



영상·이미지 압축 방식이 3D Gaussian Splatting 렌더링 품질에 미치는 영향 분석

Effects of Image and Video Compression Methods on 3D Gaussian Splatting Rendering Quality

*Chae-eun Bae, *Yoonho Lee, *Heejung Choi, *Chaewon Moon, **Jinwoo Jeong,
and **Sang-hyo Park
*Kyungpook National University, **Korea Electronics Technology Institute

요약

최근 등장한 3D Gaussian Splatting 기술은 무손실 압축 데이터셋에서 뛰어난 3D 재구성 성능과 렌더링 품질을 제공하며, 가상현실, 증강현실, 3D 지도 제작 등 다양한 실제 환경의 3D 콘텐츠 제작 및 시각화에 활용되고 있다. 그러나 실제 환경에서는 저장 공간 및 네트워크 대역폭의 제약으로 인해 대부분의 **영상 및 이미지 데이터가 손실 압축된 형태로 제공**되므로, 압축 조건에 따른 성능 저하와 모델 민감도에 대한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 **JPEG 및 HEVC** 압축 방식을 적용하여, 다양한 압축률에서 3D Gaussian Splatting 모델의 렌더링 품질 변화를 정량적으로 분석하였다. 실험 결과, JPEG는 압축률이 증가함에 따라 렌더링 품질이 급격하게 저하되는 반면, HEVC는 비교적 완만하고 예측 가능한 품질 저하 양상을 보였다. 또한 입력 데이터의 PSNR이 유사한 조건에서도 JPEG 기반 입력이 HEVC보다 일관되게 우수한 렌더링 품질을 제공함을 확인하였다.

본론

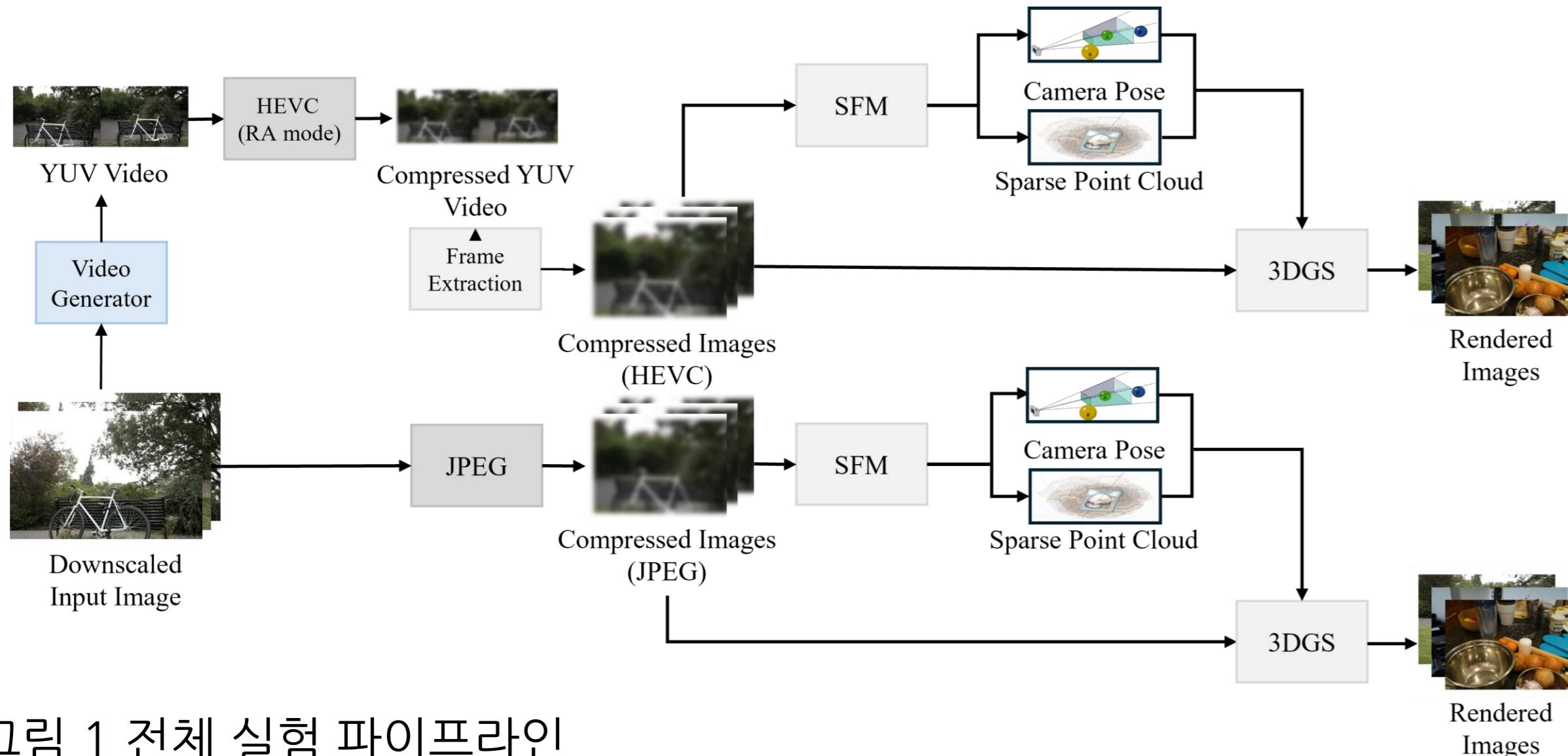


그림 1 전체 실험 파이프라인

본 연구의 전체 실험 절차는 그림 1과 같다. Mip-NeRF360 데이터셋($8\times$ 다운스케일)을 입력으로 하여 JPEG와 HEVC 두 코덱을 적용하였다. HEVC의 경우 영상 압축 형식에 맞추기 위해 프레임 정렬 및 전처리를 수행하였다. 특히 촬영 간격이 불균일한 bicycle, flowers, treehill 장면은 시점 불연속을 완화하기 위해 홀수·짝수 프레임을 역순·정순으로 재배열하였다. 이후 영상을 YUV 4:4:4 8-bit 포맷(30fps)으로 변환한 뒤 Random Access 모드로 인코딩·디코딩하였다. JPEG은 별도의 전처리 없이 이미지 단위 압축을 적용하였다. 각 압축된 데이터셋은 SfM을 통해 카메라 포즈와 희소 포인트 클라우드를 복원한 후, 이를 3DGS의 입력으로 사용하여 재구성 및 렌더링을 수행하였다.

실험

JPEG 압축에 따른 렌더링 품질 변화

- 1). JPEG QF 10-90 구간에서 3DGS 렌더링을 수행한 결과, 압축률이 높을수록 PSNR 및 SSIM이 감소하고 LPIPS가 증가하는 **비선형적 품질 저하**가 관찰되었다. 특히 QF 30 이하의 고압축 구간에서 품질 저하가 급격했다.
- 2). 일부 장면에서는 JPEG artifact가 3DGS 렌더링 과정에서 완화되어 **SSIM이 향상되는 사례**도 확인되었다.

QF	JPEG PSNR ↑	JPEG SSIM ↑	JPEG LPIPS ↓	Rendered PSNR	Rendered SSIM	Rendered LPIPS
raw	-	-	-	27.397	0.859	0.085
90	35.835	0.960	0.012	27.027	0.846	0.097
70	31.287	0.906	0.046	26.454	0.821	0.134
50	29.679	0.871	0.084	25.624	0.787	0.173
30	28.070	0.825	0.149	25.366	0.767	0.218
10	24.462	0.673	0.345	22.611	0.617	0.367

표 1 압축 수준별 JPEG 압축 결과와 해당 데이터를 이용한 3DGS 렌더링 품질 비교

QP	HEVC PSNR ↑	HEVC SSIM ↑	HEVC LPIPS ↓	Rendered PSNR ↑	Rendered SSIM ↑	Rendered LPIPS ↓
Raw	-	-	-	27.397	0.859	0.085
27	30.781	0.871	0.099	25.527	0.752	0.195
32	28.335	0.777	0.211	23.782	0.652	0.326
37	25.731	0.672	0.345	21.542	0.543	0.435
42	24.022	0.580	0.455	20.420	0.481	0.557

표 2 압축 수준별 HEVC 압축 결과와 해당 데이터를 이용한 3DGS 렌더링 품질 비교

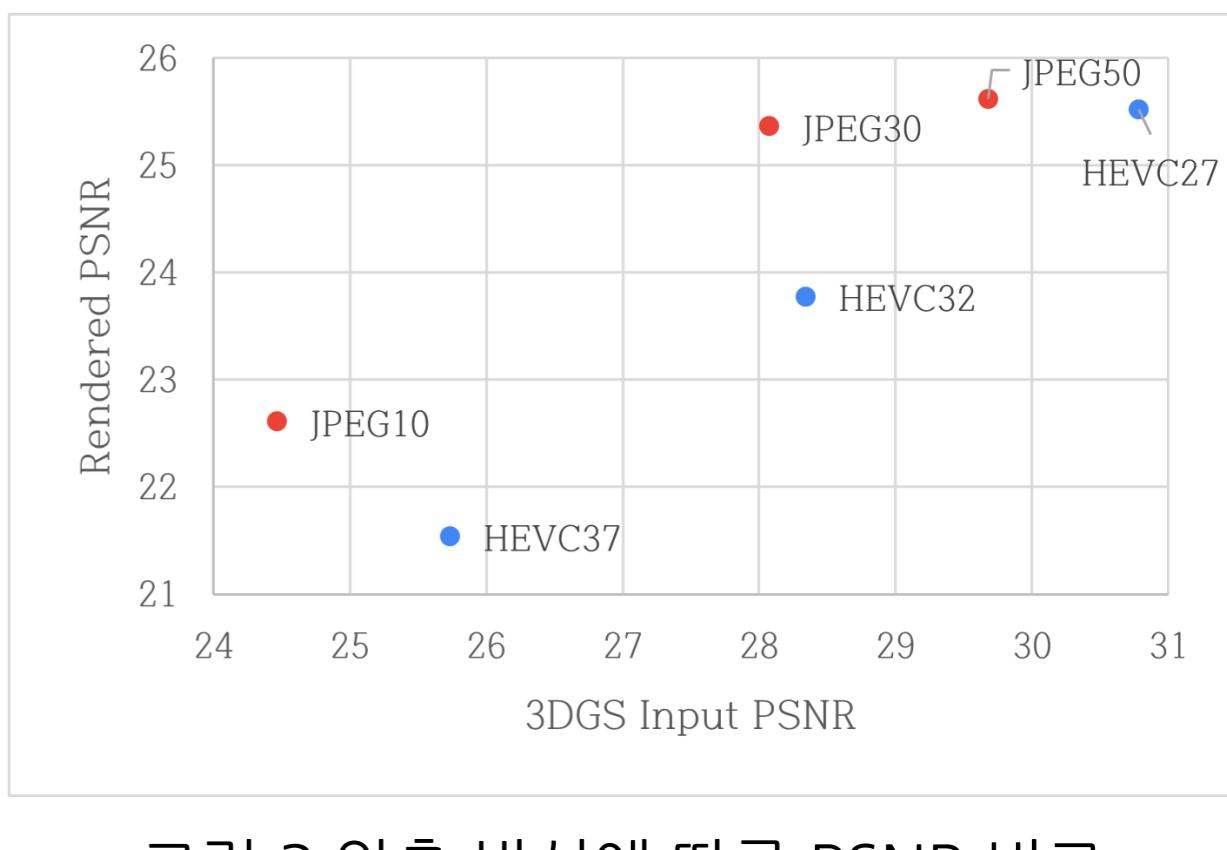
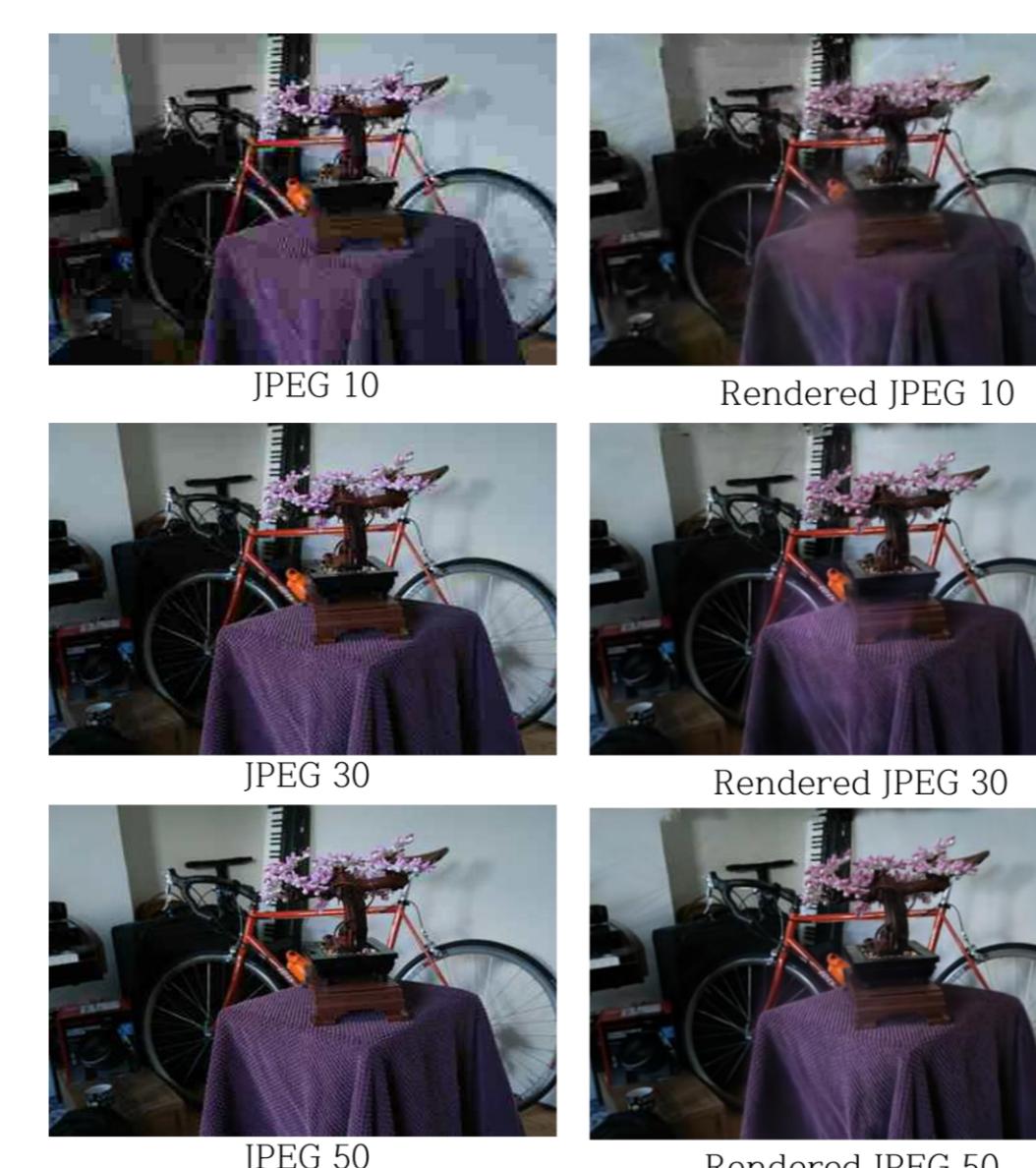


그림 3 압축 방식에 따른 PSNR 비교

그림 2 JPEG 압축 데이터에 비해 렌더링 후 데이터의 SSIM 수치가 상승한 bonsai 장면

HEVC 압축에 따른 렌더링 품질 변화

- 1). HEVC QP 27-42 구간에서 3DGS 렌더링을 수행한 결과, 압축률이 높을수록 품질이 점진적으로 저하되었으며 JPEG 대비 감소 폭이 완만하였다.
- 2). 다만 QP 32의 bicycle 장면에서 SfM 단계의 오차 증가로 PSNR이 예외적으로 급격히 하락하는 현상이 관찰되었다.

압축 코덱에 따른 렌더링 품질 변화

압축 후 PSNR이 유사한 조건에서도 **JPEG 기반 입력이 HEVC보다 더 높은 렌더링 품질을 보였다**. 이는 두 코덱의 압축 방식 차이에서 기인한다. JPEG은 각 프레임을 독립적으로 압축(Intra-frame)하여 영상 간 일관성이 유지되지만, HEVC는 인접 프레임을 참고해 예측 기반으로 압축(Inter-frame)하므로 오차가 누적되어 시점 간 불일치가 발생할 수 있다. 이러한 누적 오차가 3DGS의 파라미터 추정에 영향을 주어 렌더링 품질 저하로 이어진다.

결론

본 연구에서는 3DGS 기반의 3D 재구성 과정에서 압축 코덱 및 압축률이 렌더링 품질에 미치는 영향을 정량적 및 정성적으로 분석하였다. 실험 결과, JPEG은 압축률 증가 시 PSNR·SSIM 감소와 LPIPS 증가가 비선형적으로 나타난 반면, HEVC는 비교적 완만한 품질 저하를 보였다. 또한 입력 데이터셋의 PSNR이 유사한 조건에서도 JPEG 기반 입력이 HEVC보다 안정적인 렌더링 품질을 유지했으며, 이는 JPEG의 프레임 독립적 압축 방식 덕분으로 판단된다. 이러한 결과는 3D 콘텐츠 제작 및 스트리밍 환경에서, **단순 압축 효율보다 시각적 품질을 고려한 코덱 선택이 중요함**을 시사한다.