

용해공정에서 배출되는 폐가스 유속 측정 시스템 개발

박진수 · 정재학[†] · 성수환*

영남대학교 디스플레이화학공학부

712-749 경북 경산시 대동 214-1

*경북대학교 화학공학과

702-701 대구시 북구 산격동 1370

(2007년 10월 5일 접수, 2007년 11월 3일 채택)

Development of a System for Measuring the Velocity of a Waste-gas Produced from a Melting Process

Jin Soo Park, Jae Hak Jung[†] and Su Whan Sung*

School of Chemical Engineering and Technology, Yeungnam University, 214-1 Dae-dong, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-749, Korea

*Department of Chemical Engineering, Kyungpook National University, 1370 Sankyuk-dong, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea

(Received 5 October 2007; accepted 3 November 2007)

요 약

용해공정의 경우, 용해물을 균일한 상태로 유지하고 용해로에 투입되는 연료의 연소상황을 분석하기 위해 폐가스 유속을 측정한다. 현재 시중에 많은 종류의 기체유속 측정장치들이 있지만, 용해공정에서 발생하는 폐가스는 고온이고, 저속이며, dust를 많이 갖고 있어 기존의 측정장치들은 이런 조건에 적합하지 않다. 따라서 저속에 반응할 만큼 충분히 정밀하고 고온에 견딜 수 있는 새로운 방식의 측정장치를 제작하였다. 현장테스트 결과, 제작된 측정 장치는 유속의 작은 변화에도 반응할 정도로 충분히 민감하고 온도변화를 빠르게 감지하기 때문에 용해로의 온도제어에 도움을 줄 것으로 기대된다.

Abstract – In the case of a melting process, the velocity of waste-gas has been measured to produce the melt of an equal condition and to analyze the combustion situation of the fuel which was inputted in a furnace. Recently, there are many kinds of measuring equipments of gas-velocity on the market. But, the waste-gas produced from a melting process is high temperature, the slow speed and includes much dust. Existent measuring equipments are not suited to these conditions. Therefore, we made the measuring equipment of new method which is enough detailed to react on the slow speed and sustains in high temperature. As shown in the result of field test, the manufactured measuring equipment is so sensitive as to react on a small change of velocity and senses temperature change rapidly, we expect that this equipment helps in temperature control of a melting furnace.

Key words: Velocity, Waste-Gas, Melting Process

1. 서 론

디스플레이산업의 발전으로 언제, 어디서나, 원하는 시각정보를 다양하게 접할 수 있는 새로운 라이프 스타일 창조가 가능해졌으며, 편안하고 즐거운 생활을 추구하는 개인 중심의 맞춤형 시각정보를 제공하고 또한 초슬림, 초경량, 초원가 기술혁신을 통해 국가경제 발전에서 디스플레이산업은 선도적인 역할을 수행하고 있다. 하지만 최근의 환율 급락과 중국, 대만 등의 디스플레이기술의 급속한 발전 및 시장환경의 변화 등으로 국내 기업들의 이익률이 급감하는 등 위협 요소가 대두되면서 원가절감 및 제품의 품질 향상이 필요

하게 되었다. 오늘날 대표적인 디스플레이인 PDP, LCD와 같은 제품을 제조하는 공정은 원재료를 녹이는 용해 공정 및 panel이나 funnel의 모양을 만드는 성형공정 등 여러 공정을 구성되어 있다. 유리물을 만드는 용해 공정에서 특히, 중요한 것이 균일한 상태의 유리물을 만들기 위한 안정적인 온도 제어와 용해에 소비되는 에너지를 절감하는 것이다. 적절치 못한 온도 제어는 제품의 불량률을 증가시키는 동시에 공정의 안정적인 운전에도 큰 영향을 미친다. 용해로의 최적 온도제어와 에너지 절감을 위해서는 용해로의 각 부분에 대한 연료의 연소상황을 온라인으로 측정할 필요가 있다.

이 연구의 목적은 용해로 내부로 투입된 전체 연료의 연소상황을 분석하기 위한 폐가스 유속 측정 시스템을 구축하는데 있다. 미시적 관점에서의 기체유속에 대한 연구는 기존에 많이 있으며, 이를

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: jhjung@yumail.ac.kr

바탕으로 용해로의 폐가스 배출구 전체에 대한 폐가스 유속 측정 시스템을 개발하려고 한다[1]. 이러한 폐가스 유속 측정 시스템을 통하여 얻어진 데이터를 바탕으로 용해로 내부의 각 부분별 연소 패턴과 온도를 예측하고 연소 패턴을 최적화함으로써, 유리물의 온도변화를 예측하여 용해로 운전의 불안정성을 방지할 수 있다. 아울러, 적절한 양의 연료의 공급으로 연료의 완전연소를 도모함으로써 폐가스의 발생양 및 연료사용량을 감소시키는 경제적, 환경적 이익을 기대할 수 있으며, 용해로 운전이 더 안정적으로 이루어짐으로써 제품의 불량 발생률의 감소 및 제품의 균일한 품질유지가 기대된다.

2. 현장조사

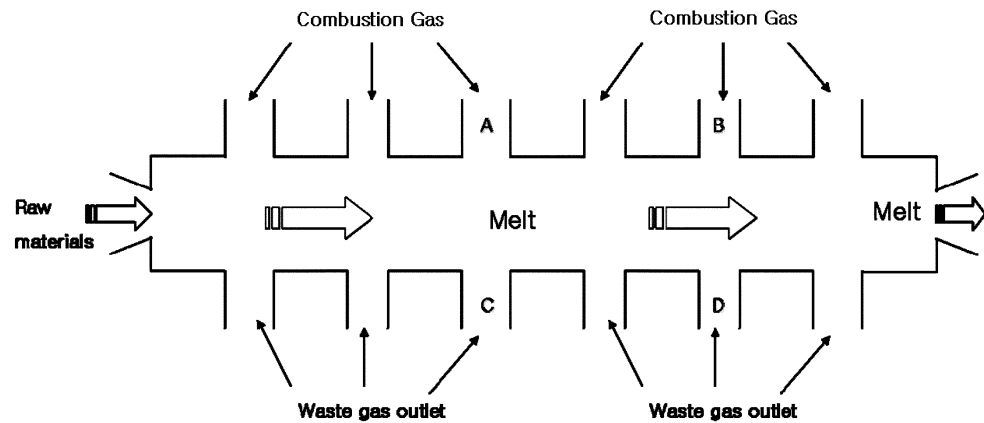
이 논문의 대상공정인 용해로에서는 400~600 °C의 높은 온도의 폐가스가 배출되고 있다. 이러한 고온의 공정적 특징으로 인해 내화벽돌로 열을 차단하여도 용해로 주변의 대기는 항상 40~70 °C의 고온을 유지하고 있다. 또한 대상공정의 경우, 유속측정을 위해 공정을 변경하거나 유체가 지나가는 벽돌로 된 도관벽에 구멍을 따로 뚫는 것이 허용되지 않았다. 이용할 수 있는 유일한 것은 기존에 도관에 뚫려 있는 직경 3 cm 정도의 구멍뿐이라 매우 큰 장소적 제약이 있었다. Fig. 1에 유리물이 흘러가는 방향과 위에서 본 용해로의 개략도와 일정한 시간간격으로 연소가스 유입구와 폐가스 배출구가 서로 바뀌는 방식의 조업 방식을 나타내었다. Fig. 1의 (a)에서 알 수 있듯이 실험에 사용된 용해로는 연소가스 유입구와 폐가스 배출구가 양쪽에 각각 6개씩 있다. 폐가스 유량은 유로 내부 온도에 직

접적으로 영향을 미치므로 각 배출 폐가스량을 측정하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. Fig. 1의 (b)는 용해로 내부의 온도가 대칭을 이루도록 하기 위해 유리물이 흐르는 방향의 직각 방향으로 흐르는 가스를 보여주고 있다. 이 가스의 흐름은 20분마다 바뀌게 된다.

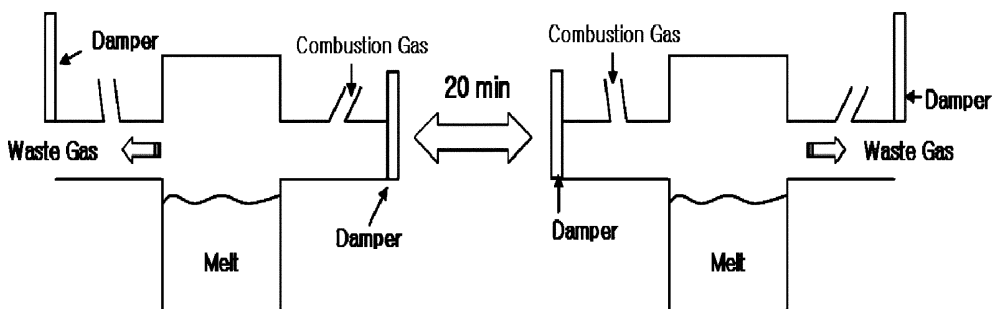
공정의 현재 상태를 확인하기 위해 Fig. 1의 (a)에 나타난 A, B, C, D의 위치에서 pitot tube 유량계를 사용하여 폐가스의 유량을 5회 반복하여 측정하였다. 측정결과 평균 약 1.8 m/s로 매우 저속이었다. 그리고 배출되는 폐가스내에 적지 않은 양의 dust들이 포함된 것으로 확인되었다. 폐가스에 포함되어 있는 dust는 pitot tube 유량계의 tube 구멍을 쉽게 막기 때문에 pitot tube로는 온라인으로 유속을 측정할 수 없었다. 또한, 조업자가 pitot tube 유량계를 직접 측정위치까지 들고 들어가서 폐가스의 유량을 측정하기 때문에 고온의 주변 온도와 폐가스로 인해 항상 화상이나 기관지염 등과 같은 호흡기질환에 노출되어 있는 상황이었다. 나아가, 측정해야 할 위치가 많아 매우 저렴한 유량계를 요구하고 있었다. 고온이고 dust를 함유한 유체를 저가에 측정할 수 있는 유량계를 찾을 수 없어 새로운 방식의 기체 유량 측정방식을 개발하게 되었다.

3. 기존의 폐가스 유속 측정 방식 조사

기체의 유속 측정하는 방법은 많이 있으나, 보편적으로 사용되고 있는 방법을 살펴보면 다음과 같다. 산업현장에서 널리 사용되고 있는 폐가스 유량 측정방식은 pitot tube 유량계 방식이다. 이는 관로 내에 pitot 관을 직경방향으로 설치하여 유속을 측정하는 방식으로 구조가 간단하고 저가이며, 1,000 °C의 고온과 1,000 psig 이상의 고



(a) Schematic Diagram



(b) Operation method

Fig. 1. Schematic diagram of a melting furnace and operation method.

압에서도 사용될 수 있으며, 재료의 선택에 따라 부식성이 강한 액체나 기체의 유속 또는 유량을 측정하는 데에도 쓸 수 있다. 하지만, 3 m/s 이하의 유속에서 부정확한 측정값을 나타내거나, 이물질이 함유된 유속측정에는 tube의 구멍을 막아 부정확하게 측정되는 단점을 갖고 있다. Pitot tube 유량계 방식외에도 여러가지 방법이 있다. 기체의 유속을 측정하는 보편적인 방법 중의 또 다른 하나가 vane 방식이다. 이는 축의 끝에 설치된 바람개비의 회전력을 이용하여 기체의 유속을 측정하는 방식이며, 이것 역시 구조가 간단하고 저가이나, 바람의 유속이 너무 작은 경우 바람개비를 회전시킬 힘을 얻기가 어려운 단점이 있다. 또한 dust를 포함할 기체일 경우, 바람개비의 회전축에 dust가 끼여 부정확한 단점을 보인다. Thermal 유량계는 두 개의 온도 sensor를 측정유체에 설치하여 이들 두점의 온도 차에 의하여 유량을 산출하는 유량계이다. 이는 충격과 진동에 강하고 저유량 측정용으로 적합하나, 고가이며, 찌꺼기를 포함한 유체에 부적합하고 고온인 경우 정확도가 나쁘다. Vortex 유량계의 경우 유체의 흐름에 수직으로 원통형 또는 사각형 물체를 두면 뒷단에 유속에 비례하여 소용돌이가 발생하며 이 소용돌이에 의해 발생하는 주기적인 힘이 도압공 내부에 저항 변화를 발생시켜 이 저항변화에 의한 주파수를 측정함으로써 유량을 산출하는 방식이다. 이는 밀도, 압력, 온도의 영향을 받지 않는 장점을 가지나, 배관의 진동에 약하고 직경 8 인치 이상크기의 배관에서는 정확도가 떨어지며, 교정 및 유지보수가 힘들다는 단점이 있다. 언급한 바와 같이 기존의 측정시스템들은 고온이고 먼지를 함유한 저속의 유체를 저가에 측정해야 하는 본 대상 공정의 조건에는 맞지가 않다. 따라서, 대상 공정에 적합한 새로운 방식의 폐가스 유속측정 시스템을 제작할 필요가 있었으며, 낮은 유속에서 반응할 수 있게 정밀하면서도 고온에 견딜 수 있는 시스템을 제작하였다.

4. 새로운 폐가스 유속 측정 시스템 개발

현장조사로 알 수 있듯이 새로운 유속 측정시스템은 고온, dust, 저속의 세가지 유체 관련 난제를 극복해야 하며 또한, 공정의 특성상 주변대기가 항상 약 40 °C 이상의 고온을 유지하고 있는 환경적 난제도 극복을 해야 한다. 유체의 특성과 관련된 문제를 극복하기

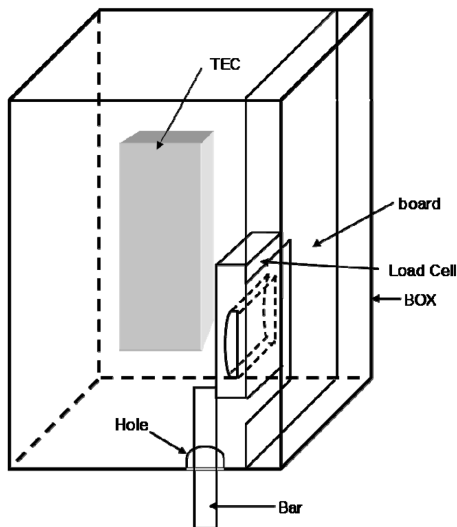


Fig. 2. Schematic diagram of the system for measuring the velocity of waste-gas.

위해서 우리는 금속 bar와 지렛대 원리를 이용하였다. 환경적 난제를 극복하기 위해서는 thermal electronic cooler(TEC)를 이용하였다. Fig. 2는 개발한 폐가스 유량 측정 시스템의 개략도를 나타낸다. 여기서, 유체의 유속에 비례하여 bar의 위쪽 끝에 토크가 가해지도록 시스템이 구성된다. Load-cell은 bar에 가해지는 토크를 측정하여 전류신호로 바꾸어 주기 위한 것 이고 TEC는 박스내부의 온도를 낮게 유지 하기 위한 것이다. 상세한 설명은 다음을 참조하자.

4-1. Dust를 포함한 고온, 저속의 폐가스 유속측정을 위한 방법

이 논문에서 제시한 지렛대 방식은 dust를 함유한 저속의 폐가스 유속을 측정하는데 적합하다. Fig. 3에 제안한 방식의 기본 개념을 나타내었다. 유체가 bar의 한쪽(x)에 부딪히면서 발생된 토크가 회전축에 의해 다른쪽(y)으로 전달되고 이것은 load-cell에 의해 전기적 신호로 전환이 된다. 여기서, 전기적 신호는 유속에 비례하게 된다.

Fig. 3과 같이 제안한 방법은 도관내에서 회전체이나 구멍을 사용하지 않고 단순한 금속 bar를 사용하기 때문에 고온의 유체나 dust를 함유한 유체에 대해서 오동작을 하지 않는다. 또한, 지렛대 원리를 적용할 수 있다. x와 y의 길이 비를 적당하게 조정하면 민감도를 충분히 크게 할 수 있기 때문에 낮은 유속을 측정하는데 문제가 없다.

일반적으로 load-cell이라 함은 하중을 가하면 그 크기에 비례하여 전기적 출력이 발생하는 힘 변환기이다. 측정하고자 하는 힘이나 무게가 정해지면 용량에 맞는 load-cell을 선택해야 한다. 큰 용량의 load-cell을 선택하면 미세한 측정이 어렵고, 딱 맞는 용량의 load-cell을 선택하면 예기치 않은 충격에 load-cell이 파괴되는 경우도 있기 때문이다. load-cell과 transmitter를 연결하여 load-cell에 가해지는 힘을 전기적 신호로 변환하여 송신할 수 있게 함으로써 현장이 아닌 제어실에서 데이터를 확인 및 저장할 수도 있으며, Indicator와 같은 계기를 연결함으로써 바로 확인이 가능할 수 있도록 본 시스템을 설계하였다.

본 측정시스템에 대한 지배방정식을 유도하기 위해 Fig. 4를 고려하자. 여기서, Bricks 부분은 내화벽돌로 만들어진 도관의 두께에 해당한다. 유체는 L_i에 해당하는 부분에 부딪힌다.

미소면적 wds에 작용하는 힘은 다음과 같다. 여기서, ρ와 u는 각각 유체의 밀도와 유속을 나타낸다.

$$dF_x = \frac{1}{2} \rho u^2 w dx \tag{1}$$

지렛대 원리를 이용하면 위의 미소면적에 해당하는 힘과 L_y 지점

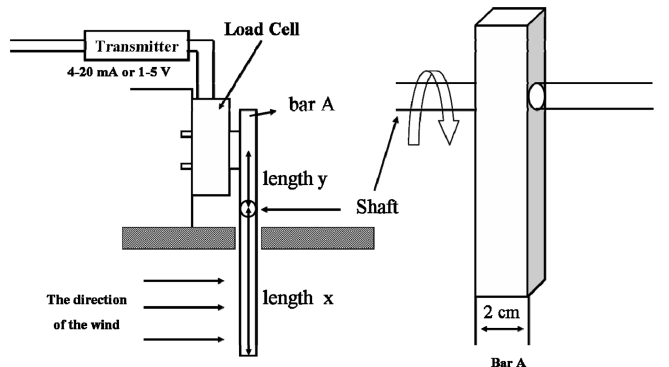


Fig. 3. The basic concept of the proposed method.

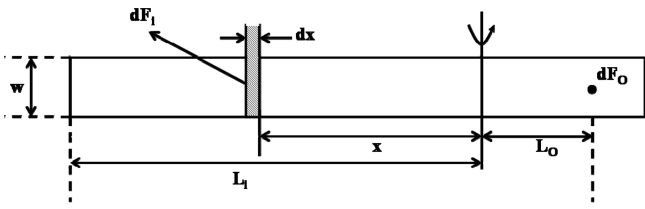


Fig. 4. Schematic diagram of the lever to calculate the weight of waste-gas.

에 작용하는 힘 사이의 관계식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$dF_x \times x = dF_y \times L_y \quad (2)$$

$$dF_y = \frac{x}{L_y} dF_x = \frac{\rho u^2 w}{2L_y} x dx \quad (3)$$

모든 미소면적에 대한 힘을 적분하여 L_y 지점에 작용하는 총 힘을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_y = \int_0^{L_x} dF_y = \int_{L_x-L_i}^{L_x} \frac{\rho u^2 w}{2L_y} x dx = \frac{\rho u^2 w (L_x^2 - (L_x - L_i)^2)}{4L_y} \quad (4)$$

용해 공정의 도면을 참조하여 bar의 수치는 $L_y=8[\text{cm}]$, $L_i=132[\text{cm}]$, $w=2[\text{cm}]$ 로 선택을 하였다. 1차 현장조사에서 알 수 있듯이 대상 공정의 풍속이 1~2 m/s 이므로 Table 1은 풍속 1 m/s 일 때와 2 m/s 일 때, bar의 길이에 따른 폐가스의 무게(F_y)를 보여주고 있다. 이때, 폐가스가 공기이며 이상기체의 성질을 만족한다고 가정하여 밀도를 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\rho(T) = \rho(T_0) \times \left(\frac{T_0}{T}\right) \quad (5)$$

여기서 $T_0=93.15[\text{K}]$ 이며, $\rho(T_0)=0.001204[\text{g}/\text{cm}^3]$ 를 의미하며, $\rho(T)$ 는 온도 $T[\text{K}]$ 일 때의 밀도가 된다.

Table 1에서 알 수 있듯이 대상공정의 폐가스 유속을 (4) 식에 의해 계산된 폐가스의 무게로 환산할 경우 0.5~6 kg 사이이다. 이 값을 고려하여 최대 20 kg까지 측정 가능한 load-cell을 선택하였다. Fig. 5에 선택한 load-cell의 도면을 나타내었고, Table 2에는 선택한 load-cell의 특징을 나타내었다.

지금까지 이론적 전개는 유속과 bar가 직각을 이룰 때 적용되는 것이다. 그러나, 장소적 제약으로 인한 작업의 어려움과 도관벽의

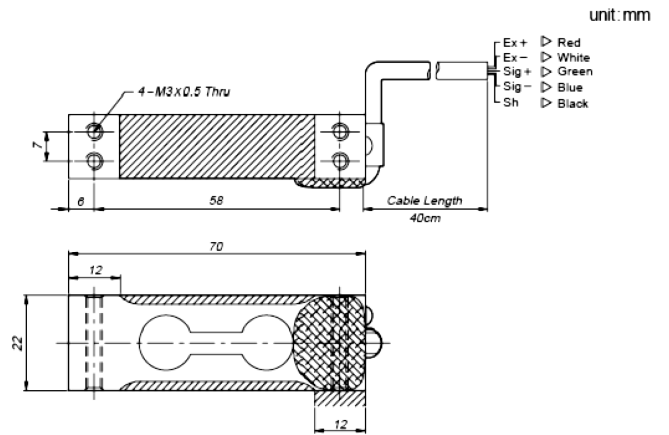


Fig. 5. The load-cell design.

Table 2. Specifications of the Load-cell

Max. Capacity	kgf	
Rated output Zero balance	mV/V	1.0±0.1 0±0.05
Combined error	%	0.03
Repeatability	%	0.01
Creep for 30 min.	%	0.03
Temperature effect on		
Zero Value	% / 10 °C	0.028
Output Value	% / 10 °C	0.014
Excitation		
Recommended	V	10
Maximum	V	15
Resistance		
Input	Ω	400 ± 20
Output	Ω	350 ± 3.5
Insulation	MΩ	> 2,000
Compensated temperature range	°C	-10 to +40
Operating temperature range	°C	-20 to + 70

표면이 평평하지 않아 측정장치가 기울어져 설치될 수 있다. 이럴 경우에 유속과 bar가 직각에서 어느 정도 벗어날 수 있다. 이 경우를 보다 정확한 지배방정식을 유도하기 위해 Fig. 6을 참조하자.

θ 만큼 기울진 측정 bar에 폐가스가 부딪힐 때 미소면적 $w dx$ 에 작용하는 힘(dF_x)은 폐가스에 의해 발생한 힘(F_w)과 중력에 의해 발생된 힘(F_g)이 함께 작용하기 때문에 식 (6)과 같아 진다.

Table 1. The weight of waste-gas

T (°C)	Density (g/cm ³)	Weight(g), at 1m/s			Weight(g), at 2 m/s		
		$L_i=120$ cm	$L_i=115$ cm	$L_i=110$ cm	$L_i=120$ cm	$L_i=115$ cm	$L_i=110$ cm
400	0.000525071	1260.171	992.0096	794.1703	5040.684	3968.039	3176.681
410	0.000517389	1241.734	977.496	782.5511	4966.936	3909.984	3130.204
420	0.000509929	1223.829	963.4009	771.267	4895.315	3853.603	3085.068
430	0.00050268	1206.432	949.7065	760.3038	4825.73	3798.826	3041.215
440	0.000495635	1189.524	936.3959	749.6478	4758.095	3745.584	2998.591
450	0.000488784	1173.083	923.4533	739.2864	4692.33	3693.813	2957.146
460	0.000482121	1157.09	910.8637	729.2075	4628.358	3643.455	2916.83
470	0.000475636	1141.527	898.6126	719.3997	4566.107	3594.451	2877.599
480	0.000469324	1126.377	886.6868	709.8523	4505.509	3546.747	2839.409
490	0.000463177	1111.624	875.0733	700.5549	4446.497	3500.293	2802.22
500	0.000457189	1097.253	863.7602	691.498	4389.012	3455.041	2765.992

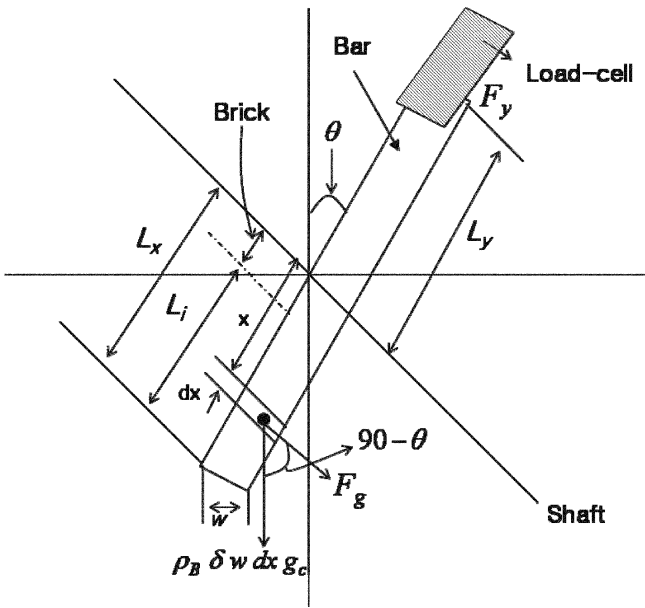


Fig. 6. In case the bar leans as much as θ degree.

$$dF_x = dF_g + dF_w \tag{6}$$

$$\cos(90-\theta) = \frac{dF_g}{\rho_B \delta w g_c dx} \Rightarrow dF_g = \cos(90-\theta) \rho_B \delta w g_c dx \tag{7}$$

$$dF_w = \frac{\rho u^2 w dx \cos(\theta)}{2} \tag{8}$$

여기서, ρ_B 는 bar의 밀도이고, δ 는 bar의 두께이다. 지렛대 원리에 의해 미소면적에 해당하는 힘과 L_y 지점에 작용하는 힘 사이에 작용하는 관계식은 다음과 같다.

$$dF_x \times x = dF_y \times L_y \tag{10}$$

$$(dF_x + dF_w) \times x = dF_y \times L_y \tag{11}$$

$$dF_y = \frac{\rho_B \delta w g_c \cos(90-\theta)}{L_y} x dx + \frac{\rho w u^2 \cos(\theta)}{2 L_y} x dx \tag{12}$$

모든 미소면적에 대한 힘을 구하기 위해 식 (12)를 적분하면 L_y 지점에 작용하는 총 힘(F_y)을 구할 수 있다.

$$\int_0^{L_y} dF_y = \int_{L_i-L_i}^{L_x} \frac{\rho_B \delta w g_c \cos(90-\theta)}{L_y} x dx + \int_{L_i-L_i}^{L_x} \frac{\rho w u^2 \cos(\theta)}{2 L_y} x dx \tag{13}$$

$$F_y = \frac{\rho_B \delta w g_c \cos(90-\theta)(L_x^2 - (L_x - L_i)^2)}{2 L_y} + \frac{\rho w u^2 \cos(\theta)(L_x^2 - (L_x - L_i)^2)}{4 L_y} \tag{14}$$

요약하면, 유속과 bar가 거의 직각일 경우에는 식 (4)와 같은 유속과 load-cell에 의한 측정값과의 관계식을 얻을 수 있고 직각에서 어느 정도 벗어날 경우에는 식 (14)와 같은 관계식이 유효하다.

4-2. Thermal electronic cooler(TEC) 설계

load-cell 및 전자부품들이 온도에 영향을 받지 않고 정확하게 작동하기 위해서는 어느 정도의 온도를 유지해야 한다. 그러나, 현재

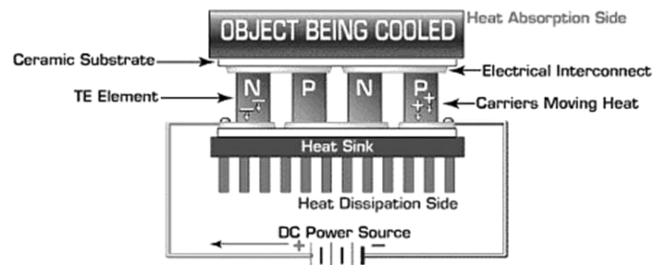


Fig. 7. Operation principles of the Peltier.

대상공정의 주변 대기온도가 약 70 °C를 나타내고 있기 때문에 load-cell 및 전자부품들의 오작동을 방지할 장치가 요구된다. Load-cell의 경우 Table 2에 나와 있듯이, 정확하게 작동하기 위해서는 -10 °C~40 °C의 범위에서 작동을 해야 한다. 또한 일반 전자부품들도 40 °C 이하의 온도에 정상적으로 작동하기 때문에 box 내부의 온도를 약 35 °C로 유지하도록 thermal electronic cooler(TEC)를 설계하였다.

TEC는 펠티에 소자를 이용한 것이다. 펠티에란 두 종류의 금속을 접합하여 회로에 전류를 흘리면 한 쪽 접합부에서는 흡열이, 다른 쪽 접합부에서는 발열이 일어나는 것을 말하며 전류의 방향을 바꾸면 흡열부와 발열부가 반전된다. 펠티에를 이용하여 자동차용 냉장고, 화장품냉장고, 반도체 등 많은 분야에 많이 사용되고 있다. Fig. 7에는 펠티에의 작동 원리를 나타내었다.

이와 같은 원리로 설계된 TEC는 정밀도가 높고 응답이 빠른 온도제어를 가능하게 하며 소음, 진동이 없고, 프레온 등의 냉매가 필요 없어 환경친화적이고 반영구적으로 사용이 가능하다. TEC의 용량설계는 다음과 같이 수행하였다.

약 70 °C의 뜨거운 공기를 30 °C로 낮출 때 필요한 열량은 다음 식 (15)로 구할 수 있다.

$$Q = m \times c \times \Delta T = \rho \times V \times c \times \Delta T \tag{15}$$

여기서 m은 질량[g], c는 공기비열 0.24[cal/g·°C], ΔT 는 온도변화량 35[°C], ρ 는 공기밀도 0.001204[g/cm³], V는 부피[cm³]이며 Q는 열량[cal]을 의미한다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 TEC가 제어해야 할 공기의 최대 부피는 box의 부피이므로, V=12.8×19.0×28.0=6809.6 [cm³]이다. 따라서 load-cell 및 전자부품들의 오작동 및 훼손을 방지하기 위해 box내의 공기 온도를 일정한 온도로 유지하는데 필요한 열량은 68.97[cal]이다. 그리고, 1초에 70 °C에서 30 °C로 온도를 떨어뜨리는 것을 목표로 하면 약 290 [W] 이상의 TEC 용량이 필요한 것으로 계산되었으며 box내의 공기를 약 30 °C정도를 목표로 하면 약 330[W] 용량의 TEC가 필요한 것으로 계산되었다. Table 3은 TEC의 상세 사양을 나타내었다.

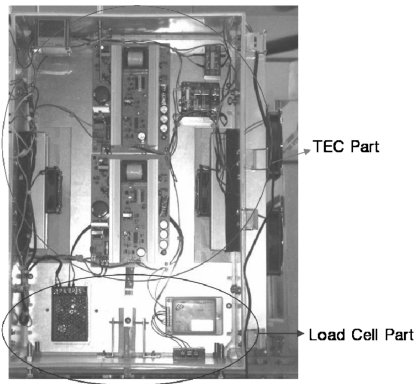
Table 3. Specifications of the thermal electric cooler (TEC)

Item	Specification	No.	Reference
TE Unit (330 W grade)	TE module, 83 W	4	Glue Type, Epoxy sealing
	Space Block	4	Al, 51×51×25 mm
	Cooling Fan	4	60×60×15(t)mm, Sleeve type
Ambient Temp. : 70 °C	Heat sink	2	64×200×40(t)mm
	Cold sink	2	48×100×25(t)mm
	Blowing fan	2	50×50×15(t)mm, HTLS type
	SMPS	2	24V, 12A

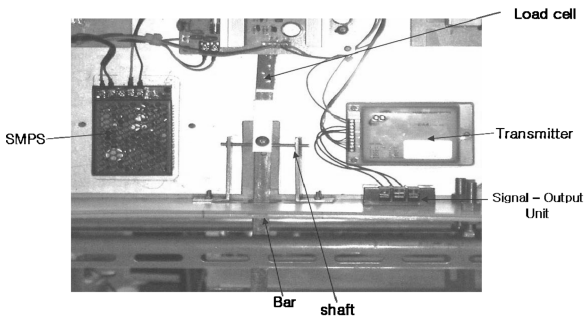
5. 폐가스 유속 측정 시스템 제작

Fig. 8의 (a)에는 제작된 폐가스 유속 측정 시스템의 전체 모습을 보여주고 있다. Fig. 8에서 보듯 제작된 장치는 크게 두 부분으로 구성된다. 하나는 폐가스의 유속을 직접 측정하는 load-cell 부분이고, 다른 하나는 load-cell이나 transmitter 등과 같은 전자부품들이 고온에 영향을 받지 않도록 box내의 온도를 일정하게 유지시켜주는 TEC 부분이다.

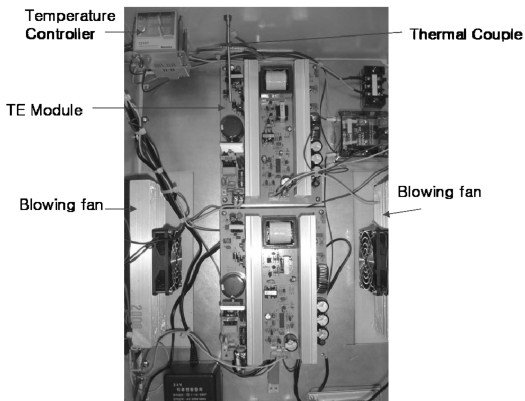
Fig. 8의 (b)에는 제작된 폐가스 유속 측정 시스템의 load-cell 부분의 구성을 보여주고 있다. Fig. 8의 (b)에서 보듯이 bar에 폐가스가 부딪치면 bar의 한쪽 끝에 설치된 load-cell에 힘이 가해지고 그 힘은 transmitter를 통해서 전압이나 전류의 전기적 신호로 바꾸면 전기적 신호의 변화에 따라 폐가스의 유속을 측정하게 된다. 또한



(a) Whole appearance



(b) The Load-cell part



(c) The TEC part

Fig. 8. Configuration of the equipment manufactured for measuring the velocity of waste-gas.

Fig. 8의 (c)에서는 제작된 TEC 부분의 구성을 보여주고 있다. Fig. 8의 (c)에서 알 수 있듯이, TEC의 기본 구성은 펠티에와 온도제어기, thermal couple이라는 온도센서로 구성하였다. 온도센서를 이용하여 box내의 온도를 측정하고 측정된 온도가 온도제어기에 설정된 온도 이상이 될 경우 펠티에가 작동하여 box내의 공기를 설정온도로 냉각시키고 설정온도이하의 온도가 될 경우 작동이 중지하도록 제작되었다.

6. 폐가스 유속의 관계식

6-1. 측정된 load-cell의 측정값과 전기적 신호의 관계식

load-cell에 전달된 힘은 transmitter를 통하여 전기적 신호로 표현된다. 이 때, 전기적 신호는 전압 또는 전류로 표현된다. 전압 및 전류로 표현된 전기적 신호와 load-cell의 힘의 관계식은 다음과 같다.

6-1-1. 전압 측정시

전압으로 load-cell의 힘을 표현할 경우 전압의 표현범위는 1~5[V]이며, 아무런 힘이 작용하지 않을 때 1[V]의 값을 보이며, 질량 100[g]을 증가시킬 때마다 전압은 0.18[V]씩 증가하였다. 따라서, 측정된 load-cell의 힘과 전압 값과의 관계는 식 (19)로 정의된다.

$$\frac{dV}{dm} = \frac{0.18[V]}{100[g]} \Rightarrow dV = 0.0018dm \tag{16}$$

$$\int_1^V dV = 0.0018 \int_0^m dm \tag{17}$$

$$V = 0.0018m + 1 \tag{18}$$

$$\therefore F_y = \left(\frac{I-4}{0.0072} \right) \times g_c \tag{19}$$

6-1-2. 전류 측정시

전류 load-cell의 힘을 표현할 경우, 전류의 표현범위는 4~20[mA]이며, 아무런 힘이 작용하지 않을 때 4[mA]의 값을 보이며, 질량 100[g]을 증가시킬 때마다 전류는 0.72[mA]씩 증가하였다. 따라서, 측정된 load-cell의 힘과 전류와의 관계는 식 (23)으로 정의된다.

$$\frac{dI}{dm} = \frac{4 \times 0.18[A]}{100[g]} \Rightarrow dI = 0.0072dm \tag{20}$$

$$\int_4^I dI = 0.0072 \int_0^m dm \tag{21}$$

$$I = 0.0072m + 4 \tag{22}$$

$$\therefore F_y = \left(\frac{I-4}{0.0072} \right) \times g_c \tag{23}$$

6-2. 폐가스 유속과 측정된 load-cell의 측정값의 관계식

유속과 bar가 직각을 이룰 경우, 식 (4)으로부터 다음 식 (24)을 유도할 수 있다. 식 (24)을 이용하면 load-cell에 의해 측정된 식 (10)이나 식 (14)의 F_y 로부터 유속을 계산할 수 있다.

$$u = \sqrt{\frac{4L_y F_y}{\rho w(L_x^2 - (L_x - L_t)^2)}} \tag{24}$$

유속과 bar가 θ 만큼 기울어져 있는 경우, 식 (14)으로부터 다음 식 (25)을 유도할 수 있다. 식 (25)을 이용하면 load-cell에 의해 측정된 식 (4)나 식 (14)의 F_y 로부터 유속을 계산할 수 있다.

$$u = \sqrt{\frac{4L_y}{\rho w \cos(\theta)(L_x^2 - (L_x - L_i)^2)} \left(F_y - \frac{\rho_B \delta w g_c \cos(90 - \theta)(L_x^2 - (L_x - L_i)^2)}{2L_y} \right)} \quad (25)$$

7. 현장실험 결과

이 연구를 통해 제작된 폐가스 유속 측정 시스템을 용해로의 오른쪽 배출구쪽에 설치하여 폐가스의 유속을 전압(V) 값으로 반복측정하였다. 제작된 유속 측정 시스템은 측정 bar의 전체 길이가 140 cm이며, 회전축에서 load-cell까지의 길이(L_y)가 8 cm이며, 현장의 내열벽돌 두께는 24 cm이었다. 또한 현장실험 당시 측정된 폐가스의 온도는 약 400 °C 정도의 온도를 보였다. Fig. 9는 폐가스 측정 결과를 보여주고 있다.

Table 4에서 현장테스트의 측정값을 나타내고 있으며, 측정값에서 알 수 있듯이, 유속의 작은 변화에도 충분한 민감도를 보인다. 또한 Table 2에서 알 수 있듯이, 측정에 사용된 load-cell의 경우 0.1 V의 전압변화에도 반응할 정도의 민감도를 갖고 있으며, load-cell의 온도에 대한 영향은 주변온도가 10 °C 변할 때 0.014%이므로, 약 30 °C 정도로 대기온도를 유지하면서 현장테스트를 실시하였으므로, Table 4의 현장테스트 측정값은 1% 미만의 오차범위를 가진다. 또한, 용해로의 온도 변화를 빠르게 감지함으로써 용해로내의 온도제어에 도움을 줄 것으로 기대된다. Fig. 9에서 알 수 있듯이 장치가 설치된 쪽으로 폐가스가 배출될 때에는 약 1.30[V] 정도의 전압값을 보였으며, 반대편 배출구로 폐가스가 배출될 경우에는 약 1.24[V] 정도의 전압값을 나타내었다. 이는 폐가스의 유속을 측정할 곳의 도관벽의 표면이 평평하지 않아 측정시스템이 4도 기울어져 설치되었

Table 4. The measurement value of Field test

Measurement Time	Value[V]
11:46	1.267
11:51	1.254
11:56	1.297
12:01	1.316
12:06	1.307
12:11	1.305
12:16	1.283
12:21	1.254
12:26	1.246
12:31	1.241
12:36	1.289
12:41	1.336
12:46	1.326
12:51	1.324
12:56	1.304
13:01	1.301
13:06	1.272
13:11	1.260
13:13	1.251

기 때문이다. 그래서, 식 (25)로 계산해 본 결과 폐가스의 유속은 평균 2.3 m/s로 측정되었다.

8. 결 론

이 연구를 통하여 개발된 측정장치는 기존의 장비로는 연속적인 측정을 할 수 없는 조건 즉, 고온이고 dust를 함유한 저속의 조건을 가진 유체 유속을 측정하는데 효과적이다. 개발된 측정장비는 온라인으로 폐가스의 유속을 측정할 수 있게 설계함으로써 작업자가 직접 폐가스유속을 측정하지 않아 직접적으로 폐가스의 유속을 측정함으로써 발생하는 화상이나 호흡기질환과 같은 산업재해를 예방할

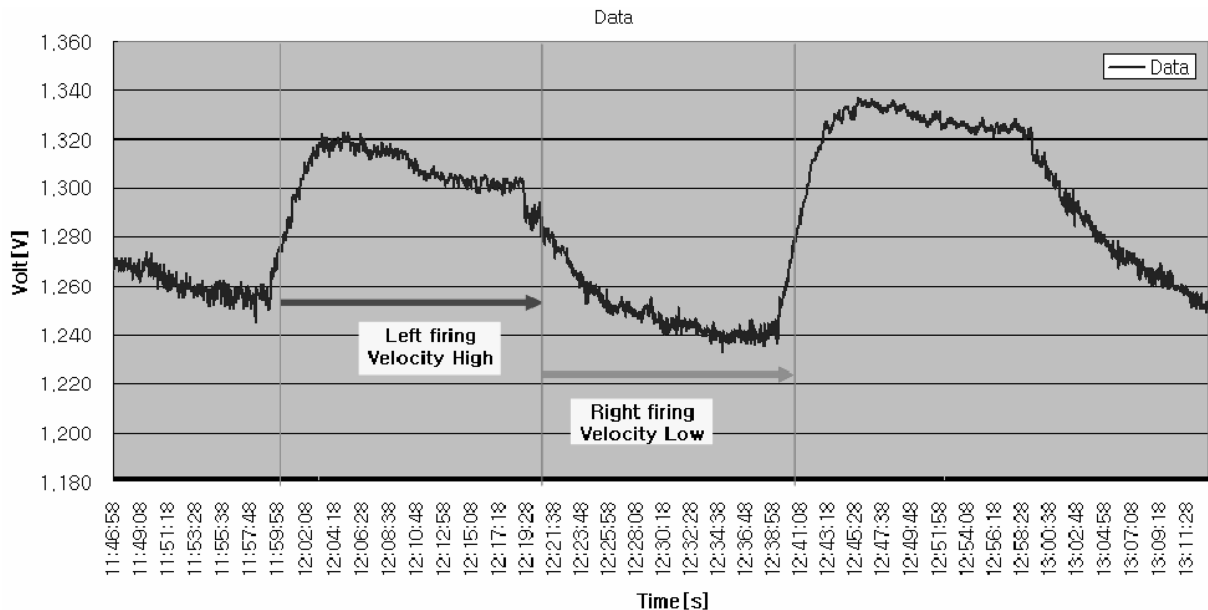


Fig. 9. The result of field test.

수 있을 것이다.

또한 측정 장비를 통해 얻어진 데이터를 바탕으로 용해로 내부의 연소 패턴 및 온도를 예측하고 용해공정을 최적화 함으로써 운전의 불안정 요인을 제거할 수 있을 것이며, 또한 폐가 δD 발생양 및 연료 연소량을 감소시킴으로써 경제적, 환경적이익이 증대될 것이다. 본 측정 장비는 용해로 내의 연소 상황, 가스의 유량 분포 등을 규명하는고 이를 통한 에너지 절감과 온도제어 시스템 구축에 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

감 사

이 연구는 2007학년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임.

참고문헌

1. Park, S. J., Lee, D. G. and Lee, S. H., "Computational Analysis of flow Velocity and Particle Trajectory on the Surface of Bag-Shaped Filter with a Different Permeability," *Korean J. Chemical Eng.* **44**(3), 294-299(2006).
2. Min, G., and Rowe, D. M., "Cooling Performance of Integrated Thermoelectric Microcooler," *Solid-State Electronics*, **43**(5), 923-929(1999).
3. Gordon, J. M., Ng, K. C., Chua, H. T. and Chakraborty, A., "The Electro-Adsorption Chiller: a Miniaturized Cooling Cycle with Applications to Micro Electronics," *International J. Refrigeration* **25**(8), 1025-1033(2002).
4. www.cas.co.kr/bemarket/shop/.
5. Park, H. Y. and Kim, Y. J., "Combustion Characteristics of Vacuum Residue in a Test Furnace and Its Utilization for Utility Boiler," *Korean J. Chemical Eng.* **24**(1), 83-92, (2007).
6. Kim, H. K. and Song, T. H., "Determination of the Gas Temperature Profile in a Large-scale Furnace Using Fast/Efficient Inversion Scheme for the SRS Technique," *J. Quantitative spectroscopy and Radiative transfer*, **93**(1), 369-381(2005).

1. Park, S. J., Lee, D. G. and Lee, S. H., "Computational Analysis of flow Velocity and Particle Trajectory on the Surface of Bag-