

## 높이 축소형 고효율 냉각모듈의 성능 평가에 관한 연구

정 정 훈<sup>1)</sup> · 신 윤 혁<sup>1)</sup> · 박 성 옥<sup>2)</sup> · 정 순 안<sup>2)</sup> · 김 성 철<sup>\*1)</sup>

자동차부품연구원<sup>1)</sup> · 한리공조(주)<sup>2)</sup>

### Studies on the Performance Evaluation of Downsized High-efficiency Cooling Module

Jung Hun Jung<sup>1)</sup> · Yoon Hyuk Shin<sup>1)</sup> · Sung Wook Park<sup>2)</sup> · Sun An Jeong<sup>2)</sup> · Sung Chul Kim<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>KATECH, 74 Yongjeong-ri, Pungse-myeon, Cheonan-si, Chungnam 330-912, Korea

<sup>2)</sup>Halla Climate Control Corp., 1689-1 Sinil-dong, Daedeok-gu, Daejeon 306-230, Korea

(Received 10 January 2011 / Accepted 30 April 2011)

**Abstract** : The cooling module needs enough space (or distance) from hood to absorb the energy from any pedestrian collision. Downsized cooling module for pedestrian protection is important to reduce the severity of pedestrian injury. When a vehicle collision happens, the downsized cooling module is required to reduce the risk of injury to the upper legs of adults and the heads of children. In this study, the performance of cooling module to cool the engine was investigated under 25% height reduction. The heat dissipation and pressure drop characteristics have been experimentally studied with the variation of coolant flow rate, air inlet velocity and A/C operation ON/OFF for the downsized cooling module. The results indicated that the cooling performance was about 94% level compared to that of the conventional cooling module. Therefore, we checked that the cooling module had good performance, and expected that the cooling module could meet the same cooling performance as conventional cooling module through optimization of components efficiency.

**Key words** : Pedestrian protect(보행자 보호), Downsized cooling module(높이 축소형 냉각모듈), Cooling performance(냉각 성능), Radiator(라디에이터), Condenser(응축기), Fan module(팬모듈)

### 1. 서 론

전 세계의 선진 자동차 업체들은 최근에 차량 충돌시의 각 시스템 및 승객 안전성 뿐만 아니라, 보행자 보호성능을 확보하기 위하여 관련 기술을 적극적으로 개발하고 있다. 특히 국내실정의 경우, 차대 보행자 사고가 전체 교통사고 사망자의 약 40%를 차지하고 있으나, 이에 반하여 미국, 유럽, 일본의 경우에는 15%, 19% 및 27%에 불과하다.<sup>1)</sup> 이미 유럽에서는 EU 위원회와 유럽자동차제조업협회(ACEA)가 보행자 안전에 대한 법규 규정을 정하고 2005년

부터 Phase I을 적용하고 있으며, 이보다 엄격한 Phase II는 2010년부터 실시할 예정이다. 또한 일본에서는 2005년부터 우선적으로 보행자의 머리부위에 관하여 안전법규 규제를 시행하였다.

이러한 상기 규제를 만족하기 위해서, 보행자의 다리부위 상해를 줄이기 위한 방안으로는 차량의 전방에 위치한 Front End Module (FEM)의 냉각 모듈을 콤팩트 하게 설계하여 높이를 낮춤으로써, 보행자 충돌 시 충격에너지를 흡수하고 동일한 냉각 성능을 확보할 수 있는 고효율 냉각 모듈 개발이 절실히 필요하다.<sup>2)</sup> 또한 차체 높이를 낮추는 기술은 최근 활발히 연구되어지는 가솔린 다운사이징 기술과

\*Corresponding author, E-mail: sckim@katech.re.kr

도 연계하여 차량의 공력 성능 향상으로 이어져 연비 개선을 극대화하고 향후 5년 이내에 차량 연비를 20% 이상 향상시키는데 필요한 기술이다. 한편, 이와 같은 목표를 달성하기 위해서는 엔진룸의 컴팩트화가 이루어져야 하는데, 이는 냉각모듈을 통과하는 유동의 흐름에 불리한 환경을 조성한다. 연비 향상을 위한 공력 성능 개선과 엔진의 성능 확보를 위한 냉각 기술은 서로 상호 관계가 있으므로, 두 영역을 모두 고려하는 관점으로 접근해야 한다.<sup>3-5)</sup> 엔진 냉각을 담당하는 핵심 부품인 라디에이터 및 응축기 등을 포함하는 냉각모듈의 높이/두께를 축소 시킴으로써, 차체 높이를 낮추어 보행자 안전 성능을 확보함과 동시에 공력 성능 향상을 기대할 수 있으며, 부품 경량화도 가능하다. Ap<sup>6)</sup> 등은 냉각모듈의 성능 향상을 위한 개선 대상으로 팬모듈을 설정하였고, 전동 모터의 출력, 블레이드와 허브의 직경, 팬 쉬라우드 형상 등의 인자들에 대한 영향을 살펴 보았다.

따라서 라디에이터 및 응축기 등의 냉각모듈의 높이/두께를 축소시킴으로써 보행자 안전 및 부품 경량화에 기여할 수 있는 고효율 냉각모듈 개발이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 냉각모듈을 구성하고 있는 각 핵심 부품들에 대하여 설계 개선과정을 수행하고, 모듈 단위에서의 성능 평가를 통해 높이 축소형 고효율 냉각모듈에 대한 열전달 및 압력 강하 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 냉각모듈 각 요소 설계 개선

본 연구의 목표는 냉각모듈의 높이 25% 및 두께 20% 축소를 하면서도 기존과 동등한 성능을 확보하는 것으로 설정하였다. 냉각모듈의 레이아웃을 축소시키기 위해서는 구성품인 라디에이터, 컨덴서 및 팬모듈의 재배치가 필요하고, 각 구성 부품의 고효율화가 필수적이다. Min<sup>7)</sup> 등은 냉각모듈에서 가장 많은 공간을 차지하는 팬모듈 두께를 축소할 수 있는 방안으로 팬과 모터의 위치를 원래대로 두고 팬 블레이드로부터 열교환기까지의 거리(Fan to core)를 줄이는 것을 검토하였으나, 이는 풍량 감소를 야기시켜 성능 저하의 원인이 된다. 따라서, 팬모듈 두께 축소와 동시에 팬 블레이드로부터 열교환

기까지의 거리를 확보하기 위하여 팬과 모터의 조립 위치 변경 및 CFD 해석을 통한 형상 개선을 하였고, 시제품 제작 평가를 하여 기존 대비 동등 이상의 성능을 확보할 수 있었다.

### 2.1 라디에이터

적용된 방열 핀은 기존 흰 대비 높이를 30% 축소하여 핀의 밀도를 높여 방열 성능 향상을 도모하였으며, 핀의 굴곡부에 돌출된 딥플 형상을 추가하여 난류효과에 의한 공기와의 열전달 효율을 개선하도록 설계하였다. 냉각모듈 두께 축소를 위해서는 라디에이터 냉각수의 유동 통로인 튜브와 헤더의 조립 결합 방법을 변경한 신공법을 적용함으로써, 헤더에 조립되는 튜브를 축관하여 헤더의 두께를 최소화하였다. 이 때 냉각수의 유량 확보를 위해 튜브 단면적(즉, 튜브 폭)은 오히려 다소 증가되도록 설계하였다.

### 2.2 냉각팬

높이 축소형 라디에이터에 적합한 팬과 쉬라우드 패키지의 최적 사이즈를 결정하고, 이러한 팬 블레이드를 기준으로 풍량 개선을 위해 팬 블레이드의 파라미터 최적화 및 팬 밴드폭 축소를 통한 팬 블레이드 유효 직경을 가능 범위에서 증대하였다. 익형형상인 블레이드 단면 형상의 파라미터 최적화 작업(블레이드의 휘어진 정도, 블레이드 경사 등)을 진행하였다. 또한 팬 블레이드로부터 열교환기까지의 거리(Fan to Core) 길이가 증대 될수록 냉각팬 풍량이 증가하므로 역전 타입의 쉬라우드를 적용함으로써, 기존 비역전 타입의 쉬라우드 대비 팬 블레이드로부터 열교환기까지의 거리 길이를 추가 확보하였다.

### 2.3 팬모터

모터 효율 향상을 통해 추가적으로 팬모듈의 성능 향상을 도모할 수 있다. 하지만 팬모듈 경량화를 동시에 실현하기 위하여, 모터의 컴팩트화는 제품의 사이즈가 축소되는 만큼 성능저하가 불가피하다. 이를 보완하고 기존 대비 효율을 개선하기 위한 고자력 마그넷 재료의 사용과 코어 유닛의 설계 변

경을 채택하였다. 기존 마그넷 자속밀도 4,200에서 4400이상인 고자력 마그넷 재질 변경을 통해서 자속의 개선 효과를 증대시켰고, 모터 사이즈 축소로 인한 코어 적층높이 감소 때문에 성능 저하가 불가피하여 이에 대한 보완으로는 다소의 외경 증가 및 코일량 증대를 통하여 향상시켰다.

### 2.4 컨덴서

컨덴서 높이/ 두께 축소에 따라 중량 절감의 효과는 있으나 핀의 루버각 및 루버수 증대만을 적용하여 현 사양 대비 동등 방열 성능은 달성하기 어렵기 때문에, 이를 만족시키기 위해서 컨덴서측 헤더, 탱크를 콤팩트화함으로써 유효 열전달 면적 증대 및 핀/튜브 사양 최적화를 통한 추가적인 성능 향상을 검토하였다.

## 3. 실험 장치 및 방법

고효율 냉각모듈의 성능을 평가하기 위한 장비는 온습도 조절용 환경 챔버, 내부로의 라디에이터에 냉각수를 공급하기 위한 온수 공급장치, 냉각모듈 전면에서의 풍량을 공급 제어하기 위한 블로어와 풍량 측정을 위해 7개의 멀티노즐을 이용한 푸쉬 타입 풍동 등으로 구성된다. Fig. 1과 같이 풍동 시험부에 고효율 냉각모듈을 장착하고, 냉각수 유량 및 풍량 조절을 위한 제어가 설치되었으며, 측정된 값들은 데이터 수집 장치를 이용하여 컴퓨터에 저장할 수 있도록 구성하였다. 이러한 평가 장비의 상세 제원은 Table 1에 나타내었다. 환경 챔버의 온도 설정은 -35°C ~ 60°C까지 가능하며, 최대 냉각 용량은 114 kW이다. 또한 온수 공급시스템은 100°C의 물을 300 L/min까지 공급 가능하며, 풍량 공급은 푸쉬 타입의 블로어를 사용하였고 최대 풍량은 333 CMM이다. 고효율 냉각모듈의 냉각 성능을 평가하기 위한 장비를 활용하여, 냉각모듈의 기존 제품(Conventional Model) 및 기존 제품 대비 높이가 25%, 두께 12 mm 줄인 높이 축소형(Downsized Model)에 대한 성능 실험을 진행하였다. Fig. 2에서는 각각의 냉각모듈 사진을 보여주고 있으며, 공기측 온도를 측정하기 위하여 컨덴서 전면 12개, 라디에이터 전면 20개, 라디에이터 후면에 20개의 T-type 온도 센서를

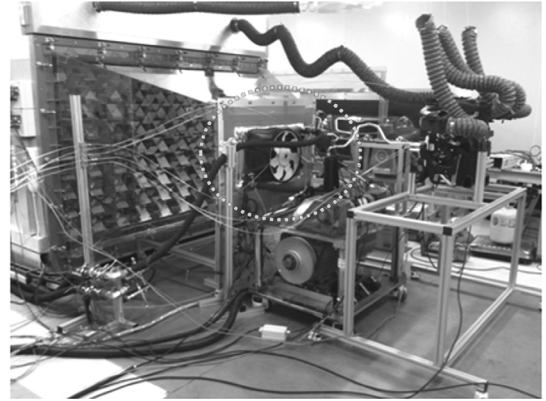


Fig. 1 The photo of cooling module performance tester

Table 1 The specifications of cooling module performance tester

Item		Value
Environment chamber	Outside dimensions	[W]8 m×[D]13 m×[H]3 m
	Temp. control range	-35°C ~ 65°C
	Cooling system	114 kW
	Water supply system	Max.100°C(@Max.300 l/min), 60 kW
Wind tunnel	Push type blower	Max. 333 CMM
	Test core size	[W]1,900 mm×[H]800 mm

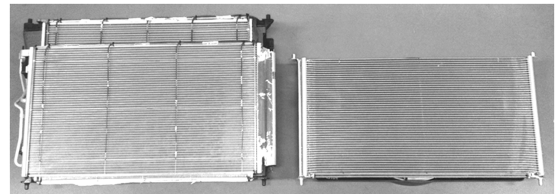


Fig. 2 The photo of conventional and downsized models

각각 설치하였다. 성능 평가용 냉각모듈의 제원은 Table 2에 각각 나타내었다. 결과로서 얻고자하는 냉각모듈 방열량은 라디에이터 입·출구 물 온도와 유량을 측정하여 계산되었고, 공기 풍속 및 물 유량에 따른 냉각모듈의 압력강하를 각각 측정하였다.

실험 조건은 KS 규격<sup>7)</sup>에 근거하였고, 각 기준 조건에서의 공기 풍속별, 물 유량별 냉각모듈의 방열 성능을 평가하였다. Table 3에 나타낸 바와 같이, 냉각모듈 전면에서의 풍속을 기준으로 2, 4, 6, 8 m/s로 변화시키고 물 유량의 경우에는 20, 40, 60, 80 L/min

Table 2 The specifications of cooling module components

Component		Specification
Radiator	Conventional	Core size(mm): 636×480×14 Fin pitch: 75 Number of tube: 65
	Downsized	Core Size(mm): 636×357×18.5 Fin pitch: 75 Number of tube: 47
Condenser	Conventional	Core Size(mm): 679×383.6×12 Fin pitch: 83 Number of tube: 54
	Downsized	Core Size(mm): 679×355.6×16 Fin pitch: 75 Number of tube: 50
Fan	Conventional	Diameter(mm): 460 Number of blade: 7 Motor power(W): 170
	Downsized	Diameter(mm): 370 Number of blade: 7 Motor power(W): 170

Table 3 Cooling module performance test conditions

Item	Conditions
Frontal air velocity [m/s]	2, 4, 6, 8*
Air inlet temp. [°C]	20
Engine coolant inlet temp. [°C]	80 (ITD: 60)
Engine coolant flow rate [l/min]	20, 40*, 60, 80

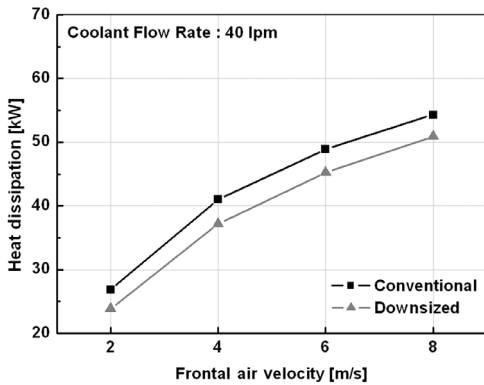
\* Standard condition

으로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 또한 냉각 모듈에서 에어컨 시스템의 작동 유무에 따라 컨덴서와의 열간섭을 고려한 실험조건을 설정하였다.

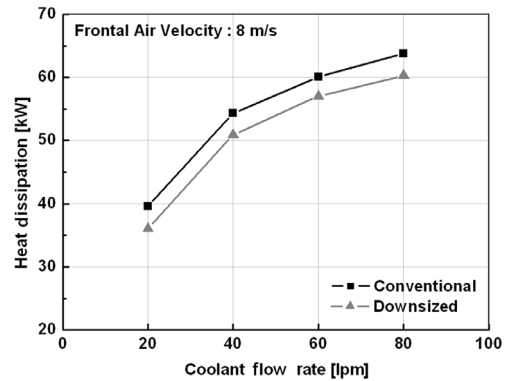
#### 4. 실험 결과 및 고찰

##### 4.1 높이 축소형 냉각모듈 성능 평가

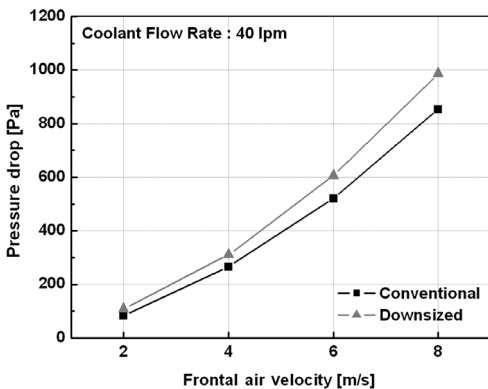
냉각모듈 기존 제품 및 높이 축소형에 대한 실험 결과로는 물 유량 40 L/min에서 공기 전면 풍속별 및 공기 전면 풍속 8 m/s에서 물 유량별 냉각모듈의



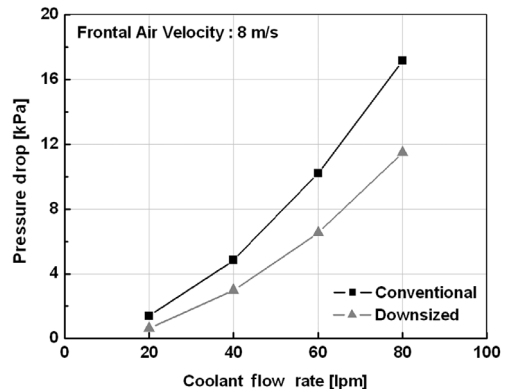
(a) Heat dissipation with the variation of frontal air velocity



(b) Heat dissipation with the variation of coolant flow rate



(c) Pressure drop with the variation of frontal air velocity



(d) Pressure drop with the variation of coolant flow rate

Fig. 3 Cooling performance of cooling module (conventional model and downsized model)

방열 성능을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)에서 알 수 있는 바와 같이, 동일한 물 유량 40 L/min 조건에서 공기 전면 풍속이 증가함에 따라 열저항이 감소하여 방열량도 증가하는데, 실험 조건의 최대 풍속인 8 m/s에서는 기존 제품 및 높이 축소형에 대하여 54.3 kW, 50.9 kW의 방열량을 각각 나타내었다. 이는 시제품의 경우 기존 대비 높이 25% 축소에도 불구하고, 냉각모듈 핵심부품들의 설계 개선 및 레이아웃 변경에 의해 기존 성능과 비교하여 94% 수준임을 알 수 있었다. Fig. 3(b)는 동일 풍속 8 m/s 조건에서 유량을 증가시키는 경우에도 방열량이 증가하였고, 물 유량이 80 L/min인 경우 기존 제품 및 높이 축소형에 대하여 최대 방열량 63.8 kW, 60.3 kW의 결과를 각각 나타내었다. 또한, Fig. 3(c), (d)에서는 실험 조건 변화에 따른 냉각모듈의 압력 강하를 나타내었으며, 풍속과 유량이 증가할수록 유동 저항이 급격히 상승하는 것을 알 수 있다. 특히 기준 실험 조건인 풍속 8 m/s, 유량 40 L/min에서 기존 대비 높이 축소형의 경우 공기 측은 16% 증가하였고, 반면 물 측은 38% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 공기 측의 경우 풍속 증가와 더불어 핀 전열면적 증가 때문이고, 물 측의 경우에는 물 유로 단면적이 다소 증가하였기 때문으로 생각된다.

Fig. 4는 공기 풍속 8 m/s, 물 유량 40 L/min 실험 조건에서 라디에이터 후면의 온도 분포를 나타낸 것으로, 라디에이터가 횡단류 타입인 이유로 입구에서 출구 방향으로 갈수록 온도가 감소하며, 팬 쉬라우드의 영향으로 블레이드 근처 영역에서 좀 더 낮은 온도 분포를 보인다. 이러한 경향은 두 모델에서 공통적인 것으로 파악되며, 높이 축소형 모델의 경우에 방열 코어면적이 25% 줄었지만 방열 밀도가

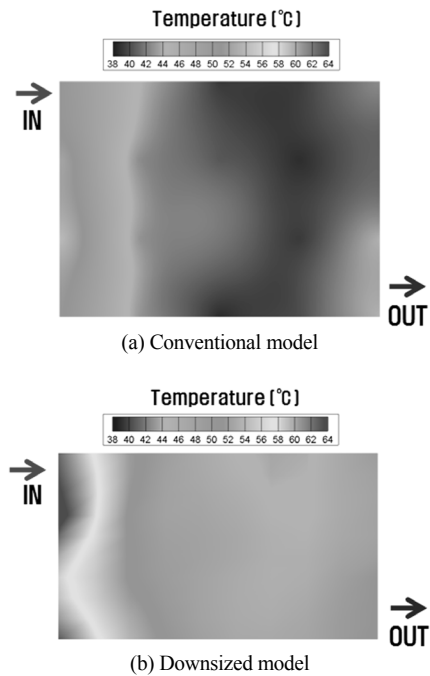


Fig. 4 Temperature distribution behind radiator (@ 8 m/s, 40 l/min)

증가하여 전체적으로 기존 모델보다 높은 온도분포 양상을 보이는 것으로 여겨진다.

Table 4에서는 높이 축소형 라디에이터 단품과 냉각모듈에 대하여 성능 결과를 비교한 것으로서, 물 유량 40 L/min 조건에서 공기 풍속 변화에 따른 방열량과 압력강하를 각각 나타내었다. 라디에이터 단품과 비교하여, 냉각모듈인 경우 공기 풍속의 전 범위(2 ~ 8 m/s)에서 방열량은 약 5% 감소하였고, 반면 압력 강하는 3.5배 가량 증가하는 것으로 나타났다. 이는 라디에이터와 냉각모듈 입구에서의 유속이 동일한 조건에서, 냉각모듈의 경우 유동저항

Table 4 Performance comparison of radiator and cooling module for downsized model at 40 l/min

Performance air Velocity (m/s)	Heat dissipation (kW)		Heat dissipation decrement (%)	Air-side pressure drop (Pa)		Water-side pressure drop (kPa)	
	Radiator	Cooling module		Radiator	Cooling module	Radiator	Cooling module
2	24.7	23.8	3.5	34.9	108.9	3.1	2.9
4	39.1	37.1	4.9	98.3	310.5	-	-
6	47.7	45.2	5.2	183.5	605.8	-	-
8	53.7	50.9	5.0	290.1	987.7	-	-

의 영향으로 방열량이 감소되었고, 컨덴서 및 팬모듈의 추가로 인해 압력강하가 더 발생된 것으로 생각된다.

### 4.2 A/C 작동에 의한 영향 평가

Fig. 5는 유량 40 L/min 조건에서 에어컨을 작동시켰을 때의 냉각모듈 성능을 평가한 것이다. Fig. 5(a), (b)에서 알 수 있는 바와 같이, 기존 모델 및 높이 축소형에서 에어컨 미작동시 보다 에어컨 작동시에 냉각모듈의 방열성능은 약 5.0%, 6.7% 각각 감소하였다. 이는 에어컨 시스템이 작동하면서 컨덴서의 토출공기 온도가 상승하여 라디에이터 입구로 유입되는 공기온도를 증가시켜 상호 열간섭에 의한 영향 때문이다. 또한 높이 축소형의 경우에는 축소형 모듈을 통과하는 전체 공기량이 감소하여 상대적으로

로 컨덴서를 통과한 공기온도(라디에이터 입구 공기온도)가 증가한 이유로 감소율이 더욱 커진 것으로 판단된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 보행자 보호성능, 특히 성인 상부 다리 및 어린이 머리의 상해 정도와 밀접하게 연관되어 엔진룸 내 FEM의 전체 높이를 낮추기 위한 높이 축소형 고효율 냉각모듈 개발을 목표로 삼았다. 이러한 냉각모듈의 각 주요부품에 대한 설계 개선을 통한 냉각모듈 형상 변경(높이 축소 적용) 전, 후 모델의 냉각 성능 평가를 진행함으로써, 높이 축소형 냉각모듈의 방열 성능을 검토하였으며, 본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 높이 축소형 냉각 모듈의 핵심 기술은 고효율 열교환기 기술과 고효율 냉각팬 및 모터 개발이며, 이러한 요소 기술들을 적용하여 각 주요부품에 대한 형상설계 뿐만 아니라 소재 변경을 통해 단품 설계 개선을 하였다.
- 2) 기존 모델에 비해 높이 25% 축소에도 불구하고, 높이 축소형 냉각모듈의 전열성능은 기존과 비교하여 94% 수준임을 알 수 있었다.
- 3) 에어컨 미작동시 보다 에어컨 작동시에 높이 축소형 냉각모듈의 방열 성능은 축소형 모듈을 통과하는 전체 공기량이 감소하여 상대적으로 컨덴서를 통과한 공기온도(라디에이터 입구 공기온도)가 증가한 이유로 상호 열간섭이 증가함으로써, 기존 모델과 비교하여 약 1.3% 더 감소하였다.
- 4) 높이 축소형 냉각모듈은 전 운전범위에서 좋은 열전달 성능을 나타내었으며, 압력강하도 대체적으로 양호한 수준임을 알 수 있었다. 향후 냉각모듈 최적화에 있어, 이러한 실험 결과는 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부가 지원하는 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행되었다. 도움을 주신 관계자 여러분께 감사하는 바이다.

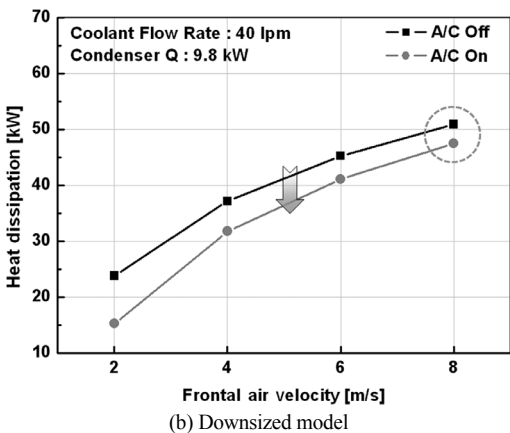
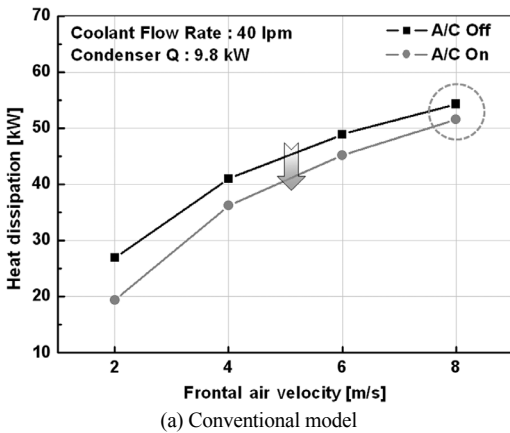


Fig. 5 Heat dissipation of cooling module with respect to A/C operation ON/OFF

**References**

- 1) Construction & Transportation R&D Report, The Korea Transport Institute, 2008.
- 2) R&D Planning Final Report, Ministry of Knowledge Economy, 2009.
- 3) R. Singh and F. Shen, "CFD-based Robust Optimization of Front-end Cooling Airflow," SAE 2007-01-0105, 2007.
- 4) C. H. Lee, Y. N. Kim and J. P. Ha, "Influence of CRFM Baffle on Front End Airflow and Aerodynamic Drag," Annual Conference Proceedings, KSAE, KSAE09-A0128, 2009.
- 5) H. Jama, S. Watkins and C. Dixon, "Reduced Drag and Adequate Cooling for Passenger Vehicles Using Variable Area Front Air Intakes," SAE 2006-01-0342, 2006.
- 6) N. S. Ap, P. Guerrero and P. Jouanny, "Influence of Fan System Electric Power on the Heat Performance of Engine Cooling Module," SAE 2003-01-0275, 2003.
- 7) KS R 1043, Heat Dissipation Test Method of Radiators for Automobiles, Korean Standards Association, 2005.