

적외선 온도 카메라를 이용한 분할형 전기히터 가열 및 유동 조건에 따른 전기히터와 매연필터 표면에서의 온도 분포에 관한 연구

이충훈[†] · 박성천^{*}

서울산업대학교 자동차공학과 · *서울산업대학교 철도전문대학원
(2008. 2. 26. 접수 / 2008. 8. 24. 채택)

A Study on the Temperature Distribution at the Surface of Diesel Particulate Filter and Partitioned Electric Heater according to the Conditions of Heating and Flow using an Infrared Temperature Camera

Choong-Hoon Lee[†] · Sung-Chun Park^{*}

Department of Automotive Engineering, Seoul National University of Technology
^{*}Graduate School of Railroad, Seoul National University of Technology
(Received February 26, 2008 / Accepted August 24, 2008)

Abstract : The temperature distribution in a surface of diesel particulate filter(DPF) was measured using an infrared temperature camera. In order to regenerate the DPF, five partitioned electric heaters were used for heating the ceramic filter. The five partitioned heaters were switched on/off with some time interval one the other. The surface temperature distribution in the ceramic filter and electric heaters were measured with varying both the electrical power supply to the heaters and the mass flow rate of the air supply from a blower. The higher mass flow rate in the DPF system enhanced the uniformity in the surface temperature distribution of the ceramic filter due to effective convection heat transfer. The flow in the monolith ceramic structure of the DPF move mainly in the axial direction, which could be identified from the surface temperature of the ceramic filter.

Key Words : partitioned electric heater, diesel engine, DPF(diesel particulate filter), temperature distribution, infrared temperature camera

1. 서론

디젤 엔진이 가솔린엔진과 비교하여 연비 측면에서 뛰어나다는 것은 잘 알려져 있으며, 특히 직접 분사식 디젤 엔진의 연비는 매우 뛰어나다. 직접 분사식 디젤 엔진은 연비가 좋은 것을 제외하고는 배출가스, 진동 및 소음 측면에서는 불리함에도 불구하고 최근 유가 상승과 CO₂ 배출 규제 강화로 인해 가장 주목 받고 있다^{1,2)}.

연비 면에서 뛰어나에도 디젤 엔진은 인체의 안전에 해로운 매연이 많이 배출되는 문제점이 있다. 디젤 엔진으로부터 배출되는 매연의 획기적 저감을 위해서 최근 완성차 업체에서 출하되는 디젤 승용차 및 레저용 자동차 등에는 배출 가스 저감 장

치(diesel particulate filter: DPF)의 장착이 일반화 되고 있다. 또한 기존에 DPF를 장착하지 않고 출하된 디젤 차량에도 배출 가스 저감 장치의 장착을 유도하는 내용을 포함한 수도권 대기환경 개선에 관한 특별법을 개정함으로써 수도권의 대기 환경 개선을 위해 배기 규제가 강화하고 있다^{3,4)}.

DPF와 관련된 연구는 1980년대 이전부터 시작되었는데 제품 개발에 있어서 어려운 점은 DPF 내에 축적된 매연을 제거하는 과정에서 제어 불능 상태에 빠져 과열되고 이로 인해 고가의 세라믹 필터가 손상되는 문제였다. DPF 재생 과정에서의 필터 손상을 피하고 내구성 향상을 위해 재생 과정의 전자제어 기술 향상, 필터 재질 개선, 재생모드 개선 등의 기술이 순차적으로 개발되었다⁵⁾.

현재 양산되고 있는 대부분의 DPF 시스템은 배출되는 고온가스와 촉매 첨가제를 이용하여 필터

[†] To whom correspondence should be addressed.
chlee5@snut.ac.kr

에 축적된 매연을 없애는 방식을 채용한 자연재생 방식이며, 커먼레일과 전자제어 분사시스템을 장착한 디젤 차량의 경우 후분사 제어에 의한 강제 재생 방식과 전술한 자연 재생 방식을 함께 적용한 복합 재생 방식을 사용하고 있다⁶⁾. 한편, DPF를 장착하지 않은 운행 차량의 경우 연료 분사 펌프가 기계식이어서 후분사를 적용한 복합 재생 기술의 적용이 어렵다. 따라서 기계식 연료 분사 펌프를 장착한 운행 차량에는 전기 히터식 가열 방식을 사용하는 복합 재생 방식의 적용이 시도되고 있으며 본 연구에서는 전기 히터를 이용한 DPF 재생 시스템의 온도 분포 측정과 해석을 주로 하였다.

전기 히터를 장착한 DPF 시스템은 미국 Donaldson사에서 최초로 시작하였으며 바이패스 방식과 이중(dual) 방식을 개발하였다⁷⁾. 1992년에는 이중 방식을 적용한 버스 400대에 탑재하여 뉴욕시에서 시험운행을 하였으나 잦은 고장과 비용 문제로 중단한 바 있다. IBIEDEN 사에서는 SiC를 이용한 전기 히터형 DPF 시스템을 개발하였으며^{8,9)} Corning 사에서는 하니컴형 전기 히터를 사용한 DPF 시스템을 발표하였다^{10,11)}. 전기 히터를 이용한 DPF 재생 방식과 관련된 연구는 주로 전기 히터 단면 전체를 가열하는 조건에서 DPF 재생 특성, 온도 분포 등을 연구하였다. 전기 히터를 단면 전체에 대해 가열하는 것은 많은 전류를 필요로 하고 대용량의 전기 공급시스템을 갖추어야 한다. 이러한 문제를 해소하기 위해 분할형 전기히터를 순차적으로 가열하는 재생 시스템이 개발되었으며 순차 가열 조건에서 세라믹 필터 내에서의 온도 분포를 열전대를 사용하여 측정한 바가 있다⁶⁾. 한편, 순차 가열 전기 히터를 장착한 DPF 재생시스템의 2차원 표면 온도 분포 측정 자료는 매우 부족한 편이다. 본 연구에서는 전기히터 가열 단면을 5개의 섹션으로 분할하여 순차적으로 가열하는 조건에서의 DPF 시

스템의 온도 표면 분포를 적외선 카메라를 사용하여 측정하였다. DPF 시스템에서의 온도 분포는 매연 제거에 결정적인 영향을 미치며 이에 따라 본 연구에서는 전기 히터 및 필터 출구 단면에서의 2차원 온도 분포를 측정하였다. DPF 시스템에 공급되는 유량과 전기히터에 공급되는 전력량을 변화시키면서 온도 분포 특성을 연구하였다.

2. 실험 장치 및 방법

실험 장치는 송풍기(blower), 유량계, 전기히터, 매연필터, 전력 공급 장치, 적외선 온도 카메라 등으로 구성되었으며 Fig. 1에 실험 장치 개략도를 나타내었다. Fig. 1의 A-A 단면 사진은 분할형 전기 히터의 실물 사진을 나타내었으며 중심부 히터와 중심부히터를 둘러싸고 있는 4개의 히터를 포함하여 총 5개의 전기 히터로 구성되어 있다. Fig. 1의 B-B 단면 사진은 DPF 세라믹 필터의 출구를 나타내며 세라믹 필터의 직경과 길이는 각각 230, 305 mm이며 200cpi(cells per square inch)의 셀밀도를 가지는 하니컴 구조의 모노리스 타입 필터로 매연에 노출시키지 않은 신제품이다.

매연 필터가 재생되려면 적어도 200도 이상의 온도가 유지되는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 이러한 조건을 기준으로 결정하였으며 실험 결과 온도는 200℃ 이상을 유지하지는 못하였지만 어느 정도 근접하고 있다. 실험 조건은 Table 1에 요약한 것과 같이 송풍기로부터 공급되는 공기 유량을 고정하고(공기 공급 질량 0.1588kg/s와 0.0836kg/s의 2개의 조건을 사용) 전기히터로 공급되는 전력량을 설정(1.45kW 또는 2.6kW의 2개의 설정 조건을 사용)하며 이 때 설정된 전력량을 5개의 분할형 전기 히터에 적절한 시간 간격을 유지하면서 순차적으로 가열한다. 이러한 실험 조건을 유지하면서 적외

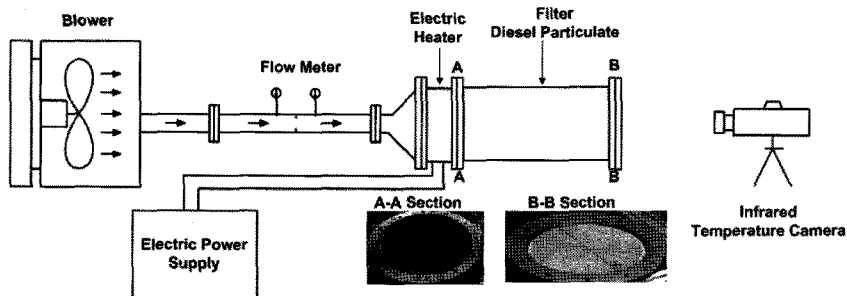


Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup for measuring the distribution of temperature at the DPF system using infrared temperature camera.

Table 1. Summary of experimental conditions

Electric power supplied to the heater(kW)	Air flow rate(kg/s)
1.45	0.0836
2.8	0.0836

선 온도 측정 카메라로 전기 히터 A-A 단면과 세라믹 필터 출구 B-B 단면에서의 2차원 표면 온도 데이터를 캡처하여 파일 형태로 저장하였다. 전기 히터 A-A 단면에서의 온도 분포를 측정할 때는 DPF 세라믹 필터를 탈거한 상태에서 실험을 실시하였다.

적외선 온도 카메라는 NEC사 제품 TH7102WV로 -40~250℃, 0~500℃의 측정 범위를 가지고 있으며 초당 7.5, 30, 60 프레임의 측정 속도로 설정할 수 있고 14비트의 A/D 변환 능력을 가지고 있다. 적외선 온도 측정 카메라와 아울러 적외선 카메라의 방사율 검정과 전기 히터의 특정 점에서의 온도 분포를 측정하기 위해서 열전대를 일부 사용하였다. 사용한 열전대는 OMEGA사 제품으로 K-타입을 사용하였다. 열전대를 아이코넬(Iconel)로 감싼 타입이며 열전대 직경은 0.8mm이다. 열전대 신호 증폭 및 처리는 National Instrument사의 SCXI 장비를 사용하였다. 온도의 측정과 기록은 National Instrument사의 PXI 시스템을 사용하였고 프로그램은 LabView 7.1을 사용하였다.

3. 결과 및 검토

적외선 온도 카메라로 측정된 데이터 값을 기준 온도 값과 대응시키기 위해 전기 히터를 가열한 상태에서 적외선 온도 카메라와 열전대를 이용하여 동시에 온도를 측정하여 양쪽의 데이터 값을 비교하였다. 즉, 적외선 온도 카메라의 검정 기준으로 열전대에 의한 온도 측정값을 사용하였다. 전기 히터의 특정 지점에 열전대를 설치하고 동시에 적외선 온도 카메라로 열화상을 캡처한 후 특정 지점에서의 두 온도 값을 비교하였다.

DPF 세라믹 필터부를 탈거하여 전기 히터를 노출한 상태(Fig. 1의 단면 A-A가 노출된 조건)에서 1.45kW 및 2.8kW의 전력을 공급하고 각각의 전력 공급 조건에 대해 공기 질량 유량을 0.0836kg/s 및 0.1588kg/s로 유지한 조건에서 적외선 온도 카메라와 열전대를 사용하여 온도 측정을 하였다. 열전대는 중심부의 전기 히터에만 3개를 설치하였으며 중심으로부터 반경 방향으로 중심점(R1), 중심에서 반경 방향으로 40mm 위치(R2), 85mm 위치(R3) 3

위치에서 온도를 측정하였다. 전기 히터의 경우 적외선 온도 카메라로 측정된 값이 255℃이고 동시에 열전대로 측정된 온도가 495℃로 나타났는데 적외선 온도 값이 실제 온도 값의 절반정도(적외선 카메라 온도/열전대 온도 = 255/495 = 0.515, 방사율)의 값을 나타냄을 의미한다. 한편, 세라믹 필터의 경우 적외선 온도 카메라의 측정값이 열전대 온도 측정값과 거의 비슷한 값(적외선 카메라온도/열전대 온도 = 93/97 = 0.96, 방사율)을 보였다.

전기 히터에 공급되는 전력량이 작고 공급 공기 질량 유량이 작은 조건(Fig. 2와 Fig. 3의 최대 도달 온도 참조)에서 세라믹 필터 내의 최대 온도 값이 높게 나타났다. 이것은 세라믹 필터 내의 온도 상승

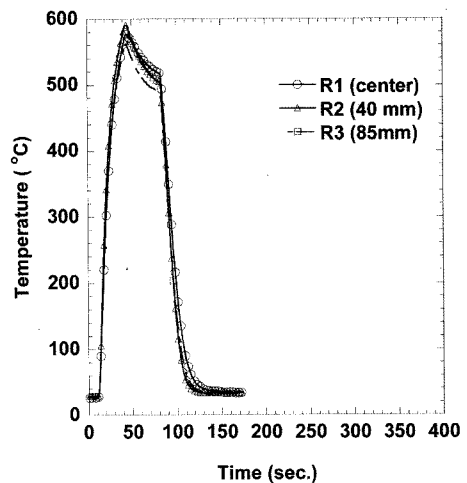


Fig. 2. Temperature distribution of electric heater #0 at mass flow rate = 0.0836kg/s, supply power = 1.45kw.

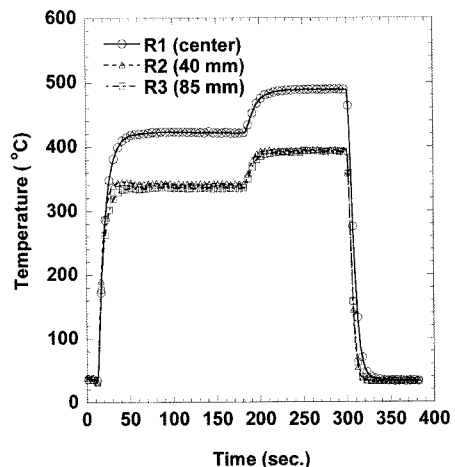


Fig. 3. Temperature distribution of electric heater #0 at mass flow rate = 0.1588kg/s, supply power = 2.8kw.

이 전력 공급량과 아울러 기체 유동에 의한 대류 열전달의 영향이 크다는 것을 의미한다. 즉, 공급되는 질량 유량이 큰 경우 세라믹 필터 내의 기체의 유동 속도가 커지고 이로 인해 대류 열전달이 활발히 일어나 히터로부터 공급되는 발열 에너지가 상대적으로 빠르게 세라믹 필터로 확산되어 최

대 온도 값이, 공급되는 기체의 질량 유량이 작은 경우에 비해, 상대적으로 작게 나왔다고 볼 수 있다. Fig. 2와 Fig. 3을 보면 전력 공급을 차단한 순간부터 질량 유량이 큰 경우에 더욱 급격하게 온도가 하강하는 특성을 보이고 있다. 이는 전력 공급이 차단되면 세라믹 필터로의 열 에너지 공급이 중단됨

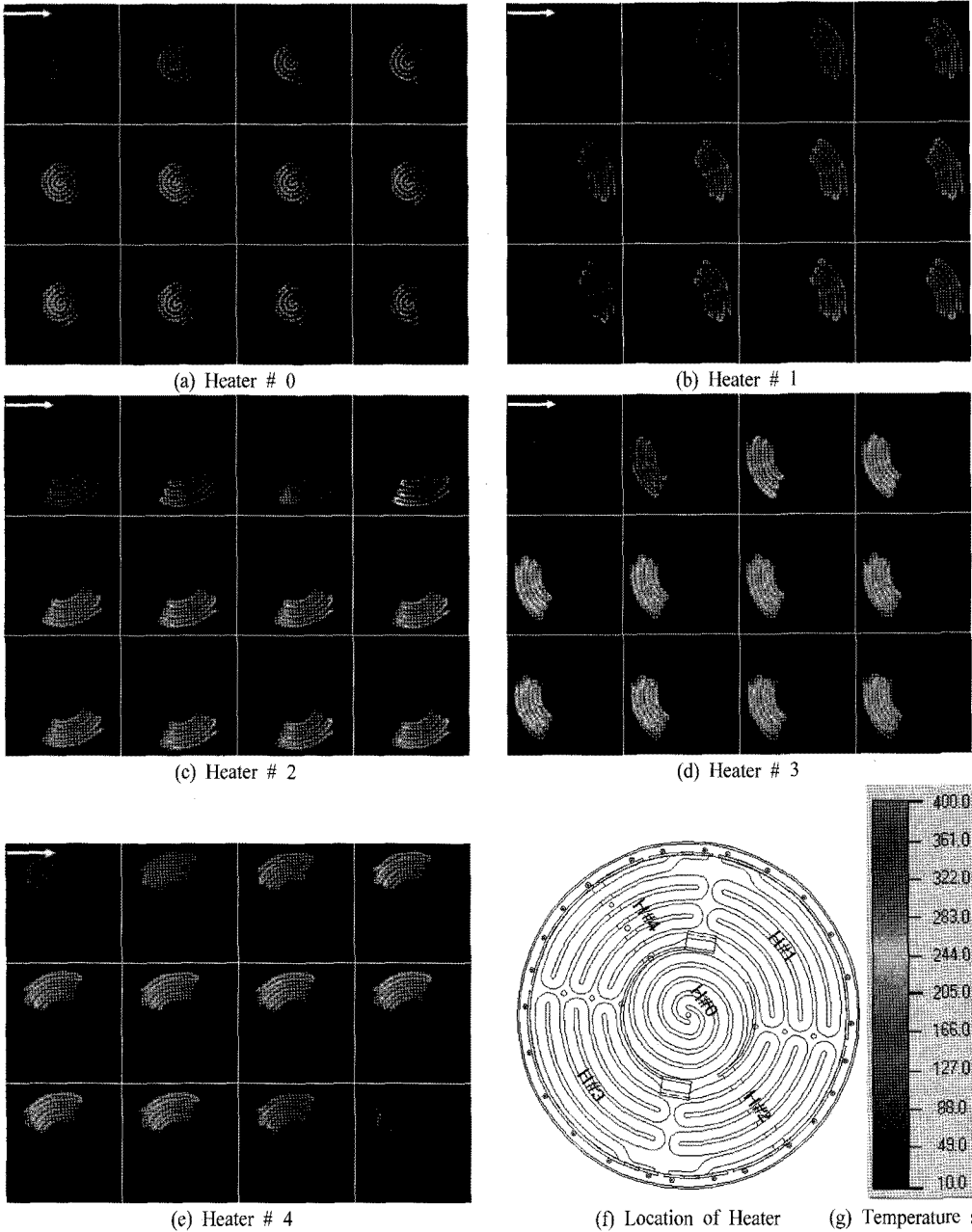


Fig. 4. Temperature distribution of 5 partitioned electric heaters at the section A-A with mass flow rate = 0.1588kg/s and electric power supply = 2.6kw,

으로 인해 세라믹 필터 내의 온도 강하가 기체의 유속에 의한 대류 열전달에 전적으로 의존하게 되고 질량 유량이 큰 경우 세라믹 필터 내에 잔존하는 열에너지의 방열이 빠르게 일어나기 때문이다.

Fig. 4는 DPF 세라믹 필터를 탈거하고 Fig. 1에 나타난 것과 같이 A-A 단면을 노출한 조건 즉, 전기 히터 열선을 노출한 상태에서 순차적으로 히터를 가열하면서 적외선 온도 카메라를 사용하여 측정된 A-A 단면에서의 표면 온도 분포를 나타낸 것이다. 이 때 공급되는 공기의 질량 유량은 0.1588kg/s 이고 전력 공급량은 2.6kW이다. Fig. 4(f)에 나타난 것과 같이 중심부 히터 #0 외주 위치에 시계 방향으로 #1, #2, #3, #4 히터를 차례로 배치하였다. 전기 히터 가열은 #0부터 시작하여 차례로 #1, #2, #3, #4 의 순서로 가열하였다. Fig. 4에 나타난 각각의 프레임의 측정 시간 간격은 5초이며 그림 안에 있는 우측 방향 화살표는 캡처된 프레임의 배치 순서를 나타낸다. Fig. 4(g)는 온도 기준 스케일을 나타낸 것으로 색깔을 비교하여 온도 값을 추정할

수 있다. Fig. 4(a)~(e)를 보면 순차적으로 동일한 전력을 각각의 전기 히터에 공급하였음에도 각각의 전기히터의 온도 상승률 및 패턴이 크게 다르게 나타남을 알 수 있다. 전기 히터 #3의 온도 상승률이 가장 높게 나타났고 전기 히터 #1의 온도 상승률이 가장 낮게 나타났으며 #0, #2, #4 는 중간 정도의 상승률을 보이고 있다. 또한 중심부 전기 히터 #0의 온도 분포를 보면 좌우 단면의 온도차가 크게 나타났다. 즉, #0 히터의 좌측 단면의 온도분포가 우측 단면의 온도 분포보다 상대적으로 높게 나타났다. 이는 하나의 열선의 가열에서도 온도 분포의 균일함을 달성하는데 어려움이 있음을 의미하며 이러한 온도 분포의 불균일성은 DPF 세라믹 필터 내에 축적된 매연을 고르게 제거하는데 어려움을 줄 수 있다. 또한 #0 히터를 둘러싸고 있는 #1~#4의 불균일성이 #0 히터보다는 상대적으로 심하지 않으나 불균일한 가열 패턴을 보이고 있으며 이 역시 세라믹 필터를 불균일하게 가열하는 원인이 될 수 있다.

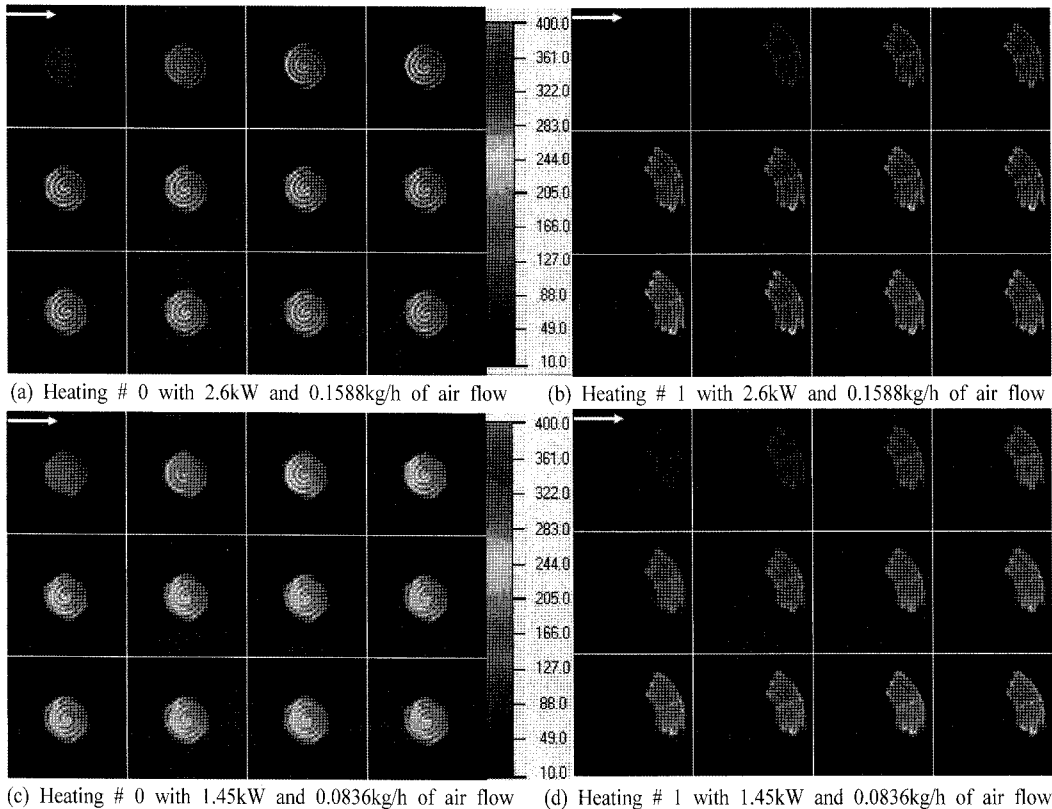


Fig. 5. Temperature distribution of 5 partitioned electric heaters at the section A-A, (a) and (b) with both mass flow rate of 0.01588kg/s and electric power supply of 2,6kw, (c) and (d) with both mass flow rate of 0,0836kg/s and electric power supply of 1,45kW.

Fig. 5는 가열 및 공급 공기 유량 조건을 다르게 하였을 때의 #0, #1 히터에서의 온도 측정 결과를 비교하여 나타내었다. Fig. 5(a)와 (b)는 공급 공기 질량을 0.1588kg/s, 전력 공급량 2.6kW(Fig. 4와 동일한 조건임)이고 Fig. 5(c)와 (d)는 공급 공기 질량을 0.0836kg/s, 전력 공급량 1.45kW로 하였을 때

온도 분포를 나타낸 것이다. 전체적으로 공급 공기 질량과 전기 히터 공급 전력량을 차이가 있어도 온도 분포 특성은 유사한 경향을 보이고 있다. 이로부터 열선 가열 패턴에 가장 큰 영향을 미치는 것은 열선 자체의 전기적 성질이라고 볼 수 있다.

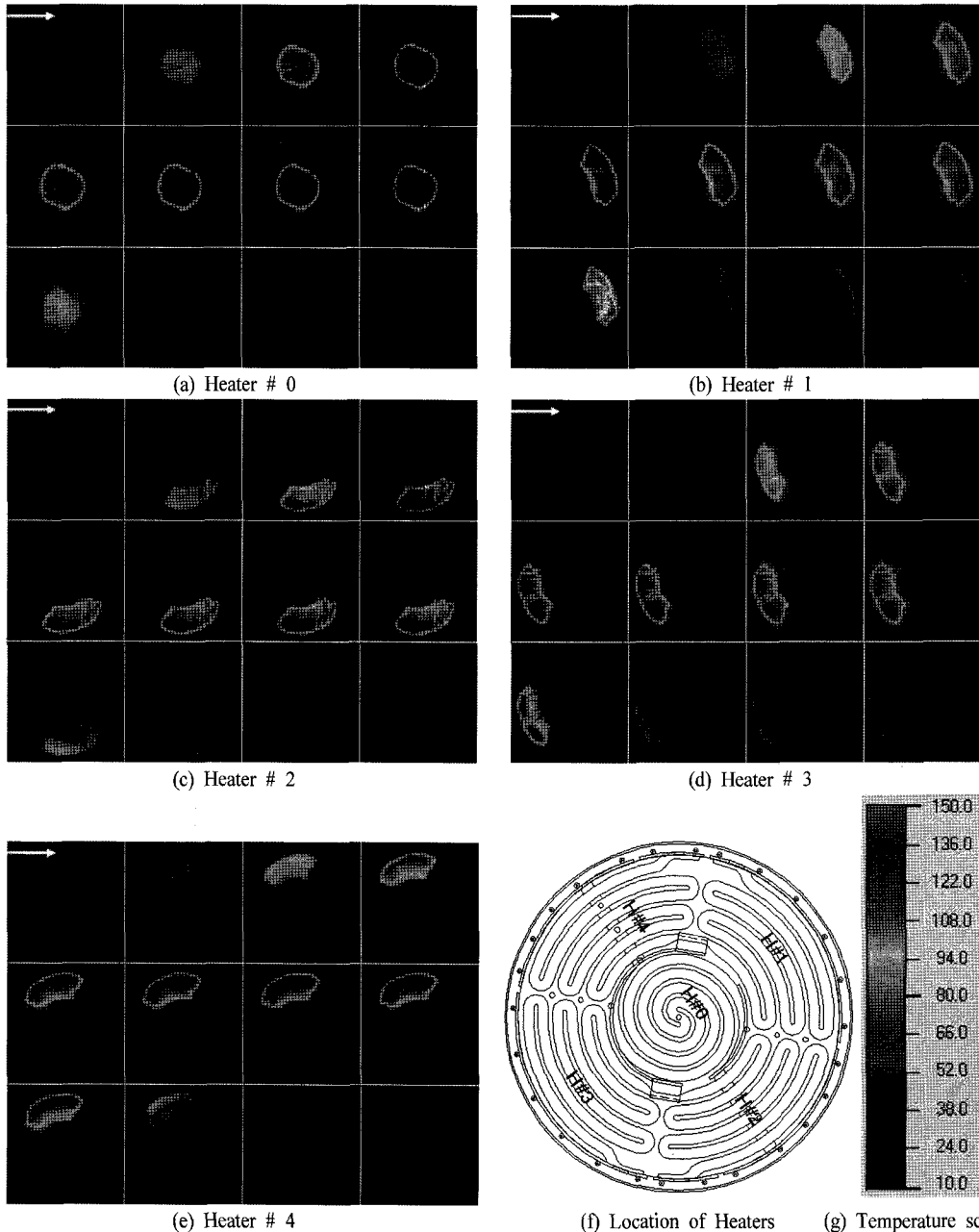
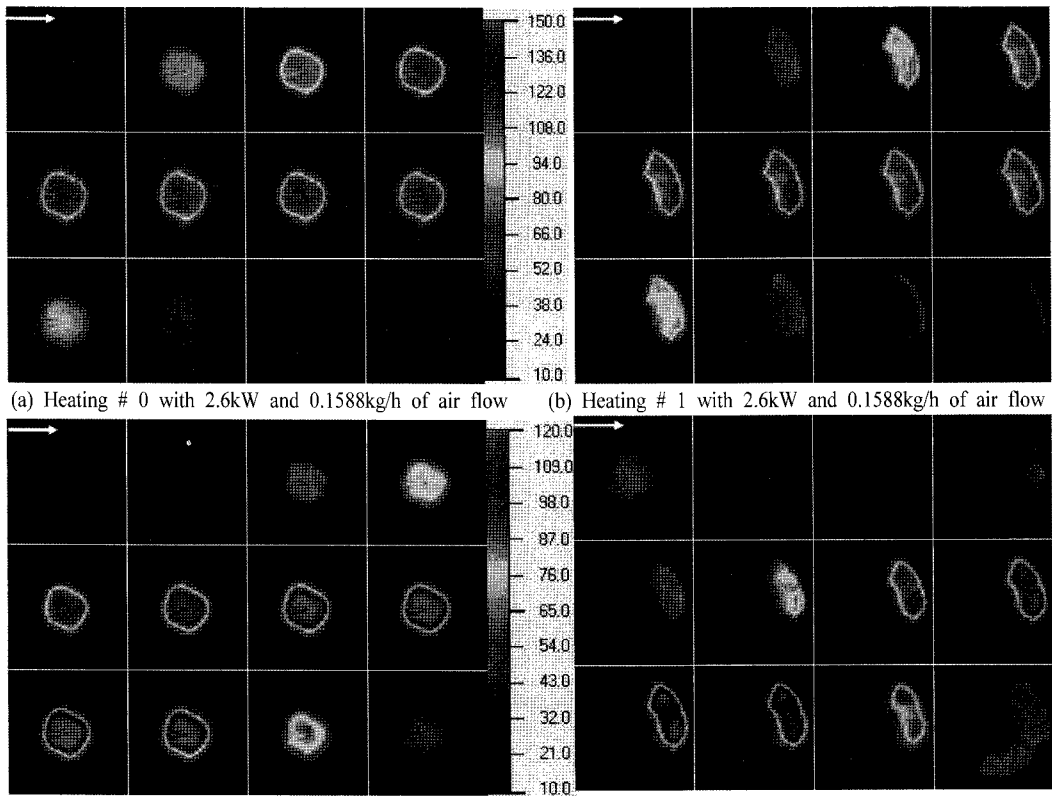


Fig. 6. Temperature distribution of the ceramic filter exit of the section B-B with mass flow rate = 0.01588kg/s and electric power supply = 2.6kw.

Fig. 6과 Fig. 7은 DPF 세라믹 필터를 전기 히터와 조립한 조건(Fig. 1의 실험장치 개략도 참조)에서 DPF 출구 B-B 단면에서의 표면 온도 분포를 나타낸 것이다. DPF 세라믹 필터가 전기 히터를 덮은 상태에서 측정을 하였기 때문에 전기 히터 열선이 노출된 조건에서 측정된 Fig. 4와 Fig. 5의 결과와는 다르게 열선의 감긴 형상의 가열 패턴이 드러나지 않았다.

Fig. 6은 공기 질량 유량을 0.1588kg/s, 전기 히터에 공급되는 전력량을 2.6kW로 유지한 조건에서 중심부 히터 #0부터 시작하여 #1, #2, #3, #4 순서로 가열하였을 때 B-B 단면에서의 표면 온도 분포의 측정 결과를 나타내었다. 전기 히터 가열은 3분간 히터를 가열하고 3분 전원을 차단하는 방식으로 순차적으로 5개의 전기 히터를 가열하였으며 Fig. 6에 나타난 각 프레임 간의 시간 간격은 25초이다. Fig. 6에서 온도 분포가 Fig. 4의 전기 히터 열선 온도 분포와 비교하여 비교적 균질화된 분포를 보이

고 있는데 이는 예측할 수 있는 결과이다. 즉, 전기 히터의 가열에 의해 온도가 상승한 공기 유동이 세라믹 필터 내부를 통과하여 필터 출구 단면으로 나오는 과정에서 필터 출구 B-B 단면에서의 온도 분포가 균일화 될 수밖에 없는 것이다. 전기 히터 열선의 온도 분포에 비해 균일화 되었으나 부분적으로 불균일한 분포도 나타내고 있으며 특히, 중앙부 #0에 비해 외주에 배치된 전기 히터 #1~#4 가열에 의한 온도 분포의 불균일 정도가 상대적으로 크게 나타났음을 알 수 있다. 전기 히터를 사용하는 목적이 DPF 필터 내에 축적된 매연을 효과적으로 재생하기 위함이기 때문에 전기 히터 가열에 의해 세라믹 전체에 걸쳐서 균질하게 가열되어야 매연이 효과적으로 제거 될 수 있으나 구조적으로 불균일성을 가질 수밖에 없는 측면이 있다. 즉, 전기 히터 열선의 전기적 성질에 의한 불균일한 히터 가열이 하나의 원인이고 세라믹 필터를 전기 히터와 결합하면 세라믹 필터의 입구는 상대적으로 높게 가



(a) Heating # 0 with 2.6kW and 0.1588kg/h of air flow (b) Heating # 1 with 2.6kW and 0.1588kg/h of air flow
 (c) Heating # 0 with 1.45kW and 0.0836kg/h of air flow (d) Heating # 1 with 1.45kW and 0.0836kg/h of air flow
 Fig. 7. Temperature distribution of 5 partitioned electric heaters at the section A-A, (a) and (b) with both mass flow rate of 0.01588kg/s and electric power supply of 2.6kw, (c) and (d) with both mass flow rate of 0.0836kg/s and electric power supply of 1.45kW.

열되고 세라믹 필터의 출구 온도는 낮아질 수밖에 없다. 이와 같은 세라믹 필터를 불균일하게 가열할 수밖에 없는 구조적 요인은 피할 수 없으나 분할된 전기히터의 가열 패턴이 균일하도록 설계하고 세라믹 필터 내의 대류 열전달에 의한 세라믹 필터 온도 분포가 가능하면 균일하게 되도록 유동이 일어나도록 필터 입출구부의 형상 개선을 하여야 함을 의미한다. Fig. 6(a)~(c)의 각각의 가열 단면을 보면 전기 히터의 가열 면적과 거의 동일한 위치의 면적을 가열한다는 것을 알 수 있는데 이것은 전기 히터 가열에 의한 세라믹 필터 가열이 주로 축방향 대류 열전달 주류이고 반경 방향으로 열전달은 거의 일어나지 않는다는 것을 알 수 있다. 반경 방향으로의 열전달이 잘 일어나지 않는다는 것은 유동이 주로 축방향으로 흐르고 반경 방향으로는 유동이 잘 흘러가지 않음을 의미한다.

Fig. 7은 가열 및 공급 공기 유량 조건을 다르게 하였을 때의 #0, #1 히터에서의 온도 측정 결과를 비교하여 나타내었다. Fig. 7(a)와 (b)는 공급 공기 질량을 0.1588kg/s, 전력 공급량 2.6kW(Fig. 6과 동일한 조건임)이고 Fig. 7(c)와 (d)는 공급 공기 질량을 0.0836kg/s, 전력 공급량 1.45kW로 하였을 때 온도 분포를 나타낸 것으로 Fig. 6과 마찬가지로 각 온도 이미지 프레임 간의 시간 간격은 25초이며 전체적으로 유사한 온도 분포 특성을 보이고 있다. Fig. 7(a)와 (b)의 온도 분포가 Fig. 7(c) 및 (d) 온도 분포 보다 균일하게 나타났는데 이는 공급 공기 질량 유량 차이에 따른 유속 분포의 차이에 기인한다고 볼 수 있다. 유속 빠를 경우 대류 열전달이 잘 일어나서 온도 분포가 균일화 되는데 도움이 될 수 있다. 이러한 결과는 엔진 속도 및 부하에 따라서 배기 가스 유량이 달라질 수밖에 없는 엔진 운전 패턴의 특성상 DPF 필터의 재생이 이러한 특성에 영향을 받을 수밖에 없음을 의미한다.

4. 결론

5개의 분할형 전기 히터를 사용하는 복합 재생 방식 DPF 시스템에 대해 공기 공급 유량과 전기히터 공급 전력량을 바꾸어 가면서 전기 히터 단면과 세라믹 필터 출구 단면에서의 2차원 표면 온도 분포를 적외선 온도 카메라를 이용하여 측정하고 분석하였으며 다음과 같이 결론을 요약할 수 있다.

- 1) 동일 전력을 공급한 조건에서 5개의 전기 히

터 표면의 온도 분포의 차이가 크게 나타났으며 이는 DPF 시스템의 입출구 형상 개선을 통한 균일 유동장의 형성보다 히터간의 편차에 의한 필터의 온도 분포의 불균일성에 더 큰 영향을 줄 수 있음을 의미한다.

- 2) DPF 내의 강제 대류 열전달 특성은 세라믹 필터 출구 온도에 영향을 미치며 이의 온도 분포로부터 하니컴 구조의 모노리스 타입 필터에서 기체 유동이 주로 세라믹 필터의 축방향으로 흐르며 반경 방향의 유동은 미미하다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) T. Johnson, "Diesel Emission Control Technology-2003 in Review", SAE Paper No. 2004-01-0070, 2004.
- 2) F. AuYeung, J. B. Heywood and A. Schafer, "Future Light-Duty Vehicles: Predicting their Fuel Consumption and Carbon-Reduction Potential", SAE Paper No. 2001-01-1081, 2001.
- 3) 수도권 대기환경개선에 관한 특별법, 법률제7041호, 2003.
- 4) 김주철, 이충훈, "차대 동력계에서의 디젤 차량의 매연 측정을 위한 여지 반사식 및 광투과식 측정법의 비교 연구", 한국안전학회지, 제22권, 제6호, pp. 13~19, 2007.
- 5) 정용일, "경유자동차 매연 및 입자상 물질 저감기술", 한국기체연구원 연구보고서, 2004.
- 6) 일진전기, "전기히터/축매 복합 재생방식 중형차량용 DPF/DeNOx 장치 개발", 연구보고서, 2007.
- 7) P. Kojetin, F. Janezich, L. Sura, and D. Tuma, "Production Experience of a Ceramic Wall Flow Electric Regeneration Diesel Particulate Trap", SAE Paper No. 930129, 1993.
- 8) K. Ohno, N. Taoka, T. Ninomiya, S. Hong, M. Kojima and T. Komori, "SiC Diesel Particulate Filter Application to Electric Heater System", SAE Paper No. 1999-01-0464, 1999.
- 9) K. Ohno, K. Shimato, N. Taoka, S. Hong, T. Ninomiya and T. Komori, "Characterization of SiC-DPF for Passenger Car", SAE Paper No. 2000-01-0185, 2000.
- 10) D. S. Weiss, C. L. Buhmaster, L. E. Hampton, W. R. Powell, and L. S. Socha, "Durability of Extruded Electrically", SAE Paper No. 950404, 1995.
- 11) L. E. Hampton, C. L. Buhmaster, D. F. Thompson, and D. S. Weiss, "Durability of Advanced Electrically", SAE Paper No. 960345, 1996.