

유한 DTV 스트림의 반복 재생시 불연속 현상 제거

정회원 한 찬 호*, 송 규 익**

Elimination of Discontinuity Phenomenon for Repeated Play of Finite DTV Stream

Chan-Ho Han*, Kyu-Ik Sohng** *Regular Members*

요 약

유한한 DTV 디지털 스트림(digital stream)을 반복 재생할 경우, 반복되는 시점에서 일반적으로 블랙화면이나 음의 끊어짐과 같은 불연속 현상이 발생한다. 본 논문에서는 스트림 반복 재생시의 불연속 현상의 원인을 소스(source) 및 스트림(stream)의 재생시간 분석을 통하여 규명한다. 또한 이 현상을 제거하기 위한 비디오 프레임율(frame rate)과 오디오 프레임율, 및 트랜스포트 스트림(transport stream, TS) 전송율 사이의 관계를 구한다. 이 관계식을 이용하여 반복 재생시 불연속이 발생하지 않는 최소의 소스, 기초 스트림(elementary stream, ES) 및 TS 제작 방법을 제안한다. 제안된 방법으로 구현된 ES와 TS를 방송시스템에 적용하여 실험한 결과 반복 재생시 불연속 현상이 발생하지 않음을 확인한다.

ABSTRACT

In general, there is discontinuity phenomenon like a black screen and an irregular sound for repeated play of a finite digital stream. In this paper, for repeated play we analyze the relation between source and stream time causes this phenomenon. We obtain the time relation between video frame rate, audio frame rate, and TS packet transmission rate to eliminate this phenomenon. Using this time relation, we propose a new generation method of elementary stream (ES) and transport stream (TS) to eliminate discontinuity phenomenon. The test results of the generated ES and TS using the proposed method show that the discontinuity phenomenon can be eliminated for repeated play of a finite proposed stream.

I. 서 론

디지털 방송 시스템(digital broadcast system)은 전 과정이 디지털 신호로 처리되어 화질이 선명하며, 저음역에서 고음역까지 음향신호를 세분화하여 CD 수준의 음질을 구현할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 최근 디지털 방송 시스템은 지상파, 위성, 케이블 TV 등 다양한 매체를 통하여 세계적으로 빠른 속도로 확산되고 있다. 특히, 미국에서는 2006년부터, 한국에서는 2010년부터 기존의 아날로그 TV 방송을 중지하고 모두 디지털 방송으로 대체할 예

정이다.^{[1][4]} 이에 국내 및 국외의 많은 전자회사들은 DTV(digital television) 수신기(receiver)를 개발, 생산 및 판매하고 있다.

DTV 수신기의 개발 및 생산에 있어서 기능 검증 및 품질의 유지를 위하여 테스트가 필요하다. 이를 위하여 DTV 수신기 테스트에 사용되는 디지털 스트림은 실시간 인코더(encoder)를 사용함이 최적이나 가격적인 부담과 스트림의 다양성 부족과 같은 문제점이 있다. 따라서 제조회사에서는 차선책인 컴퓨터 시뮬레이션 방법의 스트림과 스트림 발생기를 이용하여 DTV 수신기의 테스트에 사용하고 있

* 경운대학교 소프트웨어공학과 멀티미디어 연구실(chhan@kyungwoon.ac.kr),

** 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 오디오&비디오 신호 처리 연구실(kisohng@ee.knu.ac.kr)

논문번호 : 020271-0607, 접수일자 : 2002년 6월 7일

※ 본 연구는 LG전자(주) DND 사업부의 지원에 의해 수행되었습니다.

다.^[5] 이 경우 DTV 테스트 스트림은 실제 방송에서와 같이 무한히 계속되어야 하므로 무한한 데이터량이 발생하게 된다. 그러나 DTV 테스트 스트림을 저장할 수 있는 컴퓨터 저장 매체의 용량이 유한하다. 따라서 유한한 용량의 디지털 스트림을 반복재생하여 DTV 수신기를 테스트하고 있다.^[6] 이 경우 비디오에서는 블랙화면이나 정지화면과 같은 불연속 현상이 발생하며, 오디오에서는 신호가 없는 구간이나 음의 끊어짐과 같은 불연속 현상이 발생한다.^[7]

따라서 종래에는 디지털 테스트 스트림은 그 각각 의도하는 테스트를 위하여 길게 만들어 DTV 수신기 테스트를 하고 있다. 이는 스트림 반복재생의 문제점인 불연속 현상이 일어나는 부분은 무시하고 정상적으로 재생되는 부분에서 그 성능을 평가한다. 그러나 이를 생산 현장에서 사용할 경우, 디지털 스트림을 이용한 테스트는 반복되는 시점에서 일어나는 현상이 제품이 잘못되었을 때 일어나는 현상과 구별할 수 없다.

본 논문에서는 먼저 유한한 스트림을 반복 재생할 경우 일어나는 불연속 현상의 원인을 분석한다. 이를 바탕으로 오디오 샘플 및 비디오 프레임 제작에 있어서 반복 재생을 위해 고려해야할 사항을 제시한다. 또한 오디오 및 비디오 기초 스트림 (elementary stream, ES)를 반복하여 DTV 수신기를 테스트할 경우, 불연속 현상이 발생하지 않도록 하는 방법을 제안한다.

다음으로 오디오 샘플, 비디오 프레임, 오디오 ES, 비디오 ES 및 트랜스포트 스트림 (transport stream, TS)의 재생시간 사이의 관계 분석을 이용하여, TS를 반복하여 DTV 수신기를 테스트할 경우에도, 불연속 현상이 발생하지 않도록 하는 프로그램 시간을 계산하였다. 또한, 컴퓨터 저장공간이 유한함을 고려하여, 불연속 현상이 발생하지 않는 최소의 스트림 시간 및 용량을 구하였다.

본 연구의 결과를 검증하기 위하여, 제안된 방법으로 제작된 오디오 샘플, 비디오 프레임, 오디오 ES, 비디오 ES 및 TS를 가상의 방송시스템에 적용하여 반복 재생시 불연속 현상이 발생하지 않음을 확인하였다.

II. 본 론

2.1 유한한 스트림을 사용한 DTV 테스트의 문제점

2.1.1 테스트 스트림을 사용한 DTV 수신기 테스트

(5)-(10)

DTV 수신기를 개발 및 생산하는 과정에서 테스트는 크게 기능(function) 및 성능(quality)을 평가하는 두 가지 테스트가 있다. 먼저, 기능 테스트는 수신기의 기능을 테스트하는 것으로 시스템 다중화에 대한 역다중화가 잘 되는지, 또는 비디오/오디오의 복호화가 잘 되는지를 확인하는 과정이다. 또한 성능 평가는 디지털 수신기의 최종 결과물인 비디오와 오디오의 품질을 평가하는 과정이다. 따라서 수신기의 기능 및 성능 평가를 위하여 각각을 테스트하기 위한 전용 또는 범용의 디지털 스트림이 필요하다. 대체적으로 기능 테스트 스트림은 개발 과정에서 많이 필요하며, 성능 테스트 스트림은 생산 시에 제품의 품질 유지를 위하여 많이 사용된다.

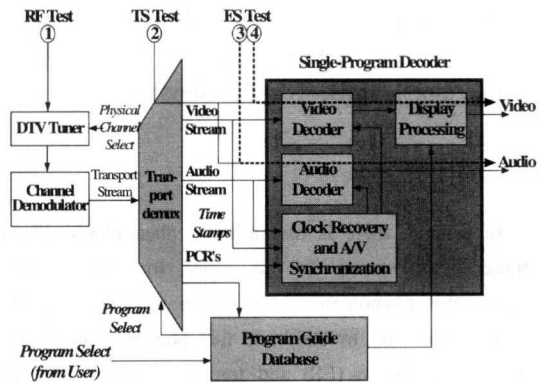


그림 1. DTV 수신기의 블록도 및 테스트 스트림 입력 위치

그림 1에서 DTV의 일반적인 성능평가를 위한 수신기의 블록도와 테스트 스트림 입력위치를 나타내었다. 테스트 스트림은 DTV 수신기 내부의 각 블록을 테스트할 수 있어야 한다. 따라서 DTV 수신기 테스트를 위하여 비디오 및 오디오 ES 스트림, 및 이를 다중화한 TS 스트림이 필요하다. 비디오 및 오디오 ES 스트림은 그림 1의 ③ 및 ④의 위치에 입력되어 소스 (source)를 압축한 스트림의 복원 과정을 테스트할 수 있다. 또한 TS 스트림은 ②의 위치에 입력되어 TS의 역다중화 과정 및 ES의 복원 과정을 테스트할 수 있다. 또한 이 TS를 이용한 테스트는 클럭의 복원과 비디오/오디오의 동기화를 테스트할 수 있다. 끝으로 수신기 전체를 테스트할 수 있는 기능으로 ①의 위치에 입력된 RF 신호를 사용할 수 있다.

2.1.2 테스트 스트림 반복시의 문제점

DTV 수신기 테스트는 실시간 엔코더를 사용하는 방법과 컴퓨터 시뮬레이션 스트림을 이용한 방법이 있다. 실시간 엔코더를 사용하는 방법은 가격적인 부담으로 인하여, DTV 수신기 개발 및 제조회사에서는 컴퓨터 시뮬레이션 스트림을 사용하여 테스트하고 있다.^[5] 그림 2에 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 스트림 제작과정을 나타내었다.

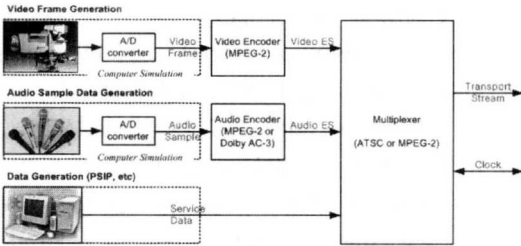


그림 2. 스트림 발생을 위한 블록도

컴퓨터 시뮬레이션 방법을 사용하여 구현된 디지털 스트림에는 기초 스트림(ES: element stream)과 전송 스트림(TS: transport stream)이 있다. 기초 스트림은 비디오 스트림과 오디오 스트림으로 구성된다. 이들 스트림을 실시간 제너레이터로 테스트할 경우의 각 스트림의 재생시간을 계산하여 표 1에 나타내었다. 표 1은 MSSG (MPEG software simulation group)에서 제공하는 전송 스트림에 대해 재생시간을 분석한 결과이다.

표 1. MSSG 스트림에 대한 재생시간 분석

Stream name	Video frame playtime t_{vf} [sec]	Video ES playtime t_{vES} [sec]	TS playtime t_{TS} [sec]
np.ts	37.6	37.599577	37.6
sm4.ts	37.6	37.599577	37.6
sa.m2t.1	15.015	15.037111	15.04
sa.m2t.1.new	15.015	14.972825	14.975328
TPhhi_bits.conf	1.840	1.840424	1.841648
sample.trp	1.360	1.332960	1.398720

DTV 수신기를 테스트할 경우, 그 스트림의 길이가 무한하면 실제의 연속적인 방송수신 환경과 동일하게 된다. 따라서 표 1에서와 같이 유한한 스트림을 반복 재생하여 DTV 수신기를 테스트하고 있다.

그러나 표 1에서 발생한 비디오 프레임 재생시간,

ES 재생시간, 및 TS 재생시간의 차이는 수십 ms 정도로 미약하나 스트림을 반복 재생할 경우, 그 차가 누적되어 수신기 내부에 있는 오디오와 비디오 ES 버퍼의 부족현상 (underflow) 또는 넘침현상 (overflow)을 발생시킨다. 이러한 버퍼 부족현상 및 넘침 현상은 비디오의 경우 블랙 화면이나 정지 화면의 형태로 나타나며, 오디오의 경우 신호가 없는 구간이나 음의 끊어짐과 같은 불연속 현상이 발생한다. 또한 이러한 현상은 수신기의 이상이 있을 경우에 일어나는 현상과 구별할 수 없으며, 최악의 경우 수신기를 리셋해야 완전히 복원할 수 있다.

2.2 스트림 반복재생을 위한 스트림 시간 분석

본 절에서는 비디오 및 오디오 소스와 제작된 ES 및 TS의 시간 분석을 통하여 스트림 반복 재생시 발생하는 불연속 현상의 원인을 구체적으로 규명한다.

2.2.1 오디오 ES

오디오 기초 스트림의 구현은 MPEG-2 방식과 Dolby AC-3 방식이 사용하고 있다.^{[11]-[12]} 오디오 ES의 재생시간과 오디오 샘플의 재생시간의 관계를 그림 3에 나타내었다.

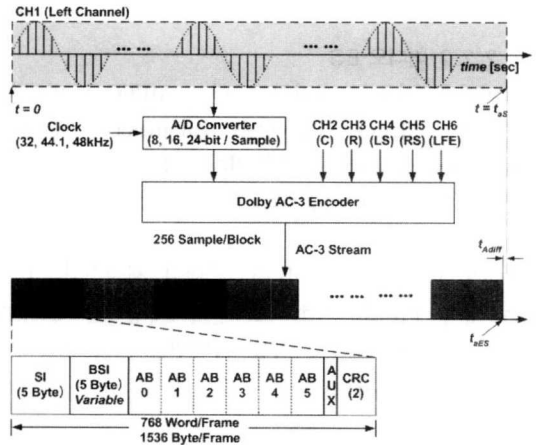


그림 3. 오디오 기초 스트림과 오디오 샘플과의 시간관계

그림 3에서 t_{aS} 는 오디오 샘플 재생시간, t_{aES} 는 압축 오디오 기초 스트림의 재생시간 그리고 t_{Adiff} 는 t_{aS} 와 t_{aES} 의 차를 의미한다. t_{aS} , t_{aES} 및 t_{Adiff} 를 각각 구하면

$$t_{aS} = \frac{n_{aS}}{R_{aS}} \tag{1}$$

$$t_{aES} = \frac{n_{aBit}}{R_{aES}} = n_{aF} \times \frac{1}{R_{aF}} \quad (2)$$

$$t_{Adiff} = t_{aS} - t_{aES} \quad (3)$$

이다. 여기서 R_{aS} , R_{aES} 및 R_{aF} 는 각각 오디오 샘플의 표본화율, 오디오 ES의 전송율, 및 오디오 ES의 프레임 전송율이다. 또한 n_{aS} , n_{aBit} 및 n_{aF} 는 각각 오디오 샘플 수, 오디오 ES 비트 수, 및 오디오 ES의 프레임 수이다.

일반적으로 오디오 압축은 프레임 단위로 행하여지며, 1 프레임 내의 샘플 재생시간과 1 프레임 오디오 ES의 재생시간이 일치한다. 그러나 전체 오디오 샘플 수 n_{aS} 가 1 프레임 내의 샘플 수의 배수가 아닐 경우, 샘플이 연속된 t_{aS} 는 프레임이 연속된 t_{aES} 보다 작으므로 t_{Adiff} 가 발생한다. 이 t_{Adiff} 는 스트림을 반복 재생할 경우, 오디오 신호가 없어지는 구간을 발생시켜 음의 불연속 현상을 유발한다. 또한 t_{aS} 와 t_{aES} 가 일치하여 t_{Adiff} 가 발생하지 않는 경우라 할지라도, 오디오 마지막 샘플 값과 최초의 샘플 값이 일치하지 않을 경우, 반복 재생시 오디오 신호의 불연속현상이 발생하여 음의 끊어짐이 발생한다.

2.2.2 비디오 ES

비디오 기초 스트림의 구현은 MPEG-2 방식을 사용하고 있으나 일부 변수 (parameter)는 규정에 따라 조금씩 다르다.^{[13][14]} 비디오 ES의 재생시간과 비디오 프레임의 재생시간의 관계를 그림 4에 보였다.

그림 4에서 t_{vF} 는 비디오 프레임 재생시간, t_{vES} 는 압축 비디오 기초 스트림의 재생시간 그리고 t_{Vdiff} 는 t_{aS} 와 t_{aES} 의 차를 나타낸다. t_{vF} , t_{vES} 및 t_{Vdiff} 를 각각 구하면

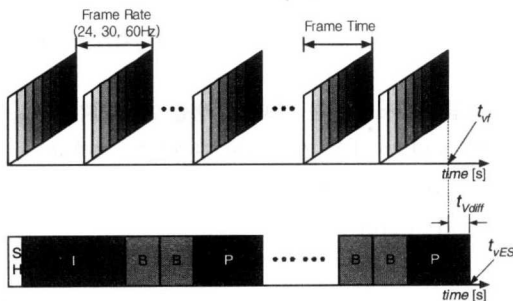


그림 4. 비디오 기초 스트림과 비디오 프레임과의 시간관계

$$t_{vF} = \frac{n_{vF}}{R_{vF}} \quad (4)$$

$$t_{vES} = \frac{n_{vBit}}{R_{vES}} \quad (5)$$

$$t_{Vdiff} = t_{vF} - t_{vES} \quad (6)$$

이다. 여기서 n_{vF} 및 n_{vBit} 는 각각 비디오 프레임 수 및 비디오 ES 비트 수이다. 또한 R_{vF} 및 R_{vES} 는 각각 비디오 프레임 율 및 비디오 ES의 전송율이다.

비디오 압축의 단위도 오디오 압축과 동일한 프레임이나, 1 프레임의 재생시간과 1 프레임이 압축된 비디오 ES의 재생시간이 일치하지 않는다. 따라서 표 1 및 그림 4에서와 같이 소스의 재생시간 t_{vF} 와 비디오 ES의 재생시간 t_{vES} 는 일치하지 않으며 t_{Vdiff} 가 발생하게 된다. 이 t_{Vdiff} 는 스트림을 반복 재생할 경우, 비디오 디코더에 있는 스트림 버퍼에 오동작을 유발시켜 블랙 화면이나 정지 화면과 같은 불연속 현상 등으로 나타난다.

2.2.3 TS

다음으로 비디오 ES와 오디오 ES를 다중화한 TS의 구현은 MPEG-2 방식을 사용하고 있으나 일부 구문 (syntax) 및 변수는 규정에 따라 조금씩 다르다.^{[15][16]} 각각의 기초 스트림 재생시간과 이를 다중화한 전송 스트림의 재생시간의 관계를 그림 5에 나타내었다.

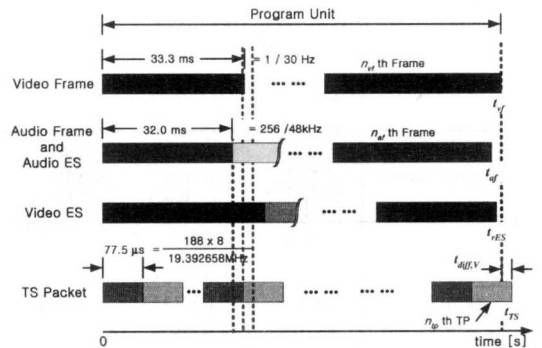


그림 5. ES와 TS의 재생시간 관계

그림 5에서 t_{TS} 는 TS 스트림의 재생시간이다. 따라서 t_{TS} 는

$$t_{TS} = \frac{n_{tsBit}}{R_{TS}} = n_{tp} \times \frac{1}{R_{tp}} \quad (7)$$

이다. 여기서 n_{tp} 및 n_{tsBit} 는 각각 전송 패킷 수 및 TS 비트 수이다. 또한 R_{tp} 및 R_{TS} 는 각각 패킷 전송율 및 TS의 전송율이다. 또한 TS의 재생시간과 각 source 및 스트림의 재생시간과의 차이 t_{diff} 에는 $t_{diff,A}$, $t_{diff,V}$, $t_{diff,aES}$ 및 $t_{diff,vES}$ 가 있으며, 이들은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$t_{diff,A} = t_{TS} - t_{aS} \tag{8}$$

$$t_{diff,V} = t_{TS} - t_{vS} \tag{9}$$

$$t_{diff,aES} = t_{TS} - t_{aES} \tag{10}$$

$$t_{diff,vES} = t_{TS} - t_{vES} \tag{11}$$

반복 재생시 불연속현상이 발생하지 않으려면 상기 $t_{diff,A}$, $t_{diff,V}$, $t_{diff,aES}$ 및 $t_{diff,vES}$ 모두가 제로가 되어야 한다. 이를 위해서는 $t_{diff,A}$, $t_{diff,V}$, $t_{diff,aES}$ 및 $t_{diff,vES}$ 에 대한 고려가 필요하다.

2.3 스트림 반복재생을 위한 스트림 구현

본 절에서는 한정된 DTV 스트림의 반복 재생시 발생하는 불연속 현상을 제거하기 위한 디지털 스트림의 구현 방법을 제안한다. 먼저 오디오 및 비디오 ES를 반복할 경우를 고려하고 다음으로 이를 다중화한 TS를 반복할 경우를 다룬다.

2.3.1 오디오 ES 반복의 경우

오디오 기초 스트림을 반복 재생할 경우, 불연속 현상이 일어나지 않기 위해서는 오디오 샘플 재생 시간과 압축 오디오 기초 스트림의 재생시간이 일치하여야 한다. 즉 식 (3)의 t_{Adiff} 가 0이 되기 위해서 t_{aS} 와 t_{aES} 가 일치하여야 한다. 또한 오디오 스트림은 프레임 단위로 구성되기 때문에, 식 (2)로부터 총 오디오 샘플 수 n_{aS} 가 1 프레임내의 샘플 수 n_a 의 정수배 n_{af} 가 되어야 한다. 따라서 오디오 스트림만을 반복하여 재생할 경우, 반복 재생시 음의 끊어짐이 발생하지 않기 위해서는 다음 세가지 조건을 동시에 만족하여야 한다.

$$t_{Adiff} = 0 \tag{12}$$

$$n_{aS} = n_a \times n_{af} \tag{14}$$

$$t_{aS} = t_{aES} = n_{af} \times t_{aF} \tag{13}$$

여기서 t_{aF} 는 오디오 ES의 기본 단위로 1 오디오

프레임을 재생하는데 걸리는 시간이다. 또한 스트림의 반복 재생되는 시점 t_{aS} 에서, 수신기에서 의해 복원된 오디오 샘플 데이터 $V(t)$ 의 연속이 보장되어야 한다. 따라서 $V(t)$ 는 t_{aS} 에서 매끄러운 함수(smooth function)의 조건^[17]을 만족하여야 한다.

$$\lim_{t \rightarrow t_{aS}} V'(t) = \lim_{t \rightarrow 0} V'(t) \tag{15}$$

$$V'(t_{aS}) \neq 0 \tag{16}$$

여기서 $V'(t)$ 는 시간 t 에서 오디오 샘플 값 $V(t)$ 의 미분이다. 오디오 테스트를 위하여 정현파(sinusoidal wave) 신호를 사용한다면 각 채널의 오디오 신호 주파수 f_a 가

$$f_a = \frac{n \text{ cycles}}{t_{aES}} = \frac{n \text{ cycles}}{t_{aS}} \tag{17}$$

이 되면 식 (15)과 (16)를 만족한다. 여기서 n 은 f_a 를 가칭 주파수 대역에 있도록 하는 정수이다. 이를 그림으로 나타내면 그림 6에서와 같다.

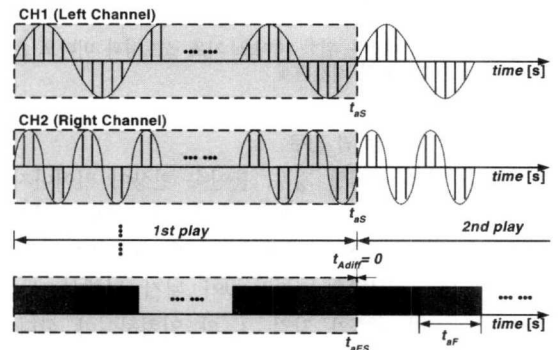


그림 6. 반복 재생을 위한 오디오 기초 스트림과 오디오 샘플 주파수와 시간관계

2.3.2 비디오 ES 반복의 경우

비디오 기초 스트림을 반복 재생할 경우에도, 불연속 현상이 일어나지 않기 위해서는 비디오 프레임 재생 시간과 압축 비디오 기초 스트림의 재생시간이 일치하여야 한다. 즉 식 (4)의 t_{Vdiff} 가 0이 되기 위해서 t_{vS} 와 t_{vES} 가 일치하여야 한다. 또한 비디오 스트림은 sequence 단위로 구성되기 때문에, 식 (5)로부터 비디오 프레임 수 n_{vS} 가 1 sequence 내의 프레임 수 n_{vS} 의 정수배 n_{vf} 가 되어야 한다. 따라서 비디오 스트림만을 반복하여 재생할 경우, 반복 재생시 블랙화면이나 정지화면과 같은 불연속

이 발생하지 않기 위해서 다음 세가지 조건을 동시에 만족하여야 한다.

$$t_{Vdiff} = 0 \tag{18}$$

$$n_{vf} = n_v \times n_{vS} \tag{19}$$

$$t_{vf} = t_{vES} = n_v \times t_{vS} \tag{20}$$

여기서 t_{vS} 는 비디오 ES의 기본 단위로 1 sequence 내의 모든 프레임의 재생하는데 걸리는 시간이다. 이를 만족시키는 비디오 스트림을 그림으로 나타내면 그림 7에서와 같다.

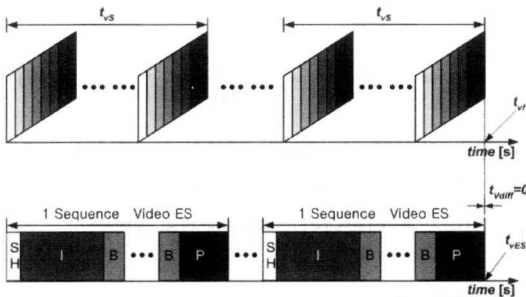


그림 7. 반복 재생을 위한 비디오 기초 스트림과 비디오 프레임들과의 시간관계

2.3.3 TS 반복의 경우

TS를 반복 재생할 경우, 불연속 현상이 일어나지 않기 위해서는 오디오 샘플, 비디오 프레임, 오디오 ES 및 비디오 ES의 재생시간이 일치하여야 한다. 즉 식 (8)~식(10)의 t_{diff} 가 0이 되기 위해서 t_{aS} , t_{vf} , t_{aES} 및 t_{vES} 가 각각 t_{TS} 와 일치하여야 한다. 또한 TS는 패킷 단위로 구성되기 때문에, 식 (7)로부터 TS 비트수 n_{tsBit} 가 1 패킷내의 비트 수 n_{tpBit} 의 배수가 되어야 한다. 따라서 TS를 반복하여 재생할 경우, 오디오와 비디오에서 불연속 현상이 발생하지 않기 위해서 다음의 조건들을 동시에 만족하여야 한다.

$$t_{diff,A} = t_{diff,V} = t_{diff,aES} = t_{diff,vES} = 0 \tag{21}$$

$$t_{TS} = t_{aS} = t_{vf} = t_{aES} = t_{vES} \tag{22}$$

$$n_{tsBit} = n_{tpBit} \times n_{tp} \tag{23}$$

여기서 n_{tsBit} 는 1 패킷내의 비트수로 188×8 이다.

식 (13)과 (14) 그리고 식 (19)와 식 (20)을 만족하는 오디오 및 비디오 ES의 경우, 식 (22)는

$$t_{TS} = t_{aS} = t_{vf} \tag{24}$$

로 간략화 할 수 있다. 따라서 오디오 샘플, 비디오 프레임 및 TS의 재생시간이 일치할 때 t_{diff} 가 0이 되어 TS를 반복하여도 불연속이 발생하지 않는다. 이 불연속이 발생하지 않는 시간을 비디오 프레임을 R_v , 오디오 프레임을 R_a , 및 TS 패킷 전송을 R_t 사이의 관계를 이용하여 ES와 TS가 일치하는 시간 T 로 나타내면 다음과 같다.

$$T = \frac{n_{vf} \text{ [frames]}}{R_v \text{ [frames/sec]}} = \frac{n_{af} \text{ [frames]}}{R_a \text{ [frames/sec]}} = \frac{n_{tp} \text{ [packets]}}{R_{tp} \text{ [packets/sec]}} \tag{25}$$

여기서, n_v 는 비디오 프레임의 수, n_a 는 오디오 프레임의 수, 및 n_{tp} 는 TS 패킷의 수로서 각각 정수이어야 하며, 식 (14), 식 (20) 및 식 (23)을 만족해야 한다. 이를 그림으로 나타내면 그림 8과 같다.

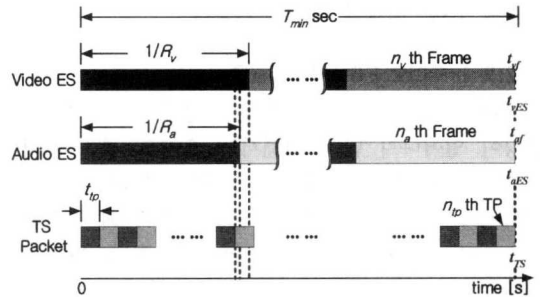


그림 8. 반복재생을 위한 기초 스트림과 전송 스트림사이의 시간관계

TS 스트림을 만들기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 방법은 저장공간의 한계로 인하여 무한히 긴 스트림을 제작할 수 없다. 따라서 상기 식 (25)를 만족하는 최소의 시간을 구하여 한정된 스트림을 제작하여 반복재생 하여야 한다. 식 (25)를 만족시키는 최소 시간 T_{min} 은

$$T_{min} = L.C.M. \left[\frac{1}{R_v}, \frac{1}{R_a}, \frac{1}{R_{tp}} \right] = L.C.M. [t_v, t_a, t_{tp}] \tag{26}$$

이다. 여기서 $L.C.M.$ 는 최소공배수를 의미하는 least common multiple의 수학적 표현이다.

한국의 위성 방송(KDTV : Korea Digital Television) 및 ATSC (Advanced Television System Committee) 표준안의 경우 TS의 전송율 R_{TS} 가 19.392658 [Mbps]이며, 한국 위성방송 표준안의 경우 TS의 전송율 R_{TS} 가 34.352[Mbps]이다. 또한 TS패킷은 188비트로 구성되므로 TS 패킷의 전송율 R_{tp} 는 각각

$$R_{tpATSC} = \frac{19.392658 \times 10^6}{188 \times 8}, \quad (27)$$

$$\cong 12887.406 \left[\frac{\text{packets}}{\text{sec}} \right]$$

$$R_{tpKDTV} = \frac{34.352 \times 10^6}{188 \times 8} \quad (28)$$

$$\cong 22840.4255 \left[\frac{\text{packets}}{\text{sec}} \right]$$

이다.

한국 위성방송 표준안, KDTV 및 ATSC 표준안에서 지원하는 비디오 포맷의 경우 각 프레임율에 대하여 관계식을 만족하는 최소 정수 값(T_{min})을 계산하면 표 2 및 표 3에서와 같다.

표 2 및 3에서 알 수 있듯이 프레임율이 24, 30, 60인 경우에는 T_{min} 이 47초와 752초로써 충분히 활용 가능성을 알 수 있다. 또한 표 III에서 비디오 프레임율 R_v 가 30 [frames/sec], 오디오 프레임율 R_a 가 31.25 [frames/sec]인 경우, 최소시간 T_{min} 은 752은 오디오 1 프레임 재생시간 t_{af} 와 비디오 1 프레임 재생시간 t_{as} 의 정수 배이므로 식 (13)과 식 (20)를 만족한다. 이때 비디오 프레임의 수 n_v 는 22,560이므로 sequence가 GOP 단위로 구성되고 1 GOP가 15프레임 단위로 구성된다면, 비디오 sequence의 수 n_v 는 정수인 1,504이다. 또한 오디오 프레임의 수 n_{af} 는 23,500, 및 TS 패킷의 수 n_{tp} 는 9,696,329로 각각 정수이다. 따라서 752초 단위의 ES와 TS를 구성하면 불연속 현상이 발생하지

표 2. 한국 위성방송의 T_{min}

Frame rate [Hz]	T_{min} [sec]	n_v [frames]	n_{tp} [packets]	TS size [Gbytes]
24	47	1,128	1,073,500	0.202
30	47	1,410	1,073,500	0.202
60	47	2,820	1,073,500	0.202

표 3. 지상파 18 포맷 ATSC 및 KDTV의 T_{min}

Frame rate [Hz]	T_{min} [sec]	n_v [frames]	n_{tp} [packets]	TS size [Gbytes]
24	752	18,048	9,696,329	1.823
30	752	22,560	9,696,329	1.823
60	752	45,120	9,696,329	1.823

않는다. 이를 컴퓨터 저장 매체에 저장하기 위한 기본 스트림의 용량은 1.822909852 [GB]가 된다.

III. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 t_{vf} , t_{vES} 및 t_{TS} 를 정확히 일치시키기 위한 프로그램을 작성하여 ES와 TS를 제작하였다. ES는 MPEG-2 MSSG (MPEG Software Simulation Group)에서 제공하는 MPEG-2 비디오 압축 방법^[13]과 Dolby사에서 제공하는 AC-3 압축 방법^[15]을 사용하여 제작하였다. 이때 사용된 정지영상 패턴은 자체 개발된 것을 사용하였으며, 오디오 데이터는 표 4에서와 같이 식 (17)을 만족하는 정현파를 사용하였다. 이 표에서 오디오 데이터는 각 채널의 주파수를 달리한 정현파를 사용함으로써 청취를 통하여 불연속 현상의 분별이 쉽게 가능하도록 하였다.

표 4. 오디오 데이터 주파수

Front Left 220 [Hz]	Center 440 [Hz]	Front Right 880 [Hz]
	LFE 110 [Hz]	
Rear Left 1760 [Hz]		Rear Right 3520 [Hz]

또한, 본 연구에서는 트랜스포트 스트림의 구현을 위한 프로그램을 작성하였고, 이를 이용하여 만들어진 트랜스포트 스트림을 Tektronix사의 MTS100 MPEG-2 System Analyser V2.12 분석기를 사용하여 그림 9에서와 같이 검증하였다.

본 연구에서 제작된 트랜스포트 스트림은 Adherent사의 AD951G-II 스트림 발생기 (generator)를 사용하여 스트림으로 재생시키고, Eiden사의 3313A 8/16 VSB 변조기 (modulator)를 사용하여 채널 부호화 및 VSB 변조한 다음, Eiden사의 4214A 1W 채널 변환기 (channel up converter)를

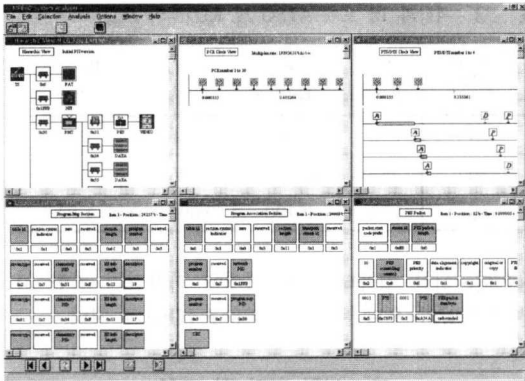


그림 9. Tektronix MTS100 MPEG-2 System Analyser V2.12를 이용한 분석 결과

사용하여 RF 31 채널로 변환하여 가상의 방송 시스템을 구성하였다. 가상 방송 시스템을 사용한 테스트 블록도를 그림 10에 나타내었다.

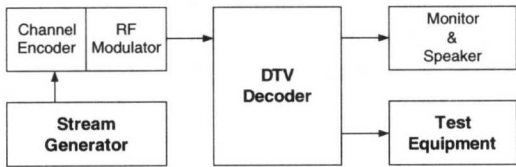


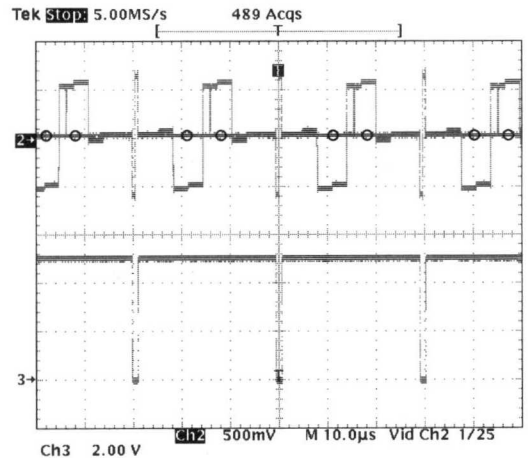
그림 10. 가상 방송 시스템을 사용한 테스트 블록도

가상의 방송 시스템으로부터 수신된 RF신호는 HDTV 수신기 (set-top box)를 사용하여 복호화하고, Sony사의 G500 멀티싱크 모니터를 이용하여 화면을 관찰하였다. 또한 Tektronix사의 TDS540 오실로스코프를 사용하여 파형을 측정하였다. 이때 트리거 보정은 HDTV 비디오 트리거 모드의 라인 25에서 측정하였으며, 노멀 트리거 모드로 측정하였다.

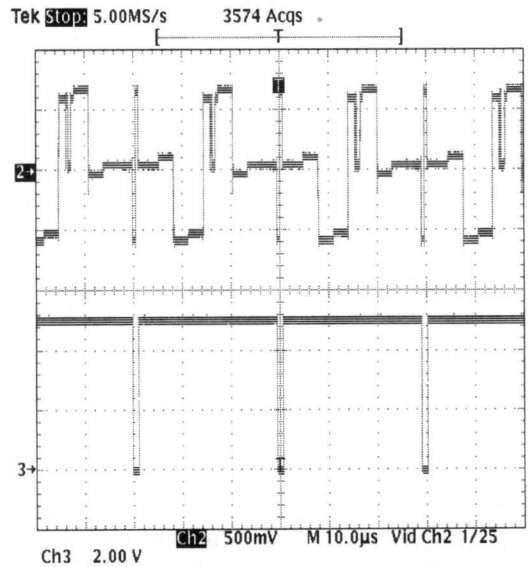
수직 해상도가 1080I인 HDTV의 비디오 신호를 오실로스코프로 누적 디스플레이한 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림에서 채널 2는 동기 신호를 포함한 Red신호이며 채널 3은 수평동기 신호이다. 그림 11(a)에서는 기존 4초의 TS를 반복 재생할 때 발생하는 tdiff로 인하여 화면이 잠시 끊어지는 불연속 현상이 발생한다. 이 경우 비디오 신호는 수평동기 신호만 존재하기 때문에 o표한 곳과 같이 펄스 신호의 중앙 부분에 전압이 제로인 파형이 관측되었다. 제한한 방법으로 불연속 현상이 제거된 경우의 파형은 그림 11(b)에 보였다. 이 경우 정상적으로 연속 재생되는 비디오 신호가 관측됨을 알 수 있다. 이 실험들은 비디오 ES 버퍼의 영향으로 인

하여 불연속 현상이 발생하는 시간 간격이 일정하지 않아 관측이 힘들기 때문에 30분 이상 누적 측정을 실시하여 관측한 결과이다.

오디오 신호에 대한 반복 재생시 불연속 현상을 검증하기 위해서, 전방 오른쪽 오디오 채널에 대한 누적 테스트 결과를 그림 12에 나타내었다. 그림 12(a)에서는 기존의 4초의 TS를 반복 재생할 때 발생하는 불연속 현상으로 인하여 비정상적인 오디오 신호가 발생함을 알 수 있다. 그림에서 반복 재생시 음이 잠시 끊어지는 현상으로 인하여 신호의 중앙



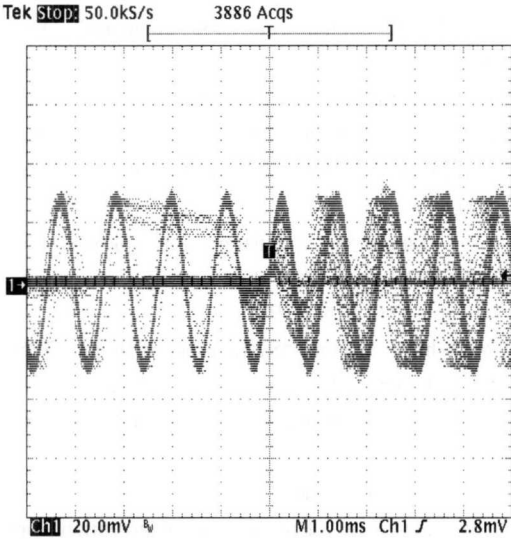
(a)



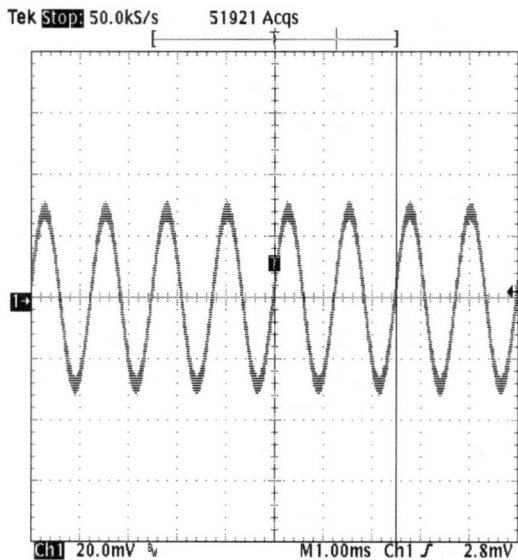
(b)

그림 11. (a) 4초 DTV 스트림 및 (b) 752초DTV 스트림의 반복 재생시 누적 라인 신호

부분에 전압이 제로인 파형이 관측되었으며, 또한 오디오 ES 버퍼의 영향으로 여러 형태의 비정상적인 오디오 신호가 관측되었다. 제안한 방법을 사용하여 불연속 현상이 제거된 경우에 대한 파형은 그림 12(b)에 나타내었다. 이 그림에서 스트림을 반복 재생할 경우 정상적으로 재생되는 신호가 관측됨을 알 수 있다. 이 신호 역시 30분 이상 누적 측정을 실시하여 관측한 결과이다.



(a)



(b)

그림 12. (a) 4초 DTV 스트림 및 (b) T_{min} DTV 스트림의 반복 재생시 누적된 오디오 신호

제안된 방법을 정량적으로 평가하기 위하여, 복합 테스트 영상, 멀티버스트(multiburst)에 음성, 음악 및 정현파의 세가지 오디오를 각각 포함하는 스트림을 제작하였다. 이 스트림을 사용하여 15명을 대상으로 시청실험의 결과를 다음 표 5에 나타내었다. 비디오의 불연속은 회전하는 로고를 삽입하여 회전이 자연스럽지 못함을 관측하게 하였으며, 오디오는 청취시 불연속 음을 감지하도록 사전교육을 실시하였다.

표 5에서 알 수 있듯이 기존 4초로 반복되는 스트림 중 시작과 끝 구간에 신호가 존재하는 음악과 정현파는 반복구간에서 불연속 현상이 발생하며, 이 불연속은 ES 버퍼의 영향으로 인하여 재생구간의 불연속을 유발하였다. 제안한 방법과 시작과 끝 구간에 신호가 없는 음성 스트림은 불연속 현상이 관측되지 않았다.

표 5. 여러 가지 스트림에 대한 불연속 유무 실험 결과

스트림	재생구간 불연속		반복구간 불연속	
	4 sec	T _{min} sec	4 sec	T _{min} sec
오디오	voice	×	×	×
	music	○	×	○
오디오	sinusoidal	○	×	○
비디오	복합 패턴	○	×	○
	multiburst	○	×	○
	pulse&bar	○	×	○

V. 결론

컴퓨터 저장 매체의 한계로 인하여 유한한 길이의 디지털 스트림을 반복재생하여 DTV 수신기를 테스트할 경우, 일반적으로 스트림의 반복 시점에서 비디오에서는 블랙화면이나 정지화면과 같은 불연속 현상이 발생하며, 오디오에서는 신호가 없는 구간이나 음의 끊어짐 현상이 발생한다. 반복되는 시점에서 일어나는 이러한 불연속 현상은 수신기가 잘못 되었을 때 일어나는 현상과 구별할 수 없기 때문에 생산시 작업자의 판단을 흐리게 하거나 작업시간에 영향을 끼칠 수 있다.

본 논문에서는 유한한 길이의 디지털 스트림을 반복재생할 경우 발생하는 불연속 현상의 원인을 분석하였다. 그 결과, 불연속 현상의 원인은 디지털 스트림은 source, ES 및 TS가 일정한 단위로 구성

되어 있으며 그 source 샘플 및 프레임, ES 프레임 및 sequence, 및 TS 전송율 사이에 일정한 관계가 성립하지 않기 때문이었다. 또한 이러한 전송율의 차이로 인하여 이들 source, ES 및 TS의 재생시간이 일반적으로 일치하지 않는다는 것을 밝혔다.

또한, ES 스트림을 반복하여 테스트할 경우, 불연속 현상이 발생하지 않기 위해서 source, ES의 재생시간 관계를 바탕으로 불연속 현상이 발생하지 않는 다음과 같은 ES 제작 방법을 제안하였다. 오디오 ES의 경우 샘플의 재생시간이 ES의 재생시간과 일치하기 위하여 오디오 샘플 수가 1 프레임 내에 포함되는 샘플의 수에 배수가 되어야 하며 마지막 샘플과 첫 샘플 사이에 연속성이 보장되어야 한다. 또한 비디오 ES의 경우 프레임 수가 sequence 내에 포함되는 프레임 수의 배수가 되어야 하며, 압축된 비디오 ES의 재생시간이 프레임 재생시간과 일치하여야 한다.

다음으로, 오디오 샘플, 비디오 프레임, 오디오 ES, 비디오 ES 및 TS의 재생시간과의 관계를 분석을 바탕으로, TS를 반복하여 DTV 수신기를 테스트할 경우, 불연속 현상이 발생하지 않도록 하는 시간을 제시하였으며, 컴퓨터 저장공간이 유효함을 고려하여, 불연속 현상이 발생하지 않는 최소의 스트림 시간을 구하였다.

끝으로, 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 사용하여 반복 재생시에도 불연속 현상이 발생하지 않는 DTV 수신기의 각 블록을 테스트하기 위한 기초스트림(element stream, ES) 및 트랜스포트 스트림을 구현하였다.

본 연구의 결과를 검증하기 위하여, 제안된 방법으로 제작된 스트림을 가상의 방송시스템을 이용하여 직접 실험하였다. 실험결과 반복 재생시 불연속 현상이 발생하지 않음을 확인하였다. 또한 테스트 스트림을 DTV 생산 현장에 직접 적용하여 본 결과 테스트 스트림의 반복 재생시 불연속 현상이 발생하지 않았으며, 이 테스트 스트림은 현재에도 DTV 생산 현장에서 잘 사용되고 있다. 따라서 본 연구의 내용은 유효한 용량의 DTV 스트림을 반복 재생하여 테스트하는 DTV 수신기 개발 및 생산에 유용하게 사용될 것이다.

참 고 문 헌

[1] KBS 기술연구소, "지상파 디지털 TV 실험 방송," 1999. 5.

[2] Chan-Ho Han, Kyoung-Kyoo Kim, Kuhn-Il Lee, and Kyu-Ik Sohng "Elimination of Discontinuity Phenonon for Repeated Play of DTV Stream due to Playtime Mismatch Between ES and TS," ICCE Digest of Technical paper, pp 212-213, Jun. 2002.

[3] KETI 연구원 HDTV 사업단, "지상파 디지털 텔레비전 방송 잠정 규격 (안)," 1999. 6.

[4] ATSC Document A/54, "Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard," Dec. 1995.

[5] Tektronix Internet Site: <http://www.tektronix.com>

[6] V. Snell, B. Devlin, "Test Card 'M'-do you get the picture?," IEE Colloquium, pp 1-5, Mar. 1999.

[7] P.A. Sarginson, "Dynamic multiplexing of MPEG-2 bitstreams," Broadcasting Convention, pp 566-571, Sep. 1997.

[8] W. Sohn, J.H. Kim, "System test of digital DBS system for video and audio signals," IEEE Trans. Broadcasting, Vol. 45, pp.187-191, Jun. 1999

[9] B. Devlin, C. Ridley, "The case for real time MPEG testing," Broadcasting Convention, pp LP56-LP62, Sep. 1997.

[10] MPEG Internet Site: <http://www.mpeg.org>

[11] ISO/IEC 13818-3, "Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information, Part 3: Audio International Standard (IS)," Nov. 1994.

[12] ATSC Standard A/52, "Digital Audio Compression (AC-3)," Dec. 1995.

[13] ISO/IEC 13818-2, "Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information, Part 2: Video International Standard (IS)," Nov. 1994.

[14] ATSC Standard A/53, "Digital Television Standard," Dec. 1995.

[15] ISO/IEC 13818-1, "Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information, Part 1: System International Standard (IS)," Nov. 1994.

[16] ATSC Standard A/65, "Program and System Information Protocol (PSIP) for Terrestrial Broadcast and Cable," Dec. 1997.

[17] I.S. Goldberg, M.G. Block, R.E. Rojas, "A systematic method for the analytical evaluation of convolution integrals," IEEE Trans. Education, pp 65-69, Vol. 45, Feb. 2002.

한 찬 호(Chan-Ho Han) 정회원



1990년: 경북대학교 전자공학과 학사.
1992년: 경북대학교 전자공학과 석사.
2000년: 경북대학교 전자공학과 박사수료

1992년 1월~1993년 7월: 현대전자 산업전자연구소에서 "HDTV prototype Decoder"개발.
1993년 8월~1993년 12월: 현대전자 산업전자연구소에서 "MPEG-2 Video S/W CODEC" 개발.
1994년 1월~1994년 7월: 현대전자 산업전자연구소에서 "VOD STB"개발.
1994년 8월~1994년 12월 현대전자 산업전자연구소에서 "MPEG-2 System S/W CODEC" 개발.
1995년 1월~1996년 1월: 현대전자 멀티미디어연구소에서 "디지털위성방송수신기" 개발.
1996년 2월~1997년 7월: 현대전자 미디어연구소에서 "HDTV H/W CODEC" 개발.
2000년 3월~현재: 경운대학교 소프트웨어공학과 재직.
<주관심 분야>오디오비디오신호처리, 디지털 TV, 멀티미디어 공학, 자동차 전자공학 등.

송 규 익(Kyu-Ik Sohng) 정회원



1975년: 경북대학교 전자공학과 학사.
1977년: 경북대학교 전자공학과 석사.
1990년: 일본 동북대학 전자공학과 박사.

1977년 3월~1982년 2월: 국방과학연구소 근무.
1982년 3월~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터공학부 재직.
<주관심 분야>비디오 및 오디오 신호처리, 색재현 공학, 디지털 TV, 자동차 전자공학 등.