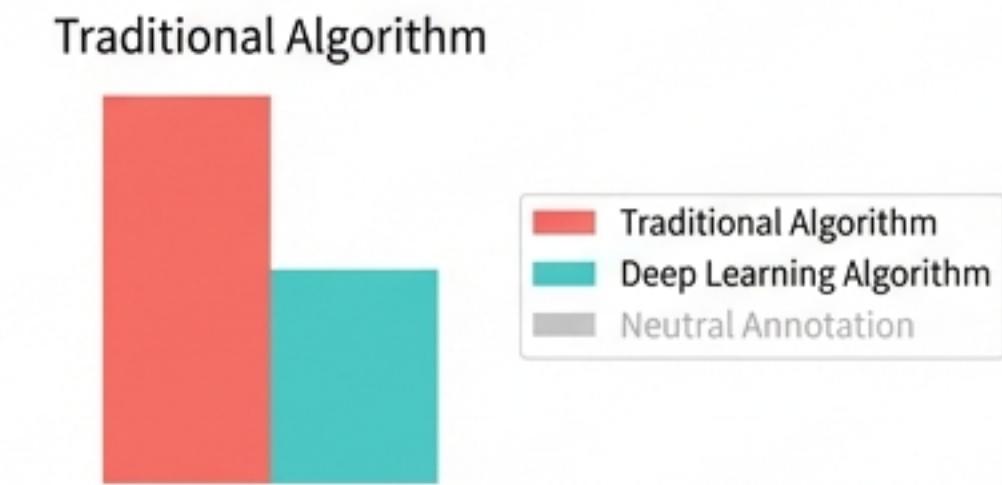
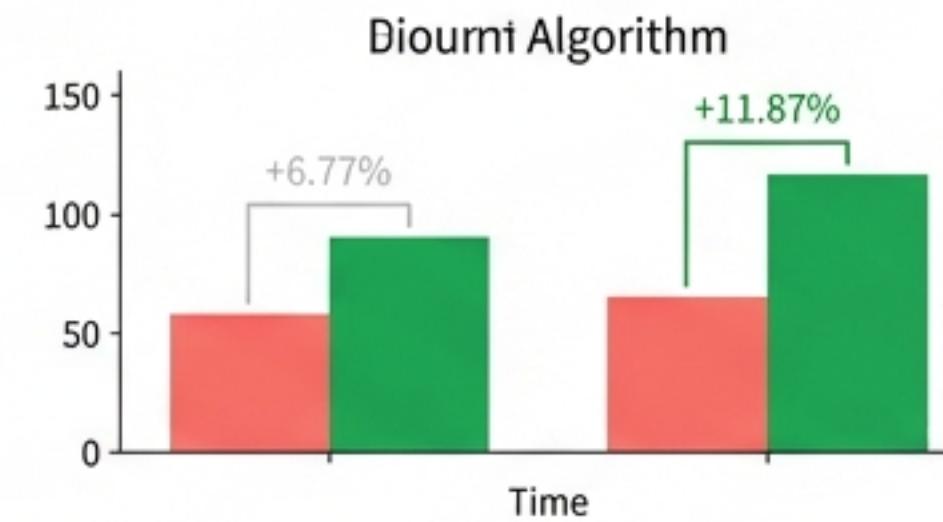
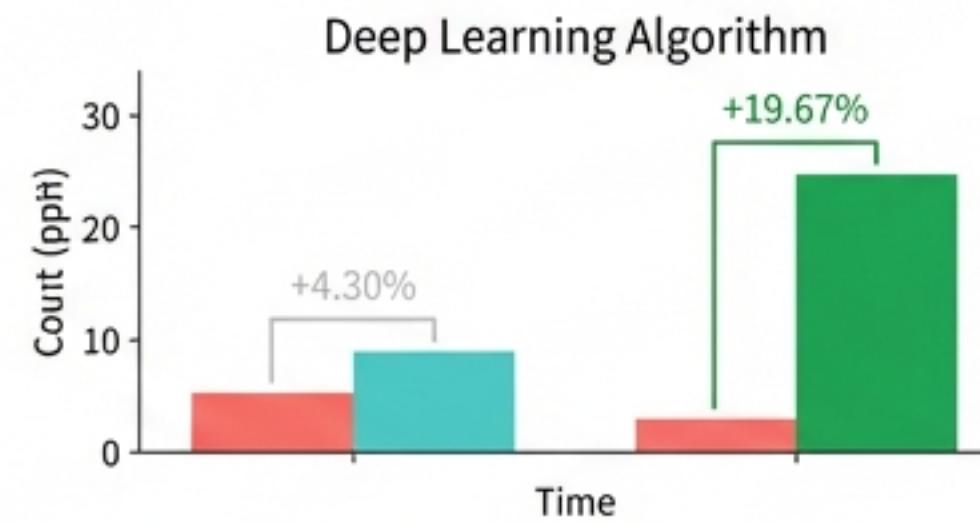
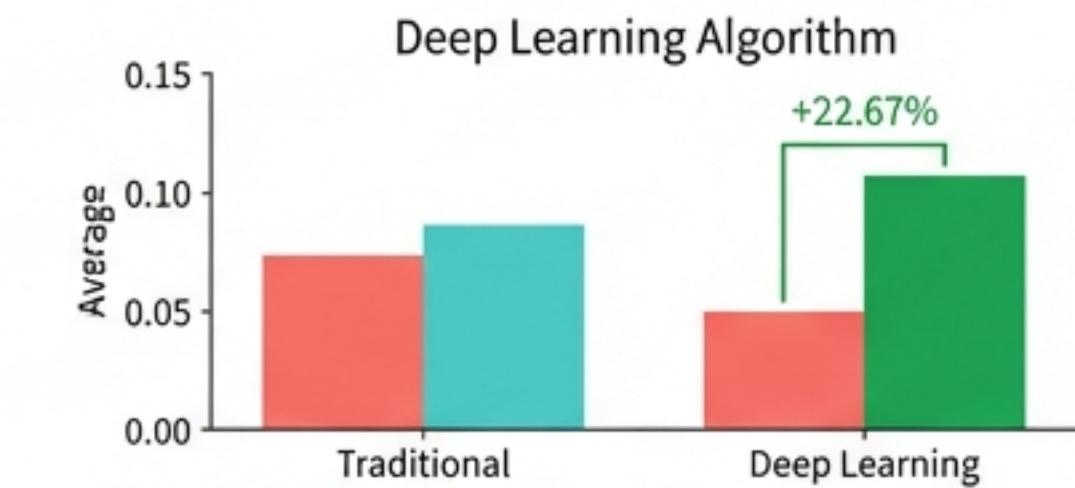
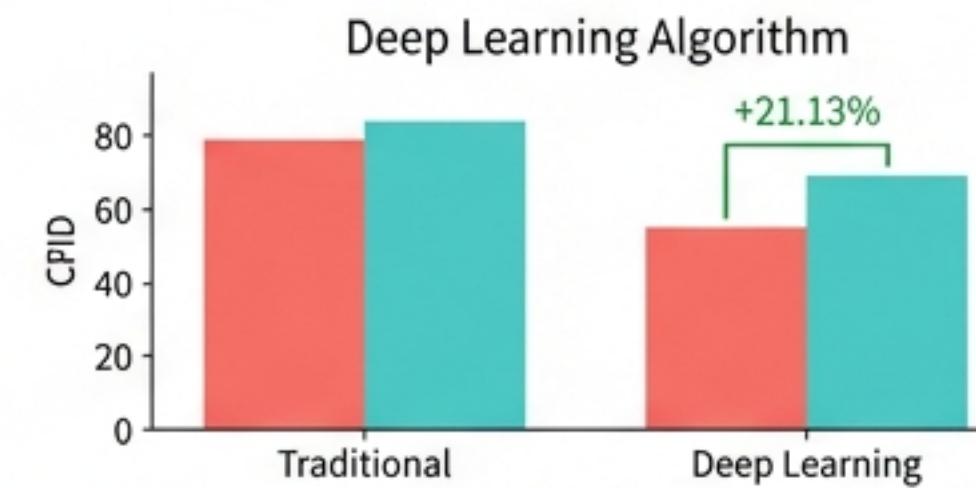
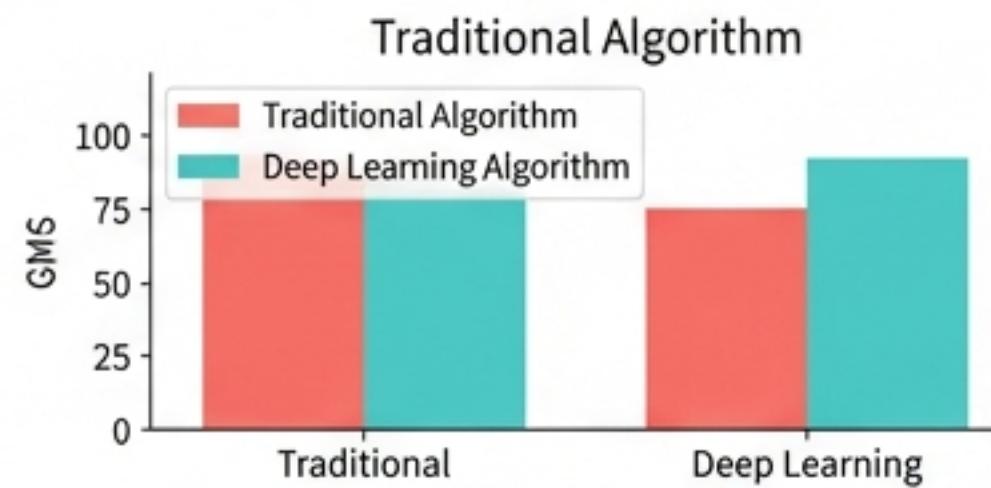


i-DMS 알고리즘 성능 비교 분석: 기존 신호처리 방식 vs. 딥러닝 방식

2026-01-05 주행 테스트 데이터 기반



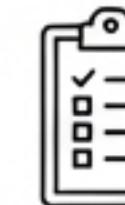
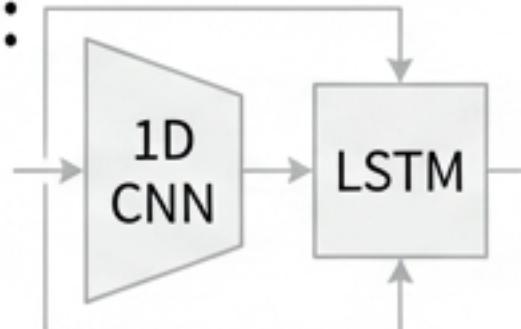
종합 성능 비교 요약

지표 (Metric)	기존 신호처리 (Traditional)	딥러닝 (Deep Learning)	개선율 (Improvement)	우위 (Winner)
MAE (bpm)	8.27	6.33	+23.5%	DL
RMSE (bpm)	9.90	7.68	+22.4%	DL
Bias (bpm)	-6.23	-3.53	+43.3%	DL
얼굴 인식률 (Face Detection)	73.9%	86.6%	+17.2%	DL
±5 bpm 정확도 (Accuracy)	36.4%	47.3%	+29.9%	DL
±10 bpm 정확도 (Accuracy)	64.7%	82.8%	+28.0%	DL
상관계수 (Correlation)	0.378	0.227	-39.9%	Traditional
Euro NCAP 2026 등급	PASS	EXCELLENT	-	DL

비교 대상 알고리즘 및 테스트 개요

Section 1: 비교 대상 (Algorithms Compared)

- 기존 방식 (Traditional Method): 전통적 신호처리 (FFT, 필터, 피크 검출)
- 현재 방식 (Current Method): 딥러닝 기반 rPPG-Net 모델
 - 아키텍처 (Architecture): 1D CNN + LSTM 구조



Section 2: 테스트 조건 (Test Conditions)

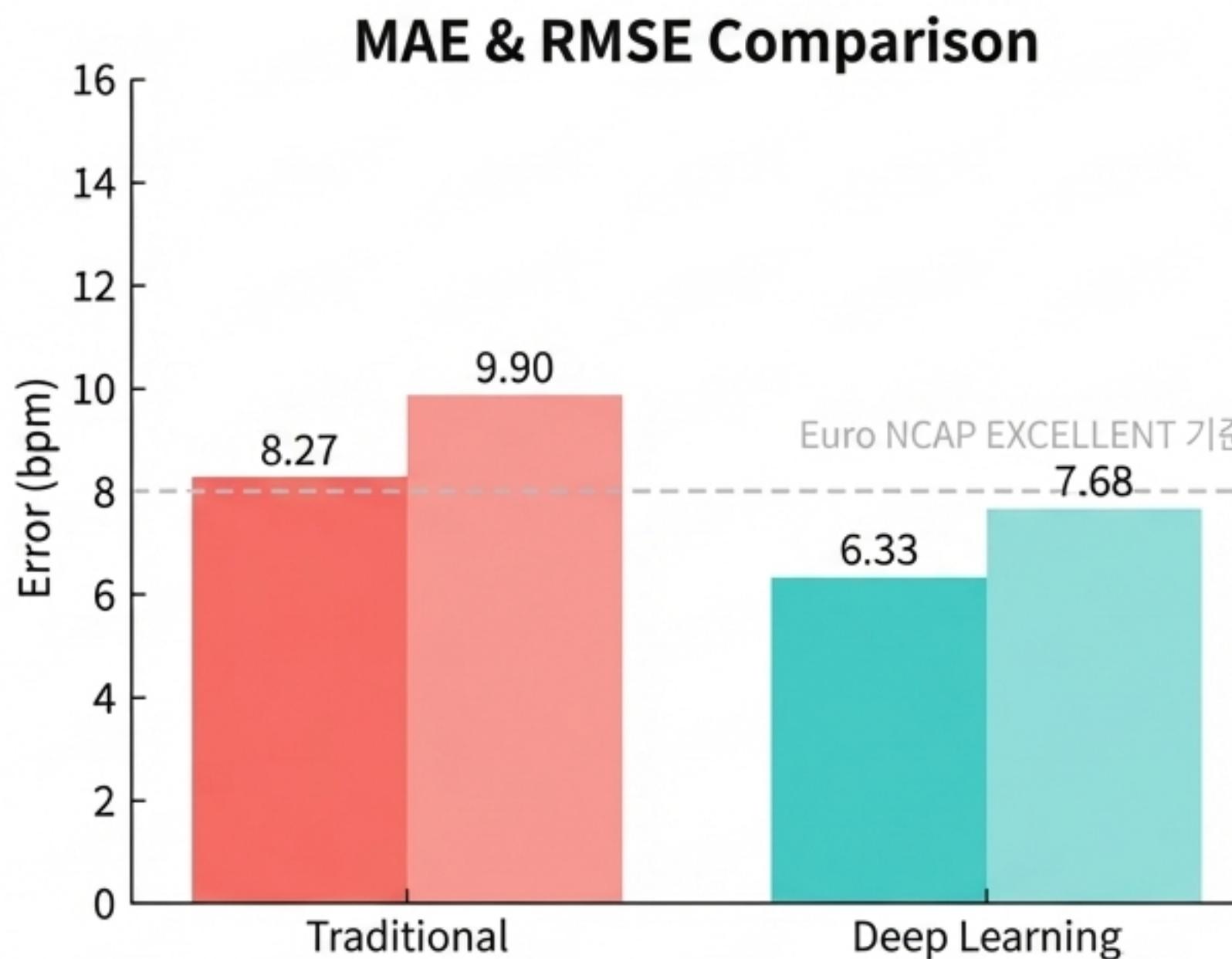
- 기준 장비 (Reference Standard): Polar H10 (가슴 착용형 ECG)
- 테스트 일자 (Test Date): 2026-01-05
- 데이터셋 (Dataset):
 - 딥러닝 방식: 27.5분 주행, 1,651 데이터 포인트
 - 기존 방식: 58분 주행, 3,483 데이터 포인트



Note: 테스트 시간 차이가 있으나, MAE/RMSE 등은 시간 정규화된 지표이므로 직접 비교 가능.

핵심 오차 지표 비교: MAE & RMSE

값이 낮을수록 오차가 적고 정확성이 높음을 의미합니다.



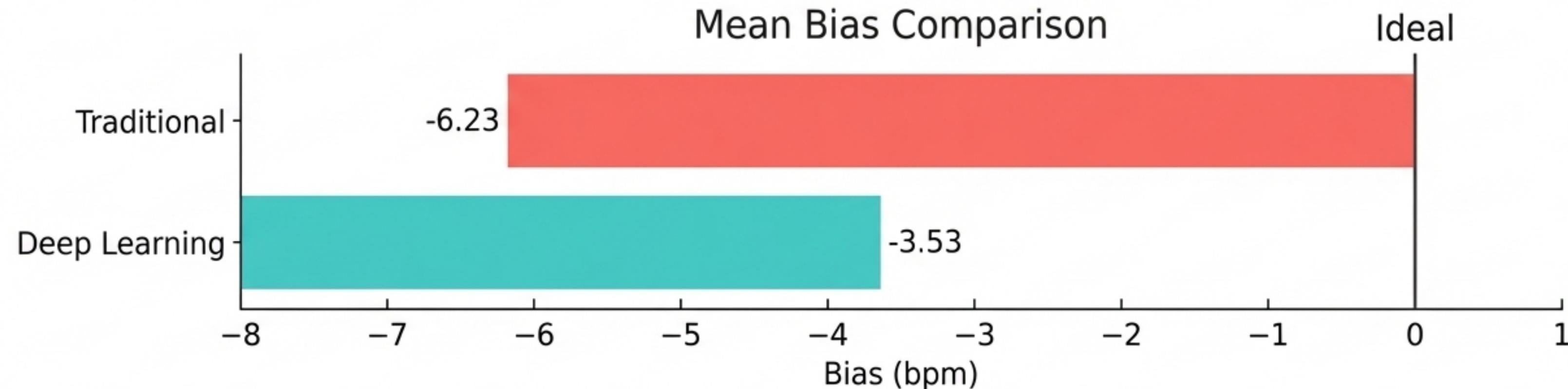
MAE 개선: $8.27 \rightarrow 6.33 \text{ bpm}$ (+23.5% 개선)

RMSE 개선: $9.90 \rightarrow 7.68 \text{ bpm}$ (+22.4% 개선)

딥러닝 모델은 평균 절대 오차와 제곱근 평균 오차 모두에서 명확한 우위를 보임.

평균 편차(Bias) 비교: 체계적 오차 분석

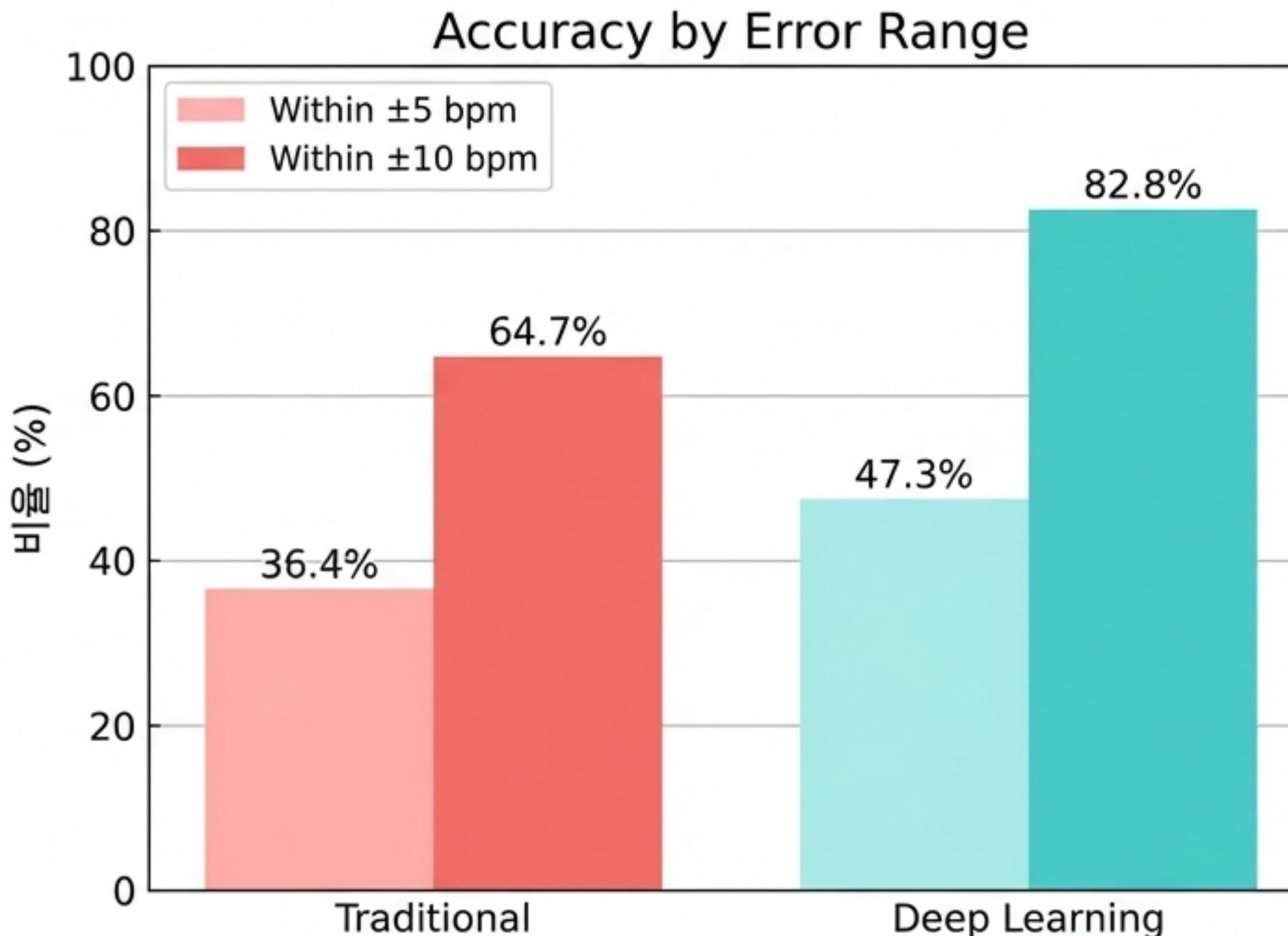
값이 0에 가까울수록 실제 심박수에 근접함을 의미합니다.



Bias 개선: $-6.23 \rightarrow -3.53 \text{ bpm}$ (+43.3% 개선)

분석: 딥러닝 모델은 심박수를 체계적으로 낮게 측정하는 경향(systematic underestimation)이 기존 방식 대비 43.3% 감소하여, 실제 값에 더 가까운 결과를 제공함.

정확도 분포 비교: 오차 범위 내 측정 비율



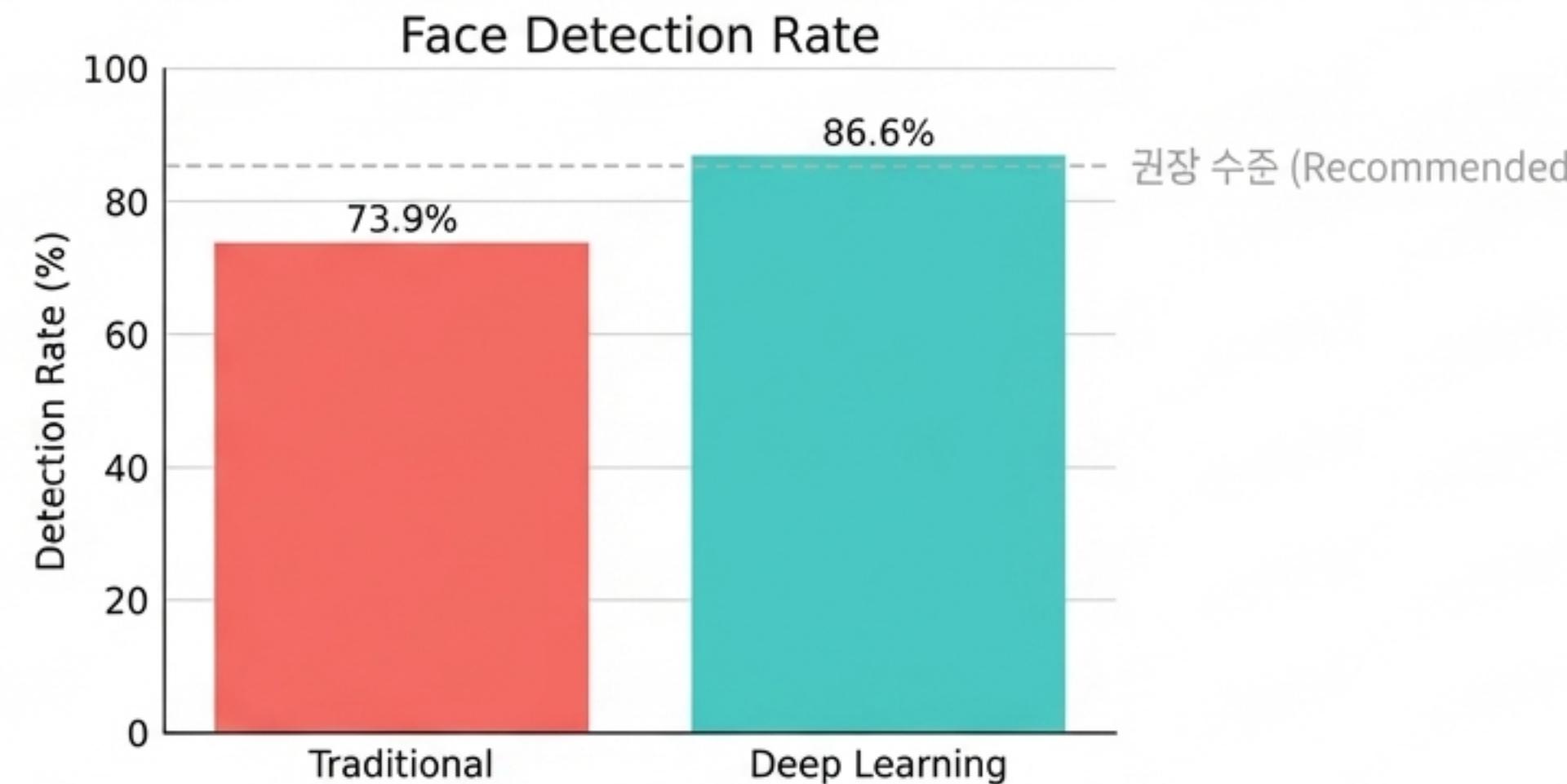
±5 bpm 이내 비율: **29.9% 증가**
(36.4% → 47.3%)

±10 bpm 이내 비율: **28.0% 증가**
(64.7% → 82.8%)

분석: 딥러닝 모델은 정밀한 측정(± 5 bpm)과 신뢰성 있는 측정(± 10 bpm)의 비율이 모두 크게 향상되어, 운전자 상태 변화 감지에 대한 신뢰도가 높음.

얼굴 인식률 비교: 데이터 확보 안정성

높은 인식률은 rPPG 신호 품질과 측정 가능 시간을 직접적으로 향상시킵니다.



- **인식률 개선:** 73.9% → 86.6% (**+17.2% 개선**)
- **분석:** 주행 중 얼굴 추적 안정성이 대폭 향상되어, 고품질 신호 확보 및 심박수 측정 정확도 개선에 직접적으로 기여함.

상관계수(Pearson) 분석

두 변수 간의 선형 관계 강도를 나타내는 지표.

기존 신호처리: 0.378

**딥러닝: 0.227
(-39.9% 감소)**

분석 (Analysis)

1. 수치상으로는 기존 방식의 상관계수가 더 높게 나타남.
2. 이는 다음 요인에 의한 것으로 해석될 수 있음:
 1. **테스트 시간 및 데이터 양 차이** : 기존 방식의 테스트 시간(58분)이 딥러닝(27.5분)보다 2배 길어, 더 넓은 범위의 심박수 변동을 포함했을 가능성.
 2. **알고리즘 최적화 목표**: 딥러닝 모델은 상관계수보다 절대값 오차(MAE, Bias) 최소화에 최적화되어 있음.

절대 정확도가 더 중요한 차량 환경에서는 MAE와 Bias가 더 핵심적인 성능 지표임.

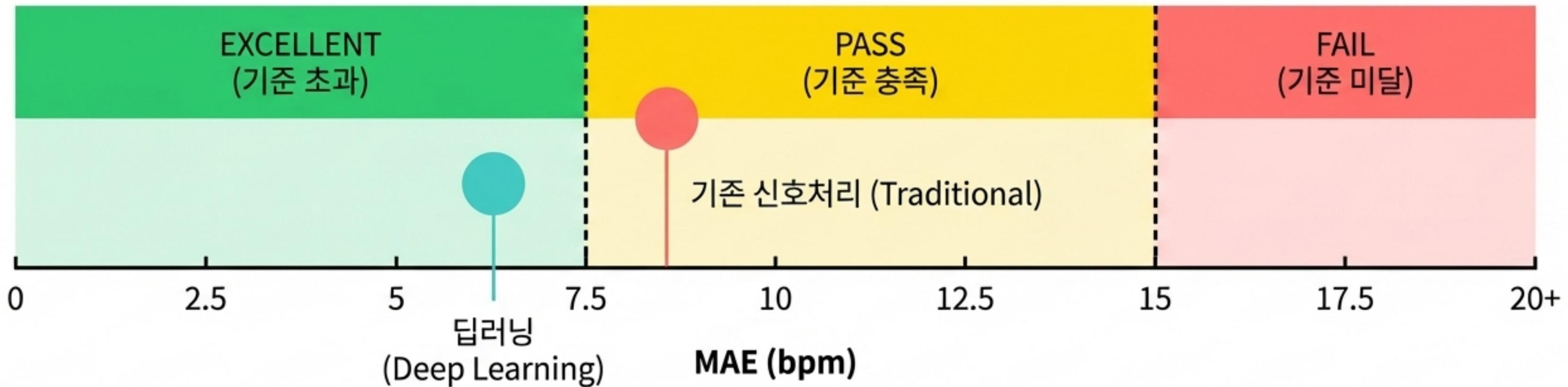
Bland-Altman 분석: 측정값 일치도 평가

지표 (Metric)	기존 신호처리 (Traditional)	딥러닝 (Deep Learning)
평균 편차 (Bias)	-6.23 bpm	-3.53 bpm
95% 상한 (+1.96 SD)	+8.24 bpm	+9.8 bpm
95% 하한 (-1.96 SD)	-20.70 bpm	-16.9 bpm
95% 일치 한계 폭	28.94 bpm	26.7 bpm

분석 요약 (Analysis Summary)

- 편향 감소:** 딥러닝 방식의 편향이 43% 감소하여 더 정확한 절대값 측정을 보임.
- 일치 한계 개선:** 딥러닝 방식의 ‘95% 일치 한계 폭’이 더 좁아, 측정의 불확실성이 더 낮고 예측 가능성이 높음.

Euro NCAP 2026 기준 성능 평가

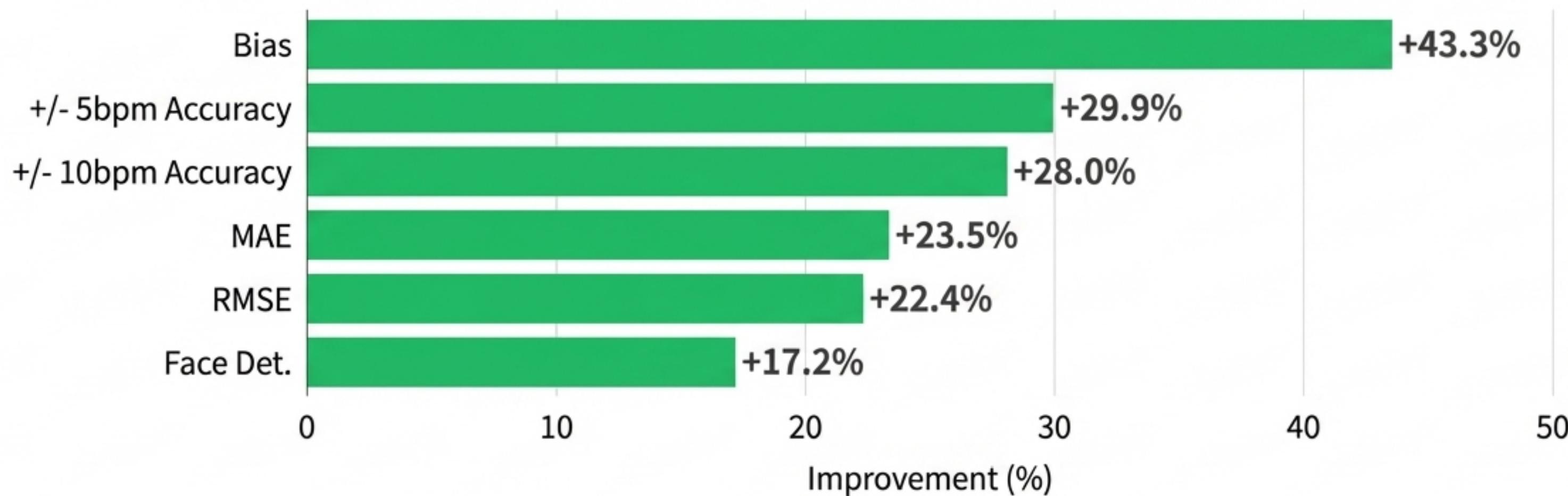


구분	Euro NCAP 요구	기준 신호처리	딥러닝
MAE	8-15 bpm	8.27 bpm	6.33 bpm
판정	-	PASS	EXCELLENT

두 알고리즘 모두 Euro NCAP 기준을 통과하지만, 딥러닝 방식은
‘기준 초과(EXCELLENT)’ 등급을 달성하여 월등히 높은 안전 마진을 확보함.

딥러닝 모델의 주요 지표 개선율

Deep Learning Improvement Rate (vs Traditional)



상관계수를 제외한 모든 핵심 성능 지표에서 17% ~ 43% 범위의 유의미한 개선을 달성함.

핵심 결과 요약

- ✓ MAE 23.5% 개선: 평균 오차를 8.27 bpm에서 **6.33 bpm**으로 감소
- ✓ Bias 43.3% 개선: 체계적 오차를 -6.23 bpm에서 **-3.53 bpm**으로 감소
- ✓ 얼굴 인식률 17.2% 개선: 73.9%에서 **86.6%**로 데이터 확보 안정성 향상
- ✓ $\pm 10 \text{ bpm}$ 정확도 28.0% 개선: 64.7%에서 **82.8%**로 측정 신뢰도 증가
- ✓ Euro NCAP 등급 상승: PASS (기준 충족)에서 EXCELLENT (기준 초과) 등급 달성