

## 음향 소화 시스템을 위한 딥러닝 기반 소화 예측 모델에 관한 연구

김민선, 김홍국\*

광주과학기술원

kimminseon@gm.gist.ac.kr, \*hongkook@gist.ac.kr

## A Study on a Deep Learning-Based Extinguishing Prediction Model for Acoustic Extinguisher Systems

Minseon Kim and Hong Kook Kim\*

Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

## 요약

본 논문에서는 거리, 연료 등 화재에 대한 조건과 데시벨, 주파수 등 음향 소화 시스템의 동작 조건이 주어졌을 때 음향 소화 시스템이 해당 화재를 소화할 수 있는지 여부를 예측하는 모델을 제안하였다. 기존 연구들이 기계 학습 기반 모델로 학습된 반면, 본 연구에서는 딥러닝 기반 모델을 활용한 다양한 방법론을 시도하였다. 기본적인 feed-forward deep neural network (DNN) 기반의 예측 모델의 성능은 약 86.7%이었으나 각 은닉 신경망의 출력을 더하여 출력 신경망의 입력으로 사용하고 rectified linear unit (ReLU)-exponential linear unit (ELU)-Gaussian error linear unit (GeLU) 활성화 함수 조합을 활용하는 제안된 DNN 모델의 성능은 88.7%로 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한 PyQt를 활용하여 음향 기반 소화 여부를 예측할 수 있는 프로그램을 구현하여 실제 화재가 발생하였을 때 활용될 수 있도록 하였다.

## 1. 서론

불은 연료, 열, 산소의 세 가지 요소가 결합하여 발생하는 화학 반응이다. 이 화학 반응을 통한 열, 가스는 인간과 환경에 많은 해를 끼치기 때문에 화재를 빠르게 진압하는 것은 매우 중요하다. 그렇지만, 화재의 원인이나 규모에 따라서 소화제의 종류가 달라질 수 있다. 전통적인 소화 방식이 가져다주는 화학 폐기물과 비환경적인 방식에 대한 여론은 친환경적인 소화 방식의 발견을 이끌어냈다.

음파를 활용한 음향 소화 시스템 역시 이와 같은 목적으로 만들어졌다. 음파로 인한 공기 중의 압력변화는 곧 공기 흐름의 변화가 일어난다. 이러한 공기 흐름의 변화는 곧 불꽃이나 점화에 쓰이는 연료의 움직임을 변화 시키게 된다. 이 과정에서 연료가 확산함에 따라 불꽃 또한 넓은 영역으로 퍼지게 되고, 연료 소비량 또한 연료 입자의 진동으로 인해 증가하게 된다. 이 일련의 단계 동안 화재 환경의 공기는 혼합되어 압축 및 팽창과정을 거치게 되고 결국 산소가 감소하는 결과를 가져오게 된다. 이렇게, 음파를 활용한 음향 소화 시스템은 작업 후 잔해물이 없고, 장비 취급이 쉬우며, 그 활용범위가 높다는 점에서 차세대 소화 시스템으로 활용될 가치가 크다[1, 2, 3]. 그러므로 음향 소화 시스템을 효율적으로 활용하기 위해서는 특성들의 조건에 따라 소화 상태를 정확하게 예측하는 시스템이 필요로 된다.

따라서, 본 연구에서는 음향 소화 시스템의 소화 실험 데이터 셋을 활용한 예측 모델을 만들고 이를 활용하여 실용 프로그램을 구축하였다. 이때 예측 모델은 추후 다양한 활용성과 기존 연구와의 차별성을 위해 딥러닝 기반으로 구현하였으며 프로그램은 PyQt를 통해 사용자들이 쉽게 활용할 수 있도록 직관적인 UI로 구현하였다.

## II. 제안된 음향 소화 시스템을 위한 예측 모델

표 1. 데이터 셋의 특성 및 간략한 설명

특성(단위)	값(최대/최소값, 종류)	기타
연료	가솔린, 등유, 시너, LPG	
풍향 (m/s)	0~17	
크기 (cm)	7, 12, 14, 16, 20	LPG의 경우, 크기는 절반 조절 설정과 전체 조절 설정으로 구분
거리 (cm)	10~190	
주파수 (Hz)	1~75	
데시벨 (dB)	72~113	
상태	0, 1	1은 소화를 의미하고, 0은 소화되지 않음을 의미

## 1. 데이터 셋

본 연구에서는 음파를 활용한 음향 소화 시스템을 이용해 조건을 달리하여 얻은 17,442개의 데이터 셋을 활용하였다[3]. 해당 데이터 셋은 연료, 풍향, 화염 크기, 거리, 음파 주파수, 데시벨로 구성되어 있으며, 해당 데이터 셋의 특성과 간략한 설명은 표 1과 같다. 화재의 연료는 가솔린, 등유, 시너, LPG로 화재가 발생하는 장소의 풍향은 0~17 m/s의 연속변수로 구성되었으며 화재의 크기는 7, 12, 14, 16, 20 cm, 화재와 음향 소화 시스템 사이의 거리는 10~190 cm의 연속변수로 표현된다. 음향 소화 시스템의 주파수와 데시벨은 각각 1~75 Hz와 72~113 dB의 연속변수로 이루어져 있으며 데이터 셋의 모든 연속변수는 소수점 1의 자리까지 표현된다.

## 2. 음향 소화 예측 시스템 구조

음향 소화 예측 시스템은 음향 소화 시스템을 보조하기 위한 수단이며 전반적인 시스템 구성도는 그림 1과 같다. 본 논문에서는 다양한 활용성과 기존 연구와의 차별성을 두기 위해 딥러닝 기반으로 모델을 설계하였다. 하지만 데이터 셋의 크기와 특성의 개수에 대한 한계 때문에 단순히 모델의 파라미터 수를 늘리는 것은 오히려 성능이 하락하는 결과를 보였

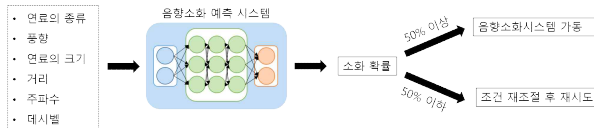


그림 1. 음향 소화 시스템 구성도

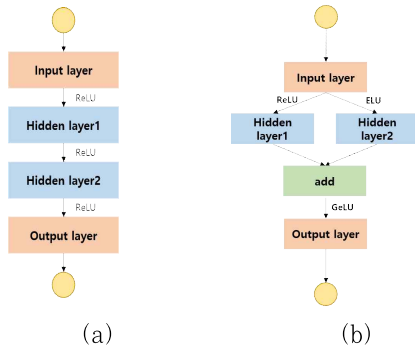


그림 2. DNN 기반의 소화 예측 모델 구조: (a) Baseline DNN (b) 제안된 활성화 함수 결합 DNN

그림 3. 소화 예측 모델을 활용한 프로그램 UI

다. 따라서 본 연구에서는 DNN 모델의 구조에 변화를 주는 방식을 채택하였다.

그림 2(a)는 DNN 기반의 소화 예측 모델의 baseline 구조를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이, baseline은 2개의 hidden layer로 구성되며, 모두 rectified linear unit (ReLU)[4] 활성화함수를 사용한다. 이에 반해, 그림 2(b)에 보인 바와 같이 제안된 활성화 함수 결합 DNN은 입력 신경망에서 처리한 값에 대해 각각 ReLU, exponential linear unit (ELU)[5] 활성화 함수를 지정해준 후 은닉 신경망 1과 은닉 신경망 2의 입력으로 활용하였다. 이후 두 은닉 신경망의 출력값을 더한 후 Gaussian error linear unit (GeLU)[6] 활성화를 취하여 출력 신경망의 입력으로 넣어 최종 확률값을 계산하였다.

이외에도, 그림 3과 같은 user interface (UI)를 갖는 PyQt를 활용하여 화재 상황과 음향 소화 시스템에 대한 특정 정보를 입력했을 때 소화의 확률을 예측하는 실용 프로그램을 개발하였다.

### III. 실험

본 절에서는 제안된 소화 예측 모델의 성능을 baseline 모델의 성능과 비교를 통해 제안된 모델의 우수성을 검증하고자 한다. Baseline 모델과 본 논문에서 제안한 모델 모두 입력 신경망 채널 수는 8, 출력 신경망의 채널수는 2로 설정하였다. 은닉 신경망의 경우 레이어를 두 겹으로 쌓았으며 베이스라인 모델은 첫 번째 은닉 신경망의 각 레이어 채널 수를 16, 32로, 두 번째 은닉 신경망의 채널 수를 16, 8로 설정하였으며 제안한 모델은 각 레이어의 채널 수를 16, 8로 설정하였다. 모델 학습 시 Adam 최적화[7]를 활용하였으며, 학습률은 0.006으로 설정하였다.

표 2. Baseline DNN과 활성화 함수 결합 DNN의 예측 정확도 및 파라미터 수 비교

항목	Baseline	활성화 함수 결합 DNN
예측 정확도	86.7%	88.7%
파라미터 수	1,586	746

표 2는 실험의 결과를 나타낸 것으로 모델의 성능과 평균적인 손실 및 파라미터 수를 나타내었다. ReLU, ELU, GeLU 활성화 함수를 사용하고 은닉 신경망에 대한 단순 덧셈을 활용하여 출력신경망의 입력으로 사용하는 경우 88.7%의 예측 정확도를 보였고 베이스라인 모델 대비 2%가 향상되었다. 또한 파라미터 수가 746개로 베이스라인 모델이 1,586개인 것을 고려했을 때 약 50% 적은 수의 파라미터로 높은 예측 정확도를 보였다는 것을 알 수 있다. 위 결과를 통해서 여러 활성화 함수를 취한 값을 더하는 과정을 거쳐 각 활성화 함수의 장점을 극대화하고 다양한 표현공간을 학습할 수 있음을 확인하였다.

### IV. 결론

본 논문에서는 소화 예측 모델을 위해 다양한 활성화 함수를 결합하는 새로운 구조의 딥러닝 모델을 제안하였다. 성능 평가 결과, 88.7%의 예측 정확도를 달성하였으며, 해당 모델을 활용하여 실질적으로 사용 가능하도록 직관적인 UI를 갖는 프로그램을 개발하였다. 추후 화재 환경의 이미지나 상황의 소리 등 다양한 시각적, 청각적 정보까지 활용할 수 있다면 발전된 성능을 보일 것으로 기대된다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 광주과학기술원 GIST-MIT 공동연구사업의 지원 및 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 연구개발특구진흥재단의 ‘지역의 미래를 여는 과학기술 프로젝트’ 사업으로 수행되었음(인공지능 기반 메타버스 구현을 위한 융·복합 문화 가상 스튜디오, 2022-DD-UP-0312).

### 참 고 문 헌

- [1] Taspinar, Y.S., Koklu, M., and Altin, M. “Acoustic-driven airflow flame extinguishing system design and analysis of capabilities of low frequency in different fuels,” *Fire Technology*, 58(3), pp. 1579-1597, 2022.
- [2] Koklu, M., and Taspinar, Y.S. “Determining the extinguishing status of fuel flames with sound wave by machine learning methods,” *IEEE Access*, 9, pp. 86207-86216, 2021.
- [3] Taspinar, Y.S., Koklu, M., and Altin, M. “Classification of flame extinction based on acoustic oscillations using artificial intelligence methods,” *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 101561, 2021.
- [4] Agarap, A.F. “Deep learning using rectified linear units (ReLU),” *arXiv preprint, arXiv:1803.08375*, 2018.
- [5] Clevert, D.-A., Unterthiner, T., and Hochreiter, S. “Fast and accurate deep network learning by exponential linear units (ELUs),” *arXiv preprint, arXiv:1511.07289*, 2015.
- [6] Hendrycks, D., and Gimpel, K. “Gaussian error linear units (GELUs),” *arXiv preprint, arXiv:1606.08415*, 2016.
- [7] Kingma, D.P., and Ba, J. “Adam: A method for stochastic optimization,” *arXiv preprint, arXiv:1412.6980*, 2014.