

## 용해공정에서 발생하는 폐가스의 유량측정 장치 개발

박진수, 정재학\*, 성수환<sup>1</sup>, 김민수, 소원섭, 서민교, 박미정  
 영남대학교 디스플레이화학공학부, <sup>1</sup>경북대학교 화학공학과  
 (jhjung@yumail.ac.kr\*)

## Development of System for measuring a flow rate of waste gas in the Smelting Furnace

Jin Soo Park, Jae Hak Jung\*, Su Whan Sung<sup>1</sup>, Min Sue Kim, Won Shoup So,  
 Min Kyo Seo, Mi Jung Park  
 School of Chemical Engineering & Technology, Yeungnam University,  
<sup>1</sup>Department Chemical Engineering, Kyungpook National University  
 (jhjung@yumail.ac.kr\*)

## 서론

최근 디스플레이산업의 급속한 발전으로 LCD, PDP와 같은 디스플레이제품의 대형화 및 고품격화가 이루어지고 있다. 이들 유리제품들의 품질은 원료의 용해과정에서 결정되어 진다. 고품질의 제품을 생산하기 위해서는 용해로의 온도관리가 중요하다. 주로 디스플레이산업은 유리제품의 원료를 용해하는 과정에서 폐가스가 발생하게 되며 발생된 폐가스의 유량을 연속적으로 측정하여 용해로 위치별에 따라 발생한 폐가스의 양을 측정하여 배기구의 Damper 개폐율을 조절함으로써 용해로의 위치별 온도산포를 안정시키고 또한 용해로의 운전을 안정시키는 것이 이 연구의 목적이다.

하지만 배기구내의 온도가 200 ~ 400℃이고 용해로 주변의 온도가 70 ~ 80℃의 고온이며 또한 폐가스에는 Dust가 많은 현장의 환경여건에 따라 일반적인 방법으로 유량을 측정하기가 어려워 정확한 유량을 측정하기 위하여 적합한 Sensor의 선정 및 가스 유량계를 제작하여 하여 현장에 적용하였다. 또한 이를 통하여 용해공정에서 발생하는 불량을 줄이기 위한 안정적인 운전 조건을 찾아냄으로써 제품의 균일화를 통한 경제적 효율을 증대시키고자 한다. 또한 현재 우리나라 경제의 한 축을 담당하고 있는 디스플레이산업의 세계시장에서의 경쟁력 강화에도 도움을 주리라 기대된다.

## 본론

## 1) 현장 조사

일반 디스플레이산업의 용해로의 현장조건을 알아보기 위해 1차 현장조사가 실시하였다. 현장의 여건을 알기 위해 기체의 유속을 측정하는 방식 중에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 Pitot tube 방식을 이용하여 측정하였다. 이는 40℃이상 고온의 현장주변 온도와 온도를 측정할 수 있는 장소의 제약성 및 폐가스내의 Dust가 많이 포함되어 있기 때문이다. 또한 Pitot tube의 경우 유지보수가 용이하고 가격이 저렴하며 1,000℃까지 측정가능하다는 장점을 있기 때문에 1차 현장조사에 이용하기로 하였다. 1차 현장조사 결과 풍속은 1~2 m/sec, 이며 배기구 내의 온도는 약 300℃정도로 나타났으며 배기구외의 대기 온도가 약 70℃인 것으로 조사되었다. Pitot Tube 방식의 측정치의 정확도를 위해 3m/sec

이상의 풍속을 요구하는 특성상 Pitot tube는 사용하기 어렵다고 판단되었다. 따라서 Pitot tube 방식을 Load Cell 방식으로 대체하게 되었다.

2) 기본 원리

현장의 낮은 유속으로 인하여 정확한 풍속을 측정하기 위해서는 작은 힘에도 반응할 수 있는 sensor의 설치가 필요하였다. 따라서 작은 힘도 측정 가능한 정밀한 Load Cell을 이용하여 장치를 고안하였다. 고안한 기초 도면은 그림 1에 나타내었다.

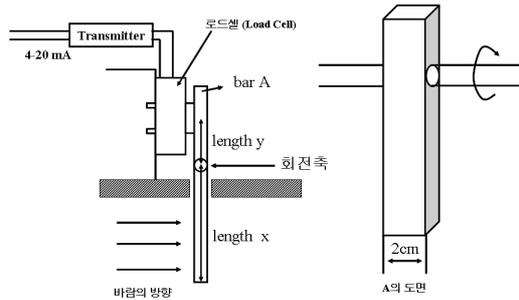


그림 1. Load Cell 방식의 기초도면

위의 그림 1에서 보듯이 배기구내의 유속에 따라 probe에 가해지는 토크가 달라지며 유속에 의해 발생된 토크는 회전축에 의해 반대편 Load Cell에 전달되는 원리를 이용한 것이다. 이는 지렛대의 원리에 의해 길이비  $y/x$  가 작을수록 Load Cell에 가해지는 힘이 커져 Sensitivity가 좋아지게 된다. 반면 설치상의 정밀도를 요하므로 측정값의 error가 증가할 수 있는 위험도 있다. 또한 배기구의 온도가 약 300 ~ 400°C의 고온으로 이는 Probe의 녹는점이 이 온도이상이지 않을 경우 Probe의 변형을 가져올 뿐만 아니라 배기구내의 유속이 1~2m/sec로 낮아 Probe의 비중이 클 경우 낮은 유속으로 Probe에 힘을 가하여 움직이기 어려울 뿐만 아니라 장치의 고정의 어려움 및 경제성 등을 고려하여 녹는점이 670°C이며 비중이 2,700kg/m<sup>2</sup>인 Stainless Steel를 사용하여 Probe를 제작하였다. 또한 현장에 설치되는 Probe의 상태에 따라 Load Cell에 전달되는 힘이 변하게 된다. 따라서 Probe에 가해지는 힘을 계산해 보기로 하였다.

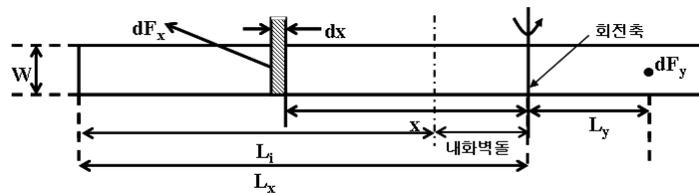


그림 2. Probe에 가해지는 힘 계산

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

$$dF_x = dF_y \times L_y$$

$$dF_y = \frac{x}{L_y} dF_x = \frac{\rho u^2 W}{2L_y} x dx$$

$$F_y = \int_0^{F_y} dF_y = \int_{L_x-L_y}^{L_x} \frac{\rho u^2 W}{2L_y} x dx = \rho u^2 \frac{W(L_x^2 - (L_x - L_y)^2)}{4L_y} \quad \text{----- (1)}$$

또한 식(1)에서 알 수 있듯이 Air의 밀도에 의해 힘이 영향을 받으며 현장의 Air가 고온임 점을 감안할 경우 온도에 따른 Air의 밀도 변화가 있을 것이다. 이것 또한 Load Cell에 전달되는 힘에 큰 영향을 줄 것으로 고려된다. 다음 표에 온도에 따른 밀도의 변화 및 Probe에 가해지는 힘을 계산하여 나타내었다. 이는 이상기체로 가정하여 밀도변화를 계산하였다.

$$PV = \frac{w}{m} RT \Rightarrow \rho = \frac{mP}{RT}$$

$$\rho(T) = \frac{T_0}{T} \rho(T_0) \quad \text{-----} \quad (2)$$

$T_0$ : 기준온도 = 293.15K,  $\rho(T_0)$ : 기준밀도 =  $0.001204 \frac{g}{cm^3}$ ,  $\rho(T)$ : T에서 환산밀도

표 1. 풍속 2m/sec일 때 Probe의 길이에 따라 가해지는 힘

온도(°C)	환산온도(°K)	밀도(g/cm <sup>3</sup> )	Li=130 cm(g)	Li=125 cm(g)	Li=120 cm(g)	Li=115 cm(g)	Li=110 cm(g)
300	573.5	0.000574183	9.901728733	7.323763856	5.624650641	4.4277384	3.544701706
320	593.5	0.000554834	9.568056324	7.076964737	5.435108918	4.2785307	3.425250933
340	613.5	0.000536747	9.256139248	6.84625684	5.257925253	4.1390513	3.313588311
360	633.5	0.000519801	8.963917014	6.630116135	5.091929192	4.0083788	3.208976209
380	653.5	0.000503893	8.689581375	6.427205159	4.936093562	3.8857046	3.110767297
400	673.5	0.000488929	8.431538869	6.236345318	4.789513204	3.7703162	3.018391134

3) 현장적용

다음 그림 3에 현장에 설치된 장치의 전체 모습 및 주요 부분의 모습을 나타내었다.

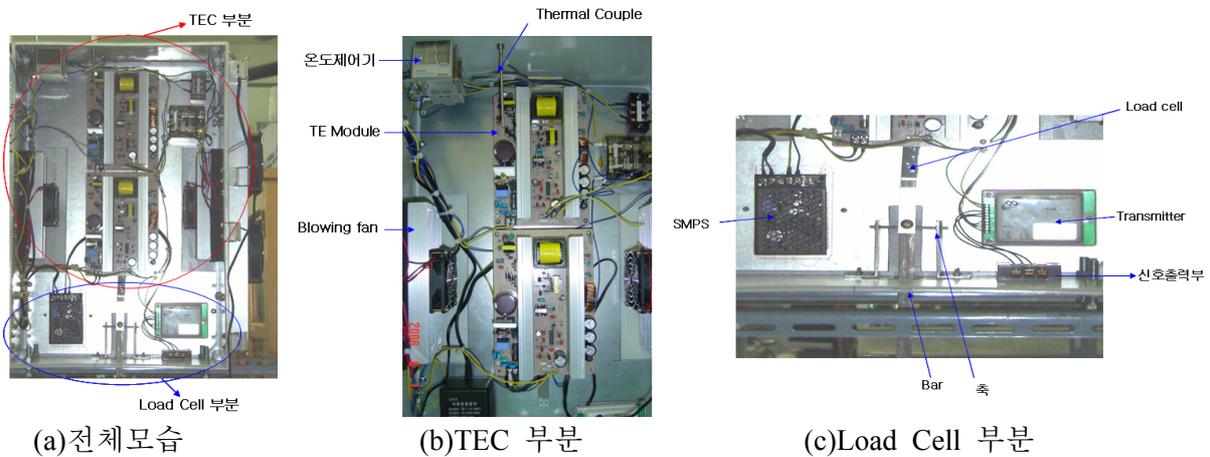


그림 3. 현장에 설치된 장치의 모습

로드셀로 측정된 값은 Transmitter를 통하여 전압 및 전류값으로 바뀌어 전송이 DCS실로 전송이 되어진다. 따라서 측정유형에 따른 계산식을 정리하면 다음과 같다.

$$F_y = m_g g_c \quad \text{-----} \quad (3)$$

\* 전압측정시:  $m_g = \frac{V-1}{0.0018}$ , 전류측정시:  $m_g = \frac{I-4}{0.0072}$

$m_g$ : 무게, V: Volt(전압), I: Current(전류),  $g_c$ (중력가속도):  $980 \frac{cm}{sec^2}$

위의 식(1)과 식(2)에 식(3)을 대입하여 폐가스의 유속을 구할 수 있다.

$$u = \sqrt{\frac{4L_y F_y}{\rho W(L_x^2 - (L_x - L_i)^2)}} \quad \text{----- (4)}$$

또한 다음 그림 4에는 현장의 설치된 장치의 개략도를 나타내었으며 그림 5에는 장치를 현장에 설치하여 측정된 결과를 나타내었다.

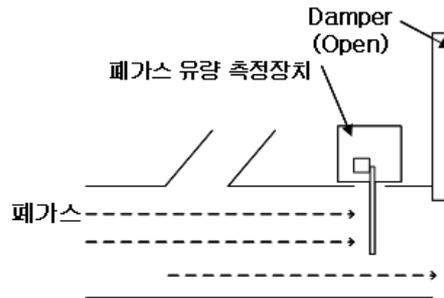


그림 4. 현장에 설치된 장치의 개략도

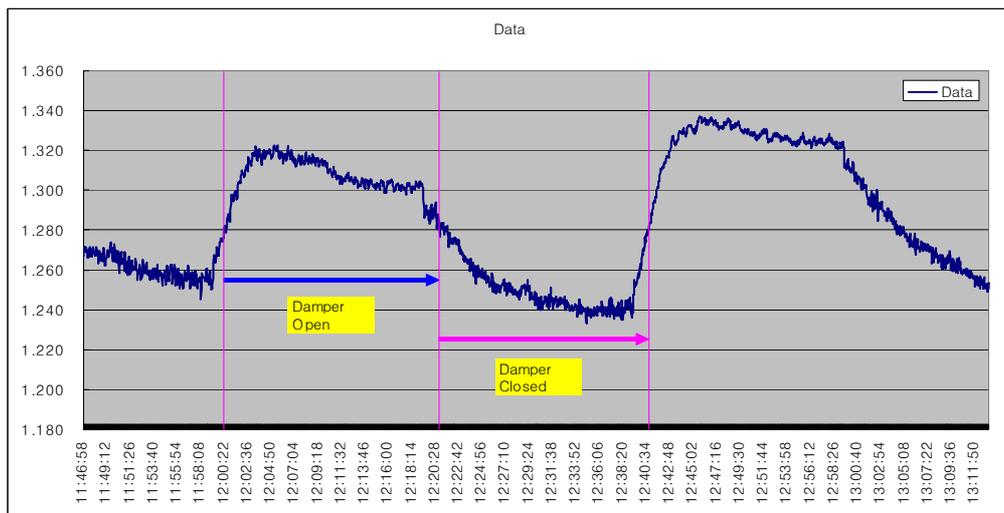


그림 5. 현장 측정 결과

그림 5에서 보듯이 제작된 장치를 이용하여 고온의 저속 폐가스에 대하여 정확한 측정 위치를 선정할 경우 저속의 폐가스의 유속 측정에 유용할 것으로 예상된다.

**결론**

현장의 장소적 제한 및 설치되는 Load Cell의 특성상 Probe의 길이가 길수록 측정될 수 있는 힘의 범위가 증가되어 130cm가 설치될 경우 고온의 저속 폐가스의 유량 측정에 유용할 것으로 고려된다.

**감사의 글**

이 연구는 삼성코닝(주)의 산학과제에 의해 이루어졌습니다.