

## 재실자 맞춤형 열환경 제어를 위한 DeepFace 적용

## Application of DeepFace for the personalized thermal environment control of occupants

○윤 지 영\* 이 혜 원\*\* 최 은 지\*\*\* 박 보 랑\*\*\* 문 진 우\*\*\*\*  
Ji Young Yun Hae Won Lee Eun Ji Choi Bo Rang Park Jin Woo Moon

## Abstract

This study proposes a method for analyzing occupant age and gender using DeepFace and assigning individual identification (ID) for the personalized indoor thermal environment control. To enhance age estimation accuracy, additional training was conducted to improve performance for Asian individuals. The model achieved 97% of accuracy on validation data without overfitting. The individual ID system ensured consistent occupant ID, across repeated detections. However, challenges remain in distinguishing individuals with similar facial features and handling partial occlusions. Future research should focus on improving recognition accuracy under varying lighting conditions and viewing angles. This approach is expected to contribute to more precise occupant-centric thermal control, optimizing both comfort and energy efficiency.

키워드 : 재실자 중심 제어, DeepFace, 나이, 성별, 열쾌적

Keywords : Occupant-centric control, DeepFace, Age, Gender, Thermal comfort

## 1. 서론

실내 열환경의 부적절한 관리는 재실자에게 열 스트레스, 심혈관 및 호흡기 질환 등을 유발하며, 이는 재실자의 작업 효율성과 삶의 질에 영향을 미칠 수 있다(Flores-Larsen & Filippin, 2021). 따라서 쾌적한 실내 환경 조성을 위한 실내 열환경 관리는 건물 운영에서 필수적이다. 재실자가 느끼는 열환경은 물리적 환경 요소뿐만 아니라 착의량, 활동량, 성별, 나이 등 개별 정보의 영향을 받음에도 불구하고, 기존의 실내 환경 제어 방식은 이를 충분히 반영하지 못한 채 단순한 설정 온도를 기반으로 제어되는 한계가 있다.

이러한 한계를 보완하기 위해, 최근에는 재실자 정보를 실시간으로 산출하고 이를 실내 환경 제어에 반영하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. Choi et al.(2024)는 실시간으로 재실자의 활동량과 착의량을 산출한 후, PMV 기반 제어 모델을 활용하여 이를 제어에 반영함으로써 열쾌적성을 향상시키고 불필요한 에너지 소비를 절감하는 효과를

확인하였다. 그러나 성별, 나이와 같은 재실자의 개별 특성이 열쾌적에 영향을 미친다는 연구 결과가 보고되었지만(Zhuang et al., 2024), 이를 실내 열환경 제어에 적용한 연구는 미흡하다.

본 연구는 DeepFace 기술을 활용하여 재실자의 성별과 나이를 분석하고, 개별 관리를 위한 고유 ID를 부여하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 재실자 맞춤형 실내 열환경 제어를 위한 개별 정보 산출 기술을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

## 2.1 재실자 고유 ID 부여 프로세스

본 연구에서는 개별 재실자의 성별과 나이를 산출하고, 얼굴 식별을 통해 고유 ID를 부여하는 과정을 표1과 같이 제안하였다. 이를 위해 다양한 얼굴 인식 모델을 통합적으로 지원하는 DeepFace 라이브러리를 활용하였다. DeepFace는 딥러닝 기반 얼굴 인식 프레임워크로, FaceNet, ArcFace, VGG-Face, OpenFace, DeepID 등의 대표적인 얼굴 임베딩 모델을 포함하며, 입력된 얼굴 이미지로부터 성별과 연령을 예측하고 동일 인물을 식별하는 기능을 제공한다.

제안된 프로세스는 다음과 같다. Step 1에서는 실내 CCTV 등에서 수집된 이미지나 영상에서 재실자의 얼굴을 감지한다. Step 2에서는 감지된 얼굴 이미지를 바탕으로 개별 재실자의 나이와 성별을 산출한다. Step 3에서는 앞 단계에서 얻은 정보를 활용하여 재실자마다 고유 ID를 부여한다.

\* 중앙대학교 대학원 박사과정

\*\* 중앙대학교 대학원 석사과정

\*\*\* 중앙대학교 건축학과 연구교수, 건축학박사

\*\*\*\* 중앙대학교 건축학과 교수, 공학박사

표1. 재실자 고유 ID 부여 프로세스

Steps	Process
Step 1	재실자 얼굴 감지
Step 2	재실자 나이, 성별 산출
Step 3	재실자 고유 ID 부여

### 2.2 나이 산출 모델 학습

Step 2에서는 재실자의 나이 및 성별을 산출하였다. 성별 분석에서는 기존 모델이 비교적 높은 정확도를 보였으나, 나이 예측에서는 아시아인의 경우 상대적으로 낮은 정확도를 나타내는 한계가 있었다. 이는 DeepFace가 주로 서구권 인물 데이터를 기반으로 학습되었기 때문으로 판단된다.

따라서 Step 2에서의 나이 예측 성능을 향상시키기 위해 추가 학습을 진행하였다. 나이 범위를 0세부터 100세까지 총 101개의 클래스로 분류하였으며, 이를 위해 직접 사진을 촬영하거나 인터넷 검색을 통해 총 2,492장의 얼굴 이미지를 수집하였다. 수집된 데이터는 얼굴 정렬 및 전처리 과정을 거친 후, 기존 모델의 성능을 개선하기 위해 재학습을 수행하였다.

### 3. 학습 결과 및 재실자 ID 생성

#### 3.1 나이 산출 모델 학습 결과

수집된 데이터셋은 훈련(train) 70%, 검증(validation) 15%, 테스트(test) 15%의 비율로 분할하였다. 모델 학습에는 Adam optimizer (learning rate=0.0001)를 사용하였으며, 손실 함수로 categorical cross-entropy를 적용하였다. 또한, 학습 안정성을 높이기 위해 Early Stopping 기법을 적용하여 검증 손실이 5 epoch 연속 감소하지 않을 경우 학습을 조기 종료하도록 설정하였다.

학습 결과, Weight & Biases 로그를 통해 학습 정확도 0.95, 학습 손실 0.16, 검증 정확도 0.97, 검증 손실 0.14의 성능을 확인하였다(그림1). 학습 데이터에서 높은 정확도를 보였을 뿐만 아니라 검증 데이터에서도 97%의 정확도를 기록하며 과적합 없이 안정적인 성능을 보였음을 확인하였다.

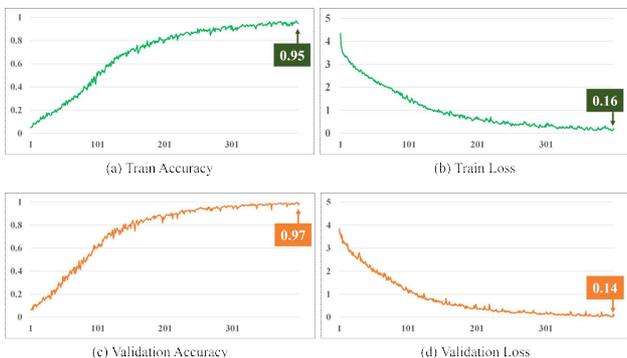


그림1. 나이 산출 모델 학습 성능 지표

### 3.2 재실자 고유 ID 부여

Step 3에서는 분석된 나이 및 성별 정보를 바탕으로 재실자에게 고유 ID를 부여하였다(표2). DeepFace의 얼굴 식별 기능을 활용하여 동일 인물에 대해 고유한 ID를 생성하였으며, 반복적으로 인식될 경우에도 일관된 ID가 유지됨을 확인하였다.

또한, 예시 이미지를 통해 개별 ID가 정상적으로 부여되는지를 검토하였으며, 다만 얼굴이 부분적으로 가려진 경우나 유사한 외모를 가진 재실자 간의 구별 성능 향상이 필요함을 확인하였다.

표2. 재실자 고유 ID 부여 예시

Result			
Prediction	Woman, 30yrs	Man, 50yrs	Woman, 29yrs
Actual	Woman, 32yrs	Man, 52yrs	Woman, 29yrs

### 4. 결론

본 연구에서는 DeepFace를 활용하여 재실자의 나이 및 성별을 분석하고, 고유 ID를 부여하는 방안을 제안하였다. 나이 산출 모델을 추가 학습하여 아시아인을 대상으로 한 성능을 개선하였으며, 동일 인물에 대해 일관된 ID가 유지됨을 확인하였다. 향후 연구에서는 다양한 조명 환경 및 각도에서의 인식 성능을 검증하고, 유사한 외모를 가진 재실자간의 구별 성능을 향상하는 것이 필요하다. 이를 통해 보다 정밀한 재실자 맞춤형 열환경 제어가 가능할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- Flores-Larsen, S., & Filippín, C. (2021). Energy efficiency, thermal resilience, and health during extreme heat events in low-income housing in Argentina. *Energy & Buildings*, 231, 110576. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110576>
- Choi, E. J., Yun, J. Y., Choi, Y. J., Seo, M. C., & Moon, J. W. (2024). Impact of thermal control by real-time PMV using estimated occupants personal factors of metabolic rate and clothing insulation. *Energy & Buildings*, 307, 113976. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113976>
- Zhuang, Z., Luo, M., Wang, Z., Zhu, Y., & Lin, B. (2024). Sensitivity of human thermal comfort benchmarks to background temperature and individual factors: An empirical study in Wuhan, China. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4997530>
- Serengil, S. (n.d.). DeepFace: A lightweight face recognition and facial attribute analysis framework. GitHub. <https://github.com/serengil/deepface>