

다순환 여과시험에 의한 자동차용 연료필터의 성능 평가

Performance Evaluation of an Automotive Fuel Filter by Multi-Pass Filtration Test

이 재 천*, 장 지 현**
Jae-Cheon Lee, Ji-Hyun Jang

ABSTRACT

Filtration performance of an automotive fuel filter was evaluated based on the theory of Beta ratio. This study also introduced the fuel components' contamination performance test stand incorporating the multi-pass filtration test circuit. The theoretical basis of multi-pass test and test procedure were described in detail.

The specification of commercial fuel filter currently available was just the maximum pressure drop across the filter assembly and the holding capacity of contaminants. However, test results revealed that the fuel filter tested could not maintain consistent Beta ratio, that is filtration efficiency, although it had the holding capacity close to the specification. Hence the Beta ratio should be specified in service life. The results also showed that filtration system model should be refined including desorption ratio to estimate the variable Beta ratio in the test.

주요기술용어 : Beta ratio(베타율), Multi-pass filtration test(다순환여과시험), Desorption(토설), Particle counting(입자계수), Apparent capacity(겉보기여과용량)

Nomenclature

N_u, N_d : 필터 상, 하류에서 $x \mu m$ 보다 큰, 누적 오염입자농도(개/ml)
 N_o : 초기 시스템 내 $x \mu m$ 보다 큰, 누적 오염입자농도(개/ml)
 Q : 필터 순환 유량(ml/분)
 R : 시스템 내 $x \mu m$ 보다 큰, 오염입자 진입률 (개/분)
 V : 시스템 순환유량 체적(ml)
 β_x : 필터 상, 하류 간 오염입자의 크기

($x \mu m$)별 누적갯수비

η : 오염입자의 크기($x \mu m$)별 필터 여과효율
 τ : 유체 일회 순환 시간 ($\tau = V/Q$, 분)

1. 서 론

유압 필터는 Fig. 1에서 보듯이 기공물질이나 금속망을 이용하여 필터를 거쳐 유동하는 유체 속의 오염입자를 여과 제거함으로써, 유압부품의 침식¹⁾ 및 오작동을 방지한다. 즉, 유압필터는 오염입자를 제거함과 동시에 적절한 압력강하 (pressure drop) 조건에서 시스템의 요구 유량을

* 회원, 계명대학교 기계자동차공학부

** 회원, 계명대학교 대학원

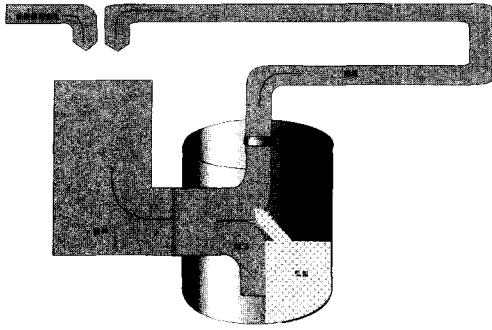


Fig. 1 Schematic of filtration mechanism²⁾

통과시킬 수 있어야 한다. 따라서 입자 제거 효율과 시스템 압력 및 유량 사이의 관계를 고려한 필터 성능평가에 대한 연구가 필요하다.

필터의 성능평가 방법으로는 1950, 60년대 적용된 공기방울시험법(Bubble point test method), 정상필터등급법(Normal filter rating method), 절대필터등급법(Absolute filter rating method)과 1970년대 미국 오클라하마 주립대학의 유압연구센터에서 개발한 베타여과율(이하 베타율로 약칭) 평가방법이 있다.³⁾ 베타율은 아래 식 (1)과 같이 필터 상, 하류 간, 단위 시료 체적당 오염입자의 크기별 누적갯수비(cumulative number ratio)로 정의된다.

$$\beta_x = \frac{\text{필터상류의 } x \mu\text{m보다 큰입자의 갯수, } N_u}{\text{필터하류의 } x \mu\text{m보다 큰입자의 갯수, } N_d}$$

따라서 필터의 여과효율은 다음 식 (1)과 같다.

$$\eta = \frac{N_u - N_d}{N_u} = 1 - \frac{1}{\beta_x} \quad (1)$$

식 (1), (2)의 베타율 방법의 장점은 오염입자의 크기에 따른 필터의 여과성능을 매우 간단히 표시할 수 있다는 점이다. 이와 같은 유효성으로 인해 베타율에 의한 필터의 여과성능평가시험인 다순환여과시험(multipass filtration test)은 국제규격(ISO4572,⁴⁾ ISO16889⁵⁾)으로 공인되어 세계 각국에서 통용되고 있다.

다순환여과시험법은 일반 유압필터의 경우에는 일반화 되었으나 자동차용 연료필터에 대해

서는 국내에 아직 소개된 바 없으며, 미국, 일본 등에서는 수년 전부터 전용장비가 개발되어 운용 중에 있다.

본 연구에서는 다순환여과시험법에 의거 자동차용 연료필터의 여과성능을 시험하고 그 결과를 분석 평가하였다. 이를 위해 각종 연료를 시험유로 전용하는 '연료장치 오염성능 시험기(Fuel Components' Contamination Performance Test Stand)'를 개발하였으며, 다순환여과시험 회로를 구성하여 실험하였다. 시험용 필터는 국내 자동차의 상용 필터를 대상으로 하였다.

2. 다순환 여과시험

2.1 이론 및 기본 회로

다순환여과시험의 이론은 필터 수명기간 중 일정한 여과율을 유지한다는 가정을 전제한다. 또한 Fig. 1의 여과 메카니즘에서 필터에 포집된 오염물이 서지압력(surge pressure)등으로 인해 시스템으로 토설(desorption)되지 않는다고 가정한다. 이와 같은 가정 아래, Fig. 1의 여과 시스템은 아래와 같이 시스템 내 오염물질의 균형에 관한 식으로 표현할 수 있다.

$$\text{필터상류 입자수} = \text{초기 입자수} + \text{시스템 진입입자수} - \text{필터제거 입자수} \quad (2)$$

즉, 식 (2)는 다음 식 (3)과 같다.

$$N_u V = N_o V + \int R dt - \int (N_u - N_d) Q dt \quad (3)$$

식 (1), (2)를 이용하여 식 (3)을 정리하면 다음 식 (4)를 얻는다.

$$\frac{d}{dt} N_u + \eta \frac{Q}{V} N_u = \frac{R}{V} \quad (4)$$

식 (4)의 해답은 다음과 같다.

$$N_u = \frac{1}{\eta} \frac{R}{Q} (1 - e^{-\eta t}) \quad (5)$$

따라서 필터 상류의 유압시스템의 정상상태 오염농도는 $N_u = \frac{1}{\eta} \frac{R}{Q}$ 이다.

다순환여과시험은 이와 같은 원리를 이용하여, 오염입자 진입율(R)과 필터 순환 유량(Q)을 일정하게 유지하면서 시험시간에 따른 필터 상, 하류의 오염도를 측정하여 필터 사용수명(service life) 중의 여과성능 변화를 확인한다.

Fig. 2는 다순환여과시험을 위한 유압회로의 개략도이다. 다순환여과시험장치는 크게 두 부분으로 나뉘어, 필터 상류에 일정한 농도의 오염물 진입을 위한 오염물 인젝션시스템(contaminant injection system)과 일정한 유량을 시험용 필터로 순환시키는 필터시험시스템(filter test system)으로 구성된다. 시험먼지(test dust)는 ACFTD (Air Cleaner Fine Test Dust, ISO 4402) 계열을 사용하여 왔으나 1999년 ISO 오염도 규격(ISO 11171⁶⁾)이 변경된 이후에는 ISO Test Dust를 표준 적용하고 있다.

2.2 시험장치

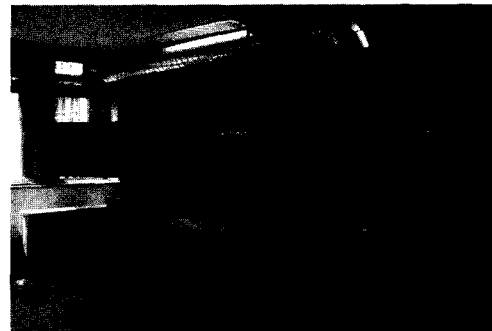
아래 Fig. 3(a)는 각종 연료장치 부품의 오염에 대한 성능시험, 평가를 위해 미국 FES Inc.와 계명대학이 공동으로 개발한 '연료장치 오염성능 시험기(Fuel Components' Contamination Performance Test Stand)'의 외관이며, Fig. 2는 시험기 내 시험용 필터가 장착된 모습이다.

시험장치의 주요 사양은 Table 1에 기록하였다.

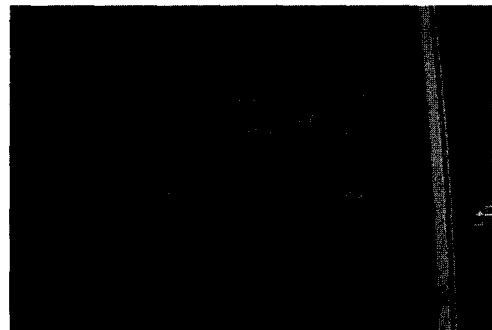
본 시험기는 에타놀, 가솔린, 디젤, 항공유등 모든 종류의 연료에 대해 시험할 수 있도록 내부 식성 시일과 부품을 사용하고, 전기 스파크에 의한 화재방지를 위해 배전판을 격리시켰다. 모든 시험의 입출력 데이터는 시험기 본체와 회전암(swivel arm)으로 연결된 제어판넬에서 접촉펜

(touch pen)으로 조정 가능하다. 인젝션 유량과 필터 시험 시스템 유량은 지정유량의 $\pm 3\%$, 온도는 지정온도의 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이내에서 PID 로직으로 제어하였다.

한편 입자계수(particle counting)를 위한 분석기는 Spectro Inc.의 LaserNet Fines-C7)로써, 시험 전 ISO 11171⁶⁾ 규격에 의해 검교정(calibration)되



(a) 연료장치 오염성능시험기 외관



(b) 시험용 필터 장착모습

Fig. 3 Configuration of the test stand

Table 1 Test stand specifications

Properties		Value
Reservoir capacities (Liters)	Storage reservoir	100
	Injection reservoir	84
	System reservoir	12
Test system flow rates(lph)	Low flow loop	15 ~ 50
	High flow loop	50 ~ 500
Injection flow rate (ml/min)		0 ~ 500
Pressure transducersr (kPa)	Differential	0 ~ 50
	Upstream gage	0 ~ 1,034
	Downstream gage	0 ~ 1,034
Min. water supply flow rate(lpm)		8
Temperature control range		18°C ~

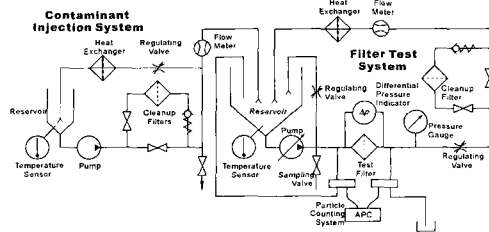


Fig. 2 Schematic of multi-pass test circuit¹⁾

었다. 본 장비의 특징은 레이저에 의해 오염물질 형상을 스캐닝함으로, 광학(optical) 입자계수기의 최대 약점인 시료에 포함된 수분을, 별도의 전처리 없이, 자동 보상할 수 있다는 점이다.

본 시험에서 사용한 연료필터는 가솔린 승용차용 인-탱크(in-tank) 필터로써 여과지 엘리먼트(element)의 목표 여과용량은 6g이었으며, 사용 가능한 필터 어셈블리의 최대 차압은 13.3kPa로 주어졌다. 또한 사용된 시험유는 Stoddard Solvent⁸⁾이었다.

2.3 시험절차

시험절차는 ISO4572⁴⁾를 기준으로 다음과 같이 진행하였다.

2.3.1 시험전 준비사항

1) 오염물질 인젝션 시스템

① 필터시험을 위한 오염물 기본 농도 10mg/L를 기준하여 다음과 같이 시험시간(τ)을 결정하였다.

$$\begin{aligned} \tau \text{ (min)} &= \frac{\text{필터 엘리먼트의} \\ &\text{목표 여과용량 (mg)}}{10(\text{mg/L}) \cdot \text{시험유량 (L/min)}} \\ &= \frac{6000 \text{ (mg)}}{10 \text{ (mg/L)} \cdot 5 \text{ (L/min)}} = 120 \text{ 분} \end{aligned}$$

② 필터시험 시스템으로 공급하는 인젝션 유량은 0.25 L/min으로 하였다.

③ 인젝션 시스템의 최소유체적(σ)은 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} \sigma(L) &= 1.2 \cdot \tau \text{ (min)} \cdot \text{인젝션유량(L/min)} \\ &= 1.5 \cdot 120(\text{min}) \cdot 0.25(\text{L/min}) = 45(L) \end{aligned}$$

④ 인젝션 시스템의 오염물질농도(γ)를 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \gamma \text{ (mg/L)} &= \frac{10(\text{mg/L}) \cdot \text{시험유량(L/min)}}{\text{인젝션유량(L/min)}} \\ &= \frac{10(\text{mg/L}) \cdot 5(\text{L/min})}{0.25(\text{L/min})} = 200(\text{mg/L}) \end{aligned}$$

⑤ 인젝션 시스템에 혼입할 시험먼지(ISO MTD)의 총중량(ω)을 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \omega(g) &= \frac{\gamma \text{ (mg/L)} \cdot \sigma(L)}{1,000} \\ &= \frac{200(\text{mg/L}) \cdot 45(L)}{1,000} = 9(g) \end{aligned}$$

⑥ 인젝션 시스템 저유기(reservoir)에 ③에서 구한 σ 리터의 시험유를 채우고, 시험온도를 맞춘다.

⑦ 인젝션 시스템 클린-업(clean-up) 필터를 이용하여, 시험유 1cc당 10 μ m보다 큰 입자갯수가 1,000개 이하가 되도록 유체 순환시킨다. 목표 수준에 도달 한 후 클린-업 필터를 우회시킨다.

⑧ ISO MTD ω 그램(9g)을 인젝션 시스템 저유기에 혼합한다.

⑨ 인젝션 시스템 내 유체를 최소 15분간 순환시켜 시험먼지가 균일하게 퍼지도록 한다.

2) 필터 시험 시스템

① 필터시험시스템에 필터 하우징을 설치한다.

② 필터 시스템 저유기 내 시험유체적 2.5 L (분당 1회전 순환체적)을 채운다.

③ 시험온도에 맞추고, 정격 시험유량으로 유체를 순환시킨다. 필터 하우징의 압력강하(차압)를 측정하여 기록한다.

④ 필터 시험 시스템 클린-업 필터를 이용하여, 시험유 1cc당 10 μ m보다 큰 입자갯수가 15개 이하가 되도록 유체 순환시킨다. 목표 수준에 도달 한 후 클린-업 필터를 우회시킨다.

⑤ 시험 필터 상하류 샘플용 모세관 튜브를, 상류는 0.3 \pm 0.05 L/min, 하류는 상류의 5%가 되도록 선정하여 설치한다.

⑥ 필터 상류 샘플 튜브는 사용치 않을 경우 저유기 방향에 위치시킨다. 하류 샘플 유량은 별도로 수거하여 시스템 유량이 15% 이하로 떨어질 경우 보충유로 사용한다.

2.3.2 필터 시험

1) 필터 하우징내 여과지를 채운 필터 어셈블리를 필터 시험 시스템에 설치한다. 시험유 온도를 맞추고 저유기의 유체적을 확인한다.

2) 필터 시험 시스템의 정격 시험유량(5lpm)으로 유체 순환시킨다.

3) 최초 필터 어셈블리의 압력강하를 측정하고, 여과지의 압력강하를 다음과 같이 계산하여 기록한다.

$$\text{최초 여과지의 압력강하} = \text{최초 필터 어셈블리의 압력강하} - \text{하우징의 압력강하}$$

단, 본 시험용 필터는 분해할 수 없어 필터하우징의 압력강하를 측정할 수 없었으므로, 여과지의 압력강하를 0.1kPa로 가정하였다.

4) 순 압력(net pressure)강하(=최종 압력강하 - 최초 여과지의 압력강하=13.2kPa)의 5, 10, 20, 40, 80, 100%를 계산하여 기록한다.

5) 시험 필터 상류의 샘플을 채취하여 시스템의 초기 청정도를 측정한다.

6) 인젝션 시스템의 샘플을 채취한다.

7) 인젝션 유량을 측정하여 기록한다.

8) 필터 시험을 다음과 같이 실시한다.

① 시스템 클린-업 필터를 우회시킨다.

② 인젝션 유량이 필터 시험 시스템 저유기로 향하게 한다.

③ 시간 측정 시작한다.

④ 하류 샘플 유량을 흘리기 시작한다.

⑤ 순 압력 강하의 5, 10, 20, 40, 80%에 이를 때까지의 시험시간을 기록한다.

⑥ 시험 시작 후 2분일 때와 순 압력 강하의 10, 20, 40, 80%일 때의 상하류 샘플을 시간 차이 30초 이내에 채취한다.(샘플은 상하류 각각 3병씩 채취한다, 단 80% 때는 필터 상류와 인젝션 시스템 시료를 각각 2병씩 추가 채취한다.)

⑦ 시험 필터 시스템의 유체 순환을 중지하고, 시험 종료한다.

⑧ 인젝션 시스템의 샘플을 채취한다.

⑨ 인젝션 유량을 측정하여 기록한다.

2.4 데이터 분석 및 계산

1) 채취한 시료를 자동입자계수기로 분석한다.

2) 각 샘플 당 최소 3번씩 입자계수를 하여 입자크기별 평균값을 기록한다. 베타율을 계산하여 기록한다. 시간 평균 베타율과 최소 베타율을 계산하여 기록한다.

3) 시험 시작과 종료시 필터 시험 시스템 상류와 인젝션 시스템에서 채취한 시료 각 2건에 대해 중량법으로 측정하여 기록한다.

4) 순압력의 2.5, 5, 10, 20, 40, 80, 100% 압력강하때 시험 필터시스템에 공급된 오염물 중량을 다음과 같이 계산하여 기록한다.

$$\text{공급 오염물중량} = \text{인젝션유량}(L/min) \times \text{평균오염중량}(mg/L) \times \text{시험시간}(min)$$

시험 종료때까지 공급된 오염물이 필터의 걸보기여과용량(apparent capacity)이다.

5) 실제 필터에 여과된 오염물의 중량(retained capacity)을 다음과 같이 계산한다.

$$\text{여과된 오염물의 중량} = \sum \left(1 - \frac{1}{\text{평균 } \beta_{10}} \right)$$

× 각 샘플지점간 공급된 오염물 중량

3. 결과 및 고찰

실험 결과를 종합한 결과는 부록의 각 표에 수록하였다. 본 실험은 2시간의 예정된 시험시간 내 순압력강하 계산치의 100%에 도달하지 못하고 80%에 머물렀다. 그 이유는 가정한 최초 여과지의 압력강하가 실제 0.1kPa보다 크므로써 순압력강하가 실제보다 크게 설정되었음을 뜻한다.

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 시험시간 따른 필터 어셈블리의 차압의 변화와, 필터에 공급된 오염물의 중량과 여과지 차압과의 관계를 보여준다. 부록의 테이블과 상기 2.4절의 식에 의한 본 필터의 걸보기여과용량은 약 6.7g이었으며, 실제 여과용량(retained capacity)은 약 5.5g이었다.

Fig. 6은 입자크기별 베타율을 나타낸다. 시간 평균베타율(time average beta ratio)은 각 샘플지점간 평균베타율에 소요시간을 곱한 결과를 모두 합산하여 총 시험시간으로 나눈 것이다. 본 필

터의 베타율은 평균 6~9(여과효율 83%~89%) 수준이었다.

Fig. 7은 시험기간 중 필터 상하류에서 1cc당 10 μm 보다 큰 입자의 갯수의 변화이다. Fig. 7에서 보듯이 시험시간이 경과함에 따라 10 μm 베타율(β_{10})은 감소하고 있다. 이와 같은 특징은

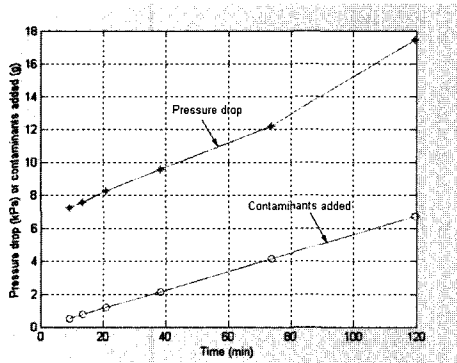


Fig. 4 Pressure drop of filter assembly

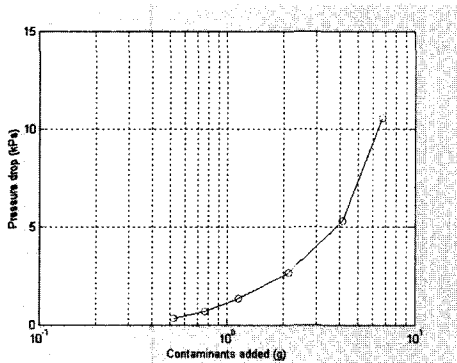


Fig. 5 Filter element capacity & pressure drop

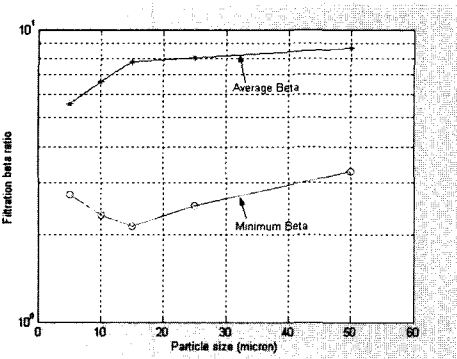


Fig. 6 Time average beta and minimum beta

시험시간에 따른, 각 입자크기별 베타율의 변화를 나타낸 Fig. 8에서 분명히 볼 수 있다. Fig. 8에서 보듯이, 각 입자크기별 베타율은 일반적으로 시험시간 20분을 경과하면서 줄어들기 시작하여 시험말기에는 약 2.5(여과효율 60%)에 머물고 있다.

아울러 시험시작 후 처음 20여분간 베타율이 상승한 것은 다순환여과시험의 일반적 현상으로써, 식 (5)에서 보듯이 클린-업된 필터 시험 시스템이 인젝션 오염물에 의해 정상상태 오염도에 이르고 있음을 나타낸다.⁹⁾ 그러나 본 연구에서 사용된 필터는 시험기간 중 정상상태의 일정한 베타율을 유지하지 못하고 하락하였다. 이것은 본 필터의 토설율(Desorption ratio)이 상당함을 뜻하며, 필터 수명기간 중 정확한 여과효율 예측을 위해서는 식 (3)의 오염물질 균형식에 토설율을 포함하여야 한다. 여과효율에 대한 토설율

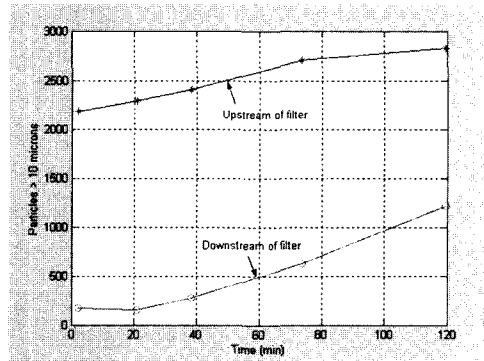


Fig. 7 Variation of particle concentration in test time

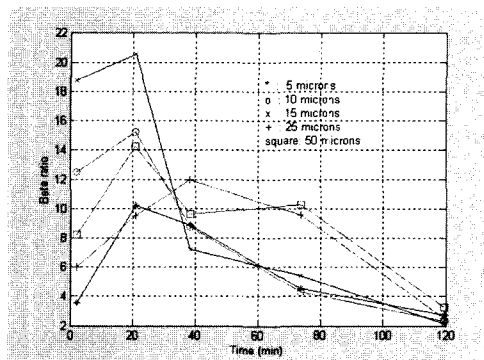


Fig. 8 Variation of beta ratio in test time

의 영향과 관련하여 Fitch와 Hong⁹⁾은 아래 Fig. 9과 같은 한 예를 제시한 바 있는데, 본 실험연구 결과인 Fig. 7과 비교하여 볼 때, 본 실험의 필터에서도 상당한 토설율이 있었음을 알 수 있다.

또한 현재 국내 자동차용 연료필터의 사양으로는 필터어셈블리의 최대 차압과 여과용량만을 규제되고 있으나, 엔진 성능 보호를 위해 반드시 필터 수명기간 중의 여과효율도 규제하여야 한다.

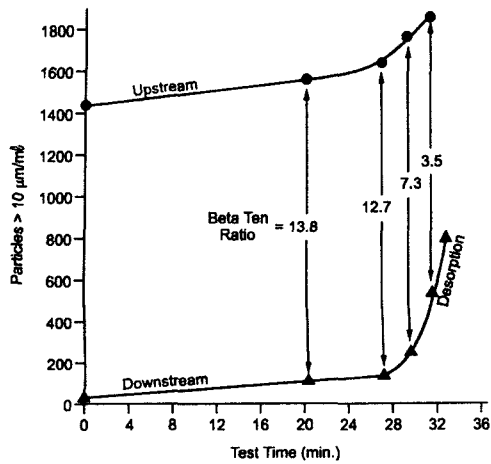


Fig. 9 Desorption effect on beta ratio

4. 결론

본 연구에서는 베타율에 의한 자동차용 연료필터의 여과성능 평가 방법의 이론적 근거 및 다순환여과시험법을 소개하였다. 이를 위해 개발된 시험기와 ISO 표준의 시험방법에 의거, 상용 연료필터를 시험하였다, 시험 결과, 시험시간이 경과함에 따라 베타율이 극히 감소함으로써, 기존의 필터 사양인 최대 차압과 여과용량 외에 필터 수명기간 중의 여과효율도 규제하여야 함을 입증하였다.

그러나 다순환여과시험법은 기본적으로 필터 수명 중 일정한 베타율을 가정하고 있어, 연료필터 사용 중 여과효율의 정확한 해석 및 예측을 위

해서는 토설율에 의한 변동 베타율을 고려하여야 한다. 상기의 연구결과를 바탕으로 본 연구팀은 연료필터의 토설율 측정과 변동베타율에 의한 연료필터 수명 중의 여과효율 예측모델에 대한 연구를 진행 중이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 · 한국과학재단 지경계명대학교 저공해자동차부품기술개발센터의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- 1) 이재천, 김성훈, “유압시스템의 입자 침해 침식의 실험적 고찰,” 한국자동차공학회논문집, 제10권 제2호, pp.117-122, 2002.
- 2) 이재천, “유압시스템 롤-오프 청정도의 이론적 고찰 및 트랙터에의 응용,” 한국자동차공학회논문집, 제8권 제5호, pp.207-215, 2000.
- 3) E. C. Fitch, Fluid Contamination Control, FES Inc., 1988.
- 4) ISO 4572, Hydraulic Fluid Power-Filters-Multi-pass Method for Evaluating Filtration Performance, 1981.
- 5) ISO 16889, Hydraulic Fluid Power Filters-Multi-pass Method for Evaluating Filtration Performance of a Filter Element, 1999.
- 6) ISO 11171, Hydraulic Fluid Power-Calibration of Automatic Particle Counters for Liquids, 1999.
- 7) Laser Net Fines-C, Particle Counter and Particle Shape Classifier, Instruction Manual, Spectro Inc., 2001.
- 8) White Spirit, Mobil Product Data Sheet, Mobil Oil Australia Pty Ltd., 1997.
- 9) E. C. Fitch, I. T. Hong, Hydraulic System Design for Service Assurance, BarDyne Inc., pp. 182-195, 1999.

부 록

Table A1 Differential pressures (kPa)

Terminal	13.30
Housing	6.80
Clean assembly	6.90
Clean element	0.10
Net	13.20

Table A3 Pressure variation and contaminants added in test

% Net pressure	2.5%	5%	10%	20%	40%	80%	100%
pAssembly pressure (kPa)	7.23	7.56	8.22	9.54	12.18	17.46	20.10
Contaminants added (g)	0.52	0.76	1.16	2.14	4.12	6.69	
Test time (min)	9.30	13.50	20.80	38.30	73.80	119.70	

Table A2 Injection flow rates and particle concentration

Injection	Intial	Final	Average
Flow(lpm)	0.250	0.260	0.255
Grav(mg/l)	202.000	236.400	219.200

Table A4 Particle distribution analysis (particles per milliliter greater than indicated size, micrometers)

Sample point (>micrometers)		5	10	15	25	50	100
Background	Upstream	152.46	12.91	1.36	0.70	0.13	
	Downstream	9299.09	175.46	18.47	4.62	0.13	
	Beta	3.55	12.50	18.74	6.00	8.23	
10%	Upstream	33695.60	2298.88	347.76	29.24	1.14	
	Downstream	3291.34	150.80	16.93	3.08	0.08	
	Beta	10.24	15.24	20.54	9.49	14.25	
20%	Upstream	35209.85	2409.22	356.27	46.17	1.54	
	Downstream	3971.71	275.43	49.24	3.85	0.16	
	Beta	8.87	8.75	7.24	11.99	9.62	
40%	Upstream	41835.32	2703.16	463.22	36.93	1.54	
	Downstream	9145.46	626.35	85.41	3.85	0.15	
	Beta	4.57	4.32	5.42	9.59	10.27	
80%	Upstream	46780.94	2833.96	427.82	36.16	1.54	
	Downstream	17059.77	1213.76	200.43	14.36	0.47	
	Beta	2.74	2.33	2.13	2.51	3.28	
Time average Beta		5.59	6.66	7.77	8.02	8.63	
Minimum Beta		2.74	2.33	2.13	2.51	3.28	