

여지반사식과 광투과식 매연측정기의 매연도 상관계수에 관한 연구

김 영 주¹⁾ · 박 경 석^{*2)}

금오공과대학교 대학원¹⁾ · 금오공과대학교 기계공학부²⁾

A Study of the Opacity Correlation Factor between the Filtration Type and Light Extinction Type Diesel Smoke Meters

Youngju Kim¹⁾ · Kyoungseok Park^{*2)}

¹⁾Kumoh National Institute of Technology Graduate School, Gyeongbuk 730-701, Korea

²⁾School of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

(Received 30 January 2007 / Accepted 13 March 2007)

Abstract : Recently, The air pollution problems become hot issues as the production of the diesel automotive increases. The ministry of environment has enforced a precise inspection law to decrease the vehicle emission. In this circumstances, the smoke measurement is somewhat complicated by the use of the different type smoke meters. Although the paper filtration type opacimeter has been used for measuring smoke widely but currently the light extinction type is being used for precise inspection law. These two type opacimeters are different in their measuring principles on each other. So, for the time being the regulation standards can be confused by these two type opacimeters. In this article, The correlation factor between these two type opacimeters is studied by using engine dynamometer and vehicle test. The result of the dynamometer test shows the light extinction type is more sensitive than the filtration type by 1.47 times. But the relation factor by the vehicle test achieved 1.37 value, which is lower than that of the dynamometer test. In the future study the more precise research is needed to estimate the relation factor on vehicle test.

Key words : Filtration type(여지반사식), Light extinction type(광투과식), Opacimeter(매연측정기), Correlation factor(상관 계수), Smoke(매연)

1. 서 론

자동차로 인한 대기 환경오염의 문제와 이를 해결하기 위한 여러 방안은 이미 오래전부터 논의되어 온 주제이다. 최근 휘발유 차량의 배기 유해물 배출에 대한 규제 수준은 상당히 높아져 있는 상황이기 때문에 이제는 경유차량의 유해 배출 가스를 줄이는 방안에 대해 관심이 모아지고 있다. 특히, 소비자의 관심이 휘발유 차량보다 경유 차량으로 옮겨져 가고 있는 현 시점에서 경유차의 배기가스 규제

가 매우 중요한 사회적 관심사가 되고 있다. 그래서 선진국은 물론이고 우리나라에서도 이미 정기적으로 또는 도로상에서 수시로 차량들에 대해서 배기 가스 배출물을 검사하는 제도를 시행해 오고 있다.

그런데, 정기검사나 수시검사에서는 부하를 걸어서 시험하지 않기 때문에 유해물 배출 차량을 제대로 찾아내기가 힘든 것이 사실이다. 이에 따라 환경부에서는 유해물 과다 배출차량을 보다 정확하게 선별하고 엄격하게 관리할 수 있는 배출가스 부하 검사 제도를 도입하게 되었는데, 이것이 바로 정밀 검사법이다. 이 검사방법은 미국, 캐나다 등에서 이

*Corresponding author, E-mail: kspark@kumoh.ac.kr

미 적용하고 있는 방법으로서 검사장에서 자동차의 도로주행상태와 유사한 조건하에서 검사를 실시하게 되므로 배출물을 훨씬 정확하게 측정 할 수 있다.

그러나 이 정밀검사법은 당분간 대도시 등의 대기 오염 문제가 심각한 일부 지역에서부터 먼저 실시하고, 후에 점차 전국적으로 확대하는 계획으로 실시되고 있다.

한편, 현재 시행되는 차량의 수시 및 정기 검사에서 배출 가스 허용 기준¹⁾을 살펴보면, 경유 차량의 경우 매연도를 기준으로 설정되어 있다. 참고로, 2000년도 이전 제작된 차량의 경우에는 매연 규제치를 매연도 40% 정도까지 허용하였으나, 2002년도 이후에 제작된 차량에 대해서는 규제치를 강화시켜 최대 매연도를 20% 이내로 규제하고 있다. 이 때 측정되는 매연도는 바로 여지반사식 매연측정기로 측정하였을 때 표시되는 값을 기준으로 한다.

그런데, 정밀검사에서는 급가속 검사방법을 사용하면서 매연도를 매우 고속으로 측정해야 하므로 원리적으로 볼 때 여지반사식으로는 매연도를 측정할 수 없게 되었다. 따라서 매연도는 광투과식으로 측정하도록 규정되어 있고, 매연 규제치 역시 광투과식을 기준으로 하고 있다.

요약하면, 현재 전국적으로 경유차량의 매연 측정 방법은 자동차 검사소에서 여지반사식 매연측정기를 사용하여 측정하는 것이 보편적이다. 그러나 앞으로 정밀검사법이 수년 내에 전국적으로 확대된다면, 매연측정기는 모두 광투과식으로 교체될 가능성이 높다. 그러나 기존에 사용해 오고 있는 방식을 완전히 배제하기에는 다소 무리가 있으므로 앞으로 다소 오랫동안 두 가지 측정방식이 병용될 것으로 생각된다. 이 때 발생하는 문제가 바로 두 측정기 사이의 상관성 문제이다. 즉, 규제치의 기준이 어느 측정기를 사용하든 관계없이 일괄적으로 적용이 되려면 두 측정기로 측정한 매연도의 상관성은 분명히 밝혀져야 할 것이다.

따라서 본 논문은 경유 자동차의 배출가스 규제 강화와 관련하여 다른 측정 원리로 측정되고 있는 두 매연 측정기들의 상호관계를 파악하여 측정방법에 따른 규제치 혼란을 막기 위해 수행되었다.

2. 매연 측정 장치 원리와 구조 비교

본 장에서는 본 논문에서 사용한 두 매연 측정기의 원리와 동작에 대해 간략히 살펴본다.

2.1 여지반사식 매연 측정기

Fig. 1은 여지반사식 매연측정기의 개략도를 나타낸다.²⁾ 외부에서 6kg/cm^2 정도의 공압과 공압용 솔레노이드밸브를 제어하여 흡입실린더를 움직이도록 되어있다. 흡입실린더는 300cc정도의 매연을 흡입한 후, 분석용 용지에 분출하여 매연을 종이에 묻힌다. 이렇게 해서 매연이 묻은 종이는 모터에 의해 분석부로 이송되어 매연도를 측정하게 된다.

Fig. 2는 매연 측정부를 표시한 것이다. 매연이 묻은 종이에 고광도의 LED를 조사하고 반사된 빛의 양을 광센서에서 검출하여 전압으로 증폭한 후, A/D 컨버터를 이용하여 매연도를 측정하도록 되어 있다. 매연이 많을수록 종이에서 흡수되는 빛의 양

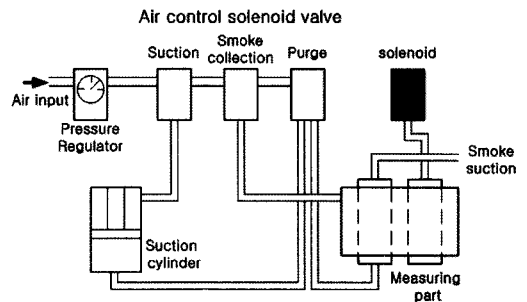


Fig. 1 Schematic diagram of the filtration type opacimeter

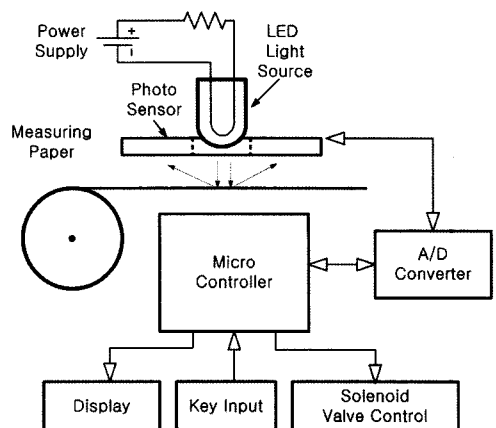


Fig. 2 Measuring part diagram of the filtration type opacimeter

이 많아지므로, 센서에서 측정되는 전압은 낮아지게 된다. 이 전압은 표준 시트지의 전압과 비교되어 매연도로 표시되게 된다.

이러한 여지반사식의 측정방식은 연속적인 측정방식이 아니라 간헐적인 측정을 하는 방식으로서 1회 측정에 약 10초 정도의 시간을 필요로 하고 있다.

이 방식의 장점은 한번 흡입에 비교적 많은 배기가스를 채취됨으로써 평균적인 매연도가 측정될 수 있다는 점을 들 수 있다. 그러나 부하가 많이 걸리는 가속과 같은 운전시기에 급격한 매연 변화를 추종하면서 측정할 수는 없기 때문에 배출되는 배기가스 매연도는 측정 버튼을 누르는 시점에 따라서 큰 차이를 보일 수 있다.

2.2 광투과식 매연 측정기

Fig. 3은 국내에서 사용되는 광투과 방식을 이용한 매연측정기 표준 모델의 구조를 보여준다.³⁾ 측정 대상의 배기가스는 측정관 중간에서 유입되어 관의 양쪽 끝으로 흘러 들어가는데, 관의 한쪽에는 빛을 내보내는 발광부 모듈이 들어 있고, 관의 다른 반대편 끝에는 빛을 감지하는 광센서가 들어 있다. 발광부에서 빛을 발하게 되면, 배기가스 중의 매연 정도에 비례해서 흡수되는 빛의 양이 증가하게 되므로 수광부 쪽에 도달하게 되는 광량은 줄어들게 된다. 따라서 광센서의 전압을 측정하면 배기가스 중의 매연 정도를 측정할 수 있다. 측정기 내부의 메모리에 표준 광량 필터를 이용하여 빛의 투과량과 표준 매연도의 관계를 미리 내장시켜 놓고 있는데, 이와 보정 계산을 통해 매연도를 표시하게 되어 있다.

이 광투과 매연측정방식은 매연을 포집하지 않고 배기가스 상태가 계속 움직이는 상태에서 지속적으로 측정하기 때문에 순간적인 매연 농도의 변화를 즉시 반영할 수 있다는 특징을 가진다. 따라서 원리적으로 볼 때, 급가속 상태 시의 매연을 측정하는 시스템에서는 여지반사식보다 광투과식이 훨씬 적합하므로, 정밀검사법에서는 광투과식 매연측정기를 사용하여 매연도를 표시하도록 고시되어 있는 것이다.

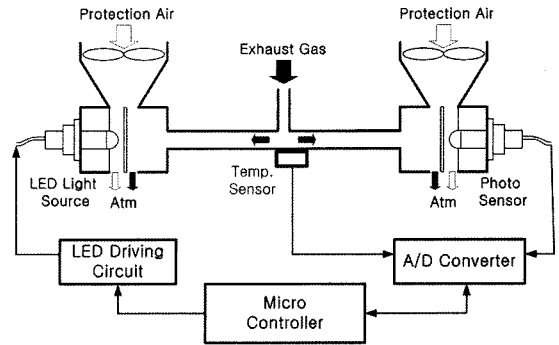


Fig. 3 Measuring part diagram of the light extinction type opacimeter

3. 상관성 시험

본 연구에서는 차량 상태와 엔진동력계 상태 시험을 통하여 두 측정기기의 기본적인 특성을 살펴 보았다. 매연측정기로서는 대표적으로 사용되고 있는 여지반사식 매연측정기(홍창계측기, HCA-7000)와 광투과식 매연측정기(이플러스티, OP-120) 각 1대를 사용하였다.

3.1 엔진 동력계 상의 매연 상관성 실험

본 연구에서 사용한 엔진은 2600cc급 자연흡기 방식의 디젤 엔진이다. 디젤 엔진에서 보통의 운전 상태로는 높은 농도의 매연을 발생시키기가 쉽지 않다. 즉, 엔진의 매연 농도를 임의로 변화시키기 위해서는 약간 특별한 운전 방법을 필요로 하는데, 본 연구에서 사용한 방법은 다음과 같다. 즉, 엔진 흡기구의 공기통로를 일정부분 막은 상태에서 최대 부하의 운전조건을 만든다. 이 상태에서 다시 엔진 회전수를 서서히 가변시키면 매연의 농도를 어느 정도 조절할 수 있다. Fig. 4는 엔진 동력계를 사용하여 이와 같은 방식으로 부하와 회전수를 일정하게 만든 임의의 한 정상상태에서 광투과식으로 측정된 매연농도를 나타낸 것이다.

그래프 상에서 보이는 바와 같이 엔진이 일정한 정상상태임에도 불구하고 매연 농도의 변동은 다소 크게 나타남을 볼 수 있다. 즉, 5초 정도 이내에 매연 농도가 30%까지 바뀌는 것을 볼 수 있다. 따라서 엔진 동력계 상에서 광투과식과 여지반사식의 상관관계를 구하는 것이 단순 실험으로는 매우 어려운 문

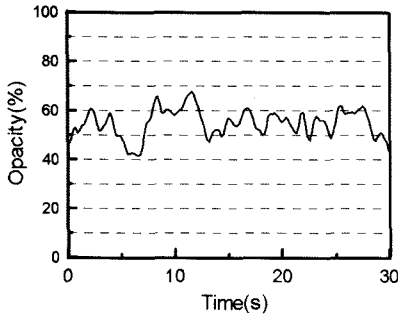


Fig. 4 Steady state experimental data measured by light extinction type opacimeter

제라는 것을 알 수 있다. 또 한편으로는, 이렇게 순간적으로 30% 정도나 매연 농도의 변동이 큰 점을 고려해 본다면, 매연 농도의 측정 방법과 매연 규제치를 적용할 때 다소 큰 문제를 불러 올 수도 있음을 알 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 본 연구에서는 Photo. 1에서 보이는 바와 같이 비닐백을 이용한 매연 샘플링 장치를 자체적으로 고안하여 사용하였다. 이 비닐백은 약간 두터운 재질의 투명 비닐소재로서 사각 봉투 형태로 제작된 것인데, 배기가스 및 희석 공기의 유입을 위하여 공압용 커넥터를 밀봉 부착하여 사용하였다.

매연도가 높은 배기가스가 유입되면 단 한 번에도 비닐 내부에 매연이 많이 흡착되어 오염되므로, 엔진이나 차량에서 배출되는 매연도 자체에 관심을 가지고 연구를 하고자 할 때에는 이런 방법이 다소 부적절 할 수도 있다. 그러나 본 연구에서처럼 같은 매연 농도를 두 측정 장치에 균일하게 공급하는 목적으로 사용하기에는 큰 무리가 없으리라 생각된다.

Fig. 5는 광투과식과 여지반사식 측정기 각각에 동일한 매연농도를 공급하면서 측정하는 실험의 순서를 정리한 것이다. 먼저, 고농도의 배기 매연가스를 포집한 후 밸브 1을 잠근다. 그 다음, 광투과식으로 연결된 밸브 2를 열어 정상상태 매연 농도의 측정값 변동이 1% 이내가 되면 측정한다. 그 다음, 밸브 2를 잠그고, 밸브 3을 열어 같은 매연 농도의 배기가스를 여지반사식으로 측정한다. 이 때에도 역시 연속적으로 측정하여 측정값이 1%이내가 될 때까지 측정한다. 측정 후 퍼지 동작을 할 때, 밸브 4를

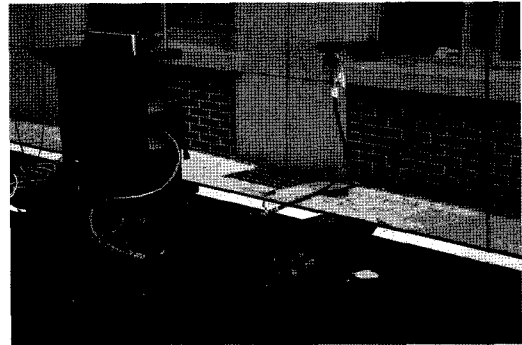


Photo. 1 Photograph of the experimental apparatus

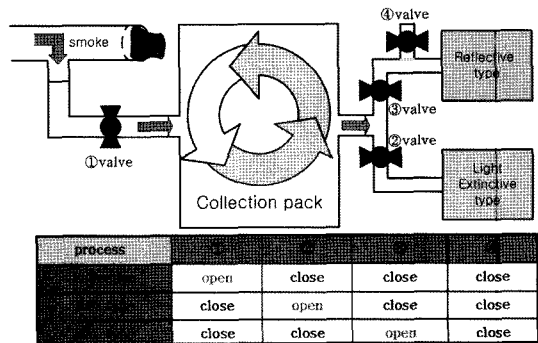


Fig. 5 Experimental sequences for the matching of the smoke meters

열어 작동 공기는 외부로 방출시킨다. 그리고 밸브 4와 밸브 3을 이용하여 외부의 공기를 비닐백으로 유입시켜 매연의 농도를 희석시킨다. 이러한 순서를 반복하여 고농도의 매연에서부터 저농도의 매연에 이르는 값까지 미세하게 매연 농도를 변화시키면서 같은 매연도의 배기가스를 두 측정기로 거의 동시에 측정하여 그 값들을 기록하였다.

이렇게 하여 얻은 매칭 데이터를 Fig. 6에 나타내었다. 그래프를 보면, 데이터들 사이에 분명한 상관관계가 있음을 잘 보여주고 있다. 측정 데이터들에 대해 최소오차승법에 의한 선형관계식을 구해보면, 그래프의 기울기는 약 1.47 정도가 된다. 이 결과를 바탕으로 본다면, 같은 매연도에 대해 여지반사식에 비해 광투과 방식에서 약 1.5배 정도 매연 농도가 높게 나올 것을 예상할 수 있다.

따라서 광투과식으로 측정한 매연농도를 현재 여지반사식의 농도로 환산하려면 약 0.68을 곱해주면 될 것이다.

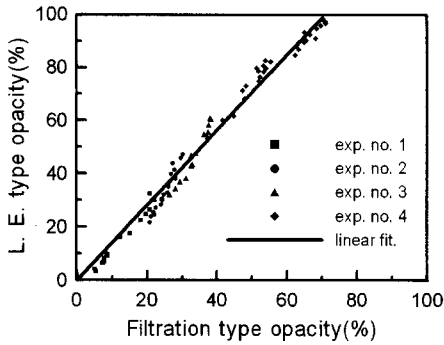


Fig. 6 The matching result by using the engine dynamometer and a smoke sampling pack

3.2 차량 상태의 매연도 매칭 실험

현재 정밀검사나 수시검사 등의 배기가스 측정 규정에서는 여지반사식이나 광투과식에 관계없이 거의 동일한 측정 프로브를 차량의 배기구 안으로 30cm 정도 삽입하여 측정하도록 되어 있다. 이렇게 삽입된 측정프로브는 밖으로 배출되는 배기가스 중의 일부분만을 샘플링하여 측정부로 유도하도록 되어 있는데, 이를 평균적인 배기가스로 인정하고 측정을 수행한다.

Fig. 7은 자동차 검사소에서 정기검사 과정 중에 여지반사식과 광투과식으로 동시에 측정한 것을 정리한 결과이다.⁴⁾

이 실험에 사용된 차량은 배기량이 2400cc에서 3000cc 사이의 승합, 소형 트럭 등으로서 국내에서 사용되는 대부분의 대표적 경유 차량들이 많이 포함되어 있다.

하나의 차량에 대해서 3번 씩 측정을 한 것인데, 특별히 구별하지 않고 모두 표시하였다. 표기의 복

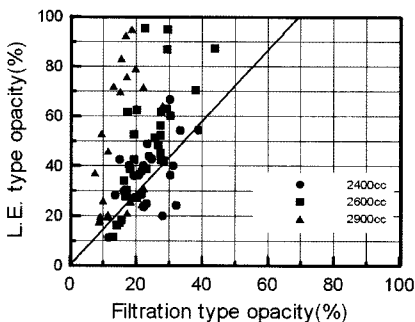


Fig. 7 The data achieved by the vehicle inspection offices for the smoke meters matching

잡성을 막기 위해 편의상 배기량에 따른 구분만을 표시하였다. 이 결과를 살펴보면, 여지반사식과 광투과식 사이에 어떤 상관성을 찾기가 매우 힘들다. 앞의 엔진 실험에서 구한 상관 계수 1.47에 해당하는 직선에 비해 차이가 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. 여지반사식에 비해 광투과식의 측정값이 다소 크게 나타나 있고, 넓게 분포하는 것으로 보아 측정의 민감도 부분에서 광투과식이 더 예민하다고 볼 수 있다.

이 그래프를 토대로 유추해 본다면, 현재 정기검사 또는 수시검사에 사용되는 여지반사식 매연측정기를 광투과식으로 교체했을 경우 큰 혼란이 발생할 가능성이 매우 높다고 판단된다. 즉, 예전에 규정상의 합격 범위에 들어가던 차량들이 불합격을 받을 수 있는 소지가 매우 많을 것이다.

이와 같이 상관성이 불분명하게 되는 이유를 살펴보기 위해서 실제 차량을 이용하여 정기검사와 거의 동일한 방법으로 매연도 측정 실험을 재현해 보았다.

현재 자동차 정기검사에서 매연을 측정하는 방법은 무부하 급가속 시험법으로서 기어를 중립에 놓은 상태에서 가속페달을 급격하게 밟아서 부하가 최대로 걸리게 만든 다음, 이 때 발생하는 매연을 측정하는 방식이다. 물론 엔진회전수가 짧은 시간 안에 높이 상승하기 때문에 최대 부하가 걸리는 시간은 길어야 3초 정도 밖에는 되지 않는다.

Fig. 8은 일정한 간격으로 급가속 가속 페달을 여러 차례 밟은 경우를 광투과식 매연측정기로 0.2초 단위로 측정한 것을 나타낸다. 동일한 운전자가 동일한 차량에서 밟았음에도 불구하고, 매연의 최고치는 매번 다르게 나오고 있는데, 그 이유는 운전자가 가속페달을 매 번 똑같이 반복하기가 매우 힘든 원인이 있다. 또한, 엔진이 워밍업되면서 무부하 상태에서 최대로 걸 수 있는 부하가 낮아지게 되어 매연 농도가 점차 낮아지게 되는 원인도 있다.^{5,6)}

Fig. 9는 Fig. 8의 실험 때 여지반사식으로 측정된 것을 광투과식과 비교해 본 것이다. 광투과식의 데이터는 각 실험의 경우에 있어서 최대값을 매연측정값으로 사용하였다. 여지반사식의 측정시점은 측정버튼을 누르는 사람이 엔진 회전수의 상승소리를

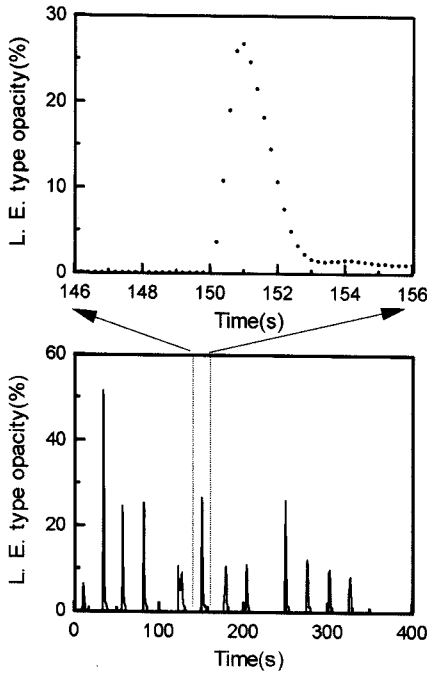


Fig. 8 No-load fast acceleration data according to the vehicle inspection test procedure

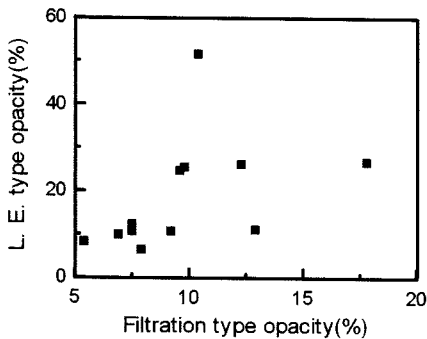


Fig. 9 The relation of the opacity between light extinction type and filtration type from vehicle test of the Fig. 8

들으면서 혼자서 판단으로 측정버튼을 누르도록 하였다. 이 결과는 앞의 Fig. 7과 유사한 결과를 보여주고 있다. 즉, 여지반사식으로 측정된 데이터와 광투과식으로 측정된 데이터 간에 특별한 상관성을 찾기가 매우 힘들다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 그 이유를 찾기 위해 운전자가 가속 페달을 밟음과 동시에 수신호를 보내면, 여지반사식을 측정하는 측정자는 수신호에 맞춰서 버튼을 누르도록 해보았다.

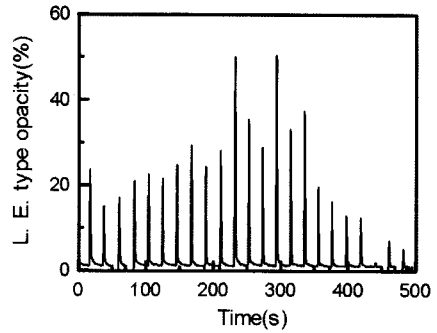


Fig. 10 No-load fast acceleration data with the same procedure of the Fig. 8

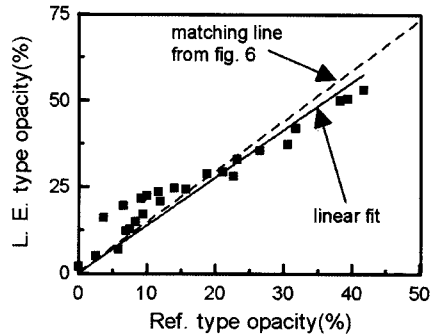


Fig. 11 The result of the opacity between light extinction type and filtration type by sampling timing adjust

Fig. 10과 Fig. 11은 그 결과를 나타낸 것이다. Fig. 10은 Fig. 8과 같은 방법으로 실험을 한 결과이므로 매연도도 광투과식 기준으로 최소 10%에서 최대 50% 정도까지 발생되었음을 알 수 있다. 측정된 데이터에서는 Fig. 8과 유사하게 어떠한 규칙성도 보이지 않음을 알 수 있다. 그런데, Fig. 11의 결과를 보면, Fig. 9와는 달리 거의 선형 관계를 보이고 있음을 알 수 있다. 여기서 기울기 값은 엔진실험에서 얻은 값보다 약간 낮은 1.37 정도이다. 따라서 엔진 실험에서와 같이 실험방법의 개선을 통하여 일정한 상관관계가 있음을 차량시험으로도 확인하였다.

이 결과는 정기검사나 노상단속과 같이 차량동력계를 사용하지 않는 경우에는 측정시점에 따른 문제가 발생할 수 있음을 보여준다. 그러나 정밀검사법에 의한 시험에서는 운전 모드 설정 프로그램에서 이러한 문제를 해결하고 있다. 이러한 검사방법론적인 문제는 본 연구의 범위를 다소 벗어난다. 따라서 노상 단속과 같은 검사방법에 대해서는 추후에 좀 더 체계적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

- 1) 본 연구에서는 측정방식이 다른 매연측정기 사이의 상관관계 계수를 구하기 위해 엔진 동력계 실험과 실차 실험을 병행하여 연구를 수행하였다. 엔진 동력계 실험 시 미세한 매연 농도 제어가 어려운 문제로 대두되었는데, 본 연구에서는 매연을 포집하고 희석시키는 장치와 방법을 자체적으로 고안하여 해결하였다.
- 2) 엔진 동력계 실험을 통하여 광투과식 매연측정기의 매연측정값과 여지반사식의 측정값 사이에 선형적인 관계가 있음을 알 수 있었고, 표시되는 매연도는 약 1.47 배 정도 광투과식이 높게 나타났다.
- 3) 실차 실험에서도 광투과식과 여지반사식 사이에 선형적인 관계가 있음을 확인 할 수 있었는데, 그 값은 약 1.37배 정도로서 엔진 실험 때의 값과 거의 비슷하게 나타났다. 그러나 이 값을 적용하려면 측정 시점에 따른 측정 오차에 대해 주의를 기울여야 함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) Ministry of Environment, Air Environment Conservancy Law, pp.242-296, 2006.
- 2) Hungchang Instrumentation Co., Ltd., User's Manual, pp.20-30, 2002.
- 3) International Standard(ISO) 11614, ISO, 1999.
- 4) EplusT Co., Ltd, A Study of the Measurement Standard of the Light Extinction Type Opacimeter on Diesel Engine, pp.34-40, 2004.
- 5) J.-C. Kim, M.-D. Eom, Y.-H. Park, S.-I. Kwon and J.-B. Lee, "Research on the Introduction and Application of the Road-Load Inspection Program for Heavy Duty Diesel Vehicle," Fall Conference Proceedings, Vol.I, KSAE, pp. 306-311, 2005.
- 6) S. H. Choi and Y. T. Oh, "Experimental Study on Emission Characteristics and Analysis by Various Oxygeated Fuels in a D.I. Diesel Engine," Int. J. Automotive Technology, Vol.6, No.3, pp.197-203, 2005.