

潤滑技術

COMPUTER 에 의한 潤滑油의 粘度 混合 (I)

韓國動力資源研究所

金容河 · 崔益綬

氣體 및 液體에 의한 流体潤滑에 있어서 潤滑油의 粘度가 중요한 역할을 하고 있으며 그밖의 境界潤滑에 있어서도 粘度의 영향은 대단히 크다.

이와같은 潤滑油의 粘度는 溫度가 상승하면 감소한다는 것이 주지의 사실로 되어있으나 粘度와 溫度의 관계를 완전히 理論的으로 규명하는 것은 곤란하므로 다수의 실험식만이 제안되고 있으며, 이 중에서 가장 널리 實用化되고 있는 것은 API 11A 4·3으로 이는 ASTM D341-77 (Viscosity-Temperature charts for Liquid Petroleum Products)에 근거를 두고있다. 이러한 方法은 대부분이 그래프를 이용하는 것으로 실제 活用に 있어서 시간소비가 많고 오차가 큰 단점이 있다.

이와같은 문제점을 해결하는 방안으로 그래프를 사용하지 않고 computer에 의해 수학적으로 빠르고 편리하게 정확한 결과를 산출할 수 있는 방법을 설명하고자 한다.

여기서 취급하는 부분은 다음과 같이 3부분으로 분류될 수 있으며,

- 1) ASTM D341-77에 따른 粘度와 溫度의 관계
- 2) 混合된 潤滑油의 各成分의 溫度에 대한 粘度와 造成을 알 수 있을때 混合된 潤滑油의 粘度와 溫度의 관계
- 3) 일정한 粘度의 潤滑油를 얻고자 할 때 各成分의 混合比率

이 밖에 潤滑油의 溫度에 따른 粘度變化率을 나타낸 粘度指數 (Viscosity Index : VI)를 ASTM D2270-79 (calculating Viscosity Index fr-

om Kinematic Viscosity at 40°C and 100°C)의 원리에 따라 산출하고자 한다.

1) ASTM D341-77에 따른 粘度와 溫度의 관계

두 지점의 溫度에 대한 粘度가 측정 되었을때 그밖의 임의 溫度에 대한 潤滑油의 粘度를 예측하는 program은 다음과 같다.

(1) Program內的 수학적 관계

ASTM D341-77의 粘度와 溫度에 관한 상관도표는 다음과 같은 관계를 나타낸다.

즉, log<sub>10</sub> log<sub>10</sub> Z = A - B log<sub>10</sub> T .....(1)

또는 Z = 10<sup>(A-B log<sub>10</sub> T)</sup> .....(2)

여기서 Z = V + 0.7 + C - D + E - F + G - H (3)

V = 동점도, cst (또는 mm<sup>2</sup>/s)

T = 온도, °K

식 (3)과 (4)에서의 A와 B는 상수로 아래와 같이 두지점에서의 溫度와 Z값에서 계산되며,

B = (log log Z<sub>1</sub> - log log Z<sub>2</sub>) / (log T<sub>2</sub> - log T<sub>1</sub>) .....(4)

A = B log T<sub>1</sub> + log log Z<sub>1</sub> .....(5)

C부터 H항까지는 ASTM D 341-77에서 보는 바와 같이 지수함수로 나타낼 수 있다. 즉,

C = Exp(-1.14883 - 2.65868ν)

D = Exp(-0.0038138 - 12.5645ν)

E = Exp( 5.46491 - 37.6289ν)

$$F = \text{Exp} ( 13.0458 - 74.6851\nu )$$

$$G = \text{Exp} ( 37.4619 - 192.643\nu )$$

$$H = \text{Exp} ( 80.4945 - 400.468\nu )$$

이상과 같은 관계를 파악하여 식(1)에서 임의의 溫度, T에 대한 Z값을 구하고 이때 구한 Z값으로부터 그 溫度에 대한 動粘度를 예측하는 것이다.

이와같은 식은 雲點과 沸點사이의 순수한 액체에 적용되며 적정한 粘度범위는  $0.21 \sim 2 \times 10^7$  cst이다.

(2) Program 과 적용 예

[Program 1]

```

10 ! VISCOSITY - TEMPERATURE RELATIONSHIP
15 ! ASTM D341-77
16 !
20 DIM Vis (2), C (2), D (2), E(2), F(2), G(2), H(2), Z(2)
30 INPUT "VISCOSITY (mm^2/S) AT 40 oC=", Vis(1)
40 INPUT "VISCOSITY (mm^2/S) AT 100 oC=", Vis(2)
50 !
60 FOR I=1 TO 2
70 C(I)=EXP (-1.14883-2.65868*Vis(I))
80 D(I)=EXP (-.00381308-12.5645*Vis(I))
90 E(I)=EXP ( 5.46491-37.6289*Vis(I))
100 F(I)=EXP ( 13.0458-74.6851*Vis(I))
110 G(I)=EXP ( 37.4619-192.643*Vis(I))
120 H(I)=EXP ( 80.4945-400.468*Vis(I))
130 NEXT I
140!
160 FOR J=1 TO 2
170 Z(J)=Vis(J)+.7+C(J)-D(J)+E(J)-F(J)+G(J)-H(J)
180 NEXT J
190!
200 T(1)=273.15+40
210 T(2)=273.15+100
220!
230 PRINT "T(1)="; SPA(3); T(1)-273.15
231PRINT "VISCOSITY (1)="; SPA(3); Vis(1)
232 PRINT
    
```

```

240 PRINT "T(2)="; SPA(3); T(2)-273.15
250 PRINT "VISCOSITY (2)="; SPA(3); Vis(2)
260 PRINT
270!
280 B = (LGT (LGT (Z(1))) -LGT (LGT (Z(2)))) / (LGT (T(2) -LGT (T(1)))
290 A=B*LGT (T(1))+LGT (Z(1)))
291 PRINT "A="; SPA(3); A
292 PRINT "B="; SPA(3); B
293 PRINT
294 PRINT
295 PRINT
300 INPUT "TEMPERATURE=", Temp
310 PRINT "TEMPERATURE="; SPA(3) ;Temp
320 Z = 10^(10^(A-B*LGT (Temp +273.15)))
330 Vis = Z-.7-EXP (-.7487-3.295*(Z-.7)+.6119*(Z-.7)^2-.3193*(Z-.7)^3)
340 PRINT "VISCOSITY="; SPA(3); Vis
341 PRINT
342 PRINT
343 PRINT
345 INPUT "ADDITIONAL SOLUTION WANTED, IF YES TYPE 1, IF NO TYPE 2",R
346 IF R=1 THEN GOTO 300
347 IF R=2 THEN STOP
350 END
    
```

[Program 1의 Output]

```

T(1)= 40
VISCOSITY (1)= 20.7

T(2)= 100
VISCOSITY (2)= 4.1

A= 9.6533331062
B= 3.81822584348

TEMPERATURE= 60
VISCOSITY = 10.5286378557

TEMPERATURE= 80
VISCOSITY = 6.22972769548

TEMPERATURE= 90
VISCOSITY = 4.9976340476
    
```

위의 Program은 40°C 와 100°C 에 대한 점도

측정이 가능할 때 적용가능하며 이밖의 측정은 도에 대해서는 그에 따라 Program을 수정하면 된다. 이러한 경우의 적용예는 다음과 같다.

[Program 1의 Output]

T(1)= 40  
 VISCOSITY (1)= 30.4917  
 T(2)= 80  
 VISCOSITY (2)= 8.1661  
 A= 9.62429367993  
 B= 3.78640592381  
 TEMPERATURE= 60  
 VISCOSITY= 14.4995549967  
 TEMPERATURE= 100  
 VISCOSITY= 5.1790306686  
 TEMPERATURE= 80  
 VISCOSITY= 8.16610000032

2) 混合된 潤滑油의 粘度와 溫度의 關係

混合物의 各成分에 대하여 임의의 두 지점에서 溫度에 대한 粘度와 부피 % (또는 重量 %, 유속)가 밝혀지면 그 混合物에 대한 粘度와 溫度의 關係는 API 11A4.3에 근거한 program에 의해 混合成分의 數에 關係없이 빠르고 精確하게 산출할 수 있다.

(1) Program內的 수학적 關係

各 潤滑成分에 대한 임의의 두 지점에서의 溫度와 粘度 및 流速가 정해지면 각각에 대한 log T (°K)와 식(3)에 따라 Z 값이 계산되며 이 결과를 식(4)와 (5)에 대입하여 A와 B값이 계산된다.

各成分의 流速를 고려하여 F/B와 AF/B를 계산하고 다음식에 따라 混合物에 대한 A<sub>B</sub>와 B<sub>B</sub> 값을 구한 다음,

$$B_B = \sum (F_i) / \sum (F_i/B_i) \dots\dots\dots(6)$$

$$A_B = \sum (A_i F_i/B_i) / \sum (F_i/B_i) \dots\dots\dots(7)$$

예측하고자 하는 粘度에 대한 溫度와 A<sub>B</sub> 및 B<sub>B</sub> 값을 식(1)에 대입하여 Z 값을 구하고 이때 구한 Z 값으로부터 그 溫度에 대한 混合物의 動 粘度를 예측하는 것이다.

(2) Program과 적용 例

[Program 2]

```

10 ! VISCOSITY-TEMPERATURE RELATIONSHIP
11 ! ASTM D341-77
12 !
13 ! VISCOSITY BLENDING WHEN COMPOSITION IS SPECIFIED
14 !
20 DIM Vis(3,2), C(3,2), D(3,2), E(3,2), F(3,2), G(3,2), H(3,2), Z(3,2), A(3), B(3), T(3,2), V(3)
22 !
24 Vis(1,1)=38.3
25 Vis(1,2)=5.93
26 Vis(2,1)=19.3
27 Vis(2,2)=3.94
28 Vis(3,1)=31.2
29 Vis(3,2)=8.94
30 !
31 V(1)=35
32 V(2)=60
33 V(3)=25
34 !
35 Ftotal=V(1)+V(2)+V(3)
36 !
37 T(1,1)=T(2,1)=273.15+40
38 T(1,2)=T(2,2)=T(3,2)=273.15+100
39 T(3,1)=273.15+60
40 !
60 FOR I=1 TO 3
61 FOR J=1 TO 2
70 C(I,J)=EXP(-1.14883-2.65868*Vis(I,J))
80 D(I,J)=EXP(-.00381308-12.5645*Vis(I,J))
90 E(I,J)=EXP(5.46491-37.6289*Vis(I,J))
100 F(I,J)=EXP(13.0458-74.6851*Vis(I,J))
110 G(I,J)=EXP(37.4619-192.643*Vis(I,J))
120 H(I,J)=EXP(80.4945-400.468*Vis(I,J))
130 NEXT J
131 NEXT I
140 !
151 FOR I=1 TO 3
160 FOR J=1 TO 2
    
```

```

170 Z(I,J)=Vis(I,J)+.7+C(I,J)-D(I,J)
      +E(I,J)-F(I,J)+G(I,J)-H(I,J)
180 NEXT J
181 NEXT I
184 PRINT "T(1,1)=";SPA(2);T(1,1)-
      273.15
185 PRINT "VISCOSITY(1,1)=";SPA(2);
      Vis(1,1)
186 PRINT "T(1,2)=";SPA(2);T(1,2)-
      273.15
187 PRINT "VISCOSITY(1,2)=";SPA(2);
      Vis(1,2)
188 PRINT "F(1)=";SPA(2);V(1)
189 PRINT
190 !
196 PRINT "T(2,1)=";SPA(2);T(2,1)-
      273.15
197 PRINT "VISCOSITY(2,1)=";SPA
      (2);Vis(2,1)
198 PRINT "T(2,2)=";SPA(2);T(2,2)
      -273.15
199 PRINT "VISCOSITY(2,2)=";SPA
      (2);Vis(2,2)
200 PRINT "F(2)=";SPA(2);V(2)
201 PRINT
202 PRINT "T(3,1)=";SPA(2);T(3,1)
      -273.15
203 PRINT "VISCOSITY(3,1)=";SPA
      (2);Vis(3,1)
204 PRINT "T(3,2)=";SPA(2);T(3,2)
      -273.15
205 PRINT "VISCOSITY(3,2)=";SPA
      (2);Vis(3,2)
206 PRINT "F(3)=";SPA(2);V(3)
207 PRINT
220 PRINT
221 PRINT "TOTAL FLOW RATE=";SPA
      (2);Ftotal
222 PRINT
223 PRINT
270!
271 FOR I=1 TO 3
280 B(I)=(LGT(LGT(Z(I,1)))-LGT
      (LGT(Z(I,2))))/(LGT(T(I,2))-LGT
      (T(I,1)))
290 A(I)=B(I)*LGT(T(I,1))+LGT(LGT
      (Z(I,1)))
291 NEXT I
292 Bx=0
293 Ax=0
294 Bb=0
295 Ab=0
296 PRINT
297 FOR J=1 TO 3
298 Bx(J)=V(J)/B(J)
299 Bx=Bx+Bx(J)
300 NEXT J
301 FOR I=1 TO 3
305 Bb=Bb+V(I)/Bx
306 Ab=Ab+A(I)*V(I)/B(I)/Bx
307 NEXT I
308 PRINT
309 PRINT "A=";SPA(2);Ab
310 PRINT "B=";SPA(2);Bb
311 PRINT
312 PRINT
317 INPUT "TEMPERATUR =" ;Temp
318 PRINT "TEMPERATURE=";SPA(2);
      Temp
320 Z=10^(10^(Ab-Bb*LGT(Temp+
      273.15)))
330 Vis=Z-.7-EXP(-.7487-3.295*
      (Z-.7)+.6119*(Z-.7)^2-.3193*
      (Z-.7)^3)
340 PRINT "VISCOSITY=";SPA(3);Vis
341 PRINT
342 PRINT
343 PRINT
345 INPUT "ADDITIONAL SOLUTION W-
      ANTED,IF YES TYPE 1,IF NO TY-
      PE 2",R
346 IF R=1 THEN GOTO 317
347 IF R=2 THEN STOP
350 END

[Program 2 Output]

T(1,1)= 40
VISCOSITY (1,1)= 38.3
T(1,2)= 100
VISCOSITY (1,2)= 5.93
F(1)= 35

T(2,1)= 40
VISCOSITY (2,1)= 19.3
T(2,2)= 100
VISCOSITY (2,2)= 3.94

```

F(2)= 60  
 T(3, 1) = 60  
 VISCOSITY (3, 1) = 31.2  
 T(3, 2) = 100  
 VISCOSITN (3, 2) = 8.94  
 F(3)= 25  
 TOTAL FLOW RATE = 120  
 A= 9.62428184327  
 B= 3.78640110888  
 TEMPERATURE= 40  
 VISCOSITY = 30.4917445276  
 TEMPERATURE= 60  
 VISCOSITY = 14.4995844897  
 TEMPERATURE= 80  
 VISCOSITY = 8.16611922704  
 TEMPERATURE= 100  
 VISCOSITY = 5.17904378124

다음호에서는 일정한 粘度의 潤滑油를 얻고 자할 때의 各 成分의 混合比率와 潤滑油의 粘度 指数 算出에 대하여 언급하고자 합니다. (다음호 에 계속)

[참고문헌]

1. Annual Books of ASTM Standards, Part 23, Petroleum Products and Lubricants (I), 1981
2. Chorong H. Twu and James W. Bulls, Hydrocarbon processing, 1981, Vol.60, No. 4, p. 217
3. E. A. Luinstra, Hydrocarbon Processing, 1983, Vol. 62, No. 4, p.125
4. E. A. Luinstra, Hydrocarbon Processing, 1983. Vol. 62, No. 5, p. 104

휴게실

여우와 물고기



여우와 물고기의 얘기는 유태인의 가정에서 어린이들에게 들려 주는 교훈적 얘기의 하나입니다. 배고픈 여우 한 마리가 바닷가에 가서 물고기들을 불러 모았습니다. 『물고기 여러분! 바닷속은 위험하니깐 물에 올라와서 우리와 함께 삽시다. 이곳에는 여러분들을 잡으려고 그물을 치는 어부도, 당신들의 존엄을 위협하는 다른 큰 물고기도 없답니다. 사시사철 꽃이 피고, 아름다운 새들이 지저귀는 이곳은 얼마나 살기가 좋은지 모른답니다.』 이 말을 들은 물고기들은 가슴이 설레기 시작했습니다. 물고기 대표들은 연일 모여 물으로 갈 것인가 말것인가를 의논했습니다. 영악한 여우의 말이니까 일리가 있다는 주장과

바닷속에 사는 것이 위험하기는 하지만 그래도 지금껏 그런대로 살아오지 않았느냐는 의견이 대립되었습니다. 여기까지 얘기한 유태인 부모들은 어린이들에게 묻습니다. 『너희들이 물고기라면 어떻게 하지?』 유태인은 유태인으로 살아야 한다는 것을 은연히 가르치는 얘기일 것입니다. 우리는 우리이고 싶어도 우리일 수 없었던 시절이 있었습니다. 조상에게 물려 받은 姓까지도 바꾸기를 강요 당했던 암흑기가 있었습니다. 우리는 이제 겨우 물에서 살아돌아 온 물고기일 것입니다. 우리는 조국의 품에서 태어나 조국의 가슴을 붙안고 살아온 한국인입니다.