

합성곱 오토엔코더를 이용한 플라스틱 감마 스펙트럼의 전 에너지 피크 언폴딩

전 병 일
한국원자력연구원 지능형컴퓨팅연구실
E-mail : bijeon@kaeri.re.kr

이 은 중
한국원자력연구원 해체기술연구부
E-mail : lee0715@kaeri.re.kr

문 명 국
한국원자력연구원 양지빔물질과학연구부
E-mail : moonmk@kaeri.re.kr

Introduction

- 플라스틱 섬광체 검출기는 가격이 저렴하고 가공성이 좋아 다양한 방사선 감시 분야에서 널리 활용되고 있다. 하지만 물리화학적 특성으로 인하여 감마 스펙트럼을 측정할 때 전 에너지 피크가 발생하지 않고 에너지 분해능이 나쁘다. 따라서 방사선원의 유무는 확인할 수 있으나, 어떤 선원이 얼마만큼 존재하는지를 확인하기 위한 핵종 분광분석에는 적합하지 않다. 그렇기 때문에 핵종 분광분석에는 에너지 분해능이 좋고 전 에너지 피크가 뚜렷하게 발생하는 반도체 검출기를 주로 활용한다. 그러나 반도체 검출기는 가공성이 나빠 면적을 크게 할 수 없기 때문에 기하학적인 검출 효율이 떨어져서 측정에 오랜 시간이 필요하다. 또한 가격도 상당히 비싸며 동작을 위해서는 저온으로 유지해주는 냉각장치가 필요한 경우도 있다.

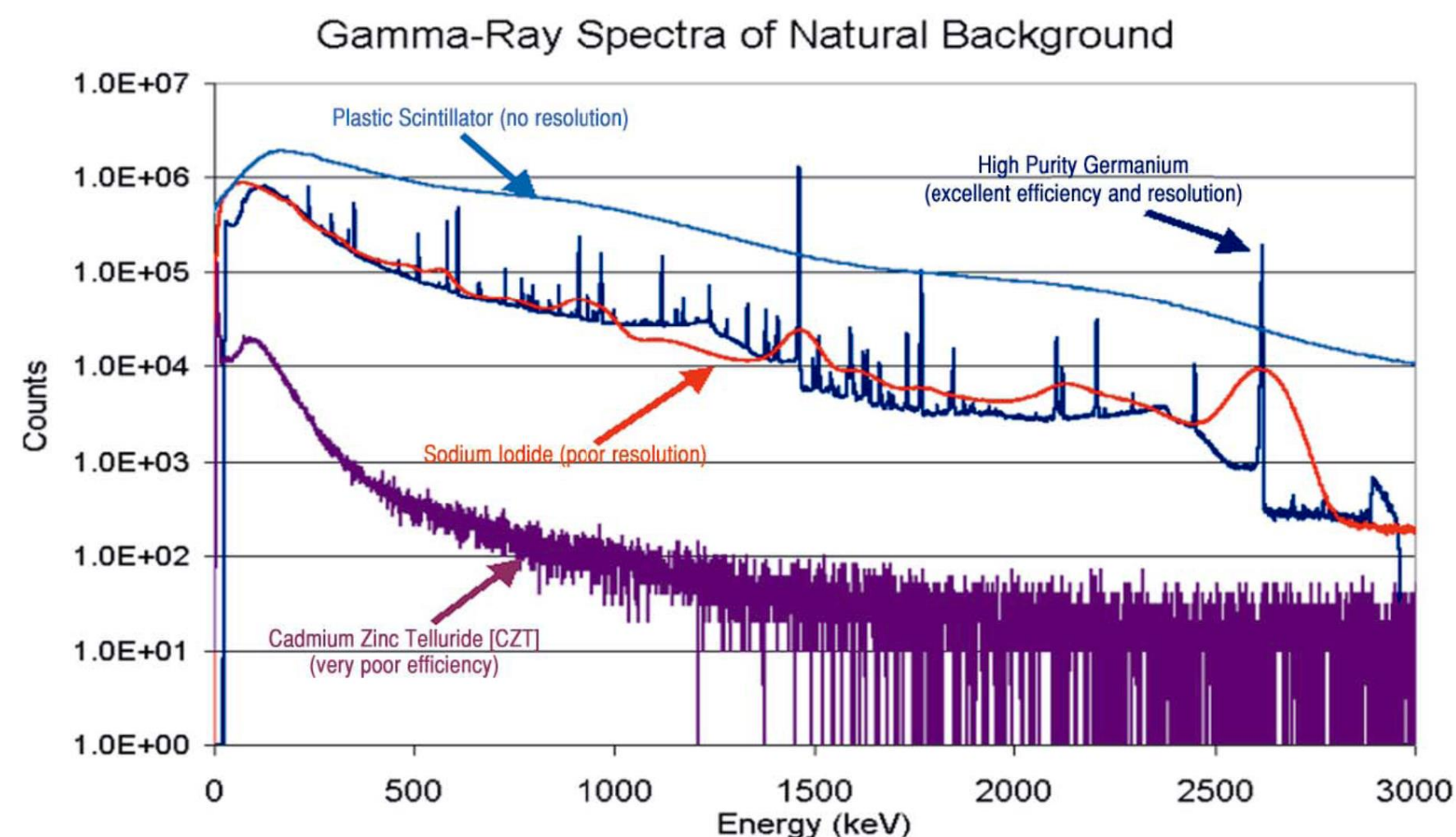


Fig. 1 Gamma spectra in silicon, organic and inorganic scintillation detectors (from: www.ortec-online.com)

- 본 연구에서는 플라스틱 섬광체의 계측 스펙트럼을 이용하여 핵종의 의사 분광분석을 수행하기 위한 심층학습 모델을 제시하였다. 특히, 의사 분광분석을 수행하기 위하여 플라스틱 감마 스펙트럼의 전 에너지 피크를 복원하는 합성곱 오토엔코더 모델을 설계하였으며, 몬테카를로 전산모사 기법을 기반으로 생성된 데이터를 이용하여 모델 적용 가능성을 확인하였다.

Dataset establishment

- 학습에 필요한 데이터셋은 몬테카를로 전산모사 프로그램인 MCNP6.2[1]를 이용하여 생성하였다. 플라스틱 감마 스펙트럼을 모사하기 위하여 알루미늄 차광박스과 길이 50mm, 지름 30mm인 원기둥 형태의 플라스틱 섬광체 검출기를 정의하였다. 물질 정보는 PNNL의 보고서[2]를 참고하여 정의하였다. 감마선원으로는 ^{22}Na , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{109}Cd , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{152}Eu 를 점 선원(point source)으로 정의하여 활용했으며, 전산모사 반복 횟수(history number)는 10^5 - 10^6 로 정의하였다. 선원을 다양한 비율로 조합하여 총 200,000개의 계측 스펙트럼을 모사하였으며, 선원 조합 비율을 참고하여 이에 따르는 전 에너지 피크 스펙트럼도 생성하였다.

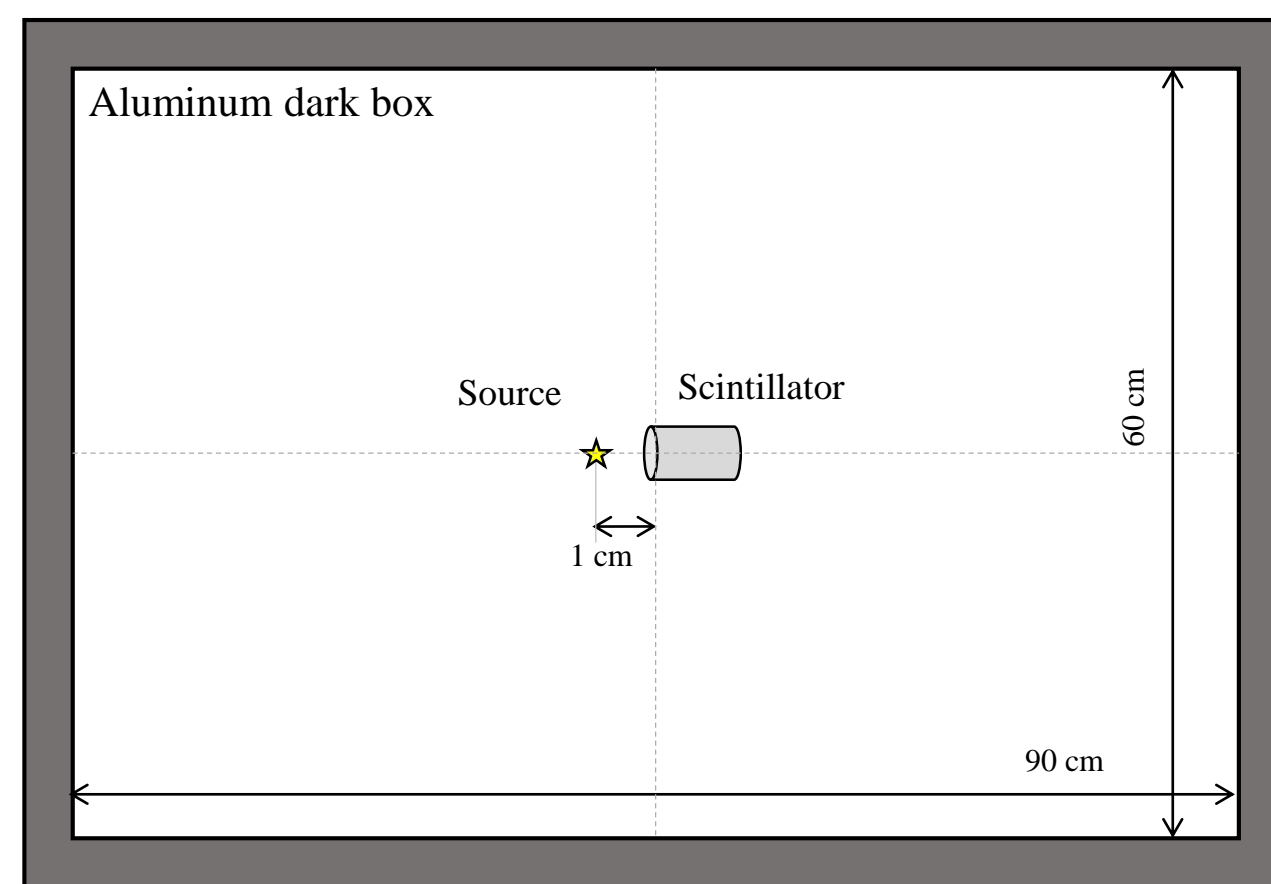


Fig. 2 Simulation geometry

Source	Activity [kBq]	Energy [MeV]	Intensity [%]
^{22}Na	385.5	0.511 / 1.275	180.76 / 99.94
^{54}Mn	341.3	0.835	99.98
^{57}Co	395.2	0.014 / 0.122 0.137	9.16 / 85.6 10.68
^{60}Co	380.0	1.173 / 1.333	99.9 / 99.98
^{109}Cd	346.1	0.088	3.64
^{133}Ba	370.0	0.081 / 0.276 0.303 / 0.356 0.384	32.9 / 7.16 18.34 / 62.05 8.94
^{137}Cs	378.1	0.662	85.1
^{152}Eu	385.2	0.122 / 0.245 0.344 / 0.411 0.444 / 0.678 0.779 / 0.867 0.964 / 1.086 1.090 / 1.112 1.299 / 1.408	0.87 / 0.96 1.09 / 1.09 1.11 / 1.29 1.41 / 4.25 14.6 / 10.21 1.73 / 13.64 1.62 / 21

Convolutional autoencoder

- 플라스틱 감마 스펙트럼을 언폴딩하기 위하여 합성곱 오토엔코더 모델을 파이썬 환경에서 텐서플로 2.0 라이브러리[3]를 이용하여 구현하였다. 구현한 모델은 5개의 합성곱 층을 가지는 엔코더와 디코더 구조로 되어 있으며, 각 합성곱 층 다음에는 기울기 소실(gradient vanishing)을 방지하기 위한 배치 정규화 층(batch normalization layer)[4], 합성곱 연산 이후 최대값을 선택하여 다음 레이어로 보내기 위한 최대값 선택 층(max pooling layer)이 연결되어 있다. 각 합성곱 층의 활성화 함수로는 ReLU 함수를 이용하였으며, 맨 마지막 층의 활성화 함수로는 지수(exponential) 함수를 이용하였다.

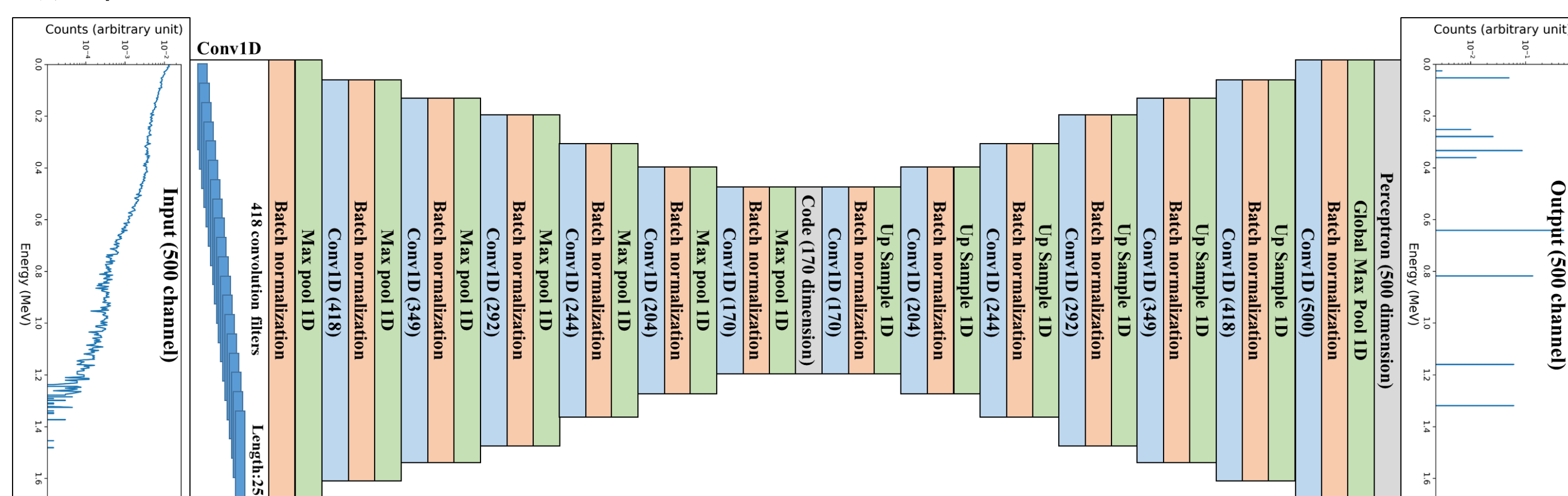


Fig. 3 Structure of convolutional autoencoder

Simulation results

- 합성곱 오토엔코더를 학습시키기 위하여, 데이터셋 중 160,000개의 계측, 전에너지 피크 스펙트럼을 훈련 셋으로, 30,000개의 스펙트럼을 검증 셋으로, 나머지 10,000개를 테스트 셋으로 활용하였다. 구현한 합성곱 오토엔코더는 300 에포크(epoch) 동안 Adam 최적화 기법[5]을 이용하여 학습하였으며, 콜백 함수인 model check point 옵션을 이용하여 검증 셋에 대한 성능이 가장 좋은 모델을 저장하여 최종 모델로 활용하였다. 다음 그림은 테스트 셋에 대한 언폴딩 결과 일부를 나타낸다.

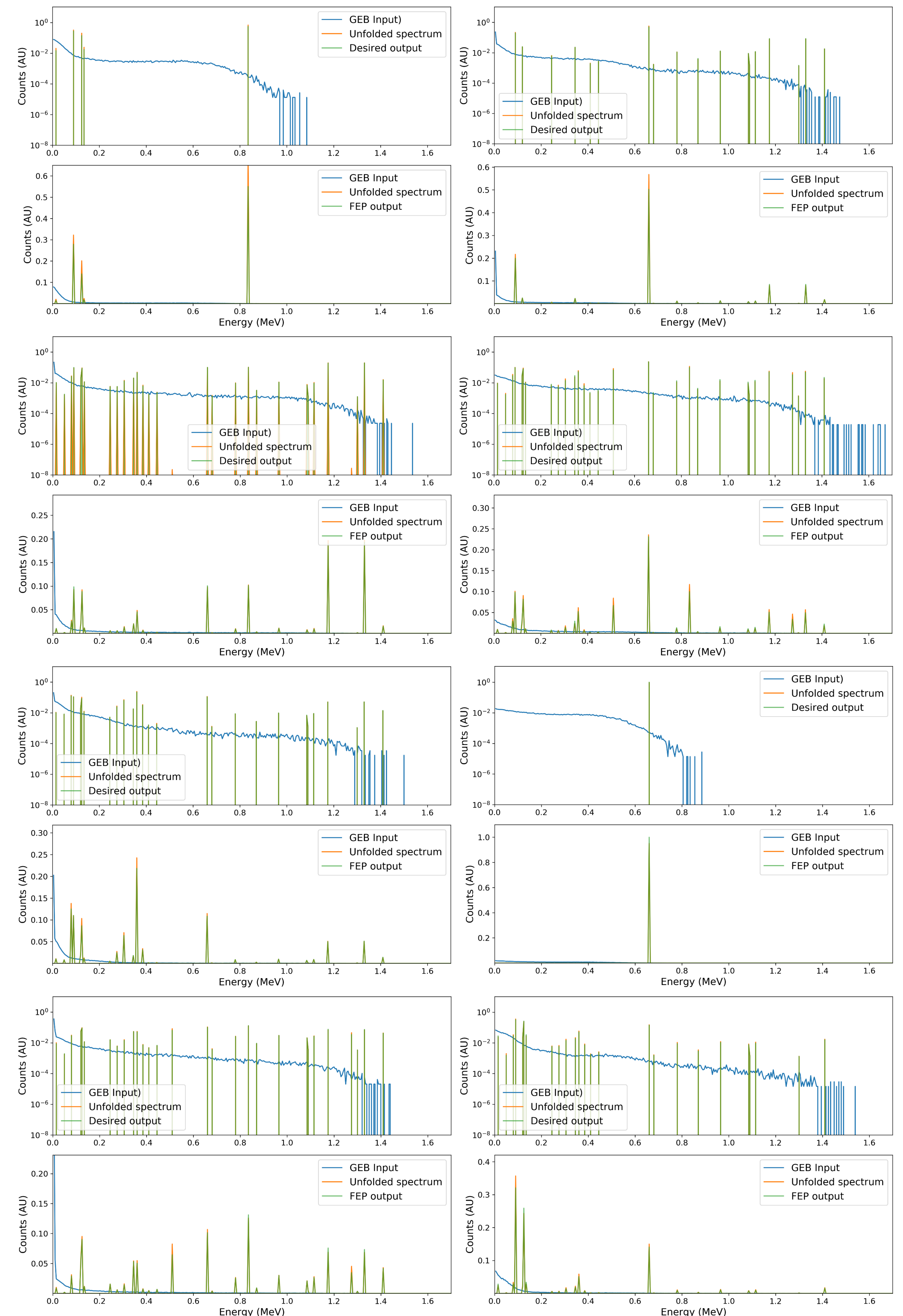


Fig. 4 Full energy peak unfolding results for several gamma spectra in test set using trained convolutional autoencoder

Conclusion

- 본 논문에서는 플라스틱 감마 스펙트럼의 전 에너지 피크를 언폴딩하는 심층학습 모델을 제시하였으며, 몬테카를로 전산모사를 기반으로 생성한 스펙트럼을 이용하여 성능을 확인하였다. 본 기법은 플라스틱 섬광체 검출기를 기반으로 하는 방사선 감시 시스템에 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 이를테면, 공항, 항만에서 화물을 감시하는 방사선 포탈 모니터에 적용하거나, 물품의 일부를 선택하여 방사능 검사를 수행하던 기존의 수입 농수산물, 공산품 모니터링 프로세스를 보조하기 위한 대면적 플라스틱 섬광체 검출기 기반의 전수 검사 시스템을 개발하는 데에 적용이 가능하다.

Reference

- [1] C. J. Werner et al., "MCNP 6.2 release notes," Los Alamos Nat. Lab., Los Alamos, NM, USA, Rep. LA-UR-18-20808, Feb. 2018.
- [2] R. J. McConn Jr et al., "Compendium of material composition data for radiation transport modeling," Pacific Northwest Nat. Lab., Richland, WA, USA, Tech. Rep. PNNL-15870, Mar. 2011.
- [3] M. Abadi et al., TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems. [Online]. Available: <https://tensorflow.org>
- [4] S. Ioffe and C. Szegedy. (2015, July). Batch normalization: accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. Presented at ICML'15.
- [5] D. P. Kingma and J. Ba, "Adam: A method for stochastic optimization," in Proc. 3rd Int. Conf. Learn. Represent., 2014.