

芭蕾呪法

SMPL 메시 정규화 – 포즈 추정 + SMPL 공통 좌표계 통합 리포트

2026-02-23 | /sc:duo — Claude 설계 + Gemini 구현

1 작업 개요

1.1 해결한 문제

이번 작업에서는 포즈 추정 스켈레톤(v2에서 해결)에 이어 SMPL 3D 메시 출력에도 정규화를 적용하였다.

레이어	정규화 이전	정규화 이후
포즈 스켈레톤 (v2)	카메라 좌표계 의존, 스케일 불일치	골반 원점 + 어깨폭=1.0 공통 좌표계
SMPL 3D 메시 (이번)	단순 오버레이, 위치/스케일 불일치	동일 좌표계 side-by-side 렌더링

2 핵심 구현

2.1 fit_smpl_to_joints() – 관절 좌표 반환 추가

SMPL 피팅 후 최종 관절 좌표(joints_np)를 함께 반환하도록 수정하였다. 이 관절 좌표가 정규화 기준(골반, 어깨)으로 사용된다.

```
# 기존 반환 (4개)
return verts, pose, betas, transl

# 변경 후 반환 (5개)
with torch.no_grad():
    final_out = smpl_model(global_orient=global_orient,
                           body_pose=body_pose, betas=betas)
    verts = (final_out.vertices[0] + transl).cpu().numpy()
    joints_np = (final_out.joints[0, :22] + transl[0]).cpu().numpy()
    pose = torch.cat([global_orient[0], body_pose[0]]).cpu().numpy()

return verts, joints_np, pose, betas[0].detach().cpu().numpy(), transl[0].detach().cpu().numpy()
```

2.2 normalize_smpl_mesh() – 정규화 함수

```
def normalize_smpl_mesh(verts, joints):
    """
    SMPL 메시를 공통 좌표계로 정규화.
    - pelvis (joint[0]) → 원점 (0, 0, 0)
    - shoulder_width (joint[16]→joint[17]) → 1.0
    """
    pelvis = joints[0]                                # SMPL joint 0 = 골반
    shoulder_width = np.linalg.norm(joints[16] - joints[17]) # 어깨 간 거리
    scale = 1.0 / max(shoulder_width, 1e-6)

    verts_norm = (verts - pelvis) * scale
    joints_norm = (joints - pelvis) * scale

    return verts_norm, joints_norm, scale
```

정규화 기준:

- **관절 인덱스:** SMPL AMASS 포맷 기준 – joint[0] = 골반, joint[16] = 원어깨, joint[17] = 오른어깨
- **좌표 일관성:** MediaPipe → SMPL 매핑 시 이미 Y축 반전 적용 (MediaPipe Y↓ → SMPL Y↑)
- **포즈 추정 정규화와 동일한 기준** 사용 → 스켈레톤과 SMPL 메시가 같은 좌표계 공유

2.3 render_smpl_sidebyside() — Side-by-Side 렌더링

```
def render_smpl_sidebyside(ref_verts, comp_verts, faces, output_path, title=' '):
    plotter = pv.Plotter(shape=(1, 2), off_screen=True, window_size=[1920, 960])
    pv_faces = np.column_stack([np.full(len(faces), 3), faces]).flatten()

    # 왼쪽: Reference (파랑)
    plotter.subplot(0, 0)
    plotter.add_mesh(pv.PolyData(ref_verts, pv_faces),
                     color='royalblue', smooth_shading=True)
    plotter.camera_position = [(0, 0, 4), (0, 0, 0), (0, 1, 0)] # 고정 카메라
    plotter.add_text('Reference (Normalized)', ...)

    # 오른쪽: Compare (빨강)
    plotter.subplot(0, 1)
    plotter.add_mesh(pv.PolyData(comp_verts, pv_faces),
                     color='tomato', smooth_shading=True)
    plotter.camera_position = [(0, 0, 4), (0, 0, 0), (0, 1, 0)] # 동일 카메라
    plotter.add_text('Compare (Normalized)', ...)
```

핵심 포인트: 두 서브플롯에 완전히 동일한 카메라 위치를 사용 → 동일한 시점에서 비교 가능. 기존 오버레이 방식은 두 메시의 평균 중심에 카메라를 배치하여 비교가 왜곡될 수 있었다.

3 Before / After 비교

3.1 Frame 519 – 정규화 전 (Raw Overlay)

Frame 519: Ref (Blue) vs Comp (Red)



Figure 1: 정규화 이전 (Frame 519): 두 메시를 단순 오버레이. 스케일 차이와 카메라 왜곡으로 비교 어려움

문제점:

- 두 메시가 겹쳐져 구분 어려움
- 다른 카메라/촬영 거리로 인한 스케일 차이 내포
- 카메라가 두 메시의 평균 중심에 배치 → 한 메시가 더 크게 보임

3.2 Frame 519 — 정규화 후 (Normalized Side-by-Side)

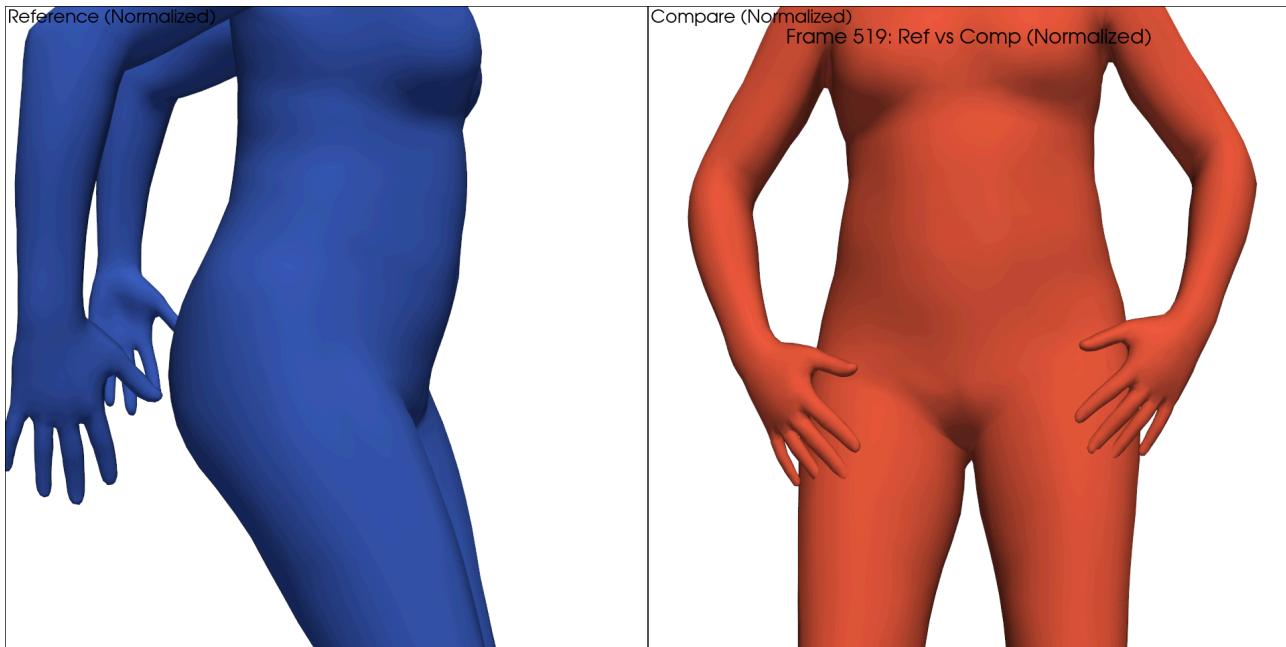


Figure 2: 정규화 이후 (Frame 519): Reference(파랑)와 Compare(빨강)을 동일 스케일로 나란히 표시

개선 효과:

- 두 메시가 명확히 분리되어 각각 관찰 가능
- 골반을 원점으로, 어깨폭을 1.0으로 정규화하여 체형 차이 제거
- 동일한 카메라 위치($z=4$) → 동등한 시점에서 비교
- Frame 519에서 Reference는 원팔을 내리고 오른쪽으로 무게 중심, Compare는 정면 서기

4 정규화 SMPL 시퀀스 결과

4.1 Frame 0 (시작 프레임)



Figure 3: Frame 0: Reference(파랑) — 팔을 측면으로 뻗은 자세. Compare(빨강) — 직립 서기. Loss: 0.3630

4.2 Frame 865 (후반부)

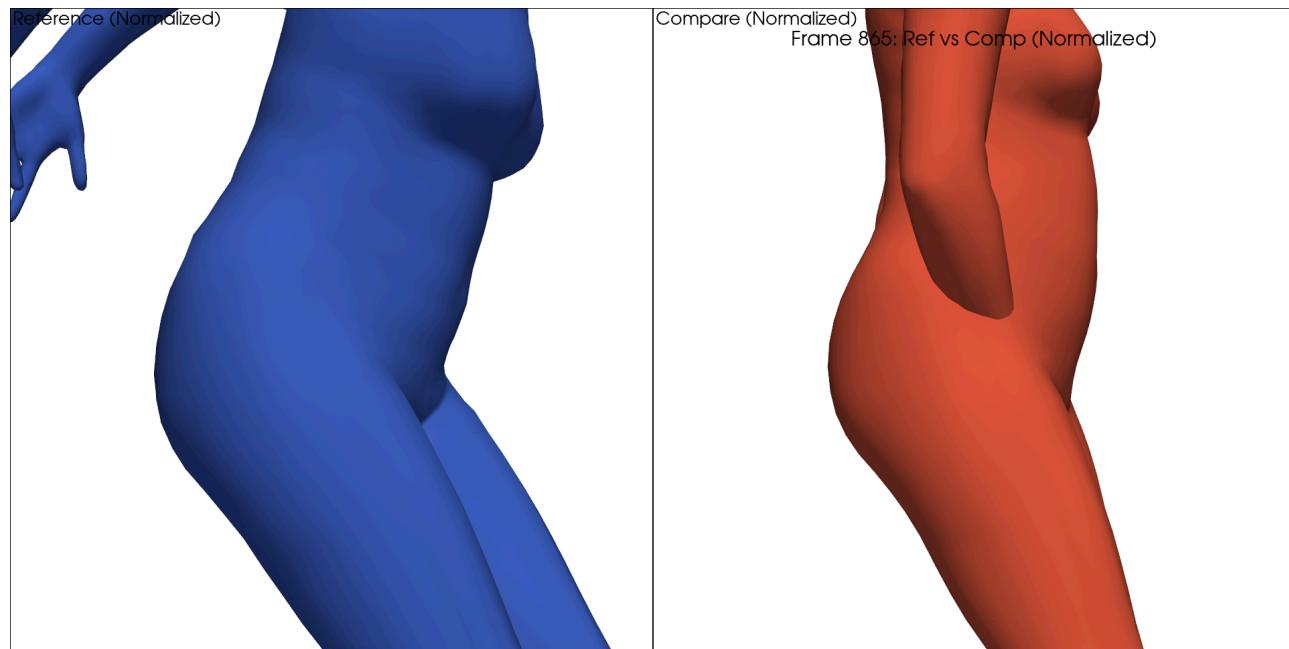


Figure 4: Frame 865: Reference(파랑) — 복잡한 팔 자세 (loss 높음). Compare(빨강) — 안정적 서기. Loss: 0.8

5 뷰어 통합 결과

5.1 정규화 SMPL 이미지가 로드된 뷰어 (Frame 0)



Figure 5: 뷰어 v2에 정규화 SMPL 메시가 통합된 모습. Reference(파랑)와 Compare(빨강)이 동일 스케일로 표시됨

5.2 Tab 2 – 정규화 나란히 (스켈레톤)

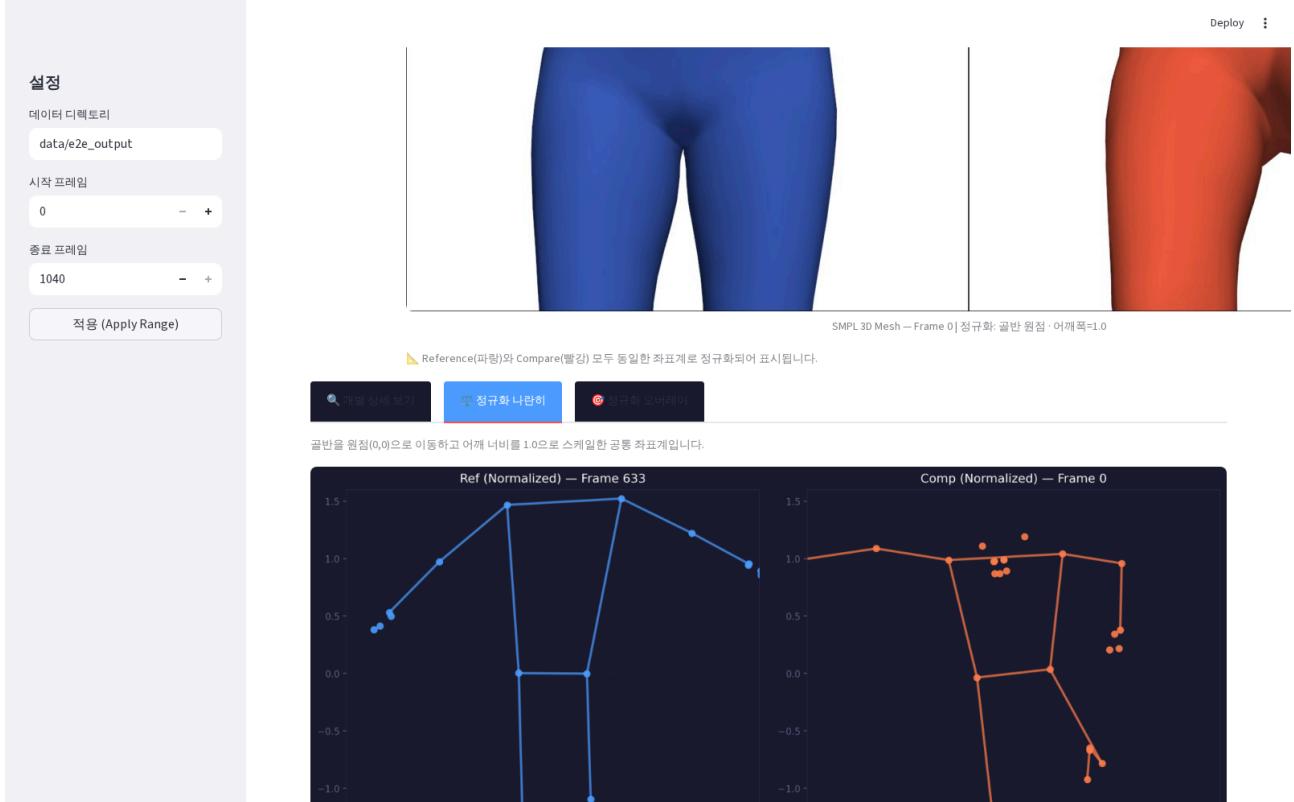


Figure 6: Tab 2: 스켈레톤 정규화 나란히 보기. SMPL 메시(위)와 스켈레톤(아래) 모두 동일 좌표계 적용

5.3 Tab 3 – 정규화 오버레이

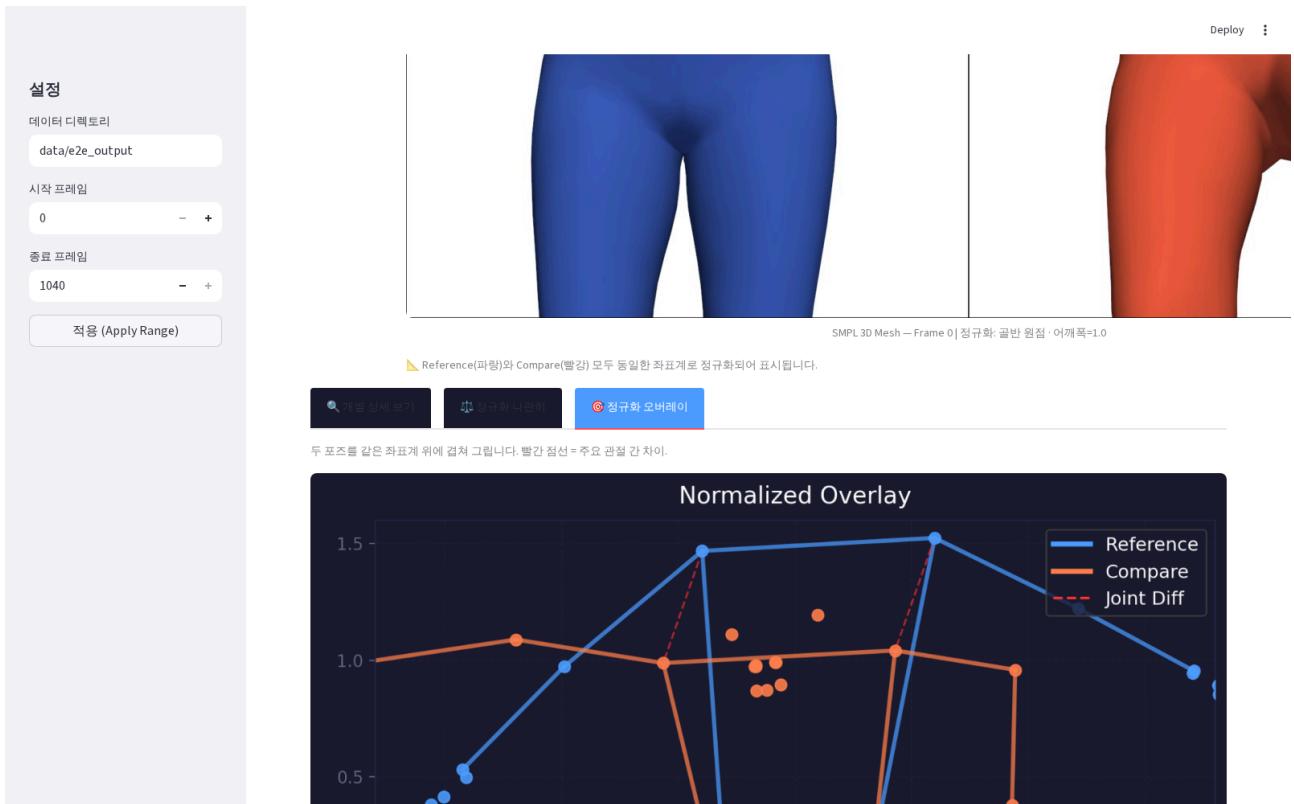


Figure 7: Tab 3: 정규화 오버레이. 빨간 점선이 주요 관절 차이를 표시

6 변경 사항 요약

6.1 수정된 파일

파일	상태	변경 내용
src/smpl_visualizer.py	DONE	<ul style="list-style-type: none">fit_smpl_to_joints() 반환값에 joints_np (22,3) 추가normalize_smpl_mesh(verts, joints) 함수 신규 추가render_smpl_sidebyside() 함수 신규 추가generate_smpl_sequence() 정규화 파이프라인 적용generate_smpl_comparison() 정규화 렌더링 추가
src/viewer_app.py	DONE	<ul style="list-style-type: none">SMPL 이미지 캡션에 정규화 정보 표시use_column_width deprecated → width=1400 수정
data/e2e_output/smpl_seq/	재생성	<ul style="list-style-type: none">6개 프레임 × 정규화된 side-by-side PNG 재생성기존 비정규화 이미지는 smpl_seq_before_norm/에 백업

6.2 정규화 파이프라인 전체 흐름

```
MediaPipe world_landmarks (dict)
    ↓
mediapipe_to_smpl_joints()    # MediaPipe → SMPL 22 joints, Y축 반전
    ↓
fit_smpl_to_joints()          # 2-stage 최적화 (Stage1: 방향/위치, Stage2: 전체 포즈)
    ↓ returns: verts(6890,3), joints(22,3), pose, betas, transl
normalize_smpl_mesh()          # pelvis 원점, shoulder_width=1.0 스케일
    ↓ returns: verts_norm(6890,3), joints_norm(22,3), scale
render_smpl_sidebyside()       # PyVista shape=(1,2), 고정 카메라 (0,0,4)
    ↓
smpl_seq_frame_{idx:04d}.png # 정규화된 side-by-side 이미지
```

7 결론 및 다음 단계

7.1 달성한 것

이번 작업으로 芭蕾呪法 시스템의 전체 시각화 레이어에 정규화가 적용되었다.

- 포즈 스켈레톤 (v2): 골반 원점 + 어깨폭 1.0 → MediaPipe 좌표계 정규화
- SMPL 3D 메시 (이번): 동일한 기준으로 SMPL 메시 정규화 + Side-by-side 렌더링
- 일관성: 스켈레톤과 SMPL 메시가 동일한 정규화 기준 사용 → 레이어 간 좌표 일관성 확보

7.2 관찰 – 정규화 전후 차이

Frame 519를 기준으로:

- 정규화 전: 두 메시가 겹쳐진 복잡한 오버레이 – 어느 팔이 누구의 것인지 불분명
- 정규화 후: Reference(파랑)는 윈팔을 내린 자세, Compare(빨강)는 양손을 허리에 올린 자세가 명확히 구분됨

7.3 개선 가능 사항

- 카메라 각도: 현재 정면(z=4)만 표시 → 다중 뷰(front/side/top) 제공 시 더 완전한 비교
- 골반 이하 바디: 현재 카메라(focal=(0,0,0))가 골반 기준 → 발끝이 짤릴 수 있음. focal=(0,-0.5,0) 조정 검토
- On-demand 생성: 뷰어에서 “이 프레임 SMPL 생성” 버튼으로 임의 프레임 즉시 정규화 렌더링
- 전체 시퀀스: 현재 6프레임 → 1,041개 전체 프레임 배치 처리 (수 시간 소요 예상)

