Jour. Agri. Sci.
Chungnam Nat'l Univ., Korea
Vol.33(2): 107~114 (2006)

차량용 라디에이터의 성능향상에 관한 연구

이창규[1*]·이상우[2]·허윤근[2]

Improvement of the Cooling Radiator System for Vehicles

Chang-Kyoo Lee[1*]·Sang-Woo Lee[2]·Yun-Kun Huh[2]

ABSTRACT

An all-aluminum radiator made of aluminum was more excellent on environment friendliness, productivity, and cooling efficiency than the plastic tank radiator which was currently widely used in same size as above. A newly designed and manufactured radiator with all parts made of aluminium was ready to re-use without any disassembly process in recycle system so as to improve environment friendliness with low waste cost. Several manufacturing processes of the current plastic tank radiator such as O-ring inserting, and clinching of core to the tank, were eliminated on the manufacturing processes of the all-aluminium radiator, which would increase productivity and reduce production cost. Design criterion of all-aluminum radiator was presented by carrying out theoretical analysis of cooling capacity and there was no difference between analytical data and measurements. Cooling capacity of the all-aluminum radiator increased generally 13% up compared with the plastic radiator even though the pressure drop of air increased.

Key words: Cooling efficiency, All-aluminum radiator, Recycle system, Cooling capacity

[1] (주)국제종합기계 연구소(Research Institute, Kukje Machinery Co. Ltd., 11-1 Yangsoo-ri, Okcheon-Gun, Chungbuk-Do, 373-802, Korea)
[2] 충남대학교 농업생명과학대학 생물산업기계전공(Dept. of the Bioindustrial Machinery, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)
* 교신저자 : 이창규(E-mail : changkyoo.lee@dongkuk.com, Tel : 043-730-1658)

Ⅰ. 서 론

최근 전 세계적으로 환경보호 문제가 대두되면서 자원을 재활용하는 리사이클 시스템이 요구되고 있다. 현재 다른 소재에 비해 재활용도가 낮은 플라스틱 수지의 경우에서 차량 총중량의 7~8%를 차지하고 부피 면에서는 약 30%를 차지하고 있다. 따라서 플라스틱 수지를 사용하는 탱크의 표면에 재질기호를 표시하여 재활용시 구분이 가능하도록 하는 방법이 이미 실시 중에 있다. 또한, 라디에이터에 사용되는 소재를 단순화하는 방안으로서 상하탱크의 소재를 알루미늄으로 바꾸어 재활용을 용이하게 하는 방법이 연구되고 있다.

본 연구에서 개발 추진할 전체 알루미늄 라디에이터는 전체를 단일 재질인 알루미늄으로 제작하여 조립공정을 단축시켜 생산비를 경감하도록 하였고 친환경성을 종전의 알루미늄 라디에이터에 비해 크게 획기적으로 개선하고자 하였다. 또한 전체 알루미늄 라디에이터의 전면면적의 제원은 기존 사출 탱크 라디에이터와 동일하게 한 상태에서 열교환기 성능에 직접적으로 영향을 미치는 인자인 튜브와 핀을 새로 설계 개발하여 냉각성능을 향상시키고자 하였다.

따라서 본 연구의 목적은 핀과 튜브의 전열특성을 분석하고 이 결과에 기초하여 전체 알루미늄 라디에이터(all aluminium radiator)를 개발하여 라디에이터의 냉각성능을 향상시키고 이에 사용된 재료의 재활용을 촉진하고자 하였다.

Ⅱ. 이론 분석

본 연구에서 적용된 성능해석 상관식은 많은 관련 상관식 가운데 실험을 통한 측정치와 해석치를 비교 검토한 결과에서 가장 적합한 식 즉 핀 열전달 상관식은 Suden and Svantesson(2000), 압력강하 상관식은 Dillen et al.(1994), 튜브 열전달 상관식은 Dittus-Boelter 관계식을 채택하였다.

1. 공기측 핀 열전달 계수

공기측 핀 열전달 계수는 Sunden and Svantesson (2000)의 상관식에 의해서 j-factor가 구해지면 (1)식과 같이 대류 열전달계수 h를 산출할 수 있었다.

$$Re_{Lp} = \frac{\rho V_{\max} L_P}{\mu} = \frac{V_{\max} Lp}{\nu}$$

$$j = \frac{N}{Re\,Pr^{1/3}} = \frac{N}{Re\,Pr} Pr^{2/3} = \frac{h}{\rho V_{\max} C_P} Pr^{2/3} \quad (1)$$

여기서, Re_{Lp} = 루버피치에 의한 레이놀드 수
L_p = 루버피치
j = j-팩터
Nu = 누셀트수
Pr = 프랜틀수
h = 열전달 계수

2. 공기측 압력강하

공기측 압력강하는 Dillen et al. (1994)의 상관식에 의해서 f-factor가 구해지면 (2)식과 같이 압력강하 △P를 산출할 수 있었다.

루버핀에서 j-팩터 계산을 위한 경험식 :

$$j\,\mathrm{Pr}^{-2/3} = 3.67\ \mathrm{Re}_{LP}^{-0.591} \left(\frac{F_p}{L_p}\right)^{0.0206} \left(\frac{H}{L_p}\right)^{-0.285} \left(\frac{L_h}{L_p}\right)^{0.0671} \left(\frac{L}{L_p}\right)^{-0.243}$$

Sunden and Svantesson (2000)

$$f=\frac{A_c}{A_o}\frac{\rho_m}{\rho_1}\left\{\frac{2\rho_1\triangle P}{G^2}-(k_c+1-\sigma^2)-2(\frac{\rho_1}{\rho_2}-1)+(1-\rho_2-k_e\frac{\rho_1}{\rho_2})\right\} \quad (2)$$

$$G=\rho V_{max}$$

여기서, f = 등온 마찰 계수
G = 질량 플럭스
A_c = 자유 유동 면적
A_o = 바깥쪽 열전달 면적
ρ_1 = 입구측 밀도
ρ_2 = 출구측 밀도
ρ_m = 평균 밀도
k_c = 입구측 열전도율
k_e = 출구측 열전도율

루버핀에서 f-팩터 계산을 위한 경험식 :

$$fA_o = f_e A_e + C_{DI}A_{DI} + 4.5L_l L_p \beta \mathrm{Re}_{Lp}^{-0.6}(2\theta/\pi)^{0.31}(F_p/H)^{-0.4}$$

(400< Re_{Lp}< 1000 범위에서)

$$fA_o = f_e A_e + C_{DI}A_{DI} + 1.14L_l L_p \beta \mathrm{Re}_{Lp}^{-0.43}(2\theta/\pi)^{0.41}(F_p/H)^{-0.53}$$

(1000< Re_{Lp} <4000 범위에서)

Dillen et al. (1994)

3. 냉각수측 튜브 열전달 계수

냉각수측의 튜브 열전달 계수는 난류모델에 주로 사용되는 열전달 상관식인 Dittus - Boelter식에 의해 산출하였다.

튜브에서 열전달 경험식 :

$$\mathrm{N}=0.023Re^{0.8}\mathrm{Pr}^{0.3}$$

Dittus-Boelter(1930)

4. 성능해석

성능해석은 공기측 핀과 냉각수측 튜브의 조합으로서 아래 식으로 평가하였다.

$$\frac{1}{UA}=\left(\frac{1}{hA}\right)_{tube}+\left(\frac{1}{hA}\right)_{fin}$$

여기서 핀의 효율과 전도저항은 무시하였다. 튜브의 경우는 냉각수 열전달 계수와 냉각수 열전달 면적을 곱한 값이며, 핀의 경우는 공기 열전달계수와 공기 열전달면적(tube+fin)을 곱한 값이다. 이 두 값으로부터 전체 열저항 UA를 구할 수 있었다.

III. 재료 및 방법

1. 튜브와 핀

튜브의 적정한 높이를 이론적으로 결정하기 위하여 튜브높이 1.6 mm, 1.4 mm, 1.2 mm를 선정하여 열전달 계수 값을 구한 결과 튜브 높이감소에 따라 열전달 계수 값은 증가하는 경향을 보였다. 1.2 mm의 튜브 높이가 1.6 mm에 비해 약 50%의 향상된 성능 해석치를 나타내었다. 이는 1.2 mm의 튜브가 1.6 mm, 1.4 mm에 비해 수력직경 감소에 대한 냉각수 유속의 증가로 판단되었다. 이 결과의 값을 기준으로 알루미늄 라디에이터 튜브높이를 1.2 mm로 선정하였다.

핀도 동일 방법으로 적정한 높이를 이론적으로 결정하기 위하여 핀 높이 8 mm, 7.5 mm, 5 mm에 대한 열전달 계수 값을 각각 구한 결과 5 mm의 핀 높이가 8 mm, 7.5 mm에 비해 각 20%, 14%의 향상된 성능 해석치를 나타내었다.

이 결과의 값을 기준으로 각 알루미늄 라디에이터의 핀 높이를 5 mm로 결정하였다.

실험에 사용된 튜브와 핀의 제원을 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었고, Fig. 1은 본 실험에 사용된 핀과 튜브의 설계도이다.

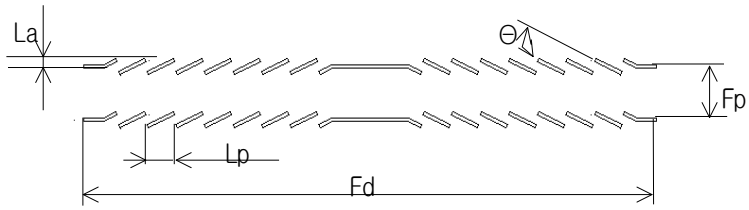
Table 1. Specifications of tubes

	height (mm)	hy. dia (mm)	width (mm)	sec. area (mm^2)	length (mm)	No. of tube (ea)	Remark
tube	1.2	1.4	18	12.1	661	52	prototype
	1.4	1.7	18	15.6	661	51	radiator
	1.6	2.0	18	19.0	661	50	commercial radiator

Note : * h.d : hydraulic diameter

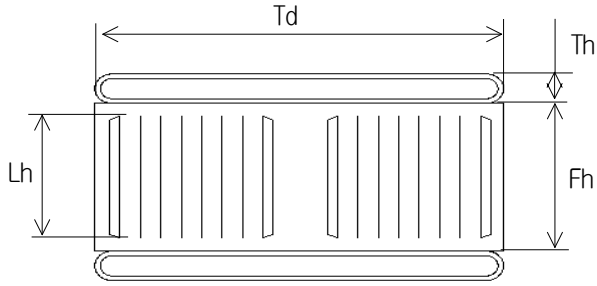
Table 2. Specifications of fins

	height (mm)	fin pitch (mm)	width (mm)	louver pitch (mm)	louver angle (deg)	Remark
fin	5	1.1	18	0.9	28	prototype
	8	1.1	18	1	24	radiator
	7.5	1.1	18	1	24	commercial radiator



*La : half louver height, Θ : louver angle, Lp : louver pitch, Fp : fin pitch, Fd : fin width

(a) top view



*Td : tube width, Lh : louver length, Fh : fin height, Th : tube height

(b) front view

Fig. 1. Schematic diagram of fin & tube.

2. 라디에이터 설계 및 제작

Fig. 2는 알루미늄 라디에이터 시작기의 설계도이고, 이 시작기의 제원은 Table 3에 나타냈다. 시작기의 전면면적은 기존 사출 탱크 라디에이터와 동일하게 설계하여 장착을 용이하게 하였다. 핀은 기존 사출 탱크 라디에이터보다 작은 높이 5 mm로 설계하였고, 튜브 열수는 74열, 핀 열수는 75열인 알루미늄 라디에이터를 설계 제작하였다. 필러 넥은 출구쪽 맨 위쪽에 설치되어 공기 및 이상고압 발생 시 취출하도록 설치하였다. 드레인 가이드는 출구 탱크 맨 아래에 설치되어 냉각수가 잘 배수 할 수 있도록 하였고, 마운팅 브라켓트 역시 알루미늄 탱크와 일체로 용착되도록 설계 제작하여 제작공정을 단축시켰다.

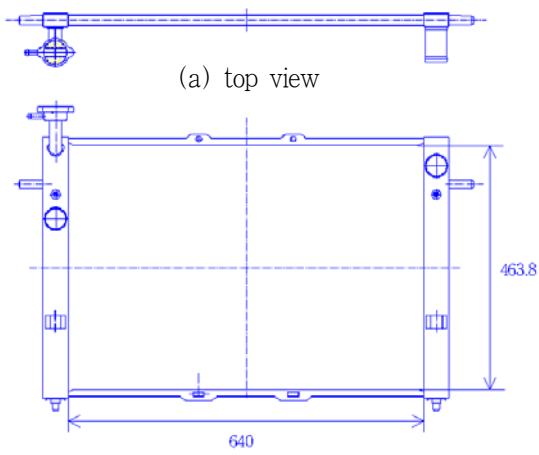


Fig. 2. Design of an all-aluminium radiator

3. 라디에이터 성능 실험 장치

라디에이터의 성능을 실험할 수 있는 전용 측정 장비로 라디에이터로 유입되는 공기측 인자: 입구온도 및 전면 풍속과 냉각수측 인자: 입구유량과 입구 및 출구 냉각수 온도를 정확하게 제어할 수 있는 항온 항습의 칼로리메터(calorimeter) 실험 장치를 사용하였다. Fig. 3은 실험 장치의 구성도이다.

이 칼로리메터는 라디에이터를 전용으로 실험할 수 있는 장치이며, 라디에이터의 입구 및 출구의 공기 온도를 측정하는 건구 온도 센서가 내장되어 있고, 냉각수의 압력과 온도를 측정하는 온도 센서와 압력 센서가 입·출구에 설치되어 있다.

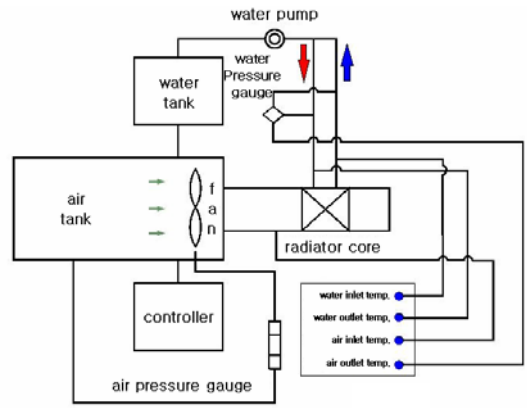


Fig. 3. Apparatus for evaluation of radiator performance

Table 3. Specifications of the test sample

Item	fin height (mm)	fin No. (ea)	tube height (mm)	tube No. (ea)	front area (m^2)	Remark
commercial radiator	7.5	51	1.6	50	0.3	
aluminium radiator	5.0	75	1.2	74	0.3	

4. 성능측정방법

튜브와 핀의 제원의 변경에 따른 라디에이터의 성능을 측정하고자 Table 4와 같은 표준 실험 조건 하에서 라디에이터의 방열량 특성과 공기 특성을 측정하였다.

Table 4. Design for evaluation of radiator performance

	Test item	Conditions
Air	inlet temp. (℃)	25
	front air velocity (m/s)	2, 4, 6, 8, 10
Water	inlet temp. (℃)	85
	flow rate (ℓ/min)	20, 40, 60, 80, 100

III. 결과 및 고찰

1. 냉각 성능

본 연구에서 설계 제작한 알루미늄 라디에이터는 기존 사출 탱크 라디에이터의 전면면적 의 크기와 동일한 상태에서 냉각성능을 향상시킬 수 있었다.

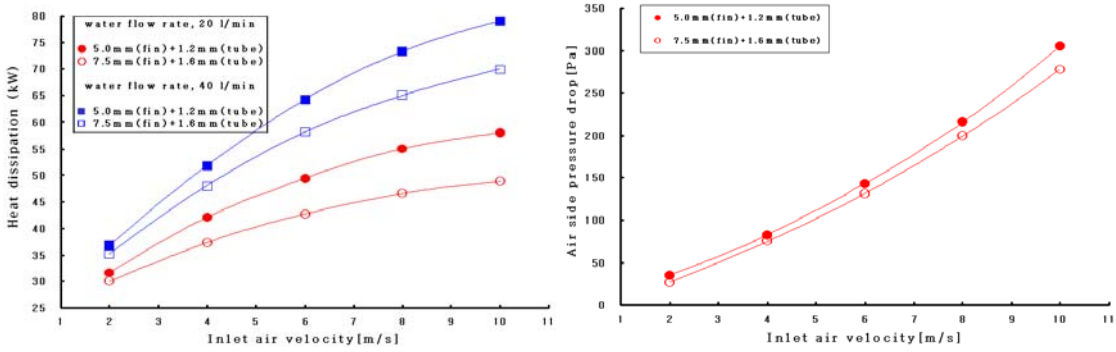
방열량은 Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 튜브 높이 1.2 mm와 핀 높이 5.0 mm로 설계 제작한 알루미늄 라디에이터에서 튜브 높이 1.6 mm와 핀 높이 7.5 mm로 제작된 기존 사출 탱크 라디에이터에서 보다 51%가 증가하였다.

공기 압력 강하는 Fig. 4(b)와 같이 기존 사출 탱크 라디에이터에서 보다도 알루미늄 라디에이터에서 8%가 증가하였다. 방열량과 공기 압력 강하는 공기속도가 증가 할수록 함께 증가하였다.

방열량과 공기 압력 강하의 현상을 종합적으로 분석 검토한 결과에서 냉각 성능은 알루미늄 라디에이터가 기존 사출탱크 라디에이터보다 13% 향상시켰다.

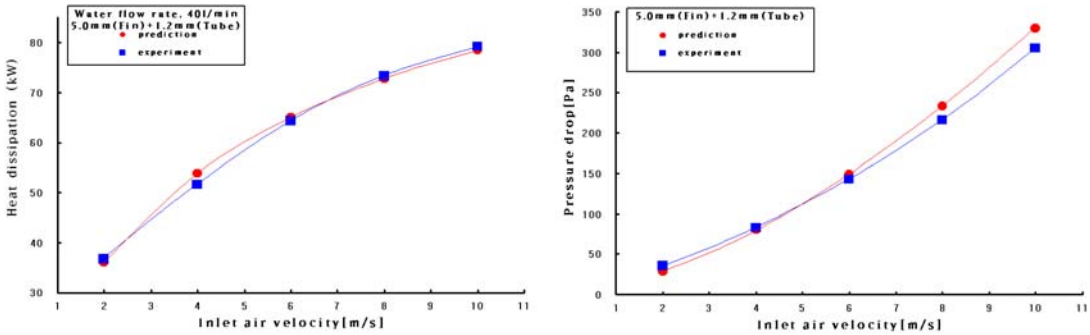
2. 이론치와 측정치 비교

본 연구에서 라디에이터의 냉각성능을 이론적으로 분석한 이론치는 Fig. 5(a), (b)와 같이 방열량과 공기 압력 강하의 측정치와 잘 부합되었다. 방열량과 공기 압력강하를 연계하여 고찰하면 냉각수보다는 공기가 냉각 성능에 미치는 영향이 크다고 사료되었다.



(a) heat dissipation (b) air pressure drop

Fig. 4. Cooling performance of the all aluminum radiator and the conventional radiator.



(a) heat dissipation (b) air pressure drop

Fig. 5. Comparison of predicted values with measured values.

Ⅳ. 요약 및 결론

현재 널리 사용되고 있는 사출탱크 라디에이터보다 친환경성, 생산성, 냉각성능에서 우수하면서도 동일한 크기의 전체 알루미늄 라디에이터를 설계 제작하였다. 본 연구 내용을 요약하면 다음과 같았다.

1) 전체 알루미늄 라디에이터는 전 부품의 재질을 모두 알루미늄으로 사용하여 폐기공정을 단순화 하였고, 이로 인해 재활용도를 높여 친환경성을 개선할 수 있었다.
2) 전체 알루미늄 라디에이터의 생산 공정에서 기존 사출탱크 라디에이터의 코어 용착, O-링 삽입, 탱크와 코어의 클린칭 공정 등을 한 공정으로 단순화함으로써 기존 사출탱크 라디에이터와 비교하여 생산성 향상과 원가 절감을 가져올 수 있었다.
3) 냉각 성능을 이론적으로 분석하여 알루미늄 라디에이터의 설계기준을 제시할 수 있었고, 이 이론치는 측정치와 큰 차이가 없었다.
4) 전체 알루미늄 라디에이터의 냉각성능평가에서 기존의 사출 탱크 라디에이터와 비교할 때, 방열량이 51%증가하였고 공기측 압력강하는 8% 증가하였다. 이 상반된 현상을 종합한 냉각성능은 약 13% 증가하였다.

참고문헌

1. 자동차 기술핸드북 번역편찬위원회. 1996. 자동차 기술 핸드북 제1권 기초 이론편. 사단법인 한국자동차공학회.
2. 자동차 기술핸드북 번역편찬위원회. 1996. 자동차 기술 핸드북 제2권 설계편. 사단법인 한국자동차공학회.
3. Achaichia A. and T. A. Cowell. 1988. Heat transfer and pressure drop characteristics of flat tube and louvered plate fin surfaces. Experimental and Fluid Science 1:147-157.
4. Chang, Y. J. and C. C. Wang. 1997. A generalized heat transfer correlation for louver fin geometry. Int. J. of heat and mass transfer 40(3):533-544.
5. Chiou, C. B., C. C. Wang, Y. J. Chang and D. C.

Lu. 1994. Experimental study of heat transfer and flow friction characteristics of automobile evaporators. ASHRAE Transactions 100(2):575-581.
6. Sahnou, A. and R. L. Webb. 1992. Prediction of heat transfer and friction for louver fin geometry. J. of heat transfer 114:893-900.
7. Wang, C. C., R. L. Webb and K. Y. Chi. 2000. Data Reduction air-side performance of fin-tube heat exchangers Experimental thermal and Fluid Science 21:218-226.
8. Webb, R. L. and S. H. Jung. 1992. Air side performance of enhanced brazed aluminum heat exchangers. ASHRAE Transactions 98(2):391-401.