

열간압연공정 에너지 사용 모델 기술개발

홍종희⁰, 이진희*, 신기훈**, 김성주*

⁰포항산업과학연구원,

*포항산업과학연구원,

**퍼즐데이터

e-mail: {ilyah, jinhee}@rist.re.kr⁰, {espriter, sjkim}@puzzledata.com**

Construction of Energy Model on Hot Rolling Process

Jongheui Hong⁰, Jinhee Lee*, Gihoon Shin**, Seongjoo Kim**

⁰Research institute of Industrial Science and Technology,

*Research institute of Industrial Science and Technology,

**R&D Department, Puzzle co.

● 요약 ●

본 논문에서는 열간압연 공정에 있어 효율적인 제품 생산 스케줄링에 필수적인 제품단위 에너지 사용 모델링 기법을 제안한다. 제안된 모델은 시스템 자원을 효율적 혹은 최소화하여 사용하여 실시간 처리량을 최대화함으로써 생산 예정 리스트로부터의 예측 작업 수행시간을 최소화할 수 있도록 한다. 제안된 기법은 다변량 선형 모델 방식으로 구성됨으로써 인공 지능 혹은 신경망 학습 방식에 비교하여 그 처리 속도가 빠르다는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 서두에서 대상 응용처인 철강 산업과 열간 압연 공정 및 에너지 스케줄링에 대하여 간략히 언급한 후 본문에서 모델링을 위한 사전 데이터 수집, 모델링 기법을 자세히 설명하고 결론에서 모델의 정확도 성능을 최신 신경망 기법과 비교하여 검증하였다.

키워드: 열간압연공정(Hot Rolling Process), 다변량 선형모델(Multi-variate Linear Regression model)

I. Introduction

철강 산업은 철광석, 고철 등을 용해하여 열연, 냉연, 강관, 철근, 봉형강 등의 제품을 생산하는 산업을 말하며 자본집약적 장치 산업이자 기초 소재를 공급하는 기간산업이다. 또한 건설, 자동차, 조선, 전력 등의 전후방 산업 연관 효과와 생산 유발 효과가 상당히 큰 국내 대표적인 산업이다.

국내 철강 산업은 2012년도 기준 전 산업 GDP의 3%, 제조업의 9.7%, 수출 6.6%, 수입 5.8%, 고용 2.7%를 차지하고 있으며 전 세계 조강 생산량의 4.3%로 세계 철강 산업에 있어 중요한 위치를 점하고 있다.

철강 산업은 앞서 언급한 바와 같이 국내 산업에 있어 상당한 비중을 차지하고 있는 만큼 그에 비례한 많은 문제점들 또한, 가지고 있다. 그 중 최대 이슈는 환경 문제인 온실가스 감축 문제이다. 온실가스 감축 문제에 대해서는 이미 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 많은 국가들이 발생량 감축을 위한 국가 간의 협정과 이를 준수하기 위한 각국의 목표 달성 수단 마련이 이루어지고 있으며 이를 실천하기 위하여 직간접적으로 온실 가스 배출을 저감시키기 위한 기술 개발

및 원천적으로 에너지 소비를 줄이고자 하는 에너지 저감 및 효율화 기술 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.[1][2]

본 논문에서 제안하고 있는 기술은 상기 언급한 온실 가스 배출 저감을 이루기 위한 간접적인 에너지 사용 효율화 기술 개발에 해당된다. 보다 구체적으로는 열간 압연 공정에 있어 압연 소재 생산단위 집합체인 롤 단위(Roll Unit)의 일별 구성에 있어 적절한 생산배치를 통한 예측 가능한 효율화를 이루고자 하였다. 즉, 생산 예정 항목으로부터 전체 생산에 사용되는 에너지를 예측하고 이를 생산 시간 단위로 에너지 소비와 단가 기준에 따라 적절히 배치함으로써 공급된 전력 에너지를 사용함에 있어 보다 효율적으로 에너지 자원을 분배하여 공장 단위 에너지 사용을 정량화하고 생산 에너지 비용을 절감할 수 있도록 하였다.

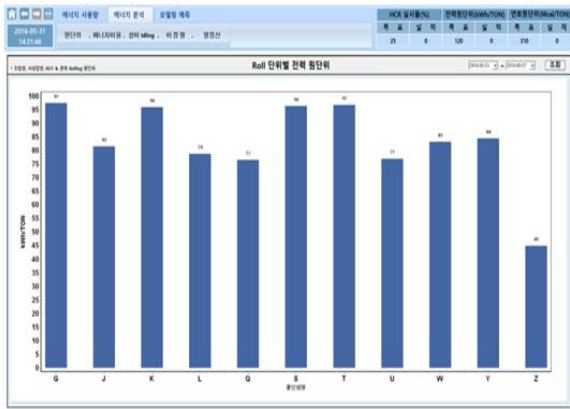


Fig. 1. 생산제품별 에너지 사용량 실측치

II. 본론

1. 열간 압연 공정 및 주요 설비

열간 압연은 압연 가공에서 재료의 재결정 온도(1200℃) 이상에서 작업을 하는 것을 말하며, 생산 제품에 따라 차이가 있으나 보편적으로 재가열, 조압연, 사상 압연, 냉각, 권취 및 절단, 정정 및 출하의 과정을 거쳐 생산을 완료하는 연속 공정이다.

각각의 공정에 있어 주요 설비는 재가열 공정의 가열로(Reheating furnace), 조압연 공정의 조압연기(Rough mill), 사상압연 공정의 사상압연기(Finishing mill), 냉각 공정의 냉각 테이블(Run-out table) 및 권취 공정의 권취기(Down coiler) 등이 있다.

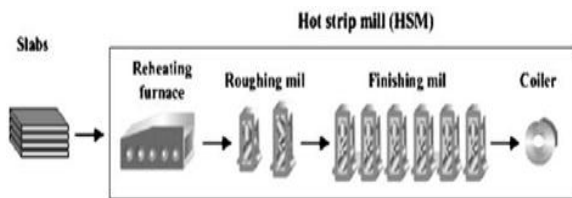


Fig. 2. 열간 압연 공정 및 주요 설비

2. 공정 데이터 수집 및 특징점 선정

열간 압연 공정에 있어 최종 제품 생산을 위하여 주요 공정 설비에 대한 에너지 계측 인프라를 구축하고 이에 대한 정확성을 검증하였다. 또한, 주요 설비에 대한 조업 데이터 및 공정 내 제품 흐름 데이터를 공정 제어 시스템으로부터 획득하여 사용된 에너지 데이터와 조업 데이터를 연동하여 분석할 수 있도록 하였다.

생산 제품 단위 에너지 사용 모델링을 위하여 구축된 계측 인프라 및 조업 정보로부터 제품 종류별 에너지 모델에 관련된 특징점 후보군을 선택하였고 수집 시스템과 연계된 데이터베이스를 구축하고 장기간 데이터를 수집하였다. 이후 분석을 위하여 수집, 저장된 데이터에 대하여 이상치 제거를 수행한 후 제품 생산을 위하여 사용된 에너지

데이터와 각 특징점 후보군 간의 상관 분석 및 담당자 인터뷰를 통하여 대표 특징점을 결정하였다.

	END_DT	C량	소재 중량	소재 두께	제품 두께	연연속	히터	전력 사용량
END_DT	1	0.018365	0.079	0.0408	0.0384	0.0391	-0.051	-0.004
C량	0.018365	1	-0.059	0.3536	-0.03	-0.019	-0.068	0.1401
소재 중량	0.078982	-0.05942	1	0.605	0.1748	0.0816	-0.632	0.2311
소재 두께	0.040776	0.353629	0.605	1	-0.019	0.1607	-0.702	0.1222
제품 두께	0.038441	-0.03036	0.1748	-0.019	1	-0.169	-0.194	-0.561
연연속	0.039077	-0.01871	0.0816	0.1607	-0.169	1	-0.141	0.2198
히터	-0.051381	-0.06758	-0.632	-0.702	-0.194	-0.141	1	0.2103
전력 사용량	상관도	-0.004399	0.140085	0.2311	0.1222	-0.561	0.2198	0.2103
순위		5	2	6	1	3	4	

Fig. 3. 제품단위 전력사용량기준 상관분석 결과

3. 생산제품별 에너지 모델링

상관분석 등을 통하여 선정된 대표 특징점에 대하여 공정 중 변경될 수 있는 요소인 히터 사용 여부에 대하여 선택적 요소를 적용하고 제품 관리 번호를 특징점으로 추가하였으며 모델 수립 후 모델 예측 성능 평가를 위하여 통계적 결정 계수인 r2 값을 사용하고 별도의 정확도를 다음과 같이 정의하였다.

$$Accuracy = average \left(1 - \frac{|\tilde{y} - y|}{y} \right),$$

y = 측정치, \tilde{y} = 예측치

수식 1. 모델 정확도 지수

에너지 예측 모델은 수집 데이터 관측 및 분석을 통하여 종속 인자 y 를 에너지 사용량으로 하고 대표 특징점을 모델 인자 x 로 하는 다인자 선형 회귀 모델을 사용하였다.

$$y_t = w_1x_{1t} + w_2x_{2t} + w_3x_{3t} + w_4x_{4t} + e_t$$

수식 2. 다인자 선형 에너지 예측모델

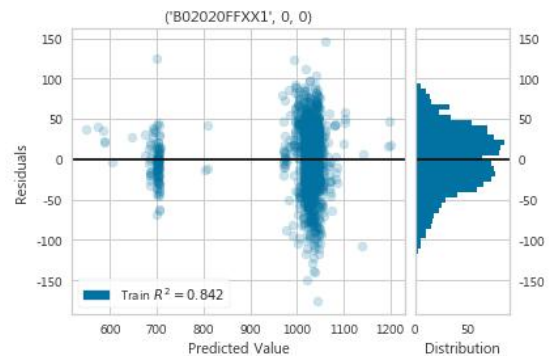


Fig. 4. 생산 제품 데이터 및 통계적 특징 예

no	그룹	성능평가		평균 전력 사용량	coef				상수항
		정확도	r2_value		C형	소재중량	소재두께	재품두께	
0	('B02020FFXX', 0, 0)	0.9664	0.8415	1000.3898	-0.0319	0.0375	-0.0031	-0.2138	1.07865E-07
1	('B02020FFXX', 0, 1)	0.9559	0.6895	1331.8438	0.1164	0.0533	0.0139	-0.4189	-2.18884E-07
2	('B03020AAXX', 0, 0)	0.9826	0.7069	1128.1484	-2.6313	0.0594	1.2691	5.6615	5.07642E-06
3	('B02020HFGV', 0, 0)	0.9752	0.9356	907.6154	3.7744	0.0350	0.0043	-0.1680	-0.000254969
4	('B02035RFX', 0, 0)	0.9639	0.7627	778.0660	1.1912	0.0327	0.0050	-0.0283	1.31736E-05
5	('P03030FFXX', 0, 0)	0.9726	0.8110	1211.3242	-0.0047	0.0438	-10.0791	-5.3352	-4.06414E-05
6	('P47075ASEV', 0, 0)	0.9836	0.9270	989.1909	-0.1059	0.0543	-0.0050	-0.1342	-7.49682E-07
7	('PC0040LSCR', 0, 1)	0.9868	0.9917	1418.8949	0.3909	0.0722	0.0061	-0.6074	1.14473E-06
8	('PC0040LSCR', 0, 1)	0.9738	0.8236	1416.1891	-0.2012	0.0643	-0.0202	-2.5869	-6.63302E-05
9	('PD0040LSEC', 0, 1)	0.9765	0.9706	1241.9579	0.0937	0.0699	-0.0092	-0.1965	1.9036E-07

Fig. 5. 생산 제품 에너지 사용 모델 Coefficient 일례

열간 압연 공정에 있어 최종 생산 제품의 에너지 사용 모델의 예측 정확도는 수식 1의 정확도 기준으로 평가한 결과 평균 96.29%의 성능을 보였다. 제안된 다변량 선형 모델의 타당성을 검증하기 위하여 비교 모델로써 최신 신경망 모델인 XGBoost (Extreme Gradient Boost) 모델을 사용하여 그 성능을 비교 평가하였다. 그 결과 정확도 평균이 XGBoost 기법의 성능은 97.04%의 성능을 보여 제안된 다변량 선형 모델과 유사한 성능을 보였다.

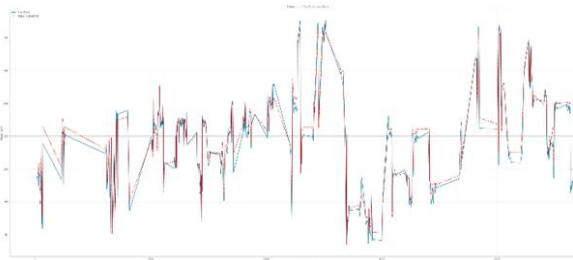


Fig. 6. 생산 에너지 예측 vs. 실적 비교 실험 데이터

III. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서 제안된 열간 압연 생산 제품에 있어 에너지 모델링 기법은 최초 주문 시 발생하는 생산 예정 항목을 입력으로, 이전 생산 실적 기반으로 본 논문 기술로 수립된 제품 모델을 활용하여 열간 압연 제품 생산에 필요한 에너지를 예측할 수 있게 된다.

이러한 제품 생산 에너지 예측 및 이를 기반으로 하는 생산 스케줄링은 대규모 철강 산업에 있어 에너지 관점에서 상당히 중요한 문제이다. 본 논문에서 제안된 열간 압연 제품에 대한 에너지 사용 모델 기법은 향후 소비자로부터의 주문 생산에 대하여 소비되는 에너지를 미리 예측하여 스케줄링에 적용함으로써 에너지 사용 효율을 높이고 적재적소에 공급될 수 있도록 할 수 있으며 이는 에너지 사용량을 저감함으로써 친환경적인 측면에서도 상당한 효과를 가져올 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 2019년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지

기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20172010000220, AI기반 압연공정 시뮬레이터를 이용한 에너지 최적화 운용 기술개발).

REFERENCES

- [1] Kuniharu ITO, "Production Planning and Scheduling technology for steel manufacturing process", NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL TECHNICAL REPORT, no. 121, March 2019.
- [2] Li Chen, "Operation optimization in the hot-rolling production process", I&EC, vol.53,pp. 11393-11410, Jun, 2014.