t (mm)	3.0	4.5	6.0	3.0	4.5	3.0	4.5
Fractured shapes							
Fragments							

Fig. 7 Fractured phenomena after testing

t/d로 무차원화 시켜 나타낸 결과로 Fig. 4와 같은 경향을 보였다. Fig. 7은 시험 후 Shock tube 제거 특성과 파괴 시편을 나타낸 것으로 대부분 잘 제거 되었으나 두께가 증가하고 직경이 감소함에 따라 잘 제거되지 않는 특성이 나타났다. 직경 d=50 mm, 두께 t=4.5 mm 시편에서는 제거가 되지 않고 균열이 가운데서 방사형으로 진전한 특성이 나타났다. 파단 된 시편의 수집결과 8 mm 이하의 작은 크기로 파단된 것을 확인 할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 Shock tube에서 세라믹의 파괴 거동에 관한 연구를 수행하였다. 입사파는 이론 값과 잘 일치하나 반사파는 압력 증가에 따라 약간의 차이를 보인다. 파괴 압력은 시편의 두께가 증가할수록 선형적 증가를 보였으며, 시편의 직경 감소에 따라 증가하는 경향을 보였다. t/d 무차원화 결과 파괴압력의 선형적 결과를 얻었으며, t/d 값의 증가에 따라 값이 약간 분산되는 것을 알 수 있다. 파괴 양상은 시편의 중앙에서 방사형으로 균열이 진전되어 테두리를 따라 이루어지며 두께 증가 및 직경 감소에 따라 잘 제거되지 않는 특성이 있으며, 파단 된 시편은 대부분 8 mm이하로 파단이 되는 것을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 방사청과 국과연의 지원으로 수행 되었으며, 깊이 감사를 드립니다.(UD060012AD)

참 고 문 헌

1. P. R. Scannell, N. R. Milich and E. O. Kalil, "Advanced Integral Rocket Ramjet Port Cover Development," AIAA Journal, No. 1980-1279, 1980.
2. F. F. Webster, "Liquid Fueled Integral Rocket Ramjet Technology Review," AIAA Journal, No. 1978-1108, 1978.
3. A.M. Saad, "Compressible Fluid Flow," Prentice-Hall, Englewood Cliffts, NJ, 1985, pp.132-189
4. A. Ferri., 1961, "Fundamental Data Obtained from Shock-Tube Experiment," pp.86~136
5. [Http://www.Corning.com](http://www.Corning.com)
6. Takegoshi and Kanda, "Research Activity on Rocket-Ramjet Combined cycle Engine in JAXA," AJCPP 2008, 2008.
7. M. S. So, "The Design and Performance Evaluation of a Ground Test Facility for High Speed Flow Simulation Test," Doctoral dissertation, Chungnam national university graduate school, 1997.
8. W. S. Shin, Y. C. Park, M. S. So, Y. G. Kim and J. H. Park, "The Design and Performance Evaluation of a Shock Tunnel," *Research Institute of Industrial Technology*, Vol. 12, No. 1, 1997