

엔진 냉각수에 부동액 혼합이 엔진 및 차량 냉각 성능에 미치는 영향

Effect of antifreeze concentration
on engine and vehicle cooling performance

류택용, 신승용, 최재권
T. Y. Ryu, S. Y. Sin, J. K. Choi



류택용
• 1963년 1월생
• 현대자동차 마북리 연구소
담임연구원
• 열유체



신승용
• 1962년 4월생
• 현대자동차 마북리 연구소
선임연구원
• 열유체



최재권
• 1955년 7월생
• 현대자동차 마북리 연구소
책임연구원
• Tribology, 정회원

조건이 조성되고 있다.

또는 전세계적으로 자동차의 보급이 확대되면서 50°C 이상의 혹서 지역부터 -30°C 이하의 혹한 지역까지 그 주행 환경도 점점 가혹해 지고 있는 실정이다.

그리고 도로망의 발달로 인해 기후 여건이 전혀 다른 지역으로의 운행이 잦아지고 지역에 따라서는 계절별 기온 차가 60°C를 넘는 곳도 있어서, 엔진 냉각수는 과열과 동파 방지라는 두 가지 목적을 수행해야 하는 어려움이 있다.

또한 냉각수에 필연적으로 함유되는 염화물, 황산염, 중탄산염 등의 불순물에 의한 부식 속도는 급속면 온도 및 열유속 증대에 따라 커지므로, 과거에 비해 열적 부하가 더 큰 최근의 엔진에 있어서 냉각수에 첨가하는 부식 방지제의 역할이 중요해 지고 있다. 과도한 부식 방지제 첨가는 냉각계의 오염, 물펌프의 누수 등의 문제를 유발하며 적정 수준 이하의 부식 방지제 첨가는 그 기능을 발휘하지 못하므로 적정량의 부식 방지제의 첨가가 요구되고 있다.

이러한 목적하에 개발된 냉각수를 국외에서는 長壽命 냉각수(Long Life Coolant)라 하여 부식 방지제의 역할을 강조하고 있지만, 국내에서는 엔진 동파 방지제의 역할을 강조하여 부동액이라고 칭하고 있으며 본 논문에서는 편의상 부동액이라고 칭하고자 한다.

1. 서론

최근의 승용차는 엔진의 출력이 향상되고, 승차 공간 확대를 위하여 엔진 룸이 점점 작아지고 있다. 더불어 언비 저감을 목적으로 차량 전면의 Slant화가 촉진되어 라디에이터 그릴이 점점 축소됨으로써, 엔진 냉각계에는 점점 더 가혹한

현재, 부동액으로는 에틸렌 글리콜($C_2H_2(OH)_2$)에 각종 부식 방지제를 첨가한 물질이 사용되고 있어서 부동액 혼합량에 따라서 부식 방지제의 양도 결정되는 실정이다. 따라서 최적 부동액 혼합량을 결정하는 것이 부식 방지제 첨가량 개발에도 큰 도움이 된다.

그러므로 부동액 자체뿐만 아니라 부식 방지제에 대한 개발을 위해서라도 부동액 혼합에 따른 엔진과 차량 성능에 미치는 영향에 대한 검토가 중요한 연구 과제가 되고 있다. 이에 따라 국외에서는 M.V.Alexander¹⁾ 등이 부동액 혼합에 따른 열전달 변화 경향에 대해서 연구를 수행한 바 있고 국내에서는 신승용²⁾ 등에 의하여 Warm-Up 특성 측면에서 부동액에 대한 검토가 이루어진 바 있으나, 차량을 포함한 전체 냉각계에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 엔진 냉각수의 역할 중에서 열전달 측면에 중점을 두고 부동액 혼합 비율에 따라, 대상실험에서는 열유속 변화, 금속면 온도 변화, 냉각수로의 전열량 변화 및 노킹에 미치는 영향을 고찰하였고, 차량 실험에서는 제어되는 냉각수 및 오일의 온도를 고찰함으로써 최적의 부동액 혼합 비율을 밝혀내었다. 또한 이러한 실험 결과와 타당성이 이미 입증된 간단한 열전달 모델을 도입, 비교하여 냉각수로의 열전달 Mechanism을 밝혀 내었다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 엔진 대상 실험

2.1.1 열유속 및 금속면 온도 측정

열유속 및 금속면 온도 측정은 현대자동차에서 자체 개발한 G 엔진을 사용하여 실험하였다. Fig.1에 실린더 헤드의 온도 측정 위치를 나타내었는데, 각 연소실에서 온도가 가장 높을 것으로 예상되는 점화 플러그와 배기 밸브시트 사이에 열전대를 장착하였다. 본 실험에 사용된 온도 측정 센서는 Fig.2에 나타난 것처럼 자체 설계한 K-Type Traversing 열전대로서, 이 열전대 기구를 이용하면 열손실 1mm 전의 금속면에서 1mm 간격으로 온도 측정이 가능하여 금속면의 열유

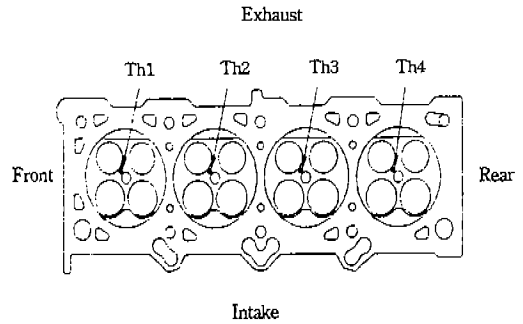


Fig.1 실린더 헤드에 설치된 열전대 위치

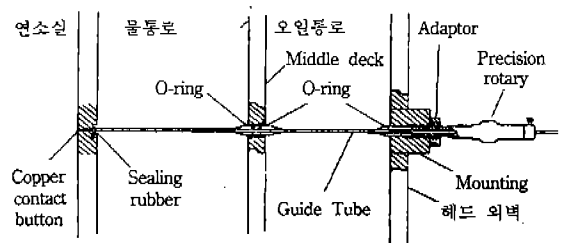


Fig.2 K-type Traversing 열전대

속을 구할 수 있다. 본 실험에 적용된 열전대 이송 기구의 작동 원리는 신승용³⁾ 등의 논문에 언급된 바 있다.

2.1.2 냉각수로의 전열량 측정

냉각수로의 전열량 측정은 현대자동차에서 자체 개발한 G 엔진을 이용하여 실험하였고, 온도에 따른 오차를 최소화하기 위하여 냉각수 출구와 오일 입구의 온도를 90°C로 제어하였다. 온도 측정 센서로서 T-Type 열전대를, 유량 측정 장비로서는 Turbine 유량계를 사용하였다.

2.2 차량 실험

냉각수에 부동액 혼합에 따른 차량 냉각 성능 영향평가 실험은 현대자동차에서 자체 개발한 A 엔진을 탑재한 자동 변속기 장착 차량을 이용하여 미국 캘리포니아 주 Death Valley의 Stove Pipe Wells에서 Townes Pass에 이르는 등판 구배 4~8%의 14Mile 거리의 직선로 상에서 수행하였다. 실험은 에어컨 작동 조건, D단, 55MPH 정속 주행 상태에서 진행하였다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 냉각수에 부동액 혼합이 엔진에 미치는 영향

3.1.1 열유속 및 금속면 온도 변화

부동액 혼합에 따른 열유속(Heat Flux) 변화 및 금속면 온도 변화가 Fig.3과 Fig.4에 나타나 있다. 측정 한 네 지점은 점화 플러그와 배기 밸브 시트 사이의 연소실 1mm 전 금속면으로서 열적 부하를 가장 많이 받는 곳으로 열려진 지점이다.

실험 결과 5500rpm, 전부하시, 50% 물+50% 부동액의 냉각수는 100% 물 성분의 냉각수에 비해 열유속이 평균 2.8% 감소하였고 이에 따라 금속면 온도는 평균 7°C 상승하여 알루미늄 실린더 헤드의 열적 한계 온도(240°C)를 초과하지

않았으나, 부동액 100% 성분의 냉각수 사용시는 열유속이 최대 18% 감소하여 금속면 온도가 최대 64°C 상승하는 결과를 나타내 실린더 헤드의 열적 한계 온도를 훨씬 초과함으로써 엔진 내구성에 문제를 유발시킨다. 이처럼 100% 부동액 혼합시, 300rpm에서 보다 5500rpm 조건에서 열유속이 크게 감소하고 금속면 온도가 급상승 하는 이유는, 5500rpm 조건하에서 과열도(금속면의 표면 온도와 부동액의 비등 온도차)가 커지므로써 증기막을 형성하는 막비등이 발생했기 때문인 것으로 판단된다. 막비등 상태에서는 형성된 증기막이 열저항으로 작용하기 때문에 열유속이 감소하고 금속면 온도는 증가한다.

한편 연비 측면에서는 부동액 혼합량을 증대시키면 금속면 온도 상승에 의한 마찰 손실 저감 효과 때문에 Knock Intensity가 변하지 않는 한

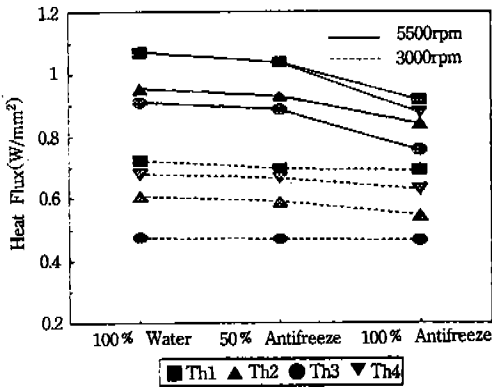


Fig.3 부동액 혼합에 따른 열유속 변화

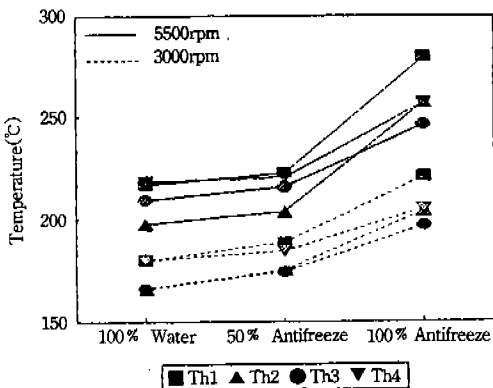


Fig.4 부동액 혼합에 따른 금속면 온도 변화

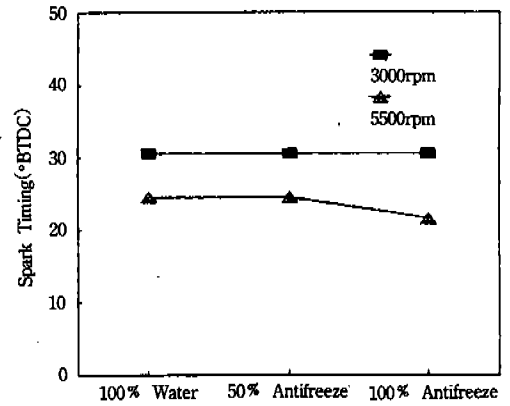


Fig.5 부동액 혼합에 따른 DBL 변화

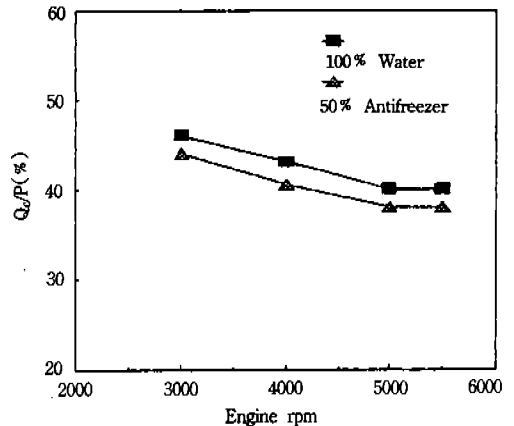


Fig.6 부동액 혼합에 따른 냉각수로의 전열량 변화

연비가 개선되는 효과도 있다.³⁾

부동액 혼합량을 증대시킬수록 열유속이 감소하여 금속면 온도가 상승하는 원인은, 3.1.3 항에 후술하겠지만 부동액 주성분인 에틸렌 글리콜의 Re수와 Pr수 그리고 열전도를 차이에 의해 대류 열전달 계수가 물에 비해 작기 때문이다.

3.1.2 Knocking에 미치는 영향

Fig.5에 냉각수의 성분을 100% 물, 50% 물+50% 부동액, 100% 부동액으로 했을 때의 DBL(Detonation Border Line) 변화를 나타냈다.

실험 결과 5500rpm, 전부하시, 50% 물+50% 부동액의 경우에 점화각의 변화가 없지만 100% 부동액 사용시 점화각이 3° CA 지연되었다. 이는 3.1.1 항에서 언급된 것처럼 100% 부동액 사용시 엔진 금속면 온도가 급격히 증가함으로써 혼합기의 미연가스부에서 자기 착화하는 시간이 짧아지기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

3.1.1, 3.1.2 항의 결과를 요약하면, 엔진 운전 상태(엔진 내구성, 연비, Knock Intensity)는 100% 물, 100% 부동액 사용 조건이 아닌 적절한 부동액 혼합 비율에서 최적이 된다는 것이다.

한편 아래 Table 1에 나타낸 것처럼 부동액 농도 70% 까지는 부동액을 많이 혼합할수록 빙점이 낮아져 동파 방지 효과가 있게 된다. 일반적으로 인간이 항시 거주하는 지역의 최저 온도는 영하 -35℃를 넘지 않고 있어서 전세계적으로 부동액을 50% 혼합하는 것이 통례인데, 이 혼합 비율에서는 엔진 내구성과 Knock Intensity 측면에서 영향을 못 준다는 것을 알 수 있다.

3.1.3 냉각수로의 전열량 변화

Fig.6에 100% 물 성분의 냉각수와 50% 물+50% 부동액 성분의 냉각수 사용시의 출력 대비 냉각수로의 전열량(Q/P) 실험 결과를 나타내었다.

Q/P는 엔진 속도 증가에 따라 약간씩 감소하는 경향이었고 50% 물+50% 부동액 성분의 냉각수가 100% 물 성분의 냉각수에 비해 Q/P가 4.4%

정도 작았다. 이 수치는 3.1.1 항의 열유속 측정 결과인 2.8%와는 차이가 있다. 이 차이는 Traversing 열전대의 감은 부위가 열유속을 측정하기 위해 뚫어 놓은 Hole 벽을 따라 이송될 때 엔진 금속면과 불안정하게 접촉하기 때문에 유발된 것으로 판단되며 이 측정 오차는 공학적으로 수용 가능한 범위이기에 자체 설계한 열유속 측정 기구의 유용성이 입증되었다.

이와같은 실험결과를 이론적으로 해석하고자 한다.

냉각수로의 열전달 과정은 3차원이기 때문에 엔진구조가 복잡하여 정확한 해석이 어려운 실정이다. 그러나 Taylor C.F⁴⁾에 의해서 냉각수로의 전열량은 Fig.7과 같은 열전달 모델을 이용하는 것이 가능하다고 밝혀내어 아래와 같이 단순화시켜 해석하였다.

Fig.7은 본 논문에서 사용된 연소가스와 냉각수와의 열전달 모델로서, 열전달은 정상 상태 1차원 흐름이며 A_g 를 지나는 열은 모두 A_c 를 통과하여 냉각수로 전달된다고 가정한다. 여기서 A_g 및 A_c 는 연소가스 및 냉각수쪽에 노출된 표면율, t 는 A_g 와 A_c 사이의 평균 길이를, k_w 는 열전달 경로의 평균 열전도율을 나타낸다. 이때 연소가스에서 냉각수로의 열전달식은 아래와 같다.

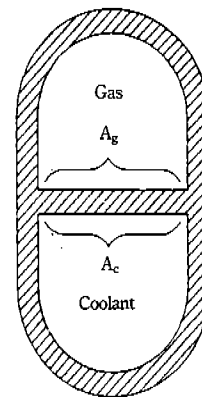


Fig.7 연소가스와 냉각수의 열전달 모델

Table 1 부동액 혼합에 따른 어는점 변화

| 부동액 농도(%) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|-----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 어는점(℃) | -4 | -9 | -16 | -25 | -36 | -51 | -64 | -54 | -38 | -27 |

$$\frac{Q_c}{A_g(T_g - T_c)} = \frac{1}{1/h_g + t/k_w + A_g/h_c A_c} \quad (1)$$

그리고 일반적인 강제 대류 열전달 실험식은 아래와 같다.

$$\frac{hL}{k} = C_1 [Re]^m [Pr]^n \quad (2)$$

또한 엔진에서의 냉각은 강제대류 열전달이 지배하므로 식 (2)을 식 (1)에 대입하고 특성 길이 L를 실린더 직경 b로 대치하면 엔진 열전달식은 아래와 같다.

$$\frac{Q_c}{A_g(T_g - T_c)} = \frac{\frac{k_g}{b}}{\frac{1}{(C_1 Re^m Pr^n)_g} + \frac{tk_g}{bk_w} + \frac{k_g}{(C_1 k Re^m Pr^n)_c} \frac{A_g}{A_c}} \quad (3)$$

100% 물 성분의 냉각수와 부동액을 혼합한 냉각수와 의 전열량비는 식 (3)을 참고하면 아래와 같다.

$$\frac{Q_{AN}}{Q_{WA}} = \frac{\frac{1}{(C_1 Re^m Pr^n)_g} + \frac{tk_g}{bk_w} + \frac{k_g}{(C_1 k Re^m Pr^n)_{WA}} \frac{A_g}{A_c}}{\frac{1}{(C_1 Re^m Pr^n)_g} + \frac{tk_g}{bk_w} + \frac{k_g}{(C_1 k Re^m Pr^n)_{AN}} \frac{A_g}{A_c}}$$

$$= \frac{C_2 + \frac{C_3}{(C_4 k Re^m Pr^n)_{WA}}}{C_2 + \frac{C_3}{(C_4 k Re^m Pr^n)_{AN}}}$$

$$= \frac{C_2 + \frac{C_3}{(C_4 h)_{WA}}}{C_2 + \frac{C_3}{(C_4 h)_{AN}}}$$

(단 첨자 AN는 부동액, WA는 물을 의미함)
따라서 냉각수에 부동액 혼합에 따른 전열량비 차이는 냉각수의 Reynolds 수와 Prandtl 수 그리고

열전도율의 차이에 의해 대류 열전달 계수가 변하기 때문이다.

3.1.1과 3.1.3 항의 결과로부터, 냉각수에 부동액 혼합량을 증대할수록 열유속은 감소하게 되어 엔진 금속면 온도 상승을 유발시키고 냉각수로의 전열량을 감소시킨다는 결론을 얻을 수 있다.

3.2 부동액 혼합이 차량에 미치는 영향

3.2.1 냉각수는 및 라디에이터 방열성능 변화

Table 2에 미국 캘리포니아주 Death Valley에서 수행한 100% 물과 50% 물+50% 부동액 성분의 냉각수 사용시의 차량 냉각 성능 실험 결과를 나타냈는데 100% 부동액 성분의 냉각수는 엔진 내구성에 문제가 있을 것으로 예상되어 실험을 수행하지 않았다.

실험 결과 냉각수에 50%의 부동액 혼합시의 냉각수 온도가 물 100% 성분의 냉각수를 사용한 차량의 냉각수 온도 보다 5°C 높게 나타났다. 이의 원인을 고찰하기 위해 라디에이터의 열전달 모델을 Fig.8에 나타냈으며 해석을 단순화하기 위하여 냉각수 및 외기를 평균 온도라고 가정하였다. 따라서 열전달 식은

냉각수 방열량

$$Q_R = h_w A_w (T_w - T_w) \quad (5)$$

라디에이터 벽 전도 열량

$$Q_R = \frac{k_R}{d} A_w (T_w - T_w) \quad (6)$$

Table 2 부동액 혼합에 따른 냉각수와 오일온도 변화

| 시험조건 | 외기온 | 냉각수 온도(°C) | 엔진오일 온도(°C) |
|-------------------|------|-------------------|-------------------|
| 100% 물 | 48°C | T ₁ | T ₂ |
| 50% 물+ 50% 부동액 | 49°C | T ₁ +5 | T ₂ +7 |

공기측 방열량

$$Q_R = h_a A_a (T_w - T_a) \quad (7)$$

이 된다. 위식을 정리하면 라디에이터에서 방열된 열량은 아래식과 같이 된다.

$$Q_R = \frac{A_a (T_w - T_a)}{\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_w \epsilon} + \frac{d}{k_R \epsilon}} \quad (8)$$

라디에이터 방열성능은 위식에 나타난 것처럼 냉각수 온도와 외기온의 차가 클수록, 라디에이터 벽 두께가 작을수록, 냉각수 및 공기의 대류 열전달 계수와 라디에이터 벽 열전도율이 클수록 좋아지게 된다. 냉각수에 부동액 혼합에 따른 라디에이터 방열량비는

$$\frac{Q_{AN}}{Q_{WA}} = \frac{\left[\frac{(T_w - T_a)}{\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_w \epsilon} + \frac{d}{k_R \epsilon}} \right]_{AN}}{\left[\frac{(T_w - T_a)}{\frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_w \epsilon} + \frac{d}{k_R \epsilon}} \right]_{WA}} \quad (9)$$

가 된다. 동일 항을 상수로 하면 아래식과 같이 된다.

$$\frac{Q_{AN}}{Q_{WA}} = \frac{\left[C_5 + \frac{1}{h_w} \right]_{AN}}{\left[C_5 + \frac{1}{h_w} \right]_{WA}} \quad (10)$$

즉 냉각수에 부동액 혼합에 따른 라디에이터 방열 성능비는 냉각수온 및 외기온과의 차이와 냉각수의 대류 열전달 계수 차이에 의해 변하게 됨을 알 수 있다.

차량의 냉각수 온도가 일정하게 유지된다는 것은 연소가스로부터 냉각수로 전열된 열량과 라디에이터에서 방열된 열량이 같다는 것을 의미하므로 식 (4)와 식 (10)을 같아지게 된다.

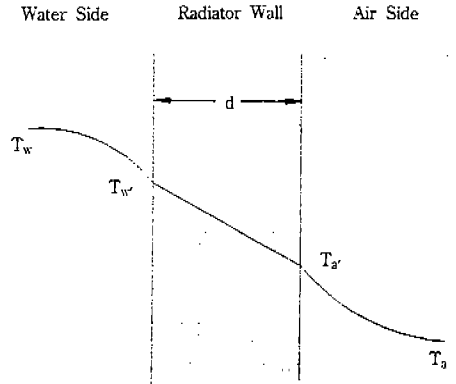


Fig.8 라디에이터 열전달 모델

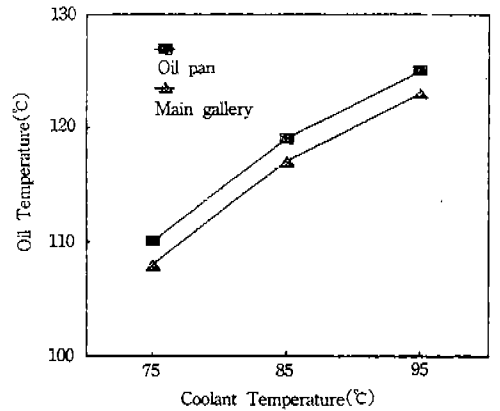


Fig.9 냉각수 온도 변화에 따른 오일 온도변화

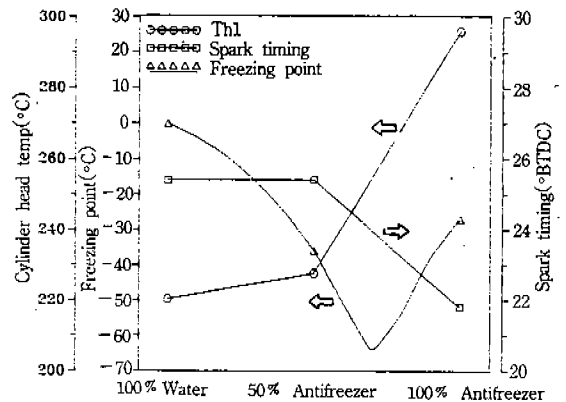


Fig.10 부동액 혼합 비율에 따른 제반 성능 변화

그런데 Fig.6에 나타난 실험 결과로 볼 때 식 (4)는 1보다 작아야 한다. 따라서 식 (10)은

$$\frac{Q_{AN}}{Q_{WA}} = \frac{\left[\frac{(T_w - T_a)}{C_s + \frac{1}{h_w}} \right]_{AN}}{\left[\frac{(T_w - T_a)}{C_s + \frac{1}{h_w}} \right]_{WA}} < 1 \quad (11)$$

가 된다.

식 (11)과 부동액 혼합에 따라 $(T_w - T_a)$ 가 커지는 Table 2의 실험 결과를 종합해 볼 때 전열량에 영향을 주는 인자인 냉각수의 대류 열전달 계수는 엔진측 연소가스와 냉각수와의 열교환에서 보다 라디에이터측 냉각수와 공기와의 열교환에서 더 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

결론적으로 말하면 50% 물+50% 부동액 성분의 냉각수를 사용한 차량은 100% 물 성분의 냉각수를 사용한 차량에 비해 냉각수 온도가 높게 유지되는데 이의 원인은 냉각수 성분의 물성치 차이로 인한 냉각수 자체의 대류 열전달 계수 차이로 라디에이터 방열 성능에 변화가 유발되기 때문이며, 냉각수의 대류 열전달 계수에 의한 영향은 연소 가스와 냉각수와의 열전달에서 보다 냉각수와 공기와의 열전달에서 더 크다는 것이다.

Table 3에 냉각수 성분에 따른 비등점을 나타냈다. 실험 결과 50% 물+50% 부동액 성분의 냉각수 온도가 물 100% 성분의 냉각수에 비해 동일 실험 조건에서 냉각수 온도가 더 높게 유지되는데도 불구하고 비등점까지의 여유 온도를 구해 보면, 물 100% 성분의 냉각수 보다 더 크게 된다. 즉 냉각수에 부동액 혼합시 비등점까지의 여유 온도가 커지게 되므로 차량 냉각 성능 측면에서는 유리하다.

3.22 부동액 혼합에 따른 오일 온도 변화

Fig.9에 100% 물 성분의 냉각수 온도 변화에 따른 오일 온도 변화를 나타냈다. 실험 결과 냉각수 온도 10℃ 상승당 오일 온도는 7℃ 상승한다.

그러나 Table 2에 나타난 것처럼 냉각수에 부동액 혼합에 의한 오일 온도 변화는, 냉각수 온도 5℃ 상승에 따라 오일 온도는 7℃가 상승하였다.

Table 3 부동액 혼합에 따른 비등점 변화

| 냉각수 성분 | 계기압 0.75Br시의 비등점(℃) | 비 고 |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|
| 100% 물 | 116 | Radiator Cap은 0.9±0.15Bar에서 열림 |
| 50% 물 + 50% 부동액 | 124 | |

이의 원인은 50% 물+50% 부동액 성분의 냉각수 사용시 냉각수로의 전열량 감소분 중 일부가 오일로의 전열량 증대로 나타난 결과로 판단된다.

즉 냉각수 성분 변화에 의한 오일 상승 온도 7℃중 엔진 블록 및 헤드에서 냉각수와의 열교환에 의해 3.5℃, 오일로의 전열량 증가로 3.5℃ 상승한 것으로 판단된다.

4. 최적 부동액 혼합량에 대한 종합 검토

Fig.10에 부동액 혼합 비율에 따른 제반 성능 변화를 나타냈다. 엔진 냉각수에 부동액 혼합량을 증대시킬수록 어느점(부동액 농도 70%까지)이 낮아져 동과 방지 측면에서 유리하나 금속면 온도는 올라가 내구성과 Knock Intensity 측면에서 불리하였다. 따라서 위의 모든 인자를 종합해 볼 때 최적의 부동액 혼합 비율은 50%로 판단된다.

5. 결 론

현재 실용화되고 있는 에틸렌 글리콜이 주성분인 부동액에 대한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 냉각수에 부동액 혼합량을 증가시킬수록 엔진 열유속이 감소하여 금속면 온도가 올라간다.
- 2) 부동액 50% 혼합시까지는 엔진 금속면 온도를 크게 상승시키지 않아 엔진 내구성에 큰 영향을 주지 못한다.
- 3) 부동액 50% 혼합시까지는 Knock Intensity에 영향을 주지 못한다.
- 4) 냉각수에 부동액 혼합량을 증가시킬수록

냉각수로의 전열량은 감소하는데 이의 원인은 냉각수 자체의 열전도 계수, Pr 수, Re 수 차이에 의해 대류 열전달 계수가 작아지기 때문이다.

- 5) 냉각수에 부동액 혼합량을 증가시킬수록 냉각수 온도는 높게 유지되나 Overheating까지의 여유 온도가 커지므로 차량 냉각 성능 측면에서 유리하다.
- 6) 냉각수에 부동액 혼합시 라디에이터 방열 성능이 감소하여 냉각수 온도가 높게 유지되는데, 이는 냉각수 자체의 대류 열전달 계수가 작아지기 때문에 나타난 결과이다.
- 7) 냉각수 대류 열전달 계수는 연소실 보다는 라디에이터에서의 열전달에 더 큰 영향을 준다.
- 8) 냉각수에 부동액 혼합시 냉각수로의 전열량 감소분중 일부가 오일로의 전열량을 증가시킨다.
- 9) 엔진 내구성과 Knock Intensity 그리고 동파 방지를 고려한 최적의 부동액 혼합 비율은 체적비로 50%이다.
- 10) 엔진 냉각수에 첨가하는 부식 방지제량은 최적의 부동액 혼합 비율인 50% 부동액 기준으로 개발되어져야 한다.

참 고 문 헌

1. Alexander, M.V., "A Modern Approach to Evaluation of Ethylene Glycol Based Coolants", SAE 880266
2. 신승용, 이은현, "Gasoline Engine의 Warm-up 특성에 관한 고찰", 한국자동차 공학회 학술 강연 초록집, 1991
3. 신승용, 이현순, "열전대를 이용한 가솔린 엔진의 실린더 헤드 각 부위의 온도와 열량 측정에 대한 실험적 연구", 한국자동차 공학회 추계 학술대회 논문 초록집, 1987
4. Taylor, C.F., "The Internal-combustion Engine in Theory and Practice", Vol. 1, 2nd Edn, MIT Press, pp.267-304
5. 星滿, "自動車の熱管理入門", 山海堂, pp.55-68, 1979
6. "Principal of Engine Cooling Components and Maintenance", SAE HS-40
7. Hudgens, R.D., "Analysis of Coolants from Diesel Engine", SAE 900435
8. Owen, N.J., "Quality Assurance for Combustion Chamber Thermal Boundary Condition-A Combined Experimental and Analytical Approach", SAE 931139
9. F.Bolza, "Internationalisation of The Automotive Industry-Global Responses in The Functional Fluid Area", SAE 900429