

# 자기 지도 학습 기반 환편기 원단 결함 실시간 고속 탐지 시스템 개발

김다현, 황병일, 황도경, 김호연, 권현섭, 이창엽, 안서희, 김동주, 서영주

포항공과대학교 인공지능연구원

[kdhyun8011@postech.ac.kr](mailto:kdhyun8011@postech.ac.kr), [bihwang@postech.ac.kr](mailto:bihwang@postech.ac.kr), [dokyung@postech.ac.kr](mailto:dokyung@postech.ac.kr),  
[ghdus566@postech.ac.kr](mailto:ghdus566@postech.ac.kr), [kert06@postech.ac.kr](mailto:kert06@postech.ac.kr), [lcy8417@postech.ac.kr](mailto:lcy8417@postech.ac.kr), [seohee6544@postech.ac.kr](mailto:seohee6544@postech.ac.kr),  
[kkb0320@postech.ac.kr](mailto:kkb0320@postech.ac.kr), [yjsuh@postech.ac.kr](mailto:yjsuh@postech.ac.kr)

## Development of a Real-time High-speed Detection System for Circular Knitting Machine Woven Fabric Defect Based on Self-Supervised Learning

Kim Da Hyun, Hwang Byeong Il, Hwang Do Kyung, Kim Ho Yeon, Kwon Hyun Seob, Lee

Chang Yeop, Ahn Seo Hee, Kim Dong Ju

POSTECH Institute of Artificial Intelligence

### 요약

환편기란 바늘이 원형으로 배열되어 회전하며 방직물은 편직하는 위편기의 범주에 속하는 기계를 일컫는다. 이러한 환편기는 먼지, 벌레 등의 외부적 요인 또는 소모품의 노후화 등의 구조적 결함으로 인해 생산 방직물에 결함이 종종 발생한다. 방직물의 결함은 발생 후 원인이 해결되기 전까지 지속될 수 있다. 또한 초당 수십 RPM의 빠른 속도로 방직물이 생산되기에 결함을 즉시 탐지해 시스템을 중단하지 못할 경우 경제적 손실이 발생한다. 하지만 방직물에 발생한 결함을 탐지하기 위해서는 육안으로 검사할 수밖에 없어 작업자의 피로도가 높은 실정이다. 또 원단의 종류가 다양하고 한 원단에 발생할 수 있는 결함 종류가 수백 가지 이상이며 각 결함의 패턴의 편차가 커 이를 광범위하게 대응할 수 있는 기술 개발이 어렵다. 더해서 환편기 공간 확보가 어려운 바, 고성능의 PC를 활용하기 어려워 빠른 속도로 생산되는 원단에 대해 실시간 결함 탐지가 가능한 저연산 고성능의 시스템이 필요하다. 본 연구에서는 환편기 내 설치한 카메라에서 얻은 원단 이미지를 기반으로 정상 원단 데이터만으로 자기 지도 학습하여 고속으로 실시간 원단 이상 검출이 가능한 딥러닝 시스템을 개발했다. 개발 모델은 AUROC 99.86의 우수한 이상 탐지 성능을 보였으며 추론 속도 또한 180FPS로 우수함을 보였다. 본 연구를 통해 방직물 생산 과정에서 자동 원단 결함 검출을 통해 작업자 피로 감소 및 경제적 손실을 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다.

### I. 서론

환편기란 원형으로 배열된 바늘이 회전하며 방직물을 편직하는 기계를 의미한다. 이는 노후화 등으로 부품에 미세 결함이 발생하거나 벌레 사체 등의 외부적인 요인에 의해 원단에 결함이 발생할 수 있다. 원단 결함은 원인이 해소되기 전까지 계속 지속될 수 있어 조기에 발견되지 못할 경우 결함 발생 시점부터 제작된 모든 원단을 폐기하게 된다. 이에 따라 경제적 손실을 초래할 수 있으며 이를 방지하기 위해서는 작업자의 육안검사에만 의존해 피로도가 높은 실정이다. 따라서 경제적 손실과 생산 공정에서의 작업자 피로도를 최소화하기 위해 자동화된 원단 결점 검출 및 공정 중 지 시스템이 필요하다. 그러나 환편기는 여러 종류의 원단을 생성하고 원단에서 발생할 수 있는 결함의 종류가 수백 가지 이상이며 같은 결함에서도 패턴의 편차가 커 각 결함 데이터셋을 구축하기 어렵다. 이에 객체 검출 등의 딥러닝 모델만으로는 대응이 불가하다. 더해서 환편기는 초당 수십 RPM의 빠른 속도로 원단을 제작하고 비용 및 공간의 문제로 고성능 PC 활용이 어렵다. 그래서 고속 처리가 가능한 저연산 고성능의 딥러닝 AI 결함 탐지 모델 개발이 필요하다. 본 논문에서는 환편기 내에 원단을 촬영할 수 있는 카메라를 설치해 센싱한 원단 이미지를 기반으로 높은 성능의 고연산 원단 결함 탐지 시스템을 구축하였다. 해당 모델은 정상 이미지만을 기반으로 자기 지도 학습(Self-Supervised Learning)하여 이상 상황을

탐지뿐 아니라 이상맵(Anomaly Map) 생성을 통해 결함 위치를 특정할 수 있어 수많은 종류의 원단과 결함에 대응할 수 있다. 더불어 생산 원단 변경 시 최초의 정상 데이터만을 취득 후 모델을 학습시킨 뒤 적용이 가능해 높은 범용성을 보인다. 이 모델은 AUROC 99.86의 우수한 탐지 성능과 NVIDIA RTX2080 Super GPU에서 180FPS의 빠른 추론 속도를 보임으로써 실시간 고속 결함 검출이 가능한 시스템을 구축하였다.

### II. 관련 연구

#### 1. 원단 결함 검출 관련 연구

원단 결함 검출은 주로 RGB 카메라에서 센싱된 이미지에 딥러닝 기반 알고리즘을 적용한다. 딥러닝 모델은 객체 검출과 분류 모델을 활용한 검출을 주로 사용한다[1,2]. 객체 검출 모델은 원단의 결함 위치 좌표를 특정하고 해당 좌표의 결함 종류를 파악하기에 많은 연산량을 요구한다. 분류 모델은 단순히 입력 사진에 포함된 결함 종류를 구분하기에 비교적 연산량은 적으나 두 방식 모두 결함에 대한 라벨(Label) 정보가 필요하다. 따라서 수많은 원단 종류와 결함 패턴에 대응하기 위해서는 결함별 대규모 데이터가 구축되어야 해 실제 공정에 적용되기 부적합하다. 이에 다수의 원단 및 결함을 모두 포괄할 수 있으며 연산량을 줄일 수 있는 새로운 방법이 필요하다.

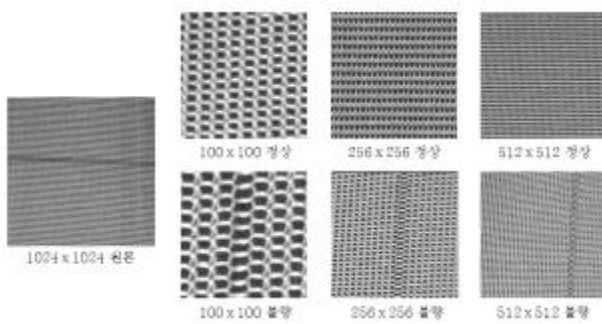
## 2. 딥러닝 기반 이상 탐지 모델

제조 공정에 범용적으로 적용되는 비전 기반 딥러닝 이상 탐지 모델의 경우 원단 결함 검출과 마찬가지로 다양한 제조품과 결함 유형에 대응하기 위해 자기 지도 학습 기반의 정상 데이터 기반 이상 탐지 및 이상 위치 구획화(Segmentation)를 수행한다. 이 중 저연산에 특화된 모델로는 EfficientAD(이하 Eff-AD)와 MSFlow가 있다[3,4]. 특히 Eff-AD의 경우 지식증류(Knowledge Distillation) 기법을 적용해 무거운 모델의 성능을 유지하며 경량화에 추론 속도를 높였다. 그러나 이러한 모델 중 원단 결점 검출을 위한 모델은 부재해 관련 연구가 필요한 실정이다.

## III. 실험

### 1. 원단 이미지 데이터셋

환편기 내부에 설치된 카메라로부터 한 종류의 원단에 대해 1024×1024 해상도의 이미지를 취득하여 가장 패턴과 결함이 잘 보이는 이미지 크기를 비교하여 찾아내었다. 비교 결과 100×100 크기의 이미지가 가장 원단의 패턴을 볼 수 있어 해당 크기로 잘라내었다. 이후 실제 구동중인 환편기에서 해당 크기의 이미지를 정상 25,590건, 불량 2,665건 수집하였다. [그림 1]은 원본 이미지를 각 해상도 별로 자른 원단 이미지를 보인다.



[그림 1] 특정 크기로 잘린 해상도별 원단 이미지

### 2. 모델 학습 및 결과 분석

취득된 정상 데이터 중 정상 데이터 중 22,390건을 비복원 랜덤 추출하여 학습 데이터셋을 구축하였으며 남은 2,660건과 불량 데이터 2,665건을 테스트셋으로 사용하였다. 학습 데이터셋을 저연산 고성능 중심 이상 탐지 모델인 Eff-AD와 MSFlow 각각에 학습시켜 AUROC와 FPS를 중심으로 탐지 성능과 추론 속도를 비교 분석하였다. 추론 속도는 NVIDIA RTX 2080 Super GPU에서 측정되었다. [표 1]은 Eff-AD와 MSFlow 각 모델의 테스트 데이터셋에 대한 AUROC 성능과 FPS를 보인다.

[표 1] Eff-AD 및 MSFlow의 이상 탐지 및 추론속도 성능

모델명	Eff-AD	MSFlow
AUROC	99.87	99.86
FPS	100	180

AUROC 수치는 Eff-AD가 0.01 높으나 MSFlow의 추론 속도가 180FPS로 Eff-AD에 비해 월등히 높은 것으로 확인되었다. 추가로 두 모델에서 생성된 이상맵과 이를 기반으로 한 원단 결함 위치 추정 성능을 정성적 비교를 통해 우수한 모델을 찾고자 하였다. [표 2]는 정상 데이터만으로 학습된 Eff-AD와 MSFlow 모델에 정상과 불량 원단 이미지를 각각 입력하여 생성된 이상맵과 이를 기반으로 결함 영역 구획화를 진행한 것이다.

[표 2] Eff-AD와 MSFlow의 이상맵 및 구획화 결과

유형	원본	이상맵		결함 영역 구획화	
		Eff-AD	MSFlow	Eff-AD	MSFlow
정상					
불량					

위 결과에서 두 데이터 모두 불량 영역에 대한 이상맵을 잘 생성하였음을 확인할 수 있다. 정상 데이터의 경우 Eff-AD의 이상맵이 MSFlow에 비해 훨씬 이상 영역으로 해석될 수 있는 영역이 적으나 적절한 임계치를 설정할 경우 이상 여부 판단에 큰 영향을 미치지 않는다. 이상맵 기반의 결함 영역 구획화는 MSFlow가 Eff-AD에 비해 더 넓은 영역으로 추론하며 모든 결함 영역을 포함하는 것을 확인할 수 있다. 또한 Eff-AD의 구획화 결과는 결함 영역이 아닌 부분을 작은 영역으로 구획화하여 다소 성능이 떨어짐이 확인되었다. 두 모델의 이상 탐지 성능 차이가 미세하고 MSFlow의 추론 속도가 월등히 높으며 결함 영역 구획화 성능이 더 좋은 바, MSFlow가 원단 결함 검출에 더 적합함을 확인하였다.

## IV. 결론

본 논문에서는 빠른 속도로 원단을 생산하는 환편기에서 발생하는 원단 결함 검출에 적합한 시스템을 개발하였다. 시스템은 다양한 원단 종류와 결함 종류에 유연하게 적용될 수 있도록 자기 지도 학습 기반의 이상 탐지 딥러닝 모델을 통해 구축되었다. 추가적으로 빠른 원단 생산에 대응하기 위해 고속의 추론 속도를 지닌 모델을 구축하였다. 본 연구를 통해 원단 생산 과정에서 작업자의 피로도와 경제적 손실이 최소화되기를 기대한다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2022R1A6A1A03052954)

## 참고 문헌

- [1] 김도녕, 장오태, 김성호. (개최날짜). 염색원단 불량 검사를 위한 실시간 딥러닝 검출기. 제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집, 개최지.
- [2] Gopalakrishnan, K., & Vanathi, P. T. (2021, April). Fabric Defect Detection Using Deep Learning Techniques. In International Conference on Ubiquitous Computing and Intelligent Information Systems (pp. 101-113). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [3] Batzner, K., Heckler, L., & König, R. (2024). Efficientad: Accurate visual anomaly detection at millisecond-level latencies. In Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (pp. 128-138).
- [4] Zhou, Y., Xu, X., Song, J., Shen, F., & Shen, H. T. (2023). MSFlow: Multi-Scale Flow-based Framework for Unsupervised Anomaly Detection. arXiv preprint arXiv:2308.15300.