

2007. 2. 15

## 1. 요약

윤활유, 연료 그리고 유압유를 제외한 모든 산업용 액체를 정화하는데 사용되는 카트리리지 필터와 다른 종류의 여재교환식 필터의 여과 효율을 측정하기 위하여 새로운 테스트 방법이 France 의 IFTS(Institute of Filtration and Technique of Separation)에 의하여 개발되어 France 표준협회(AFNOR, French Standardization Association)의 인증을 받았다.

표준미립자는 고농도와 저농도로 번갈아 필터에 공급되며, 효율측정을 위해 크기 1 - 40  $\mu\text{m}$  표준미립자는 온라인 입자측정기(On-line particle counting system)로 측정된다.

테스트에 사용되는 물은 정화(Clean-up)필터를 통과한 후 재순환되며, 대부분의 필터가 적용되는 일과성 여과방식으로 모의실험(Simulation)하였다. 표준미립자의 투입과 입자측정은 필터 전·후의 차압이 주어진 값에 도달할 때까지 계속되므로 필터의 수명이 다할 때까지 효율을 측정 할 수 있고 필터의 포집량을 계산해 낼 수 있다.

실험 결과는 소비자의 사용에 적합한가? 라는 기준에서 분석되어 기술되었으며, 기준여과효율(Reference Filtration Rating)에 대한 정의가 제안되었다. 제시된 기준여과효율은 France 표준협회의 인증을 받아 AFNOR Standard NF X 45-303 로 인증되었다.

최소한 200 개 이상의 필터를 실험하여 제시한 AFNOR 테스트 방법은 두 카트리리지 필터 사이의 미세한 성능차이에 대해서도 고도의 재현성과 민감성을 잘 보여주고, 또한 필터 공급자들이 제품의 품질을 보증하고, 현재 시장에서 판매중인 동종의 제품들의 성능을 서로 비교하기 위한 효과적인 도구가 되었다.

## 2. 서론

카트리리지 필터와 다른 종류의 여재교환식 필터들(Leafs, Bags, Capsules, Lens or Discs)은 광범위하고 다양한 산업용 액체를 정화하기 위해 사용된다.

현재의 제조 기술과 다양한 여재(Filter media)는 산성액체에서부터 고온액체까지, 점성액체에서부터 용제(Solvent)까지, 모든 형태의 액체에 잘 적용되며 여과범위 전체에 빠짐없이 제공된다. 같은 여과정도를 갖는 다른 필터 기술과 비교하여 적은 설비투자비와 유지 관리비, 작은 크기, 사용과 필터교환의 용이함, 청소의 신속성과 용이성 등으로 인해 카트리리지 필터 또는 이와 유사한 필터들은 가장 많이 사용되고 있으며, 수많은 제조자들이 치열하게 경쟁하는 커다란 시장을 형성하고 있다.

필터 적용분야의 다양함은 사용조건에 다양함을 설명해 주고있다. 필터 구입에 앞서 동종 제품을 비교하기 위하여 객관적이고 믿을 만한 근거에 의한 표준화된 테스트 방법이 필요하다.

거의 모든 필터 특성 즉, 유체특성, 분리특성, 호환특성은 현재 ISO(The International Organization for Standardization)의 기술협회(Technical Committee)에 의하여 규정된 단지 2 개의 주요 적용분야 즉, ISO/TC 22와 ISO/TC 70에 의한 자동차 산업과 ISO/TC 131에 의한 유압 산업에 대하여만 국제표준으로 다루어 지고 있다.

많은 필터 특성들 중에서 여과효율과 포집량은 기술적이고 상업적인 관점에서 볼 때 가장 중요한 두 항목임은 명백하다. 그러므로 이 두 항목에 대한 측정은 정교한 기술과 테스트 과정 그리고 Know-how 를 요구한다.

이미 공표된 테스트 기준을 훑어 보면 그 어떤 최신의 것도 산업용 카트리리지 필터와 그 밖의 소모성 필터의 효율과 포집량의 측정을 다루지 않았다는 아주 놀라운 사실을 알 수 있다.

여기에 언급된 테스트 방법은 카트리리지 필터의 대량 수요자인 EDF 의 요구에 의해 시장에 유통중인 다양한 제품을 신뢰할 수 있고 재현할 수 있는 방법으로 비교하기 위하여 IFTS 가 개발하였다. 이 방법은 실제 운전 조건을 완벽하게 표현하지 못한다고 일반적으로 알려진 Multi-pass(ISO 4572) 테스트 방법 등의 표준화된 방법들과는 다르다.

### 3. 현재 적용되는 여과효율 및 포집량에 대한 표준화된 테스트 방법

몇몇 다량의 필터사용회사와 필터제조회사의 독립적 내부 실험에 의해 설명된 특별한 테스트 방법을 제외하고서, 효율 테스트 한가지만 또는 포집량 테스트 방법을 함께 설명하고 있는 몇가지 국제 표준을 아래 표 1 에서 볼 수 있다. 이 밖의 테스트 방법에 대하여는 BS, NF, DIN, ASTM, SAE, ANSI, JIS 등의 몇몇 국가 표준에서도 볼 수 있다.

표 1: 필터효율에 관하여 발표, 개정중인 국제 표준

| 국제 표준           | 공표 일자 | 적용 분야                                 |
|-----------------|-------|---------------------------------------|
| ISO 4020        | 개정 중  | Fuel filters                          |
| ISO 4548-4      | 개정 중  | Lubricating oil filters               |
| ISO 4548-11     | 1996  | Self-cleaning lubricating oil filters |
| ISO/DIS 4548-12 | 개정 중  | Lubricating oil filters               |
| ISO/DIS 4572    | 개정 중  | Hydraulic fluid power filters         |
| ISO TR 13353    | 1994  | Diesel fuel and petrol filters        |

상기 국제 표준들은 다음의 사항들에서 서로 다른 점을 갖고 있다.

- 널리 사용되고 있는 유압 Oil 즉 AIR 3520(MIL H 5606)이 있음에도 불구하고 점도와 최초 청정도에서 각각의 테스트에서 사용한 Oil 이 다르다.
- 더 이상 사용되지 않은 ACFTD 및 MIRA Test dust 를 대체하여 주로 사용되며 1998 년 ISO 12103 로 공표 예정인 표준미립자 ISO MTD 의 정상, 농도, 입도분포(Size distribution)가 다르다.
- 표준미립자의 일괄투입 혹은 연속투입 등의 투입방법이 다르다.
- 테스트 필터의 Upstream 과 Downstream 에서 중량분석 또는 정해진 크기의 입자 카운팅(Particle counting) 등 표준미립자 농도측정방법이 다르다.
- 필터를 통과하는 표준미립자의 1 회 통과(Single pass) 또는 여러 회 통과(Multi-pass) 에 따른 통과방법이 다르다.
- 필터 여재의 전· 후에 걸리는 차압이 아닌 여재의 초기 효율 또는 여과 진행중인 상태의 여재막힘 정도 및 진행상황에서 다르다.

상기의 모든 테스트 방법은 유량이 일정한 상태로 실시된다.

#### 4. 충족되지 않는 산업체의 요구

위에서 언급된 테스트 방법은 온도, 유량, 압력 등이 다양하게 변화하는 혹독한 운전조건에서도 잘 견디고 가격이 저렴한 1 회용 소모성 필터 여재를 사용하며, 운전 중 필터기능이 정지되면 부품, 기계, 공정 등에 심각한 피해를 줄 수 있는 산업분야에 의해 개발되었다. 따라서 많은 사람들이 다양한 여재의 품질과 성능을 비교하고 입증할 수 있는 표준 테스트 방법을 필요로 하게 되었다.

카트리지 필터의 운전 중 파손, 누수 등의 성능실패는 최악의 경우에도 공정의 1 회 투입 용액을 버리는 정도이고 기계 전체 또는 공정에 피해를 주는 경우는 거의 발생하지 않는 이유로 일반적인 종류의 필터들 즉 Pleated, Wound, Agglomerated 카트리지 필터, Bags, Capsules, Discs 등은 그 어떤 표준 테스트 방법에 의해서도 다루어지지 않았다.

하지만 핵발전소에서 사용되는 유체를 정화하고 불순 미립자를 제거하는 카트리지 필터를 수 천 개씩 사용하는 EFD 가 IFTS 에게 명백히 요구하였듯이 표준 테스트 방법에 대한 실질적인 수요는 존재한다. 두 단체 사이에 계약이 성사 되었으며 계약 만료 시 테스트 방법을 인증하기 위한 표준협회를 설립한다는 약정이 체결되었다.

몇몇 필터 공급자들은 ISO 4572 에 근거하여 그들의 필터를 테스트 했다고 주장했지만, 테스트 조건들이 실질적인 운전조건과는 너무 동떨어져 있어서 그에 따른 필터성능은 현실적이지 못하다고 인식되고 있다.

최상의 운전조건을 실현하기 위하여 연구 프로그램이 시작 되었다. 이것은 필터수명이 다 할 때까지 즉, 주어진 차압에 도달할 때 까지 카트리지 필터의 여과한계에 근거하여 여러 범위에서 해당 입자크기에 대한 순간 순간의 여과 효율을 측정하는데 목적을 두고 있다.

#### 5. 새로운 규정: 적절한 절충

표 1 에 명시된 모든 테스트 과정에서 정의된 각 장비와 테스트 조건들은 협의하여 마침내 다음의 절충사항을 채택하였다.

- 테스트 액체: 실제 적절한 필터를 통하여 여과되는 산업용 액체가 용제, 페인트, 화학약품 등 일지라도, 섭씨 23 도의 물이 테스트 액체로 최상의 선택이다.
- 오염물질 통과 방법: 비록 몇가지 경우에 있어서 카트리지 필터가 밀폐순환회로(Closed circuit)에 사용되고 있어도, 1 회 통과방법(Single pass)을 사용하기로 결정하였다. 개방회로(Open circuit)는 다루기 불편하기 때문에 회수배관에 정화필터를 설치하여 밀폐순환회로로 설계하였다.
- 테스트용 오염물질: 실제 산업용 액체의 부유 오염물질에는 수많은 종류가 있으므로 현재 잘 알려진 ISO Test Dust 인 ACFTD 가 선택 되었다. 그 후 이 오염물질은 ISO MTD(Medium test dust)로 불리는 ISO/DIS 12103/A3 로 명칭이 변경되었으며, ISO MTD 의 입도분포는 공급자에 의해 좀더 세밀하게 관리되고 있다. 오염물질 농도: 이것은 기술적 측면 즉, 여과효율과 테스트 시간 그리고 테스트 비용 에 영향을 주는 사항이므로 장기간 토의하였다. 최대 차압 2.5 Bar 를 기준하여 전형적인 산업용 카트리지 필터의 포집량은 표 2 와 같다.

표 2: 각종 카트리지 필터의 예상 테스트 시간

| Cartridge Type<br>(250mm Length)   | Folded<br>Polypropylene<br>(1, 2 $\mu\text{m}$ ) <sup>1)</sup> | Folded<br>Glass Fiber<br>(5 $\mu\text{m}$ ) <sup>1)</sup> | Wound<br>Cotton<br>(15 $\mu\text{m}$ ) <sup>1)</sup> | Compressed<br>Cellulose<br>(20 $\mu\text{m}$ ) <sup>1)</sup> |
|--|--|---|--|--|
| 차압 2.5 Bar 에 도달하기 위하여<br>주입된 오염물질 ACFTD 의 질량<br>(유량 15 L/min 기준)   | 260g   | 159g  | 187g   | 189g   |
| 주입농도에 따른 예상소요시간(Hour)<br>$C_e^{2)}=5\text{mg/L}$<br>$C_e^{2)}=25\text{mg/L}$<br>$C_e^{2)}=50\text{mg/L}$ | 57<br>11.5<br>6.0  | 35<br>7.0<br>3.5  | 41<br>8.2<br>4.0                                     | 42<br>8.4<br>4.2   |
| 주입농도를 $C_e=5\text{ mg/L}$ 과<br>$C_e=100\text{ mg/L}$ 로 번갈아 주입할<br>경우 예상소요시간(Hour)                        | 5.0  | 2.5   | 6.0  | 6.0  |

1) 여과한계(Filtration thresholds)는 제조자들의 주장에 따른 것이다.

2)  $C_e$  = 필터 Upstream에서 오염물질 ACFTD의 농도

표 2로부터 Upstream 농도에 따른 테스트 예상소요시간을 계산할 수 있다. 50 mg/L 정도로 높은 농도값은 적당한 테스트 소요시간이 예상되나 일반적으로 카트리지 필터는 훨씬 저농도의 불순고형물을 제거하는데 사용되므로 이것은 테스트의 대표성과 여과효율 및 여과비율(Filtration ratio)의 테스트 결과값에 대하여 근본적인 질문을 갖게 한다. 이런 상황에서는 필터 공급자가 제시하는 공정 중에서의 필터의 여과효율과 동등한 여과효율을 결코 측정할 수 없을 것이다.

이에 대한 절충안으로 저농도 주입과 고농도 주입을 번갈아 반복하는 방안이 채택되었다. 저농도 주입시에는 필터효율을 측정하고 고농도 주입은 필터막힘을 촉진하기 위하여 시행한다.

- 미립자의 샘플링 및 측정

유압필터 테스트기준에서 추천하는 최신 기술인 온라인 입자측정기(On-line Particle counting system)를 사용하기로 하였다. 이 입자측정기는 물속에 라텍스입자(Latex bead)를 주입하여 ASTM F 658-87 에 의거 교정된 흡광센서를 장착하였다.

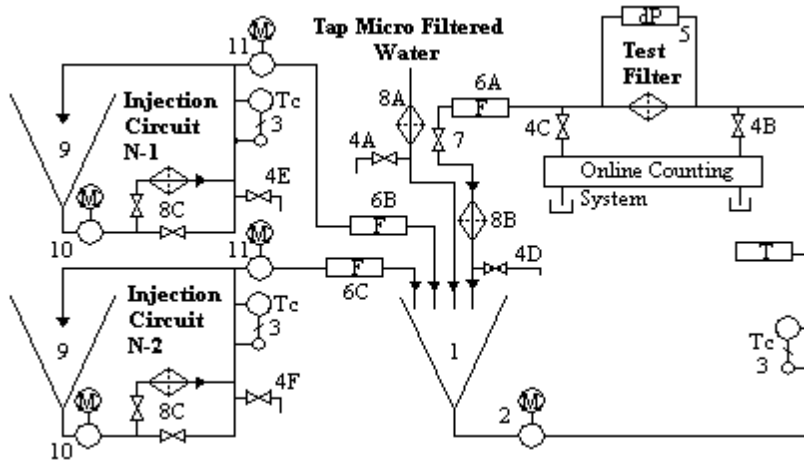
- 기타 테스트 장치에 대한 기술

펌프, 측정기기의 선정, 배관 및 저수조의 크기 결정, 유량 및 온도 등 운전조건의 조절 장치 등을 결정하기 위하여 필터 테스트장비에 관한 전통적인 Know-how 및 기술을 사용하였다. Upstream 에서 2 가지의 농도를 얻기 위하여 2 개의 오염물질 주입장치를 추천한다.

6. THE AFNOR STANDARD NF X 45-303

IFTS 테스트 방법은 프랑스의 모든 필터 제조업자들과 몇몇 필터사용자로 구성된 AFNOR 위원회에 제안 되었다. 최고의 재현성과 신뢰성을 보여주는 테스트 방법을 설정하려는 바람으로 2년간 심혈을 기울인 기술적 협의 끝에 프랑스 국가 표준 NF X 45-303 "액체여과 - 카트리지 필터 - 테스트 방법 - 여과효율 및 포집량"으로 공표되었다.

테스트 장비: 테스트 장비 구성도는 그림 1 과 같다.



- |                          |                            |                          |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1.Main Reservoir         | 2.Main Pump                | 3.Temperature Controller |
| 4.Sampling Tap           | 5.Differential Pres. Gauge | 6.Flow Meter             |
| 7.Counter Pressure Valve | 8.Clean-up Filter          | 9.Injection Reservoir    |
| 10.Circulating Pump      | 11.Injection Pump          |                          |

그림 1: 테스트 장비 NF X45-303 의 구성도

테스트 장비의 유효성: 최신의 어떤 필터 테스트 기준과 마찬가지로 테스트 장비의 유효성이 물론 입증되어야 한다. 첫 단계는 오염물질의 카운팅 한계에 대한 인증이다. 필터의 예상 여과정도에 의거 표 3 과 같이 미립자 크기에 따르는 카운팅 구간을 설정하였다.

표 3. 테스트 필터의 예상 여과정도에 따라 선정한 카운팅 구간

| 예상 여과정도<br>( $\mu\text{m}$ ) | Counting 구간<br>( $\mu\text{m}$ ) |   |    |    |    |    |
|------------------------------|----------------------------------|---|----|----|----|----|
| 5                            | 1                                | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  |
| [5-10]                       | 2                                | 3 | 5  | 8  | 10 | 12 |
| [10-15]                      | 3                                | 6 | 10 | 12 | 15 | 20 |
| [15-25]                      | 5                                | 8 | 12 | 20 | 30 | 40 |

위의 카운팅 구간은 하한값 구간의 입자 카운팅시 오염물질의 농도가 카운팅 센서의 측정한계 내에 있다는 것을 입증하여야 하며, Upstream 에서 입자 카운팅값도 ISO MTD 입도에 의거 크기가 상한값 이상 입자에 대한 여과비율이 최소한 500 이상이 될 수 있는 충분한 값을 가져야 한다.

그리고, 회수 라인의 정화 필터의 성능이 테스트 필터 Downstream 에서의 예상 입자 카운팅값의 10% 이하로 오염물질을 감소시킬 수 있다는 것을 입증하여야 한다. 다음 단계는 오염물질 주입회로에서 오염물질 투입농도와 투입유량의 변화량이 각각 오차범위  $\pm 5\%$  이하라는 것을 입증해야 한다. 마지막으로, 시간에 따른 입자 카운팅값과 두 센서사

이의 입자 카운팅값이 주어진 허용 오차범위 이내라면 테스트 장비의 주 회로는 유효성이 입증된다.

## 7. 테스트 방법

카트리지가 필터 또는 이와 유사한 필터는  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  물을 250mm 단위 길이당 15L/min 의 일정한 유량으로 통과시킨다. 물속에는 오염물질 ISO MTD 를 투여하여 농도 5 mg/L 로 30 분간, 100 mg/L 로 60 분간 교대로 계속 통과시킨다. Downstream 에서는 정해진 카운팅 구간에 따라 연속적으로 10 mL 샘플내의 입자 카운팅을 실시하고 Upstream 에서는 같은 방법으로 농도가 100mg/L 일 때 간헐적으로 입자 카운팅을 실시한다. 이러한 상태를 계속 유지하며 카트리지가 필터의 차압이 Folded type 은 2.5 Bar, Depth type 은 1.5 Bar 또는 소비자와 합의한 어떤 압력에 도달할 때까지 오염물질은 투입된다.

입자 카운팅값을 포함한 테스트의 측정값은 연속적으로 기록된다. 여과효율은 5mg/L 농도에서 각 구간에서 현시값, 구간평균값, 전구간 평균값으로 계산 될 수 있다. 이것은 여과효율 또는 여과비율로 기록된다. 포집량은 최종 차압에 도달할 때 까지 투입된 오염물질의 총량으로 계산된다.

## 8. 테스트 결과

테스트 기간중 Upstream 과 Downstream 에서의 입자 카운팅값을 그림 2 와 같이 현시값으로 보여 준다.

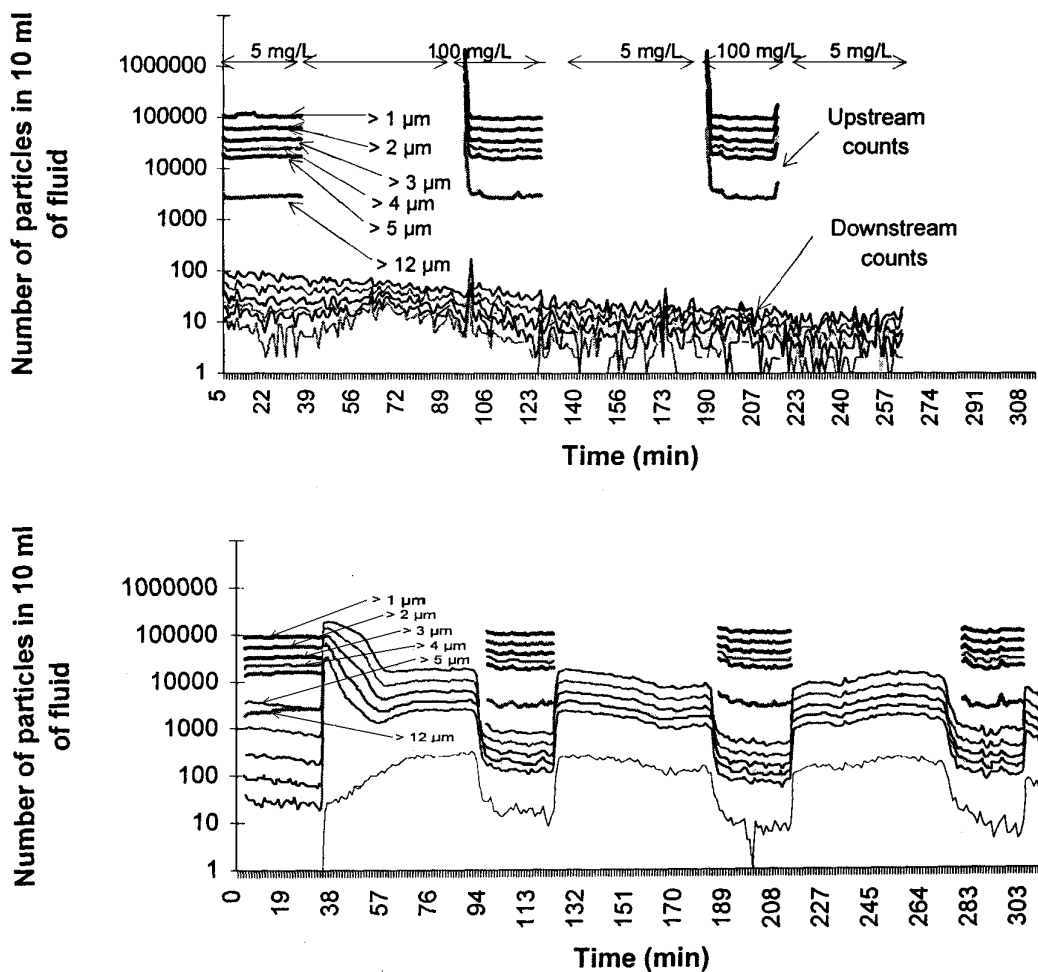


그림 2: 동일 Batch 에서 생산된 1, 2 μm 카트리지의 성능비교

각 구간에서 입자 카운팅값을 여과효율로 변환시킨 것은 그림 3 과 같다.

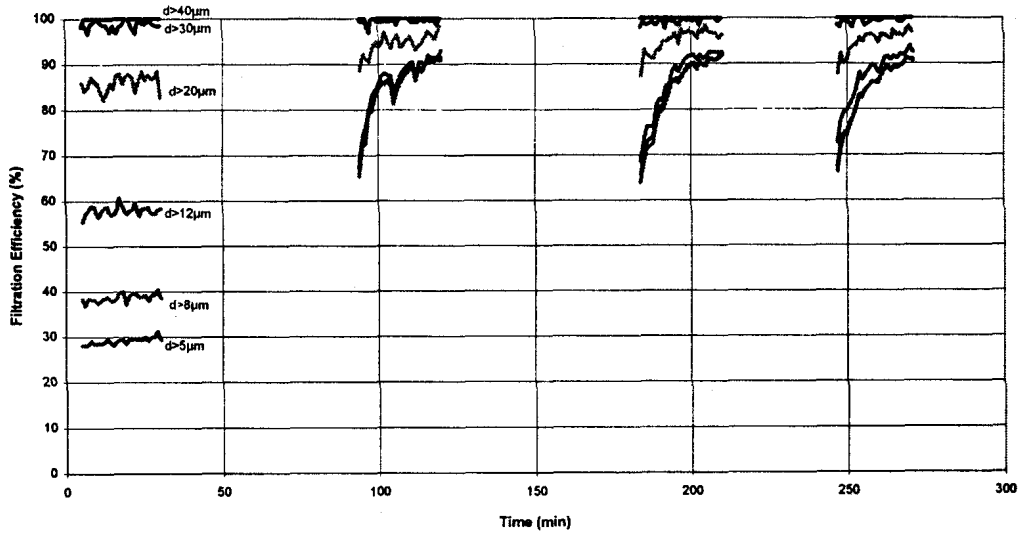


그림 3: 카트리지 15 µm의 시간에 따른 여과효율

카트리지를 비교할 경우 주어진 입자 크기에 대하여 Upstream 에서는 같은 그래프의 입자 카운팅값 Downstream 에서는 다른 그래프의 입자 카운팅값을 그림 4 에서 보여준다.

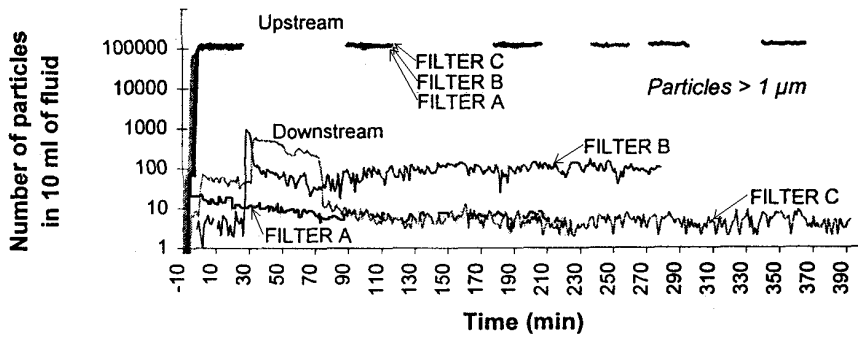


그림 4: 입자 크기 1 µm이상에 대한 3 가지 카트리지의 성능비교

테스트에서 보여주는 마지막 정보로서 카트리지 막힘의 진행과정을 그림 5 에서 보여준다.

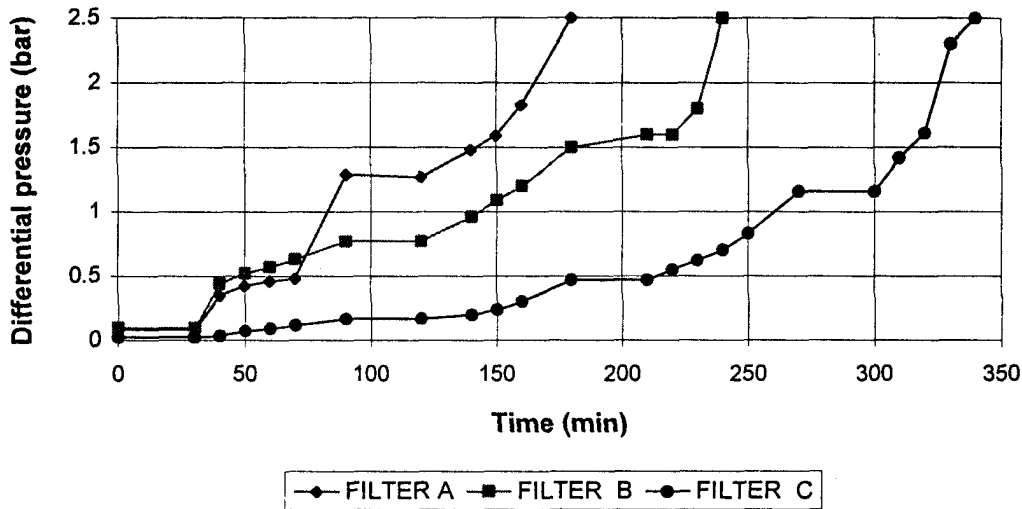


그림 5: 동일한 여과정도라고 표기된 3 가지 카트리지의 막힘 진행과정 비교

## 9. 테스트 결과의 해석

그림 2, 3, 4, 5 로부터 다음 사항을 확인할 수 있다.

- 필터의 효율은 필터의 수명이 다 할 때까지 보장 받을 수 있는가.(그림 2 와 3)
- 처리수의 수질은 주어진 사양과 잘 맞는가.(그림 2)
- Upstream 의 입자 카운팅값이 동일하고 재현성을 갖는다는 보장아래 어떤 카트리지가 최고의 효율을 가지고 있는가.(그림 4)
- 어떤 카트리지 필터가 최장의 수명 즉, 최고의 포집량을 가지고 있는가 또는 가장 적절한 수명을 갖는가. 어떤 필터 사용자들은 새로운 Batch 때마다 카트리지를 갈아 주어야 한다. 그래서 최장 수명의 것은 원하지 않고 최적의 수명을 가진 것을 원한다.(그림 5)

## 10. 명칭의 표준화

만약 필터 명칭에 대한 표준이 이루어지지 않는다면, 표준 테스트 방법에 대한 필터 사용자들의 필요성이 완전히 충족되지 않는 것이다. 이런 종류의 테스트는 고도로 정교하므로 필터 사용자들에게 불필요한 많은 양의 데이터를 제공한다. 필터에 대해서 쉽게 이해 할 수 있는 명칭을 부여하기 위하여 France 표준협회는 상업용 카트리지 필터에 대하여 최종은 아니지만 중요한 단계로서 두 개의 중요한 정의에 대하여 동의하였다.

“기준 여과정도 (Reference Filtration Rating)”는 테스트 방법 NF X 45-303 에 의거 여과효율이 99.8% 이상 즉 여과비율 500 이상이 되는 ISO MTD 입자 크기로 정의한다. 이것의 심볼로는 S 를 명기한다. 우리는 필터 제조자의 수 만큼이나 많은 정의가 있는 공칭(Nominal) 이나 절대(Absolute) 여과정도를 완전히 잊어 버릴 수 있다

심볼이 C<sub>RX</sub>인 “포집량 (Retention Capacity)”은 NF X 45-303 에 따라 테스트 하며, 차압이 명시된 값 X에 도달 할 때 까지 카트리지 필터에 포집된 ISO MTD 오염물질의 질량이다.

## 11. 결론

IPTS 에 의해 개발된 새로운 테스트 방법은 산업용 액체여과 카트리지와 Bags, Leafs, Capsules 과 같은 소모성 필터의 여과효율과 포집량을 정확히 측정하는데 목적이 있다. 이 테스트 방법은 France 표준협회에 의해 2 년 동안 논의 되었고 마침내 NF X 45-303 로 인증 되었다.

ISO MTD 오염물질을 사용하는 온라인 입자 카운팅과 현재 개정중인 ISO 표준에서 유래한 최신 필터 테스트 장비를 이용했기 때문에, AFNOR 테스트 방법은 카트리지와 필터의 수명이 다 할 때까지 전 구간의 효율을 측정할 수 있다.

모든 종류의 카트리지와 필터의 성능을 증명하거나 비교하고자 하는 소비자의 요구에 따라 실시된 200 번 이상의 테스트는 이 새로운 테스트 방법 그리고 그것과 관련된 장비들에 대한 고도의 신빙성과 재현성 그리고 민감성을 입증하였다.

NF X 45-303 에 의거 측정되고 표준화된 “기준 여과정도, S”(Reference Filtration Rating)와 “포집량  $C_{RX}$ ”(Retention Capacity)는 카트리지와 필터에 대한 특성을 명확하게 규정할 수 있도록 하였다.