

## 압축수소가스 충전에 따른 타입Ⅳ 용기의 온도 변화에 관한 실험적 연구

\*이 승훈<sup>1)</sup>, \*\*김 영규<sup>2)</sup>, \*\*윤 기봉<sup>3)</sup>

### An Experimental Study on Internal Temperature Changes of Type IV Cylinder according to Filling with Compressed Hydrogen Gas

\*Seunghoon Lee, \*\*Youngyu Kim, \*\*Keebong Yoon

**Key words** : Compressed Hydrogen Gas(압축수소가스), Hydrogen Cylinder(수소용기), Type IV Cylinder(타입Ⅳ 용기)

**Abstract** : In this paper, the study is researched for related safety standards having experiments concerning temperature changes in type IV cylinder of the Hydrogen fuel cell vehicle. Experiments were performed to acquire temperature data of type IV cylinder according to filling time. The experimental results are shown that internal temperatures of type IV vessel are over 85°C at all measured points after 5 minutes at filling 35 MPa and the highest temperature is getting lower when the residual gases are more remained. Consequently, the safety standards need properly limited value through further study for filling flow rate and filling time.

#### 1. 서론

자원고갈, 지구온난화 및 환경오염 등의 문제로 인해 대체에너지에 대한 관심이 전 세계적으로 높아지고 있다. 대체에너지로서 수소에너지는 기존의 화석연료의 장기적인 대안이자 미래의 청정에너지원으로서 주목받고 있다<sup>1)</sup>. 수소에너지에 대한 연구는 세계적인 추세로 미국의 경우, 2003년부터 수소안전 관련 코드 및 위험성에 대한 연구가 시작되었으며<sup>2)</sup>, 일본을 비롯한 유럽 각국은 수소의 생산, 운반, 저장, 분배의 수소 인프라와 수소엔진, 연료전지 등 수소경제의 기반이 되는 핵심원천 기술의 연구개발에 경쟁적으로 투자를 지속하고 있다. 우리나라 역시 정부가 '수소 마스터 플랜'을 완성한 후, 2005년을 수소경제 원년으로 선포하고, 수소연료전지자동차 및 가정용 연료전지 사업 등을 전개해 나가고 있다. 이처럼 대체 에너지로서 수소에너지의 중요성이 부각되면서, 일반 대중의 관심과 우려 또한 증가하고 있는 상황이다. 수소 이용 시스템에 대한 활발한 연구개발 및 상용화가 근접함에 따라

수소안전에 대한 연구는 시급한 과제로 부상하고 있다. 수소는 밀도가 낮고 분자 크기가 매우 작아 확산이 빠른 기체로 수소의 제조, 운반, 저장 시 누출의 위험성이 상존 한다<sup>3)</sup>. 수소는 밀폐된 공간에서 상부에 가연성 혼합물을 만들게 되며, 넓은 폭발범위(4~75%), 낮은 발화에너지, 빠른 화염전파속도 등의 특징으로 위험을 초래할 수 있다<sup>4)</sup>. 이에 본 연구에서는 수소의 저장기술 중 압축수소가스를 연료로 사용하는 수소연료전지 자동차용 타입Ⅳ 용기에 수소가스를 충전하면서 내·외부 온도 변화를 측정하여, 관련기준을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

- 
- 1) 한국가스안전공사 가스안전연구원  
E-mail : prooflee@kgs.or.kr  
Tel : (031)310-1474 Fax : (031)315-4363
  - 2) 한국가스안전공사 가스안전연구원  
E-mail : gykim@kgs.or.kr  
Tel : (031)310-1470 Fax : (031)315-4363
  - 3) 중앙대학교 기계공학부  
E-mail : kbyoon@cau.ac.kr  
Tel : (02)821-1547

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1은 압축수소가스 충전실험에 사용된 실험 장비를 나타내고 있으며, 실험은 실제 충전을 모사하기 위하여, 350bar 수소충전소에서 실시하였다. 실험 장치는 용기와 충전을 할 수 있는 리셉터클, 내부의 온도측정을 위한 지그, data 수집 장치(DAQ), 열화상 카메라로 구성되어 있다. Fig. 2는 내부온도를 측정할 수 있는 지그로 End Plug쪽으로 T Type 온도센서를 삽입하여 측정하였다. Table 1은 실험에 사용된 타입IV 용기의 사양을 나타내고 있다. 충전압력에 따른 타입IV 용기의 내부 온도변화를 측정하기 위하여 T 타입 온도센서를 Fig. 2와 같이 용기 내부의 6곳에 설치하였으며, DAQ(NI)를 사용하여 1초 간격으로 데이터를 취득하였다.

Table 1 Specification of type IV cylinder

Items	Specification
Working Gas	Hydrogen
Volume	72 l
Diameter	403mm
Length	900mm
Weight	37kg
Working Pressure	35 MPa

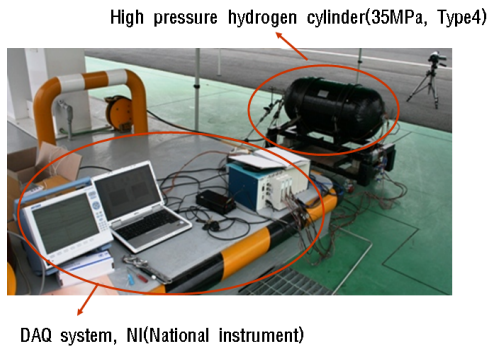


Fig. 1. Experimental apparatus.

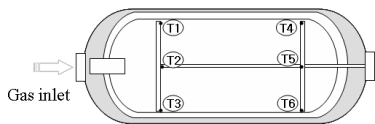


Fig. 2. Schematic diagram for thermocouple location.

### 2.2 실험방법

현재 ISO/DIS 15869에서 타입IV 용기 충전 시 온도는  $-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 로 제한하고 있다<sup>5)</sup>. 이에 본 실험은 현재 생산되고 있는 타입IV 용기에 수소

를 충전할 경우 ISO의 제한 온도 기준에 적합한지를 알아보려고 하였다. 타입 IV 용기에 수소를 0~35 MPa 까지 충전할 때, 시간에 따라 용기 내부 및 외부의 온도변화를 측정 하였다.

용기내부의 온도변화는 모두 6개의 온도센서(Thermo couple)를 End Plug쪽으로 용기내부에 삽입하여 양쪽 돔(Dome)부와 실린더부에 각각 2개씩 설치하여 측정하였고, 용기 외부의 경우는 밸브, End Plug, 각 돔 부와 실린더 부 등 4부분에서 온도변화를 측정 하였으며, 열화상 카메라를 이용하여 충전 시 온도변화 및 충전량을 측정 하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 수소가스 충전 시 충전시간에 따른 용기 내부의 온도변화

Fig. 3은 수소가스를 타입IV 용기에 35 MPa까지 충전하였을 때 시간에 따른 용기내부의 온도변화를 나타내고 있다. 충전이 시작되고 약 5분 후 T1에서  $88.4^{\circ}\text{C}$ 의 최고온도를 나타내었고, T2에서  $85.3^{\circ}\text{C}$ 의 최저온도를 나타내며, 모든 측정 범위에서  $85^{\circ}\text{C}$ 가 넘는 것을 확인하였다. T1에서 최고온도를 나타내는 것은 부력의 영향으로 판단 된다[6]. 충전 후 약 10분경과 후, 용기 내부 온도는 T4에서  $69.6^{\circ}\text{C}$ 의 최고온도를 나타내었고, T6  $62.0^{\circ}\text{C}$ 의 최저온도를 나타내며 안정화되었다.

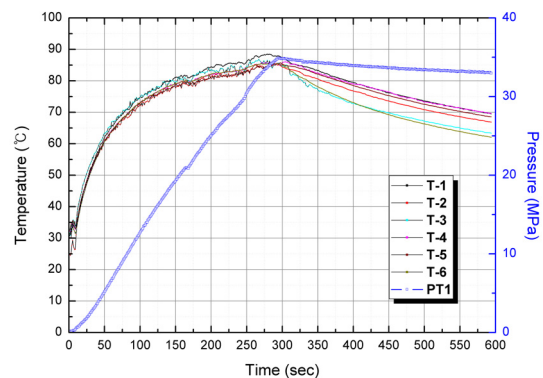


Fig. 3. Internal temperature change of type IV cylinder according to hydrogen filling.

### 3.2 용기내부 상부와 하부의 온도변화

밸브 및 End Plug쪽의 상·중·하부의 온도변화 그래프이다. 충전 시에는 T1, T3와 T4, T5의 온도가 중앙부의 온도보다 높게 측정되었으며, 충전 후에는 상부, 중앙부, 하부의 순서대로 온도가 높게 측정되었다. 이 결과는 용기에 충전되면서 발생된 열이 시간이 지나면서, 부력에 의해 용기 상부로 이동하면서 T1, T4부분에 온도가 높게 형성되는 것으로 추정된다.

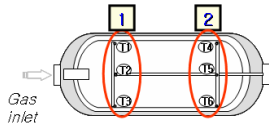


Figure. 3. Compare top temperature with bottom temperature

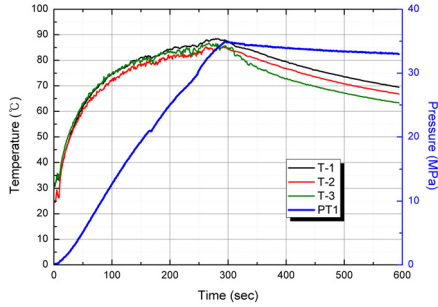


Fig. 4. Internal temperature variation in T1, T2 and T3

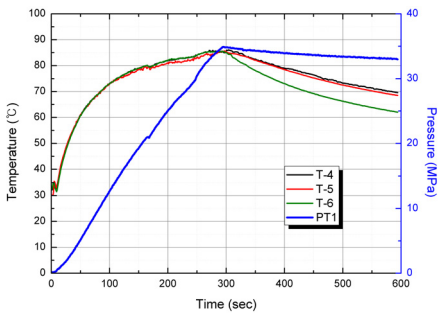


Fig. 5. Internal temperature variation in T4, T5 and T6

### 3.3 용기외부의 온도변화

충전이 시작되면서 가장먼저 온도가 상승하는 부분은 Fig. 8.과 같이 금속으로 된 알루미늄 노즐(양단)이며, 그 다음으로 온도가 상승하는 부분은 양쪽의 돔(Dome)부분이다. 용기 제작 시 몸체부분은 Hoop winding과 Helical winding이 동시에 적용되어 두께가 두꺼운 부분이라 온도상승이 느린 반면, 돔부의 경우 Helical winding만 적용되어 두께가 얇아 온도의 상승이 몸체부보다 빠르게 나타난다.

용기외부에서 측정된 온도데이터와 같이 금속부로 된 노즐부위의 경우, 충전이 시작된 후 약 2분 30초가 경과되면, 최고온도에 도달하며, 양쪽의 돔부는 약 12분 후에, 몸체부는 약 16분 후에 최고온도에 도달하는 것으로 나타났다. 열화상 온도측정에서도 이와 유사한 경향을 보이고 있다.

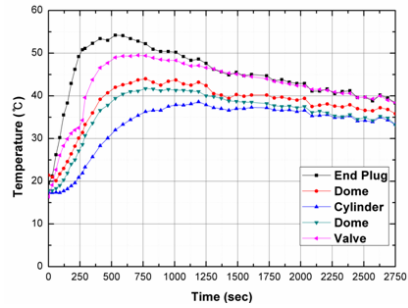


Fig. 6. External Temperature variation of cylinder (Infrared camera)

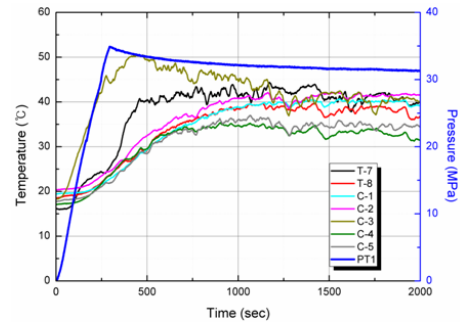


Fig. 7. External Temperature variation of cylinder (Thermo-couple)

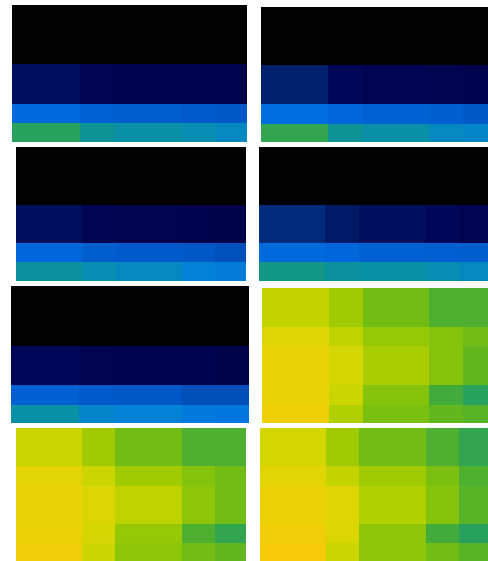


Fig. 8. External Temperature variation of cylinder (Thermo couple)

### 3.4 용기외부의 온도변화

시험은 총 7회 실시하였으며, 시험결과 충전 시간이 짧아질수록 용기 내부의 온도는 상승하며, 충전량은 감소하는 것으로 나타났다.

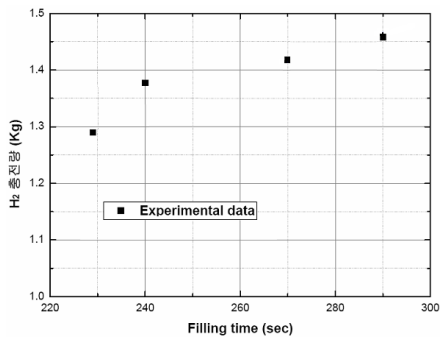


Fig. 9. External Temperature variation of cylinder (Thermo couple)

#### 4. 결론

본 연구에서는 수소의 저장기술 중 압축수소 가스를 연료로 사용하는 수소연료전지자동차용 초고압 타입IV 수소용기의 내부 온도 변화를 알아보고자 수소를 충전하면서 실험을 수행하였다.

실험결과,

- 수소가스를 타입IV 용기에 0에서 35 MPa까지 충전하였을 경우, 충전 완료시점에서 용기내부의 온도가 ISO 기준의 상한 온도인 85℃를 초과하는 것을 확인하였으며,
- 용기 내부의 온도측정결과 충전 후 유지 시간 동안 용기내부의 하부보다는 상부의 온도가 높게 측정되었고,
- 완 충전시간이 작을수록 충전량이 감소하는 결과를 얻을 수 있었다.

현재 ISO/DIS 15869에서 타입IV 용기 사용 시 온도기준은 -40℃~85℃로 제한하고 있으나, 본 실험결과 0에서 35 MPa 충전 시 이 기준을 만족하지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 본 실험은 외부온도가 약 15~20℃에서 실시하였으나, 외부온도가 높은 여름철이나, 용기가 차량내부에 설치되어 있어 온도가 상승할 수 있는 여건에서 실험을 한다면, 용기내부의 온도는 100℃이상이 될 것으로 예측된다. 이러한 결과를 보았을 때, Type4용기의 온도변화에 따른 수명평가, 충전유량 및 충전시간 변화에 따른 온도변화 측정 실험 등 추가적인 연구를 통하여, 타입 IV 용기 사용을 위한 적절한 안전기준제시가 필요할 것으로 사료된다.

또한, 수소연료전지 자동차의 실용화를 위해서는 연료전지의 내구성 등 핵심 기술의 확보가 중요하지만, 안전한 사용을 위한 인프라 관련 기술의 확보도 현재 시점에서 필요하다고 생각된다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 신·재생에너지기술개발사업(2006-N-HY12-P-01) 『수소 연료전지 안전성

연구』의 일환으로 수행되었습니다.

#### References

- [1] Akansu S., Dulger Z., Kahraman N. and Veziroglu T., "Internal combustion engines fueled by natural gas-hydrogen mixtures," Int. J. Hydrogen Energy., (2004)
- [2] Department of Energy., "Regulator Guide to Permitting Hydrogen Technologies," U.S.A., (2004)
- [3] Borman G.L. and Ragland K.W., "Combustion Engineering," McGraw-Hill, New York, 1998.
- [4] Hord J., "Is hydrogen a safe fuel?," Int. J. Hydrogen Energy., Vol. 3, No. 2, pp. 157~176, (1978)
- [5] ISO/DIS 15869.2, Gaseous hydrogen and hydrogen blends - Land vehicle fuel tanks, (2006)
- [6] C.J.B. Dicken, W. Merida, "Measured effects of filling time and initial mass on the temperature distribution within a hydrogen cylinder during refueling", Journal of Power Sources, (2007)