



## 천연가스 차량용 체크밸브의 내구성능에 관한 연구

\*김창기 · 이선엽 · 조규백

한국기계연구원

(2009년 11월 7일 접수, 2009년 12월 22일 수정, 2009년 12월 22일 채택)

## A Study on Durability Test of Check Valve for CNG Vehicles

\*Chang Gi Kim · Sun Youp Lee · Gyu Baek Cho

Dept. of Engine Research, Korea Institute of Machinery and Materials, Daejeon, 305-343, Korea

(Received 7. November. 2009, Revised 22. December. 2009, Accepted 22. December. 2009)

### 요 약

대도시 대기질 개선을 위한 정부 정책에 의해 1990년대 이후 천연가스 차량의 보급 대수는 계속 증가하고 있다. 그러나 천연가스 차량은 환경면에서 유리한 대신 화재 발생 시 대형 사고가 잠재하므로 항상 안전에 대한 대책이 요구된다. 천연가스 차량에 장착되는 여러 가지 연료 부품 중 체크밸브는 연료용기에 충전된 고압의 천연가스가 연료주입구를 통해 외부로 방출되지 않도록 하는 안전장치로서 반복사용에 따른 내구성이 보장되어야 하는 부품이다. 본 연구에서는 천연가스 차량용 체크밸브를 대상으로 반복 사용시험, 극한 떨림시험에 따른 내구성능과, 압축기 오일에 의한 밸브 쉘의 영향을 평가하였다. 실험 결과 천연가스 차량에 사용되고 있는 체크밸브는 인증규정을 만족하였지만 압축기 오일에 오랫동안 노출될 경우 밸브 쉘의 누설방지 기능에 문제를 발생시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

**Abstract** - The number of compressed natural gas (CNG) vehicles have increased gradually by virtue of Korea government's urban air quality improvement policy since 1998. Although the use of CNG as transportation fuel gives environmental benefits, there is a possibility of huge accidents from unexpected fire. Therefore, needs for the guarantee of safety are indispensable for the reliable operation of CNG vehicles. A check valve is a safety device which prevents leakage of the pressurized fuel charged in a fuel tank. Durability of this component should be guaranteed in spite of repeated operation. This research has performed durability tests of a CNG check valve regarding the repeated usage, extreme chattering, and the effect of compressor oil. Although a check valve used for CNG vehicle satisfies validation requirements in the test results, it has been found that problem in the function of leakage prevention in a check valve could take place in the case of prolonged exposure to compressor oil.

**Key words** : CNG, check valve, durability, chattering, leakage, compressor oil

### 1. 서 론

현재 세계 에너지원의 대부분을 차지하고 있는 석유는 2020년을 전후로 많은 부분을 천연가스와 같은 가스연료에게 그 자리를 넘겨 줄 것으로 예상하고 있다. 국내의 경우 2002년 한·일월드컵을 계기로 도심지 대기환경을 개선할 목적으로 천연가스 버스의 보급을

지속적으로 확대해 왔으며 2009년 현재 2만대 이상의 천연가스 자동차가 운행 중에 있다.

천연가스 연료는 청정성과 우수한 연소특성을 가진 자동차 연료이기 때문에 그 사용량이 많아지고 있지만 최근 고압 충전에 따른 여러 문제점들이 지적되면서 연료부품의 안전성에 더 많은 관심을 갖게 되었다. 천연가스 자동차에 사용되는 연료부품들은 ECE, ISO, ANSI 등의 국제규정에 따른 안전성 평가기준[1-3]을 만족한 제품들이어도 불구하고 연료누출에 따른 화재

\*주저자:cgkim@kimm.re.kr

사고 또는 연료용기의 폭발사고가 국내외에서 간헐적으로 발생되고 있다.

본 연구에서는 천연가스 자동차에 장착되는 여러 연료부품 중 Fig. 1에 나타낸 바와 같은 방식의 체크밸브를 대상으로 장시간 사용에 따른 문제점을 파악하고자 반복사용시험, 극한떨림시험에 따른 내구성능과, 압축기 오일에 의한 밸브씰의 영향을 평가하였다. 체크밸브는 천연가스가 주입되는 가스충전구 바로 후단에 차량당 1개가 설치되며, 역류방지 기능을 통해 연료용기에 충전된 고압의 천연가스가 연료주입구를 통해 외부로 방출되지 않도록 하는 안전장치로서 고속, 고압의 천연가스와 압축기 오일이 직접 닿는 내구적으로 열악한 환경에 놓여있는 연료부품이다.[4]

## II. 실험장치 및 방법

내구성능을 평가하기 위해 체크밸브에 300bar 이상의 고압 건조공기를 공급할 수 있는 장치를 사용하

였으며 각 시험의 조건 및 방법을 Table 1에 나타내었다. 여기서 반복사용시험과 극한떨림시험은 ISO-15500 규정에 따랐으며 압축기 오일 영향평가시험은 국제 규정에 없는 항목으로써 실제 사용조건에 따른 내구성능을 평가하기 위한 것이다. 천연가스를 충전할 때 압축기 오일이 전이되어 체크밸브에 묻게 되는데 이러한 오일 전이는 체크밸브 씰을 경화시켜 누설방지 기능을 약화시키게 된다.

각 시험 후에는 각각의 샘플에 대해 300 bar 누설평가시험을 실시하였으며 밸브씰의 표면을 광학현미경으로 촬영함으로써 누설평가시험으로부터 확인할 수 없는 부분들을 가시적으로 평가하였다.

**반복사용시험** - Fig. 2와 Fig. 3과 같이 오일침지를 하지 않은 3개의 샘플을 대상으로 입구 및 출구 압력이 정격사용압력 250bar (100%) 이상과 125bar (50%) 이하를 20,000회 반복하여 가압 및 감압되도록 하고, 한 사이클 10±2초를 유지하되 실온, 고온, 그리고 저온 시험을 규정에 맞게 나누어서 시험을 실시하였다. 체크

Table 1. Durability test items and their methodologies of check valves.

시험항목	시험방법
반복사용시험	총 20,000 사이클, 정격사용압력에 대해 입구/출구압력을 100%에서 50%사이를 반복, 96% 실온, 2% 고온(120℃), 2% 저온(-40℃) 사이클
극한떨림시험	가장 떨림이 심한 유동조건에서 24시간 방치, 실온
오일영향평가시험	압축기오일(Mysella XL 40)에 3개월 침지 후 실험

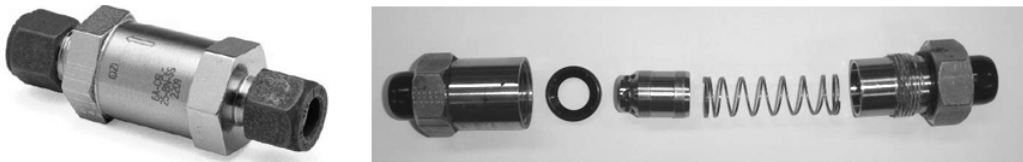


Fig. 1 Photographs of a Check valve and its components used in CNG vehicles

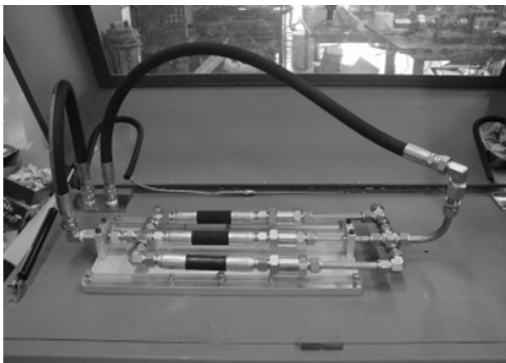


Fig. 2. Photograph of repeated usage test rig.

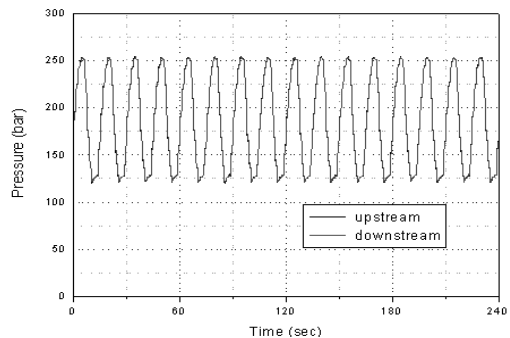


Fig. 3. Upstream and downstream pressure traces of check valves(overlapped).

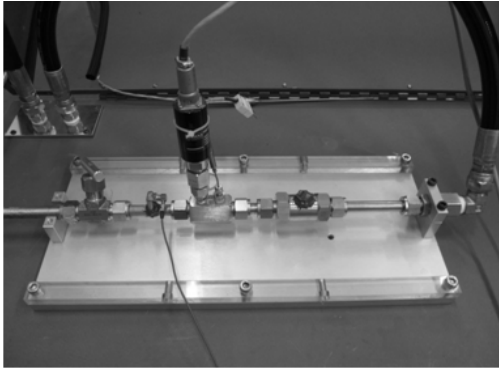


Fig. 4. Photograph of extreme chattering test rig.

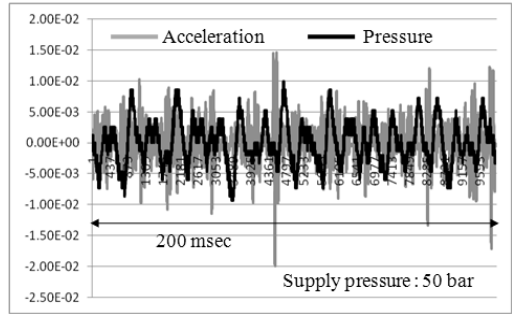


Fig. 5. Acceleration and pressure traces in chattering test(AC raw voltage values).

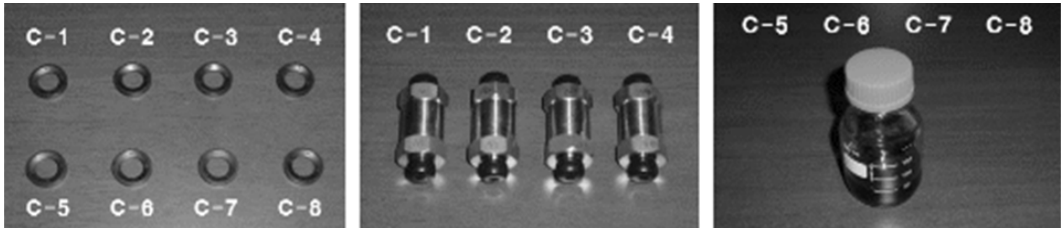


Fig. 6. Photographs of check valve seals w/o (C-1~4) and w/ (C-5~8) oil immersion.

밸브의 경우 엔진 룸에 장착되는 부품이 아니기 때문에 고온과 저온시험을 각각 85℃와 -40℃로 하여도 되지만 좀 더 가혹한 조건을 부여하기 위해 120℃와 -40℃로 하였다.

극한떨림시험 - 체크밸브는 스프링과 출구 및 입구의 압력차이의 힘으로 닫히거나 열리는 구조를 가지고 있어 스프링 힘과 압력차이의 힘이 평형을 이룰 경우 닫히고 열리는 현상이 계속적으로 발생하는 떨림(chattering)이 발생한다. 이러한 떨림현상은 체크밸브 씰의 내구 수명에 가장 큰 영향을 주는 현상으로써 공급압력과 유량에 따라 다른 패턴으로 나타나는데 시험규정에는 압력과 유량에 대한 특별한 언급이 없어 시험자가 주관을 가지고 조건을 부여할 수밖에 없다.

본 연구에서는 가능한 한 가혹한 극한떨림시험을 실시하기 위해 Fig. 4 및 5와 같이 떨림의 세기를 가속도계를 설치하여 판별하였고 체크밸브의 떨림이 아닌 다른 부품의 떨림, 예를 들어 파이프의 떨림과 같은 노이즈는 체크밸브의 출구압력을 통해 구별하였다. 다양한 압력과 유량에 대해 시험을 실시한 결과 시험 대상 샘플의 경우 50bar, 350 lpm 조건이 떨림의 크기도 크면서 유량도 연속 24시간 시험이 가능한 것으로 나타나 모든 극한떨림시험은 이 조건에서 실시되었다. Fig. 5의 가속도계와 압력센서의 시그널을 살펴보면

상기의 시험조건에서 압력변동과 동기되는 떨림의 주파수가 약 95Hz로 나타나 24시간 동안 체크밸브가 약 800만번의 열림과 닫힘이 반복되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 극한떨림시험은 체크밸브의 많은 작동을 유발하여 체크밸브 씰과 스프링의 반복사용에 따른 내구성능을 짧은 시간에 확인할 수 있는 시험이다.

오일의 영향을 평가하기 위해서 체크밸브 씰을 두 그룹으로 나누어 C-1~4까지는 오일 침지를 하지 않고 반복사용시험과 극한떨림시험에 적용하였으며 C-5~8까지는 오일침지를 하여 약 3개월간 상온에 방치한 다음 극한떨림시험에 적용하였다. (Fig. 6 참조) 사용된 오일은 천연가스를 고압으로 가압하는 압축기의 오일(Mysella XL 40)으로서 충전소에서 가장 많이 사용하는 오일이다. 오일의 영향에 대한 시험은 다른 시험규정이 있으나[5] 이는 반복사용과 무관한 시험이며 본 연구에서는 실제 사용환경에 가깝게 시험을 모사함으로써 오일이 반복사용에 따른 내구성능에 어느 정도의 영향을 미치는지 확인하고자 하였다.

### III. 실험결과

**반복사용시험** - 이 시험은 압력변동, 온도변동에 따라 연속적으로 체크밸브가 작동하는 시험이며

체크밸브 씰 뿐만 아니라 구성하는 몸체와 스프링, 그리고 외부누출방지 씰 등의 내구성능을 함께 평가하는 시험이다. 3개의 샘플에 대해 20,000회의 반복사용시험을 한 결과 외부결함이나 누설 등은 발견되지 않았는데, 이 시험에 사용된 체크밸브는 이미 ISO 규정에 따른 인증시험을 만족하여 천연가스버스에 실제 사용되고 있기 때문에 어느 정도 예상된 결과라고 할 수 있다.

Fig. 7은 체크밸브 씰을 광학현미경으로 확대 촬영한 사진(C-1 사진 또한 비슷한 경향이라 그림에서 제외함)의 일부로 반복사용(내구)시험 전후에 대해 보여주고 있다. 비록 1mm 정도의 크기로 횡으로 찢어지거나 이물질이 쌓여 있는 것과 같은 누설에 영향을 줄 만한 변화는 발견할 수 없었지만 반복사용에 따라 체크밸브 씰의 마모가 전반적으로 진행되고 있음을 확인할 수 있다. 반복사용시험은 열림과 닫힘의 횟수가 40,000회로 극한떨림시험보다 적으나 닫힘과 열림

의 세기가 크고 고온과 저온시험이 포함되어 있어 체크밸브 씰에 영향을 줄 수 있는 시험임을 알 수 있다.

극한떨림시험 - 이 시험은 규정상[2] 반복사용시험에 적용되었던 샘플을 대상으로 추가적으로 실시되는 시험임에 따라 본 연구에서도 반복사용시험을 마친 C-1~3을 대상으로 앞서 언급한 시험조건에서 24시간 극한떨림시험을 개별적으로 실시하였다.

극한떨림시험을 마친 다음 반복사용시험과 마찬가지로 300bar 누설시험을 실시하였지만 이것 역시 샘플 3개 모두 누설은 발생하지 않았다. 체크밸브 씰에 영향을 많이 줄 수 있는 극한떨림시험이지만 규정에 따른 시험에는 모두 만족하는 것으로 나타나 제품의 성능은 신뢰할 만한 수준이라 할 수 있다.

광학현미경으로 촬영한 Fig. 8을 보더라도 비록 마모가 더 진행되어 그 범위가 넓게 확대된 것을 알 수 있으나 누설이 발생할 정도의 변화는 없는 것을 확인

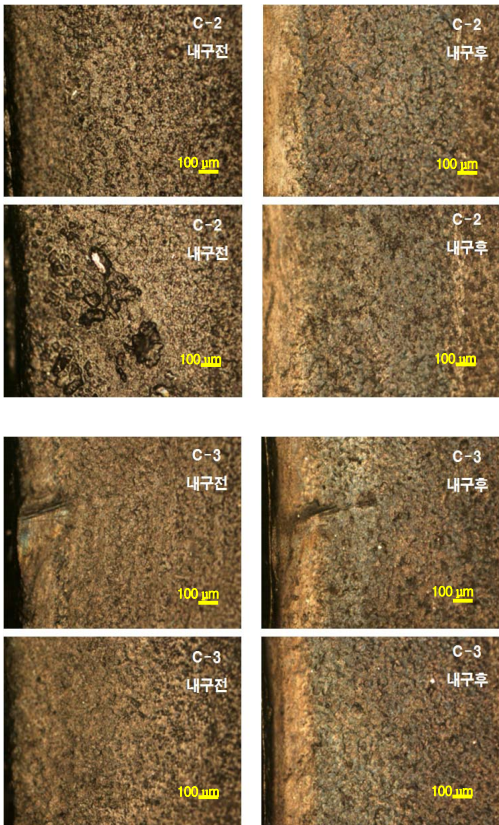


Fig. 7. Microscopic photographs of check valve seals before and after continuous operation test.

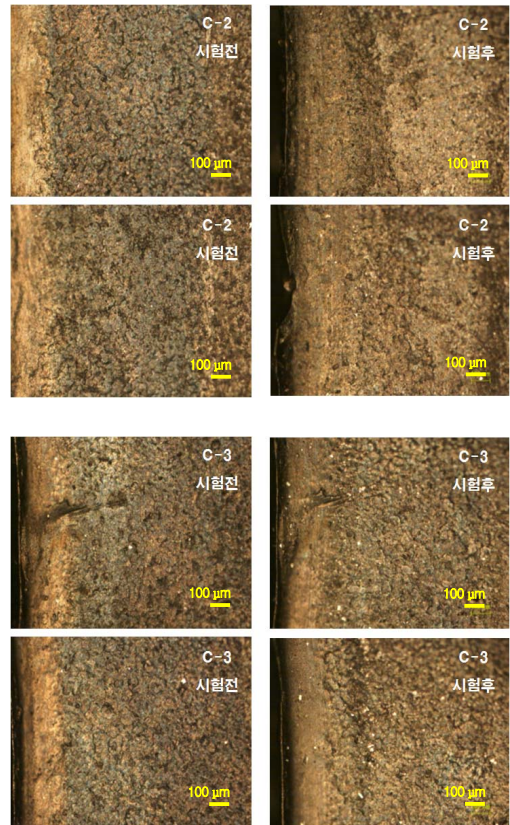


Fig. 8. Microscopic photographs of check valve seals before and after extreme chattering test.



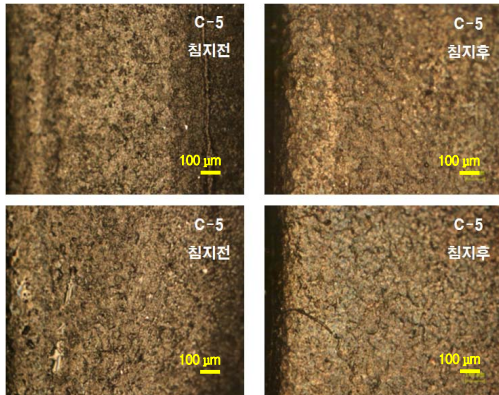


Fig. 9. Microscopic photographs of check valve seals before and after oil immersion.

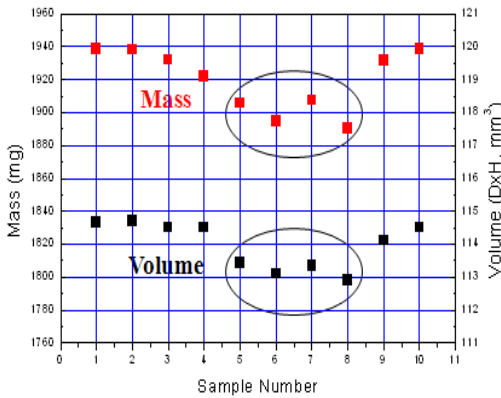


Fig. 10. Physical property values of check valve seals before and after oil immersion.

할 수 있다. C-2의 경우 체크밸브 씰의 끝부분이 조금 뜯겨져 나간 것을 볼 수 있는데 내구성능에 영향을 줄 정도는 아니었다.

오일영향평가시험 - 오일영향평가시험에 앞서 침지된 체크밸브 씰의 변화를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 9와 10에 나타내었다. 침지 전후를 비교해서 씰의 표면은 외관상으로 큰 변화는 없었지만 벽돌과 같이 경화된 느낌이 들었고 물리량 변화에 있어서는 침지한 씰(C5-8)의 질량과 부피가 침지하지 않은 씰에 비해 각각 2%와 1.5%씩 감소한 것으로 확인되었다. 씰의 질량과 부피가 감소한 것은 압축기 오일과 반응하여 씰의 성분 중 일부가 녹아 물질 변화가 있음을 판단할 수 있는 근거가 된다.

오일에 침지되었던 체크밸브 씰 중에 C-5를 반복

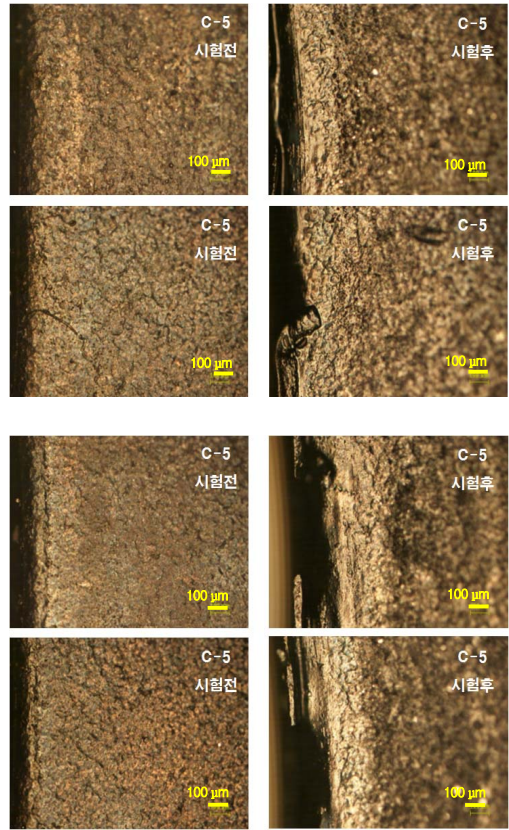


Fig. 11. Microscopic photographs of check valve seals affected by oil immersion before and after extreme chattering test.

사용시험 없이 곧바로 24시간 극한떨림시험에 적용하였다. 극한떨림시험을 마친 결과, 300 bar 누설시험에서 누설이 발생하지 않았지만 시험전후의 씰의 형상에는 다소 큰 변화를 발견할 수 있었다. Fig. 11의 확대촬영사진을 보면 시험 후 씰의 끝단이 심하게 마모가 되거나 뜯겨져 나온 현상을 여러 군데에서 발견할 수 있었는데 반복사용시험과 극한떨림시험을 거친 C-1~3의 씰보다 극한떨림시험만 적용된 C-5의 씰이 더 많이 손상되어 압축기 오일이 밸브 씰의 수명에 치명적인 영향을 주는 것을 알 수 있다.

비록 이러한 손상에도 불구하고 누설이 발생하지는 않았지만 압축기 오일에 의해 내구수명이 상당히 짧아질 수 있다는 것을 비교를 통해서 판단할 수 있다. 오일에 의한 체크밸브 씰의 경화는 표면의 탄성력과 인성을 감소시킬 수 있기 때문에 천연가스를 충전할 때 가능한 한 압축기 오일이 전이되지 않도록 하여야

하며 압축기 오일 또한 쉘의 재질과 반응성이 작은 제품을 사용하는 것이 필요하다.

## V. 결 론

천연가스 자동차에 사용되는 체크밸브를 대상으로 여러 가지 내구성능시험을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 20,000회의 반복사용시험을 실시한 결과 체크밸브의 내구성능에 변화는 거의 없었으며 확대촬영 사진을 통해 밸브 쉘의 마모가 일부 진행됨을 알 수 있었다.

2. 24시간 극한떨림시험을 적용한 결과 체크밸브 쉘의 마모가 더 진행되는 것을 확인할 수 있었지만 누설이 발생되지는 않았다.

3. 압축기오일에 장기간(3개월) 침지하였던 체크밸브 쉘은 극한떨림시험만으로 마모가 크게 발생하였고 일부 뜯김 현상이 동반됨으로써 쉘의 누설방지 기능에 압축기오일이 큰 영향을 줄 수 있음을 확인할 수 있었다.

4. 체크밸브의 내구성능시험에서 오일의 영향을

평가할 수 있는 시험이 고려될 필요가 있으며, 천연가스 충전 시 가능한 한 압축기오일이 전이 되지 않도록 하는 것이 안전상 필요하다.

## 참고문헌

- [1] ECE - Regulation 110 Revision (Consolidated to Supplement 7) CNG Equipment, (2008)
- [2] ISO 15500-3, Road Vehicles - Compressed Natural Gas (CNG) Fuel System Components - Part 3 : Check Valve (2007)
- [3] ANSI NGV3.1 - Fuel System Components for Compressed Natural Gas Powered Vehicles (NGV) (2008)
- [4] 여경모, 박경택, 박태조, 강병루. "CNG 차량의 연료공급라인용 Check Valve Seal의 거동해석", *KSTLE*, Vol. 22, No. 6, 329-334, (2006)
- [5] ISO 15500-2, Road Vehicles - Compressed Natural Gas Fuel System Components - Part 2 : Performance and general test methods (2007)