

## 라디에이터 팬의 재질에 따른 열 내구성 해석

한문식<sup>a</sup>, 조재웅<sup>b\*</sup>

## Thermal Durability Analysis Due to Material of Radiator Fan

Moonsik Han<sup>a</sup>, Jaeung Cho<sup>b\*</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, 2800 Dalgubeoldae-ro, Dalseo-Gu, Daegu, Republic of Korea<sup>b</sup> Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University, 275, Budae-dong, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungnam, 331-717, Republic of Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	14	May	2013
Revised	20	August	2013
Accepted	4	October	2013

## Keywords:

Radiator fan  
Temperature  
Heat emission  
Thermal stress  
Strength durability

## ABSTRACT

In this study, the temperature, heat emission per unit time, and thermal stress or deformation of a radiator fan made of polyethylene or aluminum are analyzed for investigating its strength durability. Heat transfer in the case of the aluminum radiator fan is better than that in the case of the polyethylene radiator fan. Further, heat emission in the case of the aluminum fan is poorer than that in the case of the polyethylene fan. Moreover, because the thermal deformation of aluminum is much smaller than that of polyethylene, the thermal durability of the aluminum fan is better than that of the polyethylene fan. In an open space in front of the radiator and the closed space of the engine behind it, the thermal cooling effect of the polyethylene fan is better than that of the aluminum fan. Further, since polyethylene is lighter in weight than aluminum, polyethylene, as a nonmetallic plastic, is more suitable as a material of an automotive radiator. However, because of the higher strength durability of the aluminum fan, it is better than the polyethylene fan under high-temperature conditions or in the case of a complex pipe.

## 1. 서론

자동차의 냉각장치는 내연기관의 연소효율에 맞춰 최적의 엔진 온도를 맞추기 위하여 설치된 장치로써 엔진의 온도가 너무 높으면 가솔린 기관의 경우 정확한 점화 타이밍에 연소가 되는 것이 아니라 엔진의 높은 온도로 인하여 의도하지 않은 타이밍에 점화가 되어 기관의 효율을 떨어뜨리게 되며 또한 연소 온도가 과하게 높을 시에는 질소산화물 NOx가 증가하게 되어 배기가스가 많아지게 된

다<sup>[1]</sup>. 이는 최근 환경규제에 어긋난 범위이며 이에 따라 엔진의 온도가 너무 높아서는 안된다. 반면 엔진의 온도가 너무 낮을 경우에는 실린더 내부의 폭발열이 실린더 블록으로 흡수되어 열에너지로부터 기계적에너지로의 에너지 변환에서 에너지 손실이 생기게 된다<sup>[2]</sup>. 그러므로 엔진의 온도는 너무 높지도, 낮지도 않은 적정온도를 유지해야한다. 그 외에 라디에이터의 성능 개선을 위하여, 라디에이터 입출구의 위치가 그 성능에 미치는 영향에 대해 시험을 통한 비교평가로 검증하고 자동차에 주로 사용되는 브레이징 열교환

\* Corresponding author. Tel.: +82-41-521-9271

Fax: +82-41-555-9123

E-mail address: jucho@kongju.ac.kr (Jaeung Cho).

기의 배수성을 개선한 연구가 되어 있다. 또한 열팽창 계수의 차에 의한 반복 응력의 영향을 고려한 차량용 라디에이터에 대한 해석을 하였다<sup>3-5</sup>. 최근에는 고출력엔진, 낮은 후드 및 더욱 조밀해진 엔진 룸의 영향으로 엔진의 냉각장치의 중요성이 부각되고 있다. 엔진의 열을 직접적으로 받은 냉각수는 라디에이터 핀으로 흘러와 차량의 주행풍과, 라디에이터 팬에 의한 강제 공기순환으로 냉각수의 열을 흡수하게 된다<sup>6</sup>. 그런만큼 라디에이터 팬은 라디에이터 핀으로부터 나오는 엔진의 방출열을 직접적으로 받으므로 열에 대한 강도가 굉장히 중요하다.

따라서 본 연구에서는 실제적인 설정 조건을 설정하여 라디에이터 팬의 열방출, 열변화 및 열응력을 해석하였다<sup>7-9</sup>. 본 연구의 결과를 종합하여 라디에이터 팬의 설계에 응용한다면 열에 의한 강도 내구성 및 파손 방지를 검토, 예측하는데 용이할 것으로 사료된다.

## 2. 모델링 및 해석조건

본 연구에서 적용되는 지배 방정식은 뉴턴의 냉각법칙 (1)을 사용하였다.

$$dT/dt = -k(T - S) \tag{1}$$

$$T = S - (T' - S)\exp(-k(t - t'))$$

뉴턴의 냉각법칙이란 초기온도( $T'$ )와 주변온도( $S$ ), 현재온도( $T$ ) 및 냉각률( $k$ )을 알면 온도변화에 걸린 시간( $t - t'$ )을 알 수 있는 식이다. 이 식을 통하여서 라디에이터 팬이 받은 초기 열과, 주변온도, 시간의 조건을 주어 각 시간별 라디에이터 팬의 온도를 해석을 하게 된다. 또한 열은 두 표면의 온도차에 의해 냉각되는데 이 때 냉각재의 상태에 비례하여 그 냉각 속도가 결정된다. 이 냉각 속도는 열전달계수에 비례한다. 이 식을 나타내면 (2) 식과 같다.

$$q = a(t_w - t) \tag{2}$$

- $q$ : 냉각속도(kcal/m<sup>2</sup>h)
- $a$ : 열전달계수(kcal/m<sup>2</sup>h°C)
- $t_w$ : 가열 벽면 온도(°C)
- $t$ : 냉각재 평균 온도(°C)

따라서 열전달계수를 통하여 라디에이터 핀으로부터 나오는 방출열이 라디에이터 팬에 어떤 식으로 전달이 되는가를 해석할 수 있다. 본 시뮬레이션 해석에 사용된 라디에이터 팬 모델은 실제 라디에이터 팬의 크기와 같이 모델링을 하였고 ANSYS를 이용하여 해석을 하였다<sup>10</sup>.

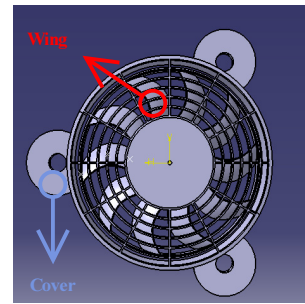
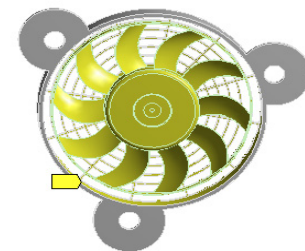
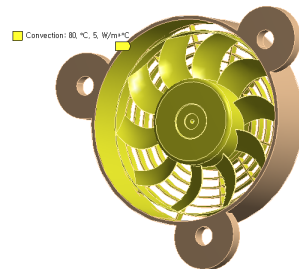


Fig. 1 Model of radiator fan

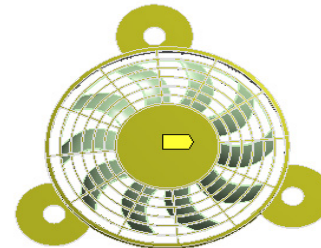


Convection  
Time: 1, s  
Convection: 80, °C, 5, W/m²°C

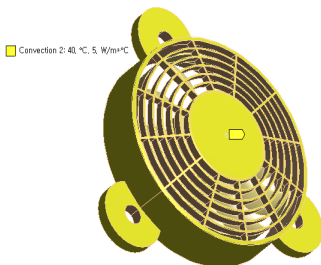


Convection: 80, °C, 5, W/m²°C

(a) Wing



Convection 2  
Time: 1, s  
Convection 2: 40, °C, 5, W/m²°C



Convection 2: 40, °C, 5, W/m²°C

(b) Radiator cover

Fig. 2 Constraint condition of radiator fan

Fig. 1과 같이 모델링은 커버 및 날개인 두 개의 부품으로 결합되어 있다. 그리고 Fig. 2와 같이 해석 실행시 구속 조건은 다음과 같다.

열을 받는 날개부분은 공기와 접촉하고 있으며 대류 조건으로 날개의 표면 온도로 80°C를 설정하고 대류 열전달계수가 5 W/m<sup>2</sup>°C이다. 그 반대쪽 라디에이터의 커버 외부도 역시 공기와 접촉하고 있으며 대류 조건으로 날개의 표면 온도로 40°C를 설정하고 대류 열전달계수는 5 W/m<sup>2</sup>°C이다.

그리고 냉각 팬이 운전 중 항상 계속 가동되는 것이 아니어서 30분 정도로서 충분히 그 가동 시간을 설정했다. Table 1에서와 같이 본 연구에서의 모델의 물성치는 폴리에틸렌과 알루미늄 합금을 사용하였다. 해석은 똑같은 열 온도 조건으로 하여 모델의 재질을 두 가지로 바꾸었을 때 그 해석 결과의 차이를 고찰한다. 폴리에

틸렌은 압축 항복 강도와 압축 극한강도가 0으로서 탄성적인 변형 없이 압축에 대하여는 저항력 없이 압축이 무제한 일어날 수 있음을 의미하고 알루미늄의 경우는 압축 극한강도가 0으로서 항복점까지는 탄성적으로 변형이 일어나지만 압축이 그 이상을 넘어 가면 변형되면서 압축이 무제한 일어날 수 있음을 의미한다.

### 3. 해석 결과

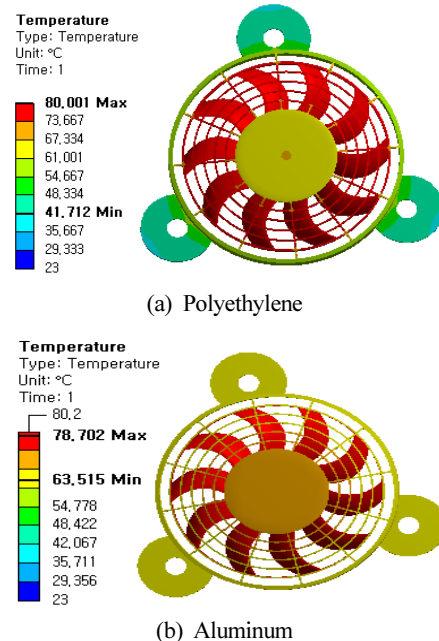
해석 결과에 대하여는 그 수렴에 대한 허용 오차가 10<sup>-3</sup>으로서 해석의 정확성에는 문제가 없다고 사료된다.

Fig. 3에서와 같이 라디에이터팬의 초기의 온도에 대한 결과값으로서 라디에이터로부터 방출되는 열을 직접 받는 만큼 폴리에틸렌과 알루미늄 둘 다 열을 직접 받는 팬부분에서는 최고 온도 80°C를 보이고, 라디에이터의 방출열을 직접적으로 받지 않는 팬 커버 부분에서는 폴리에틸렌이 더 낮은 온도를 보이고 있다. 이는 폴리에틸렌이 알루미늄에 비하여 열 전도율이 낮은 물성치라고 사료된다. 다음은 첫 번째 대류조건 즉 라디에이터의 방출열을 40°C로, 두 번째 대류조건을 23°C의 상온으로 변경 후에 시간을 30분으로 설정한 후, 라디에이터 팬이 서서히 식어가는 현상을 해석한 결과이다.

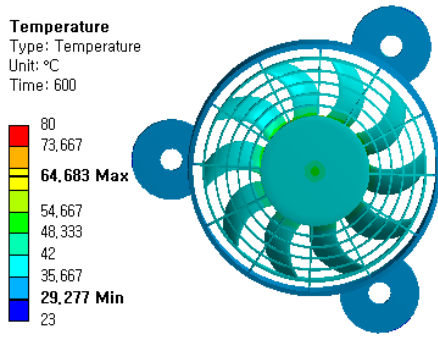
Fig. 4에서와 같이 재질을 폴리에틸렌으로 하였을 때, 라디에이터 팬이 식어가는 과정이다. 위에서부터 각각 600초, 1,200초, 1,800초로 10분씩 간격을 두고 해석 결과이며 팬의 중심으로부터 최외각 즉 마운팅부가 가장 먼저 식고 서서히 내측으로 온도가 낮아지는 모습을 볼 수 있다.

**Table 1 Material properties**

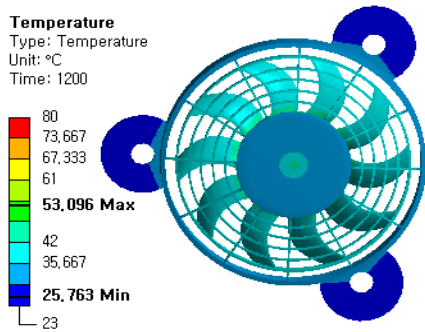
(a) Polyethylene	
Structural property	
Young's modulus	1.1 × 10 <sup>9</sup> Pa
Poisson's ratio	0.42
Density	950 kg/m <sup>3</sup>
Thermal Expansion	2.3 × 10 <sup>-4</sup> /C
Tensile Yield Strength	2.5 × 10 <sup>7</sup> Pa
Compressive Yield Strength	0 Pa
Tensile Ultimate Strength	3.3 × 10 <sup>7</sup> Pa
Compressive Ultimate Strength	0 Pa
Thermal property	
Thermal Conductivity	0.28 W/m°C
Specific Heat	296 J/kg°C
(b) Aluminum	
Structural property	
Young's modulus	7.1 × 10 <sup>10</sup> Pa
Poisson's ratio	0.33
Density	2770 kg/m <sup>3</sup>
Thermal Expansion	2.3 × 10 <sup>-5</sup> /C
Tensile Yield Strength	2.8 × 10 <sup>8</sup> Pa
Compressive Yield Strength	2.8 × 10 <sup>8</sup> Pa
Tensile Ultimate Strength	3.1 × 10 <sup>8</sup> Pa
Compressive Ultimate Strength	0 Pa
Thermal property	
Thermal Conductivity	0.28 W/m°C
Specific Heat	175 J/kg°C



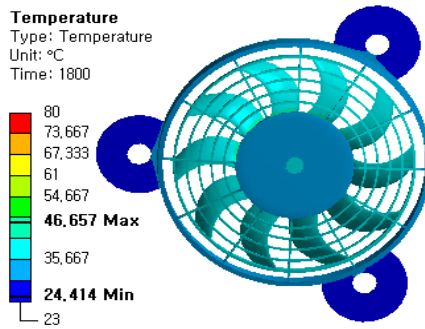
**Fig. 3 Temperature contour at initial condition of radiator fan**



(a) Elapsed time of 600 second



(b) Elapsed time of 1,200 second



(c) Elapsed time of 1,800 second

Fig. 4 Temperature contour at elapsed times of 600, 1,200 and 1,800 seconds of polyethylene radiator fan

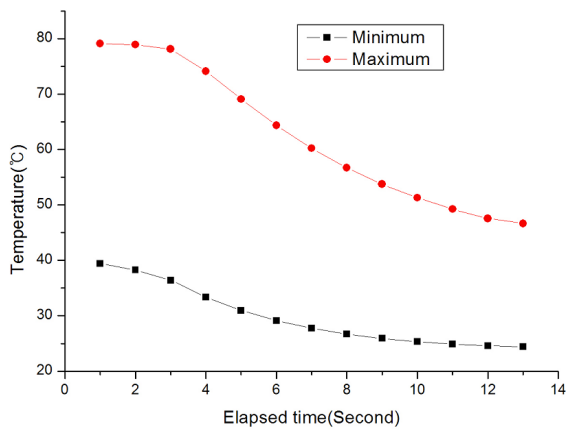
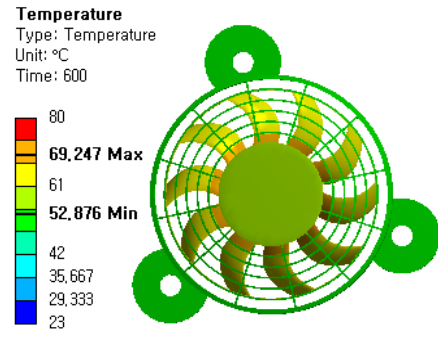
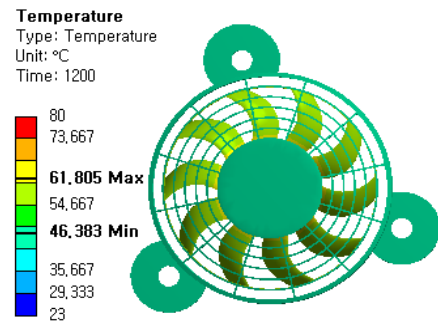


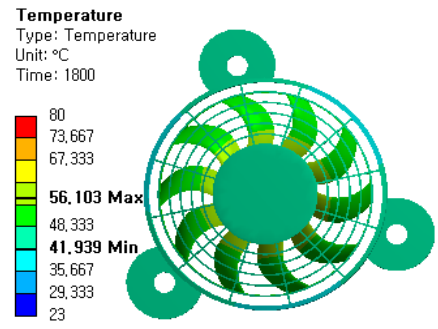
Fig. 5 Graph of temperature due to elapsed time at polyethylene radiator fan



(a) Elapsed time of 600 second



(b) Elapsed time of 1,200 second



(c) Elapsed time of 1,800 second

Fig. 6 Temperature contour at elapsed times of 600, 1,200 and 1,800 seconds of aluminum radiator fan

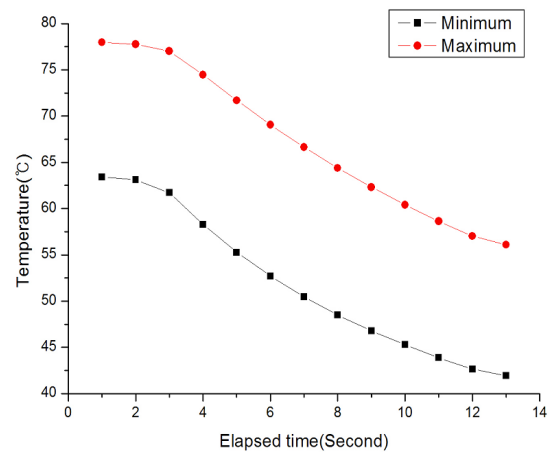


Fig. 7 Graph of temperature due to elapsed time at aluminum radiator fan

Fig. 5는 폴리에틸렌의 시간 경과시에 있어서의 온도 그래프이며, 그래프를 보면 가장 최대값은 초반부 서서히 완만하게 식다가 중반에 가서는 빨리 식는 반면에 최소값은 약 5분 가량까지는 빠른 속도로 식어가다가 상온에 근접하면서부터 최대값에 비해 식는 정도가 굉장히 더딘 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 재질을 알루미늄으로 하였을 때 라디에이터 팬이 식어가는 과정이다. 위에서부터 각각 600초, 1,200초, 1,800초로 10분씩 간격을 두고 해석한 결과이다. 폴리에틸렌의 경우는 최외각에서부터 서서히 식는 반면에 알루미늄은 통째로 식는 모습을 볼 수 있다.

즉 알루미늄은 하나의 덩어리 안에서는 열 분포가 균일하다. 또

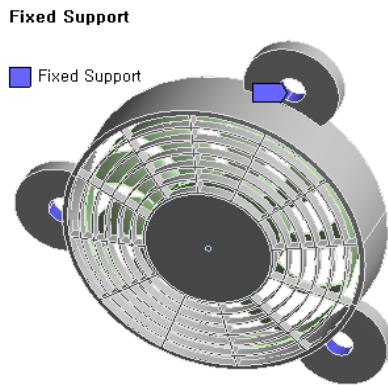


Fig. 8 Fixed condition

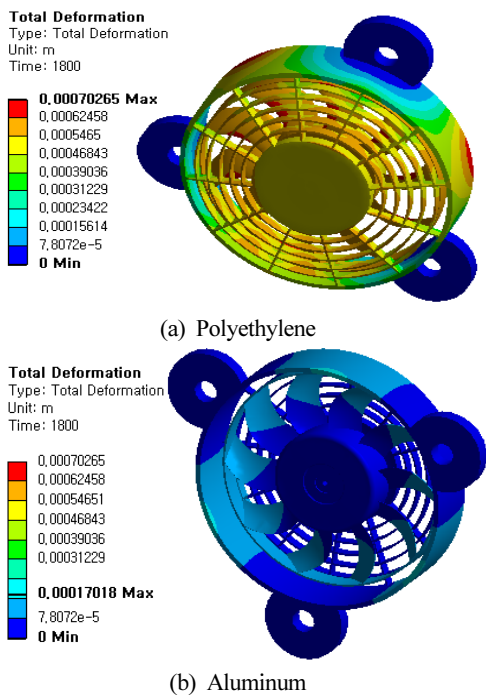


Fig. 9 Thermal deformation contours at elapsed time of 1,800 second of polyethylene and aluminum radiator fans

한 폴리에틸렌에 비하여 굉장히 식는 속도 또한 더디며 30분이 지난 최종모습도 폴리에틸렌에 비하여 최소 10°C 이상 높다. 따라서 열린 공간으로서의 앞에는 라디에이터와 뒤에는 엔진이라는 폐쇄적인 공간에서의 열 냉각력은 폴리에틸렌이 알루미늄보다 양호하였다.

Fig. 7은 알루미늄의 시간 경과시에 있어서의 온도 그래프이며 폴리에틸렌과는 다른 양상의 그래프이다, 폴리에틸렌에서는 최대값이 서서히 떨어지는 반면에 알루미늄은 최대값이 거의 직선으로 떨어진다. 또한 최소값도 폴리에틸렌에 비해 굉장히 선형으로 값이 측정된다. 최소값의 초기 온도가 높았음에도 불구하고 폴리에틸렌과는 다른 결과를 보여주고 있다.

다음으로는 실제와 같이 Fig. 8처럼 마운팅 되는 부분에 Fixed Support를 설정하여 1,800초인 최종 시간에 있어서의 열에 의한 변형량과 열응력 분포를 해석하였다.

Fig. 9는 폴리에틸렌 및 알루미늄에 있어 1,800초의 최종시간에 있어서의 열 변형량 분포를 나타내는 그림으로서 열에 의한 변화에서도 굉장히 많은 차이를 보여줬다. 폴리에틸렌에 경우에 있어 열에 의한 변형이 커버의 외측부와, 팬 부분에 굉장히 많은 힘을 받은 반면, 알루미늄의 경우에 있어 폴리에틸렌에 비하여 비교적 적은 열변형을 보여 주고 있다. 따라서 알루미늄이 폴리에틸렌에 비해서

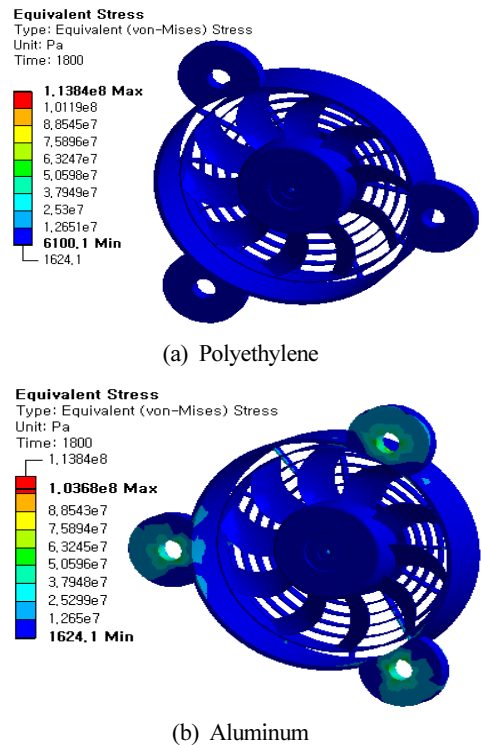


Fig. 10 Thermal equivalent stress contours at elapsed time of 1,800 second of polyethylene and aluminum radiator fans

열을 더 잘 전달 받고, 덜 방출을 했으나, 알루미늄은 폴리에틸렌에 비하여 열에 의한 변형이 상당히 적어 열내구성의 측면으로는 알루미늄이 더 양호하였다.

Fig. 10은 폴리에틸렌 및 알루미늄에 있어 1,800초의 최종시간에 있어서의 열 응력분포를 나타낸다. 이러한 열응력 분포 해석결과에서는 알루미늄의 경우가 폴리에틸렌의 경우보다 열응력이 다소 작아지는 것을 볼 수 있다. 결과적으로는 차량용 라디에이터에서는 알루미늄보다 무게가 가벼운 폴리에틸렌같은 비금속 플라스틱류 재질이 적합하다고 할 수 있다. 그러나 상당히 고온을 받아야 하는 상황이거나, 복잡한 관으로 된 경우는 알루미늄 팬 또한 폴리에틸렌 팬에 비하여 강도 내구성에서 양호한 면이 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 폴리에틸렌과 알루미늄 두 가지의 재질을 가지고 라디에이터 팬이 받는 온도와 시간당 열 방출선도, 열에 의한 응력 및 변형량을 해석하여 강도 내구성을 고찰하였다.

알루미늄이 폴리에틸렌에 비해서 열을 더 잘 전달 받고, 덜 방출을 했으나, 알루미늄은 폴리에틸렌에 비하여 열에 의한 변형이 상당히 적어 열내구성의 측면으로는 알루미늄이 더 양호하였으며, 열린 공간으로서의 앞에는 라디에이터와 뒤에는 엔진이라는 폐쇄적인 공간에서의 열 냉각력은 폴리에틸렌이 알루미늄보다 양호하였다.

따라서 차량용 라디에이터에서는 알루미늄보다 무게가 가벼운 폴리에틸렌같은 비금속 플라스틱류 재질이 적합하다고 할 수 있다.

그러나 상당히 고온을 받아야 하는 상황이거나, 복잡한 관으로 된 경우는 알루미늄 팬 또한 폴리에틸렌 팬에 비하여 강도 내구성에서 양호한 면이 있다.

#### References

- [1] Suh, Y. K., Heo, S.G., Kim, B. H., 2009, Numerical study on the coolant flow and heat transfer in the cylinder head assembly of an internal combustion engine, *Journal of Korean Society for Computational Fluids Engineering*, 14:1 9-17.
- [2] Lee, J. B., Park, C.G., 1996, A Study on the Prediction on the Performance in the Vehicle Cooling System, *Proceeding of 1996 Spring Conference*, 574-583.
- [3] Choi, M. S., Jeong, S. A., Jeong, S. W., Jun, G. W., 2009, Heat Performance Effect Study by Inlet & Outlet Spigot Location of Radiator, *Proceeding of KSAE 2009 Annual Conference*, 751-756.
- [4] Kang, H. C., Oh, H. S., Lim, M. G., Kong, T. Y., Park, S. W., Jung, S. A., 2011, Air side Pressure Drop, Heat Transfer and Drain Performance Enhancement of Louver Fin Heat Exchanger by Using Dimple, *Proceeding of KSAE 2011 Annual Conference*, 2093-2097.
- [5] Cho, J. U., Han, M.S., 2009, Thermal Analysis of Vehicle Radiator, *Journal of KSMPE*, 8:1 18-23.
- [6] Jeong, W. J., Lee, G. S., 2009, Cooling Performance Improvement of the Surface of the Water Cooling System in High Heat Flux, *Proceeding of 2009 KSME Thermal Engineering Department*, 213-216.
- [7] Lee, S.H., Jeong, I. J., Kim, D. E., Han, G.N., Hwang, Y.J., Lee, S.S., 2007, A Study of Thermal Stress Analysis Method by Transient Analysis, *Proceeding of 2007 KSME Autumn Conference*, 37-41.
- [8] Cho, J. U., Han, M.S., 2010, Thermal Stress Analysis on Exhaust System of Car, *Journal of KSMPE*, 9:1 42-48.
- [9] Kim, S. M., 2009, A Study on Thermal Analysis in Ventilated Disk Brake by FEM, *Journal of KSMTE*, 18:5 544-549.
- [10] Swanson, J., 2008, ANSYS 11.0, ANSYS Inc.,