

# 동선제작용 가스 용해공정 용해로-홀딩로 최적 조업 가이드스 기술 개발

홍중희, 송원준

포항산업과학연구원

ilyah@rist.re.kr, wjsong212@rist.re.kr

## Optimal Operation Guidance Technology for Gas Melting Process and Holding Furnaces for Copper Wire Production

Hong Jong Heui, Song Wonjoon

Research Institute of Industrial Science & Technology

### 요 약

본 논문은 동선 제작용 가스 용해 공정에 대한 MPC(Model Predictive Control) 모델 기반 조업 최적화 에너지 절감 기술 개발에 관한 연구이다. 동선 제작 공정은 용해 공정, 주조 공정, 압연 공정 및 권취 공정으로 순차적으로 구성되어 있으며, 최초 소재로 고체 형태인 동판 묶음이 가스 용해로에 투입되어 용해, 주조 및 2단 압연 후 제품으로 전선 중간재인 코일링된 동선이 권취 공정으로부터 최종 생산되게 된다. 동선 제작에 있어 최초 공정인 용해 공정은 공정 내 대부분의 에너지가 소모 되는 핵심 공정으로 주요 설비인 용해로와 홀딩로가 있으며, 본 논문에서는 그 용해로와 홀딩로 간의 최적의 조업 모델을 구축하고 구축된 모델을 기반으로 용해로 내 가스버너 공급 압력에 대한 가이드스 및 제어를 통하여 동선 제작용 용해 공정에 있어 최대의 에너지 절감 효과를 이루고자 하였다.

### I. 서 론

현재 전 세계적으로 직면하고 있는 기후 변화에 대응하기 위한 탄소 중립 실현이 대부분의 국가에서 중요한 과제로 떠오르고 있다.[1][2] 우리나라는 에너지 수입 의존도가 97%에 이르며, 국내 총 에너지 소비량 중 62.5%를 산업 부문이 차지하고 있다. 이러한 상황에서 산업계의 에너지 효율화는 불, 석유, 원자력 및 신재생 에너지 다음으로 제 5의 에너지라 불릴 만큼 필수적인 요소로 자리 잡아가고 있다. 특히, 최근의 ICT 기술의 급속한 발전과 함께 공장 에너지 관리 시스템(FEMS, Factory Energy Management System) 기술이 에너지 효율화를 위한 기반 기술로써 주목 받고 있다.[3]

FEMS 기술은 공장 내 다양한 센서 설치와 설비, 조업 정보 수신을 위한 유무선 네트워크 등의 최신 ICT 기술을 활용하여 공정 내 조업 단계에 따른 설비들의 조업 상태 및 에너지 소비 상태를 실시간으로, 동시성을 가진 정량화된 지표로써 모니터링할 수 있게 하고, 이를 엔지니어가 2차적으로 분석하고 목적에 맞게 가공함으로써 해당 공정의 조업에 최적화된 핵심 공정 제어 모델 및 에너지 최적 사용 모델을 구축할 수 있도록 한다. 이러한 모델은 다양한 에너지 절감 수단 도출의 기반이 됨과 동시에 생산 스케줄 수립 및 조업 최적화를 위한 공정 예측에 활용될 수 있다.[4]

이와 같은 산업계의 FEMS 기술 및 시스템의 도입은 조업 최적화를 기반으로 공정 에너지 비용 절감에 큰 효과를 줄 수 있지만, 현실적으로 국내 산업계의 대부분을 차지하고 있는 중소기업에서는 기존의 열악한 공정 설비 인프라 구축 상태와 함께 추가적인 FEMS 구축을 위한 대규모 비용의 투입으로 인한 설비 투자 비용 대비 경제적 효과를 만족하기 어려워 기술 도입에 소극적인 실정이다. 이러한 문제를 해결하고자 최근 정부의

적극적인 지원 하에 이러한 비용적 한계를 극복하기 위한 다양한 FEMS 구축 사업 연구, FEMS 구축 비용 대비 에너지 절감 효과가 극대화된 다양한 용이적정형의 FEMS 기술 개발 연구가 여러 연구자들에 의하여 진행되고 있으며, 특히, 중소기업 및 에너지다소비 공정에 그러한 노력들이 집중적으로 시도되고 있다.[5][6][7]

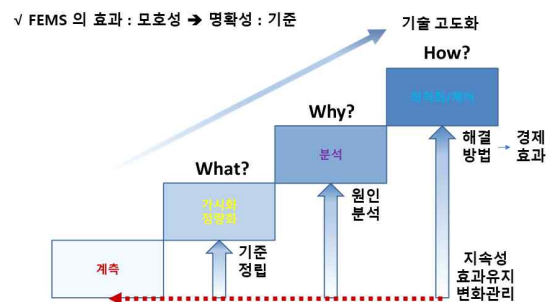


그림 1 공장 에너지 관리 시스템 기반의 공정 최적화 체계

본 논문에서는 이러한 정부지원 하의 FEMS 기반 에너지 절감 기술 개발 시도의 하나로 국내 대다수의 전선 업계에서 채용하고 있는 동선 제작용 가스 용해 공정(SCR, Southwire Continuous Rod system)에 대하여 원재료인 동판을 녹이는 용해로 내 가스버너의 에너지 사용량 최적화를 목적으로 후단의 연속 주조공정으로 동액의 최적 상태를 유지하며 공급하는 홀딩로의 동액 레벨을 일정량으로 유지할 수 있도록 용해로 내 가스버너로 공급되는 가스 배관의 공급압력을 실시간으로 가이드스하는 기술을 소개하고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1. 동선 제작용 가스 용해 공정

동선 제작용 가스 용해로는 국내외 유수의 전선 제작 메이커에서 대부분 사용하고 있는 범용적인 동선 제작 공정인 SCR 공정 내의 용해 공정 설비에 해당한다. 동선 제작을 위한 소재는 번들로 묶여진 동판이며 전용 크레인 설비에 의해 상부 장입구를 통하여 수직형 용해로에 투입된다. 이후 투입된 동판 주위로 3층으로 구성된 다수의 가스버너에 의하여 예열 및 용해가 이루어져 액체 상태인 동액이 용해로 후단 설비인 홀딩로로 공급되어 홀딩로 내에서 적정수준의 동액 레벨을 유지하게 된다.(그림 2)

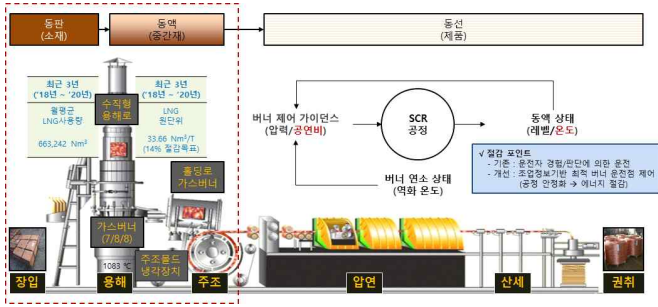


그림 2 동선 제작용 SCR 공정 및 설비

### 2.2. 데이터 수집 및 분석

동선 제작용 SCR 공정에 있어 용해 공정은 수직형 용해로 설비와 용해로에서 용해된 동액이 저장되는 홀딩로까지 포함하며, 홀딩로는 이후의 주조 공정 설비로 일정량의 동액을 공급하는 설비 구조를 가지고 있다. 동판 소재 장입 후 용해로와 홀딩로 연계 모델 구축을 위한 공정을 간단하게 살펴보면 용해로 상부로 투입된 동판은 용해로 내 3단으로 구성된 23개의 가스버너에 의하여 예열 및 용해되어 용해로 하부의 동액 통로를 통하여 홀딩로로 저장된다. 이때 홀딩로에 저장된 동액의 양은 홀딩로 레벨로 대표될 수 있다. 또한, 23개의 가스버너로 공급되는 가스의 압력은 배관 구조에 따라 6개의 컬러코드가 부여된 6개의 배관 공정 압력 제어로 특정될 수 있다. 즉, 용해로-홀딩로 모델은 1개의 홀딩로 레벨을 제어변수로, 23개의 가스버너로 공급되는 압력을 대체하는 6개의 공정 압력을 조작 변수로 할 수 있다. FEMS 시스템 내 조업 데이터로 상기 7개의 데이터를 추가하여 약 2개월 간 데이터를 수집하였다.(그림 3)

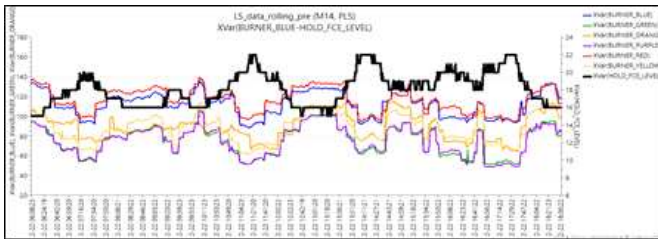


그림 3 홀딩로 레벨(검은색) & 공정압력 데이터 수집[12시간]

### 2.3. 용해로-홀딩로 MPC 모델

용해로-홀딩로 모델은 MPC(Model Predictive Control) 기반 모델링을 수행하였다. MPC 모델기반 제어는 동적인 프로세스 모델을 이용하여 제어변수의 미래를 예측하고 미래 예측값이 관리 기준에 최대한 근접하여 운전되도록 조작 변수를 결정하는 방법이다. 과거의 홀딩로 레벨 및 공정 압력 제어값을 활용하여 미래의 홀딩로 레벨이 홀딩로 레벨 관리 기준에 부합하도록 현재의 공정압력값을 설정한다.(그림 4)

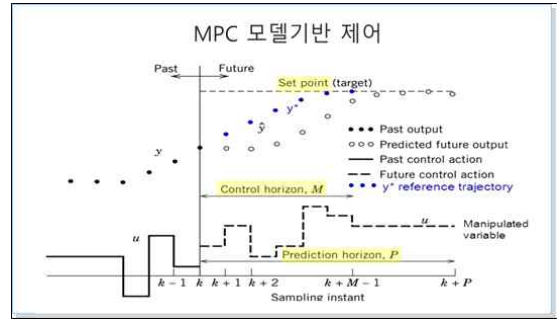


그림 4 용해로-홀딩로 MPC 모델기반 제어 개요

### 2.4. 모델 변수 도출 및 효과 검증

용해로-홀딩로 모델 개발 후 실증 공장에서 모델 적합성 확인을 위한 프로세스 모델 변수 도출을 위한 현장 실험을 수행하였다.(그림 5)



그림 5 용해로-홀딩로 모델 변수 도출 현장 시험

실증기업 동선제작용 SCR 용해 공정에 대하여 구축된 MPC 모델에 따라 운전자에게 공정 압력 가이드를 화면을 구성하여 제공하였다.(그림 6)

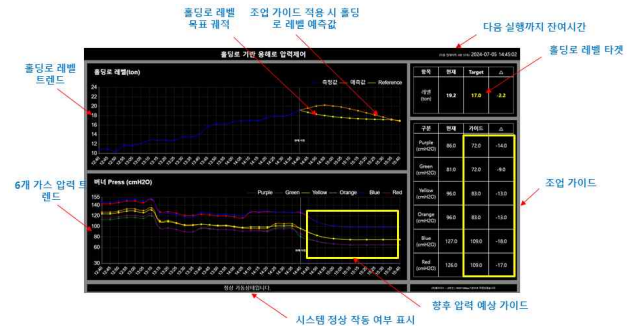


그림 6 SCR 용해공정 공정 압력 제어 가이드 화면

제공된 용해로-홀딩로 공정 압력 가이드스에 따라 운전자는 시험 운전을 실시하였으며 가이드스 제공 전 홀딩로 레벨 변동폭이 약 10톤이었으나 가이드스에 따른 운전의 경우 홀딩로 레벨의 변동폭은 약 7톤 정도로 MPC 기반 제어 가이드스 운전 효과로 홀딩로 레벨 제어 안정성이 30% 증가하였고 그에 따른 에너지 절감효과도 확인하였다.

## III. 결론

본 논문에서는 동선 제작용 가스 용해 공정에 대하여 용해로-홀딩로 MPC 모델기반 용해로 공정 압력 제어 가이드스 기술 개발 및 실증 효과를 제시하였다. 향후 용해로에 대한 공정압력 가이드스 제공이 아닌 용해로 제어기에 대하여 PLC를 활용한 직접적인 공정 압력 제어를 통하여 제어 효과의 극대화 및 그로 인한 에너지 절감을 최대화하고자 한다. 또한, 용해로에 투입되는 다양한 소재에 대한 MPC 모델 개발 등의 기술 고도화를 진행하여 동선제작용 SCR 용해공정 용해조업 최적화 및 에너지 절감 핵심 기술로 동종 업계에 널리 보급될 수 있도록 할 계획이다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구임. (20202020800290, 에너지 다소비 업종대상 FEMS 기술개발 및 실증)

## 참 고 문 헌

- [1] 허선경, " FEMS를 활용한 국내외 제조업 에너지 효율화 현황과 시사점,"KIET 산업경제분석, pp. 37-48, 2017.
- [2] 이성인, " 에너지 관리 시스템 산업 육성방안,"기본연구보고서 2013-18, 2013.
- [3] 김혜진, " 세계 스마트그리드 시장 생태계 분석,KDB Report, 2018.12.17.
- [4] 고석갑, " 전력 빅데이터 및 인공지능 기술동향,"TTA저널 195호, pp. 36-42, 2021.
- [5] 김동주, "공장에너지관리시스템 적용을 위한 식품 공정 에너지 소비패턴 분석," 열환경 공학 학회지 제16권 제2호, 2021.
- [6] 황현숙, "단조공정에서 설비 에너지 사용에 대한 웹기반 실시간 모니터링 시스템 개발," 한국 인터넷 정보학회 제19권 제1호, 2018.
- [7] 홍중희, "열간압연공정 에너지 사용 모델 기술개발," 한국 컴퓨터 정보학회 제28권 제1호, 2020.