

분체 밀도와 속도를 이용한 유량검출기의 개발

(The Development of Flow-Meter System Using the Granule Flow Density And Velocity)

김재현* · 황건호 · 이용식 · 정성원

(Jae-Hyeon Gim · Keon-Ho Hwang · Yong-Sik Lee · Sung-Won Jeong)

요 약

본 논문은 발전소 보일러 및 제철소 고로의 미분탄 연소방식에 적용이 가능한 유량계 개발에 관한 연구로서 분체의 밀도와 속도로 미분탄의 유량을 측정하는 시스템을 개발하였다.

관에 흐르는 미분탄의 밀도는 관의 표면에 전극을 설치하여 기준극과 측정극사이의 커패시터를 이용하여 측정한다. 속도는 일정 거리에 두 개의 전극을 설치하고 이 전극으로부터 두 개의 파형을 교차 상관관계 알고리즘을 이용하여 계산하였다. 분체의 유량을 측정된 밀도와 속도에 의하여 계산한다. 이 시스템에 설치된 로드셀에 의한 데이터와 개발한 유량 측정 시스템의 데이터를 비교하여 신뢰성을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we describe a flow meter system for pulverized coal developed for the pulverizer-burner system of a boiler or blast furnace, which uses the density and the velocity of the granule flow.

The granule flow density is measured by a sensor that detects the capacitance from the electrode on the surface of the piping system. The velocity of granule flow can be calculated using the distance between two pairs of built-in sensors in the flow direction, the time obtained from the sampling cycle using the correlation method between two waveforms of the sensors. The flow rate is calculated from the density and velocity of the granule flow. The reliability and accuracy of the flow meter system has been verified by comparing the data with the weight measured from a load-cell.

Key Words : Flow-meter, Granule Velocity, Cross Correlation Method

1. 서 론

최근 국내·외적으로 원자재 가격의 상승으로 인하여 화력발전소 및 제철소의 연료로 사용하고 있는 석탄의 구입비용이 점차 증가하고 있다. 이는 발전비용의 상승 및 제철소 생산비용의 증가와 직결되는 중요한 요소이다. 고로나 화력발전소의 보일러는 석탄을 미분탄기로 분쇄하고, 압송시스템을 이용하여 공기와

* 주저자 : 순천대학교 공대 전기공학과 교수
Tel : 061-750-3545, Fax : 061-750-3508
E-mail : jhg@sunchon.ac.kr

접수일자 : 2009년 1월 19일
1차심사 : 2009년 1월 20일, 2차심사 : 2009년 3월 6일
심사완료 : 2009년 4월 16일

분계 밀도와 속도를 이용한 유량검출기의 개발

함께 고로나 보일러 로(爐)내부로 보내어 부유 상태로 연소시키는 미분탄 연소방식을 이용하고 있다[1].

일반적인 미분탄 압송시스템에서는 석탄의 취입량을 측정하고 이를 일정한 압력으로 로의 내부로 압송하는데 동일한 압력으로 이송하여도 로 내부의 압력 및 온도가 균일하지 않아서 결과적으로 일정한 양으로 분배되지 않고 압송되어 진다.

따라서 원활한 미분탄의 취입 및 이송상태의 모니터링의 필요성이 대두되었으며, 국내·외적으로 미분탄 취입에 따른 적합한 고로의 조업방법 및 미분탄 이송배관의 막힘 방지 장치, 미분탄 수송속도 추정방법, Pulse Heating 방법을 이용한 질량 유량계 등을 개발하여 연속적으로 미분탄을 측정하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다[2-10].

그림 1은 고로의 미분탄 압송시스템을 나타낸다. 유량검출기는 분배기와 고로 사이에 위치하고, 불특정하게 분배되는 미분탄의 양을 측정하여 효율적인 연소조건을 만들어 낼 수 있다.

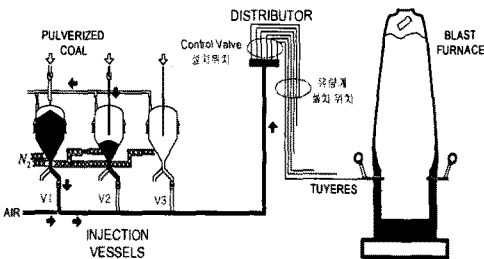


그림 1. 고로의 미분탄 압송시스템
Fig. 1. Picture of Pulverized Coal Injection system for Blast furnace

본 논문에서는 발전소의 대형 보일러나 제철소의 고로 등에 공급하는 미분탄의 양을 실시간으로 측정하고 모니터링이 가능한 유량검출기의 개발을 최종 목표로 하였다.

2. 감지 센서 및 정전용량 측정회로

2.1 감지 센서

그림 2는 유량검출기 센서를 나타낸다. 센서는 속

도측정을 위하여 두 개의 센싱 부분으로 나누어 제작하였다. 그리고 노이즈 등의 외란으로부터 측정 신호를 보호하기 위하여 센서부분을 차폐시켰으며, 데이터 전송 케이블도 차폐 케이블을 사용하였다.

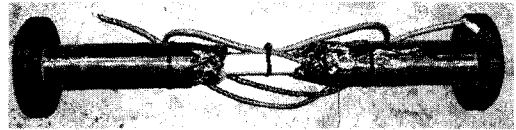


그림 2. 유량검출기 센서
Fig. 2. Picture of flow measuring sensor

2.2 정전용량 측정회로

본 논문에서는 밀도 측정을 위하여 정전용량 측정 기법을 이용하였고, bridge 회로에 구형파 발진회로를 사용하여 정전용량을 측정하였다.

회로의 동작은 먼저 센서를 회로에 연결한 후 bridge 회로의 평형상태를 위해 가변저항을 이용하여 조정하고, 비교기에서 출력되는 데이터는 증폭기를 통하여 최대가 되도록 설정한다. 증폭된 신호는 정류기를 이용하여 정류시키고 다시 영점조정을 거친 후 DAQ 보드에 입력이 가능하도록 증폭기에서 영(0)~10[V]로 출력하게 된다.

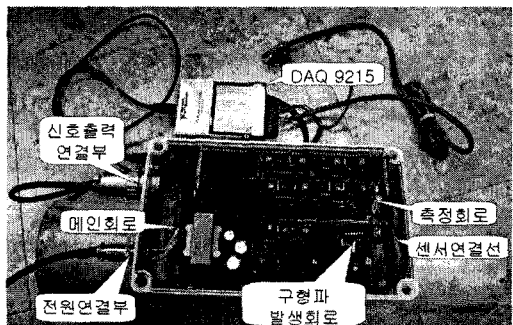


그림 3. 측정회로 구성도
Fig. 3. Picture of electric circuit

그림 3은 정전용량을 측정하기 위해 제작된 회로를 나타내며, 센서 보호케이스와 연결된 모습이다.

메인회로에는 AC 220/20[V] 단상 변압기가 장착되어 있으며, 메인회로와 측정회로 및 구형파 발생

회로의 탈부착이 용이하도록 슬롯의 형태로 제작되었다. 구형과 발생회로는 1[MHz]의 크리스털을 이용하여 1, 0.5, 0.25[MHz]의 3가지 주파수 선택이 가능하도록 제작하였다. 측정회로는 신호의 증폭 및 영점 교정회로로 구성되어 데이터를 수집하기 전 영점조정이 용이하도록 저항배치를 하였다.

3. Software

3.1 속도 측정 알고리즘

미분탄의 속도를 측정하기 위한 알고리즘으로 교차상관관계 기법(Cross-correlation method)을 이용하였다. 유량측정, 혈액의 속도측정 및 교통량 흐름 속도 등에 이용되고 있는 교차 상관관계 기법은 연속형 변수들 간의 관련성을 분석하는 방법으로, 서로 다른 두 개의 신호를 이용하여 분석한다[11-13].

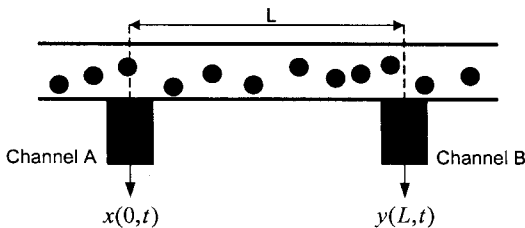


그림 4. 두 측정 포인트
Fig. 4. Picture of detecting two point

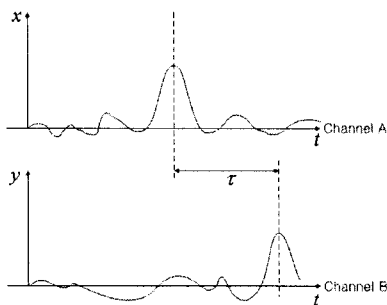


그림 5. τ 시간 후 이동모습
Fig. 5. Picture of shift τ time

속도를 계산하기 위해서 그림 4와 같이 두 개의 측정 포인트에서 데이터를 취득하고, 채널 A의 한 개

의 데이터를 기준으로 채널 B의 데이터를 순차적으로 비교하여 서로 일치하는 데이터를 찾는다. 두 채널에서 산출된 동일한 데이터는 일정시간 τ 의 시간 간격을 가지게 되며, 여기서 τ 는 상관계수의 값으로 이동시간(Shift Time)이다. 그림 5는 채널 A의 데이터와 동일한 데이터가 채널 B에서 τ 시간 후에 검출되는 모습을 나타낸다.

채널 A와 B의 거리를 L 이라 하고 초기 검출된 채널 A의 측정된 데이터를 기준으로 하여 거리와 시간의 좌표축 형태로 나타내면 $x(O,\tau)$ 가 되고 채널 B에서 측정된 데이터는 $y(L,\tau)$ 가 된다. 따라서 이를 식으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$y(L,t) = x(0,t - \tau) \quad (1)$$

식 (1)을 $x(O,\tau)$ 와 $y(L,\tau)$ 에 대한 교차상관관계 함수인 $R_{xy}(L,\tau)$ 로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$R_{xy}(L,\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(0,t - \tau)y(L,t)dt \quad (2)$$

식 (2)의 $R_{xy}(L,\tau)$ 는 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. 그림에서 최대값이 발생한 지점의 시간이 이동 시간(τ)과 같게 된다.

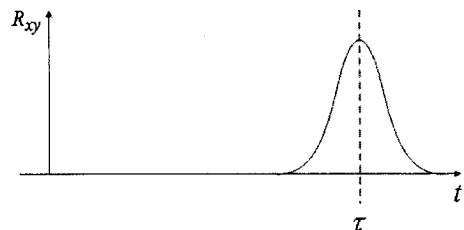


그림 6. 교차상관관계로 계산된 두 신호
Fig. 6. Picture of cross-correlation function results

채널 A와 B에서 측정된 데이터의 이동 시간(τ)과 거리(L)를 이용하여 식 (3)과 같이 속도를 계산할 수 있다.

분체 밀도와 속도를 이용한 유량검출기의 개발

$$v = \frac{L}{\tau} \quad (3)$$

따라서 최종 유량은 식 (4)의 유량 계산 공식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$Q = V \times D \times S \quad (4)$$

여기서 Q는 유량, V는 분체 속도, D는 분체 밀도, S는 배관의 단면적을 나타낸다.

3.2 LabVIEW를 이용한 Software 개발

Software는 데이터 처리 프로세스를 구성할 수 있는 Block diagram과 모니터링이 가능한 Front panel로 나누어진다.

가. Block diagram

Block diagram에서는 DAQ 보드에서 입력받은 측정 데이터를 이용하여 필터링 및 교차 상관함수를 이용한 연산 등의 데이터 처리를 하고 유량 및 속도 계산의 프로세스를 구성할 수 있다.

DAQ 보드에서 측정된 전압 데이터는 필터링을 실시한 후 교차상관관계 기법으로 속도를 계산하고, 식 (4)의 유량 계산 공식을 이용하여 유량을 계산하게 되며, 최종 유량은 실시간으로 적산이 되도록 프로그램 되어 있다.

또한 전압, 교차상관관계 데이터, 유량계산, 유량의 적산 데이터는 실시간으로 그래프 및 수치로 출력되며, 이 중 전압과 교차상관관계 데이터는 파일로 저장되도록 구성되었다. 이를 유량 계산의 흐름도로 나타내면 그림 7과 같으며, 이를 프로그램으로 구현하면 그림 8과 같다.

그림 8은 본 논문에서 개발한 유량측정 프로그램을 나타내며, 총 여섯 개의 블록으로 구성되어 있다.

1번에서는 측정회로의 출력전압과 로드셀 출력전압이 입력되는 DAQ 어시스턴트이고, 샘플링 수는 초당 1,000개로 설정하였다. 2번에서는 저대역 주파수 필터로서 측정회로에서 출력되는 전압의 변화는 일정하나 순간의 변화가 고르지 못하여 교차 상관관

계에서 계산되는 신호까지 영향을 주어 정형적인 곡선을 만들기 위하여 사용하였다.

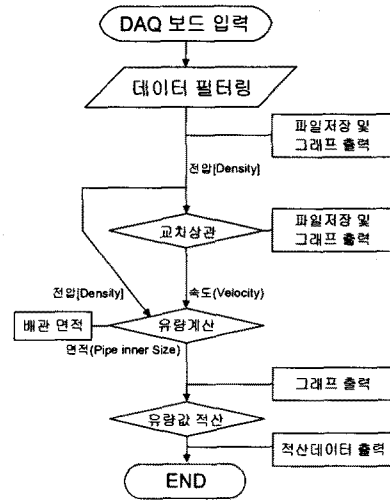


그림 7. 유량계산 흐름도
Fig. 7. Picture of flow-rate calculation flow

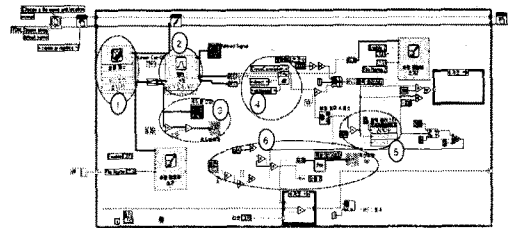


그림 8. 유량측정 프로그램
Fig. 8. Picture of flow-rate program

3번에서는 로드셀의 무게를 출력하는 부분으로 로드셀에서 측정되는 전압을 그래프로 출력하고, 입력 신호를 무게로 변경하여 나타내도록 하였다. 4번에서는 필터링된 데이터를 교차상관관계 함수에 입력시켜 속도계산을 하는 부분으로 검출시간 X, 상관관계 크기 Y로 구성되는 데이터를 출력시킨다. 이는 3.1절에서 설명한 R_{xy} 형태의 데이터이다.

5번은 배열기능으로 검출시간 X, 상관관계 크기 Y로 데이터를 정렬하여 그래프에 출력시키며, 상관관계 크기가 최대인 X 값을 출력한다. 6번에서는 속도를 나타내는 X 데이터, 측정 초기에 입력시킨 배관 크기를 이용한 면적계산, 측정된 미분탄의 밀도

를 곱하여 유량을 계산하고 그래프로 출력하게 된다.

나. Front panel

그림 9는 미분탄 유량을 측정하기 위한 Front panel을 나타낸다.

유량측정 화면은 측정전압 그래프, 교차 상관 그래프, 유량 그래프 및 로드셀 그래프 및 설정 등으로 구성된다.

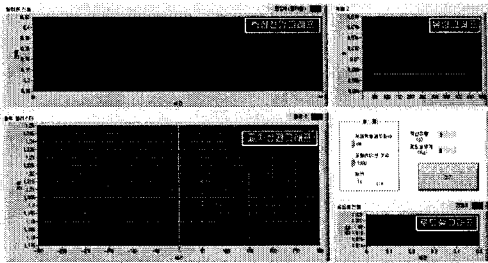


그림 9. 유량측정 화면
Fig. 9. Picture of front panel

측정전압 그래프는 센서의 측정전압을 나타내며, 두 센서의 측정비교가 쉽게 하기 위하여 동일 그래프 내에 표시되도록 하였다. 교차 상관 그래프는 교차상관관계 함수 계산의 결과를 나타낸 것으로 미분탄의 속도 데이터를 얻을 수 있다. 유량 그래프는 유량 계산의 결과를 나타내고, 로드셀 그래프는 로드셀에서 측정되는 중량 데이터를 표시한다.

설정에서는 센서에서 입력되는 측정전압을 필터링 하기 위한 저대역통과 주파수 입력과 교차 상관관계 출력을 위한 코릴레이션(Correlation) 계수 입력, 그리고 배관의 내경을 입력시키는 부분이 있다.

적산유량은 유량의 적산값을 표시하며, 로드셀 무게는 로드셀에서 검출되는 출력데이터를 무게로 환산값으로 유량계에서 검출되는 데이터와 로드셀에서 지시하는 데이터의 비교가 용이하도록 구성하였다.

4. 압송시스템 구성 및 테스트

4.1 실험장치 제작

본 논문에서는 그림 10과 같이 미분탄 유량계를

실험하기 위하여 소형 압송시스템을 구성하였다. 미분탄을 압송하기 위하여 최대 압력은 10[Kgf/cm²]이며 평상시 토출압력은 평균 4~5[Kgf/cm²]인 공기압축기(Air Compressors)를 이용하였다. 또한, 배관은 일본 공업규격인 JIS 10[Kgf/cm²]의 기준에 의해 제작된 자재를 사용하였으며, 연결 작업의 용이함과 유지 보수를 위하여 Union 배관자재를 사용하였다.

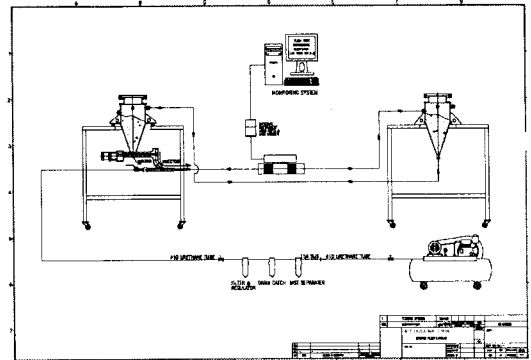


그림 10. 압송시스템 설계
Fig. 10. Picture of air injection system design

일반적으로 공기압축기에서 압축된 공기는 수분과 함께 토출되며 수분은 미분탄이 압송탱크 및 배관 내부에 고착되는 원인을 제공하므로 수분을 제거하기 위하여 Drain catcher를 배관 라인에 연결하였다. 그리고 압축된 공기는 대기 중의 공기에 존재하는 먼지들이 포함되어 있으므로 먼지를 99[%] 이상 제거할 수 있는 Mist separator를 연결하였다.

또한 공기가 압송시스템으로 연속적인 공급이 가능하도록 하기 위하여 Filter & Regulator를 이용하여 공급되는 공기의 압력을 조절하도록 구성하였다. 좌측의 탱크는 3상 220[V] 0.4[kw]의 전동기에 screw 타입의 미분탄 불출장치를 부착하여 미분탄 분출을 용이하게 하였다.

미분탄이 압송될 때 미분탄과 공기의 분리를 위하여 배출구에 클린필터를 설치하여 원활한 미분탄의 이동조건을 만들었으며, 대기 중으로 토출되어 주변 환경을 오염시키는 것을 최소화하였다.

그리고 이송라인에 유량계를 설치하고, 측정된 데이터는 DAQ 보드를 통하여 컴퓨터에 입력되도록

분체 밀도와 속도를 이용한 유량검출기의 개발

구성하였다.

그림 11은 측정을 위하여 조립된 압송시스템이다. 본 논문에서는 측정된 데이터의 정확도를 비교를 위하여 4개의 로드셀을 압송탱크 지지대에 설치하고, 인디케이터의 중량 데이터를 통하여 전압센서의 측정값과 비교하였다.

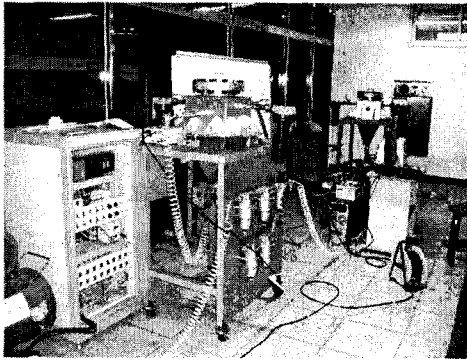


그림 11. 압송시스템
Fig. 11. Picture of air injection system

4.2 테스트 준비

데이터의 측정을 위한 준비로 밀도측정을 위한 로드셀과 센서의 교정곡선은 참고문헌[7]의 자료를 이용하여 그림 12, 13과 같이 설정하였으며, 로드셀은 0.4[V]일 경우 0[g], 2[V]일 경우 1,000[g]이고, 센서는 1[mV]당 대략 4.2[g]이 선정되었다.

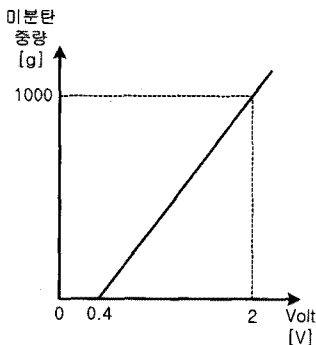


그림 12. 로드셀 교정곡선
Fig. 12. Picture of load-cell calibration curve

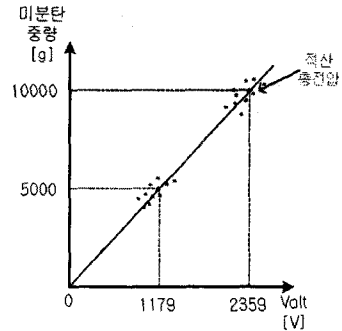


그림 13. 전압과 밀도의 교정곡선
Fig. 13. Picture of voltage & density calibration curve

유량측정 화면(그림 9)의 설정데이터로 먼저 저대역통과 그래프의 주파수는 초기에 default 값은 60[Hz]이다. 그러나 측정회로에서 입력되는 신호가 다소 고르지 못하고 상관관계 출력 그래프에서 유연한 그래프를 얻지 못하여 6[Hz]를 대입하여 필터링을 하였으며, 주파수 범위는 낮을수록 곡선은 유연해진다.

코릴레이션 개수는 상관관계의 비교 수를 조정하는 것으로 영(0)~1,000개 사이에서 수를 조정할 수 있으며, 실험시 데이터를 비교하여 300을 입력하였다.

마지막으로 배관에는 배관의 내경인 14[cm]를 입력시켰다.

4.3 테스트 결과

본 논문에서 개발한 유량검출기의 신뢰성을 검증하기 위하여 10[Kg]의 미분탄을 이용하였다. 테스트는 로드셀 계량 데이터를 기준으로 하였으며, 압송탱크에 10[Kg]의 미분탄을 넣고 동일한 조건의 미분탄 환경을 위하여 테스트 도중 손실되는 탄이 발생하여도 추가로 탄을 넣지 않고 테스트를 진행하였다. 테스트가 반복될 때마다 시 약 100~200[g]의 탄의 손실이 발생하였다.

테스트 결과 중 로드셀의 지시 무게가 10[Kg]과 9.75[Kg]일 경우의 실험결과를 다음에 나타내었다.

● Case 1 : 10[Kg]

그림 14~16은 10[Kg]의 미분탄을 이용한 테스트 모니터링 화면이다.

그림 14는 4.93[Kg]이 이송된 상태를 나타내며, 필터링된 신호 그래프(측정 전압그래프)에 나타나는

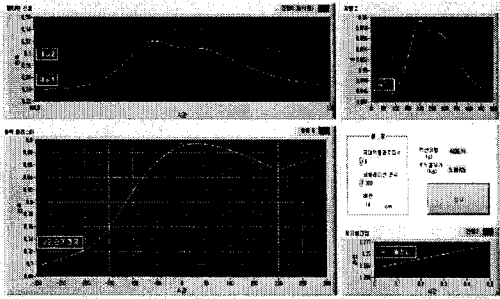


그림 14. 10(kg)을 압송 시 4.93(Kg) 이송 중
Fig. 14. Monitoring screen during pressurization at 4.93(Kg)

두 곡선은 채널 1번에서 검출되는 전압과 채널 2번에서 검출되는 전압이다. 채널 2번 그래프가 채널 1번 그래프보다 우측으로 이동된 모습을 확인할 수 있다. 출력 화면에서 지시되는 것과 같이 유속은 약 3.2[m/s]이고 적산유량은 4.39[Kg]이다. 이때 로드셀의 무게는 5.44[Kg]으로 로드셀 대비 측정무게 편차는 약 1.1[Kg]이다.

그림 15는 5.26[Kg]이 이송된 상태를 나타내며, 유속은 약 2[m/s]이다. 로드셀의 무게는 5.77[Kg]으로 로드셀 대비 측정무게 편차는 약 0.51[Kg]이다.

그림 16은 9.82[Kg]이 이송되어 모니터링을 종료한 상태를 나타내며, 측정신호가 일정함을 보이고 있으며, 유속은 0[m/s]이다. 최종 로드셀의 무게는 10.1[Kg]으로 로드셀 대비 측정무게 편차는 약 0.28[Kg]으로 10[Kg] 압송 시 전체 오차는 약 2.8[%]이다.

● Case 2 : 9.75[Kg]

그림 17~19는 9.75[Kg]의 미분탄을 이용한 테스트 모니터링 화면이다.

그림 17은 2.61[Kg]이 이송된 상태를 나타내며, 기본 설정 조건의 변화 없이 테스트 하였다. 유속은 약 3[m/s]이며 로드셀의 무게는 1.75[Kg]으로 로드셀 대비 측정무게 편차는 약 -0.86[Kg]이다.

그림 18은 5.75[Kg]이 이송된 상태를 나타내며, 출력 클러스터 화면에서 지시되는 것과 같이 유속은 약 3.3[m/s]이다. 이때 로드셀의 무게는 5.77[Kg]으로 로드셀 대비 측정무게 편차는 약 0.02[Kg]이다.

그림 19는 8.13[Kg]이 이송되어 모니터링을 종료한 상태를 나타내며, 측정신호가 일정함을 보이고 있으며, 유속은 0[m/s]이다. 최종 로드셀의 무게는 9.75[Kg]이고 로드셀 대비 측정무게 편차는 약 1.62[Kg]으로 9.75[Kg] 압송 시 전체 오차는 약 16.6[%]이다.

표 1은 위와 같은 테스트를 실시한 6회의 결과를 나타내었으며, 측정시 로드셀의 데이터를 기준으로 (실험결과 로드셀의 오차 범위 ±1[%] 내외) 측정 유량을 비교하여 오차를 계산하였다. 표에서 오차가 심한 부분은 미분탄 분출기에서 순간적으로 탄이 양의 분출이 많아서 발생된 것으로서 미분탄을 버리지

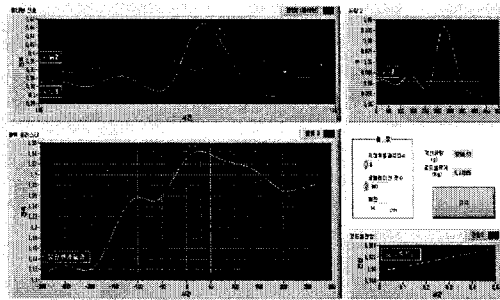


그림 15. 10(kg)을 압송 시 5.26(Kg) 이송 중
Fig. 15. Monitoring screen during pressurization at 5.26(Kg)

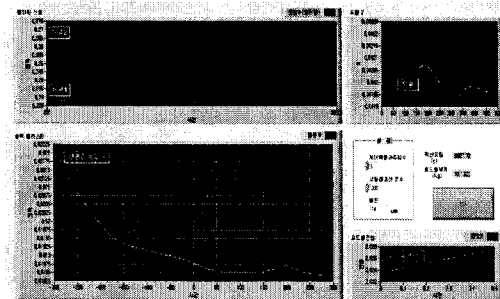


그림 16. 9.82(kg) 압송 마침
Fig. 16. Monitoring screen after pressurization at 9.82(Kg)

분체 밀도와 속도를 이용한 유량검출기의 개발

양고 왕복으로 탄을 압송시킨 결과로 인하여 발생하였다.

따라서 전체 오차는 $\pm 10\%$ 이내로 개발하고자 하는 목표 값을 얻을 수 있었으며, 결과적으로 미분탄 유량계의 신뢰성을 입증하였다.

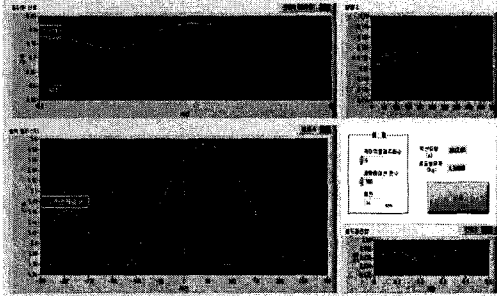


그림 17. 9.75(kg)을 압송 시 2.61(Kg) 이상 증
Fig. 17. Monitoring screen during pressurization at 2.61(Kg)

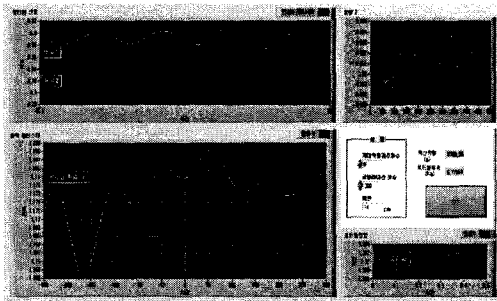


그림 18. 9.75(kg)을 압송 시 5.75(Kg) 이상 증
Fig. 18. Monitoring screen during pressurization at 5.75(Kg)

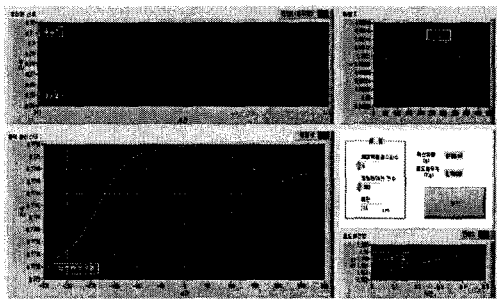


그림 19. 8.13(kg) 압송 마침
Fig. 19. Monitoring screen after pressurization at 8.13(Kg)

표 1. 테스트 결과
Table 1. Test results

측정값		비 교	
로드셀	센서	측정값 편차 (로드셀-센서) [Kg]	오차율 (편차/로드셀) *100[%]
중량 [kg]	중량 [kg]		
10.0	9.82	+0.28	+2.8
9.94	11.67	-1.73	-17.4
9.75	11.36	-1.61	-16.5
9.61	9.16	+0.45	+4.68
9.52	10.45	-0.93	-9.76
9.29	9.51	-0.22	-2.36

5. 결 론

본 논문에서는 분체속도측정이 가능한 유량검출기를 개발하였으며 결과는 다음과 같다.

1. 분체가 흐르는 밀도를 센서 할 수 있는 기술을 개발하였다.
2. 교차 상관관계 기법을 이용하여 검출데이터를 분석하여 실시간 시간차 속도 계산 기법을 개발하였다.
3. 측정된 데이터를 분석하고 교정하는 알고리즘을 개발하였다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 중소기업청 15차 산학연소사업에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

- (1) 송길영, "최신발전공학", 동일출판사, pp258-259, 2001.
- (2) 김재왕, 이관진, 포스코, "미분탄 취입에 적합한 고로의 조업방법", 특허청, 특 2001-0112582, 2001.
- (3) 김창오, 임주선, 문유환, 포스코, "미분탄 취입라인의 막힘 감지방법", 특허청, 특1998-0009469, 1998.
- (4) 김재식, 김갑열, 김태선, 흥정희, 포스코, "고로의 미분탄 유량조절장치", 특허청, 특2001-0064153, 2001.
- (5) 허남환, 이동환, 포스코, "미분탄 수송속도 추정방법", 특허청, 특2003-0055527, 2003.
- (6) Takashi MORIYAMA, Norip SUKEMURA, Koki MORISHITA, "Cross Correlation Mass Flowmeter Using pulse Heating Method", SICE 2001. Proceedings of the 40th SICE Annual Conference. International Session Papers, 25-27

- July 2001 pp. 345-350.
- [7] 이용식, 황건호, 정성원, 여준호, 소지영, 김재현, "정전 용량을 이용한 미분탄 유량계의 개발", 한국조명전기설비학회, Vol. 22, No4, pp61-67, 2008.
 - [8] Birk,W., Marklund, O., Medvedev, A., "Video monitoring of pulverized coal injection in the blast furnace", Industry Applications, IEEE Trans .on. Vol. 38, Issue 2, March-April 2002 pp. 571-576.
 - [9] S.R. Woodhead, J.E. Amadi-Echendu, "Solid phase velocity measurement utilizing electrostatic sensor and cross correlation signal processing", Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1995. IMTC /95. Proceedings. 'Integrating Intelligent Instrum-entation and Control', IEEE 24-26 April 1995, pp. 774.
 - [10] 레이몬드 기현 김, 더 뱍콕 앤드 윌콕스 컴퍼니, "질량 측정 유량계", 특허청, 특1986-0003500, 1986.
 - [11] 백종승, 김창호, 이덕기, 최해만, 윤병로, "Cross Correlation 기법을 활용한 유체 유량측정 기술개발", 과학기술처, 3차년도 최종보고서, KRIS-92-085-IR, 1992.05.
 - [12] Lichao Wang, Qiyong Lu, Xi Chen, 'Application and analysis of time domain cross correlation for traffic flow speed measurement', Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/ Distributed Computing, 2007. SNPD 2007. Eighth AQIS International Conference on Vol. 2, July 30 2007-Aug. 1 pp. 274-279.
 - [13] Rahmat, MF. Chang Wei Lam, "Real time cross correlator for speed measurement of particle conveying in pneumatic pipeline", TENCON 2000. Proceedings Vol. 1, 24-27 Sept. 2000, pp. 503-515.

◇ 저자소개 ◇

김재현 (金在顯)

1956년 1월 25일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1989년 University of Texas at Arlington 졸업(석사). 1993년 동 대학교 졸업(박사). 현재 국립 순천대학교 전기제어공학과 교수.
Tel : (061)750-3545
Fax : (061)750-3508
E-mail : jhg@sunchon.ac.kr

황건호 (黃建鎬)

1978년 4월 28일생. 2004년 순천대 전기제어공학과 졸업. 2008년 순천대학교 전기공학과 졸업(석사). 2008년 9월 동 대학원 전기전자정보통신공학부 박사과정. 2004~2008년 2월 (주)두레엔지니어링 재직. 2008년 10월~현재 (주)현대 로템 재직중.
Tel : (061)654-4648
Fax : (061)750-3508
E-mail : kons78@mail.sunchon.ac.kr

이용식 (李龍植)

1983년 12월 9일생. 2008년 8월 순천대학교 전기제어공학과 졸업. 2008년 9월~현재 순천대학교 전기공학과 석사 재학중.
Tel : (061)834-5675
Fax : (061)750-3508
E-mail : b34rd@nate.com

정성원 (鄭盛元)

1975년 11월 25일생. 2002년 순천대 전기제어공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 8월 동 대학원 전기전자정보통신공학부 졸업(박사). 2005년 8월~현재 순천대학교 전기제어공학과 시간강사.
Tel : (061)750-3540
Fax : (061)750-3508
E-mail : ww180@sunchon.ac.kr