

<기술논문>

CFD를 이용한 연료전지 차량 레이아웃 최적화

김정일* · 전완호 · 조장형

세딕(주) 기술연구소

Engine Room Layout Design Optimization of Fuel Cell Vehicle Using CFD Technique

Jungill Kim* · Wanho Jeon · Janghyung Cho

R&D Center, CEDIC Co., Ltd., #1202, 1206, ACE Highend Tower 3, 371-50 Gasan-dong, Geumcheon-gu, Seoul 153-787, Korea

(Received 28 September 2010 / Accepted 18 January 2011)

Abstract : This paper deals with engine room layout design optimization of fuel cell electric vehicle (FCEV), which has been proposed as a potential alternative to fossil fuel depletion. Investing the great R&D efforts, the global vehicle manufacturers, especially Honda motor corporate, have shown not prototype vehicle but commercial vehicle using fuel cell in the market recently. In this paper, we analyze cooling performance and flow characteristic in the engine room of newly FCEV, in addition we suggest the optimization process for engine room layout design optimization.

The two radiators in the vehicle for fuel cell stack and electronic components cooling have been analyzed and their performance are obtained in terms of cooling performance ratio (CPR). The value of CPR should always be less than one and based on criteria, we have achieved the optimum cooling performance of radiators for stack and electronic components. Aerodynamic performance is evaluated in terms of drag coefficient, improved through underbody modification using air devices.

Key words : CFD(전산유체역학), Engine room(엔진 룸), Layout design(레이아웃 설계), FCEV(연료전지차량), Optimization(최적화), Cooling(냉각), CPR(Cooling Performance Ratio), Aerodynamic(공력)

1. 서론

지구 온난화 및 온실 가스는 최근 몇 년 사이에 급속히 증가하여 환경에 매우 심각한 문제를 야기하고 있으며, 차량에서 배출되는 배기가스 또한 주요한 요인으로 인식되고 있다. 따라서, 이를 방지하기 위한 목적으로 세계 각국에서는 차량에서 배출되는 배기가스 규제를 점차 강화하고 있는 추세이며, 이에 따라 차량 제작 업체에서는 경쟁력 향상 및 규제에 대한 대응으로 대체 연료, Hybrid 차량 및 연료전지 차량에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

이 중 무공해 차량인 연료전지 차량은 내연기관

에 비해 높은 에너지 효율과 연소를 필요로 하지 않는 장점 때문에 미래형 차량으로 인식되고 있다.¹⁾ 이에 따라 각국의 에너지 관련 기관 및 차량 제작 업체에서는 연료전지 차량의 개발을 위해 많은 비용 및 시간을 투자하고 있으며, 이미 Honda(주)를 비롯한 몇 개 업체에서는 양산이 가능한 수준까지 개발을 완료하였으며, 특히 Honda(주)의 경우 2009년부터 일본과 미국에 리스 판매를 실시하고 있다.²⁾

수소를 연료로 사용하는 연료전지 차량은 기존 내연기관 파워트레인(엔진, 배기계, 흡기계, 연료계 등)을 대체해 전기에너지를 생산하는 스택, BOP 시스템(수소 및 공기 공급 장치, 열 및 물 관리 장치(TMS)), 수소 저장 시스템, 구동용 모터, 고전압 전

*Corresponding author, E-mail: jikim@cedic.biz

력 분배기(HVPD)등으로 구성되어 있다. 연료전지 차량의 경우 이와 같은 많은 부품들을 엔진 룸 내에 장착하여야 하기 때문에 최적화된 레이아웃 구성이 요구된다.

연료전지는 전해질에 따라 고분자(PEM; Proton exchanger membrane), 액체 인산염(PA; Phosphoric acid), 혼합 용융 탄산염(MC; Molten carbonate) 및 고체 산화물(SO; Solid oxide) 연료전지로 구분된다. 이중 PEMFC가 출력 변동이 용이하고, 소형화가 가능하다는 장점 때문에 미래형 차량의 에너지원으로 인식되고 있으나,³⁾ 차량 부하에 따른 전열량이 크고, 연료전지 Stack의 작동 온도가 80°C 이하로 매우 낮기 때문에 내연기관 대비 냉각 부하 증가할 뿐 아니라 고전압 전장 부품들에 대한 냉각이 추가로 요구되므로 엔진 룸 레이아웃 구성이 차량 설계에 있어 매우 중요하다.

이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 연료전지 시스템 분야에서는 Stack의 작동 온도 증가를 위한 많은 연구가 진행되고 있다. Honda(주)의 경우 방향족의 전해질(Aromatic electrolyte)을 Membrane에 적용하여 최적 작동 온도를 95°C까지 증가시켰으며,⁴⁾ Volkswagen(주)의 경우는 액체 인산염 전해질(Phosphoric acid electrolyte)를 사용하여 작동 온도를 120°C까지 향상시켰다⁵⁾고 보고하고 있다. 차량 관련 분야에서는 차량의 성능을 위한 개발에 치우치고 있지만, 실제 차량 성능에서 중요한 부분을 차지하는 엔진 룸 내 Layout 구성 및 냉각시스템의 구성에 관한 연구는 미미한 실정이다.

따라서, 이 연구의 목적은 연료전지 차량의 냉각 성능을 평가하고, 엔진 룸 내 유동 특성을 분석하여 엔진 룸 레이아웃 관련 설계인자들에 대한 기여도를 평가하는 데 첫 번째 목적이 있다. 또한, 레이아웃 관련 설계인자들의 최적화를 통해 적절한 위치에 부품을 배치함으로써 열유동 특성이 최적화된 엔진 룸 레이아웃 제시하는데 두 번째 목적이 있다.

마지막으로 CFD를 이용한 엔진 룸 레이아웃 설계 최적화 Process를 구축하는데 또 다른 목적이 있으며, 향후 개발될 연료전지 차량 엔진 룸 레이아웃 설계 Process를 구축하여 효율적인 차량 설계를 이 연구를 통해 제시할 것이다.

2. 연료전지 차량 개발 동향

무공해 차량 개발의 일환으로 각국의 자동차 업체에서는 2000년대에 들어 수소를 연료로 한 연료전지 차량 개발에 많은 시간과 노력을 투자하고 있으며, 많은 Proto type의 연료전지 차량을 경쟁적으로 발표하고 있으며, Table 1에 현황을 나타내었다.

Table 1에서와 같이 현재까지 발표된 Proto type의 차량은 연료전지 시스템의 성능 평가에 관점을 두고 개발되었으며, 엔진 룸 패키지 관점 및 양산화 관점에서 차량을 개발한 연구는 거의 진행되지 않고 있으나 2009년에 Honda(주)에서 전세계 최초의 양산형 연료전지 차량을 개발하여 “FCX-Clarity”라는 명칭으로 미국과 일본에 리스 판매²⁾를 시작하였다.

Fig. 1에 Honda(주)의 “FCX-Clarity” 차량을 나타내었다. Honda(주)의 양산형 연료전지 차량인 “FCX-Clarity”의 레이아웃 특징은 연료전지 시스템의 모듈화 및 부품의 소형화, 연료전지 스택의 개발로 차량 하체 공간의 효율적인 이용 및 냉각 시스템의 모듈화로 대표할 수 있으며, Fig. 2에 그 특징을 나타내었다.

FCX-Clarity 차량에서 가장 큰 레이아웃의 장점은 구동 모터, 모터 제어기 및 고전압 분배기 등과 같은 전장 부품들을 모듈화하여 전체 부피를 약 24% 절감하고 냉각시스템을 모듈화하여 여유 있는 엔진 룸 공간을 확보한 것이다. 이 결과로 엔진 룸 내 구성 부품들의 배치에 대한 설계 자유도를 증가시켰으며, 조립 공정을 간소화함으로써 양산성을 개선하였다.

FCX-Clarity 차량에서 가장 큰 레이아웃의 장점은 구동 모터, 모터 제어기 및 고전압 분배기 등과 같은 전장 부품들을 모듈화하여 전체 부피를 약 24% 절감하고 냉각시스템을 모듈화하여 여유 있는 엔진 룸 공간을 확보한 것이다. 이 결과로 엔진 룸 내 구성 부품들의 배치에 대한 설계 자유도를 증가시켰으며, 조립 공정을 간소화함으로써 양산성을 개선하였다.

또한, Fig. 2(b)와 같이 V-Flow 연료전지 스택을 개발함으로써 기존 엔진 차량의 배기계가 위치하는 공간에 FC 스택을 장착하여 중량 배분에서도 개선 효과를 얻을 수 있었으며, 부가적으로 차체 하부 평

Table 1 A trend of the FCEV development⁶⁻⁸⁾

	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
DCX	◆NECAR 1	◆NECAR 2	◆NECAR 3	◆NECAR	◆Jeep Commander 2	◆Adv NECAR 4	◆NECAR 5.2	◆Sprinter	◆Natrium	★FC600 Hygenius							
GM			◆Sintra	◆Zafira	◆Precept FCEV	◆Hydrogen 1	◆Hydrogen 3	◆Chevy S-10	◆AUTOonomy	◆HY-wire	◆Adv Hydrogen 3	★Sequel			★Equinox FCEV		
FORD						◆P2000 HFC	◆Mazda Premacy	◆Focus FC5	◆Focus FCV			★Focus FCEV					
TOYOTA			◆RAV4 FCEV	◆RAV4 FCEV			◆FCHV 3	◆FCHV 4	◆FCHV 5	●FCHV	★Fine-S	★Fine-N			★Fine-X		
HONDA						◆FCX-V1	◆FCX-V2	◆FCX-V3	◆FCX-V4	●FCX	◆Kiwami			★Fine-Concept		★Clarity	
NISSAN							◆Xterra FCV	◆X-TRAIL FCV	◆X-TRAIL FCV						★X-TRAIL FCV		
HMC							◆Santa Fe FCV	◆Santa Fe FCV					◆Sportage FCV	★Tucson FCV			

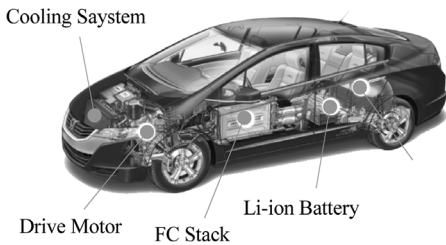
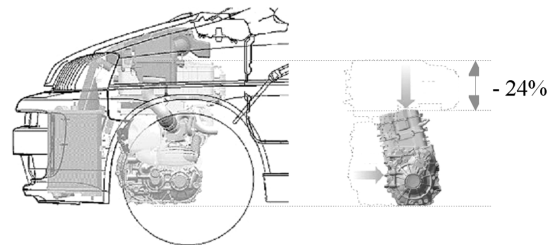


Fig. 1 Package layout of FCX-Clarity in Honda Motor Co.

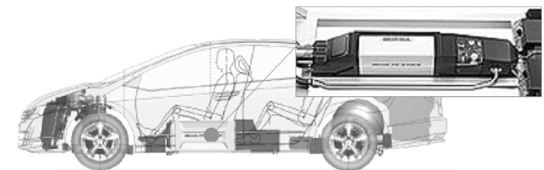


(a) System modulation and miniaturization

탄화를 통해 공력 성능을 향상시켰다.

현대자동차(주)는 2000년대 초에 국내 최초의 연료전지 차량인 Santa Fe FCEV를 개발한 이후 비교적 짧은 개발 기간에도 불구하고, 많은 연구 성과를 발표하고 있다.

Tucson FCEV의 경우 100kW급 연료전지를 사용해 최고 속도 150KPH, 항속 거리 400km 수준으로 개발을 완료하였다.⁹⁾ 그러나, 연료전지 시스템의 출력 밀도가 낮은 수준으로 내연기관 대비 사이즈 및 중량이 증대되어 시스템을 장착하기 위한 엔진 룸 패키지 및 중량 배분 문제를 내포하고 있어 시스템



(b) Underbody space utilization using V-Flow FC stack
Fig. 2 Characteristic of layout in FCX-Clarity

냉각에 많은 어려움을 내포하고 있다.

Fig. 3에 나타낸 Tucson FCEV 차량의 레이아웃은 연료전지 스택을 엔진 룸 내에 배치하고, 고전압 전장 부품들을 차체 하부에 배치하였다. Tucson FCEV



Fig. 3 Fuel cell system package layout of Tucson FCEV in Hyundai Motor Co.

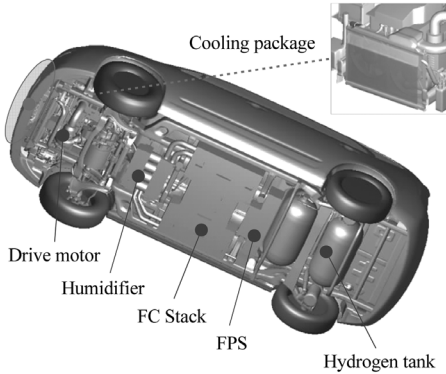


Fig. 4 Package layout concept of fuel cell vehicle

차량은 기존 내연기관 차량을 이용하여 최소한의 개조만으로 차량을 제작해야 하는 제약과 내연기관에 비해 많은 부품을 엔진 룸 내에 장착함으로써 전후륜 중량 배분의 불균형 및 정비성에 취약한 문제를 가지고 있고, 엔진 룸 내 열유동 특성 악화 문제 또한 가지게 되어 양산 수준에 미치지 못하였다.

본 연구에서는 카렌스 차량을 기본으로 양산화가 가능한 레이아웃을 개발하기 위해 연료전지 스택 및 연료전지 일부 부품들을 차체 하부에 장착하고, 스택의 열관리를 위한 펌프, 히터, 이온 제거기 등을 모듈화한 TMS(Thermal Management System)와 고전압 전장 부품들을 엔진 룸에 장착하였으며, Fig. 4에 개략적인 레이아웃이 나타내었다.

Fig. 4와 같은 레이아웃의 개선을 통해 Tucson FCV 차량 대비 엔진 룸 내 공간 활용도를 높이고, 차량 무게 중심의 하향화 및 전후륜 중량 배분을 50:50에 가깝도록 레이아웃을 설계하여 차량의 성능이 최적화 될 수 있도록 하였다.

3. 현재 차량 냉각 및 공력 성능 평가

이 연구에서는 연료전지 차량의 성능을 평가하기 위해 냉각 및 공력 성능에 대해 CFD를 이용한 해석을 수행하였으며, 차량의 주행 조건은 현대자동차(주)의 풍동 시험 조건인 냉각의 경우 50KPH 및 100KPH, 공력의 경우 140KPH 조건에서 해석을 수행하였다.

해석을 위해 약 12,000,000개의 격자를 사용하여 UH3D S/W를 이용 냉각 해석을 수행하였고, 공력 해석은 SC/Tetra V.7.을 이용하였으며 60,000,000개 격자를 사용하였다.

냉각 성능을 평가하기 위한 지표로 이 연구에서는 CPR(Cooling Performance Ratio)¹⁰⁾ 지수를 이용하였으며, 다음과 같이 표현된다.

$$CPR = \frac{\text{실차냉각수온}}{\text{설계만족냉각수온}}$$

즉, CPR이 1.0이하인 경우 설계 만족 수준에 도달하였다고 할 수 있으며, 1.0 이상인 경우 설계 불만족이라는 것을 의미한다.

3.1 전장 및 스택 냉각 성능

현재 차량의 냉각 성능은 엔진 룸 내 부품의 밀집의 영향으로 Table 2에 나타난 것처럼 CPR이 전장의 경우 1.163, 스택의 경우 1.170으로 기본 성능을 만족시키지 못하고 있다.

연료전지 차량의 기본 냉각 성능을 만족시키지

Table 2 Assessment of cooling performance for engine room layout compartment parts

	Base	개선 1	개선 2	개선 3	개선 4	개선 5	개선 6
구성도							
개선 내용	-	Sealing 추가	부품 제거	Blower 제거	TMS 20mm	UCVR 제거	Grille 수정
Aux. rad. CPR	1.163	1.108	1.156	1.162	1.161	1.170	1.089
Stack rad. CPR	1.170	1.137	1.166	1.170	1.169	1.177	1.149

못했을 경우 스택의 효율 감소로 차량에서 필요로 하는 출력을 얻을 수 없으므로 현재 차량의 스택 효율 극대화를 통한 출력 증대를 위해 엔진 룸 레이아웃 최적화를 통한 성능 개선이 필요하다.

3.2 공력 성능

현재 차량의 공력 성능은 기본 플랫폼인 카렌스 엔진 차량과 비교하여 약 20% 정도 항력이 증가하기 때문에 연비 측면에서 매우 불리하다.

항력 증가의 원인은 연료전지 관련 부품들을 차체 하부에 장착함으로써 Fig. 5와 같이 공기 유동이 심하게 교란되기 때문이며, Undercover 설치 및 형상 개선을 통해 하체 유동을 제어함으로써 목표 성능을 만족시킬 수 있다.

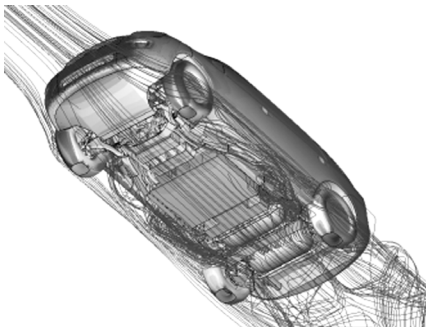


Fig. 5 Air flow pattern around vehicle and underbody

그러나, 이 연구의 주된 관심사가 엔진 룸 레이아웃 최적화이므로 공력 성능 개선에 관한 연구는 이 논문에서 제외하였으며, 공력 성능에 대한 연구 결과는 타 논문을 통해 발표할 것이다.

4. 엔진 룸 레이아웃 최적화

엔진 룸 레이아웃 최적화는 DFSS(Dedign For Six

Sigma) 기법을 적용하여 수행하였으며, 스택 Radiator의 경우 영점 비레 등식의 동특성을 이용하였고, 전장 Radiator의 경우 정특성의 망목 특성을 이용하였다.

4.1 설계 인자 및 노이즈 조건

엔진 룸 레이아웃 최적화를 위한 설계 인자 선정을 위해 냉각계 및 엔진 룸 레이아웃 관련 인자들에 대해 해석을 통해 성능을 평가하였으며, Table 2와 Table 3에 그 결과를 나타내었다.

Table 2에서와 같이 냉각 성능에 지배적인 영향을 주는 엔진 룸 레이아웃 관련 인자는 냉각계의 기밀 유지를 위한 Sealing, TMS 위치 및 Grille 형상 등으로 나타났으며, Sealing은 설계에서 기본적으로 채용하며, Grille 형상은 차량 디자인에 관련된 인자이므로 제외하고, TMS 위치를 주 인자로 설정하였다.

Table 3의 결과와 같이 냉각계 사양 또는 위치는 냉각 성능에 매우 중요한 인자이며, 특히 충돌 성능 등을 고려하여 2열 냉각계 배열을 위주로 최적화를 진행하였다.

이와 같은 선행 해석 결과를 바탕으로 Table 4와 같이 최적화를 위한 인자 및 Level을 선정하였으며,

Table 4 Design parameter for engine room layout design optimization

Design parameter	1Level	2Level	3Level
A 열교환기 1/2열 거리	15mm	20mm	-
B Stack rad. / Fan 거리	42mm	47mm	52mm
C Aux. rad. / Cond. 배열	Cond. 전	Cond. 상	Cond. 하
D 냉각계 Tilting	0°	5°	10°
E TMS H 방향 위치	20mm	30mm	40mm
F TMS T 방향 위치	Base	-20mm	+20mm
G TMS 하단 형상	없음	45°40mm	60°40mm
H Undercover 형상	Full	50% 축소	75% 축소

Table 3 Assessment of cooling performance for heat exchanger array

	Base	개선 7	개선 8	개선 9	개선 10	개선 11
구성도						
개선 내용	-	3열 전장 상부	2열 전장 상부	3열 전장 하부	2열 전장 하부	3열 전장 중앙
Aux. rad. CPR	1.163	0.978	0.866	0.781	0.783	1.041
Stack rad. CPR	1.170	1.200	1.170	1.195	1.186	1.170

Table 5 Noise condition for layout design optimization

노이즈		조건	외기온 40°C
N1	Good condition	100 KPH	
N2	Poor condition	50 KPH	

신호 인자는 연료전지 시스템의 BOL(Begin of life) 조건과 EOL(End of life) 조건을 고려하기 위해 30kW와 40kW로 연료전지 Stack의 방열량을 설정하였다. 또한, 강건 설계를 위해 50KPH 및 100KPH 주행 조건을 노이즈 조건으로 설정하였으며, Table 5에 나타내었다.

4.2 엔진 룸 레이아웃 최적화 결과

이 연구에서는 L18(21×37) 직교좌표계를 이용하여 최적화를 수행하였으며, 직교좌표계 구성 후 각 인자의 영향도 평가를 위해 Feasibility 해석을 수행하였으며, Table 6에 그 결과를 나타내었다.

Table 6에서와 같이 Good 조건과 Bad 조건에 대해 평가한 결과 S/N 및 β 값의 변화가 나타나므로 본문에서 설정한 설계 인자 및 노이즈 조건은 타당하며, 최적화가 가능할 것으로 판단되므로 L18 직교좌표계에 대한 해석을 진행하였으며, 그 결과를 Table 7에 나타내었다.

S/N과 β 값에 대한 분석 결과를 Fig. 6에 나타내었으며, 산포가 크기 않기 때문에 최적인자 선정을 β 값(기울기)이 최소인 경우를 최적화 모델로 선정하였으며, 이에 대한 결과를 Table 8에 나타내었다.

Table 8과 같은 최적안 적용 시 스택 Radiator의 경우 1% 산포 저감 및 1% 성능 향상, 전장 Radiator의 경우 5% 산포 저감 및 17% 성능 향상이 될 것으로 예측되었으며, CPR 지수는 스택 Radiator의 경우 1.143, 전장 Radiator의 경우 0.863으로 예측되어 현재 차량 대비해 각각 0.027, 0.300 향상될 것으로 예측되었다. 최적화 결과의 성능 평가를 위해 Fig. 7과 같이 차량을 구성하였다.

Table 6 Results of feasibility test for design optimization

DFSS	M1		M2		S/N	β
	N1	N2	N1	N2		
L1	0.960	1.060	1.092	1.222	-11.453	2.450
L15	0.954	1.054	1.085	1.213	-11.493	2.435
L17	0.956	1.056	1.087	1.217	-11.519	2.439

Table 7 DFSS results for stack cooling

DFSS	M1		M2		S/N	β
	N1	N2	N1	N2		
L1	0.960	1.060	1.092	1.222	-11.453	2.450
L2	0.969	1.071	1.105	1.236	-11.417	2.478
L3	0.957	1.057	1.089	1.218	-11.499	2.443
L4	0.956	1.058	1.088	1.219	-11.527	2.442
L5	0.960	1.061	1.092	1.223	-11.506	2.452
L6	0.965	1.068	1.099	1.227	-11.522	2.465
L7	0.953	1.053	1.083	1.212	-11.523	2.431
L8	0.962	1.061	1.095	1.223	-11.423	2.455
L9	0.961	1.061	1.094	1.223	-11.430	2.453
L10	0.977	1.079	1.114	1.247	-11.366	2.497
L11	0.965	1.066	1.098	1.229	-11.453	2.464
L12	0.958	1.059	1.090	1.220	-11.494	2.446
L13	0.959	1.057	1.091	1.217	-11.414	2.444
L14	0.980	1.083	1.117	1.252	-11.415	2.507
L15	0.954	1.054	1.085	1.213	-11.493	2.435
L16	0.959	1.055	1.091	1.215	-11.373	2.442
L17	0.956	1.056	1.087	1.217	-11.520	2.440
L18	0.964	1.064	1.098	1.227	-11.420	2.461

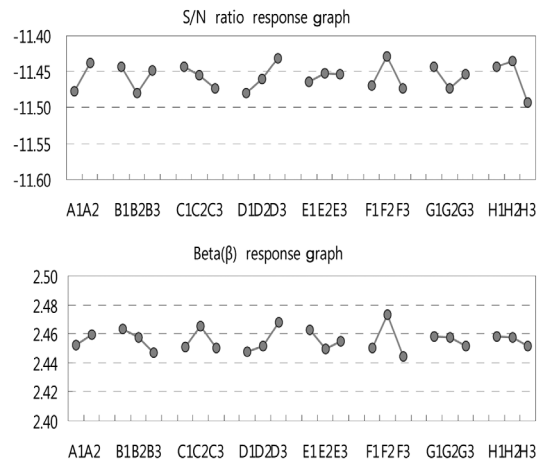


Fig. 6 Results of S/N and β response

Table 8 Selected optimization parameter

DFSS Result	A	B	C	D	E	F	G	H
	1	2	3	4	5	6	7	8
현재	1	1	1	1	1	1	1	1
최적안	2	3	3	1	2	3	3	3

최적화 모델의 성능 평가는 강건 설계를 위한 Noise 조건 중 N2 조건인 50KPH 주행 조건으로 하

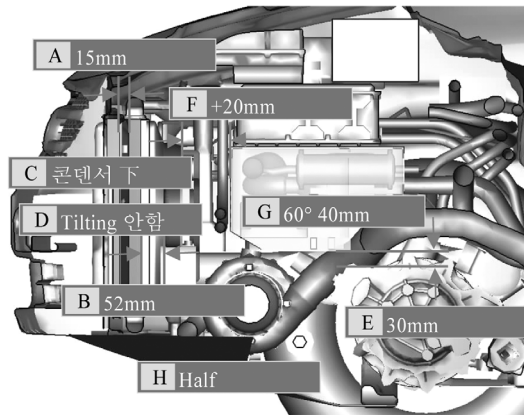


Fig. 7 Optimization layout for fuel cell vehicle

Table 9 Assessment of optimized model cooling performance

현재 모델		최적화 모델		개선량	
전장	스택	전장	스택	전장	스택
1.163	1.170	0.859	1.141	0.304 ↓	0.029 ↓

였으며, 그 결과를 Table 9에 나타내었다. 최적화 모델의 경우 현재 모델 대비해 전장의 경우 19.8%, 스택의 경우 0.8% 냉각 성능이 향상되었다.

이 결과는 앞서 DFSS 기법을 통해 예측된 결과와 큰 차이가 없으며, 이는 최적화 모델의 추가적인 검토 없이도 DFSS 기법을 통해 형상 또는 레이아웃이 최적화 되었을 때 성능을 예측할 수 있다는 의미를 가진다.

이상과 같은 최적화 기법을 통해 엔진 룸 레이아웃 최적화에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 최적화 기법 적용 시 설계에 소요되는 비용 저감 및 시간 단축 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 현재 본 연구를 통해 제시된 최적화 모델을 이용하여 추가적인 성능 개선 연구가 진행되고 있다.

5. 결론

이 연구에서는 DFSS 기법을 이용하여 연료전지 차량의 엔진 룸 레이아웃 최적화를 진행하였으며, 성능 평가는 CFD 해석을 통해 수행하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 현재 차량의 경우 스택 및 전장 모두 냉각 성능을 만족하지 못하고 있으며, 공력 성능 또한 기존 엔

진 차량에 비해 다소 높게 나타났다.

- 2) 차량의 냉각 성능에 가장 중요한 인자는 냉각계의 배치 및 Air guide 등 FEM(Front end module)의 설계이다.
- 3) DFSS 기법을 적용한 최적화를 통해 스택의 경우 0.8%, 전장의 경우 19.8% 냉각 성능이 향상되었으며, 전장은 성능이 만족되었다.

이상과 같은 결과들을 바탕으로 스택의 냉각 성능 향상을 위한 추가적인 연구가 향후 진행될 것이며, 연구가 완료되면 냉각 성능이 최적화된 승용연료전지 차량 레이아웃 구성할 수 있다.

또한, DFSS 기법을 이용한 설계 Process를 정립하고, 설계에 응용한다면 차량 설계 기간의 단축 및 시험을 위한 차량 제작 비용을 절감할 수 있으며, 보다 효율적으로 차량을 설계할 수 있다.

후 기

본 연구는 현대자동차(주) 주관의 “승용 연료전지 차량 설계 및 시스템 인터그레이션 기술 개발” 과제의 참여 기업으로서 수행한 결과의 일부이며, 연구를 지원하여 주신 현대자동차(주) 사시플랫폼 개발팀, 선행패키지개발팀 및 연료전지개발팀에 감사드립니다.

References

- 1) M. Ehsani, Y. Cao, S. E. Gay and A. Emadi, Modern Electronic, Hybrid Electronic, and Fuel Cell Vehicles, CRC Press, New York, 2004.
- 2) T. Moriya, “Fuel Cell Vehicles Development at Honda,” FC EXPO 2009 Technical Seminar FC-7, pp.129-47, 2009.
- 3) A. Toro and P. Delzanno, “Fuel Cell Stack and Fuel Cell Powertrain for Automotive Application,” SAE 2004-01-1005, 2004.
- 4) “Automotive Engineering,” SAE, Vol.115, No.8, pp.54-57, 2007.
- 5) “Automotive Engineering,” SAE, Vol.115, No.9, pp.32-35, 2007.
- 6) J. P. Won, “Development Trend and Current Issues of Fuel Cell Vehicle,” Hybrid and Fuel Cell Vehicle Workshop 2006, pp.5-24, 2006.

- 7) S. Hirano, "Fuel Cell Vehicle Demonstration and Fuel Cell Research at Ford Motor Company," FC EXPO 2009 Technical Seminar FC-6, pp.19-36, 2009.
- 8) A. Ilyama, "Nissan FCV Development Challenge for Durability and Cost Reduction," FC EXPO 2009 Technical Seminar FC-7, pp.81-107, 2009.
- 9) S. H. Choi, S. I. Jeon and T. W. Lim, "Development of Tucson Fuel Cell Electric Vehicle," Electric Vehicle Symposium 2005, KSAE 05-L0028, 2005.
- 10) M. H. Lee, J. I. Kim and W. H. Jeon, "Design of Engine Room Layout in Design Stage of Vehicle by Using CFD Analysis," Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.1127-1134, 2007.