



# 증발가스 Emission 저감기술 소개

박 정 국 · 현대자동차(주) 남양연구소 수석연구원

## 1. 서 론

차량에서 배출되는 유해가스는 크게 세가지로 구분된다. 연료의 연소 산화물에 의한 Exhaust Emission, Blowby Gas에 의한 Crankcase Emission 그리고 연료계에서 발생하는 증발가스 Emission이다. 이 중 Crankcase Emission은 현대차 차량에서 거의 Zero화 되었으며, 배기 가스와 증발 가스 Emission은 향후 더 개발해야 할 부분이다.

증발 가스 Emission에 대한 규제는 세계 전 지역에서 이루어지고 있으며 그 중 가장 강력한 규제치를 적용하는 나라는 미국이다. 미국 법규의 최종 목적지는 모든 차량의 Zero Emission 차량화이고, 이를 위해 Emission 규제는 한층 강화되고 있다. 본 원고는 증발가스 Emission 규제에 대한 개략적인 소개와 Emission 저감을 위한 방안들에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1. 증발 가스 Emission의 정의

증발 가스 Emission이란 차량이 주차 또는 주행하는 상태에서 배기계 이외의 부위로 누출되어 대기로 방출되는 탄화수소(HC) 성분의 누출을 말한다. 증발 가스는 크게 차량 주행시 연료계의

높은 온도에 의하여 발생하는 Running Loss Emission, 주행 후, 연료탱크와 엔진 각부의 높은 잔류 열에 의해 연료계 외부로 방출되는 Hot Soak Emission과 차량의 장기 주차(24Hr~72Hr)시 일일 온도 변화(22.2℃~36.5℃)에 따라 연료계 외부로 방출되는 Diurnal Emission 그리고 연료 주유시 발생하는 ORVR Emission으로 구분된다.

### 2.2. 증발 가스의 주요 성분

증발 가스 시험에 사용되는 연료는 미국 Howell사의 Indolene이 인증 시험 연료로 주로 사용되고 있으며, 이 연료의 주요 성분은 Toluene(2,3,3-Trimethylpentane) 25.6%, Isooctane(2,2,4-Trimethylpentane) 15.8%, Isopentane(2-Methyl Butane) 15.3% 등으로 알려져 있다. 또한 연료 액상면 상부에 위치한 연료 가스의 주요 성분으로는 2-Methylbutane (Isopentane) 50.7%, n-Butane 15.4%, Isobutane(2-Methylpropane) 12.2%로 보고되고 있다.

증발가스 시험시 대기로 방출되는 HC 가스의 주요 성분으로는 Toluene 30.9%, Isopentane (2-Methylbutane) 17.7%, Isooctane(2,2,4-Trimethylpentane) 8.6% 등으로 대표되며, 주로 가벼운 원자량과 외부로 이탈하기 쉬운 화학

<표 1> 북미 지역 증발 가스 Emission 규제치

구분	Running Loss (g/mile)	HSL + 2Day DBL (g/test)	HSL + 3Day DBL (g/test)	ORVR (g/gal)	Phase In	비고
현행 규제 (Tier-I/LEV-I)	0.050	2.50	2.00	0.20	98MY 이후 100%	
Tier-II Evap규제 (EPA 지역)	0.050	1.20	0.95	0.20	04MY 이후 25%	
LEV-II Evap 규제 (CAL 지역)	0.050	0.65	0.50	0.20	04MY 이후 40%	
Zero Evap규제 (CAL 지역)	0.050	0.35	0.35	0.20	03MY 이후 10%	

<표 2> EU, 내수, 일반 지역 증발가스 Emission 규제치

구분	HSL + DBL (g/test)	시험 모드 구성	비고
EU	2.0	1Hr HSL + 24Hr DBL	Euro - III/IV
내수	2.0	1Hr DBL + 1Hr HSL	
일반	2.0	1Hr DBL + 1Hr HSL	

<표 3> 지역별 증발 가스 Emission 시험 순서

북미 EPA			EU	국내 / 일반
Full Test	Supplemental Test	ORVR Test		
Start	←	←	←	←
Fuel Drain & 40% Refill	←	←	Fuel Drain & 40% Refill	Idle Check
Canister P/L (W.C×1.5)	Canister P/L (2g B.T)	Canister P/L (2g B.T)	Canister P/L (2g B.T)	Fuel Drain & 40% Refill
Cold Start Exhaust Test	←	Cold Start 모드 주행	Fuel Drain & 40% Refill	Preconditioning Drive
Hot Start Exhaust test	←	Hot Start 모드 주행	Preconditioning Drive	Vehicle Soak
Running Loss Test (35°C)	1Hr H/Soak Test (20°C ~30°C)	Running Loss 모드 주행	Vehicle Soak	Fuel Drain & 40% Refill
1Hr H/Soak Test (32.8°C ~37.8°C)	Vehicle Soak	Fuel Drain & 10% Fill	Type 1 Test Drive	1Hr Diurnal Test (15.6°C ~28.9°C)
Vehicle Soak	2 DBL Test (22.2°C ~36.5°C)	Vehicle Soak	Conditioning Drive	Cold Start Exhaust Test
3 DBL Test (22.2°C ~36.5°C)	End	Refueling Test	1Hr H/Soak Test (23°C ~31°C)	Hot Start Exhaust test
End		End	Vehicle Soak	1 Hr H/Soak Test (20°C ~30°C)
			1 DBL Test (20°C ~35°C)	End
			End	



구조를 가진 성분들이다.

### 2.3. 지역별 증발가스 Emission 규제 현황

증발가스 Emission에 대하여 지역별/국가별로 각각의 시험 방법과 규제치를 적용하고 있으며, 증발 가스 규제 지역 별로는 크게 세가지로 나누어진다(표 1, 표 2, 표 3). 첫째, 북미 지역의 현행 증발 가스 규제 (HSL+3DayDBL=0.20g/test)와 ORVR Emission 규제 그리고 03MY ~ 04MY부터 Phase In 예정인 Tier-II, LEV-II 규제, Zero 증발가스 규제이다.

둘째, EU 지역의 증발 가스 규제이며, 시험 순서와 규제치에 있어서 북미 규제와는 큰 차이를 보이고 있다. 셋째, 내수 지역 및 일반 지역에 적용되는 규제이다. 이 중 북미 지역의 증발 가스 규제가 가장 낮은 규제치를 적용하고 있으며, 향후 03MY부터 Phase In 예정인 Tier-II, LEV-II, 그리고 Zero 증발 가스 규제는 현재의 증발 가스 제어 시스템으로는 다소 만족하기 어려운 규제치를 적용하고 있다.

### 2.4. 증발 가스 저감 시스템 개발의 주요 인자에 대한 소개

#### 1) 최대 Purge양 확보를 위한 Purge 제어 기술 개발

Canister의 Working Capacity 확보를 위하여, 모드 주행 중 Canister를 최대한 Purge하는 것은 증발 가스 Emission 제어 방법 중, 가장 중요한 부분의 하나다. 그러나 차량 정차 중 또는 미속 주행 중, 과도한 Purge 가스 도입은 엔진 부조나 Stall을 유발할 소지가 많다.

Purge 도입시 Purge 가스에 대한 정확한 농도 학습은 Purge 제어 Logic의 핵심 부분이다.

현재 주로 사용되는 Purge 제어 시스템은 배기계에 장착된 O<sub>2</sub> Sensor의 거동을 학습하여 Purge 도입에 따른 공연비 변동을 보정하고 있다. 현재 적용 중인 제어 System 들 상호간에 다소의 차이는 있으나 Canister Purge 도입시 최고 25% ~ 30% 정도로 Rich한 Purge 가스에

대한 농도 보정이 가능하다.

한편 배기계에 장착된 O<sub>2</sub> Sensor에 의한 Feed Back 제어의 한계를 극복하기 위하여 Canister의 출구와 엔진 흡기계의 사이에 HC 농도 Sensor를 부착하여 엔진으로 흡입되는 Purge Gas농도를 직접 학습하여, 이에 따른 연료량 보상제어를 하는 시스템이 북미 강화 증발가스 대응 시스템으로 소개되고 있다.

#### 2) Canister 형상의 최적화를 통한 Working Capacity 향상

Canister의 Working Capacity 향상을 위하여, Canister 내부 회로 구성 및 외부 형상 측면에 대한 연구가 계속되고 있다. 외형상으로는 주로 사각 기둥형과 원통 기둥형이 사용되고 있다.

문헌에 따르면 Baffle Plate의 위치는 "2/3"와 "1/3"의 위치가 가장 효율적이며, 외형상으로는 사각형 보다는 원통 기둥형이 더 효율적인 것으로 알려져 있다. 원통 기둥의 구조상 Dead Volume를 최소화 할 수 있기 때문이다.

#### 3) Migration Emission 축소를 통한 Diurnal Emission 저감

Migration Emission이란 Canister 내부의 농도 구배에 따라 HC 증발 가스가 이동하여 대기 방출되어 발생되는 것을 말한다. Migration Emission의 감소를 위해서는 가능한 긴 Path Length의 확보가 요구 된다.

특히 북미 2 Day, 3 Day Diurnal Emission 시험의 경우 2<sup>nd</sup> Day 또는 3<sup>rd</sup> Day 이후부터 Migration에 의한 급격한 Emission 증가가 발생하므로 Migration Emission 감소를 위한 설계 측면의 세심한 검토가 필요하다.

현재 알려진 방법으로는 긴 Path Length 확보를 위하여, 주 Canister에 보조 Canister를 추가하여 연결하는 방법과 U자형 또는 W자형 내부 구조 설정 등이 알려져 있다.

#### 4) Canister 용량의 최적화로 ORVR Emission 과 Diurnal Emission의 동시 만족

Canister의 용량 결정은 연료 탱크의 체적, 북미 ORVR 법규의 적용 유무 그리고 Canister와 연료 탱크의 형상, Canister의 통기 저항 등에 따라 결정된다. 북미 ORVR 규제에 도입에 따라 Canister의 용량은 대형화되었다. 그런데 대형 Canister는 소형 Canister 대비하여, Purge Flow가 통과할 수 없는 Deadzone이 더 넓게 존재하여, DBL 시험시 Migration Emission을 증대시키며, FTP 모드 주행 중 고 Purge 율 도달을 어렵게 만든다.

DBL Test 투입 전 Canister는 HC Vapor가 Purge되어 비어 있는 상태여야 DBL 시험시 증발가스 포집 효율을 높일 수 있는데, 낮은 Purge 율은 DBL Test 중 Vapor 포집 효율 감소와 Migration Emission 증가로 이어진다. ORVR 규제 만족을 위한 Canister Working Capacity 증대와 Working Capacity확보를 위한 고 Purge 율 도달은 서로 상충되는 관계에 있으므로, 시험을 통하여 적절한 Working Capacity를 설정하여야 한다.

#### 5) 연료 가스 Leak 차단 방법

연료계 체결 방법은 크게 두가지로 나누어 진다.

첫째, 연료탱크 상부의 펌프/밸브류에 대하여 연료탱크와 Screw를 이용한 체결이고, 둘째로 고무 Hose 부위와 Steel류 Pipe와의 Clip 체결 방법이다. 이 중 연료 탱크 상부 펌프/밸브류에 대한 Screw를 이용한 체결 방법과 Filler Neck과 Fuel Tank를 연결하는 Filler Hose의 체결 방법은 향후 북미 강화 증발 가스 규제 만족을 위해서는 개선해 나가야 할 부분들이다.

연료 탱크 상부 부품 장착 부위에서 발생한 Leak 양은 전체 연료계 Leak 양의 40% 이상을 차지하는 것으로 확인된다

#### 6) Permeation Emission 저감

Permeation Emission이란 연료계에서 사용되는 고무 Hose나 Seal를 통하여 Fuel Vapor가 투과하여 대기로 방출되는 현상을 말하는 것으로, 고무 재질에 따라 그 양의 차이가 크다.

Permeation에 의하여 대기로 방출되는 HC 가스의 주요 성분으로는 C4 ~ C9 계열로 알려져 있으며, 가벼운 HC 성분(C4 ~ C6)은 주로 증발 가스용 고무 Hose나 Seal를 통하여, 그리고 무거운 HC 성분(C7 ~ C9)은 주로 Plastic 합성의 연료 호스를 통하여 대기로 방출 되는 것으로 알려져 있다. 한편 Fuel Permeation에 의한 증발 가스 Emission은 북미 Running Loss Emission 시험에 많은 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다.

#### 7) Canister의 통기 저항

Canister의 통기 저항은 높은 Purge 효율과 주유성 향상을 위해 가능한한 낮게 유지해야 한다. 그러나 Canister의 Migration Emission 감소를 위하여 Path Length를 너무 길게할 경우, 통기 저항의 증대로 주유성 및 Purge 효율이 오히려 감소할 수 있으므로 주의해야 한다.

### 3. 결 론

증발 가스 Emission 규제는 미국을 제외한 지역의 경우 현재 양산 적용 중인 기술로 Emission 규제치 만족하는 수준이다. 그러나 미국의 강화 증발가스 규제는 증발가스 Emission의 Zero화를 최종 목표로 하기 때문에 Emission 저감을 위한 신기술 개발과 적용을 요구하는 부분이다.

북미 강화 증발 가스 Emission은 Canister Purge 제어와 연료 System의 설계 그리고 양산 시 품질 관리 등이 동시에 만족되어야 규제치를 만족할 수 있는 수준으로 자동차 Maker들에게는 매우 어려운 과제로 남아 있다.

〈박정국 편집위원: ckpar@hyundai-motor.com〉