

2025 SW중심대학 우수작품 경진대회 예선 보고서

rMind : 카메라 기반 비접촉식 면접 반응 분석 플랫폼



팀 명	심쿵단
조원	32200584 김민중
	32210799 김수진
	32202136 서범석
	32204012 전해림

1. 서론

현대 사회에서 면접은 학업, 취업, 장학금 심사 등 다양한 상황에서 개인의 능력과 태도를 종합적으로 평가하는 핵심 절차로 자리 잡고 있다. 특히, 면접자의 **비언어적 표현**(표정, 시선, 제스처 등)은 언어적 응답 못지않게 평가자의 인상 형성에 큰 영향을 미친다.¹ 실제로 언어적 요소만으로는 면접자의 긴장도나 태도를 충분히 파악하기 어렵고, 비언어적 반응이 평가의 중요한 단서가 된다.²

그러나 대부분의 면접 준비자들은 자신이 면접 중 어느 시점에서 긴장하거나 위축되는지 명확히 인지하지 못하며, 이를 개선할 기회도 충분히 확보하지 못한다. 기존의 면접 피드백 방식은 주관적인 코칭에 의존하는 경우가 많아 비용 부담과 접근성의 한계가 존재한다. 또한 **기존 시스템은 주로 언어적 응답이나 면접 전반의 흐름에 집중**하는 경우가 많아, 생리적 반응과 행동 데이터를 기반으로 한 정량적 피드백은 부족한 실정이다.

이에 본 프로젝트는 비접촉식 생체 신호 분석 기술인 **rPPG(remote photoplethysmography)**를³ 활용하여 면접자의 긴장 반응을 정량적으로 추출하고⁴, 이를 기반으로 시선 및 제스처 분석, 긴장 곡선 시각화, 개인별 피드백 제공이 가능한 **면접 반응 분석 플랫폼**을 제안한다. 사용자는 영상을 업로드하는 것만으로 자동 분석 결과를 확인할 수 있으며, 결과는 그래프와 이미지 형태로 시각화되어 자기주도적 학습과 반복 훈련에 활용될 수 있다.

본 프로젝트는 모바일 앱 기반의 사용자 인터페이스와 FastAPI 서버 기반의 영상 분석 백엔드를 연동하여, rPPG 기반 **심박 분석, 눈 깜빡임 측정, 얼굴 움직임 분석의 세 가지 핵심 기능**을 통합적으로 구현하였다. 이를 통해 면접자가 스스로 자신의 비언어적 반응을 인지하고 개선할 수 있는 환경을 제공하고자 하며, 보고서에서는 제안된 시스템의 기술적 구성, 구현 방식, 주요 성과와 향후 발전 가능성에 대해 논의한다.

¹ Mehrabian, A. (1972). *Nonverbal communication*. Routledge.

² Taelman, J., Vandeput, S., Spaepen, A., & Van Huffel, S. (2009). Influence of mental stress on heart rate and heart rate variability. In J. Vander Sloten, P. Verdonck, M. Nyssen, & J. Haueisen (Eds.), *4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering* (Vol. 22, pp. 1366–1369).

³ Guler, S., Golparvar, A., Ozturk, O., Dogan, H., & Yapici, M. K. (2023). Optimal digital filter selection for remote photoplethysmography (rPPG) signal conditioning. *Physiological Measurement*, 44(2), 025006. IOP Publishing.

⁴ 장은혜, 김아영, & 유한영. (2018). 스트레스에 대한 심리 반응 유형과 심박변이도의 관련성. *감성과학*, 27(1), 71–82.

2. 배경 및 관련 연구

2.1 기존 시스템의 한계

기존의 비접촉식 생체신호 분석 기술과 면접 피드백 시스템은 여러 측면에서 제약이 존재한다. 이러한 한계는 실제 면접과 같은 복합적 상황에서 안정적이고 종합적인 피드백을 제공하는 데 어려움을 야기한다.

2.1.1 잡음 및 신호 품질 저하와 움직임 취약성

rPPG 기술은 얼굴 영상의 미세한 색상 변화를 기반으로 심박 신호를 추출하기 때문에 조명 변화, 영상 압축, 머리 움직임 등에 민감하다. 이로 인해 신호가 왜곡되거나 정확도가 저하되며, 얼굴이 가려지거나 측면으로 돌아간 경우에는 신뢰도가 크게 떨어진다. 또한 사용자의 자세 변화나 신체 움직임이 많을 경우 잡음이 증가하여 데이터 품질이 불안정해지고, 이는 비접촉식 rPPG뿐 아니라 웨어러블 기반 장치에서도 동일하게 나타나는 한계이다.

2.1.2 기존 면접 피드백 시스템의 한계

현재의 AI 면접 시스템은 대부분 답변 내용과 언어적 표현에 초점을 맞춘 피드백을 제공한다. 예를 들어 인터뷰미나 Google Warmup과 같은 서비스들은 주로 응답의 적절성이나 언어적 완성도를 평가하는 데 집중한다. 그러나 실제 면접에서는 표정, 시선, 제스처와 같은 비언어적 반응이 평가에 중요한 영향을 미치지만, 이러한 요소는 충분히 분석되지 못하고 있다. 또한 면접자가 어떤 질문에서 긴장했는지 스스로 인지하기 어렵고, 반복적인 자기주도 훈련을 지원하는 구조도 부족하여 장기적인 개선으로 이어지기 힘들다는 한계가 있다.

2.1.3 심박 외 추가 정보 부족

대부분의 기존 비접촉식 시스템은 심박수 측정에 국한되어 있으며, 눈 깜빡임이나 얼굴 움직임과 같은 다양한 비언어적 행동 데이터를 포괄하지 못한다. 이로 인해 종합적인 반응 분석과 정량적 피드백 제공에는 구조적 한계가 존재한다.

2.2. 주요 기술 개요

본 프로젝트는 카메라 기반의 비접촉식 생체신호 분석 기술인 Remote Photoplethysmography (rPPG)를 중심으로 구성되어 있으며, 이를 토대로 면접자의 **긴장도 및 비언어적 반응을 정량적으로 측정**하고 시각화하는 것을 핵심 목표로 한다. 이를 위해 구현된 시스템은 크게 (1) 심박수 신호 추출 단계와 (2) 심박수 계산 및 시각화 단계로 구성되며, 각각의 단계에서 신호처리 및 컴퓨터 비전 기법이 통합적으로 사용된다.

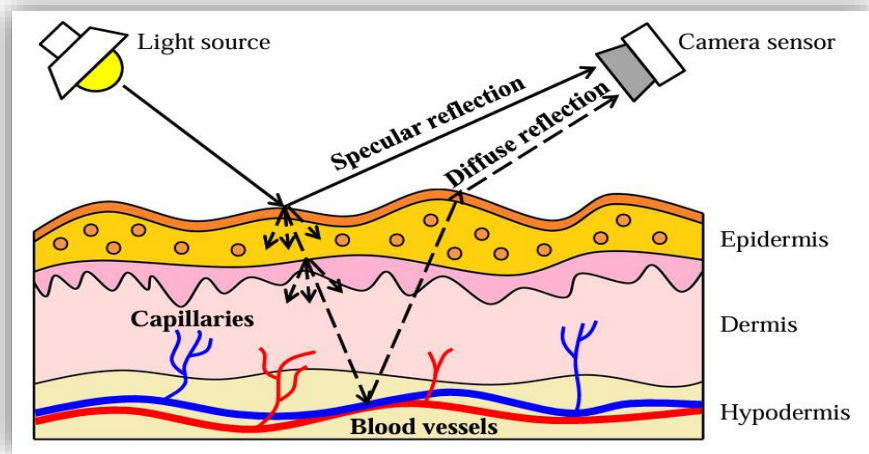


Fig 1. Skin reflection model illustration

rPPG 기술 개요

rPPG는 피사체의 얼굴 표면에서 반사되는 미세한 색상 변화를 영상으로 포착하고, 이를 통해 심박에 따른 혈류 변화를 비접촉 방식으로 측정하는 기술이다. 이러한 기술은 피부 조직의 확산 반사(diffuse reflection)로부터 혈액량의 변화를 감지하며, 특히 **G(Green) 채널의 색 변화**가 헤모글로빈의 광흡수 특성상 심박수 추정에 가장 민감하게 반응하는 것으로 알려져 있다.

본 프로젝트에서는 해당 원리를 기반으로 아래와 같은 구성의 rPPG 분석 파이프라인을 구현하였다:

2.2.1. 데이터 수집 및 전처리

Haar Cascade 기반 얼굴 검출 후, **BGR 채널의 프레임별 평균값**을 추출하며, 동시에 dlib 기반의 얼굴 랜드마크 모델로 눈 영역을 추적하여 눈 깜빡임 횟수도 병렬적으로 수집한다.

이 값들은 시간 순으로 정렬되어 CSV 형식으로 저장되며, 이후 심박 추정의 입력 데이터로 사용된다.

2.2.2. rPPG 신호 추출 단계

본 시스템은 세 가지 대표적인 rPPG 알고리즘을 구현하였다:

- **CHROM (Chrominance-based Method)**: RGB 신호를 색차 공간으로 변환한 뒤, 투영 행렬을 사용하여 G채널 기반 심박성분을 강조한다. 이는 조명 변화에 강건하면서도 G채널에 대한 민감도를 활용한 방식이다.
- **POS (Plane-Orthogonal-to-Skin)**: 영상 내 피부색 변화에 직교하는 평면으로 신호를 투영하여 잡음 성분(조명, 움직임 등)을 제거하고 심박 신호만 분리하는 방식이

다. 이는 CHROM 대비 조명 조건 변화에 더 강건하다는 장점이 있다.

- **ICA (Independent Component Analysis):** RGB 3채널을 독립 성분으로 분리하여, 심박 신호를 잡음 성분과 분리한다. 다만 잡음이 주기적이거나 통계적으로 유사한 경우 분리가 어려운 단점이 있다.

2.2.3. 신호 필터링 및 심박수 계산

모든 rPPG 추출 결과는 0.5~4.0 Hz 대역통과 필터(Bandpass Filter)를 거쳐 노이즈를 제거한다. 이후 심박수 계산은 세 가지 방식으로 수행된다:

- 푸리에 변환 기반 주파수 분석
- 웨이블릿 변환 기반 시간-주파수 도메인 분석
- 시간 도메인 피크 간 간격 측정 (Interbeat Interval)

2.2.4. 시각화 및 실시간 모니터링

심박 신호 및 깜빡임 횟수는 실시간으로 시각화되며, 분석 결과는 PNG 이미지 및 JSON 형식으로 저장되어 앱에서 결과 그래프로 시각화된다.

이러한 rPPG 기반 분석 시스템은 기존 연구들에서 제안된 알고리즘적 원리를 실제 면접 분석 상황에 맞게 구현한 것으로, 본 시스템은 비접촉 상태에서의 실시간 감정 인지 및 피드백 제공이 가능하도록 설계되었다. 이는 기존의 피트니스, 의료 중심의 rPPG 활용에서 한 걸음 더 나아가 **면접 및 커뮤니케이션 훈련 상황에 특화된 응용 사례**로 볼 수 있다.

2.3. 본 프로젝트의 차별점

본 프로젝트에서 개발한 플랫폼 **rMind**는 단순한 생체 신호 분석 도구를 넘어, 면접 상황에 특화된 비언어적 반응 분석 및 피드백 제공 시스템으로 설계되었다. rMind는 기존의 rPPG 기반 시스템들이 가진 구조적 한계를 보완하며, 다음과 같은 차별화된 기술적·기능적 특징을 갖는다.

2.3.1. 다중 비언어 신호 통합 분석

rMind는 기존의 rPPG 시스템이 주로 단일 생리 지표(심박수)에 국한되어 있는 것과 달리, **심박수, 눈 깜빡임 빈도, 얼굴 움직임**이라는 세 가지 주요 비언어적 반응을 동시에 분석한다. 이러한 통합적 접근은 면접자의 긴장도와 감정 반응을 다면적으로 측정할 수 있게 하며, 사용자에게 보다 풍부하고 신뢰도 높은 자기 피드백을 제공한다.

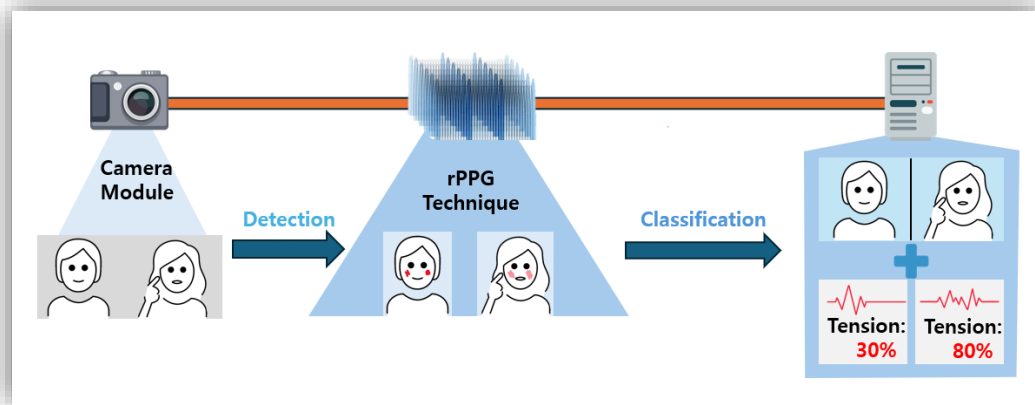


Fig 2. rPPG 기능 적용

2.3.2. 질문 구간 기반 반응 분석 기능

일반적인 심박 모니터링 시스템은 시간축 기반의 단순 변화 분석에 머무는 경우가 많다. 그러나 rMind는 면접 영상에서 특정 질문 구간별로 심박수 및 깜빡임 변화를 분석함으로써, 사용자가 어떤 질문에서 긴장 반응이 극대화되는지 명확하게 인식할 수 있도록 돕는다. 이는 기존 시스템과 비교하여 면접 실전 상황에 훨씬 밀착된 분석 구조이다.

2.3.3. POS 기반 rPPG 알고리즘의 실제 응용 최적화

rMind는 POS(Plane-Orthogonal-to-Skin) 알고리즘의 원리를 실제 면접 분석 응용에 맞게 구현 및 최적화하였다. 특히 조명 및 움직임에 대한 강건성, α -tuning 기반 신호 정제, 슬라이딩 윈도우 기반 연속 분석 기능 등을 통해, 비접촉식임에도 불구하고 안정적이고 신뢰할 수 있는 심박 신호 추출이 가능하다.

2.3.4. 모바일 연동 FastAPI 기반 분석 파이프라인

본 시스템은 모바일 애플리케이션과 서버 분석 엔진 간의 효율적인 데이터 흐름을 구현하였다. 사용자는 rMind 앱을 통해 면접 영상을 업로드하고, FastAPI 기반 서버에서 분석된 결과를 실시간으로 받아볼 수 있다. 결과는 **시각화된 이미지(PNG)** 및 **JSON 응답 형태로 전송**되며, 앱 내에서 직관적인 UI를 통해 확인할 수 있어 일반 사용자도 손쉽게 자기 피드백을 받을 수 있는 구조를 갖춘다.

2.3.5. 로그인 기반의 개인화된 학습 및 피드백

rMind는 단발성 분석에 그치지 않고, 로그인 기반 사용자 데이터를 통해 분석 결과의 저장, 비교, 개선 추이 추적이 가능하다. 사용자는 반복적인 영상 업로드를 통해 자신의 비언어적 반응이 어떻게 변화하는지를 확인할 수 있으며, 시스템은 이전 기록과 비교하여 맞춤형 개선 피드백을 자동으로 생성한다. 이는 rMind가 단순한 분석 도구가 아닌, **AI 기반의 자기주도형 면접 코칭 플랫폼**으로서 기능함을 보여주는 핵심 차별점이다.

3. 시스템 설계 및 구현

3.1 전체 시스템 구조

본 연구에서는 사용자 면접 영상에서 비언어적 반응을 추출하여 긴장도 및 표현 습관을 분석하고 피드백을 제공하는 **rMind 플랫폼**을 제안한다. rMind는 **모바일 애플리케이션**과 **서버 기반 분석 시스템**으로 구성된 이중 구조를 채택하여, 사용자가 스마트폰을 통해 영상을 업로드하고 분석 결과를 앱 내에서 직관적으로 확인할 수 있도록 설계되었다.

전체 시스템은 다음의 세 가지 계층으로 구성된다.

1. 사용자 인터페이스 계층 (Mobile Frontend)

사용자는 Android 기반 Flutter 앱을 통해 회원가입 및 로그인을 수행하며, 면접 영상을 업로드하고 분석 결과를 확인한다. 앱은 로그인 기반의 개인화 시스템을 포함하고 있으며, 사용자별 영상 업로드 이력 및 결과를 리스트 형태로 관리한다.

2. 서버 분석 계층 (Backend & rPPG Processing Server)

FastAPI 프레임워크로 구축된 백엔드 서버는 업로드된 영상을 수신하여 **rPPG 기반 심박 신호 추출, 눈 깜빡임 감지, 얼굴 움직임 분석** 등 3가지 주요 분석을 수행한다. 분석 결과는 이미지 및 JSON 형태로 생성되어 결과 디렉토리에 저장되며, 이후 클라이언트 앱에서 접근 가능하다.

3. 데이터 저장 및 결과 제공 계층 (Storage & Visualization)

영상 파일과 분석 결과는 로컬 디렉토리, 외부 저장소에 정리되며, 파일 경로와 메타데이터는 JSON 응답 형태로 반환된다. 사용자는 앱 내에서 해당 결과를 시각화 이미지(PNG) 형태로 확인할 수 있으며, 각 분석 항목별로 그래프와 수치 정보가 제공된다.

이러한 구조는 **비접촉식 심박 측정**이라는 기술적 난이도와 **면접 분석**이라는 실용적 목적을 동시에 충족시키기 위해 설계되었으며, 분석과 시각화가 분리된 구조를 통해 **유지보수성, 확장성, 실시간성**을 동시에 확보하였다.

3.2 주요 모듈 및 기능 설명

rMind 시스템은 비접촉 면접 반응 분석이라는 목적을 달성하기 위해, 다음과 같은 다섯 개의 핵심 모듈로 구성되어 있다. 각 모듈은 사용자 인터페이스, 영상 업로드, 서버 분석, 결과 시각화, 데이터 저장의 기능적 흐름에 따라 상호 유기적으로 작동한다.

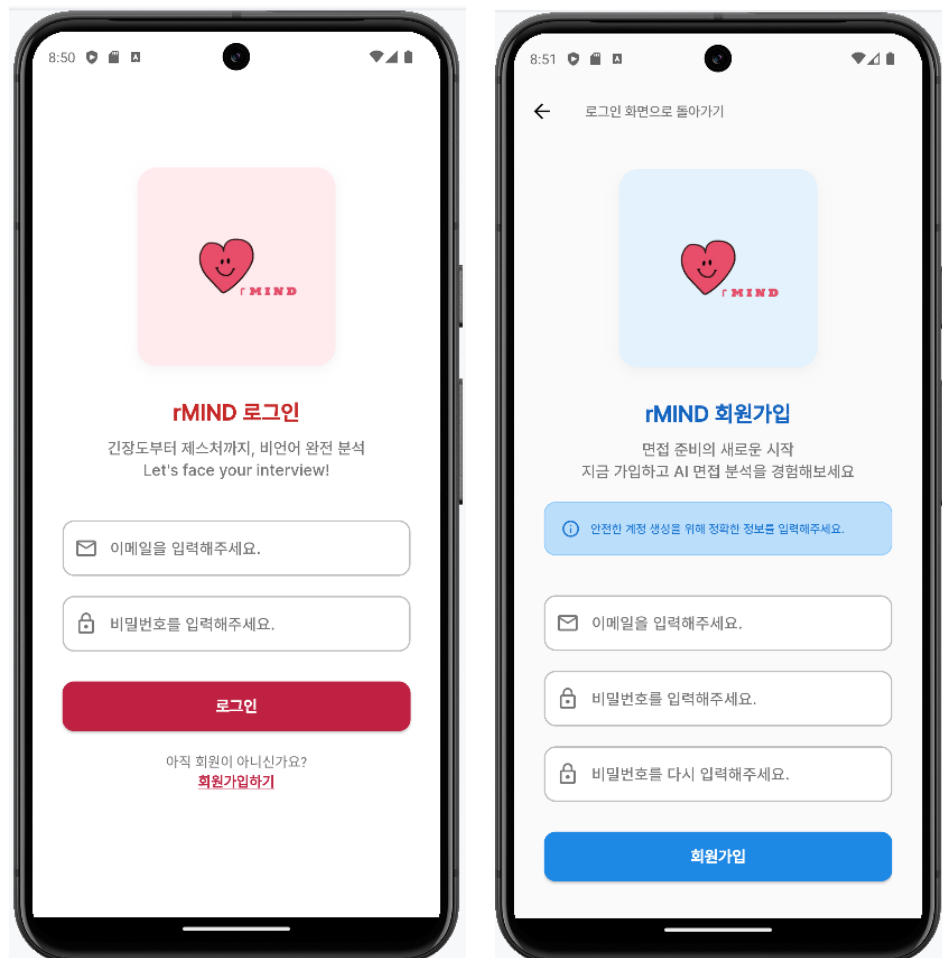


Fig 3. rMind 앱 로그인 화면 및 회원가입 화면

1) 사용자 인증 및 개인화 모듈

- **기능:** 회원가입, 로그인, 세션 관리, 사용자별 분석 결과 이력 저장
- **구현 방식:** Flutter 앱에서 이메일 기반 로그인 UI 구현 후, FastAPI 서버의 JWT 기반 인증 API와 연동
- **예외 처리:** 잘못된 형식, 중복 계정, 비밀번호 오류 등 다양한 입력 오류에 대한 예외 메시지 제공

이 모듈은 사용자별 데이터를 구분하고 반복 학습 및 피드백 기록을 추적하기 위한 기반을 형성한다.

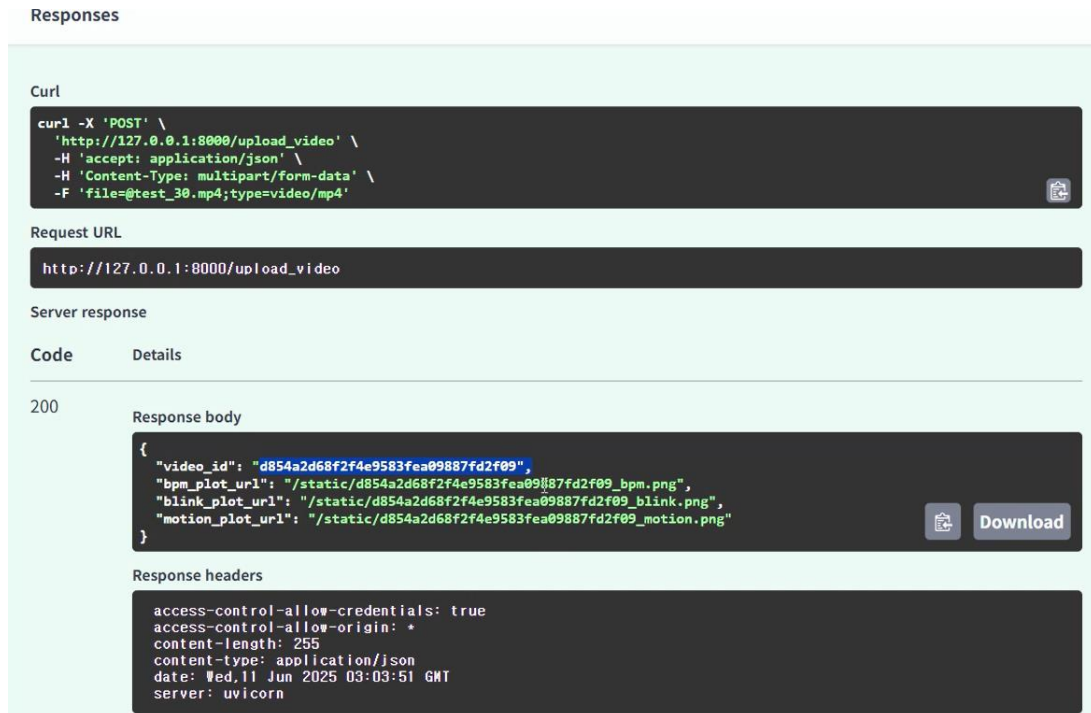


Fig 4. Swagger UI를 통한 실제 API 호출 결과 예시

2) 면접 영상 업로드 및 전송 모듈

- **기능:** 모바일 로컬 스토리지에 저장된 영상을 선택하여 서버로 전송
- **구현 방식:** Flutter 앱의 파일 선택 기능과 http 패키지를 사용하여 FastAPI의 `/upload_video` 엔드포인트로 POST 요청
- **서버 처리 흐름:** 수신된 영상은 서버 디렉토리에 저장되며, 해당 요청은 분석 파이프라인을 자동으로 트리거함

본 모듈은 분석의 입력 단계를 담당하며, 직관적 UI를 통해 사용자가 손쉽게 영상 업로드를 수행할 수 있도록 한다.

3) rPPG 기반 영상 분석 모듈

- **기능:** 업로드된 면접 영상에 대해 생체신호 및 행동 분석 수행
- **분석 항목:**
 - rPPG 기반 심박수 추정: CHROM, POS, ICA 알고리즘 적용
 - 눈 깜빡임 감지: dlib 68-point 랜드마크 기반 눈영역 추적
 - 얼굴 움직임 분석: 프레임 간 얼굴 중심점의 위치 변화량 기반

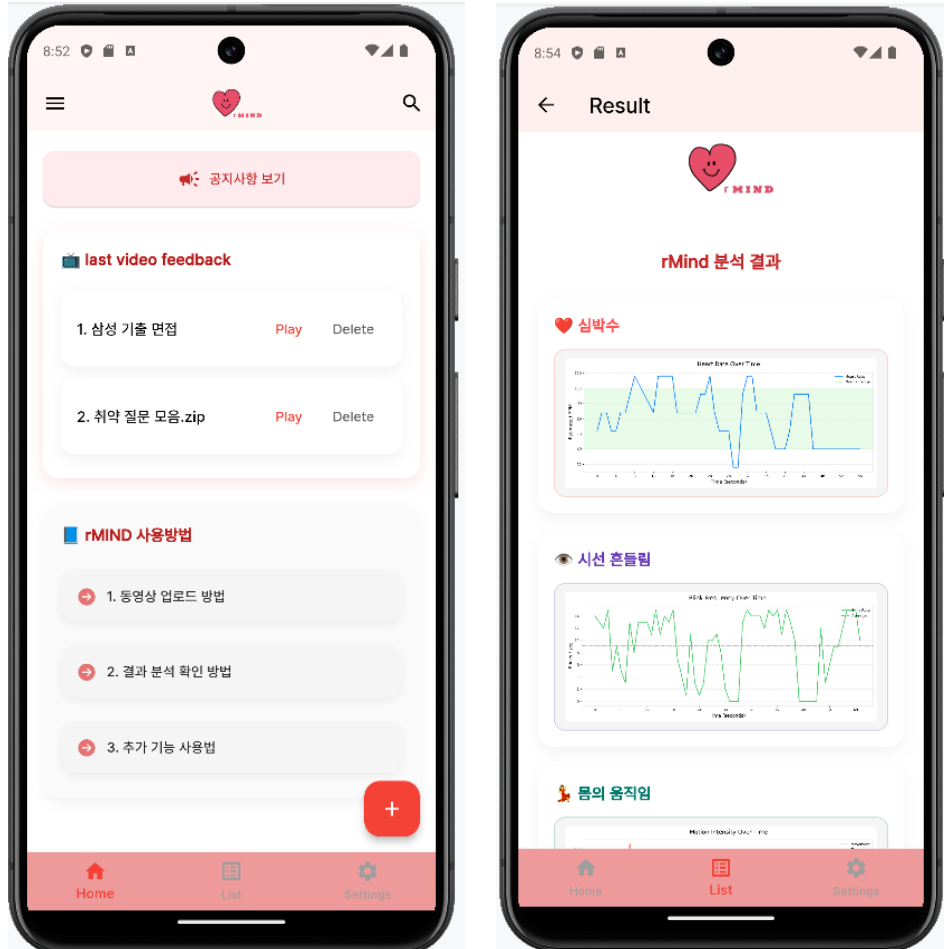


Fig 5. rMind 앱 메인 화면 및 분석 결과 화면

- **구현 흐름:** 분석은 BGR 평균값 추출 → 필터링 → 알고리즘 적용 → 신호 정제 → 시각화로 구성됨

이 모듈은 프로젝트의 핵심 기술 영역이며, 실제 면접자의 비언어적 반응을 수치화하여 정량적 피드백 기반을 제공한다.

4) 결과 시각화 및 피드백 모듈

- **기능:** 심박 그래프, 깜빡임 빈도 그래프, 얼굴 움직임 곡선 등 시각적 정보 제공
- **출력 형식:** 각 분석 결과는 PNG 이미지로 저장되며, JSON 응답에는 해당 이미지 경로가 포함됨
- **앱 연동:** 분석 결과는 Flutter 앱의 결과 화면을 통해 사용자에게 직관적으로 제공됨

시각화 결과는 사용자의 이해를 돕고 반복 학습을 가능하게 하며, 자기 피드백 시스템의 핵심 도구로 기능한다.

5) 분석 결과 저장 및 관리 모듈

- **기능:** 분석된 결과의 영속적 저장, 파일 경로 기반 정리, 사용자별 접근 제어
- **데이터 흐름:** JSON 형태로 각 분석의 메타데이터(영상 ID, 결과 파일 경로, 시간 정보 등)를 구성하고, 앱은 이를 통해 결과 목록과 상세 화면을 구현함

본 모듈은 사용자 경험의 연속성과 신뢰성을 보장하는 백엔드 기반 구조이며, 향후 반복 비교 기능과 성과 추적 기능의 확장을 가능하게 한다.

4. 결론 및 기대 효과

본 프로젝트는 비접촉식 생리 신호 측정 기술인 rPPG(remote photoplethysmography)를 활용하여, 모바일 환경에서 사용자의 면접 반응을 분석할 수 있는 플랫폼 rMind를 설계하고 구현하였다. 심박수, 눈 깜빡임, 신체 움직임이라는 **세 가지 비언어적 반응 요소**를 영상 기반으로 추출하고, 이를 시각적으로 가공하여 사용자가 자신의 상태를 직관적으로 이해할 수 있도록 지원하였다. Flutter 기반의 앱과 FastAPI 기반 서버를 연동하여 영상 업로드부터 분석 결과 확인까지의 종단 간 사용자 흐름을 구현하였으며, 분석 결과는 그래프와 이미지 형태로 제공되어 반복적인 자기 피드백을 가능하게 하였다.

주요 성과로는 rPPG 기반 심박 추정 알고리즘(CHROM, POS, ICA)의 구현, FFT·웨이블릿·피크 간 간격 기반의 BPM 추정 기법 적용 및 시각화, FastAPI 서버와 모바일 앱 간의 실시간 연동 구조 설계, 그리고 앱 내에서 영상 업로드, 분석 요청, 결과 조회로 이어지는 End-to-End UX 구축을 들 수 있다. 특히, 본 시스템은 단순한 생체 측정을 넘어 면접 과정에서 나타나는 비언어적 반응을 정량화하고 시각화함으로써, **사용자의 긴장도와 상태를 기술적으로 반영할 수 있는 기반**을 마련하였다.

본 프로젝트는 아직 초기 단계의 프로토타입이지만, **영상 기반 생리신호 분석 기술을 면접 반응 해석이라는 새로운 활용**을 함으로써 자기주도적 면접 훈련 환경의 가능성을 제시하였다. 이는 향후 연구와 실용적 응용 개발을 위한 의미 있는 출발점으로 작용할 것이다.

Appendix (GitHub Repository) :

본 프로젝트의 전체 소스코드, 아래 GitHub 저장소에서 확인할 수 있습니다.

<https://github.com/eggplantgf/rMind>