

축열실 폐가스 유량 측정 System 개발

박진수, 정재학*, 성수환¹, 김민수, 소원섭, 서민교, 이선희
 영남대학교 디스플레이화학공학부, ¹경북대학교 화학공학과
 (jhjung@yumail.ac.kr*)

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

Jin Soo Park, Jae Hak Jung*, Su Whan Sung¹, Min Sue Kim,
 Won Shoup So, Min Kyo Seo, Sun Hee Lee
 School of Chemical Engineering & Technology, Yeungnam University,
¹Department Chemical Engineering, Kyungpook National University
 (jhjung@yumail.ac.kr*)

서론

오늘날 전자산업의 발전과 함께 디스플레이산업이 발전함에 LCD, PDP와 같은 디스플레이제품의 대형화 및 고품격화가 이루어지고 있다. 이들 유리제품들의 품질은 재료의 용해에 의해 결정되어진다. 우리나라의 국가 경제에 한 축을 담당하고 있으며 이들의 세계시장에서 경쟁력 강화에도 이번 연구는 도움을 주리라 기대된다. 주로 디스플레이산업에서 유리제품의 재료를 용해하는 과정에서 일반 용해로의 하부에서 발생하는 폐가스의 유량을 연속적으로 측정하여 폐가스 배기구에서 설치된 Damper의 개폐율이 melter 위치별 온도에 미치는 영향을 분석하고 용해로의 운전 산포를 안정시키는 것이 이 연구의 목적이다.

하지만 배기구내의 온도가 200 ~ 400°C이고 용해로 주변의 온도가 70 ~ 80°C의 고온이며 또한 폐가스에는 Dust가 많은 현장의 환경여건에 따라 유량을 측정하기가 어렵고 따라서 정확한 유량을 측정하기 위하여 적합한 Sensor의 선정 및 가스 유량계를 제작하여 하여 현장에 적용할 계획이다. 이를 통한 용해공정에서의 제품의 불량률을 줄이기 위한 안정적인 운전을 여건을 찾아줌으로써 제품의 균일화를 통한 경제적 효율을 증대시키고자 한다.

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°C 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°C까지 측정가능하다는 장점을 있기 때문에 1차 현장조사에 이용하기로 하였다. 1차 현장조사 결과 풍속은 1~2 m/sec, 이며 배기구 내의 온도는 약 300°C 정도로 나타났으며 배기구외의 대기 온도가 약 70°C인 것으로 조사되었다. Pitot Tube 방식의 측정치의 정확도를 위해 3m/sec

이상의 풍속을 요구하는 특성상 Pitot tube는 사용하기 어렵다고 판단되었다. 따라서 Pitot tube 방식을 대체할 필요가 되었으며 그 대안으로 Vane 방식, Load Cell 방식이 대안으로 고려되었다.

2) Vane 방식

Vane 방식은 일반적으로 기체의 풍속을 측정하는 보편적인 방식 중에 하나인 것으로 Pitot tube를 대신할 방안으로 고려되어진다. 다음 그림에 현장의 여건을 고려하여 설계한 Vane 방식의 flowmeter를 나타내었다.

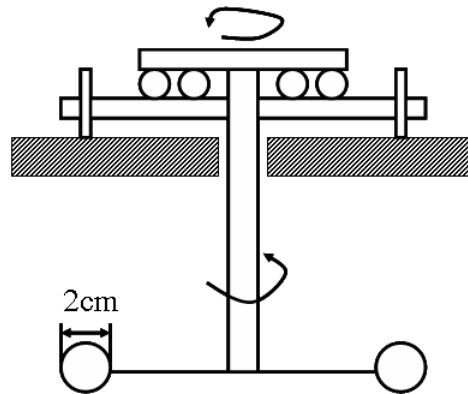


그림 1. Vane 방식

그러나 Vane 방식의 경우 현장의 평균유속이 1~2m/sec로 낮기 때문에 바람개비를 회전시킬 힘을 얻기 어려운 것으로 나타났으며 또한 회전축 부분에 무리한 힘이 가해져 어긋나는 현상을 보임에 현장에 여건상 적용하기 어려운 것으로 판명되었다.

3) Load Cell 방식

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 2에 나타내었다.

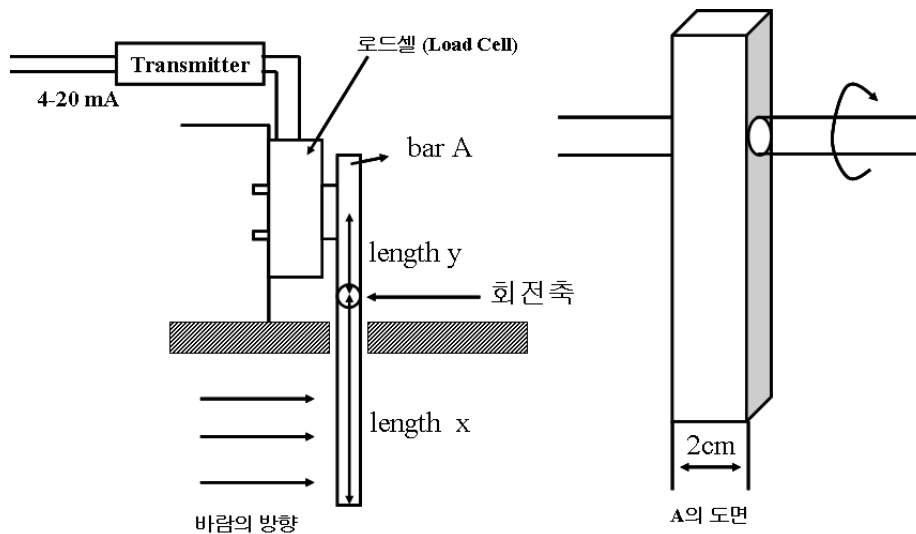


그림 2. Load Cell 방식의 기초도면

위의 그림 2에서 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 error 가 증가할 수 있는 위험도 있다. 또한 Probe에 가해지는 토크를 증가시키기 위해서는 현장의 조건이 낮은 유속과 고온이므로 거기에 맞게 Probe 가 설계되어져야 한다.

배기구의 온도가 약 300 ~ 400°C의 고온으로 이는 Probe의 녹는점이 이 온도이상이지 않을 경우 Probe의 변형을 가져올 수 있으며 또한 배기구내의 유속이 1~2m/sec로 낮아 Probe의 비중이 클 경우 낮은 유속으로 Probe에 힘을 가하여 움직이기 어려울 뿐만 아니라 장치의 고정에도 어려워짐에 따라 가벼운 재질의 선택이 요구되었다. 일반적으로 알려진 물질의 물성치에 따라서 알루미늄합금, Stainless steel, Ti합금이 고려되었다. 알루미늄합금의 경우 녹는점이 670°C이며 비중이 2,700kg/m²이며 Ti합금의 경우 녹는점이 1,675°C, 비중이 4,500kg/m²이고 Stainless Steel의 경우 녹는점이 1,539°C이고 비중이 8,100kg/m²이다. 그러나 Al합금의 경우 Ti합금에 비해 가격이 50%정도 저렴하고 주변에서 쉽게 구할 수 있는 특성을 가지고 있으며 Stainless Steel에 비해서는 가벼워 현장의 여건에 적합한 것으로 고려되는 Al합금을 사용하여 Probe를 제작하기로 하였다.

또한 현장에 설치되는 Probe의 길이에 따라 Load Cell에 전달되는 힘이 변하게 된다. 따라서 Probe에 가해지는 힘을 계산해 보기로 하였다.

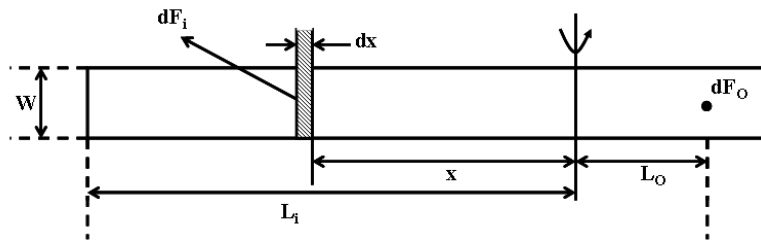


그림 3. Probe에 가해지는 힘 계산

$$dF_i = \frac{1}{2} \rho V^2 dx$$

$$dF_i = dF_o \times L_o$$

$$dF_o = \frac{x}{L_o} dF_i = \frac{\rho V^2 W}{2L_o} x dx$$

$$F_o = \int_0^{L_i} dF_o = \int_0^{L_i} \frac{\rho V^2 W}{2L_o} x dx = \rho V^2 \frac{WL_i^2}{4L_o} \dots\dots\dots (1)$$

또한 식(1)에서 알 수 있듯이 Air의 밀도에 힘이 영향을 받는 것을 알 수 있다. 그러나 현장의 Air가 고온입 점을 감안할 경우 온도에 따른 Air의 밀도 변화가 있을 것으로 고려된다. 이것 또한 Load Cell에 전달되는 힘에 큰 영향을 줄 것으로 고려된다. 다음 표에 온도에 따른 밀도의 변화 및 Probe에 가해지는 힘을 계산하여 나타내었다.

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

온도(°C)	환산온도(°K)	밀도(g/cm ³)	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	2.475432183	1.830940964	1.40616266	1.10693459	0.886175427
310	583.5	0.000564343	2.433008324	1.79956237	1.3820639	1.08796399	0.870988187
320	593.5	0.000554834	2.392014081	1.769241184	1.35877723	1.06963267	0.856312733
330	603.5	0.00054564	2.352378388	1.739924843	1.33626228	1.05190885	0.842123624
340	613.5	0.000536747	2.314034812	1.71156421	1.314481313	1.03476282	0.828397078
350	623.5	0.000528138	2.276921182	1.6841133	1.293399015	1.01816678	0.815110837
360	633.5	0.000519801	2.240979254	1.657529034	1.272982298	1.0020947	0.802244052
370	643.5	0.000511723	2.206154401	1.631771007	1.253200133	0.98652213	0.789777167
380	653.5	0.000503893	2.172395344	1.60680129	1.234023391	0.97142615	0.777691824
390	663.5	0.000496298	2.139653892	1.582584239	1.215424696	0.95678521	0.765970772
400	673.5	0.000488929	2.107884717	1.559086329	1.197378301	0.94257905	0.754597783

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

온도(°C)	환산온도(°K)	밀도(g/cm ³)	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
310	583.5	0.000564343	9.732033297	7.19824948	5.5282556	4.351856	3.483952748
320	593.5	0.000554834	9.568056324	7.076964737	5.435108918	4.2785307	3.425250933
330	603.5	0.00054564	9.409513552	6.959699373	5.345049118	4.2076354	3.368494496
340	613.5	0.000536747	9.256139248	6.84625684	5.257925253	4.1390513	3.313588311
350	623.5	0.000528138	9.107684729	6.736453202	5.173596059	4.0726671	3.26044335
360	633.5	0.000519801	8.963917014	6.630116135	5.091929192	4.0083788	3.208976209
370	643.5	0.000511723	8.824617605	6.527084027	5.012800533	3.9460885	3.159108669
380	653.5	0.000503893	8.689581375	6.427205159	4.936093562	3.8857046	3.110767297
390	663.5	0.000496298	8.558615567	6.330336958	4.861698784	3.8271409	3.063883088
400	673.5	0.000488929	8.431538869	6.236345318	4.789513204	3.7703162	3.018391134

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.