FM 방식을 이용한 가야금 음의 합성에 관한 연구

A Study on Synthesizing the Sound of Gayageum with FM Algorithm

김 재 용*, 권 민 도**, 장 호 근**, 우 종 식**, 박 주 성**
(Jae-Yong Kim*, Min-Do Kwon**, Ho-Keun Jang**, Jong-Sik Woo**, Ju-Sung Park**)

요 약

본 논문에서는 가야금 음의 분석결과를 바탕으로 가야금 음의 합성에 적합한 3 오퍼레이터 FM 합성방식을 고안하였다. 고안된 알고리즘에 사용된 파라메터를 MATLAB을 이용하여 추출하여 C언어를 이용하여 음을 합성하였다. 합성된 음은 주관적인 방법과 객관적인 방법으로 비교한 결과 두 음이 아주 흡사함을 확인했다. 제안된 합성방식을 DSP를 이용하여 구현하여 만든 합성음도 원음과 비슷한 음질을 가지는 것을 확인했다.

ABSTRACT

In this paper, the 3 operator FM synthesis method has been devised on the basis of the analysis of Gayageum sounds. The parameters for the proposed synthesis algorithm have been extracted, and then the algorithm has been implemented by C language. It is subjectively and objectively confirmed that the sounds synthesized by C language are very similar to the original sounds. The synthesis algorithm is also implemented by DSP, and the sounds from this experiment are close to the original ones.

I. 서 론

고전 악기음을 전자적으로 합성하려는 노력이 꾸준이 진행되어 왔다. 주로 많이 연구된 합성방식으로는 악기음을 여러 정현파 성분의 합으로 생각하는 가산합성방식[1], 화이트 노이즈 소스로부터 불필요한 주파수 성분을 제거해 가면서 음을 합성하는 방식[2] 등이 있다. 이러한 방식들은 이론적으로 가능한 방법이지만 실제 시스템을 구성하는데 문제점들이 있었다.

John chowning이 1973년에 통신에 이용되는 Frequency Modulation(FM)을 이용하여 진폭과 변조지수를 변화시켜 악기음 합성에 적합한 다양한 주파수 스펙트럼을 얻을 수 있음을 보여줌으로써 새로운 전기를 맞이 하게 되었다[3]. 그 후 두 개의 캐리어 사용하는 FM 방식[4,5], 여러개의 캐리어를 사용하는 FM 방식[6,7]도 소개되어 다양한 악기음을 합성했다. 신호처리기술과 반도체기술의 발전에 힘입어 원래 악기음을 샘플링해서 저장해두고 있다가 필요시마다 가공해서 사용하는 샘플링 방식이 출현하였다[8]. 샘플링 방식은 원음을 저장하기 때문에 고음질을 얻을 수 있지만, 저장을 위해서는 많은 기억용량을 필요로 하고, 반면에 FM 방식은 기억용량을 적게차지하나 샘플링 방식에 비해서는 음질이 떨어진다.

본 논문에서는 FM 방식을 이용하여 우리나라의 고전 악기인 가야금 음의 합성에 대한 연구 결과를 소개한다. FM 방식으로 색스폰[7], 트럼펫[4], 하프시코드[5], 호른[7] 등을 합성한 바가 소개되었지만, 가야금음의 합성에 대한 연구가 알려져 있지 않다. FM 합성 알고리듬에 대한 기본적인 사항을 Ⅱ장에 소개하고, Ⅲ장에서는 가야금 음을 녹음하는 과정과 분석하여 적절한 알고리듬을 찾고 합성에 필요한 변수 추출방법에 대하여 설명한다. Ⅳ장에서는 DSP를 이용하여 가야금 음을 합성하는 방법과 변수들에 관하여 소개하고 실제음과 합성된 음에 대하여 비교하고, Ⅴ장에서는 간단한 결론을 내린다.

Ⅱ. FM 합성 알고리듬

무선통신에서 사용해 오던 FM 방식은, 그 주파수 대역을 가청주파수 대역으로 내려서 악기음 합성에 사용될 수 있는데[3], FM 방식은 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 A는 진폭, f_c는 반송주파수, I는 변조지수, f_m은 변조주파수를 나타낸다.

*LG 전자
**부산대학교 전자공학과

접수일자 : 1996년 4월 22일

$$x(t) = A\sin(w_c t + I\sin(w_m t)), \quad w_c = 2\pi f_c, \quad w_m = 2\pi f_m \qquad (1)$$

FM 식은 $f_c \pm nf_m$(n은 정수) 주파수에서만 신호를 가지므로 식 (1)은 식 (2)와 같이 Bessel 함수를 이용하여 표현할 수 있다.

$$x(t) = A\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(I)\sin(w_c t + nw_m t) \qquad (2)$$

식 (2)에서 $J_n(I)$는 Bessel 함수로서 $f_c \pm nf_m$ 주파수에서의 신호의 크기를 나타내는데, Bessel 함수는 그림 1과 같다.

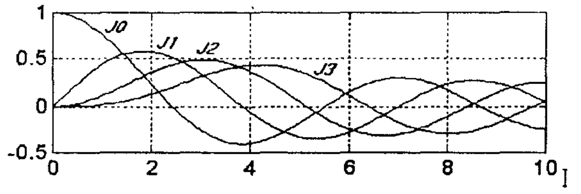


그림 1. Bessel 함수의 값
Fig 1. The values of Bessel function

f_m과 f_c의 비가 정수($d = f_m/f_c$)인 경우에 식 2는 식 3과 같이 표현되는데, 이때 f_c의 정수배가 되는 주파수에서만 신호성분이 존재한다는 것을 알 수 있다.

$$x(t) = A\left[\sum_{n=0}^{\infty} J_n(I)\sin(dn+1)w_c t + \sum_{n=1}^{\infty} J_n(I)\sin(dn-1)w_c t\right] \qquad (3)$$

이러한 두 개의 사인함수로 구성된 기존의 FM 방식은 주파수 스펙트럼이 단순하기 때문에 복잡한 주파수 성분을 가지는 악기음을 합성하기에는 부적합하다. 그래서 더 많은 수의 사인함수를 사용하는 FM 방식을 생각해 볼 수 있는데, 본 논문에서는 DSP를 이용하여 합성한 것을 고려하여 식 4와 같은 3개의 사인함수를 사용하는 알고리듬을 사용하였으며, 이 알고리듬을 FM3I라고 명명한다. 식 4에서 I_1는 변조지수1, f_{m1}은 변조주파수1, I_2는 변조지수2, f_{m2}는 변조주파수2이다.

$$x(t) = A\sin(w_c t + I_1\sin(w_{m1}t + I_2\sin(w_{m2}t))),$$
$$w_{m1} = 2\pi f_{m1}, \quad w_{m2} = 2\pi f_{m2} \qquad (4)$$

이 알고리듬에서 $f_{m1} = n_1 f_c$, $f_{m2} = n_2 f_c$(n_1, n_2는 정수)라

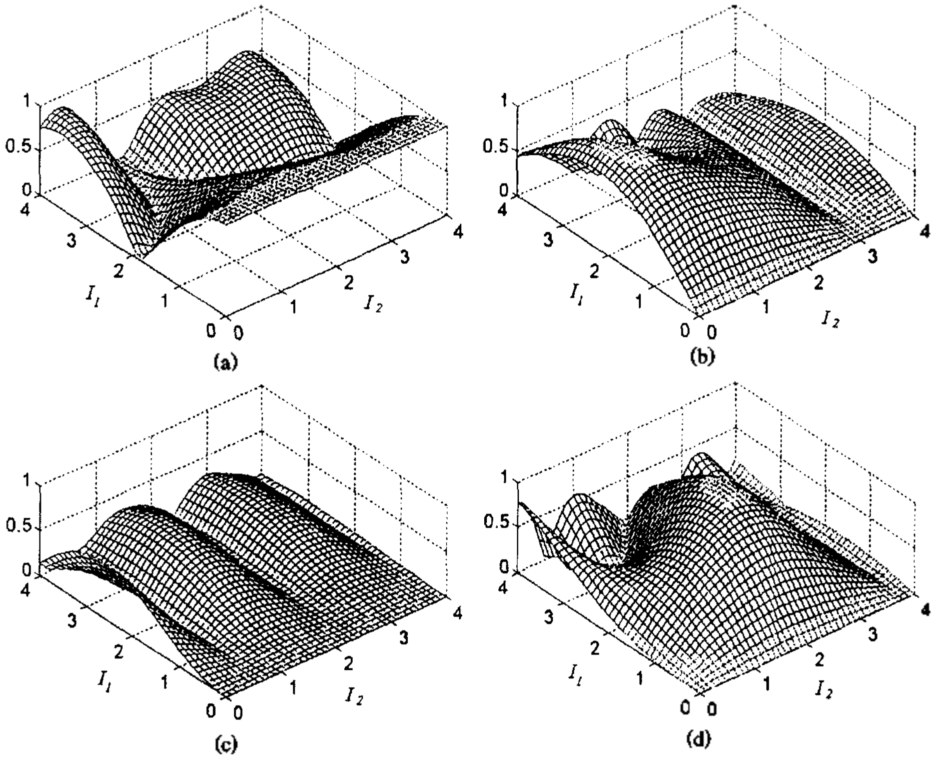


그림 2. FM3I의 주파수 스펙트럼(K_n) 특성
(a) 기본 주파수 (b) 1번째 하모닉스
(c) 2번째 하모닉스 (d) 3번째 하모닉스
Fig 2. Frequency spectrum of FM3I (K_n)
(a)Carrier frequency (b)1st harmonics
(c)2nd harmonics (d)3rd harmonics

고 가정한다. 식 1과 식 2를 이용하여 식 4를 식 5와 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = A\,sin(w_c t + I_1 \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(I_2)\, \sin(w_{m1} t + n w_{m2} t)) \quad (5)$$

식 5는 하나의 반송기에 여러개의 변조기가 들어 있는 것으로 볼수 있으나, 각각의 변조기의 크기는 Bessel 함수에 의해서 결정되므로 모든 변조기를 마음대로 조절할 수 있는 것은 아니다. 식 5는 가정에 의해서 n_1과 n_2가 정수이므로 반송주파수와 그 정수배의 주파수에서만 신호를 가지는 식 6과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$x(t) = A \sum_{n=1}^{\infty} K_n(I_1, I_2, n_1, n_2)\, \sin(n w_c t) \quad (6)$$

여기에서 $K_n(I_1, I_2, n_1, n_2)$는 nf_c 주파수에서의 신호성분의 크기를 나타내며, n_1과 n_2에 의해서 $K_n(I_1, I_2, n_1, n_2)$ 함수의 도메인이 결정되고, 각각의 $n(n=0, 1, 2, ...)$에 대해서 I_1, I_2를 축으로하는 2차원 좌표축 상에서 값을 가진다. K_n은 식 (4)에서 $n_1=1$, $n_2=2$로 고정시키고, I_1, I_2에 대해 시간축의 값을 구한 다음 이것을 FFT하여 ω_c의 정수배 주파수 성분의 크기로부터 구해진다. 그림 2에는 $K_n(I_1, I_2, n_1, n_2)$ 함수의 $n_1=1$, $n_2=4$일 때의 예를 보인다.

즉, 변조주파수가 반송주파수의 정수배라는 가정을 하면 FM3I 알고리듬의 식은 반송주파수의 정수배의 주파수에서만 신호크기를 가지는 식으로 나타낼 수 있으며, 각각의 주파수에서의 신호크기는 K_n의 값에 의해서 결정된다. 따라서 가야금 음을 합성할 때 특정시간에서의 주파수 스펙트럼에 맞게 n_1, n_2, I_1, I_2을 주면 된다.

Ⅲ. 가야금 음의 분석 및 합성 변수 추출

국악의 대표적인 5음은 황종, 태주, 중려, 임종, 남려 즉 황태중임남을 말하는데, 이는 각각 서양의 음계에서의 C, D, F, G, A에 해당한다. 가야금 역시 황태중임남의 5음을 주로 사용하며, 보통으로 연주하는 뜯는음, 튕기는음과 선을 흔들어서 비브라토(Vibrato)효과를 주는 연주법을 농현[9]이라고 한다.

가야금 음을 분석하기 위해서 표본화된 데이터가 필요하므로 이를 얻기 위해서 샘플러를 이용하여 녹음하였다. 녹음할 때는 AKAI S950이라는 샘플러를 사용하여 44.1 KHz/16bit 데이터를 녹음하여 저장하였고, 이를 Sample Vision이라는 소프트웨어와 IBM-PC용 MPU-401보드와 MIDI(Musical Instrument Digital Interface)[13] 케이블과 MATLAB[10]을 이용하여 PC 내에 사운드 파일을 만들었다. 이와같은 일련의 실험과정을 그림 3에 보인다.

가야금 음은 시간에 따라 각기 다른 파라메터를 가지므로 파라메터 추출을 위해서 하나의 음을 여러개의 작은 구간으로 나누었다. 한 구간의 크기는 주파수 스펙트럼의 모양과 그 변동을 잘 관찰하기 위해서 그 음의 기본

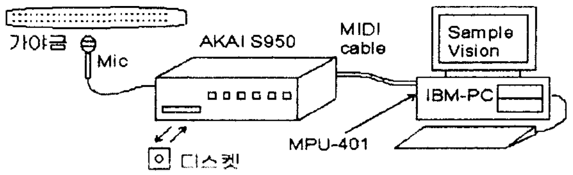


그림 3. 가야금음의 녹음 과정
Fig 3. Recording step of Gayagum

주파수의 역수에 해당하는 샘플 개수 만큼으로 정하였으며, 이를 식으로 나타내면 식 7과 같다. 식 7에서 N_{FFT}는 구간의 크기, F_s는 표본화 주파수, F_c는 기본주파수(반송주파수)이다.

$$N_{FFT} = \frac{F_s}{F_c} \quad (7)$$

각각의 구간에서 FM3I 알고리듬에 필요한 변수값인 진폭(A), 변조지수(I_1, I_2), 변조주파수 f_{m1}과 반송주파수 f_c의 비(n_1), 변조주파수 f_{m2}와 반송주파수 f_c의 비(n_2)를 추출하는데, 진폭은 시간축상에서 구해지고, 변조지수, 반송주파수, 변조주파수는 주파수축에서 구했다. 파라메터 추출은 계산이 많은 부분은 주 프로그램에서 MATLAB을 불러서 해결하고, 파라메터 값의 영역을 주면 프로그램에서 수 많은 반복계산을 거쳐 원음에 가장 접근된 set를 출력한다. 이러한 과정에 있어서 완전하게 자동화되지 않고 많은 부분이 경험에 의존해서 처리되었다.

3.1 진 폭

진폭의 결정은 각각의 구간에서 절대값의 최대치를 그 구간에서의 진폭값으로 하고, 진폭값이 발생한 위치를 진폭위치로 한다. 이렇게 구해진 모든 구간에서의 진폭값과 진폭위치를 직선으로 연결하는 값을 진폭(A)으로 사용한다. 그림 4에는 진폭의 추출 예를 보인다.

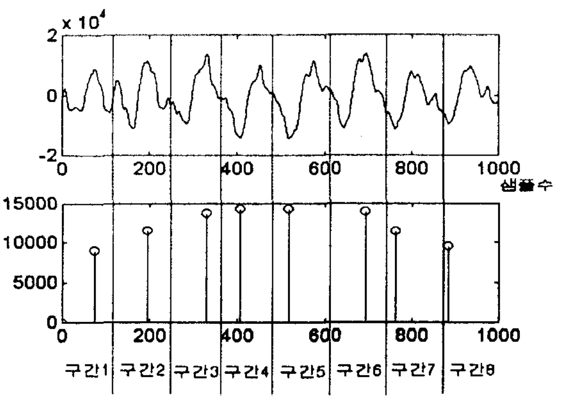


그림 4. 진폭의 추출 과정(가야금 황종(C)5의 예)
Fig 4. Amplitude Extraction

표 1. 가야금 음의 기본주파수
Table 1. Carrier frequency of Gayageum

	황종(C)4	태주(D)4	중려(F)4	임종(G)4	남려(A)4	황종(C)5	태주(D)5
기본주파수(Hz)	180	198	237	262	297	360	398

3.2 반송주파수

녹음된 가야금 음이 농현(Vibrato)이 없는 경우에 한하여 기본주파수의 변동이 없으므로 FFT를 이용하여 스펙트럼을 구한다. 그림 5와 같이 구해진 스펙트럼으로부터 등간격으로 존재하는 큰 신호들 중에서 가장 낮은 주파수를 기본주파수로 결정하고, 이를 FM31 알고리듬의 반송주파수로 사용하는데, 반송주파수는 모든 구간에 대해서 같은 값을 사용한다. 표 1에는 가야금 음의 기본주파수를 보인다.

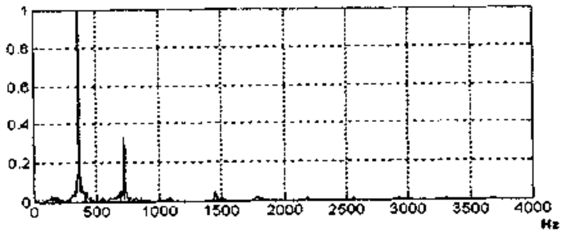


그림 5. 가야금 황종음(C5)의 스펙트럼
Fig 5. Spectrum of Gayageum C5

3.3 변조주파수와 변조지수

변조주파수1과 변조주파수2는 반송주파수의 몇 배라는 것을 나타내는 $n_1(=f_{m1}/f_c)$과 $n_2(=f_{m2}/f_c)$를 결정하여 구한다. n_1과 n_2는 K_n함수에서 도메인을 결정하므로 원래음의 스펙트럼과 K_n함수의 값의 차이가 가장 적게 나는 n_1과 n_2를 결정한다. 가야금 음의 경우에는 $n_1=1$, $n_2=4$ 정도의 값을 가진다.

시간에 따라 스펙트럼이 바뀌는 특성 즉, 동적인 스펙트럼을 생성하는데 가장 결정적인 역할을 하는 변조지수는 n_1과 n_2에 의해서 결정된 도메인내에서 원래음의 스펙트럼과 K_n함수의 값의 차이가 가장 적게 나는 경우를 찾는 방법을 이용한다. 모든 구간에서 원래음의 스펙트럼을 구해 각각의 구간에서 변조지수1과 변조지수2를 찾는다. 원래음의 스펙트럼과 K_n과의 오차를 결정하기위해서 오차함수를 사용하여 이 값을 최소화 시키는 I_1과 I_2를 찾아가는 방법을 사용하였다. 오차함수는 식 8로 정의하였고, $X(nw_c)$는 원래의 악기음에서 기본주파수의 정수배가 되는 주파수 성분들의 크기를 나타낸다.

$$E_{FM3}(I_1, I_2)=\sum_n |X(nw_c)-K_n(I_1, I_2, n_1, n_2)|^2 \tag{8}$$

식 8과 같은 오차함수를 사용하여 구한 변조지수와 그 때의 오차함수의 예를 그림 6에 나타냈다. 전 영역에서 주파수 스펙트럼의 오차가 거의 없으나 음이 시작되어 진폭이 커지는 attack부분에서 오차가 다소 있음을 알 수 있다. 이 구간에서 가야금 음의 변화가 다양하기 때문에 제안된 방법으로 100% 원음에 충실하게 합성하는 것은 무리이다.

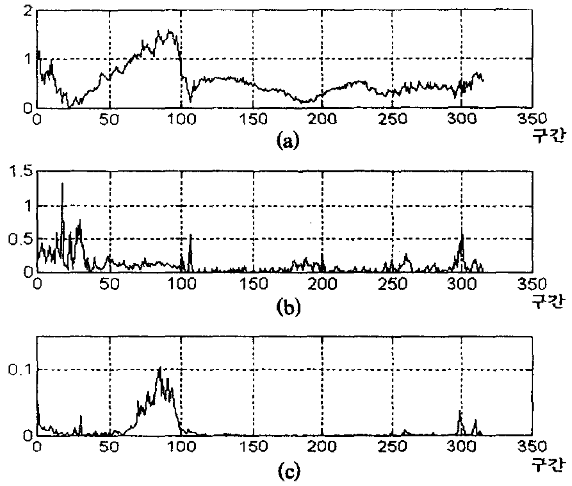


그림 6. 가야금 황종음(C5)의 변조지수와 오차함수
(a)변조지수1 (b)변조지수2 (c)오차함수
Fig 6. Modulation Index and Error Function of Gayageum C5
(a)Modulation Index 1 (b)Modulation Index 2 (c)Error Ft.

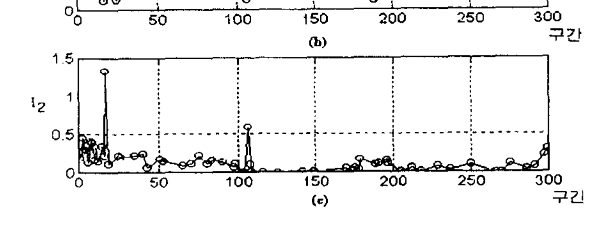


그림 7. 가야금 황종(C5)음의 근사화된 파라메터
(a)진폭(A) (b)변조지수1(n_1) (c)변조지수2(n_2)
Fig 7. Approximated parameters of Gayageum C5
(a)Amplitude (b)Modulation Index 1
(c)Modulation Index 2

이상과 같이 6가지의 변수값을 구했을 때 반송주파수, 변조주파수는 한 음에 하나의 값을 가지고, 변조지수는 한 구간에서 하나의 값을 가지고, 진폭은 한 구간에서 진폭위치와 진폭값을 나타내기 위해서 두 개의 값을 가진다. 하지만, 변조지수와 진폭은 모든 구간에서의 값을 사용하는 대신에 직선으로 근사화시킨 값을 사용한다. 근사화를 시킬때는 음이 시작하는 부분에서는 진폭과 스펙트럼의 모양이 많이 변하기 때문에 근사화를 시키지 않고, 음이 지속되는 부분에서 진폭과 스펙트럼의 모양에 변화가 적을 때에 주로 근사화시킨다. 그림 7에는 직선으로 근사화된 진폭, 변조지수1, 변조지수2를 보인다.

Ⅳ. DSP를 이용한 가야금 음의 합성

가야금 음을 실시간으로 합성하기 위해서, FM 합성용으로 설계된 SM9400[14]을 사용하였다. SM9400은 악기음 합성용 DSP로서 최대 8개의 FM 또는 PCM 합성 알고리듬을 넣을 수 있고, CD급의 음질인 44.1KHz의 표본화 주파수로 동작하며, 그림 8과 같은 블록도를 가진다. 이 DSP는 데이타 패스 블럭, 프로그램이 저장되는 알고리듬 램(ARAM), 연주변수가 저장되는 램(DRAM), 정현파 발생 ROM 테이블, 외부와의 인터페이스를 위한 블럭 등으로 구성되어 있다.

그림 9와 같은 SM9400이 들어 있는 악기음 합성 보드를 사용하여 ROM에 추출된 가야금의 변수값과 시스템 제어 프로그램을 넣어 SM9400이 FM31 알고리듬에 맞게 동작하도록 하였다. 그리고 가야금의 악기음을 MIDI 형태의 데이터로 바꾸어 PC에서 사운드 카드로 전송했다.

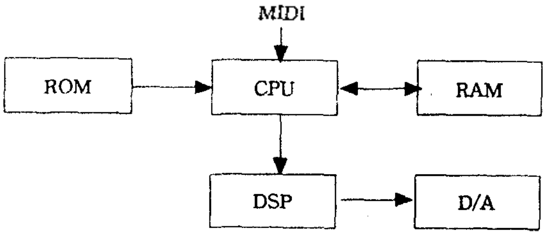


그림 9. 악기음 합성 카드 구조
Fig. 9. Architecture of Sound Synthesis Card

시스템 프로그램은 DSP의 초기화, DSP로 변수값을 전송, MIDI 신호의 수신 등의 기능을 하며, 순서도는 그림 10과 같다.

그림 11~13에는 가야금 황종(C5)의 원래음, C 언어를 이용한 합성음, DSP를 이용한 합성음을 비교하였다. 그림 11의 C 언어를 이용한 합성음은 전체파형, 시작부분, 스펙트그램에서 원래음과 거의 차이가 없고, 주관적인 청취결과에서도 차이를 느끼지 못하였고, 그림 13의 DSP를 이용한 합성음은 SM9400가 19비트를 사용하여 실수를 표현하기 때문에, 이 소수점 표현의 한계로 인하여 원음과 주파수 스펙트럼상의 차이가 있으나 청취결과는 양호했다.

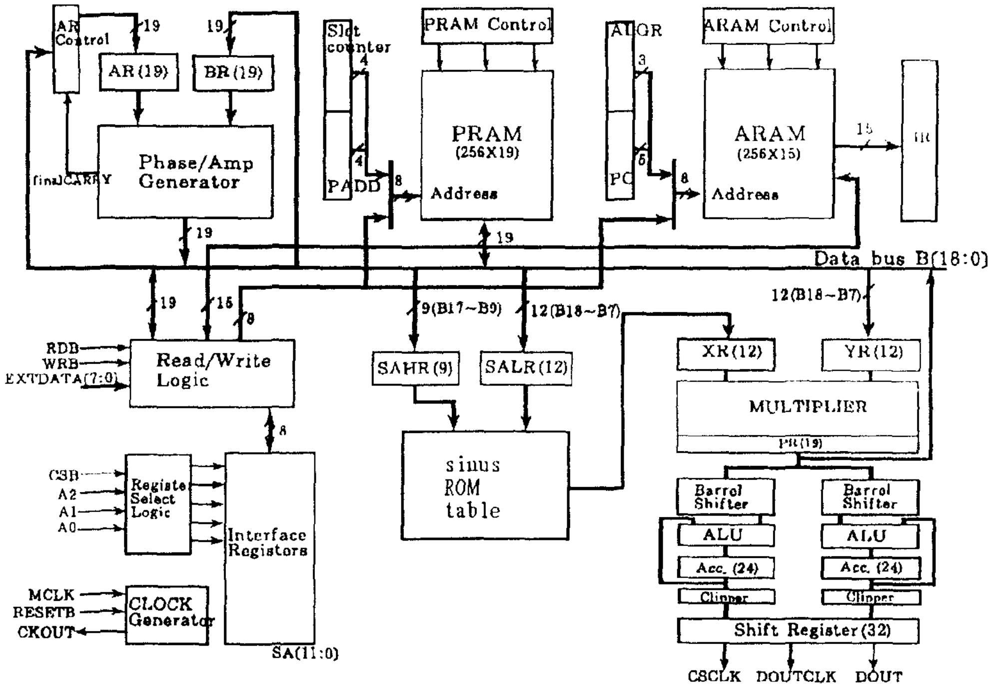


그림 8. SM9400 DSP의 블록도
Fig 8. Block Diagram of SM9400 DSP

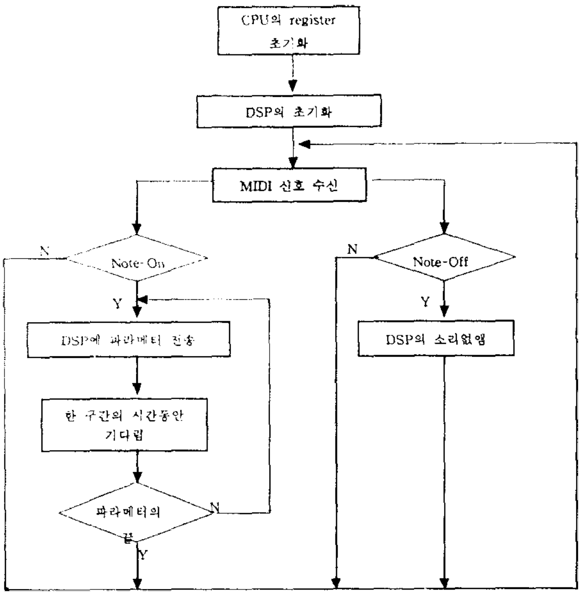


그림 10. 사운드 합성 프로그램의 순서도
Fig. 10. Flowchart of sound synthesis program

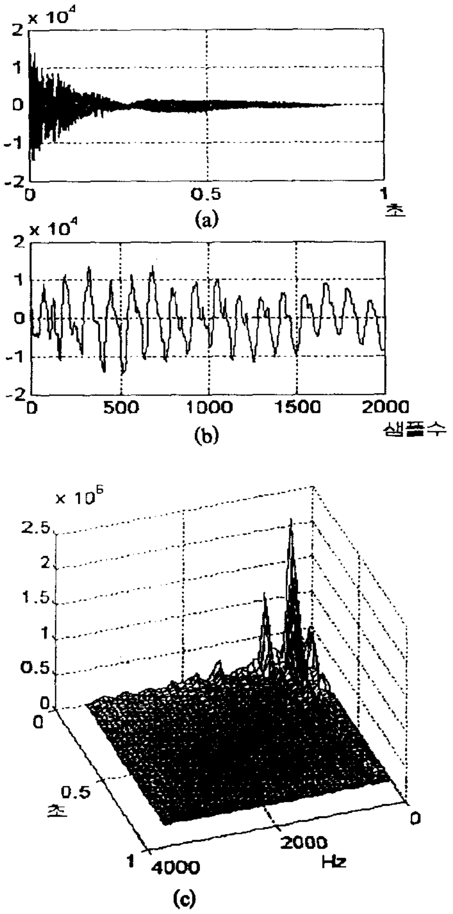


그림 11. 가야금 황종(C5)의 원래음
(a)전체파형 (b)시작부분 (c)스펙토그램
Fig. 11. Original Tone of Gayageum C5
(a)Envelope (b)Attack (c)Spectogram

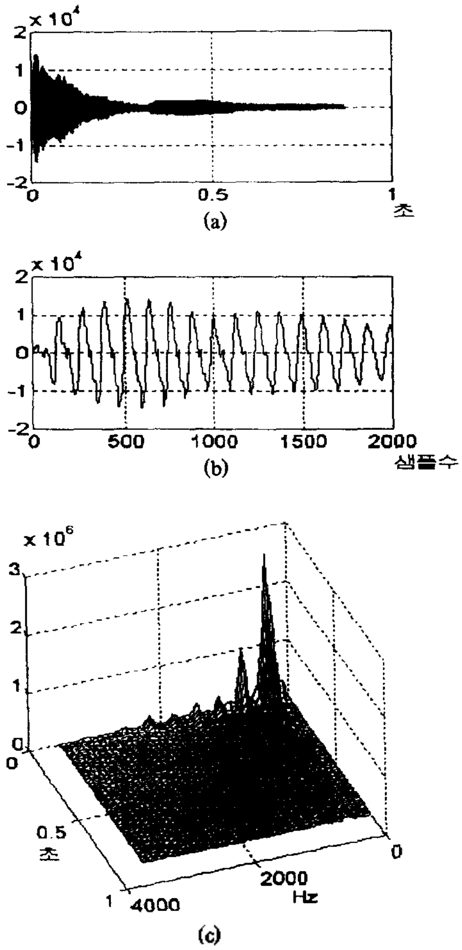
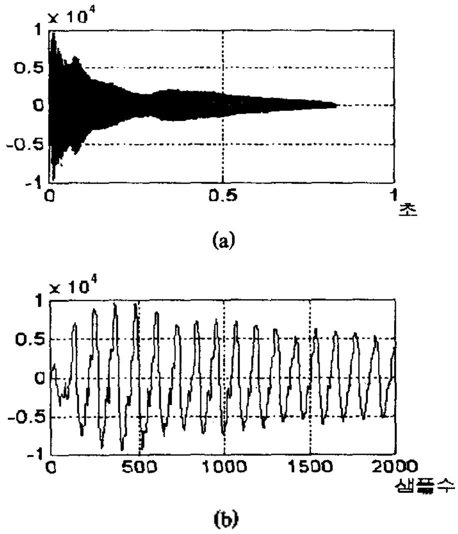
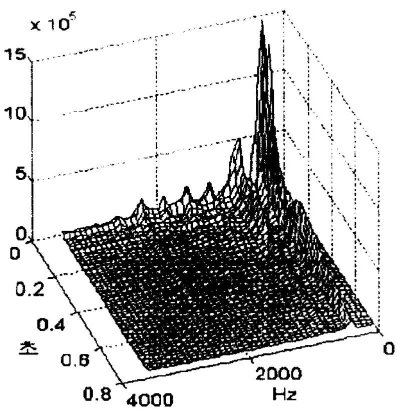


그림 12. C 언어를 이용하여 합성한 가야금 황종(C5)음
(a)전체파형 (b)시작부분 (c)스펙토그램
Fig. 12. Synthesized Gayageum C5 tone by C Language
(a)Envelope (b)Attack (c)Spectogram





(c)

그림 13. DSP를 이용한 가야금 황종(C5) 합성음
(a)전체파형 (b)시작부분 (c)스펙토그램
Fig. 13. Synthesized Gayageum C5 tone using DSP
(a)Envelope (b)Attack (c)Spectogram

V. 결 론

본 논문에서는 가야금 음의 특성을 분석하여 합성에 알맞는 3 오퍼레이터 FM 합성 방식을 고안하였다. 그리고 악기음 전 영역의 파라메터를 추출하여 C 언어로 가야금 음을 합성하여 원음과 객관적인 평가와 주관적인 평가를 실시하였다. 합성음은 음이 시작되는 attack 부분에서 원음과 다소 다른 스펙트럼을 가지지만 대부분의 영역에서는 중요한 고조파 성분의 특성이 거의 일치했다. 단음을 청취해서 합성음이 원음과 비슷함을 확인한 후에 연속으로 연주되는 곡을 청취해서 음질을 비교해 보아도 원음에 거의 가까운 것을 확인했다. 이 결과를 근거로 하여 본 논문에서 제안하는 방식이 가야금 음을 합성할 수 있음을 확인했다. 제안된 알고리즘과 추출된 파라메터와 음원 DSP를 이용하여 가야금 음을 합성하였다. DSP로 합성된 음은 DSP의 데이터 비트수의 제한으로 인하여 C 언어로 합성된 음보다 음질은 떨어지지만 원음과 비슷한 소리를 내는 것을 확인했다. 이로써 제안된 FM합성방식이 가야금음을 합성할 수 있을 뿐만 아니라 DSP를 이용하여 실시간으로 구현할 수 있음을 확인했다. 본 합성방식을 이용하면 DSP의 성능에 따라 다르겠지만 현 기술수준으로 32개의 가야금 음을 동시에 합성할 수 있다.

본 논문에서는 가야금을 단순한 방법으로 연주했을 경우만 생각하여 합성하였다. 원래 가야금은 여러 가지 연주방법이 있으므로 각 연주방법에 대한 합성방법에 대해서 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Oslon H. F., H. Belar, and J. Timmens, "Electronic music systems," J. Acoust. Soc., Am., Vol. 32, No. 3, 1960.
2. Grey J. M., "An exploration of musical timbre," Rep. Stan-M-2, Dept. of Music, Stanford Univ., 1975.
3. John M. Chowning, "The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation," Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 21, Number 7, pp. 526-534, September 1973.
4. Dexter Morrill, "Trumpet Algorithms for Computer Composition," Computer Music Journal, pp. 46-52, February 1977.
5. 권민도, 장호근, 김재용, 박주성, "FM합성방식을 이용한 악기음 합성용 DSP 설계," 한국음향학회 14권, 제 6호, 1995.
6. 주준열, 이문형, 김기두, 홍현석, 조위덕, "FM 방식의 디지탈 악기음 합성을 위한 소프트웨어 시뮬레이터 및 파라미터 추출 알고리듬 개발," 전자공학회논문지, 제31권 B판 제3호, pp. 225-238, 1994년 3월.
7. 주세철, 김진범, 김기두, "FM 방식을 이용한 디지탈 악기음 합성기의 구현," 전자공학회논문지, 제 32권 B판 제7호, pp. 1025-1035, 1995년 7월.
8. E. R. Moore, Elements of Computer Music, Prectice-Hall, 1990.
9. 이성재, "재미있는 국악 길라잡이," 서울 미디어.
10. Thomas P. Krauss, Loren Shure, John N. Little, "Signal Processing TOOLBOX for use with MATLAB," the MathWorks Inc.
11. Charles Dodge, Thomas A. Jerse, "COMPUTER MUSIC synthesis, composition, and performance," Schirmer Books, 1985.
12. Alan V. Oppenheim, Ronald W. Schafer, "Discrete-time signal processing," Prentice Hall.
13. 김형 "미디와 신서사이저," 영진출판사, 1992.

▲김 재 용(Jae-Yong Kim) 1971년 4월 16일생

1994년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학사)
1996년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 3월~현재 : LG 전자

▲권 민 도 (Min-Do Kwon) 1969년 4월 9일생
1992년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
1994년 3월~현재 : 부산대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학

▲장 호 근 (Ho-Keun Jang) 1968년 1월 15일생

1993년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학사)
1995년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
1995년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 대학원 박사과정 재학

▲우 종 식 (Jong-Sik Woo) 1968년 10월 21일생

1993년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학사)
1995년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학석사)
1995년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 대학원 박사과정 재학

▲박 주 성 (Ju-Sung Park) 1953년 12월 19일생

1976년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학사)
1978년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1978년 3월~1985년 7월 : 한국전자기술 연구소
1985년 8월~1989년 7월 : University fo Florida, Ph.D.
1989년 8월~1991년 3월 : 한국전자통신연구소 책임연구원 (연구위원)
1991년 3월~현재 : 부산대학교 전자공학과 부교수