

수퍼픽셀 기반의 합성곱 신경망 성능 평가

Performance Evaluation of Convolutional Neural Network Using Superpixel Representations

이우식¹

Woosik Lee¹

요약

최근 로봇 프로세스 자동화(Robotic Process Automation, RPA)와 인공지능(AI)을 결합한 인텔리전트 프로세스 자동화(Intelligent Process Automation, IPA)는 다양한 산업 분야에서 폭넓은 영향을 미치고 있으나, 의료 이미지 분석 분야에서는 여전히 초기 단계에 머물러 있다. 본 연구는 흉부 X-레이 영상에서 폐렴을 분류하기 위해 합성곱 신경망(CNN)을 기반으로 한 이미지 분류 시스템을 설계하고, 원본 이미지 기반 모델과 수퍼픽셀 기반 모델의 성능을 비교·분석하였다. 실험 결과, 수퍼픽셀 기반 CNN은 테스트 정확도, 재현율(Recall), F1-점수 측면에서 원본 이미지 기반 모델보다 우수한 성능을 보였으며, 특히 폐렴 클래스에서 높은 재현율을 기록하여 질병 탐지 성능 향상에 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 학습 수렴 속도와 검증 정확도에서도 더 안정적인 특성을 보이며 일반화 성능이 뛰어났다. 이러한 결과는 수퍼픽셀 기반 접근이 의료 이미지의 구조적 특징을 효과적으로 보존하고 노이즈에 강건한 학습을 가능케 함을 시사한다. 본 연구는 의료 이미지 분석에 IPA를 적용한 사례로, 진단 정확도의 향상을 통해 의료기관의 운영 효율성 증대, 진단 비용 절감, 환자 대기 시간 단축 등 다양한 경제적 가치를 창출할 수 있는 가능성을 제시한다.

핵심어 : 비즈니스 애널리틱스, 지능형 프로세스 자동화, 비정형 데이터, 피쳐 엔지니어링

Abstract

Recently, the integration of Robotic Process Automation (RPA) and Artificial Intelligence (AI), known as Intelligent Process Automation (IPA), has made a significant impact across various industries. However, its application in medical image analysis remains in the early stages. This study proposes a convolutional neural network (CNN)-based image classification system for diagnosing pneumonia from chest X-ray images and compares the performance of models using original image data versus superpixel-based representations. Experimental results show that the superpixel-based CNN outperforms the original image-based model in terms of test accuracy, recall, and F1-score, particularly demonstrating higher recall for the pneumonia class, indicating its effectiveness in disease detection. Furthermore, the superpixel-based model exhibits greater stability in terms of training convergence speed and validation accuracy, suggesting superior generalization performance. These findings imply that the superpixel-based approach preserves structural features of medical images more effectively and enables robust learning against noise. As a meaningful case of applying IPA to medical image analysis, this study highlights the potential of improving diagnostic accuracy

¹ College of Business Administration, Gyeongsang National University, Jinju, Korea [Professor]
e-mail: woosiklee@gnu.ac.kr

Received(May 11, 2025), Review Result(1st: May 23, 2025), Accepted(June 9, 2025), Published(June 30, 2025)



© 2025 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

while contributing to enhanced operational efficiency, reduced diagnostic costs, and decreased patient wait times in medical institutions.

Keyword : Business Analytics, Intelligent Process Automation, Unstructured Data, Feature Engineering

1. 서론

4차 산업혁명의 핵심 기술인 빅데이터, 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 가상현실(VR) 등이 기업 경영 전반에 폭넓게 도입되고 있다. 최근에는 기업이 디지털 전환을 가속화하고 경쟁력을 강화하는 데 있어 로봇 기반 업무 자동화(Robotic Process Automation, RPA)의 도입이 핵심 전략 중 하나로 부상하고 있다. RPA는 정형화된 절차와 고정된 규칙에 따라 반복 업무를 자동으로 처리하는 기술로, 금융, 보험, 인사, 회계, 제조업, 공급망 운영, 정보기술 관리, 고객 응대 등 다양한 산업 영역에서 폭넓게 활용되고 있다 [1].

예를 들어, IT 분야에서는 주기적인 시스템 점검, 보고서 자동 작성, 데이터 저장 및 복원 등을 자동화함으로써 IT 부서의 운영 효율성을 향상시킬 수 있으며, 재무·회계 분야에서는 인보이스 처리, 비용 승인, 회계 보고, 예산 수립과 같은 정형화된 회계 프로세스를 RPA로 자동화함으로써 업무 처리 시간 단축과 오류 발생률 감소를 동시에 줄일 수 있다. 글로벌 회계 컨설팅 기업인 PwC는 RPA를 도입해 약 700만 시간에 달하는 반복 업무를 자동화함으로써, 컨설턴트들이 보다 부가가치가 높은 전략적 과업에 역량을 집중할 수 있도록 유도하였다 [1].

인공지능은 데이터 분석, 의사결정 보조, 미래 예측 모델 구축 등 고도화된 문제 해결 역량을 통해 경영 환경의 불확실성을 완화하고, 기업에 전략적 인사이트를 제공하는 핵심 기술로 진화해 왔다 [1]. 이를 바탕으로 기업은 시장 변화를 조기에 감지하고, 잠재적 위험요소를 통제하며, 지속 가능한 경쟁력을 확보할 수 있다. 반면 RPA는 비교적 단순하고 반복적인 사용자의 업무를 자동화함으로써 오류를 줄이고 시간을 절약하는 데 초점을 두며, 직원이 보다 창의적이고 전략적인 업무에 집중할 수 있는 환경을 조성한다. 이는 인간 중심의 업무를 디지털 기반으로 전환함으로써, 반복적이고 부가가치가 낮은 과업을 자동화하고, 전문 인력을 보다 전략적이고 창의적인 영역에 재배치할 수 있도록 지원하는 유연한 인력 운용 전략으로 작용한다 [2].

최근에는 RPA와 AI 기술을 융합한 지능형 프로세스 자동화(Intelligent Process Automation, IPA)가 단순한 반복 업무를 넘어, 복잡한 의사결정, 예측 분석, 자연어 처리 등 고차원적 자동화 기능을 포함하는 방향으로 고도화되고 있다 [1]. 특히 주 52시간 근무제 도입에 따라, 많은 기업이 IPA를 업무 효율성 제고와 인건비 절감을 위한 전략적 대안으로 주목하고 있다. 예를 들어, 자연어 처리(NLP)와 머신러닝을 통합한 IPA는 고객 질의에 대한 자동 응답을 제공하고, 상담 업무 프로세스를 자동화함으로써 고객 만족도를 제고하는 동시에 인력 소모를 경감할 수 있다. 또한 수요 예측 모델과 RPA를 통합함으로써 제조업체는 재고 관리, 주문 처리, 공급망 운영 등을 보다 정교하게 자

동화할 수 있으며, 이는 곧 비용 절감과 운영 효율성 개선으로 이어진다. 이처럼 RPA/IPA는 단순한 자동화 기술을 넘어, 업무 생산성과 조직 유연성을 동시에 증진시키는 핵심 도구로 자리잡고 있으며, 그 활용 사례는 산업 현장 전반에서 빠르게 증가하고 있다.

이러한 흐름 속에서, 과학기술 및 의료 분야 역시 이미지 데이터를 핵심 자산으로 인식하고 있으며, 이는 진단 정확도 향상 및 연구 효율성 제고의 필수 요소로 작용하고 있다. 그러나 매년 급증하는 의료 및 연구용 이미지 데이터를 분류·분석하는 데는 막대한 비용과 인력이 소요되고 있는 실정이다 [3]. 최근에는 AI와 RPA를 활용한 이미지 자동 분류 및 처리 기술이 일부 개발되고 있으나, 실무에서의 활용은 여전히 제한적이다. 특히 의료 영상과 연구용 이미지에 대한 자동 분석 기술은 데이터 처리 효율성과 정확도를 동시에 향상시키며, 의료기술의 글로벌 경쟁력을 높일 수 있는 핵심 전략으로 주목받고 있다. 이에 따라, 의료 영상 데이터를 활용한 RPA/IPA 기반 자동 분석 기술의 고도화가 시급히 요구되고 있다.

국내·외적으로 의료 이미지 분야에서의 RPA/IPA 활용에 관한 연구가 진행되고 있으나, 여전히 RPA 설계 및 적용에 관한 체계적인 연구는 부족한 실정이다. Zhou 외 4인의 연구 [4]는 방사선 영상 요청 시스템의 비효율성과 오류 문제를 해결하기 위해 RPA 기반 자동화 시스템을 구축하고, 자동 팩스 전송, OCR 처리, 양식 분류 및 파일 저장 기능을 구현함으로써 처리 속도를 94% 향상시키고 비용을 98.4% 절감하는 효과를 도출하였다. Huang 외 7인의 연구 [5]는 대만 건강보험청의 진료비 청구 프로세스에 RPA와 Lean Six Sigma를 적용하여 380분의 처리 시간 단축, 95.54%의 업무 효율성 달성, 환자 중심 서비스 강화의 성과를 입증하였다. 또한 Deo와 Anjankar [6], Nimkar 외 2인의 연구 [7]는 의료 현장에서의 행정 자동화, 환자 맞춤형 진료, 고령자 돌봄 등의 영역에서 RPA의 적용 가능성과 효과를 다각도로 제시하고 있다. 이들은 특히 반복적 행정 업무의 자동화를 통해 의료진이 본연의 전문적 진료 활동에 더욱 집중할 수 있는 여건을 조성하고 있음을 강조한다.

이와 동시에, 의료 영상 분석 영역에서도 AI 기반 진단 자동화 연구가 활발히 진행되고 있다. Park 외 8인의 연구 [8]는 순천향대학교 병원의 흉부 X-ray 데이터를 활용하여 EfficientNet B7 기반의 모델로 폐렴, 결핵, 폐암 등 질환을 97.42%의 정확도로 분류하였으며, 실제 진단 보조 시스템 (OView-AI) 적용을 통해 AUC 97.01%, 민감도 95.68%, 특이도 99.34%의 성능을 입증하였다. Singh 외 5인의 연구 [9]는 Vision Transformer(ViT)를 활용하여 기존 합성곱 신경망(CNN)보다 우수한 정확도(97.61%)와 민감도(95%)를 달성하였으며, Mabrouk 외 4인의 연구 [10]는 DenseNet169, MobileNetV2, ViT를 결합한 앙상블 모델을 통해 93.88%의 F1-score를 보고하였다.

그러나 이러한 선행 연구들은 대체로 최신 딥러닝 모델 및 앙상블 기법을 적용하여 분류 성능을 높이는 데 중점을 두거나, RPA 기술을 의료 행정 업무 자동화 사례 중심으로 분석하는 데 그치고 있다. 이에 비해 본 연구는 RPA/IPA 기술과 의료 영상 기반 진단 자동화를 융합적으로 접근

하여, 진단 알고리즘의 핵심 모듈인 CNN의 입력 전처리 구조에 따른 성능 차이를 실증적으로 비교 분석한다. 특히, 개별 픽셀(이하 원본 이미지) 기반 입력과 SLIC 알고리즘을 활용한 슈퍼픽셀 기반 입력 간의 분류 정확도를 분석함으로써, 실제 RPA/IPA 기반 진단 파이프라인에서 어떤 입력 구조가 실용적이며 우수한 성능을 제공하는지를 규명한다는 점에서 본 연구는 학술적 및 실무적 의의가 크다.

본 논문은 다음과 같이 4개 장으로 구성된다. 제1장에서는 본 연구의 배경과 필요성을 설명하며, 제2장에서는 슈퍼픽셀 기반 이미지 분석에 대한 이론적 배경을 고찰한다. 제3장에서는 연구 설계와 실증 분석 방법을 제시하고, 그 결과를 보고한다. 마지막으로 제4장에서는 주요 결과를 바탕으로 연구의 의의 및 시사점을 논의하며 결론을 제시한다.

2. 이론적 배경

2.1 이미지 처리

본 연구에서는 CNN의 원본 이미지 접근법을 살펴본다. 이미지의 원시 픽셀 값을 전처리 없이 직접 모델의 입력으로 사용하는 이미지 처리 방식이다. 이 접근법은 이미지의 모든 픽셀을 개별적인 정보 단위로 간주하며, CNN의 합성곱 연산과 계층적 구조를 활용해 공간적 패턴을 학습한다. 지역적 수용 영역과 가중치 공유를 통해 이미지의 정보를 보존하면서도 계산 효율성을 유지한다. 이러한 특성 덕분에 원본 이미지 접근법은 CNN 기반 이미지 분석에 널리 사용된다. 원본 이미지 접근법의 강점은 원시 픽셀 데이터를 직접 사용함으로써 이미지의 세부 정보와 미세한 텍스처(Texture)를 보존한다는 점이다 [11]. 더불어 분할(Segmentation) 같은 사전 처리 단계를 생략하므로 데이터 준비 과정이 간단해지고, CNN의 계층적 학습 능력을 통해 복잡한 패턴을 효과적으로 추출할 수 있다. 하지만 모든 픽셀을 개별적으로 처리하기 때문에 이미지 크기가 클 경우 계산 비용이 크게 증가한다. 또한, 픽셀 단위의 노이즈나 불필요한 정보에도 민감하게 반응할 수 있어, 노이즈가 많은 데이터에서는 성능이 저하될 가능성이 있다. 이러한 단점은 특히 대규모 데이터나 노이즈가 심한 환경에서 개별 픽셀 접근법의 효율성을 제한한다. 반면에 슈퍼픽셀 기반 접근법은 이미지를 여러 픽셀 군집(슈퍼픽셀)으로 나누어 이를 입력 단위로 활용하며, CNN 구조 내에서 국소적 특징을 집중적으로 분석한다. 이 방식은 이미지 분할을 통해 잡음을 감소시키고 연산 효율을 향상시키지만, 미세한 이미지 특징이 소실될 우려가 있다. 이미지 분할을 위해 Simple Linear Iterative Clustering(SLIC) 알고리즘을 이용하였다. SLIC는 화상의 픽셀들을 유사 특성(색상, 질감, 명도 등)에 따라 그룹화하여 슈퍼픽셀을 형성한다. SLIC에서 픽셀 간의 거리 D 는 색상 차이 d_{lab} 와 공간 위치 d_{xy} 차이를 결합하여 산출되며, 다음과 같은 수식으로 표현된다 [12].

$$D = \sqrt{d_{lab}^2 + \left(\frac{d_{xy}}{m}\right)^2}$$

이때 d_{lab} 은 Lab 색상 공간(CIELAB)에서의 색상 차이 d_{xy} 는 공간적 좌표 간의 거리, 그리고 m 은 이 두 요소 사이의 비중을 조절하는 매개변수이다. 이 매개변수를 조정함으로써 슈퍼픽셀의 규모와 형상을 제어할 수 있다. 일반적으로 m 의 값이 증가하면 슈퍼픽셀은 더 넓고 색상적으로 동질적인 영역으로 구분되며, m 값이 감소하면 더 정밀한 구역으로 분할된다. 본 실험에 사용된 그레이스케일 이미지를 SLIC에 적용할 때는 색상 정보가 부재하므로 Lab 색상 거리 대신 단순히 픽셀 강도 값의 차이를 활용하였다. 그레이스케일 이미지는 픽셀당 단일 강도 값만 포함하므로, 두 픽셀 간의 색상 거리는 단순히 그 강도 값 차이의 절대값으로 계산된다. 따라서 SLIC 알고리즘의 거리 계산식에서 d_{lab} 항이 이러한 일차원적 강도값의 차이로 단순화되어 적용된다.

2.2 평가지표

본 실험에서는 분류 모형의 성능 지표로 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision), 재현율(Recall) 그리고 F1-값(Score)를 채택하였다 [13]. 정확도는 총 예측 사례 중 올바른 분류의 비중을 표현하며, 정밀도는 양성으로 판별한 사례 중 실제 양성인 사례의 비율을, 재현율은 실제 양성 사례 중 양성으로 정확하게 식별한 비율을 의미한다. F1-값은 정밀도와 재현율의 조화 평균값으로, 두 측정치 간의 균형을 반영하여 분류 모형의 종합적인 효과성을 평가하는 지표이다.

3. 실증분석

3.1 자료의 구성

실험에 사용된 데이터셋은 캐글에서 제공하는 흉부 X-레이 폐렴 데이터셋으로, 정상(Normal)과 폐렴(Pneumonia) 두 범주로 구성되어 있다. 데이터는 훈련(train), 검증(validation), 테스트(test) 세트로 분할되어 있으며, 각 세트에서 범주별로 일정 수의 표본을 선별하여 실험의 연산 효율성을 향상시켰다. 훈련 세트에서는 범주당 300개, 검증 및 테스트 세트에서는 범주당 100개의 이미지를 활용했다. 모든 이미지는 그레이스케일이며, 신경망 입력의 일관성을 위해 224×224 픽셀 크기로 조정하고, 이미지 전처리 과정에서 원시 픽셀 값을 0-1 범위로 정규화하였다.

3.2 모형의 추정 및 분석

분석을 위해 원본 이미지 기반 CNN모델은 224×224×1 차원의 그레이스케일 의료 이미지를 분류

하기 위해 CNN 구조로 설계하였다. 이 모델은 점진적으로 특징 추출 능력을 강화하기 위해 세 개의 합성곱 블록으로 구성하였다. 첫 번째 블록은 32개, 두 번째는 64개, 세 번째는 128개의 필터를 사용하며, 각 계층(Layer)은 3×3 크기의 필터 커널과 ‘same’패딩(padding)을 적용하였다. 모든 합성곱 계층 이후에는 ReLU 활성화 함수로 비선형성을 부여하고, 2×2 최대 풀링(Max Pooling) 계층을 통해 특징 맵의 공간적 차원을 단계적으로 축소하였다. 이는 연산량을 절감하고 주요 특징을 부각시킨다.

합성곱 블록 이후에는 특징 맵을 평탄화하여 512개 유닛의 완전 계층으로 연결하였으며, ReLU 활성화와 0.5 비율의 드롭아웃을 도입하였다. 출력층은 단일 유닛과 시그모이드 활성화 함수를 채택하여 정상과 폐렴을 구분하였다.

모델 훈련에는 0.0001 학습률의 Adam 최적화 알고리즘과 이진 교차 엔트로피 손실 함수를 채택하였다. 3-겹 교차 검증을 수행하였으며, 배치 크기 32로 최대 20 에폭까지 훈련을 수행하였고, 5 에폭 동안 검증 손실이 개선되지 않으면 훈련을 중단하는 조기 종료와 3 에폭 동안 개선이 없을 경우 학습률을 0.5배로 감소시키는 방법을 적용하였다.

슈퍼픽셀 기반 접근법에서는 SLIC 알고리즘을 활용하여 원본 이미지에서 슈퍼픽셀을 생성하였다. 각 이미지는 100개의 슈퍼픽셀로 분할하였다. 슈퍼픽셀 생성 후, 원본 이미지와 동일한 해상도를 유지하면서 슈퍼픽셀의 평균 값으로 대체하였다. 이를 통해 유사한 영역은 동일한 값으로 표현되어 시각적 통일성을 향상시키고, 노이즈를 감소시키는 동시에 폐 구조의 경계가 상대적으로 더 명확하게 나타나는 효과를 기대할 수 있다. 최종적으로 슈퍼픽셀 이미지를 처리하기 위한 CNN 모델은 원본 이미지 기반 모델과 동일한 구조를 사용하였다.

[표 1] 분류 모형의 성능 평가

[Table 1] Performance of Classification Models

Individual Pixels	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Mean ± Std
Accuracy	0.721	0.734	0.740	0.732 ± 0.008
Precision	0.840	0.830	0.840	0.837 ± 0.005
Recall	0.630	0.650	0.660	0.647 ± 0.012
Precision	0.610	0.640	0.650	0.633 ± 0.017

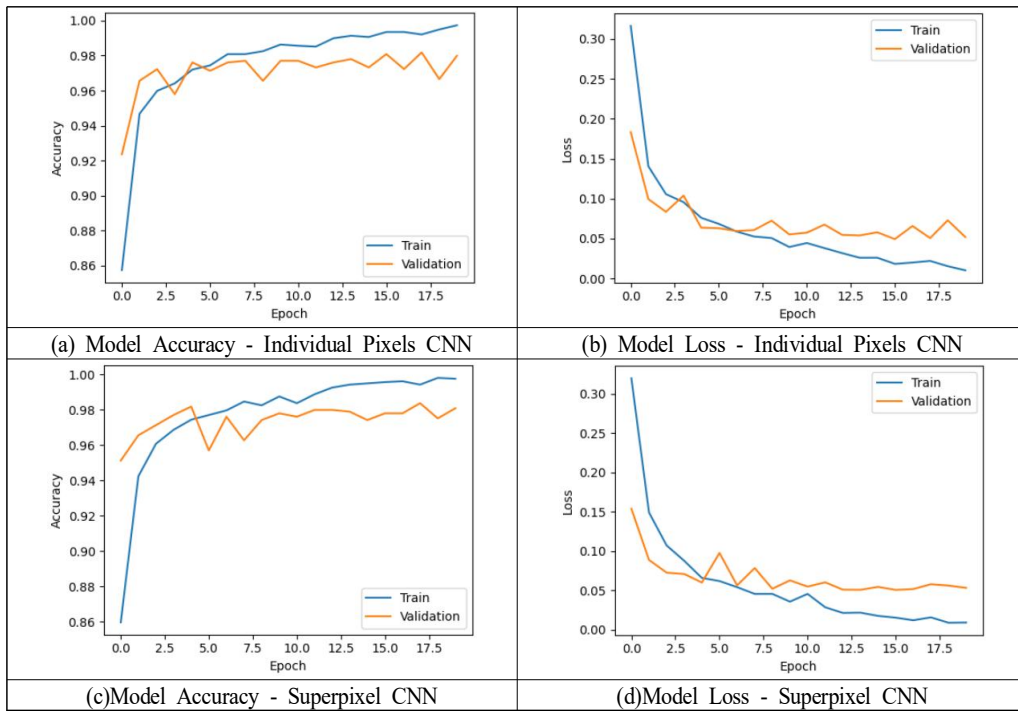
Superpixels	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Mean ± Std
Accuracy	0.731	0.740	0.730	0.7435 ± 0.004
Precision	0.830	0.840	0.840	0.837 ± 0.005
Recall	0.640	0.660	0.650	0.650 ± 0.008
Precision	0.640	0.650	0.640	0.643 ± 0.050

[표 1]는 원본 이미지 기반 CNN 모델과 슈퍼픽셀 기반 CNN 모델의 분류 성능을 정확도

(Accuracy), 정밀도(Precision), 재현율(Recall), F1-점수를 기준으로 비교한 결과를 제시한다. 세 번의 교차 검증 결과, 슈퍼픽셀 기반 CNN 모델은 평균 정확도 0.7435로 원본 이미지 기반 모델의 0.732보다 다소 우수한 성능을 보였다. 이는 슈퍼픽셀 분할 기법이 이미지 내 구조적 특징을 보다 효과적으로 보존하고, 동시에 불필요한 노이즈를 감소시킴으로써, 전체적인 분류 성능 향상에 기여했음을 시사한다.

정밀도는 두 모델 모두 평균 0.837로 동일하게 나타났으나, 재현율과 F1-점수에서는 슈퍼픽셀 기반 모델이 각각 0.650, 0.643으로, 원본 이미지 기반 모델의 0.647, 0.633에 비해 소폭 우수한 성능을 보였다. 이는 슈퍼픽셀 접근법이 범주 간 균형 잡힌 예측 성능을 제공할 수 있음을 의미한다.

특히, 정상(Normal)과 폐렴(Pneumonia) 범주에 대한 세부 성능을 분석 결과, 원본 이미지 기반 모델은 정상 범주에서 상대적으로 높은 정밀도를 나타낸 반면, 슈퍼픽셀 기반 모델은 폐렴 범주에서의 더 높은 재현율을 보였다. 이는 슈퍼픽셀 기반 접근법이 폐렴 환자의 검출 성능을 향상시키는 데 효과적일 수 있음을 의미하며, 민감한 진단이 요구되는 의료 이미지분야에서 보다 균형 잡힌 분류 모델을 설계하는 데 유용하게 활용될 수 있다.



[그림 1] 학습 곡선

[Fig. 1] Learning Curve

[그림 1]은 원본 이미지 기반 CNN 모델과 슈퍼픽셀 기반 CNN 모델 각각에 대해 3-겹 교차 검

증 과정 중 하나의 폴드에 해당하는 학습 정확도 및 손실 함수 변화 추이를 보여준다. 전반적으로 두 모델 모두 학습 정확도는 빠르게 증가한 후 일정 수준에서 수렴하며, 검증 정확도 역시 유사한 경향을 나타낸다. 특히 슈퍼픽셀 기반 모델의 경우, 학습과 검증 정확도 간 차이가 상대적으로 작고 손실 함수의 진폭 또한 안정적으로 유지되어 과적합의 위험이 낮은 것으로 해석할 수 있다. 이와 같은 학습 곡선은 슈퍼픽셀 기반 모델이 일반화 성능 측면에서 보다 안정적인 특성을 갖고 있음을 시사한다.

4. 결론

최근 RPA는 금융, 보험, 인사 관리, 회계, 제조, 공급망 운영, 정보기술 관리, 고객 지원 등 여러 산업 영역에서 광범위한 영향을 미치고 있으나, 인공지능을 융합한 IPA에 대한 연구는 여전히 초기 단계에 머물러 있다. 본 연구는 흉부 X-레이 영상에서 폐렴을 분류하기 위해 CNN 기반 이미지 분류 시스템을 설계하고, 원본 이미지 기반 모델과 슈퍼픽셀 기반 모델의 성능을 비교하였다.

주요 성과는 다음과 같다. 첫째, 슈퍼픽셀 기반 CNN 모델은 원본 이미지 기반 모델보다 높은 테스트 정확도를 기록하였으며, 이는 의료 이미지의 구조적 특징을 보존하면서도 노이즈를 효과적으로 감소시킨 결과로 해석할 수 있다. 둘째, 슈퍼픽셀 기반 모델은 재현율과 F1-점수에서 소폭 우위를 보였으며, 특히 폐렴 클래스에서 높은 재현율을 기록해 균형 잡힌 분류 성능과 신뢰도를 시사한다. 셋째, 학습 수렴 속도와 검증 정확도 측면에서도 슈퍼픽셀 기반 모델이 더 안정적인 특성을 나타냈으며, 이는 슈퍼픽셀 표현이 노이즈에 강건한 학습을 가능케 했음을 시사한다.

이러한 결과는 슈퍼픽셀 기반 CNN이 흉부 X-레이 영상의 폐렴 분류에 효과적인 접근법임을 보여준다. 비즈니스 관점에서, 본 연구의 이미지 분석 기술이 진단 정확도를 향상시킴으로써 의료기관의 운영 효율성 증대 [14], 진단 비용 절감 [15], 환자 대기 시간 감소 [16] 등 다각도의 경제적 가치를 창출할 수 있다.

그럼에도 불구하고, 본 연구에는 향후 보완이 필요한 몇 가지 한계가 존재한다. 첫째, 본 연구는 단일 CNN 모델만을 활용하였기 때문에 ResNet, DenseNet 등 다양한 딥러닝 모델들과의 비교를 통해 일반화 가능성을 확보할 필요가 있다. 둘째, 현재 슈퍼픽셀의 평균값만 사용하였으나, 향후에는 텍스처, 경계 정보, 슈퍼픽셀 크기 등 다양한 특징을 추출하여 모델 입력에 반영하는 방안이 고려될 수 있다. 셋째, 폐렴 관련 특징이 강하게 나타나는 슈퍼픽셀의 중요도를 반영하여 해당 영역에 가중치를 부여하는 방식도 향후 모델 개선에 기여할 수 있다. 끝으로, 본 연구는 컴퓨팅 자원의 제약으로 인해 3-겹 교차 검증만을 실시하였으나, 보다 강건한 평가를 위해 5-겹 또는 10-겹 교차 검증의 적용이 바람직하다.

References

- [1] W. S. Lee, "Classification of technology patents using BERT", *Journal of Next-generation Convergence Information Services Technology*, vol. 13, no. 2, April 2024, pp. 277-285, doi: 10.29056/jncist.2024.04.12.
- [2] T. -I. Kim, J. -G. Kim, "A Study on the Impact and Response of RPA Adoption to the Customs Broker Industry in the Future", *The Journal of Korea Research Society for Customs*, vol. 21, no. 3, August 2020, pp. 43-66.
- [3] H. Y. Jung, "Advanced Medical Imaging Diagnostic Equipment: Enhancement of Medical Imaging Diagnostic Services", NICE D&B Co., Ltd., Seoul, South Korea, Rep. Industry 2021-01, June 2021. [Online]. Available: <https://ssl.pstatic.net/imgstock/upload/research/industry/1622764874993.pdf>.
- [4] Z. Zhou, Y. Chen, F. Huang, Y. Feng, M. Aibin, "Medical Imaging RPA System Design", 2023 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2023), September 24-27, 2023, Regina, Saskatchewan, Canada, pp. 192-197.
- [5] W. -L. Huang, S. -L. Liao, H. -L. Huang, Y. -X. Su, J. -S. Jerng, C. -Y. Lu, W. -S. Ho, J. -R. Xu, "A case study of lean digital transformation through robotic process automation in healthcare", *Scientific Reports*, vol. 14, June 2024, doi: 10.1038/s41598-024-65715-9.
- [6] N. Deo, A. Anjankar, "Artificial Intelligence With Robotics in Healthcare: A Narrative Review of Its Viability in India", *Cureus*, vol. 15, no. 5, May 2023, doi: 10.7759/cureus.39416.
- [7] P. Nimkar, D. Kanyal, S. R. Sabale, "Increasing Trends of Artificial Intelligence With Robotic Process Automation in Health Care: A Narrative Review", *Cureus*, vol. 16, no. 9, September 2024, doi: 10.7759/cureus.69680.
- [8] J. Oh, C. Park, H. Lee, B. Rim, Y. Kim, M. Hong, J. Lyu, S. Han, S. Choi, "OView-AI Supporter for Classifying Pneumonia, Pneumothorax, Tuberculosis, Lung Cancer Chest X-ray Images Using Multi-Stage Superpixels Classification", *Diagnostics*, vol. 13, no. 9, April 2023, pp. 1-16, doi: 10.3390/diagnostics13091519.
- [9] S. Singh, M. Kumar, A. Kumar, B. K. Verma, K. Abhishek, S. Selvarajan, "Efficient pneumonia detection using Vision Transformers on chest X-rays", *Scientific Reports*, vol. 14, January 2024, doi: 10.1038/s41598-024-52703-2.
- [10] A. Mabrouk, R. P. Díaz Redondo, A. Dahou, M. Abd Elaziz, M. Kayed, "Pneumonia Detection on Chest X-ray Images Using Ensemble of Deep Convolutional Neural Networks", *Applied Sciences*, vol. 12, no. 13, June 2022, doi: 10.3390/app12136448.
- [11] A. Krizhevsky, I. Sutskever, G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks", *Communications of the ACM*, vol. 60, no. 6, May 2017, pp. 84-90, doi: 10.1145/3065386.
- [12] J. Ko, D. Lee, "Enhancement of Region of Interest Using Superpixel-Based Feature Matching", *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 27, no. 11, November 2024, pp. 1289-1297, doi: 10.9717/kmms.2024.27.11.1289.
- [13] W. Lee, Y. J. Lee, "Classification of technology patents using natural language processing and machine

- learning models”, *Journal of Next-generation Convergence Information Services Technology*, vol. 13, no. 1, February 2024, pp. 93-102, doi: 10.29056/jncist.2024.02.09.
- [14] M. Khalifa, M. Albadawy, “AI in diagnostic imaging: Revolutionising accuracy and efficiency”, *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, vol. 5, March 2024, pp. 1-12, doi: 10.1016/j.cmpbup.2024.100146.
- [15] P. Bharadwaj, L. Nicola, M. Breau-Brunel, F. Sensini, N. Tanova-Yotova, P. Atanasov, F. Lobig, M. Blankenburg, “Unlocking the Value: Quantifying the Return on Investment of Hospital Artificial Intelligence”, *Journal of the American College of Radiology*, vol. 21, no. 10, October 2024, pp. 1677-1685, doi: 10.1016/j.jacr.2024.02.034.
- [16] X. Li, D. Tian, W. Li, B. Dong, H. Wang, J. Yuan, B. Li, L. Shi, X. Lin, L. Zhao, S. Liu, “Artificial intelligence-assisted reduction in patients' waiting time for outpatient process: a retrospective cohort study”, *BMC Health Services Research*, vol. 21, March 2021, doi: 10.1186/s12913-021-06248-z.