

선택적 환원 촉매 및 장비 고장을 예방하기 위한 NOx 가상센서 개발

백근태^{*,1} · 김민혁^{*,2} · 박완기^{**,3} · 소홍윤^{*,†}

^{*}한양대학교 융합기계공학과, ^{**}한국전자통신연구원, [†]한양대학교 나노과학기술연구소

¹gllsg2062@naver.com, ²rlaalsgur5764@naver.com, ³wkpark@etri.re.kr, [†]hyso@hanyang.ac.kr

Development of NOx virtual sensor to prevent SCR catalyst equipment failure

Keuntae Baek ^{*,1}, Minhyeok Kim ^{*,2}, Wanki Park ^{**,3}, Hongyun So ^{*,†}

^{*}Department of Mechanical Engineering, Hanyang University

^{**}Electronics and Telecommunications Research Institute

[†]Institute of Nano Science and Technology, Hanyang University

요 약

화력발전소, 자동차, 선박 등과 같이 화석연료를 사용하는 다양한 산업에서는 탄소중립을 실현하기 위해 탄소배출 저감이 가능한 선택적 환원 촉매를 활용한다. 선택적 환원 촉매의 정상적인 구동을 위해 촉매의 양단에 NOx 계측용 센서를 사용하며 해당 계측기가 제 기능을 잃는 경우 전체 설비의 고장으로 이어질 수 있다. 본 논문은 선택적 환원 촉매 시뮬레이션을 통한 조건별 성능 분석과 해당 데이터를 딥러닝 회귀모델에 적용하여 NOx 가상센서를 개발하는 방법을 제시하였다. 본 시스템은 설비 운용 중 NOx 계측기의 문제가 발생하였을 때 대체제로 활용되어 설비의 고장을 예방할 수 있다

I. 서 론

지구 온난화로 인한 이상기후가 급격히 증가함에 따라 여러 국가, 산업 및 연구소에서 탄소중립을 달성하고자 하는 노력이 이루어지고 있다. 특히, 화력발전소, 디젤 자동차, 대형 선박과 같이 화석연료로 운용되는 설비는 장비 운용 시 다량의 탄소가 배출되므로 선택적 환원 촉매를 활용한 배기가스 저감이 탄소중립 달성을 위해 필수적이다[1-3]. 선택적 환원 촉매는 설비 후단 부에서 배출되는 질소산화물과 요소수의 암모니아를 반응시켜 물과 질소로 전환시키는 원리로 배출가스를 저감한다. 이때 요소수의 분사량이 적절하지 않은 경우, 촉매 반응 효율이 감소해 배기가스 저감율이 낮아진다. 특히, 요소수의 분사량이 많은 경우 촉매 내부에 침전물이 발생하여 장비 고장이 나타날 수 있다. 이와 같은 문제를 방지하고 촉매 효율을 최적화하기 위해서 촉매 전, 후단 부에 설치된 NOx 계측용 센서로 측정된 데이터를 활용해 요소수 분사율을 조절한다. 하지만, 하나의 계측기가 제 기능을 잃는 경우 적절한 요소수 분사량을 도출하기 어렵고 이는 배기가스 저감 효율감소뿐만 아니라 전체적인 장비 고장을 초래할 수 있다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 조건별 선택적 환원 촉매의 동작 특성을 분석하고 해당 데이터와 딥러닝 알고리즘을 활용하여 NOx 가상센서를 구현하였다.

II. 본론

실제 실험으로 구현이 어려운 경우에도 적용이 가능하고 다양한 조건별 결과를 획득할 수 있는 시뮬레이션을 활용해 선택적 환원 촉매의 구동 특성을 분석하였다. 열유동해석과 화학반응 동시 구현에 적합한 해석 프로그램인 COMSOL Multiphysics 5.6을 활용하여 선택적 환원 촉매 (Selective Catalytic Reduction)의 유동해석을 진행하였다. 다양한 환경조건에서 촉매의 반응 정도를 확인하기 위해 촉매 입구 부의 물, 질소, 산소, 일산화질소, 이산화질소, 암모니아 5 가지의 기체 조성, 기체 온도 등의 경계조건을 변수로 설정하였다. Fig. 1은 해석에 사용된 선택적 환원 촉매의 해석 모델의 개략도를 나타낸다. 입구부, 출구부, 촉매 채널,

지지벽으로 구성되어 있으며 배기가스가 촉매를 거치며 감소하는 모습을 확인할 수 있다.

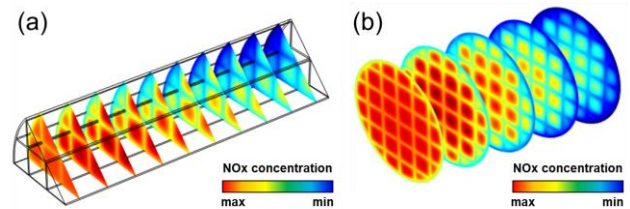


Figure 1. 선택적 환원 촉매 해석 모델의 개략도

모델을 학습하기 위해 경계조건별로 총 919 개의 데이터셋을 획득하였으며 이 중 training dataset 으로 643 개, validation dataset 으로 276 개를 활용하였고 추가적인 276 개의 데이터셋을 구축하여 test dataset 으로 활용하였다. 딥러닝 모델로 4 개의 dense layer 와 과적합을 방지하기 위한 Dropout layer 를 통해 딥러닝 모델을 구성하였다.

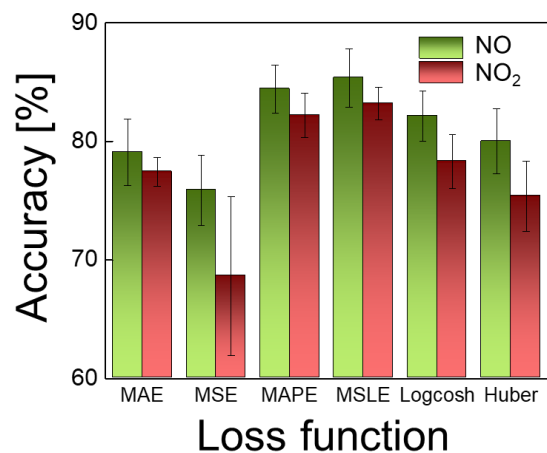


Figure 2. 알고리즘 정확도 비교

Fig. 2 는 구축된 딥러닝 모델로 손실함수별로 학습시킨 정확도를 비교한 결과를 나타낸다. 위 그림과 같이 평균 제곱 로그 에러 (Mean Squared Logarithmic Error)로 학습시킨 결과가 다른 손실함수를 활용한 결과에 비해 높은 정확도를 보였다.

III. 결론

본 연구에서는 다중 물리학 시뮬레이션을 활용한 선택적 환원 촉매를 분석하고 그 결과 바탕으로 딥러닝 알고리즘에 적용하여 NOx 계측용 가상센서를 구현하였다. 해당 결과는 화석연료로 운용되는 설비에서 한쪽의 질소산화물 계측기가 고장이 나더라도 기존 센서를 대체하여 전체 설비의 고장을 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20202000000010).

참 고 문 헌

- [1] J. Baleta, M. Martinjak, M. Vujanović, K. Pachler, J. Wang, and N. Duić, 2017, "Numerical analysis of ammonia homogenization for selective catalytic reduction application", J. Environ. Manage., vol. 203, pp. 1047–1061.
- [2] T. Qiu, X. Li, H. Liang, X. Liu, and Y. Lei, 2014, "A method for estimating the temperature downstream of the SCR (selective catalytic reduction) catalyst in diesel engines", Energy, vol. 68, pp. 311– 317.
- [3] A. B. Oskoei, J. Koohsorkhi, and M. Mehrpooya, 2019, "Simulation of plasma-assisted catalytic reduction of NOx, CO, and HC from diesel engine exhaust with COMSOL," Chem. Eng. Sci., vol. 197, no. x, pp. 135– 149.