

BCPS Reliability Test Spec. 의 결정 방법

김 성 태¹, 이 호 기², 노 태 성³

ABSTRACT

본 논문은 BCPS(Balanced Canister Purge Solenoid valve) 의 Lab. 내구 시험 Spec. 결정 방법에 관한 것이다. BCPS 는 기존에 사용 중인 CPS(Canister Purge Solenoid valve) 의 응답성과 제어의 용이성을 좋게 하여 배기 가스 특성을 향상시키기 위해 CPS 내부에 Rubber 재질의 막(Diaphragm) 을 적용한 것이다. 하지만 이 Diaphragm 이 마모 등에 의해서 찢어지면, 오히려 배기 특성이 저하된다. 따라서 BCPS 의 적용을 위해서는 이 Diaphragm 의 내구성이 검증되어야 하며, 이를 위해서는 새로운 신뢰성 시험 Spec. 의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 BCPS Diaphragm 의 검증을 위해 필요한 신뢰성 시험 Spec. 을 결정 하였다. 이를 위해, X-ray Inspection System 등을 이용하여 부압에 따른 Diaphragm 의 형상 변화 등을 관찰하였으며, 실제 차량에서 Diaphragm 에 걸리는 압력의 분포를 측정 하였다.

1.서론

미국 유럽 등의 선진국 들은 자동차의 배기 가스에 대한 규제를 갈수록 강화 시키고 있으며 이와 같은 강화된 배기 가스 규제를 만족시키기 위해서 자동차 메이커와 자동차 부품 회사는 공동의 노력을 통해 여러 가지 방법들을 개발 하고 있다. BCPS(Balanced Canister Purge Solenoid valve) 는 이와 같은 노력의 일환으로 종래의 CPS (Canister Purge Solenoid valve) 를 개선하여 배기 가스 특성을 좋게 하기 위해 개발 중

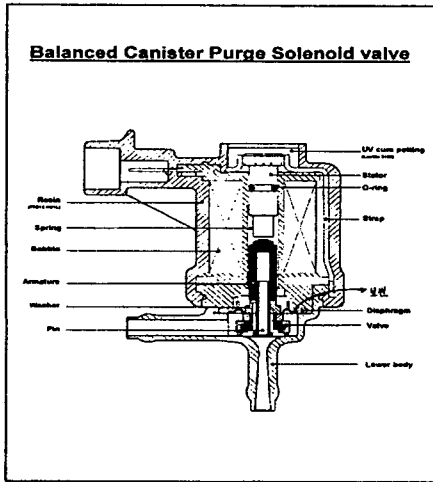
인 자동차 부품이다. CPS 는 일종의 전자식 Valve 로서 Canister 와 Intake Manifold 사이에 장착되어서 Canister 에 포집된 증발 연료가 Intake Manifold 에 발생하는 부압에 의해 엔진으로 들어가는 양을 조절해 주는 역할을 한다. CPS 의 Valve 는 10 Hz 의 주파수로 On-Off 작동을 하는데, 시동 초기 조건에서는 Due Time 을 작게 하여 Canister 로부터 들어가는 증발 연료의 양을 적게 하고, 엔진이 충분히 가열된 상태에서는 Due Time 을 크게 하여 Canister 로부터 들어가는 증발 가스의 양을 많이 함으로써

¹ 대우 자동차 품질 보증팀.

² 대우 자동차 부품 시험팀

³ 한국 EMS 품질 보증팀

배기 가스 특성을 조절하게 된다. 이 CPS의 내부에 Rubber 재질의 막(Diaphragm)을 넣고, Valve 앞 쪽의 Nozzle 모양을 Oval 형태의 Sonic Nozzle로 바꾸고, Valve에 작은 바늘 구멍(Needle Hole)을 낸 것이 BCPS이다.(그림 1)



< 그림 1 > BCPS 단면도

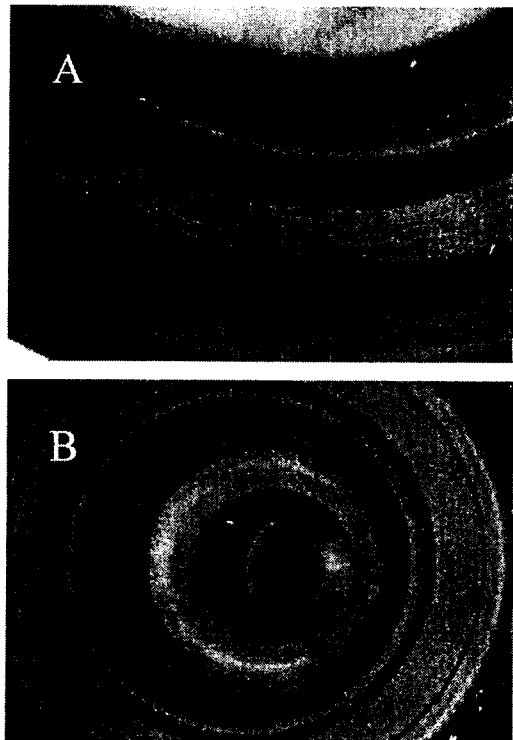
BCPS에서는 Diaphragm의 앞 뒤에서 압력의 균형(Balancing)이 순간적으로 이루어지게 되어 Valve의 응답성이 좋아지고 제어기가 용이하게 되므로, 엔진으로 들어가는 증발 연료의 양을 더욱 정확하게 조절할 수 있는 장점이 있다. 그런데 만약 Diaphragm이 마모 등의 원인에 의해 찢어지게 되면, 압력의 균형이 발생하지 않음은 물론, 찢어진 Diaphragm을 통해서 Canister로부터 Intake 쪽으로 들어가는 증발 가스 양이 조절되지 않아서, 배기 가스의 특성이 나빠지게 된다. 따라서 이 Diaphragm의 내구성이 BCPS의 내구성을 좌우하는 중요한 요인이 된다. BCPS는

Diaphragm 이외에는 CPS와 구조상 큰 차이가 없으므로 그 내구성을 검증하기 위해서는 종래의 CPS의 여러 가지 내구성 관련 시험 Spec.들을 이용하면 되지만, 이 Diaphragm에 대해서는 내구성을 검증할 수 있는 시험 방법이 개발되지 않은 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 배기 시스템의 내구성 목표인 8만 Km 사용에 대해 Diaphragm이 내구성을 만족하는지를 검증할 수 있는 Lab. 내구 시험 방법을 개발하는 것을 목표로 하였다.

2. 실험

2-1. 부압에 따른 Diaphragm의 형상 관찰

BCPS의 시제품에 대한 예비 실험 결과 Diaphragm에 마모가 발생할 수 있음을 알 수 있었다.(그림 2)



<그림 2> Diaphragm 마모면(A) 과 보빈(B) 이는 부압계 의해 Diaphragm 과 보빈의 접촉이 일어나기 때문인 것으로 추정되었는데, 이를 확인하기 위해, BCPS 단품을 한 쪽을 밀봉 시키고 Intake 쪽을 통해 진공 펌프를 이용하여 0 ~ 80 kPa 사이의 부압을 가한 샘플들을 만들고 이 샘플들을 X-ray Inspection System(제조사: 필립스, 모델명 : MU72F) 을 이용하여 내부에서 Diaphragm 과 보빈 간의 접촉 여부를 관찰하였다. 그 결과로부터 Diaphragm 과 보빈의 접촉이 일어나기 시작하는 임계 크기의 부압을 측정하였다.

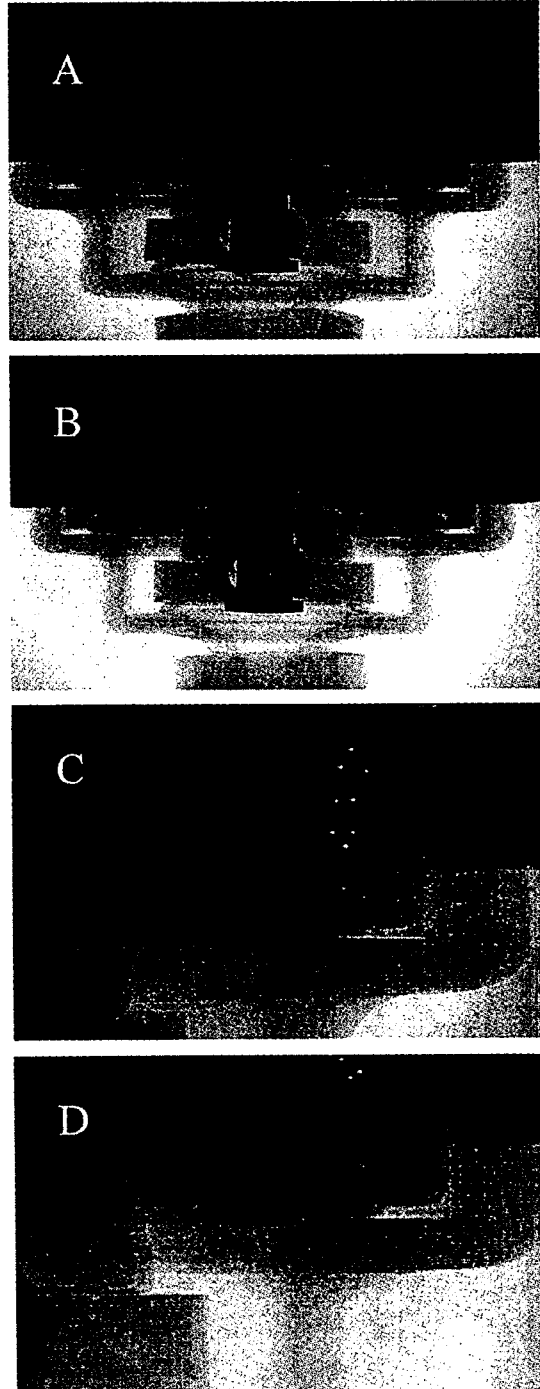
2-3. 실차 주행 조건에서 발생하는 부압 측정

실차 주행 중 발생하는 부압의 크기와 분포를 측정하기 위해 대표적인 연비 측정 시험 모드인 LA-4 모드와 당사에서 Catalytic Converter 등 배기시스템의 내구성을 평가하기 위해 개발한 시험 모드인 ADP(Advanced Durability Protocol)를 이용하여 시험을 하였다. 이를 위해 실제 차량에 압력계를 장착하고, MAD(Mileage Accumulation Dynamometer) 에서 도시 주행 모드(LA-4 모드) 와 가속 내구 모드(Advanced Durability Protocol) 에서 운행하며 BCPS 와 Intake 사이에 걸리는 부압을 측정하였다. 차량의 운행은 미리 프로그램된 Robot 을 이용하여 수행하였다. 이때 Smpling Rate 는 초당 1 개의 Data 를 읽도록 하였다.

3. 실험 결과

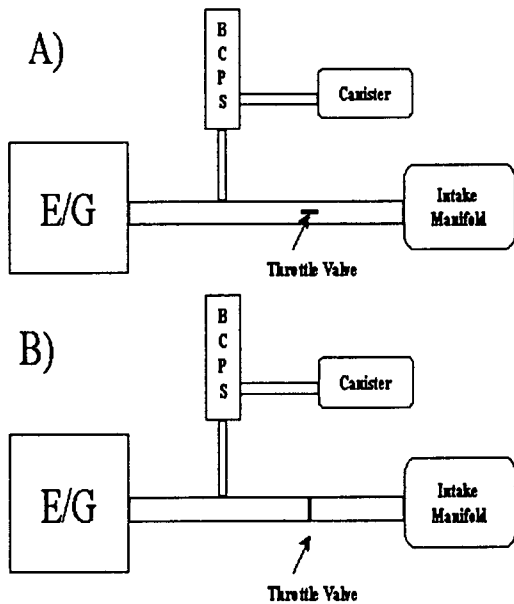
3-1. Diaphragm 마모 기구 분석

진공을 가해준 BCPS 샘플에 대한 X-선 분석 결과 Diaphragm 의 마모는 보빈과의 접촉에 의한 것임을 확인할 수 있다.(그림 3)



<그림 3> 부압을 걸어준 BCPS 의 X-선 사진
(A : 0 kPa, B : 50 kPa, C : 60 kPa, D : 80 kPa)

Diaphragm 과 보빈이 접촉하게 되는 이유는 Diaphragm 에 부압이 걸리기 때문인데, 부압이 발생하는 Mechanism 은 다음과 같다. 차량이 주행 중에 운전자가 감속을 하기 위해 브레이크를 밟으면, Throttle Valve 가 닫히게 되고, 엔진에서는 계속해서 Intake Manifold 를 통해서 공기를 빨아들이므로 그 흡입 압력이 BCP 의 Lower Body 에 걸리고, 이 흡입 압력이 Valve 에 나 있는 작은 바늘 구멍을 통해 Diaphragm 의 뒤쪽으로 전해져서 Diaphragm 을 BCPS 의 Lower Body 와 반대 방향으로 빨아 당기는 부압이 생기게 된다. (그림 4)



<그림 4> BCPS 의 부압 발생 모식도
(A) 가속 시. B) 변속, 감속 시)

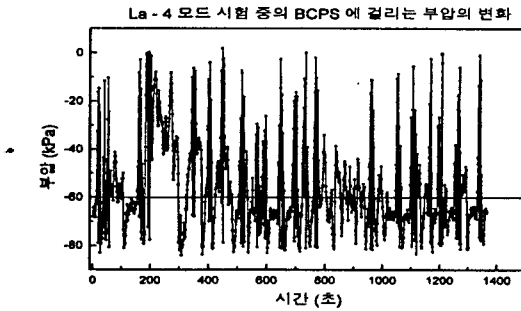
부압에 의해 Diaphragm 이 마모되는 현상을 정확히 이해하기 위해 Diaphragm 의 X-선 사진을 자세히 분석해 보면(그림 3) , 50 kPa 부근의 부압에서 Diaphragm 과 보빈의 접촉이 일어남을 알 수 있다. 또한 Washer 상단턱 부분과 Diaphragm 최상위 부분 간의 상대적인 위치를 측정해 보면, 부압이 50 kPa 에서 60 kPa 로 변하는 동안에는 이 둘 두 부분의 상대적인 높이가 변하지 않고, 60 kPa 이상이 되면서 두 부분의 상대적인 위치가 낮아짐을 관찰할 수 있다. 이로부터 60 kPa 이하의 부압에서는 Diaphragm 과 보빈 간의 접촉만 일어나고 상대적인 마찰을 발생하지 않는 반면, 60 kPa 이상의 부압에서는 Diaphragm 과 보빈이 서로 미끄러지면서 마찰하는 현상이 발생함을 알 수 있다. 즉 마모 현상은 60 kPa 이상의 부압에서 Diaphragm 이 보빈과 접촉된 상태에서 Diaphragm 이 보빈 표면에서 미끄러지면서 마찰이 일어나서 발생하게 됨을 알 수 있다. 따라서, 운전자가 차를 주행하는 중에 발생하는 60 kPa 보다 큰 부압의 갯수가 Diaphragm 마모 수명에 결정적인 요인 됨을 알 수 있으며, 소비자가 80,000 Km 를 주행하는 동안 발생하는 갯수를 조사하면 그에 해당하는 Lab. 시험 조건을 결정할 수 있음을 알 수 있다.

3-2. 소비자 사용 조건 80,000 Km 에 해당하는 시험 시간의 결정

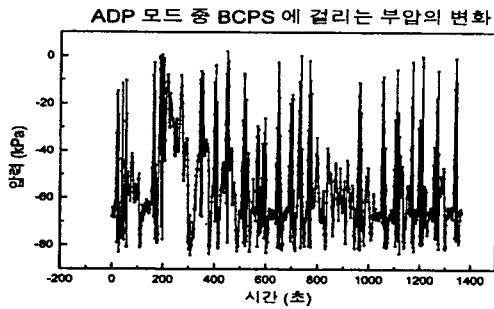
그림 5 와 그림 6 은 각각 LA-4 모드 ADP 와 모드 에서 실차 운행 중에서 얻어진 부압 data 를 나타낸 것이다. 또한, 표 1 은

이 부압 data 들로부터 60 kPa 이상의 크기를 갖는 압력의 회수를 조사한 것이다.

이 결과로부터 소비자가 80,000 Km 를 주행하는 동안 발생하는 것과 같은 마모 효과를 BCPS Diaphragm 에 부가하는 Lab. 시험 조건을 추정하는 방법은 다음과 같은 3 가지 경우를 가정하여 계산할 수 있다.



< 그림 5 > LA-4 모드 실차 시험에서 얻어진 부압 DATA.



< 그림 6 > ADP 모드 실차 시험에서 얻어진 부압 DATA.

표 1. 주행 모드별 60 kPa 이상의 부압 Peak 수

주행 모드	Peak 수	주행 거리
LA-4	133	12 Km

ADP	159	87 Km
-----	-----	-------

Case 1 : LA-4 모드로 80,000 Km 를 주행하는 것을 기준으로 삼는 방법

Case 2 : LA-4 모드를 소비자 80,000 Km 주행 중 50 % Highway mode 가 50 % 가 되도록 기준을 정하는 방법

Case 3 : ADP 모드가 소비자 모드 80,000 Km 에 해당하는 것으로 가정하는 방법

각 각의 Case 로 부터 얻어지는 결과는 다음 표 2 와 같다.

표 2. Case 별 시험 시간 계산

조 건	Peaks 수	시험 시간 (2.5 CPS 조건)
Case 1	886,666	616 시간
Case 2	543,333	308 시간
Case 3	146,206	102 시간

즉, Case 1 에서 LA-4 모드로 80,000 Km 를 주행하는 경우, 60 kPa 이상의 크기를 갖는 부압이 약 89 만 번 발생하며, 따라서, Lab. 에서 이와 같은 실차 조건을 재현하기 위해서는 Diaphragm 과 보빈이 약 89 만 번 접촉 되도록 하면 되며, 그 시험 시간은, 1 Peak 를 1 Cycle 로 하고 2.5 초에 1 Cycle 의 주기로 시험하면, 총 시험 시간은 616 시간이 된다. 이때 1 Cycle 을 2.5 초로 한 이유는 기존의 CPS 에서 Valve 의 내구성을 평가하기 위한 시험이 600 시간으로 되어 있는 점을 고려하여 두 가지 시험을 하나의 시험에서 실시 할 수 있도록 하기 위한 것이다. 일반

적으로 실제 주행 중에 감속을 위해 브레이크를 밟는 데 걸리는 시간을 1 초 정도로 볼 때 2.5 초당 1 Peak 의 부압을 가하는 조건은 부압에 의한 Diaphragm 과 보빈 간의 마찰이 일어날 시간을 충분히 주게 되므로 좀 더 가혹한 시험이 된다.

Case 2 에서는 LA-4 모드가 소비자 80,000 Km 주행 중 50 % 를 차지한다고 가정 한 것으로, Highway 주행 시에는 변속, 감속의 횟수가 상대적으로 매우 적으므로 전체에 미치는 영향이 무시할 만한 것으로 가정 한 것이다.

이상의 3 가지 결과 중, Case 1 의 경우가 가장 가혹한 것으로서 이 조건을 시험 Spec. 으로 결정하였다. 이와 같은 결정에 대해서는 다음 절에서 논하고자 한다.

3.3 부압이 크기가 Diaphragm 의

마모에 미치는 영향

일반적으로 마모량은 압력에 비례하여 증가할 것으로 예상된다. 본 연구에서 실차 시험 중 발생한 부압의 크기의 범위는 0 ~ 80 kPa 이었다. 60 kPa 이하의 부압에서는 Diaphragm 과 보빈 간의 마찰 작용이 일어나지 않으므로 60 kPa 와 80 kPa 사이의 부압만이 마모에 크게 기여할 것으로 판단된다. 이 범위의 부압에 대하여 부압의 크기에 따라 마모량은 거의 직선적으로 증가할 것으로 가정하고, 시험 장비의 성능 등을 고려하여 시험 부압을 70 kPa 로 정하였다.

4. 고찰

4-1. 부압 조건에 관한 고찰.

본 시험에서 수행한 실차 주행은 실제 사람이 주행을 하는 것이 아니라 Robot 가 정해진 프로그램에 따라 변속과 감가속을 하도록 되어 있다 따라서, 클러치나 브레이크의 조작이 실제 사람이 하는 것과는 본질적으로 다르다. 즉, 매우 급격한 변속 및 가,감속이 일어나는 주행 모드가 된다. 따라서, 부압의 크기에 있어서도 실제 차량을 사람이 운행할 때 발생하는 것 보다 훨씬 큰 부압이 발생하게 된다. 따라서, 시험 조건으로 부압의 크기를 80 kPa 로 정하면 너무 가혹한 시험 조건이 될 것으로 판단되며, 중간인 70 kPa 정도가 타당한 것으로 생각된다.

하지만, 부압의 크기가 Diaphragm 의 마모에 미치는 영향에 대해서는 보다 깊은 연구가 필요한 것으로 판단된다.

4-2. 시험 시간의 결정에 관한 고찰

소비가 80,000 Km 를 주행하는 동안 발생하는 것과 같은 마모 효과를 BCPS Diaphragm 에 부가하는 Lab. 시험 조건을 결정하기 위해서는 실제 차량에서 80,000 km 주행하는 동안 발생하는 부압을 모두 측정해야 한다. 이때 사람마다 운전 습관과 도로 조건에 따라 평균 속도 등이 모두 다르므로 발생하는 부압의 분포도 크게 달라지게 된다. 전체를 대표하는 조건을 찾기 위해서는 여러 운전자와 조건에서 많은 차량을 80,000 Km 동안 주행하며 그 사이에 발생하는 모든 부압을 측정하여 분석해야 한다. 이와 같은 일을 위해서는 세계 각국의 도로 조건, 소비자 들의 운전 습관, 평균 주행 속도 등에 대한

조사가 선행되어야 한다. 그러나 현재 그와 같은 데이터가 존재 하지 않는 상황에서는 기존에 존재하는 대표적인 주행 pattern 을 근거로 시험하여 그 결과를 검토, 시험 Spec. 을 정하는 것이 또 다른 방법으로 사용될 수 있다.

LA-4 모드는 원래 1960 년대에 연비 측정을 위해서 개발된 시험 모드로서 L.A. 근교에 사는 회사원이 평일 아침에 집을 나서서 회사가 있는 도심까지 운행하는 주행 모드에 해당하는 것이다. 평균 속도는 31.6km/h 로서 변속과 감속을 여러 번 하게 되는 시험 모드이다. 한편, ADP 는 당사에서 Catalytic Conver 등의 배기 시스템의 가속 내구 시험을 목적으로 만든 주행 모드이다. 일반적으로 Catalytic Conver 등의 배기 시스템의 가속 내구 시험에 있어서는 평균 속도가 큰 ADP 가 더욱 가혹한 시험 조건에 해당하나 본 연구에서의 시험 결과에 의하면(표 1 과 표 2), ADP 보다 LA-4 모드가 BCPS 의 내구성 측면에서는 더욱 가혹한 조건임을 알 수 있다. 이는 부압의 발생이 변속이나 감속 시 발생하는데, 고속 주행 조건 보다는 도시 주행과 같은 저속 주행 모드에서 변속과 감속이 더욱 자주 발생하기 때문이다. 따라서 저속 주행과 변속이 많은 시험 모드인 LA-4 모드를 기준으로 시험 시간에 대한 Spec. 을 결정하는 것이 보다 가혹한 조건이 된다.

한편 보고에 의하면, 1998 년 우리나라에서 도시의 평균 주행속도가 19 km/h 이고 외곽에서의 평균 주행 속도가 25km/h 인데 반해 LA-4 모드의 평균 주행 속도는 31.6 km/h

로, 도심에서의 주행 평균 속도 큰 점으로부터 국내 조건이 LA-4 모드 보다 더 가혹할 것으로 생각할 수도 있으나, 선진 자동차 회사등에서 유사한 형태의 배기 시스템의 개발에 있어서 도심 주행을 40%, 고속 주행 모드를 30% 그리고 기타 외곽 도로 비율을 30 % 로 삼고 있는 점등을 고려하면, LA-4 모드를 기준으로 80,000 km 를 주행하는 것을 시험 Spec. 개발의 기준으로 삼은 것은 적절한 것으로 판단된다.

5. 결론

이상의 실험 결과 및 고찰로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

BCPS 가 소비자 80,000 km 사용 기간 동안 충분한 내구성을 갖기 위해서는 Diaphragm 과 보빈의 접촉에 의한 마모에 대해 내구성을 가져야 하며, 그것을 Lab. 에서 검증하기 위한 신뢰성 Spec. 은 70 kPa 의 부압 조건에서 2.5 CPS 의 Frequency 조건에 의해 616 시간 동안 시험하는 것이 적당한 것으로 판단된다.