

이송 물체의 질량 측정 속도 향상

이 우 갑,* 김 광 표*

Improvements of Mass Measurement Rate for Moving Objects

Woo Gab Lee*, Kwang Pyo Kim*

ABSTRACT

This study presents an algorithm and related techniques which could satisfy the important properties of check weighers and conveyor scales. The algorithm of Recursive Least Squares Regression is applied for the weighing system simulated as a dynamic model of the second order. Using the model and the algorithm, model parameters and then the mass being weighed can be determined from the step input.

The performance of the algorithm was tested on a check weigher. Discussions were extended to the development of noise reduction techniques and to the lagged introduction of objects on the moving plate. It turns out that the algorithm shows several desirable features suitable for real-time signal processing with a microcomputer, which are high precision and stability in noisy environment.

Key Words : Recursive Least Squares Regression Method(재귀형 최소자승법), Exponential Weighting Function(지수가중합수), 로드셀, 스프링, 댐퍼, 차분식, 샘플링 주기

1. 서 론

이송 물체의 질량 측정 기술을 응용하는 분야는 질량 선별기(checkweigher), 벨트 스케일(belt scale), 충전기(can-fill weigher), 호퍼 스케일(hopper scale) 등이 있다.⁽¹⁾ 이 가운데 신속한 시간과 정밀도를 최고로 요구하는 것은 질량 선별기이다. 질량 선별기는 선진국에서 1960년대 중반에 상품화되었다. 그 당시에 차동변

압기(differential transformer)가 사용되어 선정된 기준값(set point)으로부터 차이를 측정하는데 이용되었다. 1980년대 초반에 로드셀이 사용되어 이송물체의 절대 질량값을 측정하는데 이용되었다. 1990년대 초반부터 이송 물체의 고정밀 측정 수요에 맞추어 전자력 저울이 소개되었다. 이 측정기들은 측정기에 가해지는 질량, 스프링 혹은 로드셀로 만들어진 감지부로 이루어지며 이차 동적 시스템으로 묘사될 수 있다.⁽²⁾

* 한국표준과학연구원

측정계의 팬 위에 질량이 가해지면 가해진 질량과 측정계 자체의 질량은 진동을 시작하며 진동의 진폭은 시간이 지나면서 감소한다. 따라서 이송 물체의 질량 측정이라 함은 측정계의 진동이 기대 수준 이하로 감소되기 이전에, 즉 측정계가 아직 변환 과정에 있을 때, 가해진 질량을 결정하는 방법을 의미한다.

T. Ono⁽³⁾는 측정계의 하중에 의한 중력 방향의 변위, 속도, 가속도의 측정 값들의 조합으로 문제를 해석하는 가속도-변위-속도 방법(Acceleration Displacement Velocity Method)을 제안하였다. 이 방법은 측정계를 묘사하는 이차 미분 방정식의 적분해를 기초로 하여 질량을 결정한다.

재귀형 최소 자승법(Recursive Least Squares Regression Method)^(4,5)은 공정 제어의 변수 결정 및 예측(system identification)에 사용되고 있다. 재귀형 최소 자승법을 이용하여 공정제어와 같은 방법으로 동적 상태의 이송 물체의 질량을 측정하고자 한다. 스프링과 댐퍼로 구성되는 질량 측정계를 모델로 하고 그의 미지수 가운데 하나는 초기에 질량을 아는 샘플로부터 교정 혹은 결정 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이송 물체 질량 측정에 응용이 되지 않았던 재귀형 최소 자승법과 지수가중함수(Exponential Weighting Function)을 활용하여 수렴이 빠르도록 하고, 노이즈에 안정성이 있고 이송 물체가 측정 팬 위에 소개(introduction)될 때의 물체가 순간적으로 안착하지 않는 지연 효과를 고려하는 측정계를 개발하고자 하였다.

2. 재귀형 최소 자승법의 이용

이송 물체 질량 측정기에서의 주요 부품으로는 이송 물체에 의하여 발생하는 변위를 측정하는 로드셀, 측정 물체의 이송에 쓰이며 로드셀에 연결되어 있는 이송 벨트 그리고 마이크로 프로세서이다. 움직이는 물체가 측정기 위에 놓여지면 놓여진 물체의 질량에 따라 결정되는 변위가 로드셀에서 일어나며, 마이크로프로세서는 로드셀에서 그 변위 신호를 받아들이고 처리하여 그 올려진 물체의 질량을 결정하는 알고리즘에 중점을 둔다.

이송 물체 질량 측정기의 중요 특성 가운데 하나는 신속한 측정 능력에 있다. 이는 특히 질량선별기에서 더욱 강조되고 있다. 따라서 질량 측정기를 하나의 수학적 모델(model)로 할 때에 그 모델은 단순하여

변위 신호를 빨리 처리할수 있어야 한다. 더욱이 변위 신호를 해석하기 위하여 재귀형 최소 자승법을 사용할 때 계산 시간을 단축시키기 위하여 즉 수렴 속도를 빠르게 하기 위하여 지수 가중 함수를 사용하는 것을 고려하여야 한다.

스프링과 댐퍼로 구성된 이차 미분식으로 표현되는 질량 측정계를 고려한다. 이 계의 동적 특성은 스프링 상수 C_0 , 댐핑 계수 C_1 , 측정계에 가해지는 동적 질량 M , 그리고 질량 M 이 놓여지기 이전에 하중 센서가 감지하는 받침대 등의 본래 질량 m 에 의하여 결정된다.

초기의 변위를 0으로하고 초기에 하중 받침대의 속도가 0이라하면 이 계를 나타내는 미분방정식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} Y &= 0 \quad \text{at } t = 0 \\ dY/dt &= 0 \quad \text{at } t = 0 \\ (m + M) \frac{d^2Y}{dt^2} + C_1 \frac{dY}{dt} + C_0 Y &= Mg \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 Y 는 로드셀의 스트레인 게이지에 의해 측정될 수 있는 변위 (mm)이고 t 는 시간 (sec)이고 g 는 중력가속도이다.

디지털 데이터 처리를 위하여 샘플링 주기를 T 로하는 차분식으로 나타내면 식 (1)은,

$$Y(nT) = -a_1 Y(nT - T) - a_2 Y(nT - 2T) + a^2 \quad (2)$$

여기서,

$$\begin{aligned} a_1 &= -2 \exp(-aT) \cos(bT), a_2 = \exp(-2aT), \\ a &= \frac{C_1}{2(M + m)}, b^2 = \frac{C_0}{M + m} - a^2 \end{aligned}$$

T = 샘플링 주기.

$$a_3 = \frac{Mg}{C_0} (a_1 + a_2 + 1),$$

$Y(nT)$ 는 시간 nT 에서의 변위,

$Y(nT-T)$ 는 시간 $(nT-T)$ 에서의 변위,

$Y(nT-2T)$ 는 시간 $(nT-2T)$ 에서의 변위.

따라서, 일련의 차분식 데이터로부터 관계계수 a_1, a_2, a_3 가 정해지면 질량 M 이 결정된다.

$$M = \frac{C_0}{g} \frac{a_3}{(a_1 + a_2 + 1)} \quad (3)$$

여기서, C_0/g 는 C_0 의 정의로부터 혹은 최종값 정리로부터 얻어질 수 있다. 즉 질량을 아는 시편을 이용하여 교정하므로써 결정될 수 있다.

식 (3)의 관련 계수를 결정하기 위하여 여기서는 재귀형 최소자승법을 이용한다.^(8,9) 우선 matrix와 vector를 이용하여 식 (2)를 표현하면,

$$X_0 = X^T A \quad (4)$$

여기서 $X^T = [X_1 X_2 \dots X_n]$, $A^T = [A_1 A_2 \dots A_n]$ 이며, 뒀첨자 T는 vector/matrix transpose를 표시한다. $X^T A$ 는 vector inner product이다.

그리고 X_0 의 관찰값 Y에 노이즈가 발생되었다고 하면,

$$Y_i = X_i^T A + e_i$$

K개의 샘플을 갖는 계의 비용함수 Q를 표시하면,

$$Q = \sum_{i=1}^k [X_i^T \hat{A} - Y_i]^2 = \sum_{i=1}^k e_i^2 \quad (5)$$

여기서 최소자승법에 의해 Q의 변수 즉 A의 추정치인 \hat{A} 에 의한 편미분값을 0으로 놓게 되며 다음의 관계식을 얻는다.

$$\left[\sum_{i=1}^k X_i X_i^T \right] \hat{A} - \sum_{i=1}^k X_i Y_i = 0 \quad (6)$$

매트릭스 $\sum X_i X_i^T$ 이 non-singular이면 식 (6)의 해는 다음과 같이 쓰일 수 있다.

$$\hat{A} = P_k B_k \quad (7)$$

여기서,

$$P_k = \left[\sum_{i=1}^k X_i X_i^T \right]^{-1}; B_k = \sum_{i=1}^k X_i Y_i$$

식 (7)은 재귀형으로 k번째의 추정치는 (k-1)번째의 값과 보정치와의 선형 합으로 계산될 수 있다. 즉,

$$P_k^{-1} = P_{k-1}^{-1} + X_k X_k^T \quad (8)$$

$$B_k = B_{k-1} + X_k Y_k \quad (9)$$

매트릭스 벡터의 성질을 이용하여 식 (8)과 식 (9)를 정리하면 \hat{A}_k 에 대한 재귀형 해가 다음과 같이 표시된다.

$$\hat{A}_k = \hat{A}_{k-1} - K_k [X_k^T \hat{A}_{k-1} - Y_k] \quad (10)$$

$$K_k = P_{k-1} X_k [1 + X_k^T P_{k-1} X_k]^{-1} \quad (11)$$

$$P_k = P_{k-1} - K_k X_k^T P_{k-1} \quad (12)$$

벡터 \hat{A} 와 매트릭스 P의 초기 값 \hat{A}_0 , P_0 이 주어져야 한다. k가 증가함에 따라 매트릭스 P의 요소들이 지속적으로 작아지므로 10°정도의 큰 값을 갖는 요소들로 이루어진 P와 임의의 유한한 \hat{A}_0 는 수렴을 하게 된다.

그리고 $[1 + X_k^T P_{k-1} X_k]$ 항이 스칼라 항으로 전환된 것으로 matrix inversion이 필요 없게 되어 계산 시간을 상당히 단축시키게 된다. 이는 이송 물체의 질량 측정에 매우 적합한 결과이다.

3. 질량 선별기에의 응용

3-1. 노이지 제거

사용된 디지털 필터는 Butterworth 필터로 차수 N을 3으로 시도하였다.^(6,7) Butterworth 필터의 전달함수 H(f)는 절단 주파수 W_c 를 포함하는 다음 식으로 정리될 수 있다.

$$H(f) = \frac{(1+z)^2 W_c^2}{z^2 (1+W_c^2+W_c) + 2z(W_c^2-1) + (1+W_c^2+W_c)} \frac{(1+z)W_c}{W_c - 1 + z(1+W_c)} \quad (13)$$

여기서, 전달함수는 z에 대한 2차항의 전달함수와 1차항의 전달함수의 곱으로 표현되었다. 따라서 이 두 필터는 cascade 필터 즉 시리즈로 연결시켜 첫 번째 필터의 출력이 둘째 필터의 입력이 되게 연결시켜 사용할 수 있다.

Fig. 1은 노이지 크기 수준 0.05 즉 입력 신호의 절대값에 상대적으로 크기가 0.05되는 백색 노이지가 첨가되었을 때의 필터 입력과 출력을 나타낸 것이다. 여기서 입력 신호는 모사 실험에서 사용되는 로드셀을 모형으로 한 것으로 $C_0=1000$ N/mm, $C_1=30$ N/(mm/s), $M=1$ kg, $m=2$ kg을 모형으로 하여 발생된 신호이다.

필터링에 의한 시간 지연은 사용되는 W_c 에 따라 다르며 필터 효과가 좋고 지연 시간이 짧은 W_c 를 선택하는 것이 문제로 남는다. 다음의 Table 1과 Fig. 2에는 W_c 에 따른 지연 영향을 보여준다.

지연 시간은 신호가 처음으로 1.0에 이르기까지 걸리

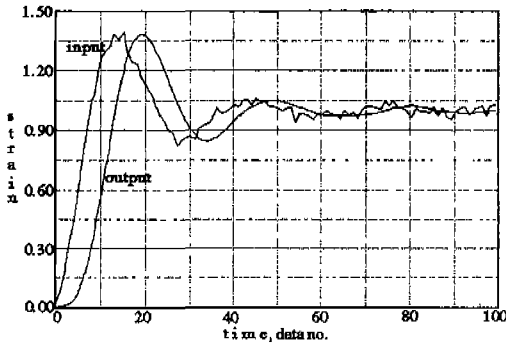


Fig. 1 Input and output of employed filter

Table 1. Delay effect due to filtering

W_c	지연시간, s	$\log(W_c)$	$\log(\text{지연시간})$
0.05	0.55	-1.3	-0.26
0.10	0.23	-1.0	-0.64
0.20	0.10	-0.7	-1.00
0.40	0.06	-0.4	-1.22
0.80	0.025	-0.1	-1.60

는 시간의 입력과 출력 차이이며 시간의 단위는 Fig. 1의 시간값 100이 1초에 해당한다.

알고리즘의 노이즈에 대한 안정성을 시험하기 위하여 노이즈의 크기를 변화시켜 보았다. 알고리즘으로부터 얻어지는 이송 물체의 추정 질량값의 5개의 연속적인 평균 즉 5개의 이동평균과 최신 추정값과의 차이가 0.5%보다 작을 때 추정이 완료되었다고 가정하여 소요되는 시간을 계산하였다.

Table 2에는 이 소요되는 시간을 상대적 노이즈 크기 0.01, 0.05, 0.10에 대하여 그리고 절단 주파수의

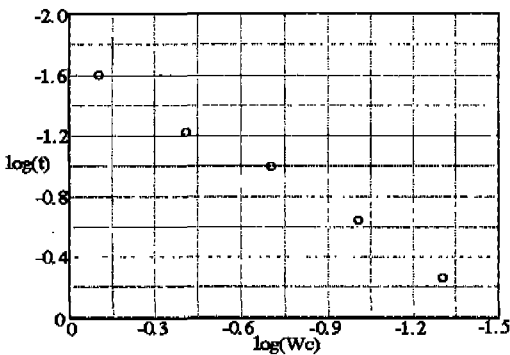


Fig. 2 Effects of W_c on lag time t

변화에 대한 영향을 보여준다. Table 2에 보인 바와 같이 노이즈 크기가 10 배로 커지는 것에 대하여 W_c 가 작은 경우는 그 영향이 미소하고 W_c 가 증가함에 따라 그 영향이 나타난다. 즉 노이즈 크기가 증가하면 수렴 소요 시간이 더 길어진다.

W_c 가 0.5 rad/s보다 크면 이동 평균값이 빨리 수렴하지만 수렴한 값은 최종값에서 벗어난 값을 보여주는 불안정성을 내포하고있다. W_c 가 0.2에서 0.5 rad/s일 때 3개의 노이즈 크기에 대하여 모두 안정적이고 빠른 수렴을 보여주었다.

3-2. 질량 선별기 및 A/D 변환기의 특성

본 실험에서는 질량 선별기의 하중 감지 부분인 로드셀, 물체를 이동시키는 벨트만을 이용하여 본 알고리즘을 응용하였다. 벨트는 로드셀 상단부 플레이트에 부착되어 있는 벨트와 플레이트 팬 위에 물체가 같은 수평 이동 속도로 진입하고 나가도록 앞 뒤의 벨트가 구동한다.

A/D 변환기는 12 비트, 91 k samples/sec 측정 속도를 갖는다. 벨트 이동시키는 연속 이동 장치는 Orient사 제작의 US315-402 모델 모터를 장착시켜서 이송 물체 질량의 최대 용량 1.2kg, 벨트의 질량 300g, 기어 드럼의 질량 700이 허용되어 속도 조절이 가능하도록 하였다. 플레이트의 길이는 40cm이며 실험은 플레이트 이동속도 48 cm/s에서 수행되었다.

장착된 로드셀은 영국 Huntleigh Technology사 제작의 모델 1011로 사양은 아래 표와 같다.

로드셀 신호 안정화 시간은 로드셀마다 다양하다. 예로 Huntleigh Tech.사의 model 1010은 안정화 시간

Table 2. Effects of noise

noise W_c	0.01	0.05	0.10
0.1	63	62	63
0.15	47	49	51
0.2	34	38	42
0.3	33	44	40
0.4	34	48	50
0.5	41	38	40
0.6	36	45	57
0.7	36	43	38
0.8	46	59	43
0.9	42	42	49

Table 3. Specifications of Huntleigh Technology model

rated load	5 kg
recommended excitation	10 V DC
output at rated load	2 mV/V \pm 10 %
input impedance	415 \pm 15 ohms
output impedance	350 \pm 3 ohms
insulation	$> 10^9$ ohms
compensated temp. range	-10 to 50 $^{\circ}$ C
safe temp. range	-30 to 70 $^{\circ}$ C
deflection	< 0.5 mm at rated load

이 4.5 초이고 model 1011은 1 초이다.

A/D 변환기로부터 신호를 받아 이 신호를 필터 처리하고 본 연구를 통하여 이송 물체의 질량 측정을 위하여 개발된 재귀형 최소자승법(Recursive Least Squares Regression Method) 알고리즘을 구동시키기 위하여 PC가 사용되었다. 사용된 PC는 Intel 486 sx 33 MHz의 CPU를 내장한 것이다.

Fig. 3에는 본 실험에 사용된 장치들을 보여주는 사진이다. PC 웹 쪽에 A/D 변환기가 보여지고 그 웹 쪽에 질량 선별기가 보여진다. 벨트 플레이트 위에 이송 물체 시료로 사용된 내부에 금속이 들어있는 종이 박스가 보인다. 선별기의 왼쪽 앞에 보이는 것은 물체의 투입으로 인한 플레이트의 변위의 변화를 측정하는데 사용되는 로드셀의 스트레인 게이지의 출력의 직선성 점검 및 더욱 정확하고 빠른 변위 데이터를 제공하는 레이어 변위 측정기가 보여진다.

3-3. 실험 결과

동적 특성을 측정하기 이전에 정지 상태의 일반적인 저울 특성이 시험되었다. 이들은 네귀 오차, 직선성,

정밀도, 감지도의 시험이다. 로드셀 출력 및 A/D 변환기의 변환 상한값인 8.75 Volts을 고려하여 최대 질량 875 g을 시편 질량으로 사용하였다. 플레이트 위에 시편을 올려 놓지 아니하였을 때 지시값이 6.972656이었으며 시편을 올려 놓았을 때 지시 값이 8.745117로 변하였으며 이를 10회 반복하였을 때 똑 같은 값을 지시하였다. 지시값이 변하는 최소 질량 즉 감지도는 (1.8 g)/(4.9 x 10⁻³ 지시값 volts) 이다.

네귀 오차 시험을 하기 위하여 시편을 네 귀퉁이에 놓았을 때 지시값의 변화를 검사하였다. 이들의 위치는 중앙, 앞 오른쪽 (전우), 앞 왼쪽 (전좌), 뒤 오른쪽 (후우), 뒤 왼쪽 (후좌)이다. 이 위치에서의 측정 지시값은 다음의 표에 보여진 대로 한 눈금 값안에 들었다.

직선성을 시험하기 위하여 플레이트 중앙에 분동을 0g, 200g, 400g, 600g, 800g 씩 올려 놓으면서 이들의 지시값이 직선적으로 증가하는지 보았다. 즉 질량 증가에 대한 지시 값의 증가, dV/dm,의 변화가 있는지 검사되었다. 표에 보인 바와 같이 dV/dm은 상대 오차로 매우 작은 1/10,000 수준이다. 분동은 증가시키면서 올려진 것이며 역으로 감소시키면서 관찰할 때 히스테리시스는 나타나지 않았다.

속도 향상 및 정밀도 향상을 위하여 개발된 알고리즘⁽⁶⁾의 응용을 위하여 사용된 시편은 금속을 천으로 감고 작은 종이 박스에 넣고 빈 공간을 종이와 스티로폼로 채웠다. 외형은 직육면체로 치수는 8.5 x 8.5 x 10.0 cm³이다. 플레이트와 접촉은 8.5 x 8.5 평면이며 플레이트의 이동 방향과 항상 같은 방향으로 진행하도록 하였다. 즉 플레이트와 시편이 될 수있으면 같은 조건에서 충돌하도록 하였다.



Fig. 3 Photograph of the experimental apparatus

Table 4. Test of 4 corner error

중앙	전우	전좌	후우	후좌
8.745117	8.75	8.75	8.745117	8.745117
8.75	8.745117	8.745117	8.75	8.75
8.745117	8.745117	8.745117	8.745117	8.745117
8.745117	8.745117	8.745117	8.745117	8.75
8.745117	8.745117	8.745117	8.75	8.745117

Table 5. Linearity test

질량, g	지시값, volts	dV/dm
0	6.992188	2.03858 x 10 ⁻³
200	7.399903	2.03856 x 10 ⁻³
400	7.807617	2.03858 x 10 ⁻³
600	8.215332	2.03858 x 10 ⁻³
800	8.623047	

정지 상태에서의 반복도가 시험되었고 이어서 동적인 상태에서 반복도가 시험되었다. 이로써 모터 및 기어등에 의한 노이즈 환경에 대한 영향을 비교할 수있다. 우선 플레이트가 움직이지 않는 상태에서 시편을 약 1 cm 높이에서 손으로 잡고있던 시편을 놓아 자유 낙하시켜 이의 신호를 관찰하였다. 이 때의 로드셀의 출력 신호와 이를 처리한 알고리즘의 출력이 Fig. 4에 3번의 측정에 대하여 보여진다. 로드셀 출력신호는 거의 한선에 포개질 수 있도록 거의 동일함을 보여준다. 그리고 알고리즘의 초기 출력은 즉 시간 100 이전에는 판이하게 틀린 값을 나타내다가 시간 150을 넘으면서 수렴함을 보여준다.

그리고 모터 및 기어등에 의한 노이즈가 발생하는 환경에서 실험하였다. 즉 팬 벨트를 구동시키면서 알고리즘을 이용하여 측정하였다. 4 회 측정된 데이터가 Fig. 5에 그려져있다. 알고리즘은 만족스러운 출력을 제공하였다. Fig. 4의 그림 즉 플레이트를 고정시켰을 때에 비하여 수렴 시간이 결코 더 걸리지 아니하였다. 이는 손으로 자유 낙하시키는 것보다 안내 플레이트(guideline plate)에서 등속도 운동을 하다가 투입되는 것이 더 일관성이있고 안정적인 것으로 간주된다.

플레이트 가동 조건에서 수렴시간을 측정하였다. 기준은 9 개의 날개 측정값의 연속적인 평균 즉 9 개의 이동평균 값의 상대 차이가 0.0001 보다 작으면 수렴한 것으로 가정하여 측정하였다. 결과는 Fig. 6에 보여진다. 5 회의 측정이 이루어졌다. Fig. 6에 수렴 시간이 data no 단위로 표시되어 있다. 수렴 기준을 더욱 정밀하게 함으로써 최종 수렴값에 가깝게 할 수 있음은

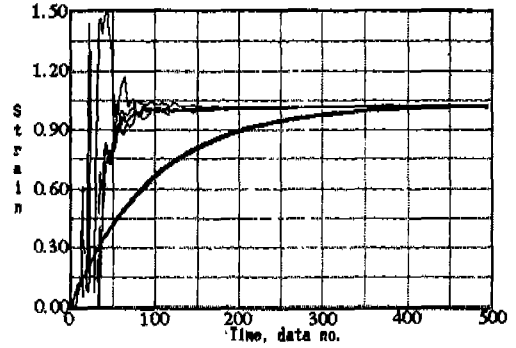


Fig. 5 Precision test of measurement with moving belt plate

물론이다. 이를 현재 단순히 출력 신호를 노이즈 제거 및 산술 평균 과정을 사용하는 방법에 비하여 약 3 배의 속도 향상이 있음을 알 수있다.

같은 수렴 수준에서 이동평균값의 차이는 측정되는 시편과 플레이트와 충돌 할 때에 역학 특성의 차이에 기인하는 것으로 믿어진다. 본 알고리즘에서 로드셀만 스프링과 댐퍼로 구성되어 있고 시편 물체는 단단한 물체로 가정하였다. 시편은 금속을 천으로 싸고 종이로 싸운 직육면체 모형으로 스프링과 댐퍼의 요소를 가지고 있으며 면마다 또는 한 면의 위치에 따라 그 차이가 있다. 이러한 샘플을 측정하는 것을 더욱 연구하여 수렴값을 더욱 일찍이 추정하는 방법을 찾을 수있을 것이다.

4. 지연출현(Lagged Introduction)에의 응용

4-1. 수학적 모델링

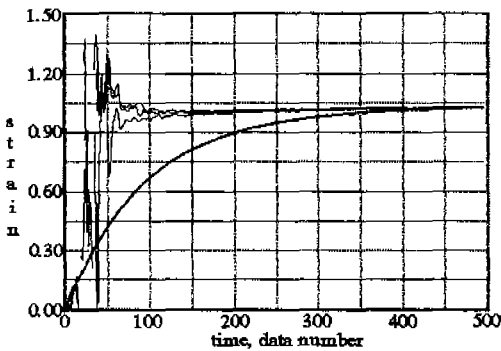


Fig. 4 Precision test of measurement with stationary belt plate

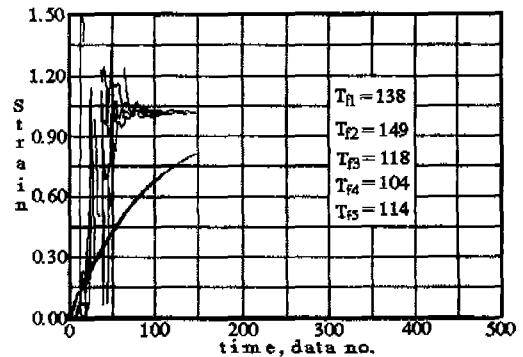


Fig. 6 Repeatability of convergence time

입력이 수학적으로 표현이 제일 쉬운 계단함수(step function) 입력보다 실제적으로 현실에 가깝고 더욱이 충전기 등과 같은 경우에는 이 표현이 적합한 경우를 수학적으로 모사하고자한다. 이로부터 가속 추산 알고리즘을 개발한다. 질량 M에 의한 중력 힘이 지연 소개 될 때, 시간에 대한 소개되는 입력 힘 F(t)의 변화를 경사함수(ramp function)과 계단함수와의 결합으로 Fig. 4-1에서와 같이 표시할 수있다.

t가 3T 이상일 때

$$X(nT) = \tau(a_1 - 1)X(nT - T) - (a_2 - a_1)X(nT - 2T) + a_2X(nT - 3T) + Mg(C_0t_0)(A_1 + A_2 + A_3) \quad (14)$$

여기서 재귀형 최소자승법 (Recursive Least Squares Regression Method)⁽⁹⁾으로부터 변수 값 4 개가 결정되면 Mg/(C₀t₀)가 정해진다. C₀가 질량을 아는 물체를 사용하는 교정으로부터 결정될 수 있으므로 Mg/t₀를 결정할 수있다. 따라서 X(t)의 해는 다음과 같다.

$$X(t) = Mg/(C_0t_0)[-2aB + t + 2aB \exp(-at)] \quad (15)$$

$$\cos(bt) = (2a^2B - 1) \exp(-at) \sin(bt) / b]$$

4-2. 실험적 결과

로드셀에서 감지하는 질량이 순간적이지 못하고 지연 되는 경우 즉 수학적으로 경사함수일 때를 고려하기 위하여 물체의 형상이 직육면체인 물체를 측정에 활용하였다. 물체의 치수는 16 x 8 x 5 입방 cm이고 내부는 금속 조각, 종이, 스티로폼로 외부는 두꺼운 종이 박스로 쌓여졌다. 물체의 질량은 870g 이다.

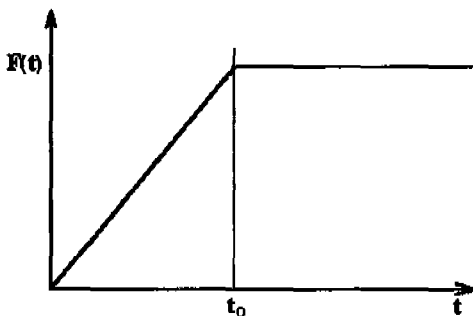


Fig. 7 Modeling with a ramp function

경사함수 입력을 모사하기 위하여 16 x 8의 면을 질량 선별기의 이동 방향에 대하여 긴 쪽으로 평행하게 투입시켰으며, 결과를 비교하기 위하여 16 x 8의 면을 앞서의 것에 대하여 수직적인 방향으로 투입시켜 계단함수를 모사토록 하였다. 선별기 플레이트의 진행방향 길이는 39cm 이고 사용한 이동 속도는 45cm/s 이다.

Fig. 8에 계단 입력을 모사한 결과가 보여진다. 이 경우에 투입될 때 지연되는 길이가 16 x 8 면의 8 cm 로 회전 플레이트의 길이 39cm의 약 20%로 그림에서 횡축 시간 단위 100에서 계산이 수렴 값으로 진입함을 보여준다. 사용된 알고리즘은 계단 입력용의 것을 적용시켜 보았다.

Fig. 8에 보여진 것은 경사 함수를 모사하는 것으로 투입 길이가 16 x 8 면의 16cm로 앞의 경우에 비하여 두 배로 길어진다. 투입 시간의 대부분에 있어서 응용 알고리즘이 경사 함수를 기초로 한 것이 아니기 때문에 근사치도 제공하지 못한다.

두 그림 모두 시간단위 450 이상에서는 물체가 플레이트를 벗어나기 때문에 질량 지시값이 감소함을 보여 준다. Fig. 8에 나타난 overshoot는 Fig. 9에는 나타나지 않았다. 이는 입력이 서서히 주어지기 때문으로 안정성을 향상시킨다고 간주할 수있으나 최종값을 결정하는 수렴시간은 단축되지 않았다.

5. 결 론

1. 이송물체의 질량 측정을 위한 재귀형 최소자승법 (recursive least squares regression method) 알고리즘을 응용하였고, 데이터 로깅 장치, 변위 측정 장

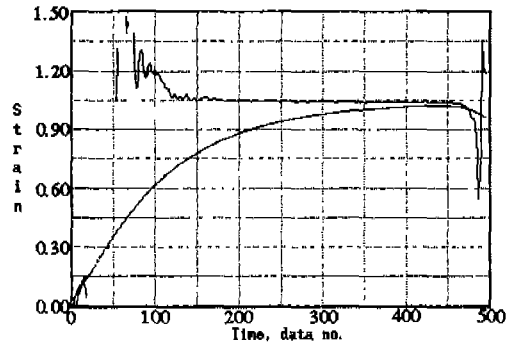


Fig. 8 Results of 'near step input'

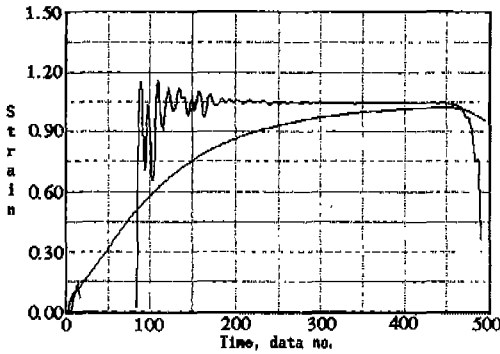


Fig. 9 Results of 'ramp input'

치 (laser displacement measurement), 질량 선별기와 연결되어 노이즈 제거 기술, 벨트 처리 기술, 투입 지연 효과 고려 기술과 결합하여 실험적으로 종래의 측정기술보다 3배 이상의 속도를 제공함을 보였다.

2. 재귀형 최소자승법의 신속한 수렴에 지수가중함수 (exponential weighting function)이 적합하게 활용됨이 입증되었다.

3. Butterworth 필터가 사용되어 백색 노이즈의 상대 최대 진폭이 신호의 0.05 보다 적은 경우에 빠르고 안정적인 노이즈 감쇄 효과를 보여주었다.

4. 투입 지연 효과가 큰 충전기 등에 사용될 수 있는 기술이 연구되어 추후 관련 연구를 수행할 기초 자료를 제공하였다.

참고문헌

1. Intralox, : Conveyor Belt Engineering Man-

ual, Intralox Inc., 201 Laitram Lane, Harahan, LA 70123.

2. Masao, Osawa, New Technology in Weight Control with Checkweighers and Automatic Combination Weighers, 91' Advanced Techniques in Automization, (Korean), Seoul,1991.

3. Colett, C.V., Hope, A.D., : Engineering Measurements, 2nd. ed., Pitman Publishing Inc., Massachusetts, 1983.

4. Ono, T, "Dynamic Weighing of Mass", Instrumentation and Automation, vol. 12, no. 2, 35(1984).

5. Franklin, G.F. Powell, J. David, : Digital Control of Dynamic Systems: Addison-Wesley Pub. Co., London, 1980, pp207.

6. Hamming, R.W., : Digital Filters, 3rd. ed., Prentice Hall, New Jersey, 1989.

7. Parks, T.W., Burrus, C.S., : Digital Filter Design, John Wiley & Sons, New York, 1987.

8. Lee, W.G. et al., Dynamic Weighing Using Recursive Least Squares Regression Algorithm, Patent Submt. No. 102738/1992, Japan.

9. Yong, P., Recursive Estimation and Time Series Analysis, Spring-Verlag, Tokyo, 1984.