

유압 설비의 청정도 진단 및 개선 Diagnosis and Improvement of Cleanliness of Hydraulic Systems

노 시 갑
S. G. Noh

1. 서 언

유압 설비의 유효수명, 성능, 신뢰성은 설비의 청정도와 밀접한 관계가 있음은 널리 주지 되어온 사실이다.

모든 유압설비에는 약간의 오염입자가 존재한다. 이는 모든 부품, 즉 펌프, 밸브, 파이프 호스 등의 부품은 조립되기 전에 이미 오염입자가 잔류해 있기 때문이다. 그리고 설비 조립과정에서 추가 오염 입자가 생성되며 설비 가동 시 연마마멸에 의해 오염 입자가 생성된다.

또한 오일탱크 덮개와 실린더 로드 실을 통해 대기 중의 Dirt가 설비 중으로 유입된다. 정기적인 정비 시 설비를 개방했을 때 아무리 청결하게 설비를 정비하여도 다량의 Dirt가 유입되며 청정하다고 생각하고 있는 신유를 충전 할 때에도 오염입자가 유입된다.

이들 입자가 제거되지 않고 설비 내에서 순환될 경우 설비부품에 영향을 끼치며 한계점에서 결국 부품을 교체해야 한다. 그러므로 부품의 손상에 따른 비용은 급속히 상승한다. 이들 손실비용에는 부품교체비용, 생산비용손실, 기회비용손실, 노동력손실, 오일 교체비용 등이 포함된다. 마멸메커니즘에 의한 설비부품의 손상은 작업자와 정비기술자에서부터 설비디자이너에 이르기까지 널리 인식되고 있으며 부품의 긴 수명과 높은 성능을 발휘하고 신뢰성 있는 설비의 성능과 오일의 수명을 제공하기 위해 오일의 청정도를 유지시키고 유압 설비를 잘 관리 유지하여야 한다.

2. 마멸 메커니즘

연마마멸(그림. 1 참조)는 기본 마멸메커니즘의 하나이다. 습동하는 두 금속표면 사이의 동적 간극에 입자가 유입된다. 동적간극보다 작은 미세입자는 금속표면을 침식시키는 Lapping 화합물이다. 임계 동적간극보다 큰 입자는 간극에 유입되지 못하고 걸린

다. 그러나 설비의 손상을 주는 입자는 동적간극과 동일한 크기 또는 약간 큰 입자가 설비에 손상을 끼친다. 이들 입자들은 금속표면에 파묻혀 있다가 반대편 습동 금속표면의 금속을 절삭재와 같이 잘라낸다. 연마 마멸에 의해 생성된 입자는 가공 경화되어 본래 금속표면보다 단단해지고 적합한 필터에 의해 여과되지 않으면 설비 내를 순환하여 추가 마멸을 발생 시킨다.

이러한 연마마멸의 연쇄 반응은 이 반응을 제어(Break the chain)할 적합한 필터를 설치하지 않으면 결국 설비 부품의 조기 고장이 발생된다. 이 원리는 그림. 2에 설명되어 있다.

3개월간 Off-Road 차량 현장 테스트에서 차량에 설치된 25 μ m의 노미날 (Nominal) 필터를 3 μ m의 실트 제어용 간극 보호필터로 교체 하였다. 20분 후 1ml 당 5 μ m 크기 이상의 입자수가 20,000개에서 200개로 감소되었다. 그 후 다시 3 μ m의 실트 제어용 간극 보호 필터 대신에 새 노미날 필터(New Nominal Filter)25 μ m를 설치하였다. 100시간을 추가 가동한 후 입자 수는 25개 이하에서 8,000개 이상으로 약 300배 증가 하였다.

그림. 2에 표시된 백분율은 각 오일을 분석하여 금속입자를 포함한 총 입자수이다. 이는 25 μ m 노미날 필터 사용 시 금속입자가 25%에서 3 μ m실트 제어용 필터 사용 시 0%로 감소되었다. 그림. 2는 부품의 마멸을 발생시키는 동적간극과 반응하는 입자를 제거하는 필터를 사용하여 어떻게 연마마멸의 연쇄 반응이 깨지는가를 설명해 주고 있다. 또 500에서 600시간대에서 보여주듯이 비록 설비가 매우 청정하게 되어도 실트크기 입자 제어용 필터를 떼어내고 25 μ m의 노미날 필터를 다시 설치하면 유입된 입자들이 설비 내에서 순환하면서 마멸을 발생시키고 설비 부품의 마멸로 금속입자를 발생시킨다. 이 과정은 표 1, 그림. 3 및 그림. 4에 보인 바와 같이 5 μ m이하의 동적간극을 갖는 대부분의 유압 부품의 경우 쉽게 상기 Process를 이해 할 수 있다. 연마 마멸과 피로마멸로부터 반대 금속표면을 보호하기 위해 이들 동적 간극 크기의 입자들을 제거하여야 한다.

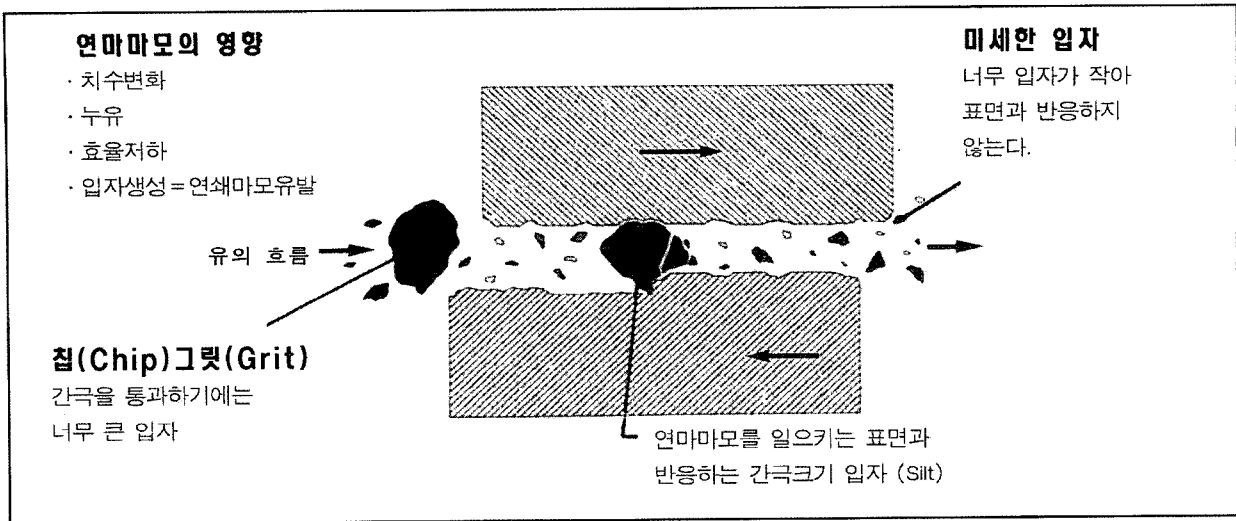


그림 1 연마 마멸

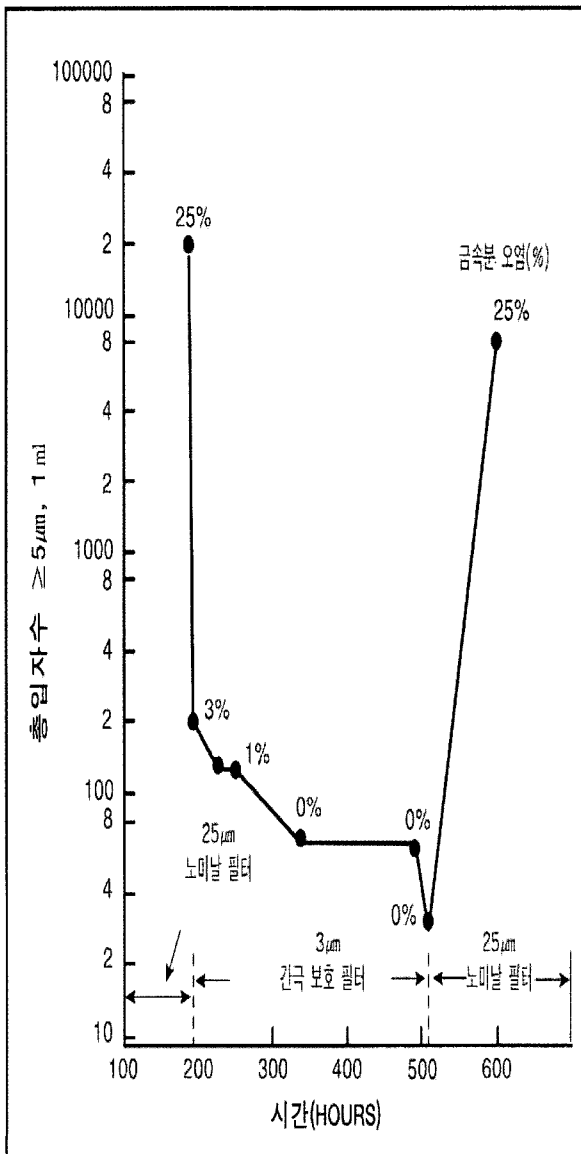


그림 2 연쇄 마멸

표 1 전형적인 동적간극-유압 부품

종류	동적간극	
	마이크로미터	인치
기어펌프(압력상태)		
기어와 측판 사이	1/2~5	0.000,02~0.000,2
기어선단과 케이스	1/2~5	0.000,02~0.000,2
베인펌프		
베인첨단	1/2~1"	0.000,02~0.000,4
베인측면	5~13	0.000,2~0.000,5
피스톤펌프		
피스톤과 실린더 내경(R)+	5~40	0.000,2~0.000,6
밸브판과 실린더 사이	1/2~5	0.000,02~0.000,2
서보밸브		
오리피스	130~450	0.005~0.40
플래퍼	18~63	0.007~0.002,5
스풀, 슬리브(R)+	1~4	0.000,04~0.000,16
제어밸브		
오리피스	130~10,000	0.005~0.40
스풀-슬리브(R)+	1~23	0.000,04~0.000,90
디스크형	1/2~1"	0.000,02~0.000,04
포핏형	13~40	0.000,5~0.001,5
액추에이터	50~250	0.002~0.010
베어링 (Hydrostatic)	1~25	0.000,04~0.001
마멸방지 베어링	1/2"	0.000,02~
베어링 슬리브	1/2"	0.000,02~

* 유막의 두께로 측정

+ 반경 간극

* 참조 Machine Design May25, 1967

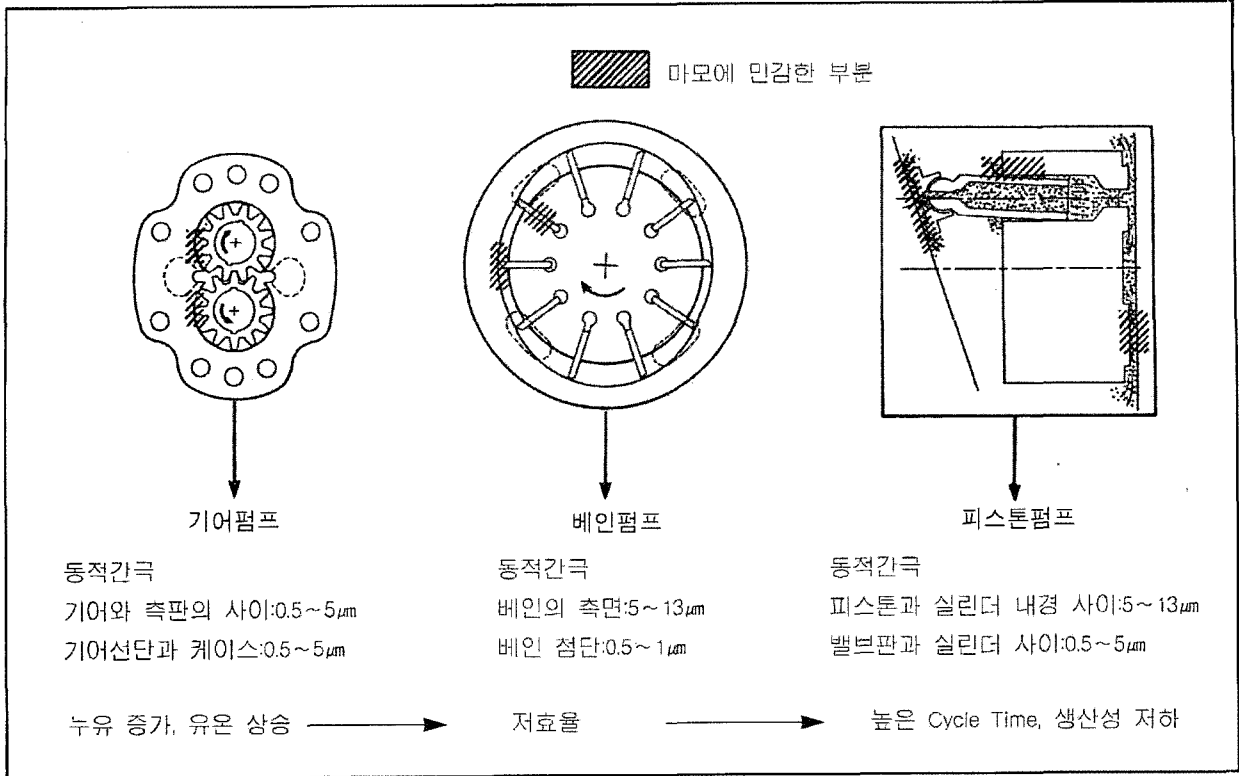


그림 3 유압 펌프 마멸

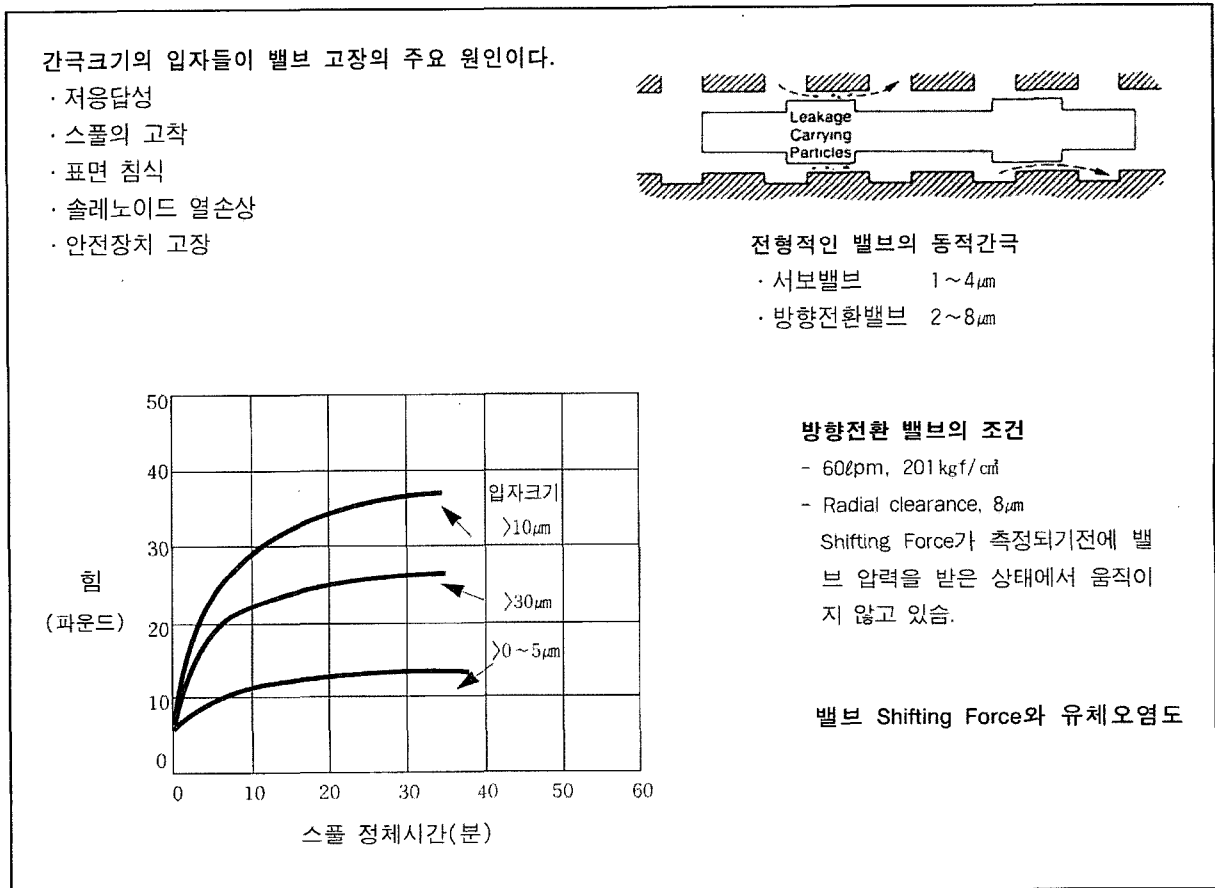


그림 4 밸브 스펴의 실트 마멸

3. 오일의 청정도

한편 오일의 청정도를 표시하기 위한 일반적인 용어정의가 필요하다. 폴사에서는 유체중의 청정도를 규정할 수 있고 오염입자수를 표시할 수 있는 정확하고 공통적이며 포괄적인 국제표준기구(ISO)의 고행오염 입자 코드 사용을 추천 하였다. 이 코드는 미국 자동차 엔지니어협회(SAE J1165)에서 수용하여 사용하고 있다. 이 코드 시스템은 세 개의 구간 범위, 즉 2 μ m 크기 이상, 5 μ m크기 이상의 입자수와 15 μ m크기 이상의 입자수를 계수하여 구분한다. 샘플링된 시료 부피에 대하여 2 μ m 크기 이상, 5 μ m크기 이상, 15 μ m크기 이상의 입자수를 계수하여 1ml당 총 입자수로 통일하여 세 구간의 해당 숫자로 보고한다. 이는 광범위한 구간의 오일 청정도를 표시할 수 있다. ISO 고행 오염입자와 코드시스템은 1ml 당 2 μ m 크기 이상, 5 μ m 이상의 크기의 입자수와 15 μ m 이상의 입자 수에 해당하는 구간으로 표시한다. 이 세 대표입자의 크기는 15 μ m크기의 입자보다 큰 입자의

분포를 반영하고 2~5 μ m크기의 입자가 오일 중 실탕 상태의 작은 입자분포를 설명해 주기 때문이다. 예를 들어 그림. 5에 표시된 도표화된 Data에 따라 ISO코드 23/21/18로 표시한다. 유압 부품의 Dirt 민감도와 필터의 성능을 측정하게 됨으로 유압산업은 급진장하였다. 필터 성능을 측정하는데 중요한 진전은 신뢰도 높은 자동입자계수기의 개발로 가능하게 되었다.

4. 오일 청정도 분석법

Multi-Pass 필터 테스트 기준인 ISO4572는 필터의 오염입자 제거와 포집성능을 측정하기 위해 개발되었다. 필터의 성능은 Beta Ratio로 표시한다. 필터 제작사에서 발행한 Beta Ratio자료를 사용하여 유압 설비에서 달성할 수 있는 적합한 예상 오염도를 추정할 수 있다. 실제 운전 중인 유압 설비에서는 유입된 오염입자 분포도, 입자 유입률과 서지 유량(Surge Flow), 저온 기동(Cold Start) 그리고 필터

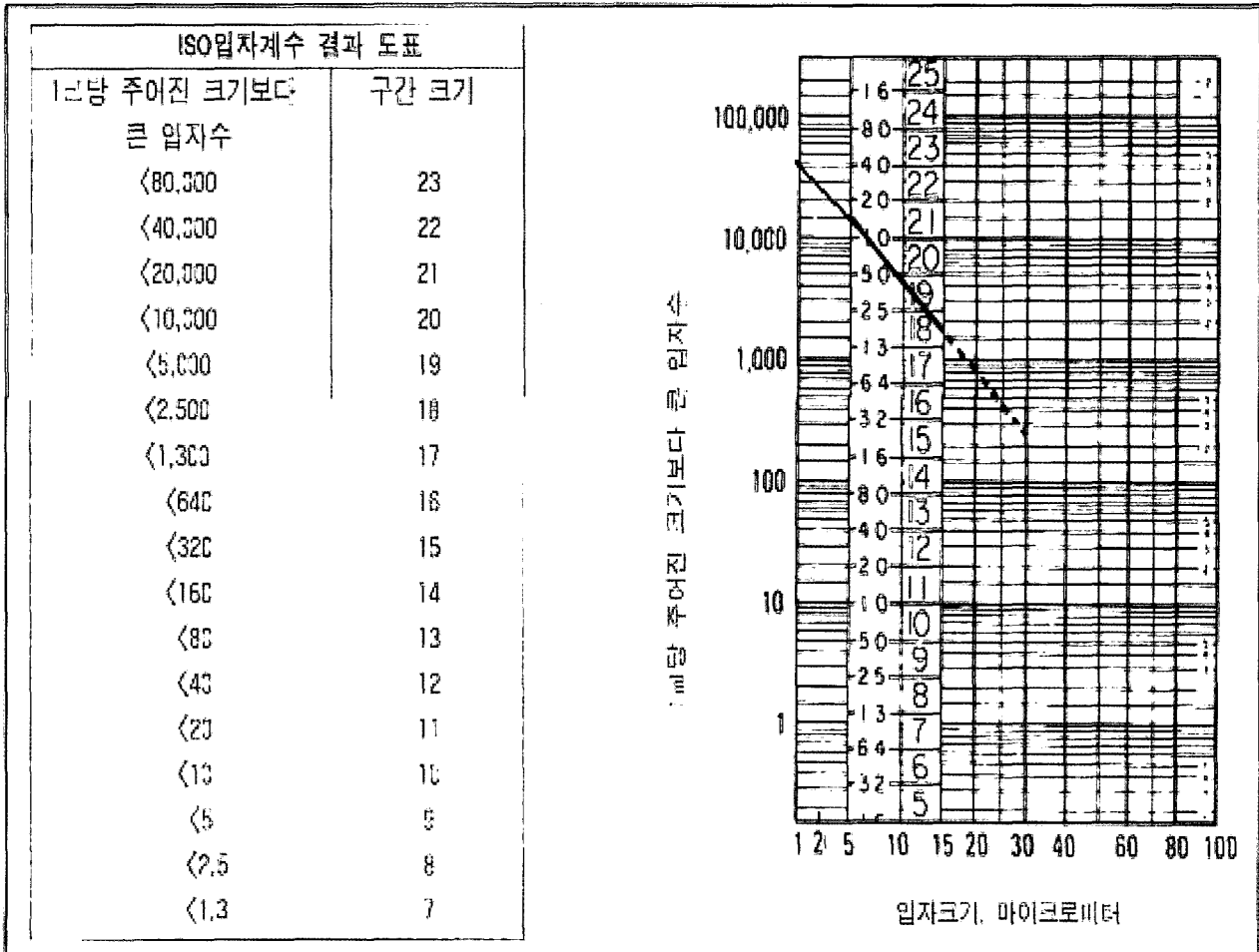


그림 5 ISO 청정도 규격

하우징과 엘리먼트의 설계에 따른 몇 가지 매개변수에 따라 필터 성능은 영향을 받는다.

최근엔 이러한 필터 엘리먼트에 가해지는 Stress 들을 모두 적용한 ISO16889기준에 Cyclic flow가 부가된 Cyclic Stabilization Test가 필터 성능 테스트로 개발 되었으며 ISO4572 규정 보다 실제 운전 조건에 유사한 시험 방법이다.

설비의 오일 샘플의 오염입자를 분석하여 ISO 청정도로 표시하여 달성된 설비의 청정도를 모니터 한다. 샘플링 할 때 잘못할 경우 신뢰할 수 없는 입자수로 계수할 수 있으므로 유압설비에서 대표 오일 샘플링은 유압 설비의 오염도를 정확하게 측정하는데 가장 중요하다. 불행히도 가장 널리 사용되는 샘플링 절차는 호스를 분리하거나 피팅(Fitting)을 손상 주거나 오일 탱크에 샘플병을 담그는 손쉬운 방법을 택하고 있다. 이 중 그 어느 방법도 만족스럽지 않으며 가장 좋은 방법은 설비의 압력 혹은 리턴라인에 적합한 샘플링 밸브를 연결하여 샘플링 하는 방법이다. 실트 제어용 필터(1~5 μ m크기의 입자를 제어하기 위한)를 설비에 장착한 경우 청결하게 샘플링 하는 기술의 적용은 매우 중요하다.

이들 설비는 샘플링 시 아주 작은 오염입자들이 적은 양 유입(부적합한 샘플링밸브사용, 샘플링밸브를 플러싱하지 않은 경우, 청결하지 않은 샘플병)하여도 그 결과에 큰 영향을 미친다. 샘플병이 청결하지 않거나 부적합하게 관리되면 다수의 오염입자 때문에 실트 제어용 필터(일반적으로 ISO 14/12에서 ISO 10/8 까지 청정도를 관리)로 달성할 수 있는 상한선의 오염도인 ISO 14/12 코드가 얻어진다. 설비에서 샘플된 오일에 샘플병에 잔류하는 오염입자가 샘플 오일에 첨가되어 높은 Error의 결과를 보인다. 설명된 오일 샘플 컨테이너에 청정방법과 평가방법은 ANSI B93.20에 설명되어 있다. 샘플링밸브 자체에서 최소의 오염물이 생성되도록 샘플링 밸브를 관리한다. PTFE 또는 유사 Seat 의 밸브 시스템에 O-Ring이 있는 작은 볼밸브는 입자계수를 위한 샘플링에 적합하며 이는 샘플링 대상 설비에 실트 제어용 필터가 설치된 경우 반드시 필요하다.

설비 중 일정한 유량이 흐르는 곳에 밸브를 설치하여야 한다. 샘플링 할 때는 샘플링밸브를 완전히 개방하여야 한다. 밸브크기와 설비압력에 따라 샘플유량을 조절하기 위해 밸브 출구 측에 긴 모세관 튜브의 연결이 필요하다. ISO 4021에 따라 샘플링밸브에 의해 유량이 영향 받지 않아야 한다. 압력라인에서 샘플링 시 추천되는 절차는 다음과 같다. 주의

할 점은 고압라인에서 샘플링은 위험하기 때문에 숙련된 유경험자에 의해 샘플링을 수행한다.

① 설비를 사용온도까지 Warm-up 시킨다.

② 샘플링밸브를 열고 밸브를 통해 최소 500ml의 오일로 밸브를 플러싱한다. 플러싱 후 밸브를 잠그지 않는다.

③ 샘플링 병의 뚜껑을 열고 공기 중의 Dirt나 다른 표면의 Dirt가 뚜껑 내부에 잔류하지 않도록 주의한다. 흐르는 유체에 샘플병을 놓고 샘플병 상단 1/2인치 지점까지 오일을 채운다. 이때 샘플링 중 절대로 밸브를 조작하지 않는다.

④ 샘플병을 빼낸 후 즉시 뚜껑을 닫는다. 그리고 샘플링 밸브를 잠근다.

현재 대부분의 사용 오일 분석실에서는 자동입자계수기로 입자크기를 분석한다. 이 장치는 빛의 음영원리를 이용한 것이다.

이 같은 기기의 원리로 오일 샘플 중의 기포 또는 물방울은 오염입자로 계수된다. 마찬가지로 오일 중 첨가제와 Gel의 출현도 자동입자계수기의 정확도에 영향을 미친다. 이와 같은 이유로 수-글리콜계와 같은 샘플은 현미경 입자계수법으로 계수한다.

0.8 μ m 분석용 멤브레인에 작은 양의 오일샘플을 흡입한 후 포집된 오염입자를 확대하여 그 크기와 수를 측정 한다. 자동입자 계수법은 현미경을 사용하지 않기 때문에 수분입자의 출현, 첨가제의 침전, Gel 성분을 판단하기 어려워 부정확하게 오염 입자를 계수한다.

이와 같은 이유로 자동 입자계수기의 검증이 필요하다. 이때 분석용 멤브레인에 오일을 흡입시킨 후 현미경으로 입자를 계수한다. 만일 자동 입자 계수값과 현미경 입자계수 값이 일치하지 않은 경우 현미경을 통해 정확히 계수한다.

최근에는 Mesh blockage technology를 적용한 청정도 분석 장비가 개발되어 자동입자계수기의 단점을 보완 했고 저점도용 세척액까지 적용 가능하다.

5. 결 언

최신의 여과기술은 오염에 민감한 설비의 일관된 청정도를 달성하기 위한 방법을 제공한다. 이는 사용 중인 설비에서 샘플링하여 오일을 분석, 평가하는 규격화된 접근방법으로써 신뢰할 수 있는 설비의 성능과 유체의 수명 그리고 부품의 수명을 연장시키기 위해 설비의 요구 청정도를 유지 한다.

참고 문헌

- 1) J. A. Farris, "The Importance of Silt Removal Filtration in Mobile Vehicle Hydraulic Systems", SAE Paper No.690606.
- 2) W. E. Haewick and C. A. Meyers, "Keeping Tabs on Hydraulic Fluid Cleanliness", MACHINE DESIGN, pp. 103, May 23, 1985.



[저자 소개]

노시갑

E-mail : Si_Gab_Noh@pall.com

Tel : 02-560-7861

1963년 8월 24일생.

1988년 한국해양대학교 선박기계공학과 졸업. 1988년 중원기계(주) Pall 필터 사

업무 입사. 1991년 한국 폴 주식회사 (Pall 자회사)로 입사. 1999년 8월 철강, 자동차, 제지, 조선, 발전소, 방위산업 마켓의 오염관리와 여과기술 분야 부서장.