

## 고해상도 영상에 대한 MPEG-2 / H.264 / HEVC 비디오 코덱의 성능 비교 분석

이하현, 김종호, 김휘용, 최진수

한국전자통신연구원 방통융합미디어연구부

hanilee@etri.re.kr

## A Performance comparison of HEVC with H.264 and MPEG-2 for HD Sequences

Hahyun Lee, Jongho Kim, Hui Yong Kim, Jin Soo Choi

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

## 요약

본 논문에서는 JCT-VC(Joint Collaboration Team on Video Coding)에서 표준화가 진행 중인 HEVC(High Efficiency Video Coding)의 Test Model 인 HM1.0과 현재 디지털 방송, 통신, 저장 매체 등 다양한 응용 분야에 사용되고 있는 범용 비디오 코덱들 간의 객관적, 주관적 측면에서의 부호화 성능을 비교한다. 이를 통해 HEVC의 현재 성능 수준에 대한 평가 결과를 보이고, 활용 가능성에 대해 결론을 맺는다. 비교 대상 코덱으로는 H.264/AVC 표준의 S/W 기반인 VideoLAN Project의 x264와 MPEG-2 표준으로 Harmonic사의 H/W기반의 최신형 실시간 인코더인 Electra8000을 사용하였다. 총 5개의 HD(1920x1080)영상에 대한 객관적 성능 비교 결과, HM1.0이 x264 대비 평균 44.93%의 BD-rate 감소와 평균 1.65%의 BD-PSNR 증가를 보였고, Electra8000에 대해서도 월등히 높은 성능차를 보였다. 주관적 화질 비교 결과 동일 PSNR 조건하에서 HM1.0이 범용 비디오 코덱들보다 주관적 화질이 유사하거나 좀 더 나은 모습을 보였다.

## 1. 서론

비디오 압축 기술은 1990년 국제 표준화 기구인 ITU-T의 H.261 비디오 압축 표준이 발간된 이래 디지털화와 더불어 눈부신 성장을 거듭해 왔다. H.261은 본래 ISDN망을 이용한 영상 전화나 영상 회의 등의 영상 통신을 위해 개발되었고, 64Kbps의 수 배 정도의 저비트율과 QCIF(174x144) 정도의 저해상도 영상에 최적화 되었다. 이후 디지털 미디어의 저장용으로 국제 표준화 기구인 ISO/IEC의 MPEG-1 비디오 압축 표준이 개발되어 VCD에 성공적으로 도입되게 되었다. 이 때까지만 해도 ITU-T 쪽의 비디오 압축 표준은 주로 통신 분야 응용을 목표로 하고 ISO/IEC 쪽은 주로 저장 분야 응용을 목표로 하였으나, 1995년 발간된 MPEG-2는 디지털 방송, 통신, 저장 매체 등 다양한 응용분야를 목표로 ISO/IEC 측과 ITU-T 측이 공동으로 개발하였다. 이렇게 개발된 MPEG-2는 시장에서 대 성공을 거두어 현재까지도 디지털 방송 및 DVD 등에서 광범위하게 사용되고 있다. 이후에도 ITU-T 측은 1996년에 영상 회의를 목적으로 H.261보다 압축율이 뛰어난 H.263 표준을 개발하여 제정하였고, ISO/IEC 측은 1998년에 객체 기반 부호화를 목표로 MPEG-4 비주얼 표준을 제정하였으며, H.263의 경우 YouTube 등에서 사용되는 플래시 비디오 포맷에 채택되었고, MPEG-4의 경우 DivX 및 QuickTime 포맷에서 현재까지 사용되고 있다. 이후 2000년 대 들어와 ISO/IEC 측과 ITU-T 측은 JVT(Joint Video Team)라는 공동 팀을 구성하여 다시 한 번 표준 개발 협력을 시도하였고, 2003년 MPEG-2보다 두 배 가량의 압축 성능을 갖는 H.264/AVC 표준을 제정하였다. H.264/AVC 표준은 유럽 등 일부 국

가의 디지털 방송에도 사용되고 있을 뿐 아니라, 지상파 DMB 등의 모바일 방송, IPTV 및 인터넷 방송 등에 현재 가장 널리 이용되고 있는 비디오 압축 표준이라 할 수 있다. 하지만 실감 미디어 시대의 도래로 HD 및 UHD와 고해상도, 고품질 영상에 대한 수요와 3D와 같은 입체 영상에 대한 수요가 다양한 응용분야에서 급속히 증가하고 있다. 이러한 실감 영상들은 데이터량이 방대하기 때문에 기존 표준인 H.264/AVC보다 압축 성능을 획기적으로 높인 새로운 비디오 압축 표준을 개발해야 한다는 필요성이 ISO/IEC MPEG과 ITU-T VCEG에서 수 년전부터 제기되어 왔고, 2010년 1월에 두 단체는 표준 개발을 위한 JCT-VC(Joint Collaboration Team on Video Coding)를 결성하였고 기존 H.264/AVC 성능을 2배 이상 향상시키는 것을 목표로 새로운 차세대 비디오 압축 표준인 HEVC(High Efficiency Video Coding)의 표준화 작업을 시작하였다.

본 논문에서는 HEVC의 Test Model인 HM1.0과 현재 디지털 방송, 통신, 저장 매체 등 다양한 응용분야에 사용되고 있는 MPEG-2, H.264/AVC 표준의 범용 비디오 코덱들 간의 객관적, 주관적 측면에서의 부호화 성능 비교를 통해 HEVC의 현재 성능 수준에 대한 평가 결과를 보인다. 비교 대상 코덱으로는 H.264/AVC 표준의 S/W 기반인 VideoLAN Project의 x264와 MPEG-2 표준으로 Harmonic사의 H/W 기반의 최신형 실시간 인코더인 Electra8000을 사용하였다[1,2].

## 2. HEVC Test-Model (HM)

HEVC의 가장 큰 특징 중 하나는 H.264/AVC의 매크로블록과 같

이 고정된 크기의 부호화단위를 사용하지 않고, 쿼드트리 기반의 가변 크기 부호화유닛(Coding Unit)을 사용한다는 것이다. 또한 잔차신호에 대한 변환블록(Transform Unit)의 크기도 CU에서 시작하여 특정 깊이까지 쿼드트리 기반으로 다양하게 분할 (Residual Quadtree Transform)될 수 있다. 특히, CU와 TU의 최대 크기를 H.264/AVC의 16x16과 8x8에서 64x64와 32x32로 확장함으로써, 영역별 특성에 따라 다양한 크기의 예측과 변환을 적용하여 부호화 효율을 향상시켰다. 표 1은 H.264에 채택된 주요 기술에 대해 요약한 것이다[3]. 가장 최근인 2011년 3월 회의를 통해 결정된 HM 버전은 3.0이며 3.0에 채택된 기술에 대해서는 [4]를 참고하면 된다.

표 1. H.264 채택 기술 요약

고효율(HE) 운용모드	저복잡도(LC) 운용모드
쿼드트리 부호화유닛 (CU):8x8~64x64	
예측유닛(PU) 분할 : 2Nx2N, NxN, 2NxN, Nx2N (최대 N=32)	
쿼드트리 변환유닛 (RQT) : 최대 3수준	쿼드트리 변환유닛(RQT) : 최대 2수준
정방향 변환 : 4x4~32x32	
DCT 기반 밝기 보간필터 (DCT-IF 12-tap)	방향성 밝기 보간필터 (DIF 6-tap)
양선형(Bi-linear) 색차 보간 필터	
향상된 움직임 벡터 예측 (AMVP)	
CU간 움직임정보병합 및 CU Skip/Direct	
단순화된 디블록킹 필터	
적응적 루프 필터	x
문맥적용 엔트로피부호화	저복잡도 엔트로피부호화
내부 비트심도 증가(IBDI)	변환 정확도 확장 (TPE)

### 3. 부호화 성능 비교 실험 및 고찰

#### 가. 실험 환경

부호화 성능 비교 실험에서 사용한 비디오 코덱 정보 및 부호화 환경은 표 2와 표3과 같다. 윌-웨어 관점에서의 비디오 코덱들의 객관적 성능을 비교하기 위해 x264와 H.264에 대해서는 4개의 QP값을 사용

표 2. 비교 대상 비디오 코덱

부호화 표준	부호화기	특징
MPEG-2	Electra8000	MPEG-2, H.264/AVC 동시 지원 최신 실시간 H/W 부호화기 케이블, 위성, IPTV에 활용
H.264/AVC	x264 (r1766)	최적화된 S/W 부호화기 YouTube, Facebook, Vimeo, Hulu 등 web video service의 core로 활용.
HEVC	H.265	S/W기반의 Test Model 부호화기

표 3. 부호화 환경

	Electra8000	x264	H.265
예측구조	IBBP	Hierarchical B	Hierarchical B
IDR 주기	30프레임	32프레임	32프레임
비트율/QP	6/10/14/18M	23,26,29,32	23,26,29,32
프레임율	60i	30p	30p

있고 QP값 설정이 불가능한 Electra8000에 대해서는 현재 HDTV 서비스에 사용하고 있는 18Mbps를 기준으로 4개의 비트율을 설정하였다. 방송 환경을 고려하여 약 1초 단위의 IDR(Instantaneous Decoding Refresh)을 삽입하였다. 예측 구조로 HM과 x264는 Hierarchical B 구조를 사용하였고, Electra8000은 IBBP를 사용하였다. 표 1 이외의 부호화 환경은 HM에 대해서는 JCT-VC 공통실험조건[5] 중 HE@RA(High efficiency random access) 을 사용하였고, x264에 대해서는 그림 1과 같은 부호화 환경을 사용하였다. Electra8000의 경우, 가장 좋은 부호화 성능을 낼 수 있도록 환경을 설정하였다. 부호화에 사용한 시퀀스는 HEVC 테스트 시퀀스 중 Class B (1080p) 5종의 영상을 사용하였고, 부호화 프레임율을 30p(MPEG-2 경우, 60i)로 맞추기 위해 50p, 60p 영상들에 대해서는 짝수번째 프레임들로 재구성을 하였다.

```
x264 --profile high --qp 24 --ipratio 1.1 --pbratio 1.3 --frames 33 -o
kimono_1920x1080_24_QP23.264 kimono_1920x1080_24.yuv --dump-yuv
kimono_1920x1080_24_rec_QP23.yuv --fps 30 --input-depth 8 --input-res
1920x1080 --keyint 32 --min-keyint 1 --no-scenecut --bframe 7
--b-pyramid strict --b-adapt 0 --open-gop normal --ref 2 --direct
spatial --weightp 2 --merange 32 --trellis 2 --partitions all --verbose
--psnr --aud
```

그림 1. x264 부호화 파라미터 예

#### 나. 객관적 부호화 성능 비교

H.264와 x264간의 객관적 부호화 성능 비교는 4개의 QP에 대한 1초 분량의 부호화한 결과를 바탕으로 BD-rate와 BD-PSNR을 측정하였다. Electra8000의 경우, 윌-웨어 그래프를 통해 성능을 비교하였다. 표 4는 테스트 시퀀스를 1초 분량 부호화한 결과를 정리한 것이며 표 5는 H.264의 x264 대비 비트 절감율을 정리한 것이다. x264 대비 평균 44.93%의 비트 절감율을 보이고, 최대 52%의 비트 절감이 가능함을 보이고 있다. 또한 평균 1.65%의 BD-PSNR 증가를 보이고 있다. 그림 2는 표 5의 결과 중 가장 큰 비트 절감율을 보이고 있는 kimono 영상에 대한 윌-웨어 그래프이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 약 38dB의 화질을 얻기 위해 H.264는 2Mbps의 비트율을 필요로 하지만, x264는 약 4Mbps, Electra8000은 약 9Mbps의 비트율을 필요로 하고 있다.

표 4. 테스트 시퀀스에 대한 1초 분량의 부호화 결과

	QPISlice (Target rate)	Electra8000		x264		H.265	
		Bitrate(kbps)	Y PSNR(dB)	Bitrate(kbps)	Y PSNR(dB)	Bitrate(kbps)	Y PSNR(dB)
S03 Kimono	23(18)	17761.71	40.76	12119.60	41.26	6841.80	41.76
	26(14)	13676.50	40.02	8213.37	40.19	4443.56	40.56
	29(10)	9952.45	38.60	5675.28	38.89	2921.40	39.16
	32(6)	5954.94	35.88	3872.65	37.44	1914.89	37.62
S04 ParkScene	23(18)	17616.96	37.48	12994.78	39.09	9600.31	39.64
	26(14)	13744.67	36.99	8358.62	37.63	6000.60	38.17
	29(10)	10138.57	36.22	5537.32	36.11	3786.62	36.63
	32(6)	5862.46	34.76	3679.75	34.55	2396.13	35.07
S05 Cactus	23(18)	17617.52	35.86	19635.98	37.75	13118.60	38.02
	26(14)	13898.59	35.35	11463.75	36.70	7297.20	36.94
	29(10)	9940.77	34.75	7559.03	35.57	4568.12	35.76
	32(6)	5884.85	32.64	5122.75	34.26	2987.53	34.45
S06 Basketball Drive	23(18)	18153.27	37.59	16967.37	39.04	10068.06	39.21
	26(14)	14131.47	36.55	10150.99	38.00	5796.67	38.25
	29(10)	10048.21	35.11	6819.35	37.00	3645.24	37.21
	32(6)	6285.83	33.75	4739.03	35.88	2364.59	36.05
S07 BQTerrace	23(18)	17572.51	33.78	30196.57	37.66	19517.24	37.34
	26(14)	13854.03	33.19	13624.44	35.57	9077.45	35.69
	29(10)	10255.21	32.64	7084.52	34.12	4841.28	34.56
	32(6)	6441.40	30.95	4274.07	32.77	2840.80	33.45

표 5. HM1.0의 객관적 성능 평가 결과 (x264대비 비트 절감율)

Class B(1080p)	BD-rate (%)	BD-PSNR (dB)
kimono	-52.35	2.47
ParkScene	-40.08	1.76
Cactus	-43.33	1.39
BasketballDrive	-50.02	1.57
BQTerrace	-38.85	1.08
평균	-44.93	1.65

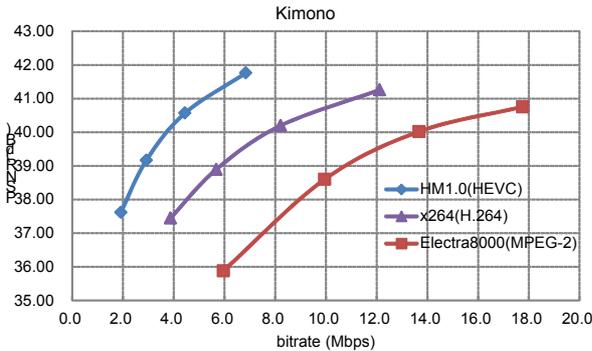


그림 2. 비디오 코덱에 따른 올-왜곡 성능 그래프 (kimono)

이상의 결과에 따르면, HEVC를 사용할 경우 기존 비디오 표준의 범용 코덱들 대비 더 낮은 비트율에서 동일 화질을 갖는 비디오 서비스를 제공할 수 있음을 보여주고 있다.

### 다. 주관적 화질 비교

주관적 화질 비교는 객관적 성능 비교 결과 비트 절감율에서 큰 차이를 보이는 2개의 영상(kimono, BasketballDrive)을 선정하여 다음과 같은 두 가지 측면에서 화질 비교를 수행 하였다.

- ① 동일 PSNR에서 비디오 코덱간 부호화 비트율 차이
- ② 동일 비트율에서 비디오 코덱간 PSNR 차이 (Electra8000의 경우, 6Mbps이하에서 신뢰할만한 부호화 성능을 보이지 못하여 2배의 비트율에서의 PSNR을 사용)

주관적 화질 비교를 위해 2개의 영상에 대해 10초 분량 부호화를 수행 하였으며, HM1.0에 대한 부호화 결과 Bitrate와 PSNR을 기준으로 선정하였다. 그림 3과 그림 4는 주관적 화질 비교를 위해 생성된 영상들의 부호화 Bitrate 및 PSNR 를 나타낸다. x264와 Electra8000에 대해서는 비트율 제어 기능을 사용해 기준 PSNR 및 Bitrate를 맞추었기 때문에 비트율 제어에 따른 약간 비트율 에러 및 PSNR 감소가 있다. 기준 PSNR 및 Bitrate로 선정된 HM1.0의 부호화 시퀀스 1개, 기준 PSNR에서 비트율 차이를 갖는 부호화 시퀀스 2개, 기준 비트율(기준 비트율×2)에서 PSNR 차이를 갖는 부호화 시퀀스 2개를 생성한 후 주관적 화질을 비교하였다. 그림 5는 3.67Mbps에서의 HM1.0과 x264의 복원 영상의 화질과 7Mbps에서의 Electra8000의 복원 영상의 화질을 보여주고 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 동일 비트율 조건하에서 HM1.0이 x264에 비해 PSNR값뿐만 아니라 주관적 화질에서도 우수함을 알 수가 있다. 그림 6은 기준 PSNR 36.58dB 에서의 각각의 비디오 코덱에 따른 BasketballDrive 영상의 복원된 화질을 보여주고 있다. 동일 PSNR 조건하에서 HM1.0의 주관적 화질이 유사하거나 좀 더 나

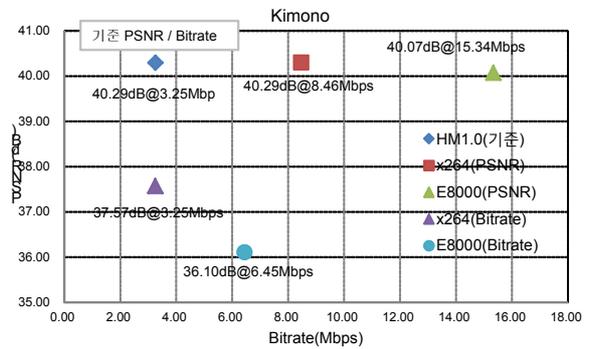


그림 3. 주관적 화질 비교를 위한 부호화 시퀀스 생성 포인트 (Kimono)

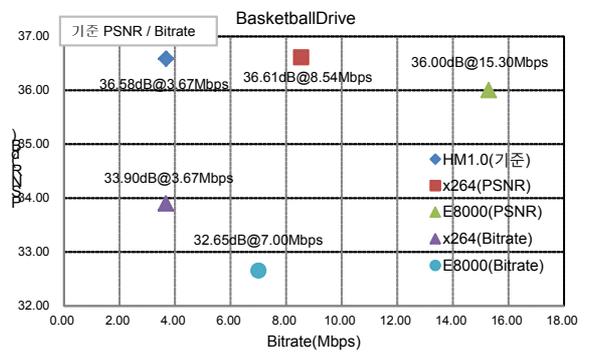


그림 4. 주관적 화질 비교를 위한 생성된 부호화 시퀀스 생성 포인트 (BasketballDrive)

음을 볼 수 있다. 그림 4에서 보면, 약 36dB 수준의 화질을 유지하기 위해 HM1.0은 3.67Mbps의 비트율을 필요로 하고, x264는 8.54Mbps, Electra8000은 15.30Mbps의 비트율을 필요로 하고 있다. 그림 7, 8은 kimono 영상에 대한 기준 비트율 및 PSNR에서 비디오 코덱에 따른 주관적 화질을 보여주고 있다.

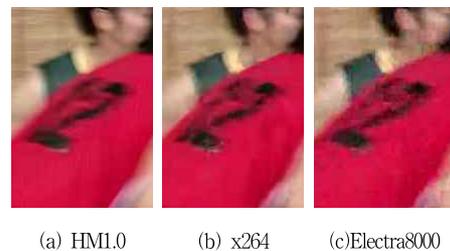


그림 5. 기준 비트율에서 비디오 코덱에 따른 복원 영상의 주관적 화질 (BasketballDrive) (HM1.0, x264 : 3.67Mbps , Electra8000:7Mbps)

### 4. 결론

비교 실험을 통해 HM1.0으로 HD(1920x1080) 영상을 부호화 하였을 경우, x264 대비 평균 45% 정도의 비트 절감율을 보였고, 최신 MPEG-2 인코더인 Electra8000에 대해서도 4배 이상의 비트 절감율을 갖는다고 예측 할 수 있다. 이러한 추세로 보면 표준 개발이 완료되는 2013년 초에는 H.264/AVC 대비 약 50%의 비트 절감율을 무난히

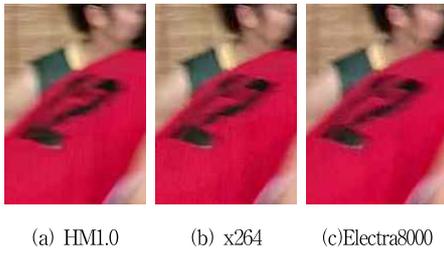


그림 6. 기준 PSNR (36.58dB) 에서 비디오 코덱에 따른 복원 영상의 주관적 화질 (BasketballDrive)

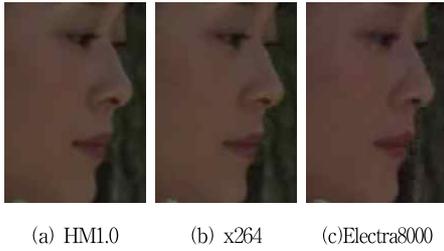


그림 7. 기준 비트율에서 비디오 코덱에 따른 복원 영상의 주관적 화질 (kimono)  
(HM1.0, x264 : 3.25Mbps , Electra8000:6.45Mbps)

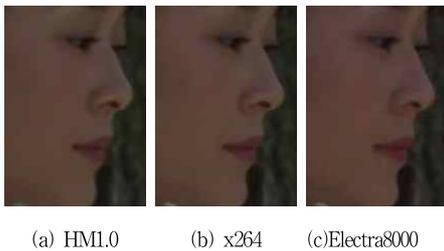


그림 8. 기준 PSNR(40.29dB)에서 비디오 코덱에 따른 복원 영상의 주관적 화질 (kimono)

달성할 수 있을 것으로 예상되며, 향후 대용량의 데이터량을 필요로 하는 UHD-TV, 지상파 HDTV 방송과의 호환성을 제공하는 3D HDTV 방송 및 mobile HD 서비스 등 실감 미디어를 서비스하기 위한 모든 멀티미디어기기에 사용되어 질 것으로 전망한다.

### 감사의 글

“본 연구는 방송통신위원회의 ETRI 연구개발지원사업의 연구결과로 수행되었음”(KCA-2011-11921-02001)

### 참고문헌

- [1] [www.videolan.org/developers/x264.html](http://www.videolan.org/developers/x264.html)
- [2] [www.harmonic.com](http://www.harmonic.com)
- [3] JCTVC-C405, "Summary of HEVC working draft 1 and HEVC test model (HM)," July 2010.
- [4] JCTVC-E700, "Common test conditions and software reference configurations," March 2011.
- [5] JCTVC-C500, "Common test conditions and software reference configurations," July 2010.