

# 비용 예측 모형 기반 열처리로 작업 계획 최적화

허형록, 김세영, 류광렬  
부산대학교 전기전자컴퓨터공학과  
e-mail : syndrome5044@naver.com

## Model-based Scheduling Optimization of Heat Treatment Furnaces in Hot Press Forging Factory

Hyeong-Rok Heo, Se-Young Kim, Kwang-Ryel Ryu  
Dept. of Computer Science Engineering, Pusan National University

### 요 약

단조는 강괴를 고온으로 가열하고 원하는 형상으로 만드는 공정이다. 가열로에 강괴를 장입하여 가열하고, 고온의 강괴에 프레스, 절단 공정을 적절히 반복하여 원하는 형상으로 만든다. 형상이 완성된 강괴의 경도 및 강도를 조절하기 위해 열처리 공정을 진행한다. 열처리로에 여러 개의 강괴를 장입하여 가열하기 때문에 에너지 비용이 많이 소모된다. 열처리 공정 비용은 열처리 공정의 종류와 장입되는 강괴들의 특성 및 수량 등에 따라서 결정된다. 열처리로에 장입할 강괴 조합을 최적화함으로써 비용을 최소화시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 비용 예측 모형을 이용하여 열처리로 작업 계획을 최적화하는 방안을 제안한다. 비용 예측 모형은 IoT 인프라를 기반으로 수집한 공정 데이터를 이용하여 학습한다. 다양한 열처리로 작업 계획은 학습한 모형 기반의 시뮬레이션을 통해 평가하여 유전 알고리즘을 기반으로 최적화한다. 최적의 열처리로 작업 계획을 수립함으로써 공정 비용을 최소화하고 에너지 효율을 극대화할 수 있다.

### 1. 서론

단조는 고온에 가열한 강괴에 압력을 가하여 원하는 형상을 빚는 공정이다. 가열로에 강괴를 장입하여 고온에 가열하고 강괴를 원하는 형태로 만들기 위해 강괴에 압력을 가하는 프레스 공정과 강괴를 절단하는 공정을 적절히 반복한다. 제품의 형상이 완성되면 쇄의 경도 및 강도를 조절하기 위해 담금질과 같은 열처리 공정을 수행한다.

열처리 공정은 한 번에 열처리로의 용량 내에서 여러 강괴를 한 번에 진행할 수 있는데, 열처리로에 한 번에 들어가는 강괴의 조합에 따라 열처리 작업이 완료되기까지 걸리는 시간과 드는 비용이 달라진다. 이는 강괴 별로 가열 목표 온도나 담금질 시간이 달라서 발생하는 문제로, 따라서 비슷한 성질의 강괴가 동시에 작업되는 것이 효율적이다.

현장에서는 작업 별 공정 소요 시간과 에너지 소모량을 고려하여 각 열처리로마다 수행할 작업들을 결정한다. 최적 작업 계획을 수립하기 위해서는 다양한 작업 계획에 대해 평가 및 비교해야한다. 그러나 매일 처리해야하는 열처리 공정 대상 작업이 많고 공정 비용에 대한 정확한 추정이 어렵기 때문에 현장 작업자가 직접 가장 효율적인 계획을 수립하는 것은 현실적으로 어렵다.

따라서 본 연구에서는 열처리 공정 비용 예측 모형을 기반으로 다양한 열처리로 작업 계획에 대한 시뮬레이션을 통해 최적의 작업 계획을 수립하는 방안을 제안한다. 비용 예측 모형은 IoT 인프라를 기반으로 수집한 공정 데이터를 이용한 학습을 통해 획득할 수 있다. 유전 알고리즘을 기반으로 학습 모형을 이용한 시뮬레이션을 수행하여 열처리로 작업 계획을 최적화한다.

2 장에서는 현재 단조 공장의 전체적인 공정 흐름과 최적화의 대상이 되는 열처리 공정에 대해 다루고, 3 장에서는 단조 공장의 작업 계획에 대한 기존 연구에 대해 살펴본다. 4 장에서는 본 논문에서 제안하는 방식을 서술하며 5 장에서 현재 연구의 진행상황과 향후 연구의 방향에 대해 다룬다.

### 2. 문제 소개

단조 공정에는 크게 가열, 프레스, 절단, 열처리 4가지가 존재하며, 일반적으로 가열 작업 이후 프레스 혹은 절단 작업을 하고 최종공정으로 열처리 작업이 이루어진다.

열처리 작업은 각 열처리로에 동시에 여러 강괴가 장입된 상태로 이루어지는데, 장입된 강괴의 무게, 종류, 개수, 열처리 설비 성능에 따라 소요시간과 에너지

지가 다르다. 일반적으로 중량이 클수록, 개수가 많을수록, 종류가 다양할수록 시간과 에너지가 늘어나는데 그렇다고 해서 같은 종류의 강괴만 열처리로에서 작업하려고 하면 열처리로의 공간이 남게 되어 비효율적이게 된다.

효율적인 열처리로 작업 계획은 소요 에너지의 절감뿐만 아니라 같은 시간 내에 더 많은 작업을 할 수 있도록 만들어준다.

본 연구에서는 가열, 프레스, 절단 작업을 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 처리하도록 하며, 열처리 작업의 작업 계획은 유전 알고리즘을 이용하여 최적화하도록 한다.

### 3. 관련 연구

열처리 공정의 작업 계획을 수리 모델을 이용하여 수립하는 방법을 제시한 연구가 존재한다.[3] 해당 연구는 일정 기간의 공장 데이터를 기반으로 수리적 연산을 통한 모델을 수립하여 효율적인 방식을 제안하였다. 이와 다르게 본 연구는 예측 모델을 이용한 시뮬레이션으로 다양한 작업 계획을 평가해 가며 최적의 작업 계획을 수립하는 것을 목적으로 한다.

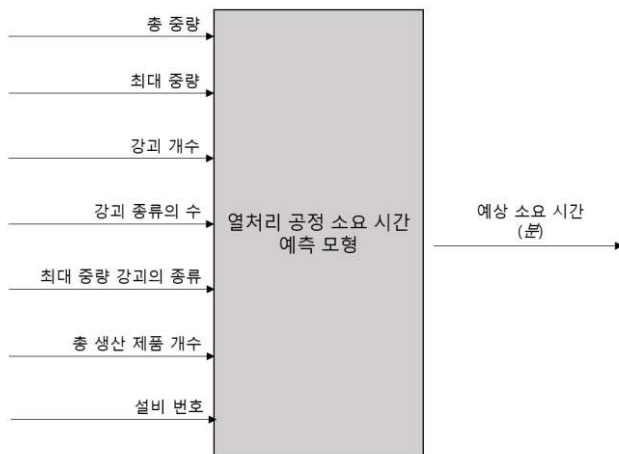
이전 연구 중 단조공장에서 가열 작업의 계획을 유전 알고리즘을 이용하여 최적화한 연구가 존재한다.[4] 해당 연구에서는 가열로가 작업을 선택하는 과정에서 유전 알고리즘을 이용하여 해를 최적화하였다.

본 연구는 열처리 이전의 가열 및 단조 작업이 모두 완료된 이후 열처리 대상 작업 목록을 기준으로 유전 알고리즘을 이용한 해 탐색을 통해 에너지 절감을 이루는 것을 목표로 한다.

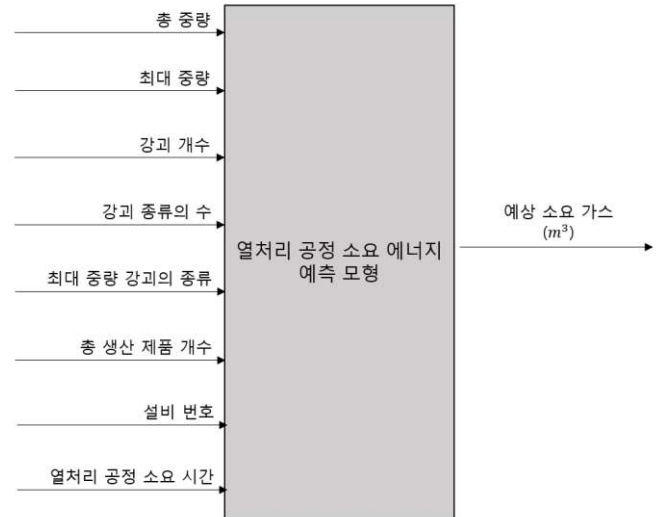
### 4. 제안 방안

#### 4-1. 비용 예측 모형

IoT 인프라를 기반으로 수집한 공정 데이터를 기반으로 K-NN, MLP 등의 기계학습 알고리즘을 이용해 비용 예측 모형을 학습한다.



(그림 1) 열처리 공정 소요 시간 예측 모형

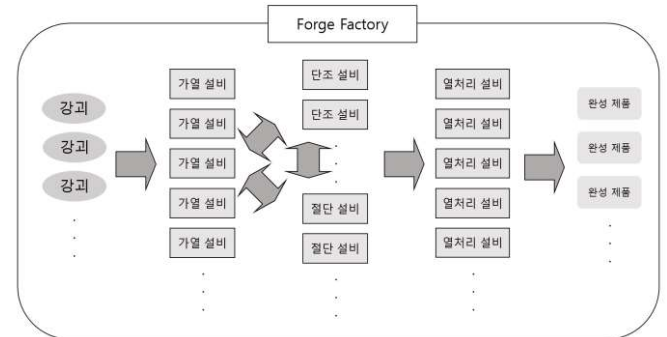


(그림 2) 열처리 공정 소요 에너지 예측 모형

(그림 1)은 열처리 공정 소요 시간 예측 모델을 형상화한 것이다. 이용한다.

(그림 2)는 열처리 공정 소요 에너지 예측 모델을 형상화한 것이다. 열처리 과정에서 소요되는 에너지의 대부분이 가스가기 때문에 본 연구에서는 가스 소요를 곧 에너지 소요로 정의한다.

#### 4-2. 공정 시뮬레이터



(그림 3) 단조 공장의 공정 과정

열처리 대상 강괴 목록을 입력으로 받고 결과를 도출해내기 위해서 전체 공정의 시뮬레이터가 필요하다. 시뮬레이터는 공정 설비가 독자적으로 정해진 알고리즘에 따라 동작하면서 작업을 수행해야 하며, 최종적으로 해당 작업 계획에 대하여 소요된 시간과 에너지를 출력해야 한다.

#### 4-3. 유전 알고리즘

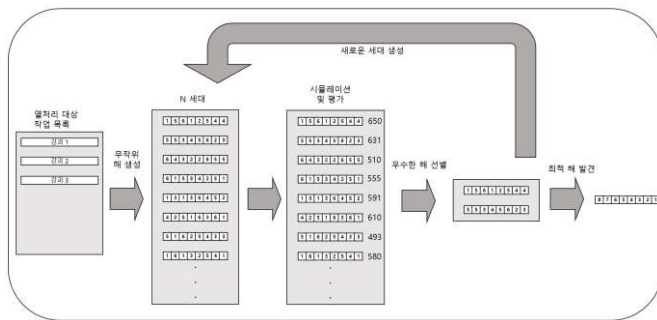
유전 알고리즘은 자연의 유성생식 과정을 모방하여 만든 알고리즘으로서 다양한 해를 평가하고 우수한 해들을 교배하여 새로운 해를 생성하는 과정을 반복하며 더욱 우수한 해를 찾아가는 최적화 알고리즘이다. 다양한 작업 계획을 평가하면서도 유전 알고리즘

을 이용하여 작업 계획의 탐색 범위를 좁힘으로써 효율적으로 최적 작업 계획을 수립할 수 있다.

강과	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
설비 번호	1	5	2	2	5	4	1	1	3	1

(그림 4) 유전 알고리즘에서의 해 표현 방식

유전 알고리즘에서의 해는 (그림 4)와 같이 모든 열처리 대상 작업에 각 열처리로 번호를 할당한 것으로 나타낸다. 예를 들어 위 그림과 같은 상태라면 1번 열처리로에는 강과 1, 7, 8, 10 ... 번 순서대로 설비 용량이 허락하는 한 모두 장입하는 것이다. 열처리로의 작업이 끝나고 나면 다시 해의 설비 번호가 동일한 강과 중에서 순서대로 장입하여 작업한다.



(그림 5) 시스템 요약도

## 5. 연구의 현재 진행상황 및 향후 방향

현재 IoT 인프라를 기반으로 공정 데이터를 수집하여 소요시간 예측 모형 및 소요 에너지 예측 모형을 학습하였으며, 이를 이용한 공정 시뮬레이터가 동시에 개발 중에 있다. 시뮬레이터의 개발 이후에는 유전 알고리즘을 이용하여 열처리로의 작업 계획을 최적화할 수 있을 것이다.

또한 추후에 가열, 프레스, 커팅의 시간 및 에너지 비용 예측 모형을 추가적으로 학습하면 가열, 프레스, 커팅 공정 또한 최적 해를 탐색할 수 있게 되어 공정 전반에 걸친 작업 계획이 가능하게 될 것이다.

### Acknowledgement

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

### 참고문헌

[1] Zouhal, Lalla Meriem, and Thierry Denoeux. "An evidence-theoretic k-NN rule with parameter optimization." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews) 28.2 (1998): 263-271.

[2] Gardner, Matt W., and S. R. Dorling. "Artificial neural networks (the multilayer perceptron)—a review of applications in the atmospheric sciences." Atmospheric environment 32.14-15 (1998): 2627-2636.

[3] 최민철, "열처리 공정의 생산스케줄 수립과 적용에 관한 연구." 경영과학 29.2 (2012): 143-155.

[4] 이정미, 김세영, 류광렬. "열간 자유 단조공정의 에너지 효율화를 위한 모형 기반 작업 계획 최적화". 2018년 추계학술발표대회 논문집 25.2