



온도 및 압력상승에 따른 동/황동 라디에터 튜브의 변형

Deformation of the Tubes in Copper/Brass Radiator with Rise of Temperature and Pressure

정 명 진*

Myeong-Jin Jeong

ABSTRACT

The combined effect of increased pressure/temperature and the reduced material thicknesses act to increase the stress on the radiator componets. The design life of the radiator is influenced by the cyclic stresses and corrosion, which act to weaken the materials, radiator mechanical failure occurs when a tube or solder joint ruptures, causing coolant loss or insufficient heat rejection.

Therefore, in this study, through strain measurement of the tubes in copper/brass radiator, the strain distribution of the tubes in radiator as function of temperature and pressure is obtained.

1. 서 론

내연기관의 냉각용 열교환기인 라디에터는 1900년 전후 미국에서 개발된 이후 내연기관의 기능부품으로서 위치와 외형에 큰 제약을 받으므로, 이에 대응하기 위한 성능향상 및 소형경량화에 힘입어 초기의 라디에터에 비해 대폭 소형경량화되었으나, 최근 배기가스 대책에 따른 라디에터 방열량의 증가, 소음규제의 강화에 따른 팬 성능의 저하 및 저소음화를 위한 경량화에 따라 더욱 소형경량화시킬 것이 요청되어져 왔다¹⁾. 이에 따라 설계상의 압력 및 온도가 상승하는 등 더욱 가혹한 조건이 되어 부

하용력이 증대하고 있으며, 이 결과 장시간의 신뢰성이 중요한 논점이 되고 있다.

자동차 산업계는 라디에터의 설계수명이 10년을 보증할 것을 원하고 있으며, 라디에터의 수리통계에 의하면 동/황동 라디에터의 수리의 70%는 4년에서 7년 사이에 발생하고 있으며, 이중 91.3%가 수리 및 재생되고 있으며, 나머지 8.7%가 교체되고 있다. 한편, 알루미늄 라디에터는 비교적 새로운 것으로 동/황동 라디에터에 비해 그 수명은 비슷하고, 경량화가 용이하나, 파손시 수리가 거의 불가능하다는 단점을 갖고 있다^{2,3)}.

라디에터의 실제 사용상태에서는 일정 압력의 냉각수가 기관에 의하여 가열되어 공급되므로, 압력

* 서울 보건전문대학 산업안전과

과 온도상승이 복합적인 상태로 라디에터에 응력을 발생시키며, 또한 강철제 사이드 서포트가 탱크나 플레이트에 고정되어 있으며, 양쪽 사이드 서포트 사이에 동제 튜브가 플레이트에 접합되어 있는 구조로서 두 재료의 열팽창계수가 다를 뿐만 아니라 온도상승도 다른 상태에 놓이게 된다.

이러한 이유로, 라디에터의 기계적 파손은 튜브 혹은 튜브/플레이트 납땜 접속부에서 빈번히 일어나며, 이것은 냉각수 손실 및 열교환 능력의 저하로 내연기관 및 유압기기의 과열을 초래한다⁴⁾.

라디에터의 설계수명은 반복응력과 부식에 큰 영향을 받으며, 라디에터의 기계적 파손의 요인으로는 진동, 충격, 열응력, 압력 등을 생각할 수 있으며⁵⁾, 본 연구에서는 내연기관용 동/황동 라디에터의 신뢰성 향상을 위하여, 설계 및 제조, 또한 사용상 가장 문제가 되고 있는 라디에터의 튜브를 중심으로, 압력과 온도변화에 따른 변형율을 측정하고 기계적 파손요인을 분석하고자 하였다.

2. 실험

2.1 실험대상 및 스트레인 게이지 부착위치

본 실험에서는 가장 일반화되어 있는 사각단면을 갖는 편평관형 튜브로 구성되어 있는 라디에터를 대상으로 하였으며, 외부의 영향이 없이 압력과 온도상승에 따른 튜브의 변형량을 측정하고 그 경향을 분석하기 위하여 튜브와 튜브사이에 접합된 핀을 제거하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 라디에터 튜브의 형상과 치수를 보여주고 있다. Fig. 2는 튜브

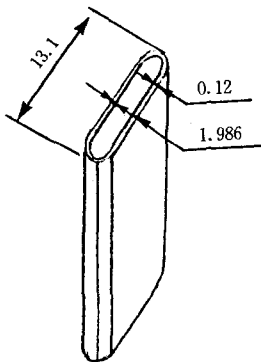


Fig. 1 Shape of tube used in test

브의 각부분에서 발생하는 변형율을 측정하기 위하여 사용한 스트레인 게이지의 부착위치를 나타내며, 그림과 같이 사이드 서포트 부근에서 라디에터 중앙부까지 각 튜브마다 3쌍의 스트레인 게이지를 부착하였다. Table 1은 실험용 라디에터의 구성 재료를 나타내고 있다.

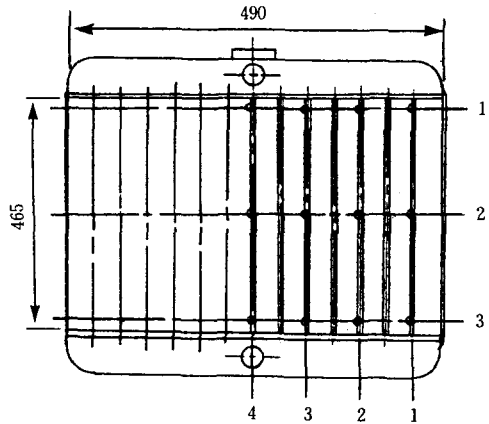


Fig. 2 Attaching points of strain gages

Table 1 Material description for a radiator

Part name	Materials
Fin	C1221T
Tube	C2700T-D
Head plate	C2680S-D
Tank	C2680S-D
Side support	SHP1

2.2 실험장치 및 방법

Fig. 3과 같이 Data acquisition system을 구성하였으며, 여기서 튜브의 평면변형율을 측정하기 위하여 사용된 스트레인 게이지는 원주방향과 축방향 변형율을 동시에 측정하기 위하여 Gage length 2mm의 Rosette형(2축) foil strain gage를 사용하였다. 압력상승에 의한 변형율을 측정하기 위하여 실온에서 공기압축기로 공기를 압축하여 압력 0.5, 1.0kg/cm² g로 공급하면서 각 부위의 변형율을 측정하였고, 한편, 전기히터로 90℃로 물을 가열하여 공급하면서, 온도상승에 따른 각부위의 변형율을 측정하였으며, 이때 공급압력이 튜브에 작용하지

양도록 하기 위하여 탱크 상부를 절개하여 개방시켰다.

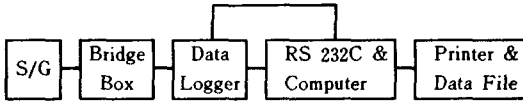


Fig. 3 Block diagram for data acquisition

3. 실험결과 및 고찰

압력상승에 의한 변형율의 측정결과는 공급압력에 따른 축방향 변형율과 원주방향 변형율을 각각 Fig. 4, 5, 6, 7에 나타내었다. 측정결과에 의하면, 축방향 변형율보다 원주방향 변형율이 대체로 크게 나타나고 있으며, 축방향 변형율은 라디에터 사이드 서포트에 가장 가까운 튜브 1에서 가장 크게 나타나고 있고, 주로 압축변형을 일으키고 있다. 이것은 튜브가 사이드 서포트에 의하여 구속되며 또한 탱크자체도 팽창을 하기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 원주방향 변형율을 나타내는 그림중에서 2번열의 경우 변형율을 측정된 결과가 매우 불규칙적이며 또한 그 값이 매우 크다. 이는 튜브의 변형이 판재 평면내에서의 정상적인 수축 팽창이 아니고, 튜브 자체가 뒤틀리는 등의 불규칙적이며, 급격한 좌굴, 굽힘 등이 발생하고 있다는 것을 추측할 수 있으며, 이것은 튜브의 파손 및 튜브/플레이트 접합부의 파손을 촉진하는 큰 요인이 될 것으로 판단된다.

온도상승에 의한 변형율의 측정결과는 축방향 변형율, 원주방향 변형율을 각각 Fig. 8, 9에 나타내었으며, 측정결과에 의하면 축방향 변형율의 경우 라디에터 서포트 부분보다 중앙부의 튜브에서 크게 나타나고 있으며, 원주방향 변형율의 경우는 경향을 분석하기가 곤란하다. 중앙부의 축방향 변형율이 크게 나타나는 것은 라디에터 구조상 온수공급부가 중앙에 있으므로, 사이드 서포트 부분보다 온도상승이 크고, 사이드 서포트의 온도상승이 작을 뿐만 아니라 사이드 서포트의 재료의 열팽창계수가 작기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 변형율 측정결과 그림중 3번열의 경우 변형율 측정결과가 매우 불규칙적이며 또한 매우 그 값이 크다. 이는 압력상승시와 마찬가지로 튜브의 변형이 불규칙적이며,

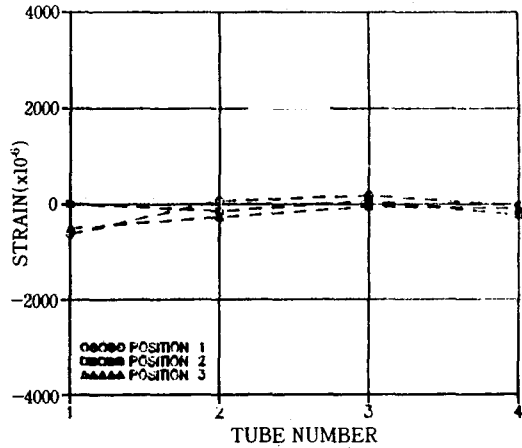


Fig. 4 Axial strains in assembled tubes as a function of prssure(P=0.5kg/cm²g)

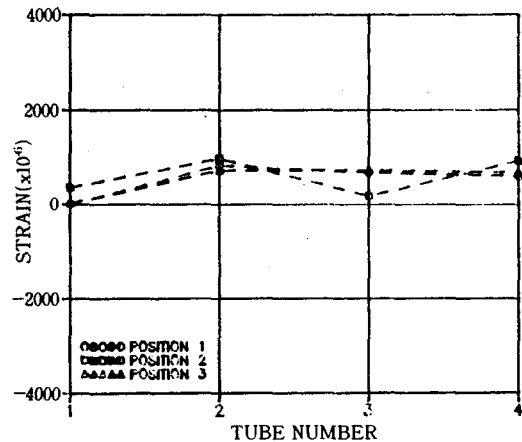


Fig. 5 Hoop strains in assembled tubes as a function of prssure(P=0.5kg/cm²g)

좌굴·굽힘 등이 발생하는 것을 알 수 있으며, 이것 역시 튜브 및 튜브/플레이트 접합부의 파손을 야기하는 큰 요인이 되는 것으로 판단된다.

이와같은 실험결과에 의하여 다음과 같은 사항들을 고찰할 수 있다. 압력상승에 의한 튜브의 파손은 사이드 서포트에 가까운 튜브에서 발생하기 쉬우며, 제조시 튜브/플레이트 접합부의 납땜이 불량한 부분일수록 더욱 문제가 될 수 있다. 따라서 설계시 엄밀한 강도계산을 통하여 사이드 서포트에 가까운 튜브의 두께를 증가시키는 등의 방법을 통

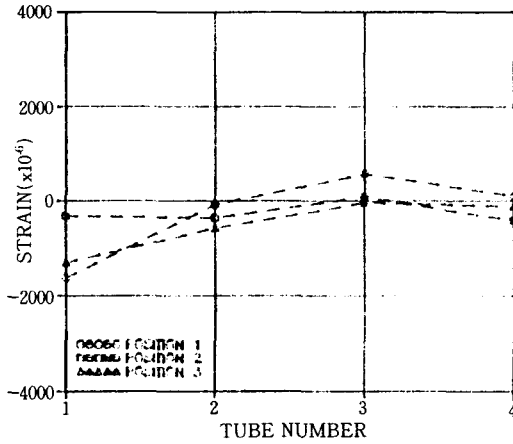


Fig. 6 Axial strains in assembled tubes as a function of prssure($P=1.0\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$)

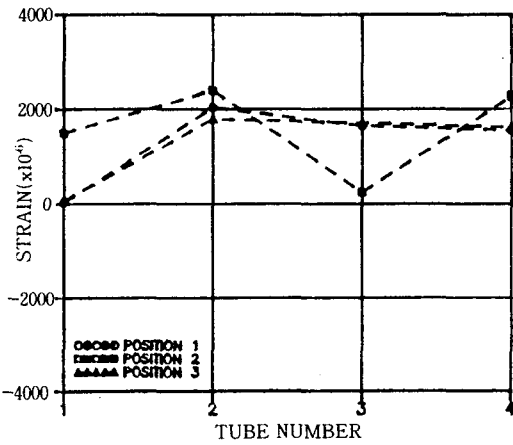


Fig. 7 Hoop strains in assembled tubes as a function of prssure($P=1.0\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$)

하여 라디에터의 수명을 연장시킬 수 있을 것이다.

온도상승에 의한 튜브의 파손은 중앙부에 가까운 튜브에서 발생하며, 냉각수의 흐름의 불균일은 튜브의 굽힘, 좌굴 등 비정상 변형을 초래하는 중요한 요인이 된다. 따라서, 냉각수가 라디에터에서 각각의 튜브에 균일하게 분포하여 흐르게 설계를 함으로써 변형을 분산시킬 수 있을 것이며, 또한, 튜브의 굽힘, 좌굴 등의 비정상적 변형에 의한 파손을 방지하기 위하여서는 튜브/핀 접합에 유의하여야 하며, 설계시 열설계뿐만 아니라 강도설계를

하여 편피치를 정할 필요가 있다.

이와함께 튜브의 축방향 변형을 흡수할 수 있는 사이드 서포트를 채용하는 것 또한 바람직한 대책이 될것으로 판단된다.

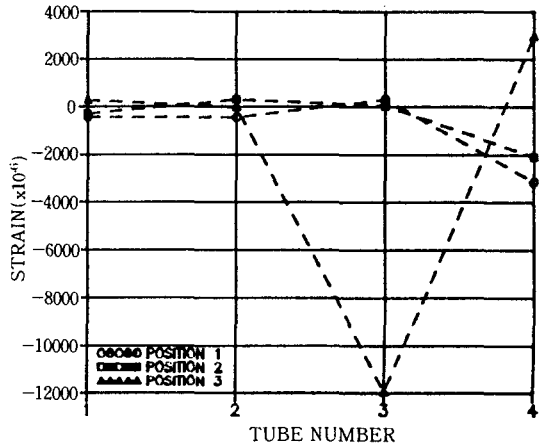


Fig. 8 Axial strains in assembled tubes as a function of temperature($T=90^\circ\text{C}$)

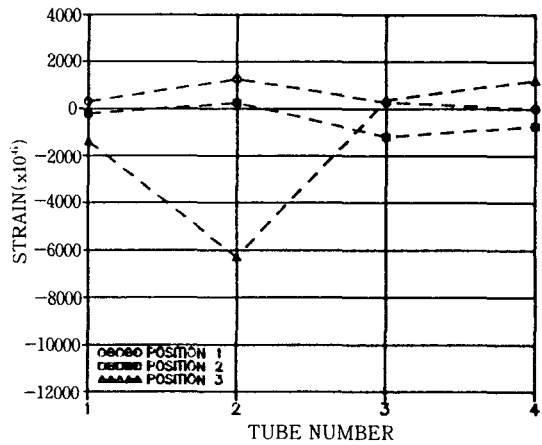


Fig. 9 Hoop strains in assembled tubes as a function of temperature($T=90^\circ\text{C}$)

4. 결 론

내연기관용 라디에터의 주요 요소인 튜브에 대하여 온도 및 압력상승에 따른 축방향 변형율과 원주방향 변형율의 측정을 2축 strain gage를 활용하여

수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 온도상승에 의하여서는 라디에터의 중앙부 근처의 튜브에서 변형율이 가장 크게 나타난다.
- 2) 압력상승에 의하여서는 라디에터의 사이드 서포트 부근의 튜브에서 변형율이 크게 나타난다.
- 3) 일부 튜브에서는 튜브자체의 뒤틀림, 좌굴, 굽힘이 발생하며, 이를 흡수할 수 있도록 튜브 및 튜브/핀 접합부의 설계 및 접합에 유의하여야 한다.

참 고 문 헌

- 1) 藤掛賢司, 自動車用熱交換器の最近の進歩, 日本機械學會誌, 第 81卷, 第 714號, pp.426~431, 1978.
- 2) P.L.Webb의 2인, Assessment of Automotive Radiator Technology and the Future of Copper/Brass Radiators, SAE, 850043, pp.1~13, 1985.
- 3) 太田和宏의 1인, 最近におけるラジエータの動向, 自動車技術, Vol.32, No.8, pp.758~762, 1978.
- 4) Ralph L. Webb and Wen F. Yu, Stress Distribution and Stress Reduction in Copper/Brass Radiators, SAE, 870183, pp.1~14, 1987.
- 5) 柿沼昭夫, エンジン冷却系の設計について, 自動車技術, Vol.39, No.4, pp.382~390, 1985.
- 6) J.E.Soehrens, Stress Analysis of Heat Exchangers, Heat Transfer Engineering, Vol.8, No.3, pp.28~39, 1987.
- 7) Zhi-Fu Sang의 1인, Stress Analysis of Elliptical Tube Plate in Heat Exchangers, Transactions of ASME, Vol.109, pp.310~314, 1987.