# IoT 센서 데이터를 이용한 가열로 상태 변경 지점 감지 알고리즘

최정훈, 김세영, 류광렬
부산대학교 컴퓨터공학과
cjh26@naver.com

# Change Point Detection of Heating Furnace Status using IoT Sensor Data

Jeonghoon Choi, Seyoung Kim, Kwang-Ryel Ryu
Dept. of Computer Science Engineering, Pusan National University

요 약

자유 단조는 고온에 가열한 강괴에 높은 압력을 가하여 원하는 형상의 제품을 만드는 공정으로 에너지 소모가 매우 크다. 여러 개의 강괴를 가열로에 장입하여 고온에 가열한 후 소재를 하나씩 꺼내어 프레스 공정을 수행한다. 가열로에 함께 장입되는 소재들의 조합에 따라 가열 시 소요 시간 및 에너지 사용량이 달라진다. 소재 조합에 따른 가열 비용 예측을 통해 최적의 소재 조합을 결정하여 에너지 효율을 높일 수 있다. 비용 예측 모형을 학습하기 위해서는 가열 소요 시간 및 에너지 사용량 데이터가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 가열로의 온도 및 가스 사용량 데이터를 이용하여 가열로의 가동 상태 변경 지점을 감지하는 방안을 제안한다. 가열로의 온도 및 가스 사용량은 IoT 인프라를 기반으로 손 쉽게 획득할 수 있다. 가열로의 상태 별로 온도 및 가스 사용량에 나타나는 패턴을 이용하여 상태 변경 지점을 감지한다. 이를 통해 가열 공정 데이터를 획득할 수 있을 뿐만 아니라 가열로의 상태를 실시간에 모니터링이 가능함으로써 불필요하게 가열하는 것을 예방하여 에너지 효율을 높일 수 있다.

## 1. 서론

자유 단조는 중량이 큰 강괴를 소재로 하여 고온에 가열 후 큰 압력을 가하여 제품의 형상을 빚는 공정이다. 가열로에 여러 개의 강괴를 장입하여 고온에 가열한다. 소재의 가열이 완료되면 하나씩 꺼내어 프레스 공정을 수행한다. 가열이 완료된 소재일지라도 프레스 공정이 가능할 때까지 대기해야 하며 고온을 유지하기 위해 가열로 내에서 계속적으로 가열된다. 소재를 꺼내기 위해 가열로의 문을 여닫으면 가열로 내부의 손실된 열을 회복하기 위해 많은 에너지를 사용한다. 이와 같이 중량이 큰 강괴를 가열하는데 에너지 비용이 매우 많이 소모된다.

가열로에 장입하는 소재들의 총 중량이 클수록 가열 소요 시간이 길어진다. 또한 중량이 큰 소재일수록 소재 내부까지 완전히 가열하는데 시간이 오래 걸리기 때문에 중량이 작은 소재를 함께 가열하는 것은 비용의 낭비를 초래한다. 이와 같이 가열로에 함께 장입하는 소재의 종류 및 수량 등에 따라 가열 소요 시간이 다르며 에너지 효율에 차이가 발생한다. 따라서 에너지 효율을 높이기 위해서는 가열로에 장입할 소재의 조합을 최적화해야한다.

최적의 소재 조합을 찾기 위해서는 소재의 조합에 따른 가열 공정비용의 예측이 필요하다. 예측을 비교적 간단하게 하는 방법으로는 과거 공정 데이터를 이용하여 기계학습 알고리즘을 기반으로 학습한 모형을 이용하는 것이다.

비용 예측 모형을 학습하기 위해서는 대량의 공정 데이터 수집이 필요하다. 가열로에 장입되어 있는 소재의 정보와 가열 소요 시간 및 에너지 비용 데이터가 대량으로 필요하다. 이 때 소재를 초기에 가열하는 구간과 소재의 출입이 발생하며 가열로 내부의 손실된 열을 회복하기 위해 재 가열을 수행하는 구간의 비용이 다르다. 또한 가열이 완료된 소재를 가열로에서 계속 가열하여 고온으로 유지할 때 발생하는 비용은 가열 시 발생하는 비용과 경향이 다르다. 따라서 가열 공정 비용을 정확도 높게 예측하기 위해서는 가열로 가동 상태 구간 별로 데이터를 수집하여 모형을 학습해야한다.

가열로의 가동 상태 구간 별 데이터를 획득하기 위해서는 가열 시작 시점 및 완료 시점, 문 개폐 시점, 재 가열 완료 시점과 같은 가동 상태 변경 시점을 알 수 있어야 한다. 이것들을 사람이 직접 기록하는 것은 한계가 있고 대량의 데이터를 얻는데 무리가 있다. 여러 가지 센서를 설치하여 수집할 수 있지만 설치비용이 매우 많이 소요된다는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 가열로의 온도 및 가스 사용량 데이터를 이용하여 가열로의 가동 상태를 구분하는 방법을 제안한다. IoT 인프라를 기반으로 가열로에 설치 되어있는 내부 온도 센서와 도시가스에서 설치

한 가스 검침기로부터 온도 및 가스 사용량 데이터를 획득할 수 있다. 가열로 가동 상태 구간 별로 나타나는 온도 및 가스 사용량의 구분되는 특징과 상태 변경 지점에서 나타나는 특징을 이용하여 가열로 상태 변경 지점을 자동으로 검출한다. 이를 통해 가열로 상태 구간 별 소요 시간 및 가스 사용량을 알 수 있다.

실시간에 수집되는 센서 데이터에 가열로 상태 구분 알고리즘을 적용함으로써 가열로 모니터링이 가능하며 상태 변경 시점 마다 알람이 가능하다. 현장에서는 가열로의 가동 상태를 쉽게 파악할 수 있고 가열로의 이상 상태를 빠르게 파악하거나 불필요한 가열을 막음으로써 에너지 효율을 높일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서는 가열로 가동 상태 구분 문제를 소개하고 3장에서는 제안 방안을 설명한다. 4장에서 이 제안한 방법에 대한 적용 결과를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

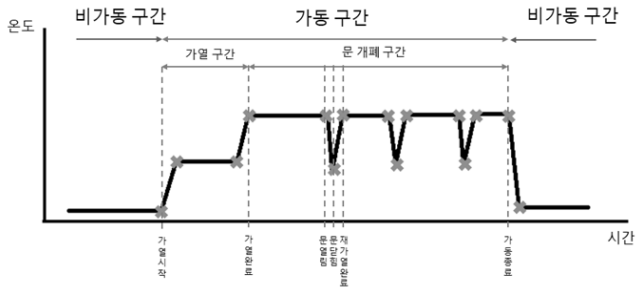
## 2. 문제소개

가열로의 상태는 일반적으로 (그림 1)과 같은 상황이 반복된다고 볼 수 있다. 가열로를 사용하는 데 있어 처음 가열을 시작할 때부터 가스를 사용하여 가열하게 되는데 이때 가스사용량을 알기 위해서는 가열 시작한 시점과 가열 완료한 시점을 알아야 한다. 또, 프레스기가 작업한 강괴를 언제 가열로에서 가져갔는지 알기 위해서는 문이 열린 시간을 알아야 한다. 그래서 '가열이 시작한 지점', '가열이 완료된 지점', '문이 열린 지점', '문이 닫힌 지점', '다시 가열이 완료된 지점'을 알아야 하는데 이를 각각 '가열 시작', '가열 완료', '문 열림', '문 닫힘', '재가열 완료' 점이라 한다. (그림 1)을 봤을 때 가열로 온도 그래프의 중요 변하는 지점을 찾으면 위에 서술한 필요한 점들을 다 찾을 수 있을 것이다.

기존의 상태 변화를 찾는 방법으로는 학습을 통해 찾는 방법이 있다. 이는 크게 Supervised method 방법과 Unsupervised method 방법 두 가지가 있는데 이 두 방법 모두 현재 점이 변하는 점인지 아닌지만 구분하므로 변하는 점인지는 넘어 어떤 지점인지까지 나누려는 우리의 상황에 적응시키기는 힘들다. [1][2][3]

또 전체 기간의 데이터 중 일부 기간 데이터만의 Bayesian 통계를 바탕으로 한 확률 밀도 함수를 이용해 변하는 점을 감지하는 알고리즘이 있다. 하지만 이는 계산이 느려 실시간으로 적용하는데 어려워 실시간 모니터링을 하려는 우리 상황에 맞지 않으며, 변하는 지점이 전 구간에 걸쳐 균등하게 분포되어 있을 때 좋은 성능을 낸다는 점에서도 우리 상황에 맞지 않는다. [4]

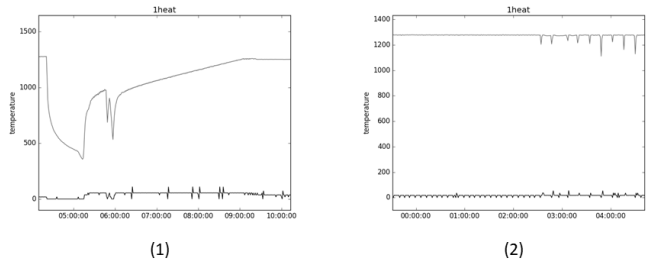
이에 우리는 가열로 동작에만 특화된 알고리즘을 구축하고자 한다.




(그림 1) 일반적인 가열로의 동작

## 3. 제안 방안

가열로의 가동 구간은 (그림 1)과 같이 가열 구간과 문 개폐 구간으로 나눌 수 있다. 가열 구간에서 찾으려는 건 '가열 시작'과 '가열 완료' 이며 문 개폐 구간에서 찾는 건 '문 열림', '문 닫힘', '재가열 완료' 그리고 '가동종료'이다. 두 구간에서 찾고자 하는 점의 특징이 다르므로 두 구간에 각각 따로 알고리즘을 적용한다.




(그림 2) (1) 가열 구간 예시, (2) 가동 구간 예시

### 3.1 가열 구간

먼저 가열 구간은 두 가지 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째는 가열 시작점을 찾는 단계, 두 번째는 가열 완료 점을 찾는 단계이다.

#### 3.1.1 가열 시작

가열로의 가열이 시작했다는 것은 '가열로에 가스를 사용하여 가열을 시작했다.'라고 볼 수 있다. 하지만 가열로의 상태에 가스누출이 있을 수 있다. 이를 고려하였을 때, 가열 시작점은 현재로부터 3분 동안 가스사용량이 있다면 가열 시작점이라고 간주할 수 있다.

$$\text{가열시작점}_{\text{후보}} = \{t|\text{가스}_{t+1} > 0 \& \text{가스}_{t+2} > 0 \& \text{가스}_{t+3} > 0\} \quad (1)$$

또, 가열로를 사용할 때 소재를 예열하기 위해 가열로를 잠시 가열하고 쉬는 구간과 가열로의 문제로 가스누출이 심한 예도 있는데, 이는 실제 가열로 가열 시작과는 괴리가 있으므로 이 부분 보정을 하여야 한다. 이에 따라 가열로로부터 '가열 시작' 신호가 오지 않았는데 가스가 5분 이상 사용되지 않고 있으면 가열 시작점 후보를 무효화하고 다시 찾게 된다.

#### 3.1.2 가열 완료

가열 시작 후보가 있으면 가열 완료를 찾는 단계로 넘어가게 된다. 가열이 완료되면 온도의 상승이 없어지고 온도

그래프가 평평해지는 구간이다. 그러므로 노이즈를 고려하여 현재로부터 앞뒤로 10분씩의 온도 평균을 비교하여 1℃안이면 가열 완료 점을 확정하며 이때 가열 시작점 후보를 가열 시작점으로 간주한다.

$$\text{가열완료점} = t \mid (\mid \sum_{i=1}^{10} \text{온도}_{t+i} - \sum_{i=1}^{10} \text{온도}_{t-i} \mid) < 1 \qquad (2)$$

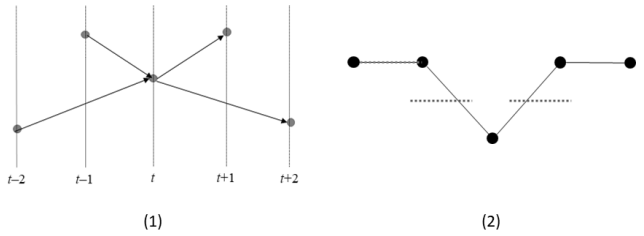
### 3.2 문 개폐 구간

그다음 문 개폐 구간은 네 가지 단계로 나눌 수 있다. '문 열림'을 찾는 단계, '문 닫힘'을 찾는 단계, '재가열 완료'를 찾는 단계, 마지막으로 '가동종료'되는 단계이다. 이를 위해서는 먼저 온도 곡선이 변하는 점을 찾아야 한다.

#### 3.2.1 온도 곡선이 변하는 점 찾기

가열로의 가열이 완료되고 강괴가 충분히 가열되면 가열로의 문을 열어 강괴를 꺼내 프레스기로 옮겨야 한다. 이때 가열로의 문을 열게 되면 가열로 온도가 떨어지게 되고 문을 닫고 다시 가열을 시작해서 가열로 온도가 문 열리기 전 온도로 복귀하게 된다. 이를 바탕으로 현재 시점을 기준으로 전후 가열로 온도가 크게 변하는 점을 찾고자 한다. 또 가열로 온도가 항상 일정한 것이 아닌 노이즈가 항상 껴 있으므로 이 부분을 고려하여야 한다.

위 사항들을 바탕으로 현시점에 대한 이전 온도의 변화 $PastGrad_t$와 현시점에 대한 이후 온도변화 $FutureGrad_t$는 아래와 같이 정의할 수 있다.




(그림 3) (1) 현시점에 대한 온도 판단, (2) 문 열림 구간에 대한 문제점

$$PastGrad_t = mean\{\text{온도}_t - \text{온도}_{t-1}, (\text{온도}_t - \text{온도}_{t-2})/2\} \qquad (3)$$

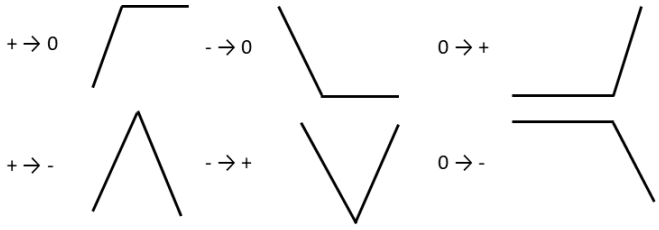
$$FutureGrad_t = mean\{\text{온도}_{t+1} - \text{온도}_t, (\text{온도}_{t+2} - \text{온도}_t)/2\} \qquad (4)$$

(단, $PastGrad$ 와 $FutureGrad$ 가 1보다 작으면 0으로 간주한다.)

또, (그림 3)의 (2)와 같은 상황에서 문 닫히는 구간 전후로는 온도변화가 같아 찾을 수 없으므로, 더 이전의 온도 변화와 비교한다. 이를 통해 총 구해낸 총 변하는 점은 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$Set\ of\ change\ point = \{t \mid PastGrad_t * FutureGrad_t \leq 0 \| |past_t - past_{t-1}| > 1\} \qquad (5)$$

위처럼 현시점에 대해 변하는 점들을 찾게 되면 현시점의 이전/이후 기울기 부호에 따라 (그림 4)와 같은 총 6가지 종류의 change point가 생기게 된다.



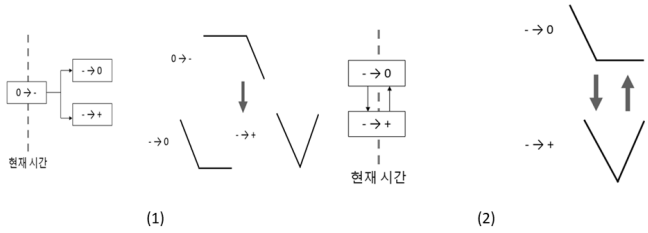

(그림 4) change point의 종류

이제 위 경우의 점들을 특정 규칙을 통해 필요한 점과 필요하지 않은 점으로 구분한다. 예를 들어 '0 → −' 가 왔다면 그다음은 '− → +'나 '− → 0'만 의미가 있을 것이다.

#### 3.2.2 찾은 점을 바탕으로 구간 정의

문이 열릴 가능성이 있는 점은 (그림 4)의 종류 중 '0 → −'와 '+ → −'만 해당한다. 이 점들에 대해 현재보다 앞 시점의 온도와 비교하여 특정 Threshold를 넘으면 문이 열린 것으로 판단한다. 문이 열렸다고 결정되면 이후로는 '− → 0'과 '− → +'만 찾게 된다.

문이 닫히는 점은 문 열림 이후 온도가 가장 낮은 지점으로 이를 위해서 '− → 0'과 '− → +'중 온도가 낮은 점이 나오면 계속 갱신하게 된다.

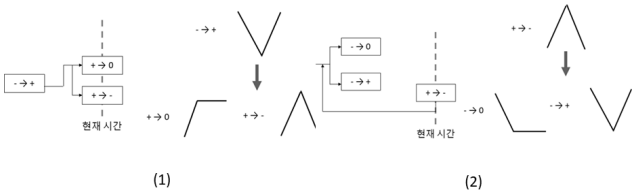



(그림 5) (1) 문 열림 - 문 닫힘 구간, (2) 문 닫힘 지점을 찾기 위한 온도 갱신

문이 닫힌 이후에 재가열이 완료되는 점은 '+ → 0'과 '+ → −' 만 가능하다. 이때 재가열이 완료되는 지점은 휴식구간에서 가열 완료되는 지점과 유사하지만 문 열림이 연속으로 나올 수 있어 앞뒤 10분이 아닌 앞뒤 5분으로 판단한다.

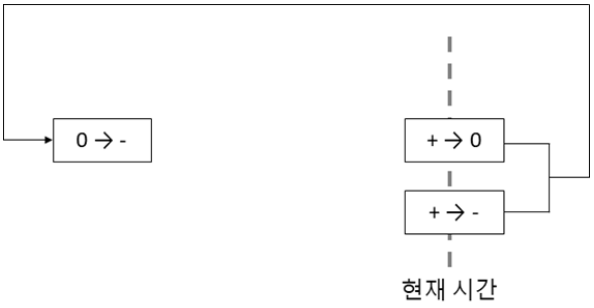
$$\text{재가열 완료점} = t \mid (\mid \sum_{i=1}^{5} \text{온도}_{t+i} - \sum_{i=1}^{5} \text{온도}_{t-i} \mid) < 1 \qquad (6)$$

또 '+ → −'는 재가열 완료일 수도 있지만 문 열림일 수도 있다. 그러므로 이때 문 열림 체크를 다시 하여 문이 열렸다면 '− → +'나 '− → 0'을 찾는다.



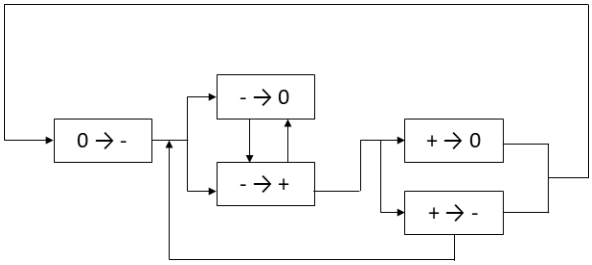

(그림 6) (1) 재가열 완료 판단, (2) 재가열 완료와 동시에 문이 열리는 경우

만약 이렇게 문이 열리지 않고 그대로 재가열이 완료되었다면 다시 문이 열리는 지점을 찾기 위해 '0 → -'이 나올 때까지 대기한다.




(그림 7) 재가열 완료 후 문 열림 대기

위에 나열한 '문 열림 → 문 닫힘 → 재가열 완료'의 흐름을 한곳에 모으면 아래와 같은 전체 수형도를 볼 수 있다.



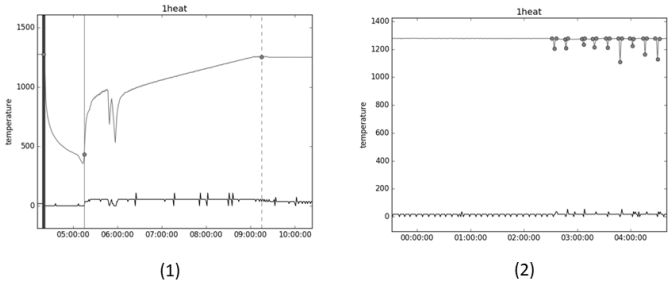

(그림 8) 문 열림 → 문 닫힘 → 재가열 완료의 전체 흐름

### 3.2.3 가동종료

가동종료는 프레스기 작업과 가열로에서 소재가 빠져나간 시각과 비교하여 가열로 안의 마지막 강괴가 빠져나갔을 때를 가동종료로 한다. 하지만 현재 프레스기 작업데이터가 부정확하므로 현재는 가열로의 종료 신호를 입력받아 사용하고 있다.

## 4. 알고리즘 적용 결과

위 예시로 들었던 (그림 2)에 제안한 알고리즘을 사용하면 아래와 같은 결과를 얻을 수 있다.




(그림 9) 알고리즘 적용한 결과

(그림 9) (1)는 (그림 2) (1)에 대한 알고리즘 적용 후 결과로 각각 굵은 선은 가동종료, 얇은 선은 가열 시작, 점선은 가열 완료 지점이다. (그림 9) (2)는 (그림 2) (2)에 대한 알고리즘 적용 후 결과이다. 변하는 지점을 잘 집어내는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 연구

가열로의 온도 곡선이 급격하게 변하는 점을 찾아내고 분류하는 알고리즘을 토대로 한 가열로 모니터링 시스템은 위 적용 결과를 봤을 때 작업자가 별다른 입력을 하지 않아도 가열로의 특이점들을 파악할 수 있음을 확인할 수 있다.

하지만 현재는 문 열림 판단을 할 때 특정 threshold를 정해서 하는데 이때 threshold가 정확한지 알 수 없으므로 이 부분에 대한 자료를 수집 후 학습을 통해 최적을 threshold를 찾아내어 정확도를 향상할 계획에 있다.

## Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

## 참고문헌

[1] Reddy, Sasank, et al. "Using mobile phones to determine transportation modes." ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN) 6.2 (2010): 13.

[2] Kawahara, Yoshinobu, and Masashi Sugiyama. "Sequential change point detection based on direct density ratio estimation." Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal 5.2 (2012): 114-127.

[3] Aminikhanghahi, Samaneh, and Diane J. Cook. "A survey of methods for time series change point detection." Knowledge and information systems 51.2 (2017): 339-367.

[4] Downey, Allen B. "A novel changepoint detection algorithm." arXiv preprint arXiv:0812.1237 (2008).