

Exhaust Gas Sampling

金萬永, 선임연구원乙, 崔圭勳, 수석연구원, 디젤엔진시험팀, 譯
W. Addy Majewski, PhD, President of Ecopoint Inc., <http://www.dieselnet.com/tg.html>, 著

Abstract

본 논문에서는 등적표본추출(等積標本抽出, constant volume sampling, CVS) 방법을 예로 들어 배기가스 샘플링(sampling)의 기본적 기능과 원리에 대하여 간략히 설명한다.

Exhaust Gas Sampling

배기가스의 오염물질 배출 시험은 수행되어야 할 엔진 부하(engine load)의 순서 및 회전수(speed) 조건이 국제규약으로 표준화되어 있다. 엔진의 부하는 차량시험의 경우에는 샤시 다이내모(chassis dynamometer), 그리고 엔진시험의 경우에는 엔진 다이내모(engine dynamometer)에서 측정된다. (Plint, 1995) 배기가스 표본추출 시스템(exhaust gas sampling system)의 주요 목적은 차량의 배기관이나 엔진의 배기 매니폴드로부터 배기가스의 표본(sample)을 추출하여 분석기(analyzer)에 공급하는 것이다. 가스표본(gas sample)은 균일해야 하며 분석대상 가스를 대표할 수 있어야 할 뿐만 아니라 운전 사이클(driving cycle)에서 시험되는 엔진에서 배출되는 실제의 오염물질과 상응해야만 한다.

표본추출(sampling) 시스템의 또다른 기능은 배기가스 표본(sample)이 특정 해석장비의 입구조건을 만족할 수 있도록 배기가스의 조건을 적절히 조절하는 것이다. 모든 가스분석기(gas analyzer)는 표본(sample)에서 입자상물질(particulate matter)이 제거될 것을 요구한다. 따라서, 표본추출(sampling) 시스템에서 입자 필터(particulate filter)는 반드시 필요한 요소이다. 한편, IR 분석기와 같은 일부 해석 장비의 경우 표본(sample)의 상태는 냉각/건조되어야(cooled and dried) 할 것을 요구한다. 수증기(water vapor)는 응축물(condensate) 내의 용해성(solubility)에 따른 다른 가스의 손실을 최소화시키는 의미에서, 응축시켜 표본(sample)으로부터 제거되어야 한다. 반면, FID 탄화수소 분석기(hydrocarbon analyzer)와 화학발광(發光)(chemiluminescence) NO_x 분석기와 같은 다른 장비들은 표본추출(sampling) 시스템에서의 응축(condensation)에 의한 손실을 방지하기 위하여 가열된 표본(sample)을 이용한다. 표본(sample)과 직접 접촉을 하는 모든 표본추출(sampling) 시스템의 요소들(표본추출 파이프, 펌프, 필터, 밸브 등) 또한 가열시켜 약 180~200 °C 정도의 온도를 유지해야 한다.

디젤 입자상물질의 표본추출(sampling)은 EPA 및 다른 규정에 따라 희석 배기가스(diluted exhaust gas)에서 이루어진다. 희석(dilution)은 희석터널(dilution tunnel)에서 배기가스와 공기의 난류혼합(turbulent mixing)을 통하여 얻을 수 있다. 희석공기(dilution air)는 일반적으로 지름이 250~300

mm 이고 광이 날 정도로 매끈할 뿐만 아니라 어느 정도 가열된 스테인레스 튜브(stainless steel tube)를 통하여 약 10 m/s의 속도로 들어온다. 엔진으로부터 나오는 배기가스는 튜브(즉, 희석터널)의 앞부분에서 유입되어 공기와의 난류혼합이 일어난다. 한편, 전체흐름 희석터널(full flow dilution tunnel)은 부피가 클 뿐만 아니라 고가의 장비이기 때문에 부분흐름 미니 희석터널(partial-flow mini-dilution tunnel)이 개발되었다. 상용화되어 있는 미니 희석터널(mini-dilution tunnel)은 정상상태(steady-state)의 입자상물질 표본추출(sampling) 조건이 US EPA의 전체 희석 시스템(full dilution system)과 충분히 상응할 수 있도록 인증을 받는다. 한편, 과도상태(transient)의 입자상물질에 대한 표본추출(sampling)은 전체흐름 터널(full flow tunnel)만이 유일한 대안이다.

정상상태(steady-state) 시험에서의 배기가스 해석은 일반적으로 장비를 통하여 연속적으로 흘러 가는 표본가스(gas sample)에서 이루어진다. 표본추출(sampling) 시스템은 각 분석기에서 필요로 하는 유량을 적절히 배분할 수 있어야 한다. 한편, 과도(transient) 사이클 해석에서, 나중에 수행될 정상상태 해석을 위하여 배기가스는 플라스틱 테플론 용기(plastic taflon bag)에 포집되거나 혹은 빠른 응답성을 가진 분석기(fast-response analyzer)로 연속적인 측정을 한다.

한편, 대부분의 나라에서는 배기가스 오염물질의 시험을 위하여 등적표본추출(等積標本抽出, constant volume sampling, CVS) 방법을 채용하고 있다. CVS 방법에서, 배기가스는 필터링된 공기와 혼합/희석되는데, 모든 운전 조건의 전체유량(공기+배기가스)은 항상 일정하게 유지되어야 한다. 이 조건은 PDP(positive displacement pump)를 사용하거나 혹은 공기/배기가스 혼합물을 CFV(critical flow venturi nozzle)를 통하여 흐르도록 함으로서 얻을 수 있다. 아래의 Figure 1에 CVS 표본추출(sampling) 시스템 개략도의 한 예가 나와 있다.

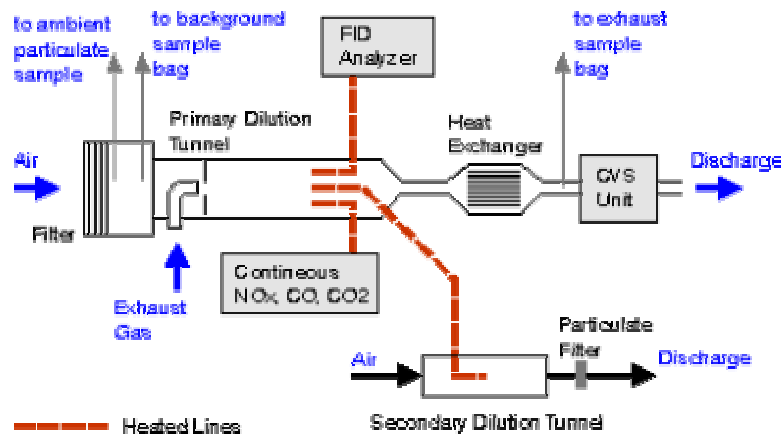


Figure 1 Constant Volume Sampling (CVS) System

위에 구성되어 있는 표본추출(sampling) 시스템은 US HD 과도(transient) 사이클을 수행하는 데 사용할 수 있다. 과도(transient) 조건에서 포집된 배기가스는 전체흐름 1차 희석터널(full-flow primary dilution tunnel)에서 공기와 혼합된다. 입자상물질 측정을 위한 표본(sample)은 1차 터널에서 추출되어 이보다 작은 크기의 2차 희석터널(secondary dilution tunnel)로 유입된 후 이곳에서 공기와 다시

혼합이 되고 입자상물질 필터(particulate filter)에 포집된다. 한편, 연속적 측정이 필요한 기체상 물질 측정용 표본(sample)은 1차 터널로부터 약 190 °C의 온도로 가열되어 있는 파이프를 통하여 추출된다. 플라스틱 용기(bag)로 측정이 될 가스 샘플(gas sample)은 열교환기(heat exchanger)의 하류에서 추출된다.

한편, 디젤 배기가스의 표본을 추출(sampling)하고 분석하는 동안 무거운 탄화수소(heavier hydro-carbon)들이 응축(condensation)되어 버릴 수 있는 위험이 존재한다. 비록 다른 배기가스들은 용기(bag)를 이용하여 정상상태 측정장비(steady-state instrument)를 통한 측정이 이루어지지만, HC는 가열된 분석기에서 연속적인 해석이 이루어져야 한다. 각 사이클 시간(cycle time)마다 누적되는 오염물질을 계산하기 위하여 연속적 분석기(continuous analyzer)와 함께 통합장치(integrator)가 사용된다.

간혹 무승인 시험(non-compliance testing)을 위하여 희석되지 않은 원래의(raw) 배기가스(undiluted exhaust gas)에 대한 측정이 이루어진다. 일반적으로, 희석되지 않은 배기가스의 표본추출(sampling)에는 조금 단순한 조절 시스템이 사용된다. 하지만, 습기와 입자상물질의 농도가 높을 뿐만 아니라 배기가스의 온도가 높기 때문에 응축에 따른 손실이나 응축물(condensate)에 산성가스(acid gas)가 용해됨으로 인한 손실을 방지하는 것은 쉬운 일이 아니다.

참 고 문 헌

1. Plint, M., and Martyr, A., 1995, "Engine Testing : Theory and Practice," Butterworth-Heinemann, Oxford.