

고로 용융물 레벨 변화 추정을 위한 디지털 필터 설계

조내수¹ · 한무호² · 권우현¹ · 최연호^{3,+}

The Design of Filter for Hearth Liquid Level Estimation in Blast Furnace

Nae-Soo Cho¹, Mu-Ho Han², Woo-Hyen Kwon¹, and Youn-Ho Choi^{3,+}

Abstract

Optimizing the tapping time of a blast furnace is important to a stable operation and life extension. To optimize the tapping time of the blast furnace, the location of Hearth Liquid Level should be recognized. There are several ways to measure the hearth liquid level in the blast furnace, such as Electromotive Force(EMF) measurement, pressure measurement by putting in nitrogen probe and manometry with strain gauge. In this paper, it will be discussed using strain gauge among the three methods. Conventional strain gauge must be revised periodically. Since, internal pressure, temperature of internal refractory material and wind pressure have effect on the strain gauge. However, static pressure value is required to compensate. To solve these problems, this paper suggests finding relationship between Hearth Liquid Level and strain gauge output, adding digital filter in strain gauge. Using the proposed method, it was possible to estimate the hearth liquid level and determine the appropriate tapping time. Usefulness of the proposed method through simulations and experimental results are confirmed.

Keywords : Hearth Liquid Level, Blast Furnace, EMF, Strain Gauge, Digital Filter

1. 서 론

최근 들어 고로는 대형화되어 조업 및 설비면에서 기술개발에 의한 생산성에 비약적인 향상을 가져왔다. 고로 조업에서는 조업의 안정이 무엇보다도 중요한 과제이며, 철광석의 환원을 위해 제철소 전체 에너지의 대부분을 소비하기 때문에 안정조업에 의한 고능률의 조업이 요구되고 있는 상태이다. 고로 조업의 안정화를 위해서는 용융물의 원활한 배출을 통한 출선작업의 안정화가 가장 중요하다. 출선 작업시 고로 내부를 볼 수 없는 제한성 때문에 현재까지는 조업 데이터를 기초로 간접적으로 판단하거나 대부분 조업자들의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 이와 같이 고로 출선작업에 따른 노저 용융물 배출상황을 직접적으로 알 수 없기 때문에 출선 조업이 불량할 때에는 용융물의 축적으로 인한 노획 악화를 이야기할 수 밖에 없

다. 또한 2개 출선구 사용시 안정조업을 위해서는 노저 용융물 상태를 항상 감시하여 먼저 폐쇄하여야 할 출선구를 결정하거나, 2개의 출선구 사용 시점을 판단해야 할 필요가 있다. 고로 공장에서는 국부적인 노저 연와 침식방지, 노벽 부착물제거, 출선시간의 조정 등을 목적으로 열풍 제어변(hot blast flow control valve)을 설치하였으며, 이의 효율적인 운영에 필요한 조업기술을 개발하기 위해 시험조업을 실시하고 있다. 그러나 열풍 제어변의 시험조업 실시를 통한 출선시간의 연장효과를 확인하기 위해서는 용융물의 거동을 파악해야 가능하다. 만약 노저 용융물 레벨을 측정할 수 있다면 용융물의 원활한 배출 및 출선구 개폐시기를 결정하는데 유용할 것이다. 현재까지 용융물 레벨을 측정하기 위한 기술로는 평량기를 통하여 용선차(torpedo ladle car)내의 용선 수선량을 측정하고, 수재 슬래그의 운송용 벨트컨베이어 모터의 부하전력에 의해 슬래그 배출량을 환산하여 물질수지를 통해 용융물의 높이를 계산하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 슬래그를 전량 수재 처리하지 않을 경우에는 추정치를 사용하여야 하고, 실제 벨트 컨베이어 모터의 부하전력에 따른 계산 식의 정확도가 떨어져 조업에 효과적으로 사용되지는 못하고 있다[1-4]. 다른 방법으로는 노내에서 발생하는 기전력을 측정하여 노내 용융물 레벨을 예측하는 기술이 1984년 러시아의 V.N.Dorofeev 등에 의해 제안 되었다. 이 방법은 설치 측면에서 용이한 방법이다[2]. 그러나 용융물 레벨 변화가 노하부 기전력에 미

¹경북대학교 전기전자컴퓨터학부(School of Electrical Engineering, Kyungpook National University)

²포항산업과학연구소 시스템솔루션연구본부(System Solutions Research, RIST)

³대구경북과학기술원 로봇시스템 연구부(Division of Robotics System, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology)

+Corresponding author: yhchoi@dgist.ac.kr

(Received : Dec. 9, 2011, Revised : Jan. 13, 2012, Accept : Jan. 18, 2012)

치는 영향 즉 기전력과 용융물 레벨 사이의 관계가 명확하지 않다는 문제점을 가지고 있고, 현재 둘 사이의 관계 규명을 위한 연구들이 이루어지고 있다. 따라서 이 방법은 절대적인 용선 레벨 예측에 어려움이 있으며 실제 조업에서는 참고 데이터로 활용하고 있다.

1990년도 초반 Bluescope Steel에서 고로 내부 압력을 측정을 통한 레벨 예측 방법을 수행하였다. 이 방법은 압력이 낮고 일정한 질소를 프로브로 주입하여 고로 내부 압력을 측정하는 방법이다[3]. 이때 측정 압력에서 송풍압력(blast pressure) 및 프로브에서의 압력 손실을 제거하면 고로내부의 정지압력을 비교적 정확한 계산 할 수 있다. 그러나 이 방법은 설치측면에서 영구적인 설치가 불가능한 방법으로 기타 용선 레벨 측정 기법에 있어서 보정용 신호로 사용한다[4]. 마지막으로 스트레인게이지를 이용하는 방법이다. 스트레인 게이지는 물체의 전기 저항값은 길이와 단면 변화에 의하여 변화한다라는 원리를 이용하는 측정소자이다. 스트레인게이지의 특징은 정도가 높고 온도변화에 대한 영향이 적으며, 직류 및 교류회로에도 사용 가능하고, 진동 및 외부의 충격에 비교적 강하다. 또, 연속 측정이 가능하고 주파수 응답특성이 우수하다. 그러나 습기에 의한 오차가 크며, 변환 신호가 작으므로 증폭기를 필요로 한다.

스트레인게이지의 원리를 간단한 수식으로 정리하면 식(1)~(2)으로 나타낼 수 있다.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L(\text{하중작용후 변화된 길이})}{L(\text{하중작용전의 길이})} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L} = K \times \varepsilon = K \frac{\sigma}{E} \quad (2)$$

여기서,

ε : strain ($\mu\epsilon$), σ : stress (kg/cm^2)

K : modulus of elasticity (kg/mm^2)

E : gauge factor, : gauge resistance (Ω)

ΔR : changed gauge resistance (Ω)

L : gauge length (mm)

ΔL : changed gauge length (mm)

스트레인게이지를 이용하는 방법은 연속적이고 유지보수가 필요 없는 방법으로 2001년 이후 CRM[5]에서는 Arcelor Group의 몇 개 고로에서 설치 운용되고 있으며, 주기적인 보정을 필요로 한다. 또 출력 값이 용선 및 풍압의 영향을 많이 받으며, 센서 선택과 관련 전자 부품 및 설치 위치 선택에 주의할 필요가 있다[2~4]. 위의 방법들 중에서 가장 정확한 방법은 고로 내부 압력을 측정하는 방법이며 스트레인게이지 측정값은 고로내부의 압력과 고로 내부 내화물의 온도와 관련성이 있으나 EMF 방법에 비해 좀 더 정확한 값을 얻을 수 있다[3, 4]. 따라서 본 논문에서는 노저 용융물의 저선량을 측정할 수 있는 위의 네 가지 방법 중 스트레인게이지를 이용한 방법의 문제점을 해결하기 위한 방법을 제안한다.

제안한 방법은 스트레인게이지로부터 측정된 신호에 포함된 노

저온도, 풍압, 센서 잡음 등으로부터 발생되는 불필요한 신호를 제거하는 방법이다. 본 논문에서 제안된 방법의 유용성을 확인하기 위하여 광양 제철소 고로에 측정시스템을 구현하여 실험하였다. 실험 결과 용융물 레벨 변화와 본 논문에서 제안한 필터를 통과한 스트레인게이지의 출력변화가 잘 일치함을 확인하였다.

2. 실험 방법

2.1 스트레인게이지 측정시스템의 구성

Fig. 1에 실험을 위한 전체 시스템의 구성을 나타내었다. 고로에 스트레인게이지를 부착하고, 스트레인게이지에서 출력된 신호를 Local Panel에서 1차 처리 후 컴퓨터로 전송하면 컴퓨터에서 데이터를 최종 처리하는 방식으로 구성되어있다. Local Panel에서는 스트레인게이지에서 출력된 신호를 Fig. 2와 같은 형태로 구성해서 처리한다. 스트레인게이지 회로는 일반적으로 브리지 회로로 구성되며 차동 증폭기를 통해 스트레인게이지의 출력 값을 증폭시킨 후 전원에 의한 60 Hz 노이즈를 제거하기 위해 노치필터와 고주파 잡음을 제거하기 위한 저역통과필터 즉, LPF(Low Pass Filter)를 거친 신호를 16 비트 디지털 신호로 변환하여 사용하게 된다.

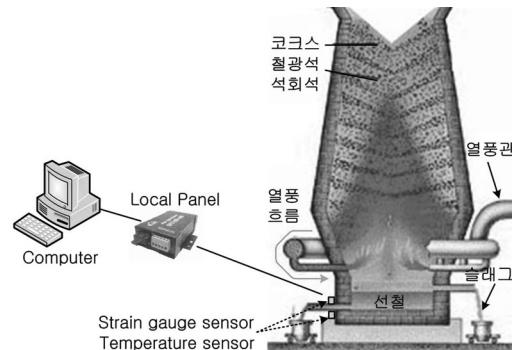


Fig. 1. Layout of a whole system.

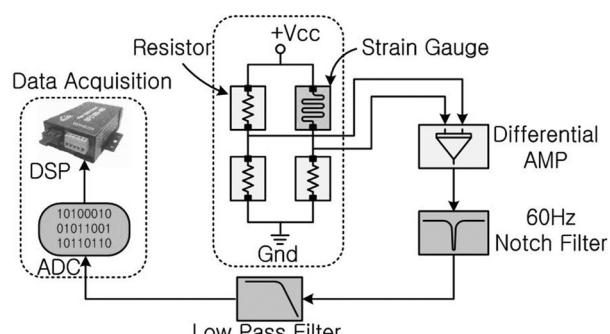


Fig. 2. Configuration of measurement system using a strain gauge.

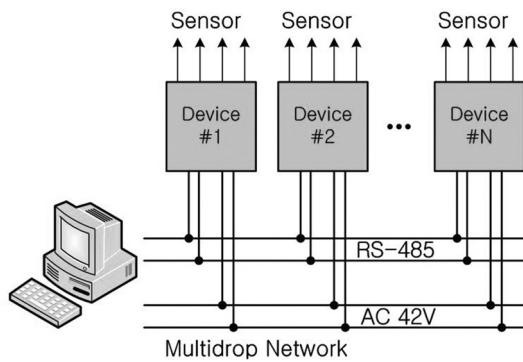


Fig. 3. Data acquisition system with RS-485 communication interfaces.

Fig. 3은 설치된 센서부와 컴퓨터와의 상호 연결 방법을 나타내며, RS485 통신을 이용하여 데이터를 교환하게 된다. Fig. 3에 센서는 고로에 부착되어있는 스트레인게이지와 온도센서를 의미한다. 스트레인게이지는 온도계수가 $7 \text{ ppm}/\text{C}$ 인 일본 KYOWA 사의 KFG-5-120-D16-11L1M2S 사용하였다. 스트레인게이지에 입력되는 전원은 독립 절연된 초정밀 급으로 적용하여 잡음을 최소화 하였다. 스트레인게이지의 온도에 대한 영향을 보상하기 위한 온도센서는 PT-100을 사용하였으며 4선식 RTD로 스트레인게이지 부착지점에 온도를 계측한다. 온도센서 출력 역시 스트레인게이지 측정 시스템과 같이 60Hz 노치필터가 사용되었으며, $400 \mu\text{A}$ 정밀 전류원 구동방식을 채택하였다. 또 온도센서의 비선형특성은 소프트웨어에서 보정하여 $0 \text{ C} \sim 100 \text{ C}$ 까지 측정 가능하게 하였다.

2.2 스트레인게이지 설치 위치

Fig. 4와 같이 노저 죠 하단부의 출선구와 동일한 방향으로 스트레인게이지 센서를 4개 설치하였으며, 온도센서인 PT-100도 동일한 위치에 부착하였다.

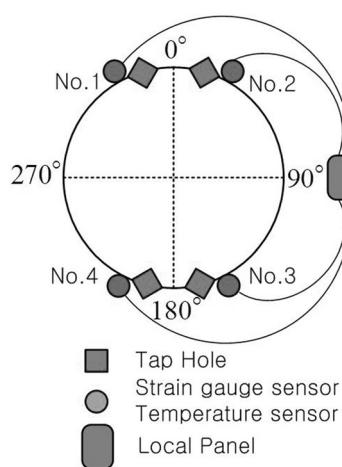


Fig. 4. Local positions of strain gauges installed in a blast furnace.

2.3 스트레인게이지 데이터의 분석

본 논문에서는 스트레인게이지 데이터와 고로 용선 레벨의 관계를 규명하기 위하여 스트레인게이지 출력을 10초 주기로 샘플링 하여 48시간 동안 관측한 데이터를 Fig. 5에 나타내었다. 이 결과로부터 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

첫째, 스트레인게이지 출력은 채널 별 직류옵셋(DC offset)이 다르게 나타난다. 이것은 센서 설치 위치의 장시간 경련 변화에 의해 나타나거나, 초기 프로그램 기동시 설정치 상이로 인해 발생된다.

둘째, 기준선(base line)의 변동이 존재한다. 이것은 고로 내부 온도변화는 결국 고로 외피의 수축 팽창으로 이어지고 그 주기가 용선레벨에 의한 주기보다 길다. 따라서 의미 없는 신호로써 제거가 필요하다.

셋째, 용융물의 레벨 정보를 포함하는 신호는 약 2시간에서 3시간 정도의 주기를 가지고 동작한다.

위 사실로부터 용선 레벨과 스트레인게이지 출력, 온도 변화 및 풍압의 관계를 정형화된 수식으로 표현하기는 어렵다. 그러나 스트레인게이지 데이터를 주파수 분석 해서 용융물의 레벨 정보를 포함한 데이터만 추출 가능하다는 것을 알 수 있다. 위 내용을 기반으로 스트레인게이지 데이터에 대한 FFT(Fast Fourier Transform)을 수행하면 Fig. 6의 결과를 얻을 수 있다. FFT 결과 각 채널 별 직류성분의 크기가 다르게 나타나며, 각 채널 별로 주파수 특성은 유사하게 나타남을 알 수 있다. 일반적으로 모든 신호들은 식(3)으로 표현되며 직류 성분과 기본 주파수의 배수로 조합된다[7]. 스트레인게이지 데이터에서 직류옵셋성분과 기준선의 변동에 영향을 주는 고로 내부의 온도변화와 고로외피의 온도변화는 12시간 이상의 주기를 가지는 1, 2차 고조파 성분으로 나타난다. 이 성분은 용선레벨의 추정에 있어서 필요치 않은 잡음성분으로 제거가 필요하다.

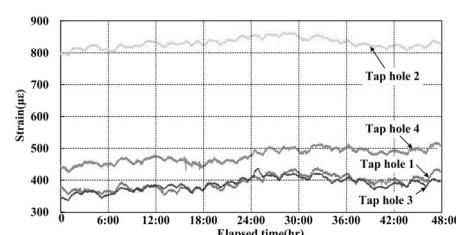


Fig. 5. Strain gauge data measured for various tap hole.

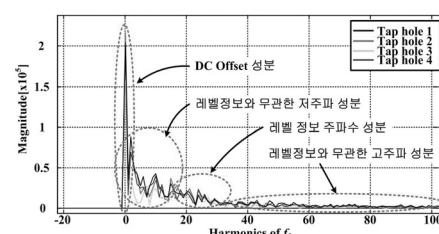


Fig. 6. Result of the FFT of the data of Fig. 5.

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=0}^{\infty} [a_k \sin(k\omega t) + b_k \cos(k\omega t)] \quad (3)$$

다음은 위 식으로부터 스트레인게이지 출력 중 불필요한 성분을 제거한 데이터의 특성을 알아본다.

2.4 스트레인게이지 데이터의 신호처리

Fig. 6의 결과로부터 직류옵셋성분과 저주파성분을 제거한 스트레인게이지 출력 신호의 특성을 알아보기 위해 Table 1의 경우에 대해서 FFT된 신호를 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)로 복원하였다. Table 1의 case 1은 스트레인게이지 신호에서 직류옵셋성분을 제거한 신호를 복원한 경우이며 case 2, case 3은 각각 case 1에 대해 제1고조파(1st harmonics)와 제2고조파(2nd harmonics)를 제거한 경우에 복원된 신호를 의미한다. 위의 세 가지 경우에 대한 신호처리 결과는 네 개의 출선구가 같은 경향을 나타내므로 편의상 1번 출선구에 대해서만 나타내기로 한다. Fig. 7에는 신호처리 전 스트레인게이지 출력을 나타내었고, Fig. 8에는 Table 1의 방법으로 신호처리 한 후 결과 파형을 나타내었다.

Table 1. Experimental conditions

	Conditions
Case1	Origin-DC offset
Case2	Origin-(DC offset+1 st harmonics)
Case3	Origin-(DC offset+1 st 2 nd harmonics)

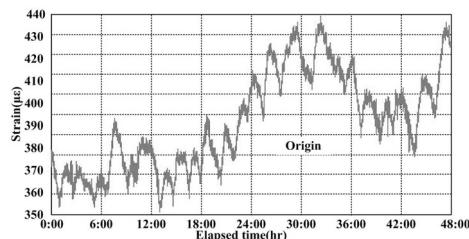


Fig. 7. Strain gauge data without a signal processing(tap hole 1).

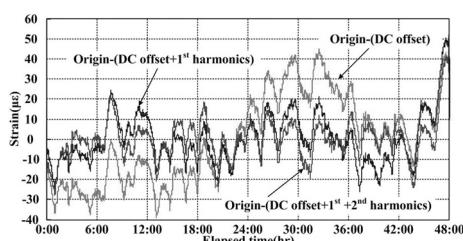


Fig. 8. Strain gauge data with a signal processing(tap hole 1).

이 결과로부터 신호처리 후 스트레인게이지 파형에서 기준선의 감

소는 case 3, case 2, case 1 순으로 나타남을 알 수 있다. 이로부터 기준선의 주파수가 24시간과 12시간 사이에 존재한다는 것을 알 수 있다. 따라서 기준선의 영향을 제거하기 위해서는 HPF(High Pass Filter)가 필요함을 알 수 있다. 또 직류옵셋성분을 제거함으로써 신호처리결과 파형이 y축 0을 중심으로 형성된다는 것을 알 수 있다.

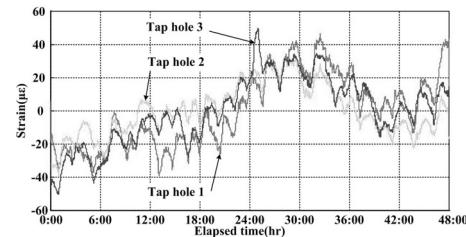


Fig. 9. Result of a signal processing of the case 1 for various tap hole.

다음은 3개의 출선구에 대해 표 1의 각각의 경우를 적용한 결과를 Fig. 9 ~ Fig. 11에 나타내었다. Fig. 9와 Fig. 10에 서보다 Fig. 11의 각 출선구의 파형이 비슷하게 나타남을 알 수 있다. Fig. 12는 Table 1의 case 3에 대해서 현장 조업 데이터와 신호 처리 결과를 비교 하였다. Fig. 12의 결과 직류옵셋성분과 기준선 주파수 제거만으로도 현장 데이터와 유사한 특성의 데이터를 추출 할 수 있음을 알 수 있다. 위의 case 3의 신호처리 결과로부터 채널 별 직류옵셋성분의 변동과 기준선 성분의 변동이 대부분 제거 됨을 알 수 있다. 따라서 위 실험으로부터 스트레인게이지 출력 신호와 용융물 레벨 정보를 일치 시키기 위한 필터설계의 기본 방향을 마련할 수 있다. 즉 직류성분과 저주파성분 및 고주파성분을 적절하게 제거하면 스트레인게이지 출력과 용융물 레벨 정보를 일치시킬 수 있다.

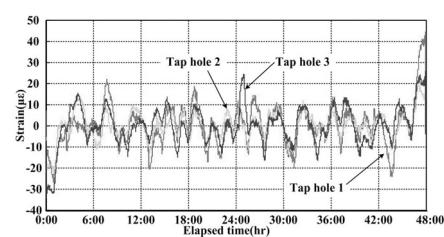


Fig. 10. Result of a signal processing of the case 2 for various tap hole.

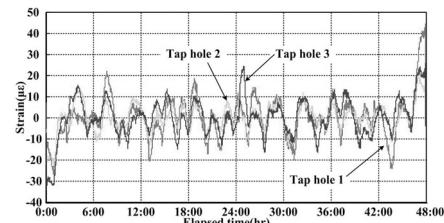


Fig. 11. Result of a signal processing of the case 3 for various tap hole.

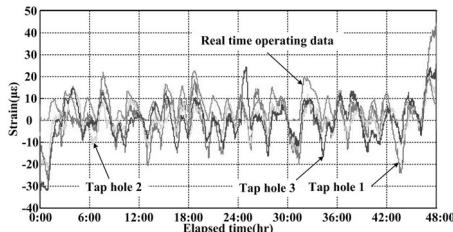


Fig. 12. Compare the real time operating data with the case 3.

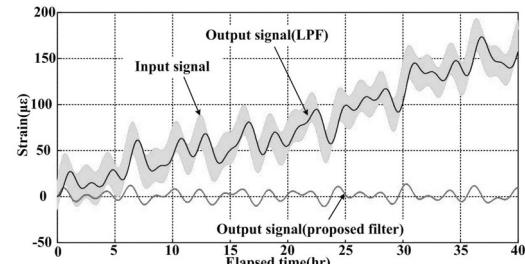


Fig. 14. Simulation result of the proposed digital filter system in Fig. 13(input signal, including a ramp wave and sine waves).

2.5 디지털 필터 설계

위의 신호처리 결과로부터 상기 기능을 수행할 수 있는 디지털필터는 Fig. 13과 같이 구성된다. Fig. 13의 신호처리 과정은 다음과 같다.

첫째, 스트레이인케이지 출력 값에 포함된 직류옵셋성분을 구하기 위해 LPF를 이용해 입력 신호의 평균 값을 구한다.

둘째, 고주파 성분 값을 제거하기 위해 입력신호와 HPF 처리된 신호의 차이를 구한다.

셋째, 2의 결과에 포함된 고주파 성분을 LPF로 제거한다.

넷째, 1의 결과와 3의 결과의 차를 구하면 직류옵셋성분과 고주파 신호가 제거된 신호를 얻을 수 있다.

본 논문에서 설계한 필터들의 차수는 모두 저차로 설계하였다. 고차 필터의 경우 입력 신호에 대한 위상 지연이 발생할 수 있고, 계산량의 증가로 시스템 구현 비용이 증가한다는 문제점이 있다[7, 8].

용선레벨의 변동에 의한 전형적인 파형의 주기는 2시간에서 3시간 사이 값을 가진다. 따라서 필터의 차단 주파수는 0.5시간에서 4시간 범위로 설정하여 설계할 수 있다. 본 논문에서는 현장 조업데이터와 필터 출력신호의 크기와 위상을 고려하여 필터의 차단 주파수를 1.74시간 즉, 0.001 rad/sec로 설계하였다.

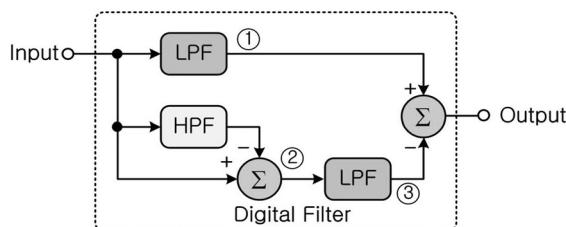


Fig. 13. Block diagram of the proposed digital filter system.

설계된 필터의 성능을 검증하기 위해서 스트레이인케이지 출력 신호와 유사한 입력 신호를 램프파와 정현파로 만들어 설계한 필터에 입력하였다. 그 결과 LPF만 통과 시킨 결과와 제안한 필터를 통과 시킨 결과를 비교하기 위해 Fig. 14에 나타내었다. LPF만을 통과 시킨 출력은 고주파 성분은 대부분 걸러 내지만, 직류옵셋성분은 그대로 출력되나, 제안한 방법은 고주파 성분과 직류옵셋성분 모두 제거됨을 알 수 있다.

3. 결과 및 고찰

실시간 현장 조업 데이터와 본 논문에서 제안한 방법으로 구현된 용선레벨 추정 시스템과의 차이 결과를 약 24시간 동안 비교하여 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 15의 결과 현장 조업 데이터와 제안된 방법의 결과가 유사한 특성임을 알 수 있다.

마지막으로 현장 조업 중 탭홀(tap hole)을 개방한 결과와 본 논문에서 제안한 방법의 결과를 Fig. 16에 나타내었다. Fig. 16의 사각파의 크기가 (-)에서 (+)로 교차하는 순간이 탭홀을 개방한 시점이며, (+)에서 (-)로 교차되는 순간이 탭홀을 폐쇄한 시점이다. 여기서 y축의 0점의 의미는 출선에 의한 용선레벨 변동폭의 평균을 의미한다. 이 결과 탭홀 개폐 시점과 제안된 방법의 신호와의 관련성으로부터 설계된 필터의 출력을 이용하여 탭홀 개방과 폐쇄 신호로 활용한다면 신뢰도 높은 출선시점을 자동으로 정할 수 있다. 따라서 고로의 출선 작업을 원활하게 할 수 있다.

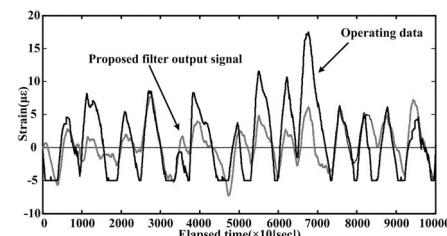


Fig. 15. Compare the operating data with the proposed filter output signal.

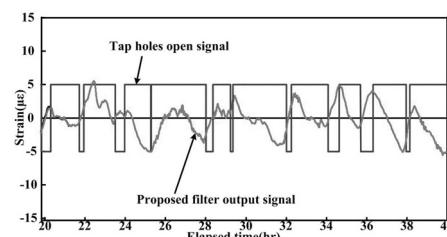


Fig. 16. Proposed filter output according to tapping time of the blast furnace.

4. 결론

고로의 용융물 레벨을 추정하기 위한 방법 중 스트레인게이지 방법은 용융물의 높이와 스트레인게이지 출력값 사이의 정량화된 수식을 구하기가 어렵다. 또 정기적으로 보정을 해야 하며 보정을 위해서는 정지압력값이 필요한 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이런 문제를 해결하기 위해 스트레인게이지 출력에 디지털 필터를 추가하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 스트레인게이지 데이터에 포함된 직류온센싱분과 고로의 온도 변화 및 고주파 노이즈 성분을 제거 하는 방법이다. 실험을 통하여 제안된 방법이 용융물의 높이 변화를 잘 추정함을 확인하였으며, 그 결과 제안된 방법이 고로의 출선 시점을 선택하는데 유용함을 확인하였다.

본 논문에서 제안된 방법이 고로의 용선 레벨과 스트레인게이지 데이터와의 정량화된 수식을 만드는데 귀중한 데이터로 이용되리라 판단된다.

REFERENCES

- [1] Yu J.S., Kim S.H., Lee B. bK., Won C.Y., and Hur J., “On-line wear determination for improved lifetime of blast furnace hearth based on heat-flux meters”, *METEC Congress 03 and 3rd International Conference on Science and Technology of Ironmaking*, pp. 491-495, Dusseldorf, 2003.

- [2] 정진수, 정진경, 김성만, “고로 용융물 레벨 변화가 노하부 기전력에 미치는 영향”, *대한금속학회 논문지*, vol. 36, no. 5, pp. 796-800, 1998.
- [3] Danloy, G., Stolz, C., Crahay, J., and Dubois, P., “Measurement of iron and slag level in the blast furnace hearth”, *Proceedings of the 58th Ironmaking Conference*, pp. 89-98, Chicago Illinois, USA, 1999.
- [4] L.-F. Sancho, R.-P. Chust, and D. Carrascal, “New technique for abnormal casting identification in a blast furnace”, *ATS International Steelmaking Conference*, pp. 23-28, Paris, 2006.
- [5] Jan TORRKULLA, Johnny BRANNBACKA, Henrik SAXEN, and Matias WALLER, “Indicators of the internal state of the blast furnace hearth”, *ISIJ International*, vol. 42, no. 5, pp. 504-511, 2002.
- [6] <http://www.crmgroup.be/>
- [7] Ala an V. Oppenheim, Ronald W. Schafer with Jon R. buck, *DISCRETE-TIME SIGNAL PROCESSING 2nd edition*, Prentice Hall, New Jersey, pp. 240-300, 1985.
- [8] Nae-Soo Cho, Joo-Hwan Kim, Kyoung-Seop Youn, and Woo-Hyen Kwon, “The design of code detector for sell call radio buoy”, *JSST*, vol. 20, no. 3, pp. 199-206, 2011.



조 내 수(Nae-Soo Cho)

- 2001년 경일대학교 제어계측공학과(공학사)
- 2003년 경북대학교 대학원 전자과(공학석사)
- 2005년 경북대학교 대학원 전자과(박사수료)
- 2005년 ~ 2008년 경일대학교 제어전기공학부 초빙교수
- 2011년 ~ 현재 경북대학교 전자과 초빙교수
- 관심분야 : 전력전자, DSP 응용제어, 모션제어



한 무 호(Mu-Ho Han)

- 1992년 경북대학교 전자 공학과(공학사)
- 1994년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2010년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1994년~현재 포항산업과학연구원시스템솔루션연구본부책임연구원
- 관심분야 : 전력전자, 센서응용제어



권 우 현(Woo-Hyen Kwon)

- 1977년 서강대학교 전자공학과(공학사)
- 1979년 한국과학기술원 전자공학과(공학석사)
- 1993년 한국과학기술원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1979년~현재 : 경북대학교 공과대학 전자전기컴퓨터학부 교수
- 관심분야 : 전력전자, 모터제어, 스위칭 시스템 모델링과 시뮬레이션, DSP 응용제어



최 연 호(Youn-Ho Choi)

- 1992년 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1995년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2002년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1996년~1998년 한국통신 근무
- 2006년~2009년 8월 경일대학교 제어전기공학부 전임강사
- 2011년~현재 : 대구경북과학기술원 로봇시스템 연구부
- 관심분야 : 전력전자, 전동기 제어, 영상응용제어, 프로세서응용제어