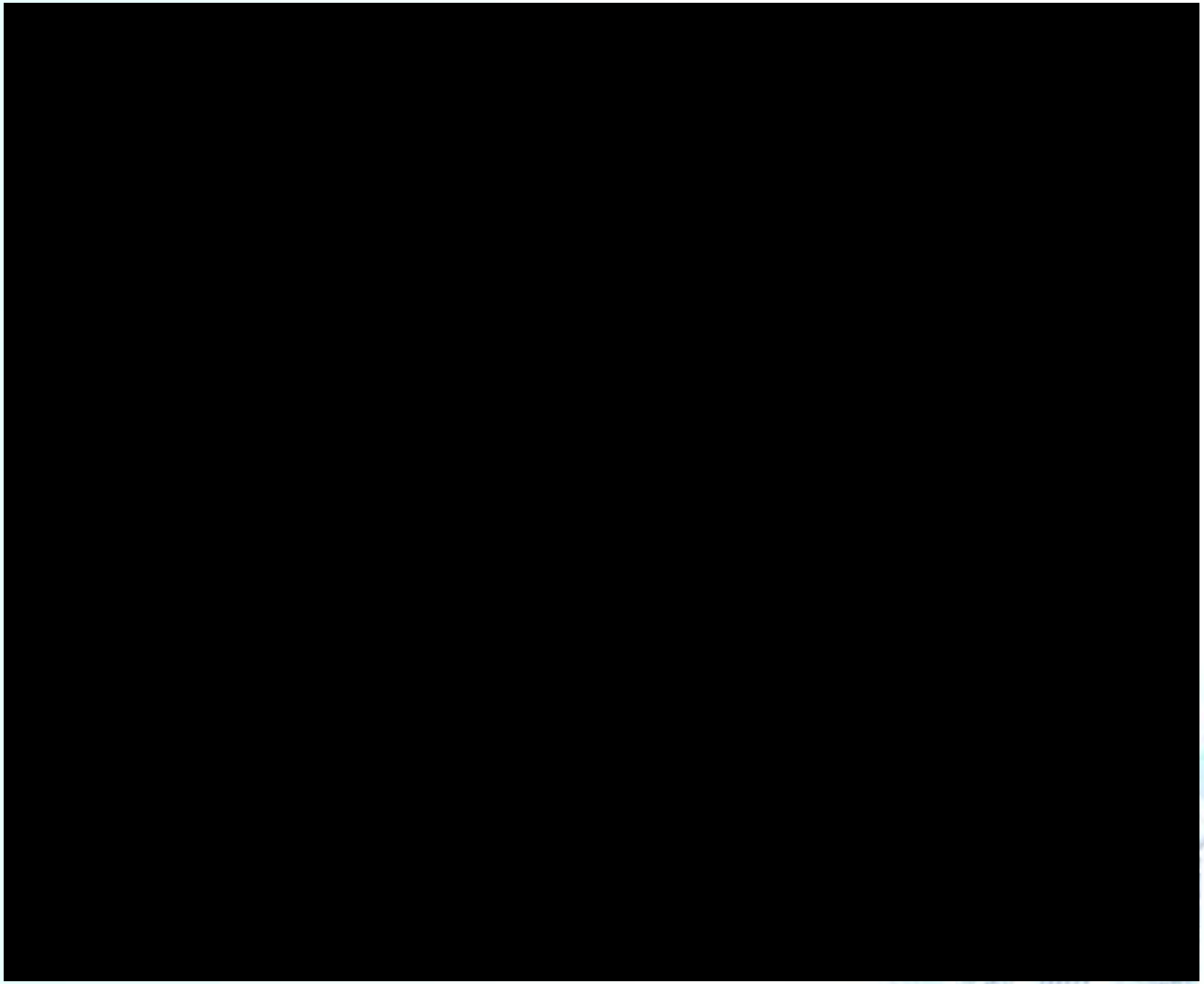
2. Physical Properties of Hydraulic Fluids

- Primary Functions of a Hydraulic Fluid
- Properties of Hydraulic Fluids
- Liquids & Gases

- Specific weight, Density & Specific gravity
- Force, Pressure & Head
- Gauge Pressure & Absolute Pressure
- Conversion of Units
- Bulk Modulus
- Kinematic viscosity & Absolute viscosity
- Viscosity & Viscosity Index
- 2.A Additive of Hydraulic Fluid

Hydraulic Fluids



2.1 Hydraulic Fluids

Primary Functions of a Hydraulic Fluid

- **Transmit power: Power**와 **Signal**의 전달매체
- **Lubricate moving parts:** 윤활, 방청
- **Seal clearances between mating parts:** 밀봉
- **Dissipate heat:** 열 발산, 냉각

Primary Functions of a Hydraulic Fluid

유압 동력 전달

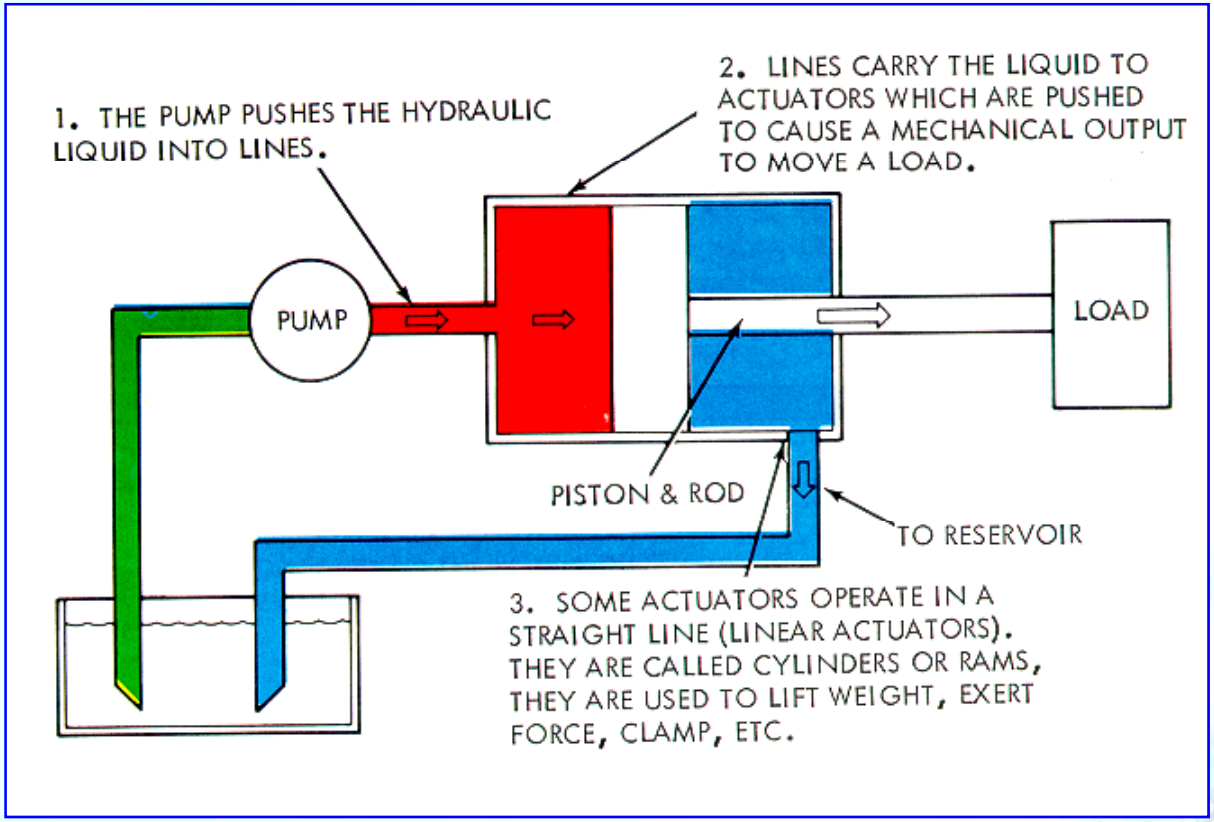


Fig. 1 유압동력의 전달과정

Primary Functions of a Hydraulic Fluid(계속)

- 작동 부분의 유체 윤활, 밀봉

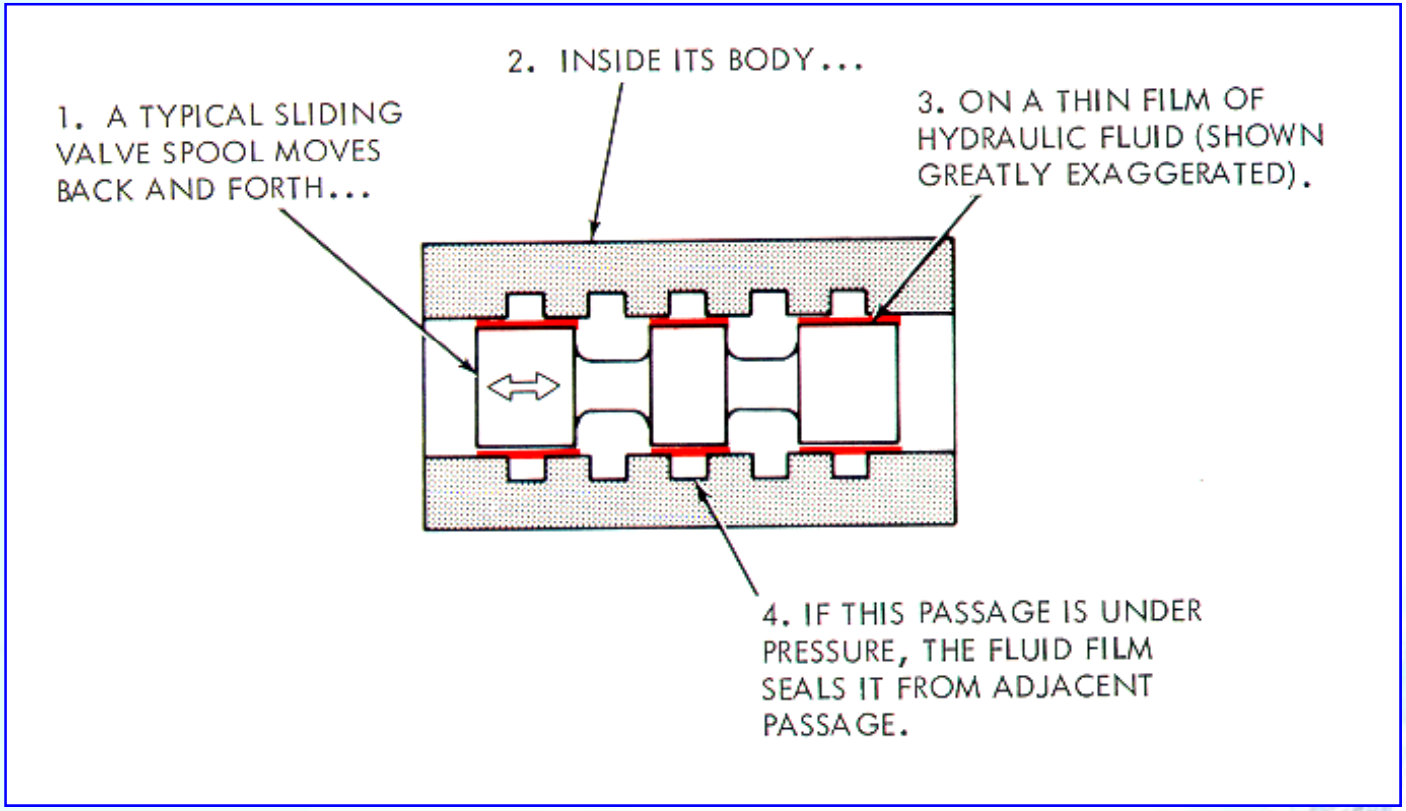


Fig. 2 작동 부분의 유체 윤활

Primary Functions of a Hydraulic Fluid(계속)

시스템의 순환 냉각

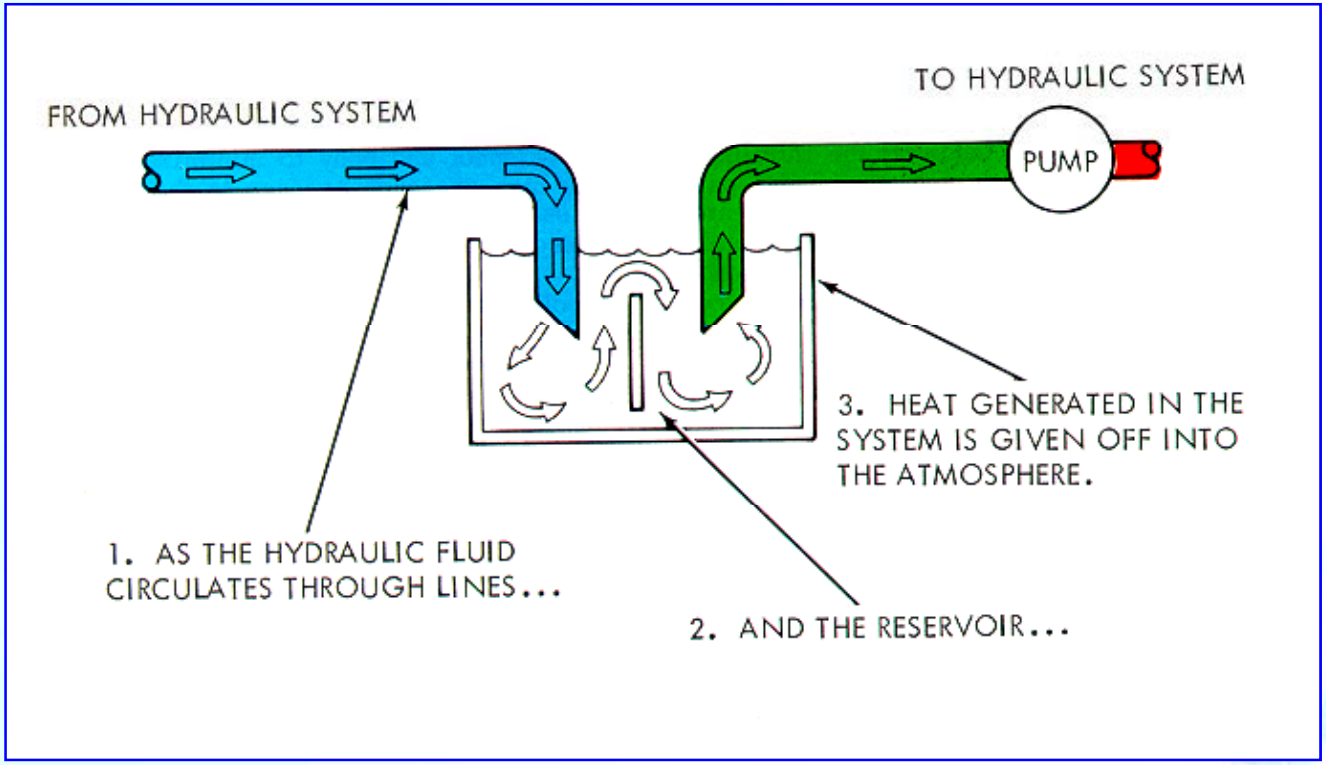


Fig. 3 시스템의 순환 냉각

Demanded Properties of a Hydraulic Fluid

- 적정한 유동성과 점도

  점도-온도 변화는 작아야 하며,저온유동성이 좋고 전단안전성이 우수할 것

- 윤활성

  기기의 습동부에 대하여 양호한 윤활 성능을 가지고 마모를 작게 하여 소착을 방지할 수 있어야 할 것

- 열 및 산화안정성

  열 및 산화 노화에 따른 부식성산 및 슬러지를 생성하지 말고 장기간 사용에 견딜 수 있을 것

- 방청 및 부식성

  철, 비철금속에 대하여 녹 및 부식성을 가지지 말 것

- 수분 및 이물질의 분리성

  유중에 흡입된 수분을 분리함과 동시에 유화가 어렵고 먼지 등의 이물질과도 분리가 쉬울 것

- 기포성, 방기성

  유중에 기포가 생기지 말아야 하며, 기포 생성시에는 분리가 쉽고 유면으로 방출이 쉬울 것

- 압축성: 압축성이 작을 것
- 씰재료, 도료와의 적합성

  씰재료, 패킹재료, 도료에 대하여 적합성을 가질 것

- 기타

  독성이 없을 것, 용도에 따라서는 내화성을 가질 것

Properties of a Hydraulic Fluid

- **Physical Properties**
  - 장치의 정상적 작동에 필요한 성질
  - 비중, 비열, 인화점, 점도특성, 압축성, 기포성, 증기압

- **Chemical Properties**
  - 장기간의 운전에 필요한 성질
  - 열안정성, 산화율, 산도, 방청성, 내마모성, 패킹재료 및 도료에 대한 영향성

ISO안에 의한 유압작동유의 분류

- 광유계 작동유 ISO-L-H
  - 무첨가 정제광유 (터빈유, 순광유); ISO-L-HH
  - 방청성 및 산화안정성 부가정제광유 (R&O 작동유); ISO-L-HL
  - HL유에 내마모성부가 (내마모성 작동유); ISO-L-HM
  - HL유에 점도-온도 특성 부가 (고점도지수 작동유); ISO-L-HR
  - HM유에 점도-온도 특성 부가 (고점도지수 내마모성 작동유); ISO-L-HV
  - HM유에 스틱슬립성 부가 (접동면 향상 내마모성 작동유);
- 난연성 작동유 ISO-L-HF
  - 함수계 작동유 (함수계 내화성 작동유); ISO-L-HF
    - O/W(oil in water) 에멀젼 (솔루블유); ISO-L-HFA
    - W/O(water in oil) 에멀젼 (에멀젼유); ISO-L-HFB
    - 수-글리콜; ISO-L-HFC
  - 에스테르계 작동유 (합성계 난연성유); ISO-L-HFD
    - 인산에스테르 (인산에스테르유); ISO-L-HFDR
    - 염소화 탄화수소 (현재사용하지않는다); ISO-L-HFDS
    - 인산에스테르+염소화 탄화수소 (현재사용하지않는다); ISO-L-HFDT
    - 지방산 에스테르 (폴리올 에스테르유); ISO-L-HFDU

Maintenance of a Hydraulic Fluid

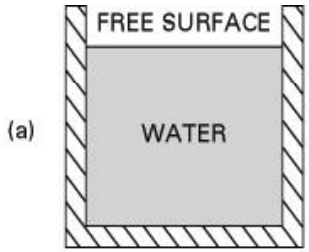
- 유압유의 교체시기 판단
  - 점도와 산도 증가한 때
  - 교체는 시스템의 작동온도에서 해 주는 것이 좋다.
- 과거
  - 유압유의 오염 가능성만으로 교체
- 현재
  - 유압유 보존의 필요성 증가
  - 유압유 검사 장치 이용
- 유압유 상태 지표
  - 점도, 물 함유량, 외부입자에 의한 오염수준

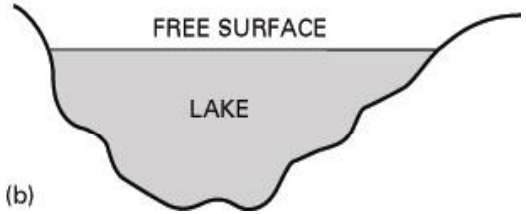
2.2 Fluids: Liquids & Gases

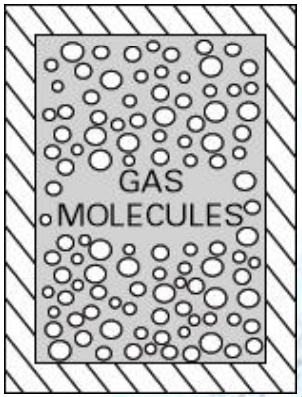
- **Fluids: Liquids & Gases**

- **Liquid**
  - 질량이 일정하면 담긴 용기의 모양에 관계없이 부피가 일정한 유체
  - 비압축성으로 간주
  - 압력변화가 있어도 액체의 부피변화가 없다.

- **Gas**
  - 기체의 부피는 담긴 용기를 채우도록 변한다.
  - 압력이 증가하면 기체의 부피는 작아지고, 압력이 감소하면 부피는 커진다.







Advantages of Air

- **Advantages of air:** 전달매체
  - 난연성
  - 지저분하지 않다.
  - 공기 중으로 다시 배출 가능

- **Disadvantages of air**
  - 압축성: 정확한 위치 제어 불가능
  - 느린 응답속도
  - 부식성: 산소와 물 함유
  - 윤활유 첨가
  - 폭발 위험성: **250psi (17.5bar)** 이하의 압력에서 사용

2.3 Specific Weight, Density, Specific Gravity

- **Mass**
  - 물체를 구성하는 물질의 양 **[kg]**
- **Weight**
  - 물체에 작용하는 지구 중력

$$F = W = mg \text{ [N], [kgf]}$$

g : 중력 가속도**(9.81m/s^2; 32.2ft/s^2)**

- **Weight density: Specific weight : γ**
  - 단위부피당 무게 **=** 무게**/**부피
  - 물의 무게밀도 **: 62.4lb/ft^3 = 999kgf/m^3**
- **Specific gravity**
  - 유체의 무게밀도를 물의 무게밀도로 나눈 값**:** 무차원
  - 물의 비중 **: 1**
- **Mass density : Density : ρ**
  - 단위 부피당 질량 **=** 질량**/**부피
  - 질량밀도 **=** 무게밀도**/**중력가속도 $\gamma = \rho g$
  - 물의 밀도 **: 1.94slugs/ft^3 = 999kg/m^3 (60F,** 대기압하 민물**)**

2.4 Force, Pressure, Head

- **Force**
  - 물체의 모양이나 운동 상태를 변화시키는 원인이 되는 물리량
- **Pressure**
  - 단위면적당 작용하는 힘

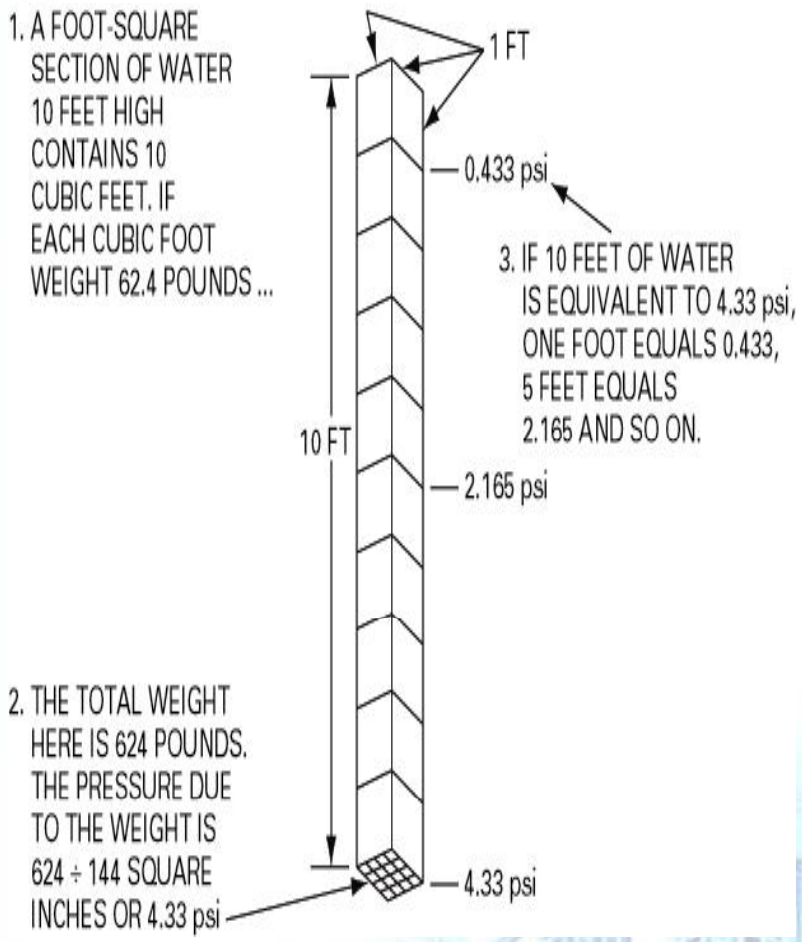
    P = F/A
- **Head**
  - 압력 수두: **1ft** 높이의 물
  - **1ft** 물에 의한 압력:

    P = 62.4lb/1ft^2 = 62.4psf

    = 0.433psi
  - 압력은 액체기둥의 밑면넓이에는 무관, 액체기둥의 높이와 무게밀도에만 의존

    압력 = 무게밀도 **X** 수두

    P(psi) = 0.433 H(ft) S_g

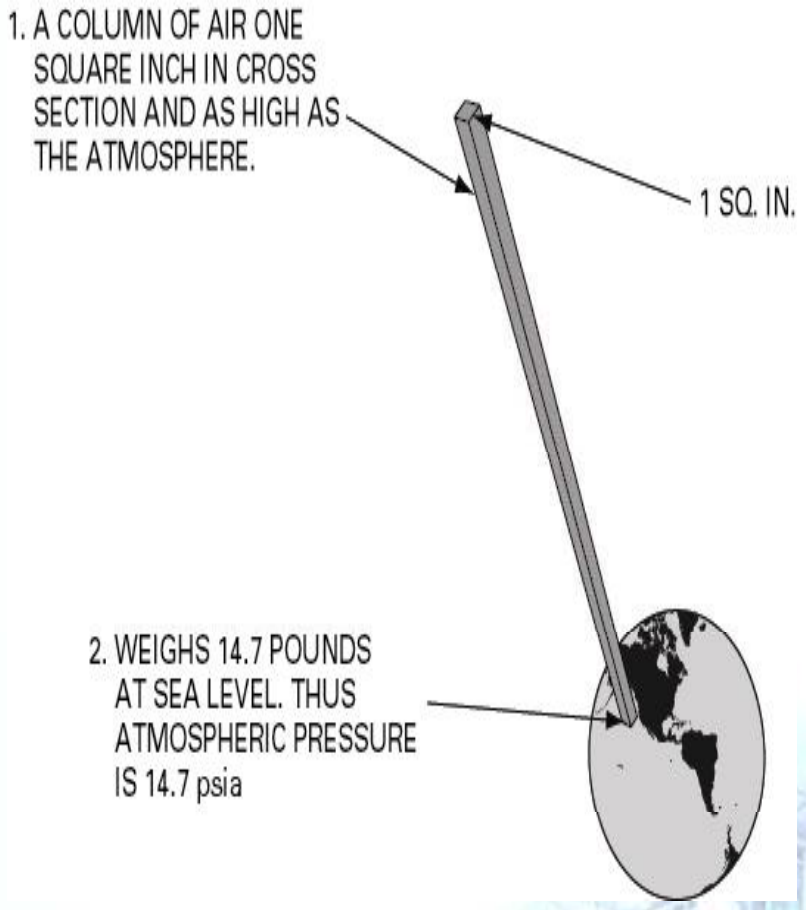


Atmospheric Pressure

Atmospheric Pressure

- 단면적: **1in²**
- 대기권까지 뻗어있는 공기기둥 무게: **14.7lb**
- 해수면에서의 압력:

1atm = 14.7psi

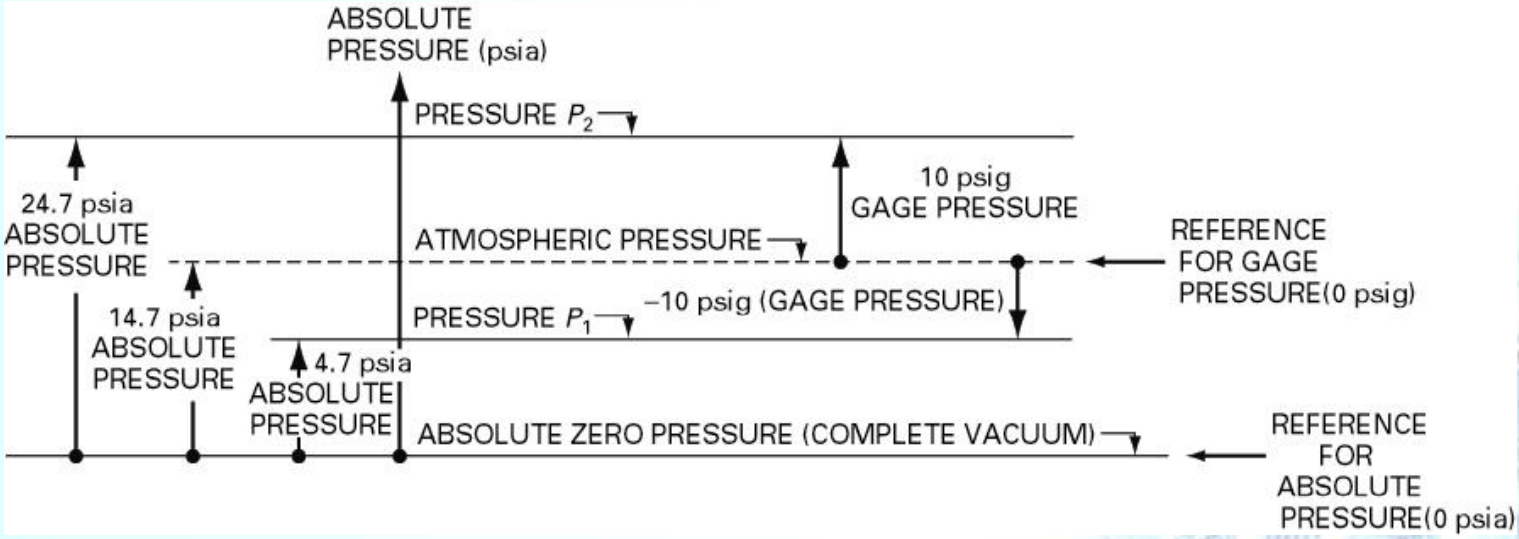


Gauge Pressure & Absolute Pressure

- **Gauge Pressure**
  - 대기압에 대해 상대적으로 측정한 압력
  - **psig, psi**
- **Absolute Pressure**
  - 외계에 존재하는 완전한 진공상태의 압력에 대해 상대적으로 측정한 값
  - **psia**

  절대압력 = 게이지압력 + 대기압

- 진공압력이나 흡입압력은 유공압시스템의 어떤 특정부분에서 존재 **(예: 펌프의 흡입구)**



2.5 Conversion of Units

- **SI metric system**
  - **1960년, 세계표준기구**
  - **길이(m), 질량(kg), 힘(N), 시간(sec), 온도(ºC)**
- **Length, Mass, Force**
  - **1in = 0.0254m**
  - **1ft = 12in = 0.3048m**
  - **1slugs = 14.6kg**
  - **1lb = 4.45N**
- **Pressure**
  - **1Pa = 1N/m2**
  - **1psi = 6,897Pa**
  - **1bar = 10^5Pa = 14.5psi**
  - **1,000psi = 70bar**
  - **대기압 = 1.01bar**
    = 101,000Pa = 14.7psi
- **Density**
  - **물의 질량밀도: 999.1kg/m^3 @ 60ºF(15.6ºC)**
- **Temperature**
  - **$T_F = 9/5 \times T_C + 32$**
  - **$T_C = 5/9 \times (T_F - 32)$**
  - **$T_K = T_C + 273.15$**
- **SI 미터법 접두사**
  - **T: tera, G: giga**
  - **M: mega, K: kilo**
  - **c: centi**
  - **m: milli, u: micro,**
  - **n: nano, p: pico**

2.6 Bulk Modulus

- **Bulk Modulus(체적탄성계수)**
  - 비 압축성의 척도
  - 체적탄성계수가 클수록 유체는 더 큰 강성을 갖고 있어 압축되기가 어렵다.

$$\beta = -\frac{\Delta P}{\Delta V / V} = -\frac{\Delta P}{\Delta V} V$$

  - 전형적인 유압유의 체적탄성계수: **250,000psi (1,720MPa)**

종류	압축률 [cm^2/kgf]	체적탄성계수 [kgf/cm^2]	비고
석유계작동유	6.0×10^{-5} $5.2\sim7.2 \times 10^{-5}$	1.7×10^{4} $1.4\sim1.9 \times 10^{4}$	
항공작동유 (MIL H 5606A)	5.0×10^{-5}	2.0×10^{4}	압력 $40\sim60kgf/cm^2$
각종 연료유	5.0×10^{-5}	2.0×10^{4}	
수-글리콜 W/O 형 에멀젼 인산에스테르	2.9×10^{-5} 4.4×10^{-5} 3.3×10^{-5}	3.5×10^{4} 2.3×10^{4} 3.0×10^{4}	$20^{o}C$, $700kgf/cm^2$

2.7 Viscosity

- 점도란 유체의 흐름에 대한 저항정도를 의미하며, 유동성(**Fluidity**)의 역수이다.

- 유체가 쉽게 흐른다는 말은 점도가 낮다는 것을 의미하며, 유체가 어렵게 흐른다는 말은 점도가 높음을 의미한다.

- 점도의 정의
  - 절대점도(**absolute viscosity**)
    단위: **centipoise [cP]**
  - 동점도(**kinematic viscosity**)
    단위: **centistokes [cS]**
  - 상대점도(**Saybolt Universal Seconds[SUS]**)
  - **SAE Number**

WHAT IS VISCOSITY?

Viscosity is a measure of "flow-ability" at definite temperatures.

WHY THE TEST?

At operating temperature it is viscosity that determines fluid friction (friction within the oil itself). Change in viscosity indicates contamination or oxidation instability.

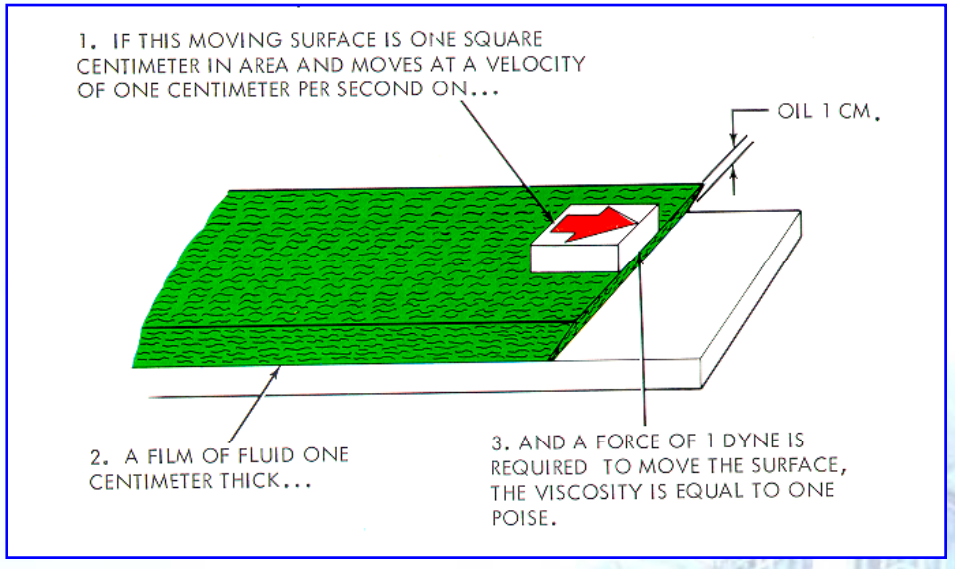
Absolute Viscosity ; μ

- 유체의 한 층과 다른 층사이의 저항으로서의 점도
- 고정평판에서 단위거리 떨어진 오일 위에 단위넓이를 가진 상판을 단위속도로 움직이는 데 필요한 힘
- 단위: **Poise [dyne.sec/cm^2; kg/cm.sec]**

$$\text{절대점도} = \frac{\text{전단 스트레스(shear stress)}}{\text{전단율(rate of shear)}}$$

$$1\ \text{Poise} = 1\ \frac{\text{dyne.sec}}{\text{cm}^2}$$

$$= 100\ \text{CentiPoise [cP]}$$

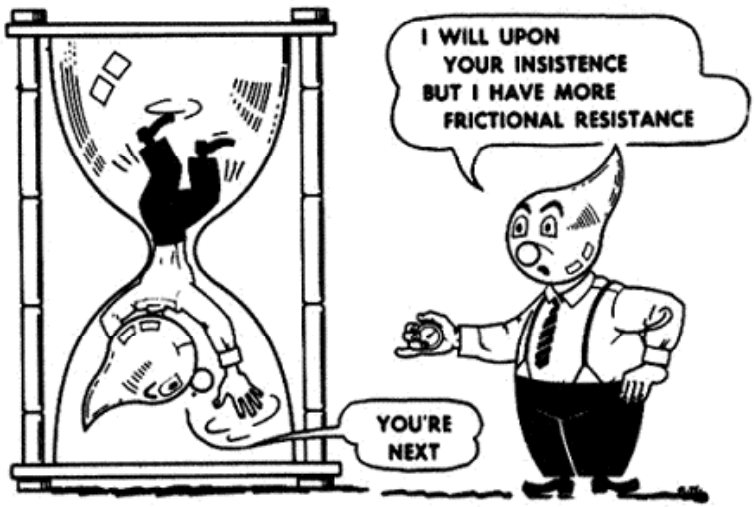


Kinematic Viscosity ; ν

- 일정량의 오일이 중력에 의해 모세관을 흐르는데 걸리는 시간
- 절대점도 계수를 유체의 밀도로 나눈 것
- 단위: **Stokes [cm²/sec]**

$$\text{동점도} = \frac{\text{절대점도}}{\text{밀도}}$$

$$\text{Stokes} = \frac{\text{Poise}}{\text{Density}} = 100\ \text{CentiStokes}$$



WHAT IS KINEMATIC VISCOSITY?

Kinematic viscosity is the time required for a fixed amount of an oil to flow through a capillary tube under the force of gravity. The unit of kinematic viscosity is the stoke or centistoke (1/100 of a stoke). Kinematic viscosity may be defined as the quotient of the absolute viscosity in centipoises divided by the specific gravity of a fluid, both at the same temperature—

$$\frac{\text{Centipoises}}{\text{Specific Gravity}} = \text{Centistokes}$$

SUS (Saybolt Universal Seconds) Viscosity

- 대부분의 실제 용도에서는 유체의 상대점도가 다루어지는데, 상대점도는 주어진 온도에서 표준 오리피스를 통과하는 유량의 시간 측정에 의해 결정된다.

- **Thick liquid**는 서서히 흐르므로, **SUS** 점도는 **Thin liquid**보다 크다.

- 오일은 온도에 따라 성질이 바뀌므로, 점도는 주어진 온도에서의 **SUS**로서 표현되어야 하며, 시험은 주로, **100°F(37.78°C)** 또는 **210°F(98.89°C)**에서 수행된다.

- 산업용으로 유압유 점도는 대개 **100°F**에서 **150SUS**근처에 있으며, 일반적으로 **45SUS~4000SUS** 사이에서 쓴다.

Saybolt Viscometer

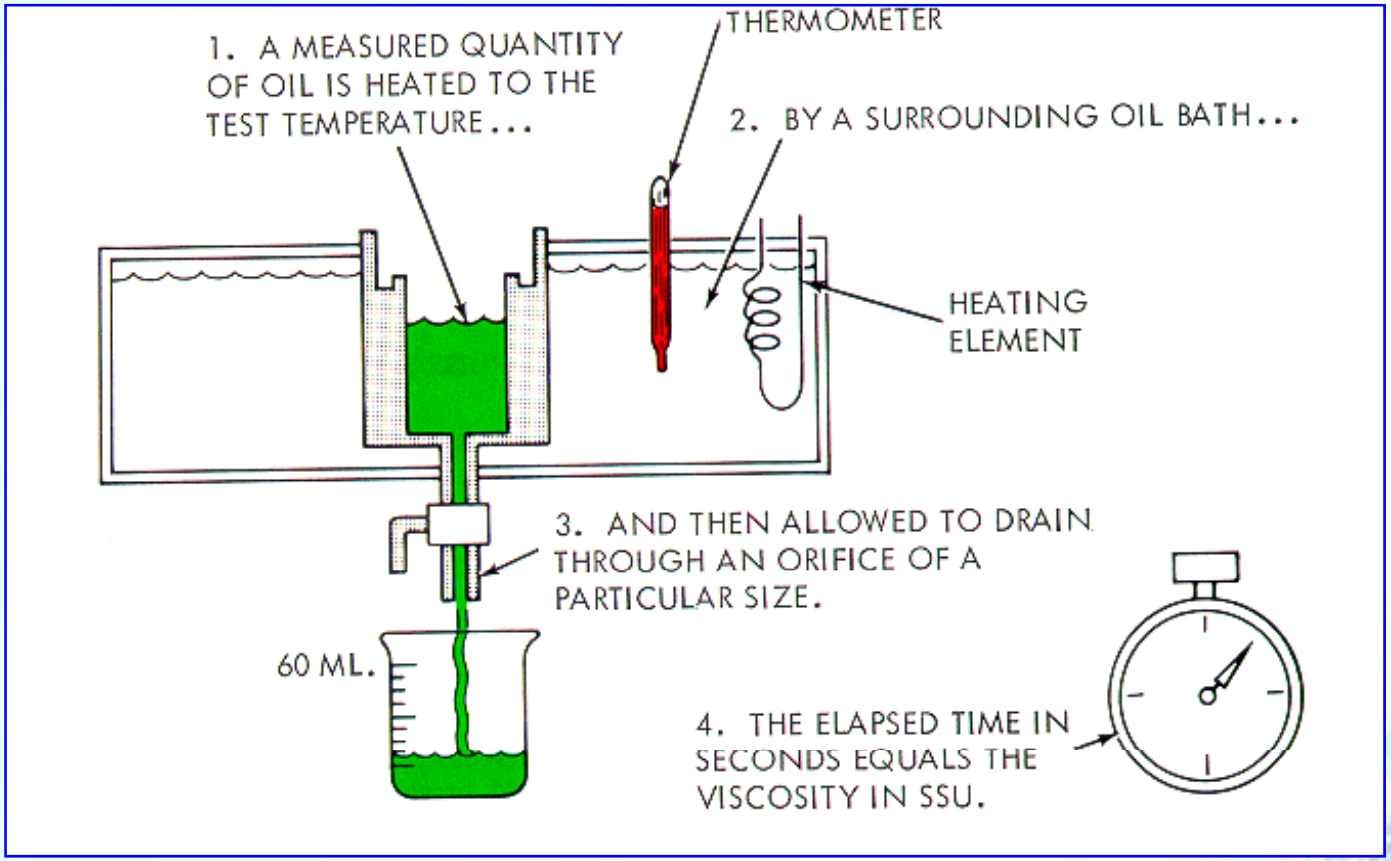
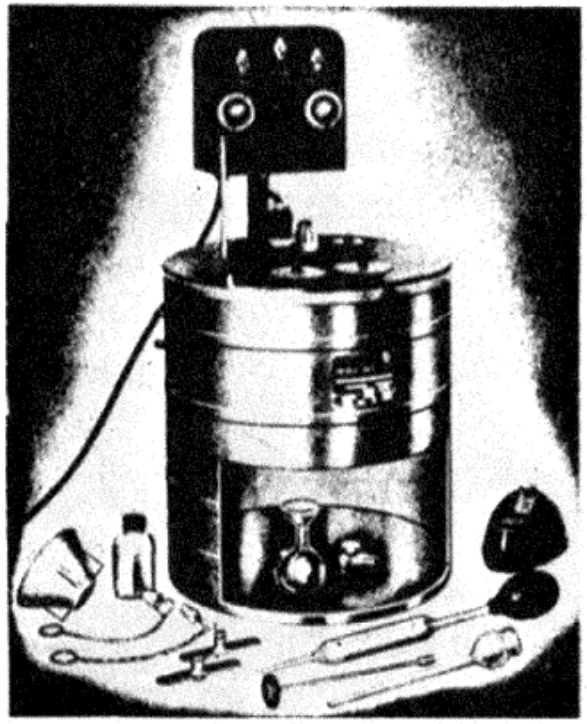


Fig. 5 상대점도의 측정

SAE Number

- **SAE Number**는 미국 **SAE**에 의해 **SAE** 시험온도에서 오일의 **SUS** 점도의 범위를 특정지은 것이다.
- 겨울용**(5W, 10W, 20W)**은 **100ºF**에서 시험한 것이며,
- 여름용**(20, 30, 40, 50)**은 **210ºF**에서의 **SUS**범위를 가리킨다.

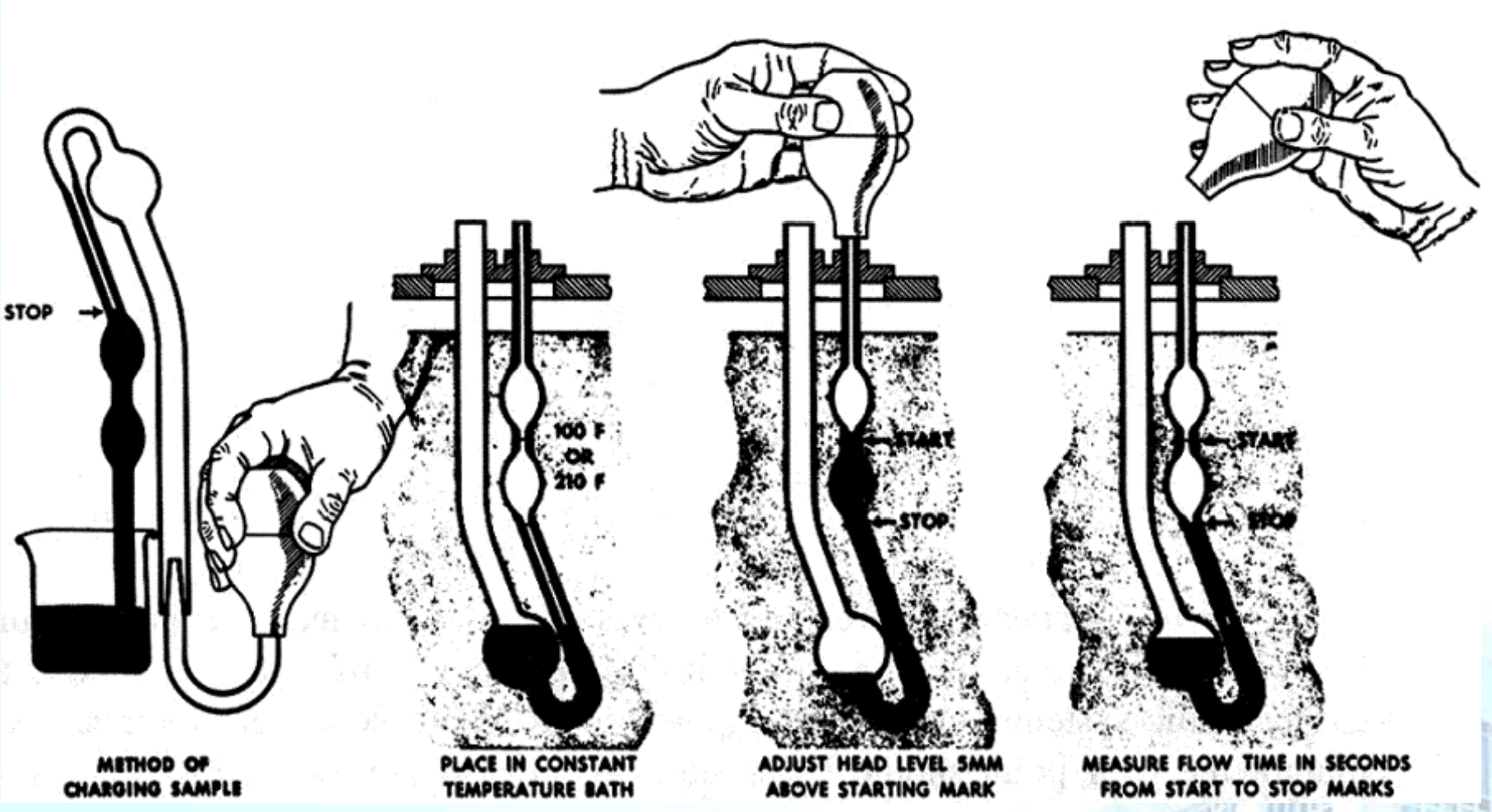


HOW TO DETERMINE VISCOSITY

The unit of measure is time in seconds required for 60 ml of the oil to flow through a standard orifice under a standard falling head and at a given temperature. 100F and 210F are common temperatures for reporting viscosity. Saybolt Furol Viscosity is obtained with the same instrument with a larger orifice, producing results approximately one-tenth those of the Universal orifice readings.

	SAE	at 100 F	at 210 F
Typical Viscosity (Saybolt Universal) For SAE Automotive Ratings	10W	202	48
	20W	323	57
	30	538	68
	40	850	84
	50	1174	100

Capillary Tube Viscometer



점도가 유압시스템에 미치는 영향

- 점도가 너무 높으면,
  - 마찰력을 증대시키고, 유체 흐름의 저항을 높인다.
  - 마찰손실에 의한 동력소모가 증가한다.
  - 마찰에 의한 온도상승이 일어난다.
  - 저항에 의한 압력강하가 증가한다.
  - 완만하거나 느린 작동이 발생할 수 있다.
  - 탱크내의 오일로부터 공기를 분리하기가 어렵다.
- 점도가 너무 낮으면,
  - 내부 누유가 증가한다.
  - 과대한 마모 또는 움직이는 부분사이의 유막이 깨져 과대하중에 대한 늘어붙음(**siezure**)이 발생할 수 있다.
  - 액츄에이터의 느린 동작으로 인하여 펌프효율이 감소한다.
  - 누유손실로부터 온도가 증가한다.

2.8 Viscosity Index (VI)

- 점도지수란 온도변화와 함께 점도변화에 대한 유체저항의 임의 측정치로서, **Dean**과 **Davis**가 주창한 점도-온도 특성 평가지수를 말한다.

- 온도변화에 대한 점도변화의 상대적인 척도
  - 작은 **VI**를 가진 오일: 온도변화에 대한 큰 점도변화
  - 큰 **VI**를 가진 오일: 상대적으로 안정된 점도의 오일

- 극한온도에서 상대적으로 안정한 유체는 높은 **VI**를 갖는다. 즉, 추울 때 매우 **thick**해지고, 더울 때 매우 **thin**해지는 유체는 낮은 **VI**를 갖는다.

- 온도변화에 따른 점도변화율이 비교적 적은 **Pensilvania**계 유압유의 **VI**를 **100**으로 하고, 점도변화율이 큰 **Gulf-Coast**계 유압유의 **VI**를 **0**으로 한다.
- 원래의 **VI**는 **0~100** 사이의 값으로, 가장 좋은 **VI** 특성에 대한 비로서 표현하는데, 오늘날 화학첨가제로 인하여 **VI**가 증가, **100**이상의 값을 갖기도 한다.

점도 지수(VI): 온도 변화에 따른 점도 측정

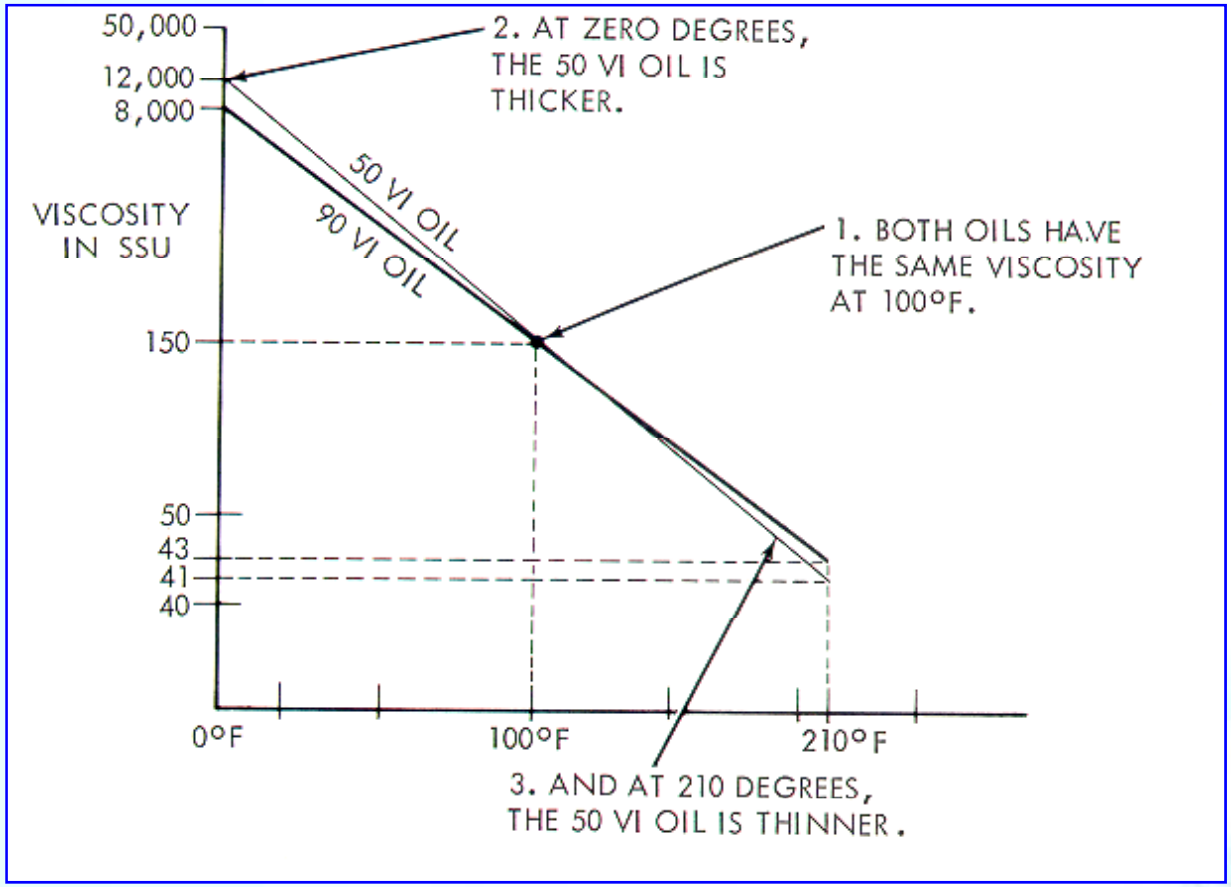


Fig. 6 온도에 따른 점도지수의 변화

2.A 첨가제

첨가제란 정제윤활기유에 일정량 첨가시키는 물질로 윤활유 자체의 품질을 높이거나 성능을 향상시키는 화학물질을 말한다.

- **점도지수 향상제**
  유압유 기유의 방향족 성분을 제거함으로써 점도지수 향상

- **산화 방지제**
  유압유속 산의 생성억제, 금속 표면에 피막형성으로 산화물과의 접촉방지

- **방청제**
  유압유에 섞인 수분이 금속 표면에 접촉하는 것을 방지

- **유성향상제**
  윤활성을 향상시켜 두 금속표면의 고체마찰과 늘어붙음을 방지

- **소포제**
  유동중의 유압유속에 생기는 기포를 빨리 유면에 부상시켜 기포를 제거

- **유동점강하제**
  유압유속에 포함된 **wax**성분이 저온하에 결정으로 성장하는 것을 방지

2.B Chemical Properties of Hydraulic Fluids

- **Pour point (유동점)**
  - 작동유의 온도가 내려감에 따라 점도 증가, 유동점 이하에서는 유동성 상실 -> 시스템의 작동 불량
  - 응고점은 보통 유동점보다 **25°C** 아래
  - 석유계 유압유의 유동점은 보통 **-25°C** 정도

- **Flash point (인화점)과 Firing point (발화점)**
  - 석유계 유압유의 경우 **180~240** 에서 인화, 발화점은 인화점보다 **20~40°C** 높다.
  - 시스템의 운전 온도에 제한을 줌 – 고온에서는 난연성 작동유 요구

- **Oxidation (산화)**
  - 열, 빛 촉매 등이 원인
  - 작동유의 온도가 높을 수록 산화 촉진 – 유압유 노화

- **Aeration**
  - 미세한 기포 상태의 공기가 작동유에 혼입되어 있는 상태
  - 원인
    - 회로내의 작동유의 소용돌이 흐름으로 기포 혼입
    - 작동유가 **jet**상태로 될때
    - 불포화상태의 작동유가 갑작스런 압력강하에 의해 과포화상태로 되면 작동유에 녹아있던 공기가 기포화됨
    - 펌프 흡입구의 **cavitation,** 서어지와 같이 진동적으로 압력변화가 생길 때
  - 영향
    - **effective bulk modulus** 감소
    - 시스템의 작동불량
    - 고압하에서 기포의 단열압축으로 심각한 열발생
    - 부품의 파손, 노화
    - 작동유의 열화 촉진

2.C 업체별 제품의 특성 (일반작동유)

용도: 모든 산업용 유압장치 및 순환계통용

업체별 작동유 특성

제품명 \ 시험항목		비중 (15/4°C)	동점도[cSt] 40°C	동점도[cSt] 100°C	인화점 (°C)	점도 지수	유동점 (°C)	색 (ASTM)	비고
쌍용정유	DAPHNE FLUID H 32	0.8623	32.4	5.59	231	110	-30.0	L0.5	다목적 범용 유압작동유
	DAPHNE FLUID H 46	0.8661	46.8	7.11	236	110	-27.5	L0.5	
	DAPHNE FLUID H 68	0.8670	68.0	9.26	258	112	-25.0	L0.5	
유공	ZIC SUPERVIS 32	0.84	32.3	5.8	228	123	-35.0	0.5	일반 유압작동유, 기어유, 베어링유
	ZIC SUPERVIS 46	0.85	46.2	7.1	232	114	-32.5	0.5	
	ZIC SUPERVIS 68	0.87	65.9	8.7	246	104	-30.0	1.0	
이수화학	AZOLLA 32	0.8673	32	5.4	222	104	-30	L1.0	베어링, 유압접동면, 기어 윤활
	AZOLLA 46	0.8714	46	6.9	232	106	-28	1.0	
	AZOLLA 68	0.8767	68	8.8	240	103	-25	L1.5	

업체별 제품의 특성 (일반작동유)

업체별 작동유 특성

시험항목 / 제품명		비중 (15/4°C)	동점도[cSt] 40°C	동점도[cSt] 100°C	인화점 (°C)	점도 지수	유동점 (°C)	색 (ASTM)	비고
한국쉘	Loca R&O Hydraulic Oil 32	0.870	32.0	5.33	210	98	-30.0	L1.0	일반작동유, 기계유
	Loca R&O Hydraulic Oil 32	0.876	46.0	6.69	220	97	-30.0	L1.5	
	Loca R&O Hydraulic Oil 32	0.880	68.0	8.61	226	97	-27.5	L2.0	
한화에너지	Energol HP 32	0.892	30	5.0	201	100	-20	L1.5	일반 유압 작동유
	Energol HP 46	0.895	46	6.4	210	100	-20	1.5	
	Energol HP 68	0.906	68	8.2	219	100	-20	2.0	
호남정유	Rando 32	0.866	31.0	5.5	221	112	-33	L0.5	
	Rando 46	0.870	44.0	6.8	232	109	-27	L0.5	
	Rando 68	0.875	65.0	8.8	243	108	-27	L1.0	

2.D 업체별 제품의 특성 (내마모성 작동유)

용도: 고온, 고속, 고압, 또는 산업용 중장비 유압장치용

업체별 작동유 특성

시험항목 / 제품명		비중 (15/4°C)	동점도[cSt] 40°C	동점도[cSt] 100°C	인화점 (°C)	점도 지수	유동점 (°C)	색 (ASTM)	비고
쌍용정유	DAPHNE FLUID AWH 32	0.8621	31.96	5.62	216	115	-35.0	L0.5	각종 산업 기계의 유압 장치용
	DAPHNE FLUID AWH 46	0.8652	45.72	7.10	230	114	-32.5	L0.5	
	DAPHNE FLUID AWH 68	0.8700	67.59	9.22	240	113	-30.0	L0.5	
유공	ZIC SUPERVIS AW 32	0.87	30.9	5.6	226	121	-35.0	1.0	내마모성 유압작동유
	ZIC SUPERVIS AW 46	0.87	43.8	6.8	236	111	-32.5	1.0	
	ZIC SUPERVIS AW 68	0.88	65.7	8.7	254	103	-27.5	1.5	
이수화학	AZOLLA ZS 32	0.8668	32	5.4	225	110	-30	L1.0	고압피스톤 펌프, 서보 밸브장착, 정밀유압장치용
	AZOLLA ZS 46	0.8715	46	6.9	235	106	-28	1.0	
	AZOLLA ZS 68	0.8774	68	8.8	245	105	-25	1.0	

업체별 제품의 특성 (내마모성 작동유)

업체별 작동유 특성

제품명 \ 시험항목		비중 (15/4°C)	동점도[cSt] 40°C	동점도[cSt] 100°C	인화점 (°C)	점도 지수	유동점 (°C)	색 (ASTM)	비고
한국쉘	Shell Tellus Oil Z 32	0.8700	32.0	5.4	224	105	-35.0	L0.5	내마모성 유압유, 기계유
	Shell Tellus Oil Z 32	0.8727	46.0	6.9	228	105	-35.0	L1.5	
	Shell Tellus Oil Z 32	0.8877	68.0	8.6	228	101	-35.0	L1.5	
한화에너지	Energol HLP 32	0.876	32	5.4	216	108	-30	1.0	Germany DIN 51525
	Energol HLP 46	0.879	46	6.9	225	105	-30	1.5	
	Energol HLP 68	0.882	68	9.0	240	105	-34	L2.0	
호남정유	Rando HD 32	0.875	32.1	5.6	210	112	-33	1.0	
	Rando HD 46	0.879	44.1	6.8	216	110	-33	1.0	
	Rando HD 68	0.884	64.4	8.7	220	108	-30	1.0	

Report

- Text Problems
  - 2-27
  - 2-34
  - 2-40
- Due date: 2주후