

여과시스템 모델과 자동차 연료필터의 비교성능시험 연구

이재천*

A Study on Filtration System Model and Comparative Performance Tests of Automotive Fuel Filters

Jae-Cheon Lee*

ABSTRACT

This study presents the comparative filtration performance evaluation of automotive fuel filters based on the theory of Beta ratio. For the experiments, the fuel component's test stand incorporating the multi-pass filtration test circuit was developed. A mathematical description of filtration process in general was derived. And the theoretical basis of multi-pass test and the test procedure were described in detail.

Experimental results revealed that domestic fuel filter tested could not maintain consistent Beta ratio, that is filtration efficiency, although it had the holding capacity of contaminants close to the specification at maximum pressure drop across the filter assembly. The results of experiments and simulations also showed that filtration system model could be refined including desorption ratio to estimate the variable Beta ratio in service life.

Key Words : Filtration efficiency(여과 효율), Beta ratio(베타율), Multi-pass filtration test(다순환여과시험), Desorption(토설), Particle counting(입자계수), Apparent capacity(겉보기여과용량)

기호설명

M = number of particles of size greater than a given size in the filter at a designated time
 N = system concentration of particles of size greater than a given size at a designated time
 Q = volumetric flow rate through filter
 R = particle ingress rate
 V = fluid circulating volume
 t = time
 Δt = a small time step

β = filtration ratio
 δ = desorption rate ratio (particles released per particles in the filter per unit process time)
 η = particle capture efficiency
 τ = fluid turnover time (= V/Q)

하첨자

d = downstream of filter
 u = upstream of filter
 o = initial or unload(clean) condition

*** 2002년 9월 24일 접수

* 계명대학교 기계자동차공학부

1. 서론

일반적으로 자동차의 연료는 연료탱크 → 연료 필터 → 연료펌프 → 인젝터(Throttle Body) → 흡기매니폴드를 거쳐 엔진에서 연소된다. Fig. 1에서와 같이 연료필터는 기공물질이나 금속망을 이용하여 연료탱크에서 연료펌프로 진행되는 과정에서 연료 속에 포함되어있는 이물질은 여과 제거하여 깨끗한 연료를 엔진속으로 공급하는 역할을 함으로써 펌프, 인젝터 등의 침식 및 오작동을 방지한다. 또한 연료필터는 오염물질을 여과 제거함과 동시에 적절한 압력강하(Pressure drop) 조건에서 시스템의 요구 유량을 통과시킬 수 있어야 한다. 따라서 입자 제거 효율과 시스템 압력 및 유량 사이의 관계를 고려한 필터 성능평가에 대한 연구가 필요하다.

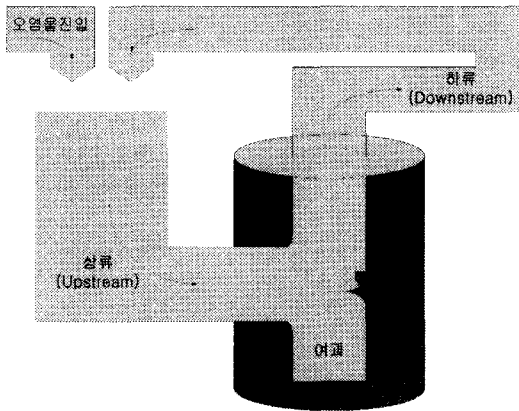


Fig. 1 Schematic of filtration mechanism

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.

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

따라서 필터의 여과효율은 다음 식(1)과 같다.

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

식 (1)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(ISO4572⁴, ISO16889⁵)으로 공인되어 세계 각국에서 통용되고 있다.

본 연구에서는 다순환여과시험법에 의거 국내의 자동차용 연료필터의 여과성능을 시험하고 그 결과를 비교 분석 평가하였다. 이를 위해 각종 연료를 시험유로 전용하는 ‘연료장치 오염성능 시험기(Fuel Components' Contamination Performance Test Stand)’를 개발하였으며, 다순환여과시험 회로를 구성하여 실험하였다.

또한 다순환여과시험의 근거가 되는, 여과시스템의 필터 상하류의 오염물질농도 변화에 대한 수학적 공식을 다음과 같이 유도하였다.

2. 여과시스템의 수학적 모델

여과시스템의 성능은 신제품 청정(Clean)필터의 여과효율 β_0 과 포집한 오염물에 대한 유지력(Retention capacity)에 의해 결정된다. Fig. 1에서 보듯이 여과 시스템은 시스템 내 오염물질의 균형에 관한 식으로 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{필터상류(시스템) 입자수} &= \text{초기 입자수} - \\ &\text{필터여과 입자수} + \text{토설 입자수} + \\ &\text{시스템진입 입자수} \end{aligned} \quad (2)$$

즉, 필터 상류의 연료 단위체적당 오염입자수는, 초기 입자수에 외부로부터 연료시스템으로 진입하는 입자수 및 유량맥동으로 인해 필터에서 토하는(토설) 입자수를 더하고, 필터에 여과되는 입자수를 뺀 것이다. 식 (2)는 식 (3)과 같이 표시된다.

$$N_u(t + \Delta t) \cdot V = N_u(t) \cdot V - \eta_0 N_u(t) Q \cdot \Delta t + \delta[\eta_0 N_u Q \cdot \Delta t + M(t)] \Delta t + R \cdot \Delta t \quad (3)$$

또한 필터 내부에 포집된 오염물질의 평형에 대한 식은 아래와 같다.

$$M(t) = N_o \cdot V + M_o - N_u(t) \cdot V + R \cdot t \quad (4)$$

임의의 시간에 필터에 누적된 오염물의 갯수가 시간간격 Δt 동안에 추가된 오염물 갯수보다 훨씬 많다고 가정한다. 즉 $M(t) \gg \eta_o N_u Q \cdot \Delta t$. 또한 시험전 시험필터와 시험유는 깨끗하다고 가정한다. 즉, $N_o = M_o = 0$. 이와 같은 가정하에 식 (3)과 식 (4)는 아래와 같이 표시된다.

$$N_u(t) = - \left(\frac{\eta_o}{\tau} + \delta \right) N_u(t) + \frac{\delta \cdot R}{V} t + \frac{R}{V} \quad (5)$$

식 (5)의 해답은 아래 식 (6)과 같이 구해진다.

$$N_u(t) = \frac{\eta_o}{(\eta_o + \tau \cdot \delta)^2} \frac{R\tau}{V} \left(1 - e^{-\frac{\eta_o + \tau \cdot \delta}{\tau} t} \right) + \frac{\delta \cdot \tau}{\eta_o + \delta \cdot \tau} \frac{R}{V} t \quad (6)$$

필터 사용수명(Service life) 중 여과율이 일정하다고 가정하면, 즉, 토설율을 무시($\delta=0$)하는 경우 식 (5)와 식 (6)은 각각 아래 식 (7)과 식 (8)이 된다.

$$N_u(t) = - \eta_o \frac{Q}{V} N_u(t) + \frac{R}{V} \quad (7)$$

$$N_u(t) = \frac{1}{\eta_o} \frac{R}{Q} \left(1 - e^{-\eta_o \frac{t}{\tau}} \right) \quad (8)$$

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 중의 여과성능 변화를 확인하는 시험이다.

3. 다순환 여과시험

3.1 회로 및 시험기

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.

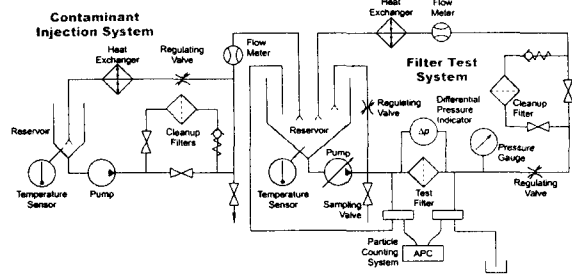
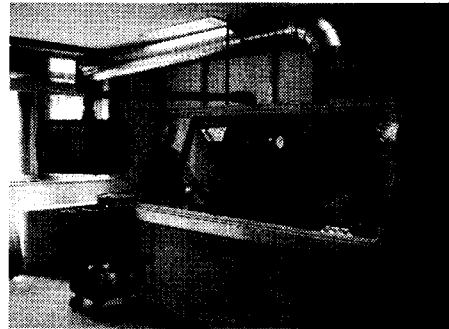
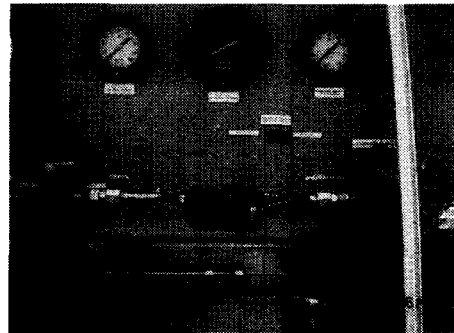


Fig. 2 Schematic of multi-pass test circuit¹

Fig. 3(a)는 각종 연료장치 부품의 오염에 대한 성능실험, 평가를 위해 개발한 ‘연료장치 오염성능 시험기’의 외관이며, Fig. 3(b)는 시험기 내 시험용 필터가 장착된 모습이다.



(a) Overview of test stand



(b) View of test filter installation

Fig. 3 Configuration of the test stand

시험장치의 주요 사양은 Table 1에 기록하였다.

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℃~

본 시험기는 에타놀, 가솔린, 디젤, 항공유등 모든 종류의 연료에 대해 시험할 수 있도록 내부식성 시일과 부품을 사용하고, 전기 스파크에 의한 화재 방지를 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 ±3%, 온도는 지정온도의 ±0.5℃ 이내에서 PID 로직으로 제어하였다.

한편 입자계수(Particle counting)를 위한 분석기는 Spectro Inc.의 LaserNet Fines-C⁷로써, 시험전 ISO 11171⁶ 규격에 의해 검교정(Calibration)되었다. 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 국산품 1종과 일본제품 1종을 선정하였다. 여과지 엘리먼트(Element)의 목표 여과용량은 6g이었으며, 사용가능한 필터 어셈블리의 최대 차압은 13.3kPa로 주어졌다. 또한 사용된 시험유는 Stoddard Solvent⁸이었다.

3.2 시험절차

시험절차는 ISO4572⁴를 기준으로 다음과 같이 진행하였다.

3.2.1 시험전 준비사항

1) 오염물질 인젝션 시스템

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

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

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

③ 인젝션 시스템의 최소유체적(σ)은 다음과 같이 결정된다.

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

④ 인젝션 시스템의 오염물질농도(γ')를 다음과 같이 구한다.

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

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

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

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 μm보다 큰 입자갯수가 1,000개 이하가 되도록 유체 순환시킨다. 목표 수준에 도달 한 후 클린-업 필터를 우회시킨다.

⑧ ISO MTD ω그램(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 2회전 순환체적)를 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 μm보다 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±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 별도 수거하여 시스템 유량이 15% 이하로 떨어질 경우 보충유로 사용한다.

3.2.2 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(5L/min)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.

3.3 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 겉보 기여과용량(apparent capacity)이다.

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

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

4. 결과 및 고찰

4.1 시험결과 비교 분석

상기한 다순환여과시험법으로 국산 필터와 일

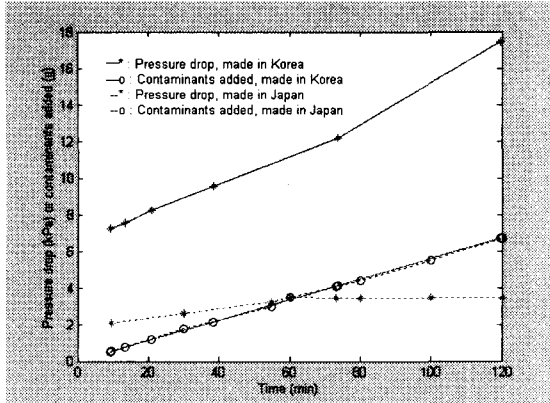


Fig. 4 Pressure drop of filter assembly

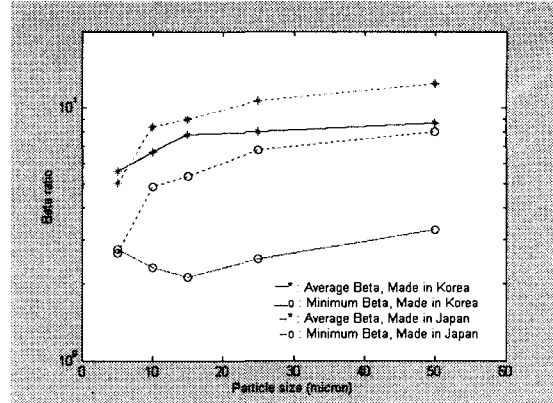


Fig. 6 Time average Beta and minimum Beta

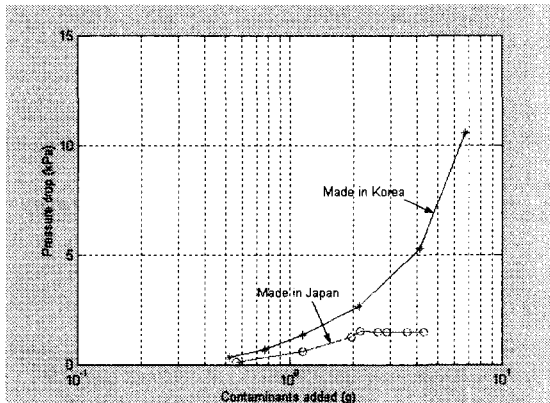


Fig. 5 Filter element capacity

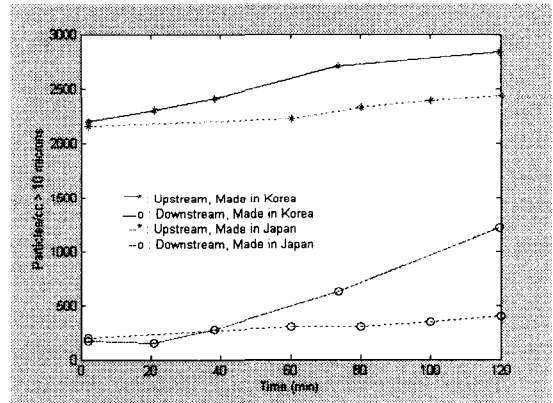


Fig. 7 Variation of particle concentration

본산 필터에 대해 시험한 결과는 아래와 같다.

본 실험은 2시간의 예정된 시험시간 내 순압력강하 계산치의 100%에 도달하지 못하였다. 그 이유는 가정된 최초 여과지의 압력강하가 실제 0.1kPa 보다 큼으로써 순압력강하가 실제보다 크게 설정되었음을 뜻한다.

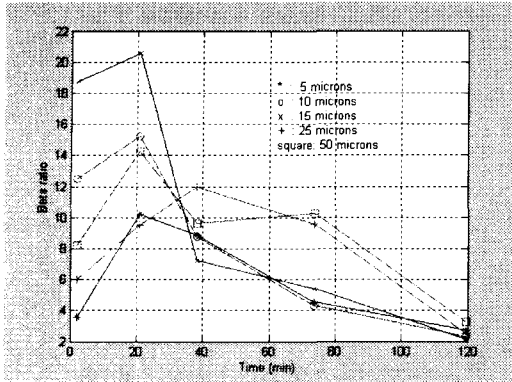
Fig. 4와 Fig. 5는 각각 시험시간에 따른 필터 어셈블리의 차압의 변화와, 필터에 공급된 오염물의 중량과 여과지 차압과의 관계를 보여준다.

Fig. 4와 Fig. 5에서 보듯이 국산 필터는 일제 필터에 비해 초기 압력강하가 클 뿐 아니라 오염물 포집량이 증가함에 따른 압력강하도 크게 나타났다. 특히 일제 필터는 시험시간 60분 이후에 거의 차압력이 증가하지 않았다. 국산 필터의 겉보기 여과중량은 약 6.7g이었으며, 실제 여과용량(Retained capacity)은 약 5.5g이었다. 일제 필터의 경우는 제

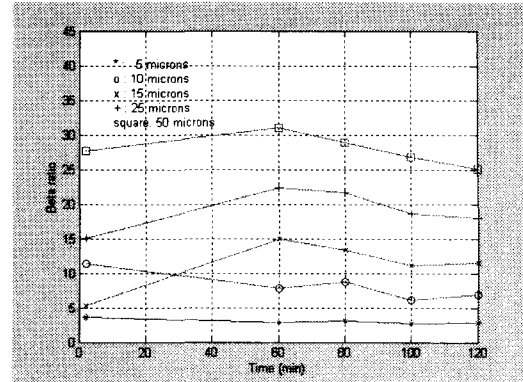
한된 시험시간에 순차압(Net pressure)이 걸리지 않아 본 시험결과만으로는 계산할 수 없었으나, Fig. 4, 5의 특성을 볼 때 시험 연장시 목표사양인 6g을 초과할 것으로 판단된다.

Fig. 6은 입자크기별 베타율을 나타낸다. 시간평균베타율(Time average beta ratio)은 각 샘플지점간 평균베타율에 소요시간을 곱한 결과를 모두 합산하여 총 시험시간으로 나눈 것이다. 국산 필터의 베타율은 평균 6~9(여과효율 83%~89%) 수준이었으며, 일제 필터의 베타율은 평균 5~12(여과효율 80%~92%) 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. 특히 국산 필터의 경우는 시간이 지남에 따라 필터 하류에서의 입자 수가



(a) Made in Korea



(b) Made in Japan

Fig. 8 Variation of Beta ratios in test

급히 증가함으로써 베타율이 감소하고 있다. 이같은 특징은 각 입자크기별 베타율의 변화를 나타낸 Fig. 8에서도 확인된다. Fig. 8(a)에서 보듯이, 국산 필터의 입자크기별 베타율은 일반적으로 시험시간 20분을 경과하면서 줄어들기 시작하여 시험말기에는 약 2.5(여과효율 60%)에 머물고 있다. 반면 일제 필터의 경우에는 Fig. 8(b)에서 보듯이 전 시험시간 중 큰 폭의 베타율 감소없이 일정한 수준을 유지하고 있다. 특히 일제 필터의 β_{10} 의 변화는 초기 베타율 11.37(여과효율 91.2%), 시험종료 시 베타율 5.86(여과효율 83%)으로써 국산 필터에 비해 여과효율의 감소폭이 작은 것을 알 수 있다.

4.2 시뮬레이션 결과와 비교

Fig. 7의 필터 상류에서 1cc당 10 μm 보다 큰 입자 갯수의 측정값과 식 (6)의 연료필터시스템 모델식의 시뮬레이션 결과와 비교하면 아래 Fig. 9와 같다.

시뮬레이션을 위해 사용된 식 (6)의 매개변수 값은 상기 3.2.1절의 계산 결과를 기초로 다음과 같이 정리된다.

$$\beta_o = 11.37 (\eta_o = 0.912), Q = 5 \text{ L/min}, R = 50 \text{ mg/min}, \tau = 0.5 \text{ min.}$$

한편 ISO-MTD 시험면지의 10 μm 보다 큰 입자의 농도는 1.95×10^5 개/mg 이다.⁶

Fig. 9의 결과를 보면 필터의 수명기간 중 여과율 변동은 토설율에 크게 기인하고 있음을 알 수 있다. 시험결과와 시뮬레이션을 통해 확인한 국산 필터의 토설율은 약 0.003이며 일제 필터의 토설율

은 약 0.001이었다.

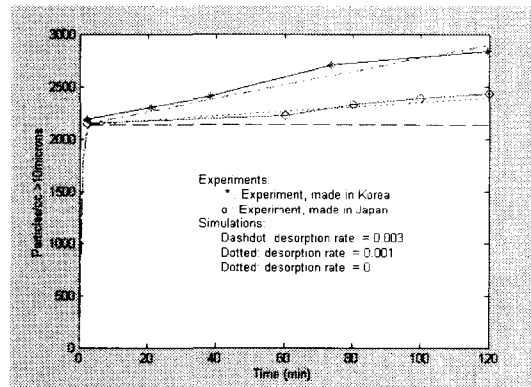
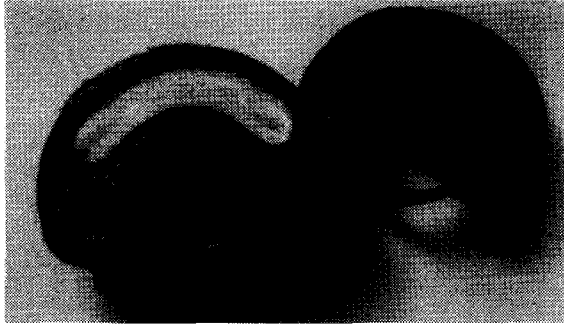


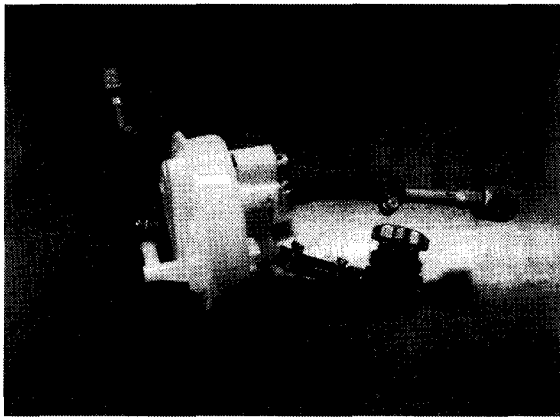
Fig. 9 Simulation results vs. experimental results

4.3 국산필터와 일제필터의 형상 비교

아래 Fig. 10은 본 실험에 사용된 국산필터와 일산필터의 모습을 보여준다. 국산과 일산 모두 외부 연결 포트는, 연료펌프와 연결되는 필터 흡입구와 배출구 및 바이-패스 포트의 세개이다. 다만 Fig. 3(b)와 Fig. 10(a)에서 보듯이 국산필터는 원통형 모습으로써 여과지가 필터 입출구와 평행으로 접혀져 있는 반면, 일제필터는 Fig. 10(b)에서 보듯이 납작한 모습으로써 여과지가 입출구에 수직으로 접혀져 있다. 그러나 국산과 일산의 성능의 차이는 이와 같은 구조적인 차이보다는 여과지 자체의 성분 및 매쉬 간극(pore) 크기의 분포도 차이에 기인한 것으로 판단된다.



(a) Internal configuration of the filter made in Korea



(b) Configuration of the filter made in Japan

Fig. 10 Comparison of filter configurations

5. 결론

본 연구에서는 필터여과시스템의 수학적 모델을 기반으로 베타율에 의한 자동차용 연료필터의 여과성능 평가 방법의 이론적 근거와 다순환여과시험법을 소개하였다. 이를 위해 개발된 시험기와 ISO 표준의 시험방법에 의거, 국내외 상용 연료필터의 여과성능을 시험 비교분석하였다. 시험 결과, 국산 필터는 시험시간이 경과함에 따라 베타율이 극히 감소함으로써, 기존의 필터 사양인 최대 차압과 여과용량 외에 필터 수명기간 중의 여과효율도 함께 규제하여야함을 보였다. 일제 필터는 국산 필터에 비해 전 시험시간에 걸쳐 베타율의 변동이 작았다.

또한 다순환여과시험법의 기본 가정인 필터 수명 중 일정한 베타율에 대해 검토하였다. 즉, 수학적

적 모델식의 시뮬레이션을 통해 연료필터 사용 중 여과효율의 정확한 해석 및 예측을 위해서는 토설율에 의한 변동 베타율을 고려하여야 함을 보였다.

상기의 연구결과를 바탕으로 본 연구팀은 연료필터 토설율의 실험적 측정과 변동베타율에 의한 연료필터 수명 중의 여과효율 예측모델에 대한 연구를 진행 중이다.

후 기

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 계명대학교 저공해자동차부품기술개발센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Lee, J.-C. and Kim, S.-H., "An Experimental Investigation of Particle Impingement Erosion in Hydraulic Systems", J. of KSAE, Vol. 10, No. 2, pp. 117-122, 2002.
2. Lee, J.-C., "A Theoretical Investigation of Roll-Off Cleanliness for Hydraulic System and Application to a Tractor", J. of KSAE, Vol. 8, No. 5, pp. 207-215, 2000.
3. Fitch, E. C., 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. LaserNet 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. Fitch, E. C. and Hong, I. C., Hydraulic System Design for Service Assurance, BarDyne Inc., pp. 182-195, 1999.