

전로 취련제어를 위한 신경회로망 및 사례기반추론의 통합 접근 방법

김 종한*, 박정준**, 정성원**, 박진우**
(*포항산업과학연구원, **서울대학교)

Hybrid Case Based Reasoning and Neural Networks Approach for Blowing Control of Basic Oxygen Furnace

Kim, J. H.*, Park, J. J.**, Jeong, S.W**, Park, J. W.**
(*RIST, **Seoul National University)

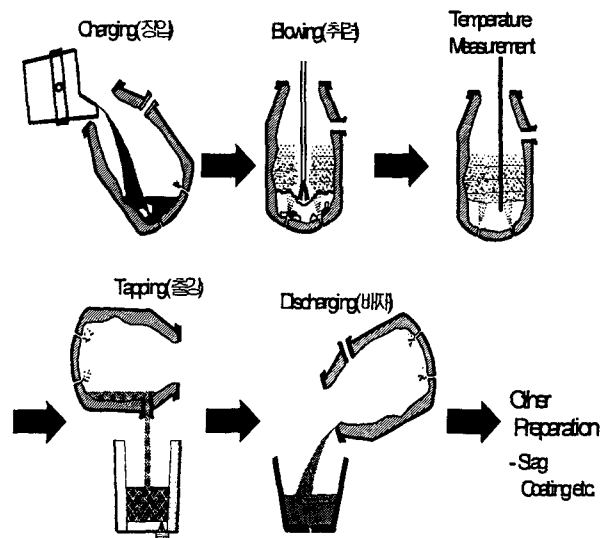
Abstract

A hybrid artificial intelligence approach based on combining case based reasoning and neural networks is presented. The approach is designed to allow for solving blowing control of BOF(basic oxygen furnace), example of which lie at the core of steelmaking process control systems application in the steel industry . According to this hybrid approach, the system, when faced with a new problem, first retrieves similar cases and neural network is used to solve the problem. Experimental Results indicate that combining case based reasoning and neural network offers an efficient approach to solving control and prediction problem

1. 서론

최근까지 철강업계에서는 공정 전반에 걸친 기술 발전을 위해 많은 노력을 있어왔다. 생산비의 절감, 부가가치 높은 신제품 개발 그리고 생산규모나 생산성 증대 등의 요구를 충족시키기 위해 많은 투자가 이루어지고 있는 상황이다. 또한, 더욱 치열해지는 경쟁환경과 소규모의 통상적 주문 규모로 인해 생산비 절감의 필요성은 더욱 더 커지고 있는 현실이다.

철강산업에서 고객이 요구하는 제품의 1차적인 성분을 결정하는 제강프로세스는 크게 제강, 정련, 연주 3개의 세부공정으로 이루어져 있으며, 제강공정은 예비처리, 취련공정, 출강공정으로 이루어진다. 취련공정은 후공정의 요구에 따른 온도조건 및 고객의 요구에 따른 제품의 화학적인 성분[C, P, S 등]을 일차적으로 제어하는 공정이며, 취련작업의 세부적인 작업순서는 <그림 1>과 같다.

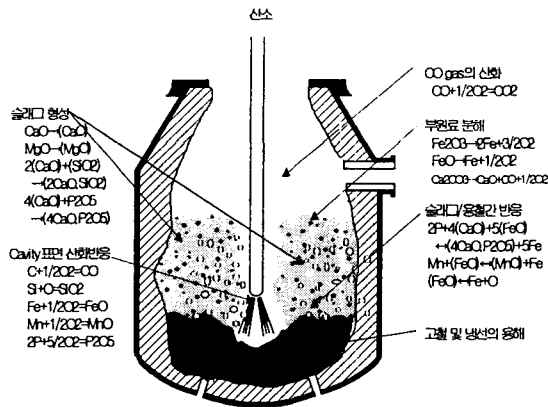


<그림 1> 취련~출강 작업 흐름도

그리고 전로의 취련과정에서는 고품질의 철강제품을 만들기 위하여 용융상태의 쇳물에 함유되어 있는 탄소, 인, 망간 등의 물질들을 산화반응을 통하여 특정한 최적 수준으로 낮춘다. 어떤 의미에서는 취련과정은 거대한 화학적 반응 과정으로 생각할 수 있다. 취련제어 과정이 성공적으로 이루어지기 위해서는 쇳물의 온도와 불순물의 수준을 적절하게 조정하는 것이 필수적이다 (<그림 2> 참조).

전로 중점온도의 적중 제어의 미흡, 물류흐름문제 등으로 인한 온도 조정 및 성분조절을 위한 부가적인 작업발생으로 인하여 품질 및 생산성저하, 원가 상승의 원인이 되므로 전로의 취련제어는 안정취련의 달성과 취련종료시의 온도, 성분의 적중을 목적으

로 발전해왔다.



<그림 2> 제강 취련 반응도

즉, 전로공정에 있어서 강(steel)의 질을 결정하는 탄소(C), 인(P), 망간(Mn) 등의 주요 용선성분들의 함량 및 용강온도를 작업에서 원하는 값으로 제어하기 위해서는 취련중 산소유량(oxygen flow rate), 랜스높이(lance height), 하취유량(bottom flow rate) 및 냉각재량(coolant) 등 조작변수(manipulated variable) 들을 적절히 제어하여야 한다.

전로취련을 효율적으로 실시하기 위해서는 취련 상황을 예측 또는 판단하는 기능이 필요하다. 제어를 위해 열수지, 물질수지를 이용한 수식모형과 작업자가 수행하는 전Charge 비교 열배합기준을 활용한 결과를 병행하여 활용할 수 있다. 수식 모형의 경우는 동일강종을 계속적으로 작업하는 경우 정확도가 매우 높지만, 수주환경의 소 Lot화, 강종의 다양화로 인해 수식모형의 정도가 낮아, 열배합기준에 의거하여 취련 및 출강작업을 수행하고 있다. 전로의 최적 작업제어를 도출하기 위해서는 투입원단위의 비용, 열수지, 물질수지 등을 동시에 고려하여야 하므로 수작업으로 최적의 해를 구하는 것이 용이하지 않다.

따라서 취련 제어 작업자들은 자신의 지식과 경험을 토대로 적당히 알아서 공정을 조절하였다. 그러나 실제 취련에서는 작업자가 가장 유의하고 있는 사항이며 경험적인 예측, 판단에 기초를 두고 작업패턴을 결정, 수정하여 왔으므로 취련상황과 모델계산 결과 등의 정보와 설비의 제어와의 사이에서 작업자가 담당하고 있는 기능을 시스템에 탑재할 필요가 있다.

그리고 제강 취련제어 문제는 다음과 같은 몇 가지의 특징을 지니고 있다.

- (1) 야금학적 접근을 한 기존 수식 모델의 경우, 계산식의 도출에 많은 제약으로 인해 예측값과 실제값 사이에 다양한 오차가 있다.
- (2) 유사한 작업조건하에서 반복적으로 수행되며, 실시간으로 진행되는 공정의 특성상 모델의 해를 짧은 시간 안에 구해야 한다.
- (3) 예측시 특정 인자들의 값에 따라 예측 값이 영향을 받으며, 또한 유사한 작업 환경에서 반복적으로 작업하는 경우에도, 실제 결과 값은 측정 불가능한 다양한 영향인자로 인해 상이한 결과 값을 나타낸다.

본 연구에서는 전로취련제어 문제 해결을 위해 컴퓨터의 발달과 함께 산업계 및 학계에서의 활발하게 화되는 AI의 두 가지 방법인 Neural Network와 Case based Reasoning의 장점을 조합한 새로운 접근방법을 제시하고자 한다.

그리고 본 연구의 구성은 2장에서는 취련제어 관련 기존연구 및 본 연구에서 제시하는 시스템 구조를 제시하고, 3장에서 사례연구인 취련제어문제에 대한 설명 및 모형 평가에 대해 설명하고, 4장에서 결론을 제시하고자 한다.

2. 관련 연구 및 시스템 구조

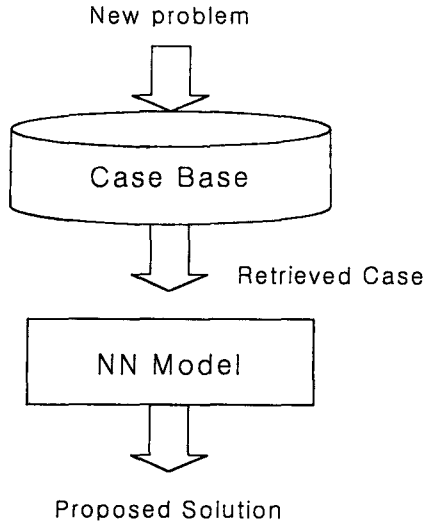
제강공정의 전로 취련제어 문제는 종점의 쇠물 온도 및 성분제어를 위해 취련중 송산량, 부원료, 합금철을 예측하고 제어하는 것으로 제품의 품질을 1차 결정하는 매우 중요한 문제이다. 이러한 문제 해결을 위한 기존 연구는 크게 금속학적이론에 근거한 수리적인 접근 방법이 대부분이다. Shivathaya와 Fang[7]은 steelmaking에서의 hybrid material design and evaluation system을 제시하였으며, 이 방법론은 codification scheme, paper models, non-interview technique을 이용하여 material design 지식을 효과적으로 추출하였다. Togobitskaya와 2인[8]은 blast-furnace optimization 문제에 있어서의 정보와 수리적 프로그램의 지원에 대한 연구를 하였다. Saxen와 Sillanpaa[9]는 continuous steel casting에서의 Decision support model에 대해 제안하였다. 이 모델은 casting 공정 중 온도를 예측하는 모델로 의사결정을 지원한다. Millman과 Thornton[10]은 새로운 Steelmaking 기술들을 소개하였는데 그 중 앞으로 새로운 프로세스 기술 중에 하나로 Engineering monitoring and expert system과 Information technology를 강조하고 있다.

본 연구에서 제시하는 접근 방법은 신경회로망과 사례기반추론을 통합한 방법으로 문제가 어느정도 반복적으로 발생하는 경우에는 사례기반추론이 매우 효과적이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 유사한 사례가 다양한 형태의 결과를 도출하는 경우, 직접하나의 사례를 활용하여 해를 도출하는데 어려움이 있다. 따라서 복수개의 유사사례가 다양한 값을 가지는 경우, 과거사례를 효과적으로 학습하고 적용하는 방법인 신경회로망을 활용하는 것이 의미 있다.

신경회로망과 사례기반추론을 통합하는 접근방법의 기본 개념은 <그림 3>과 같다.

이 접근방법에서는 새로운 문제에 직면하면 첫째 우선적으로 유사한 과거사례를 추출한 후, 이를 활용하여 신경회로망 모형을 적용하여 학습하고 새로운 해를 도출한다. 이 방법론은 새로운 해를 찾는 과정이 새로운 문제와 유사성이 큰 사례를 활용하므로 해의 정도를 제고하고, 또한 신경회로망의 경유 Training set의 정도에 매우 의존적이므로 사례기반추론과 통합된 방법으로 이를 극복할 수 있으며, 사례기반추론의 Incremental Learning의 장점 역시 과거 유사사례의 추출과정에서 활용되므로 복잡한 학습이 가능하다. 이러한 방법은 향후 복수개의 유사

사례가 있고 반복적으로 사용되는 제어, 예측 분야에서 매우 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 3> CBR 및 NN의 통합 접근 방법

사례기반추론과 신경회로망 모델을 통합한 인공지능 모형의 설계시 고려해야하는 2가지 설계 사항은 유사사례를 추출하는 방법과 신경회로망 모형의 설계를 위한 방안이다. 신경회로망 모형의 설계는 유사사례가 다양하게 존재하는 경우를 가정하여 인자간의 선형성과 비선형성을 반영할 수 있는 모형인, 단순모형과 복잡모형을 설계한 후, 모형의 성능을 비교 평가한 후, 우수한 모형을 선정하여 제어, 예측 문제를 해결하고자 한다.

유사성의 평가

수치적인 특성을 갖는 문제에서 사례기반추론의 가장 일반적인 유사사례 추출 방법론은 NN(Nearest Neighbor) 알고리즘이다.

$$Sim(P, C) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i * sim(P_i, C_i)}{n}$$

여기서 P는 현재문제, C는 과거사례, n은 비교항목의 수

본 연구에서는 실험계획결과, 인자간의 상호관계 정도를 이용한 가중치를 부여하여 크기순으로 유사사례를 추출하며, 인자의 크기에 대한 영향도를 고려하여 정규화한 후 유사성을 측정한다.

신경회로망모형은 일반적인 인공신경망과 유사하다. 입력층으로는 출력값 예측을 위해 상관분석을 통하여 추출된 주요 요인들에 대한 값이며, 제어를 위한 예측 값이 된다. 본 연구에서 제시한 신경회로망 구조는 여기서 실험을 위해 사용한 모형의 복잡도에 따라 3가지(Complex, Medium, Simple)로 나누어지며, 일반적으로 모형의 복잡도가 크면 클수록 학습 능력은 커지지만 Overfitting의 위험도 더불어 커진다는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 송산량 예측을 위하여 적절한 인공신경모형을 선정하기 위하

여 자료의 유사성에 의해 추출된 실험데이터들에 대하여 이들 3가지 모형을 적용 비교하여 예측정도가 우수한 방법론을 선정하였다.

3. 전로 취련 종점제어

1) 데이터 수집 및 주요 인자 추출

본 연구에서는 우선 실제 현장 데이터의 주요 인자를 추출하였다. 수집된 데이터는 각 특성요인분석, 실제 전로 취련 과정에 참여하는 전문가의 의견 및 기존의 수식 모형에서 사용 여부 등을 기반으로 취련제어 단계별 주요 인자들을 파악하였다.

2) 인공신경망 모형 설계

취련과정에서는 고품질의 철강제품을 만들기 위하여 용융상태의 철에 함유되어 있는 탄소, 인, 망간 등의 불순 물질들을 산화반응을 통하여 특정한 최적 수준으로 낮춘다. 어떤 의미에서는 취련은 거대한 화학적 반응 장치로 생각할 수 있다. 취련 과정이 성공적으로 이루어지기 위해서는 선철의 온도와 불순물의 수준을 적절하게 조정하는 것이 필수적이다. 이러한 목적을 위해서 취련에서의 동적 반응을 설명하는 많은 연구들이 이루어져 왔다. 본 연구에서는 기존의 수학적 접근 방법의 대안으로 인공신경망 기법에 기반한 BOF 공정 조정을 위한 새로운 동적 모델을 제시하고자 한다.

본 연구에서 채택한 인공 신경망에서는 입력층으로 앞서의 상관분석을 통하여 주요요인으로 추출된 독립변수들을, 출력층으로 예측하고자 하는 독립변수인 송산량 또는 냉각제로 하고, 은닉층은 모형의 복잡도에 따라 1 ~ 2개를 사용하였다. 학습단계에서는 역전파방법(Back Propagation)을 사용하였다. 예측 변수에 따라 적용한 세부적 인공신경망 모델은 다음과 같다.

(1) 송산량 예측을 위한 일차 인공 신경 모형

독립변수예측 위한 인공 신경 모형은 일반적인 인공신경망과 유사하다. 입력층으로는 독립변수 예측을 위해 상관분석을 통하여 추출된 주요 요인들에 대한 값이며, 출력데이터는 독립변수 값이 된다. 여기서 실험을 위해 사용한 인공 신경 모형은 모형의 복잡도에 따라 3가지(Complex, Medium, Simple)로 나누었다. 일반적으로 모형의 복잡도가 크면 클수록 학습 능력은 커지지만 Overfitting의 위험도 더불어 커진다는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 송산량 예측을 위하여 적절한 인공신경모형을 선정하기 위하여 실험 계획에 따라 나뉘어진 모든 실험데이터들에 대하여 이들 3가지 모형을 적용하였다.

(2) 냉각제 예측을 위한 인공 신경 모형

냉각제 투입의 경우 0/1 종속변수를 이용하여 투입 여부를 판별하는 신경회로망 모형을 개발하고 투입의 경우 위화 같은 3단계 신경회로망 구조를 활용하여 예측하는 2단계 신경회로망 구조를 개발하였다.

가. 판별분석을 위한 인공 신경 모형

-입력층 : 상관분석을 통하여 추출된 주요 요인

- 출력층 : 냉각제 투입 여부 (1 / 0)
- 은닉층 : 2개
- 각각의 은닉층에 은닉노드 20개씩
- 은닉 노드에서의 transfer function은 tansigmoid (-1과 1사이의 값으로 변환 시키는 sigmoid 함수)

나. 냉각제 투입시. 투입량 예측 인공 신경 모형

- 입력층 : 상관분석을 통하여 추출된 주요 요인
- 출력층 : 냉각제 투입량
- 은닉층 : 2개
- 각각의 은닉층에 은닉노드 20개씩
- 은닉 노드에서의 transfer function은 tansigmoid (-1과 1사이의 값으로 변환 시키는 sigmoid 함수)

3) 모형 평가

본 절에서는 앞서 언급한 인공신경망 및 사례기반 추론 모형이 송산량 및 냉각제의 투입량을 예측하는데 있어 얼마나 효과적인지 알아보기 위하여 실제 데이터를 바탕으로 평가 분석을 한다. 그리고 본 실험을 위해 2차례에 걸쳐 실적 데이터를 수집하였으며, 개발된 모형을 평가하기 위하여 4854개의 데이터를 기반으로 평가 및 분석 작업을 수행하였다. 본 실험을 위해 고려되어진 인자들은 독립변수간에 약간의 차이는 존재하지만 약 20개 내외이다.

모든 실험데이터의 유사사례를 추출하는데 있어 유사성을 평가하는데 공통적으로 강중, 작업조건 분류, 노호라는 3가지 요인들을 가지고 있다. 독립변수(송산량, 냉각제 등)를 예측하는데 있어 이들 요인들에 따른 모형 성능의 차이가 있는지에 대해서도 실험을 하기 위하여 유사사례 추출시 실험데이터별로 추가로 실험데이터들을 비교 분석하였다. 즉, 강중, GRNO, 노호에 따라 새로운 데이터를 생성한 후, 1) 전체 데이터, 2) 강중에 따라 분류된 데이터, 3) GRNO에 따라 분류된 데이터, 4) 노호에 따라 분류된 데이터, 5) 강중+GRNO에 따라 분류된 데이터, 6) 노호+GRNO에 따라 분류된 데이터 7) 노호+강조에 따라 분류된 데이터 총 7개이다. 이들 실험데이터에 대하여 적용한 인공지능 모형은 1) NN-Complex, 2) NN-Medium, 3) NN-Simple, 4) CBR이다. 모형의 성과 측정을 위해 사용되어진 것은 실제값과 예측값의 절대오차의 평균이다.

대부분 독립변수의 예측에서 앞서 설명한 바와 같이 분류된 7개의 실험데이터들로부터 인공지능모형을 적용하였을 때 실제값과 예측값의 절대오차의 평균은 <표 1>과 같다. 이를 살펴보게 되면 가장 좋은 결과를 나타내는 것은 CBR+Complex_NN 모형을 사용하여 예측하는 경우이다.

<표 1> 실험결과 (오차 절대값 평균)

구분	Complex -NN	Medium - NN	Simple -NN
NN	25.6	25.2	22.1
CBR+NN	19.3	20.6	19.7

4. 결론

본 연구에서는 전로취련제어 문제 해결을 위해 인공지능모형과 사례기반추론의 통합 방법에 근거한 이

형의 인공지능 방법론을 개발하였으며, 본 연구에서 제시한 통합방법론은, 첫째단계에서 주어진 새로운 문제와 가장 유사한 사례들을 추출하고, 둘째 단계에서 추출된 유사사례들을 활용하여 신경회로망 방법으로 새로운 해를 도출하는 것이다. 그리고 개발된 모형의 종점제어 송산량 예측력은 기존모형의 예측 오차를 약 50% 정도 개선한 것으로 나타났다.

또한 이 방법론은 공정제어를 위한 제어 및 예측 등의 핵심문제 해결에 확대 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] W.S. McCulloch and W. Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", Bulletin of Mathematical Biophysics 5, 115-33, 1943
- [2] F. Rosenbaltt, "Two theorems of statistical separability in the perceptron", In Mechanization of Thought Processes, pp.421-456, Symposium held at the National Physical Laboratory, HM Stationary Office, London, 1959
- [3] M.L. Minsky, and S.A. Papert, "Perceptrons", Cambridge, MA: The MIT Press, 1st ed. 1969, expanded edition 1988
- [4] D. Rumelhart, and J. McClelland, "Parallel distributed processing" vol.1, MIT Press, 1986
- [5] J. Kolodner, "Case-Based Reasoning" Morgan Kaufmann, San Mateo, CA. 1983
- [6] J. Carbonell, "Learning by analogy: formulating and generalizing plans from past experience" Tioga Publishing Company, Cambridge, MA. 1983
- [7] Shivathaya SS, Fang XD, "A hybrid material design and evaluation system for steelmaking" ISIJ INT 36 (4): 424-432 1996
- [8] Togobitskaya DN, Khamkhot'ko AF, Bel'kova AI, "Informational, algorithmic, and programming support for solving blast-furnace optimization problems," METALLURGIST+ 43 (5-6): 270-272 MAY-JUN 1999
- [9] Saxen H, Sillanpaa M, "A Model for Decision-Support in Continuous Steel Casting", MODEL SIMUL MATER SC 2 (1): 79-98 Jan. 1994
- [10] Millman MS, Thornton G, "New technologies in steelmaking", REV METALL-PARIS 95 (4): 477-486 APR 1998