

論 文

Switched Capacitor Filter를 이용한 韓國語子音合成에 관한 研究

正會員 李 永 勳* 正會員 李 大 寧**

A Study on the Korean Consonants Synthesis using Switched-Capacitor Filter

Young Hun LEE* and Dai Young LEE**, Regular Members

要 約 本論文에서는 中心周波數를 클럭周波數에 의해 線型的으로 변화시킬 수 있고 選擇도와 最大利得은 캐패시터 array에 의해 디지털信號로 制御할 수 있는 프로그램 가능한 2次SC filter를 構成하였다⁽¹⁾. 또한 이 filter를 이용하여 formant音聲合成시스템을 構成하고 韓國語子音을 合成함으로써 이 filter를 가지고 韓國語의 대부분의 音聲을 實時間으로 合成할 수 있다는 可能性을 보였다.

ABSTRACT In this paper, we designed the programmable 2nd order switched capacitor filter that the center frequency can be varied linearly with the clock frequency, and that the peak gain and the selectivity can be controlled with digital signal by the capacitor array. In addition, speech synthesizer system was constructed with this filter, Korean consonants being synthesized. Therefore, this filter shows the possibility that most Korean language sounds can be synthesized in the real time mode.

1. 序 論

音聲信號를 표현하는 방법에는 波形을 그대로 符號化하여 나타내는 방법과 파라미터로 나타내는 두 가지 방법이 있다. 여기서 파라미터로 나타내는 방법은 音聲信號의 重要한 성격만을 일정한 시간마다 抽出하여 符號化하고 이것을 이용하여 再生하는 방법으로서 一般的으로 vocoder라 하며 사람의 音聲發聲構造에 따라 聲道와 excitation을 따로 구분하여 모형화하는 것이다.

지금까지 알려진 vocoder중 LPC vocoder는 音質이 좋고 디지털技術과 컴퓨터의 長點이 충분히 이용될 수 있다는 잇점이 있으나 實時間合成이 불가능하다는 단점이 있다⁽²⁾.

한편 MOS技術의 發達에 따라 적은 실리콘 면적으로 높은 安定度 및 正確度を 얻을 수 있는 MOS캐패시터와 MOSFET스위치 및 MOS演算增幅器로 구성되는 SC(switched capacitor) filter가 많은 사람들에 의해 研究되었고 monolithic IC形態로 精確한 filter를 구성할 수 있는 방법이 제시됨으로써 많은 주목을 받고 있다^{(1),(2),(3)}.

SC filter는 클럭周波數를 변화시킴으로써 filter의 時定數를 손쉽게 변화시킬 수 있으므로 이와 같은 개념으로 여러 가지 filter의 特性을 가질 수 있는 프로그램 가능한 SC filter의 구성이 가능하다^{(1),(2),(8)}.

따라서 本研究에서는 Allstot등이 제안한 中心

* 大有工業專門大學通信科
Dept. of Communication Engineering Daeyou Technical
Junior College, Kyungki-Do, 130-14 Korea

** 慶熙大學校工科大学電子工學科
Dept. of Electronic Engineering Kyunghee University
Seoul, 132 Korea
接受番號: 84-05 (接受 1984. 2. 16)

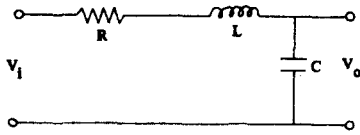


그림 1 RLC 2次低域filter
RLC 2nd order low pass filter.

周波數, 選擇度 및 最大利得을 각각 獨立의으로 變化시킬 수 있는 프로그램可能한 2次SC filter⁽⁴⁾를 구성하여 그 filter의 特性을 高찰하고 이와 같은 時變特性을 갖는 SC filter 5개를 마이크로프로세서에 의해 제어하는 formant音聲合成 시스템을 구성하여 韓國語子音을 合成함으로써 音聲合成의 實時間化가 가능하며 韓國語의 대부분을 合成할 수 있다는 것을 實驗을 통하여 입증한다⁽⁵⁾.

2. 合成filter의 設計

여기서는 最大利得과 選擇度 및 中心周波數를 각각 獨立의으로 control할 수 있는 프로그램可能한 2次SC filter를 구성하고 이를 音聲合成에 應用하기 위하여 그림 1의 受動RLC 2次filter를 선택한다. 一般의인 2次低域filter의 傳達函數는⁽⁶⁾

$$H(s) = \frac{H_0 \cdot \omega_0^2}{S^2 + \frac{\omega_0}{Q} S + \omega_0^2} \quad (1)$$

이며 그림 1의 傳達函數는

$$H(s) = \frac{1/LC}{S^2 + \frac{R}{L} S + \frac{1}{LC}} \quad (2)$$

이므로 式(1),(2)를 비교하면

$$L = \frac{RQ}{\omega_0}, \quad C = \frac{1}{RQ\omega_0} \quad (3)$$

로 된다. 그러나 式(3)은 R, ω₀가 결정되었을 때

Q가 증가함에 따라 L, C값의 차가 커진다. 또한 이 회로를 SC로 구성하여도 C의 비가 커지므로 바람직하지 못하여 R을 1/Q로 impedance scaling 한 후의 R, L, C의 값은 같아지고 傳達函數는 式(1)로 된다.

그림 2(a)는 impedance scaling후의 等價回路이며

$$v_1 = v_i - \frac{i}{Q} \quad (4)$$

$$i = \frac{\omega_0}{S} (v_1 - v_2) \quad (5)$$

$$v_2 = \frac{\omega_0}{S} i \quad (6)$$

$$v_0 = v_2 \quad (7)$$

의 관계가 있고 이 회로를 구성하는데 필요한 OP-AMP가 VCVS (Voltage Controlled Voltage Source)이므로 i를 v'로 나타내면

$$v' = i R_s \quad (8)$$

로 되며 R_s를 1로 놓으면

$$v' = i \quad (9)$$

로 되어 式(4)~(7)은 각각

$$v_1 = v_i - \frac{1}{Q} \cdot v' \quad (10)$$

$$v' = \frac{\omega_0}{S} (v_1 - v_2) \quad (11)$$

$$v_2 = \frac{\omega_0}{S} v' \quad (12)$$

$$v_0 = v_2 \quad (13)$$

로 되어 그림 2(b)와 같다.

그림 2(b)에서 이 filter는 2개의 積分器를 갖는 상태변수filter가 되어 이를 실현하는 SC filter 회로는 그림 3과 같다. 그러나 이 경우에 높은

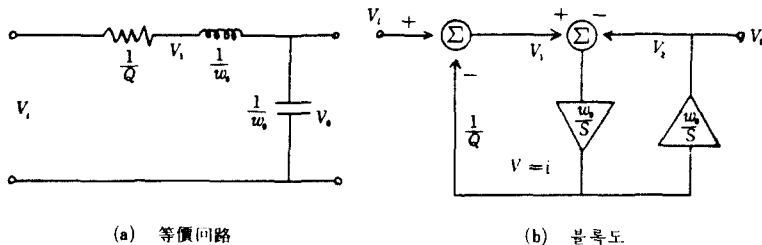


그림 2 Impedance scaling한 회로
Circuit with impedance scaling.

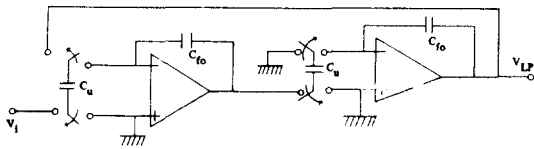


그림 3 프로그램 가능한 2次SC filter
Programmable 2nd order SC filter.

\$Q\$에 대하여 \$1/Q\$을 구성하는 SC는 매우 작게 되므로 \$1/Q\$에 해당하는 값을 갖는 지크로 필터의 이득을 조정하기 위하여 OP-AMP를 1개 더 추가하여 그림 4와 같은 프로그램 가능한 2次 SC filter를 완성하게 구성할 수 있다.

그림 4의 전달函數를 S-domain에서 구하기 위하여 回路方程式을 세우면

$$\left. \begin{aligned} C_u v_i + C_s v_{BP} &= C_u \cdot v_{BP} \\ (v_{LP} - v_{BP}) C_u f_c &= S C_{f0} \cdot v_{BP} \\ -v_{BP} \cdot C_u \cdot f_c &= S C_{f0} \cdot v_{LP} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

로부터

$$\frac{v_{BP}(s)}{v_i(s)} = \frac{\frac{C_u (C_u f_c)^2}{C_u C_{f0}}}{S^2 + S \left(\frac{C_s C_u f_c}{C_{f0} C_u} \right) + \frac{C_u^2 \cdot f_c^2}{C_{f0}^2}} \quad (15)$$

$$\frac{v_{BP}(s)}{v_i(s)} = \frac{-S \frac{C_u C_u f_c}{C_u C_{f0}}}{S^2 + S \frac{C_s C_u f_c}{C_u C_{f0}} + \frac{C_u^2 f_c^2}{C_{f0}^2}} \quad (16)$$

$$\frac{v_{BP}(s)}{v_i(s)} = \frac{\frac{C_u}{C_u} \left(S^2 + \frac{C_u^2 \cdot f_c^2}{C_{f0}^2} \right)}{S^2 + S \frac{C_u C_s f_c}{C_u C_{f0}} + \frac{C_u^2 f_c^2}{C_{f0}^2}} \quad (17)$$

와 같이 되어 이 回路는 低域通過出力, 帶域通過出力 및 帶域阻止出力의 세 부분을 가지고 있다. 本論文에서는 위의 식으로부터

$$Q = \frac{C_u}{C_s} \quad (18)$$

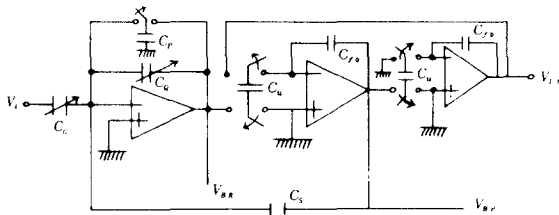


그림 4 改善된 SC filter
Improved SC filter.

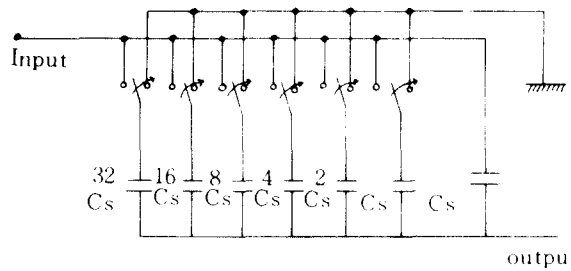


그림 5 6비트 캐패시터 array
Six bits capacitor array.

$$\omega_0 = f_c \frac{C_u}{C_{f0}} \quad (19)$$

$$G = \frac{C_u}{C_s} \quad (20)$$

의 관계가 있음을 이용하였다. 여기서 \$Q\$나 \$G\$의 값을 변화시키기 위해서는 6 bit 캐패시터 array¹¹를 사용하였으며 그 回路는 그림 5와 같다. 따라서 완성된 實驗回路는 그림 6과 같으며 이 回路에서 3단 OP-AMP는 \$Q\$와 \$G\$를 control 하기 위한 charge multiplier의 형태이고^{11,18)} DC安定度를 위하여 \$C_p\$를 사용하였다. 또한 array에서 入力 offset電壓을 무시하면 캐패시터는 가장 접지되므로 switching 동안 캐패시터兩端間의 電壓變化가 없어 變位電流은 흐르지 않는다.

3. Formant音聲合成시스템의 構成

그림 7을 SC filter를 이용한 formant音聲合成 시스템의 構成圖로, 각 부분은 다음과 같다.

- 1) 子音에 대한 信號源으로서 white noise를 이용하는데 本研究에서는 RDN function을 이용하여 software로 random data를 만들어 사용하였으며 D/A converter에 의하여 振幅을 검정하여 SC filter의 入力로 하였다.
- 2) 子音信號의 에너지는 대부분 4(kHz) 이하에 있으므로 4(kHz)로 帶域制限하여 分析한 결과 4~5개의 formant가 나타났으므로

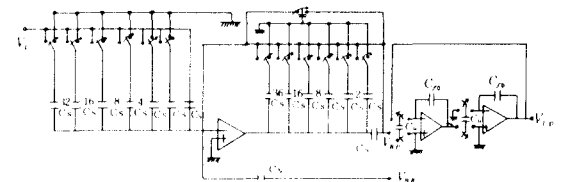


그림 6 實驗回路
Experimental circuit.

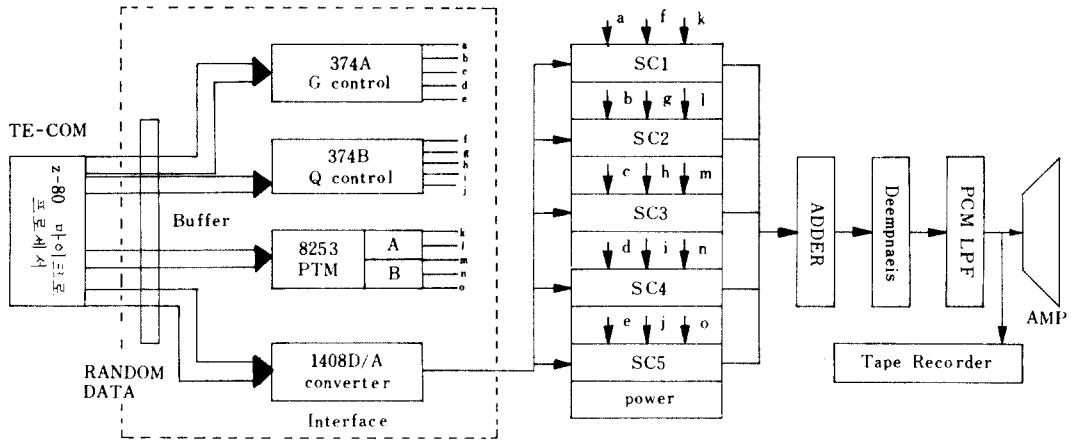


그림 7 Formant音聲合成의 블록線圖
Block diagram of formant speech synthesizer.

표 1 韓國語子音에 對한 Formant情報
Formant information of korean consonants.

	F1 (Hz)	F2 (Hz)	F3 (Hz)	F4 (Hz)	F5 (Hz)	B1 (Hz)	B2 (Hz)	B3 (Hz)	B4 (Hz)	B5 (Hz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)	G4 (dB)	G5 (dB)
K A (초성)	555	1188	3086	3586	△	314	46	203	141	△△	-0.86	23.03	8.74	12.38	△
K A (경음)	391	1273	2313	3375	3703	204	616	266	298	328	3.5	22.9	-7.8	5	8.69
K A (결음)	1313	2078	3336	△	△	79	296	188	△	△	12.3	6.7	15.1	△	△
K A (종성)	648	1195	2477	3242	△	77	108	79	406	△	20	15.2	9.9	-3.2	△
D A (초성)	516	1406	2563	3547	△	250	155	173	125	△	6.28	10.1	2.5	11.6	△
D A (경음)	602	1250	2234	3016	△	141	109	390	157	△	11.8	17.3	-3.4	7.15	△
D A (결음)	492	1273	1891	2477	3695	234	522	454	157	140	-2.9	-1	-2.2	8.3	20.3
D A (종성)	633	1195	2484	3578	△	109	155	93	269	△	14.1	10.3	12.7	1.51	△
R A (초성)	469	1305	2211	3219	△	141	188	422	125	△	11.1	12.3	1.2	7.9	△
R A (종성)	367	1602	2461	3516	△	109	188	109	141	△	13	8.8	12.5	5.2	△
B A (초성)	586	1070	2133	2691	3547	172	155	63	312	710	8	13.8	12.2	1.8	7.6
B A (경음)	586	1008	2180	3031	△	94	78	188	93	△	16	17.4	5.2	16	△
B A (결음)	1422	2352	3492	△	△	204	79	156	△	△	4.5	15.7	17.7	△	△
B A (종성)	656	1148	2305	3117	△	187	171	282	453	△	11.6	6.7	8.1	-3.2	△
S A (초성)	680	1422	2430	3086	3672	266	64	142	297	78	2.4	14.2	8.3	1.8	16.7
S A (경음)	430	1297	1961	2492	3648	235	266	422	266	516	-3.7	-1	2.3	7.3	9.8
Z A (초성)	477	1406	2547	3438	△	220	110	250	806	△	7.4	8.9	5	5.7	△
Z A (경음)	242	1180	1805	2484	3156	532	266	376	108	171	-6.3	-1.8	0	10.4	10
Z A (결음)	523	1734	2617	3781	△	280	156	172	125	△	-4.4	6	7	20.7	△
H A (초성)	1391	2445	3484	△	△	516	78	437	△	△	2.3	16	11.3	△	△

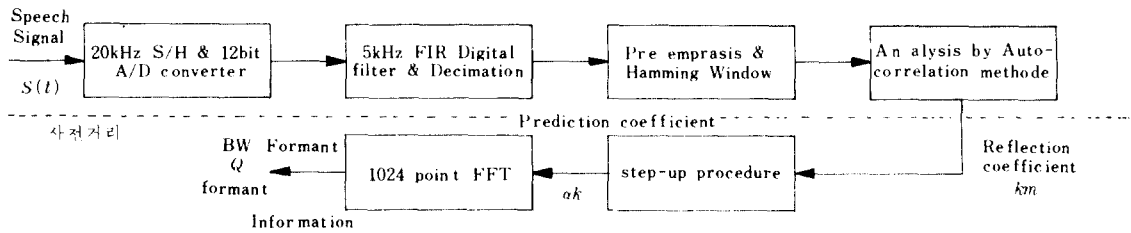


그림 8 Formant 抽出의 블록線圖
Block diagram of formant extraction.

4~5개의 formant를 이용하여 合成하였다¹²⁾.
表 1은 各子音에 대한 formant의 정보이며
그림 8은 本研究에서 formant 抽出에 이용한
block-diagram이다.

이 때 帶域周波數에 대한 정보는 8253 2개의 6 가지 出力으로부터 공급하였으며 帶域幅 및 利得에 대한 정보는 374 10 개로부터 15bit 2進形態로 供給하여 SC filter의 캐패시터 array를 프로그래밍하여 주었다.

- 3) SC filter에 대한 共鳴回路의 구성은 並列形으로 하였으며 加算器를 써서 各filter의 出力을 合成하였다.
- 4) SC filter를 통과하여 나온 合成된 音聲은 分析時와 반대로 deemphasis한 후 高調波成分을 제거하기 위하여 4 (kHz)의 PCM用filter로 smoothing시켜 合成된 音聲信號를 얻었다¹²⁾.

4. 實驗 및 檢討

(1) SC filter 實驗

本研究에서는 式(18)~(20)에 의하여 C_n 를 고정시키고 C_q 를 가변시켜 Q 값을 변화시키고 C_n 를 가

변시켜 G 값을 변화시켰다. 또 C_u/C_{fo} 를 고정시키고 帶域周波數를 가변시켜 ω_0 를 변화시킬 수 있었다. 그림 10은 $Q=1, C_n=10$ (kHz)일 때 G 를 1, 2, 10, 16, 32로 변화시켰을 때 帶域通過出力에서의 周波數應答이며 그림 11은 $Q=4, G=12$ 배로 고정시키고 C_n 를 10, 15, 20, 25, 30 (kHz)로 변화시켰을 때의 特性이며 그림 12는 $G=12, C_n=10$ (kHz)로 고정시키고 Q 값을 2, 3, 4, 5로 변화시켰을 때의 特性이다.

(2) 實時間音聲合成에 대한 實驗

formant 音聲合成에 대한 實驗은 그림 7과 같이 구성하였고 그림 13은 實驗裝置를 나타낸다. 本實驗에 사용된 filter의 캐패시터比는 帶域周波數를 20~60 (kHz)범위 내에서 공급하기 위해 다음과 같이 결정하였다.

- 1 단 : 7.466 4 단 : 1.4497
- 2 단 : 3.4772 5 단 : 1.3094
- 3 단 : 1.8789

實驗結果 各子音에 대한 周波數스펙트럼은 그림 14에 나타내었다. SC filter의 스펙트럼과 LPC 分析에 의한 모델 스펙트럼¹²⁾을 비교해 보면 利得에 낮은 부분에서 차이가 크지만 聽覺에 있어

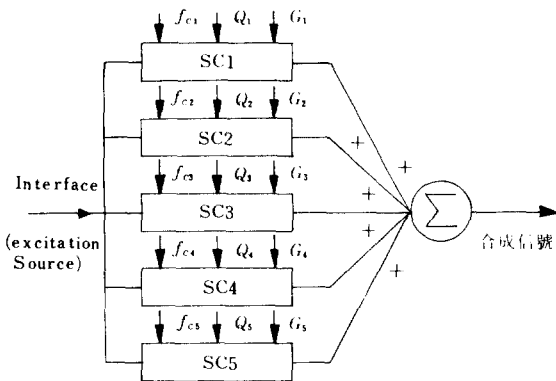


그림 9 並列形의 構成
Parallel structure.

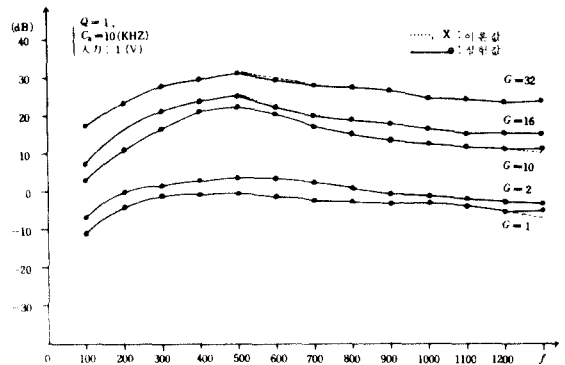


그림 10 利得變化特性
Characteristics of gain control.

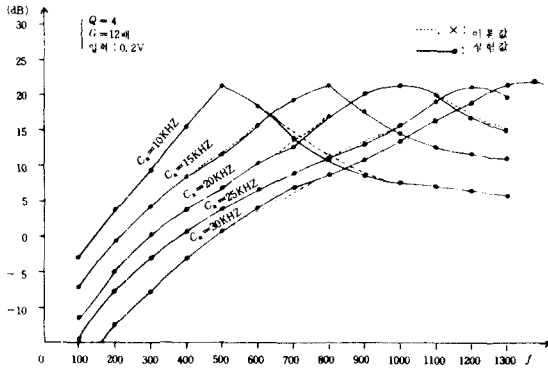


그림11 클럭周波數變化特性
Characteristics of clock frequency control.

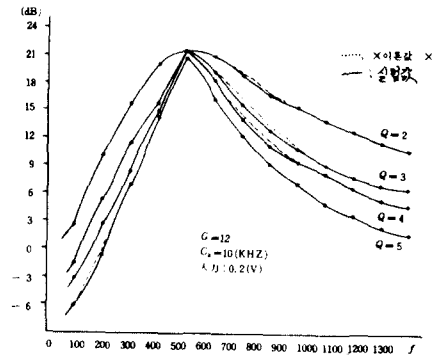


그림12 Q變化特性
Characteristics of Q control.

서는 利得이 낮은 부분은 별 영향이 없으므로 音의 明瞭度에 대해서는 큰 문제가 되지 않았다.

5. 結 論

本研究에서는 클럭周波數와 캐패시터 array를 프로그래밍하여 줌으로써 1개의 filter를 가지고 세 가지의 應答特性을 얻을 수 있는 SC filter를 구성하고 이 filter를 이용하여 韓國語子音을 合成함으로써 時變特性을 필요로 하는 시스템을 實時間으로 처리 가능함을 實驗을 통하여 입증하였다.

단, 한 가지 問題點은 實驗結果에 있어서 Q가 매우 높은 경우와 매우 낮은 경우에 있어서 약간의 誤差가 있었지만 本實驗에서 이용된 캐패시터가 $\pm 5\%$ 의 誤差를 가진 것임을 고려하면 實

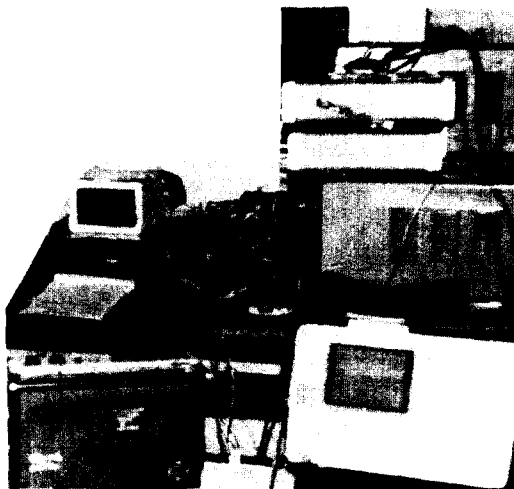
驗結果는 理論値와 매우 근사하였다.

결국 SC filter는 그 周波數應答이 캐패시터比에 의해서만 결정되므로 精度가 높고 單一-chip으로 IC化하면 小形化가 가능하며 溫度特性 및 線形特性이 매우 우수할 것이다.

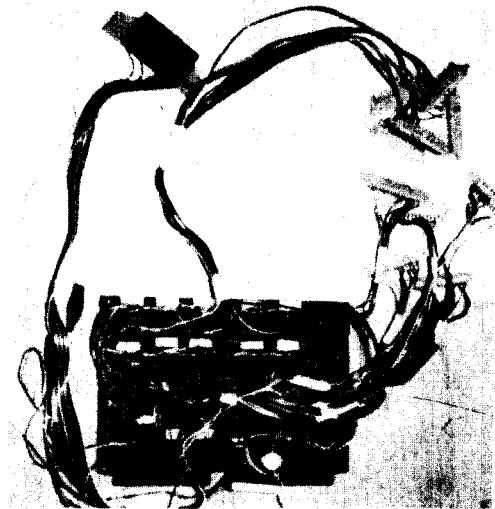
끝으로 本研究에서는 韓國語子音合成에 그쳤지만 앞으로 더욱 研究하여 韓國語母音도 合成함으로써 韓國語의 대부분이 合成될 수 있음을 보이고자 한다.

參 考 文 獻

- (1) D. L. Fried, "Analog sampled data filter," IEEE J. Solid-state Circuits, vol. SC-7, pp. 302-304, Aug. 1979.
- (2) B. J. Hosticka, R. W. Brodersen and P. R. Gray, "MOS sampled data recursive filter using switched capacitor integrator," IEEE J. Solid-state Circuits, vol. SC-12, no. 6,

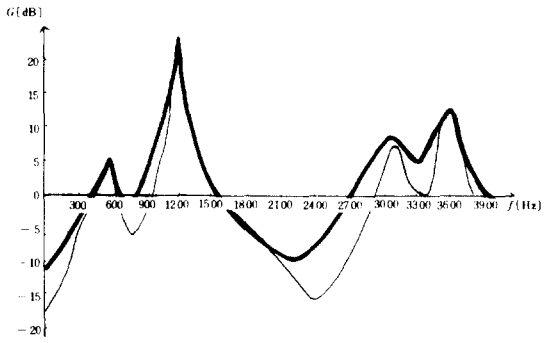


(a) 實驗裝置

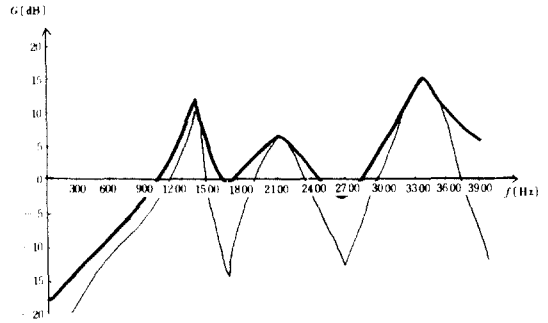


(b) 인터페이스

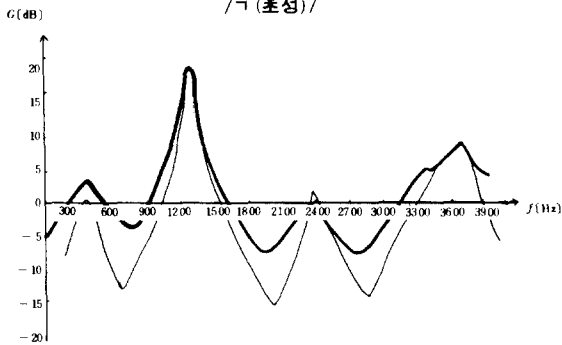
그림13 實驗裝置
Experimental device.



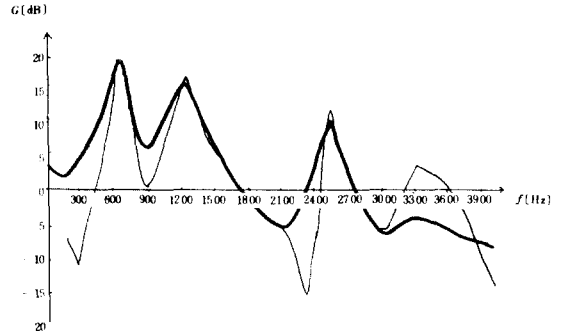
/ㄱ (초성)/



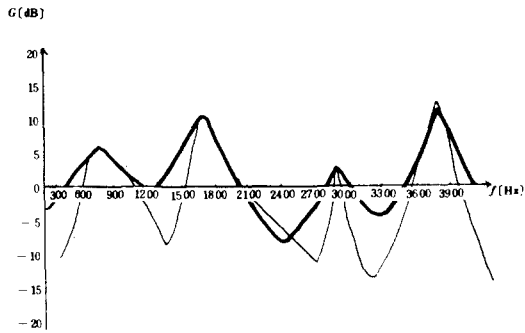
/ㅋ/



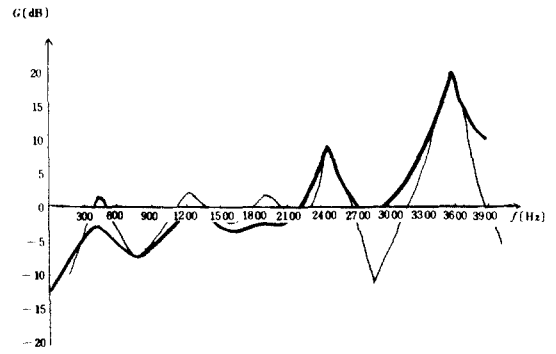
/ㄴ/



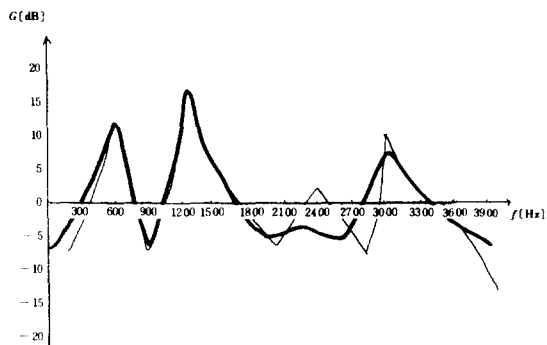
/ㄷ (중성)/



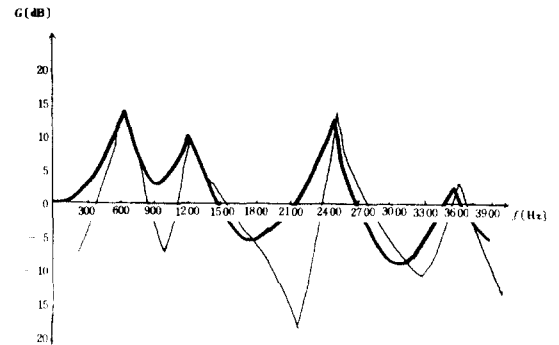
/ㄷ (초성)/



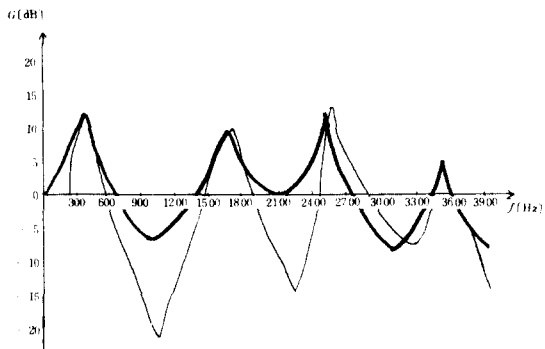
/E/



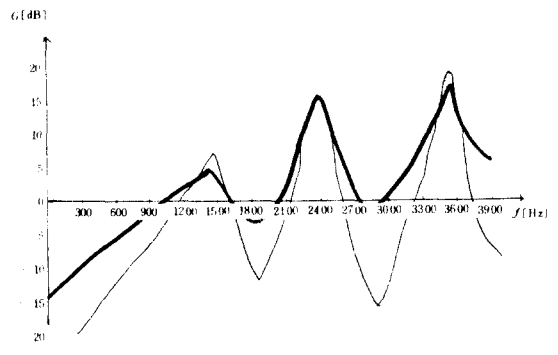
/ㅌ/



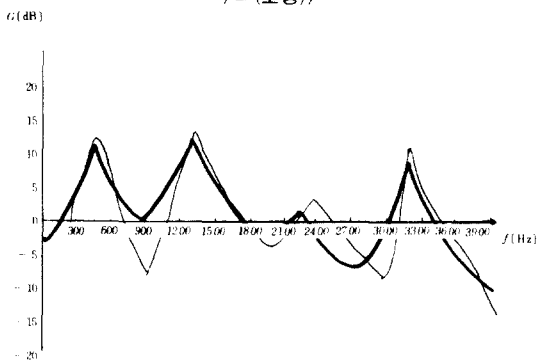
/ㄷ (중성)/



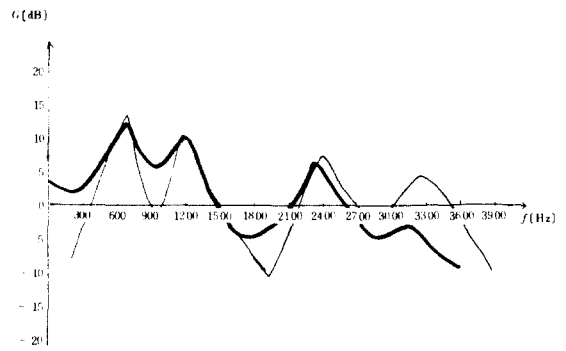
/ㄹ (초성)/



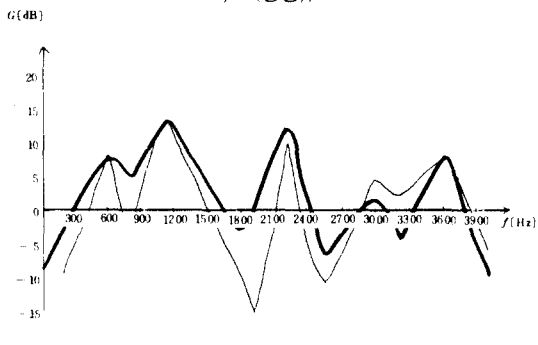
/ㅍ /



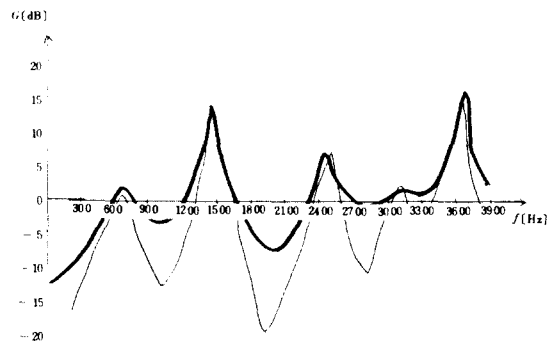
/ㄹ (중성)/



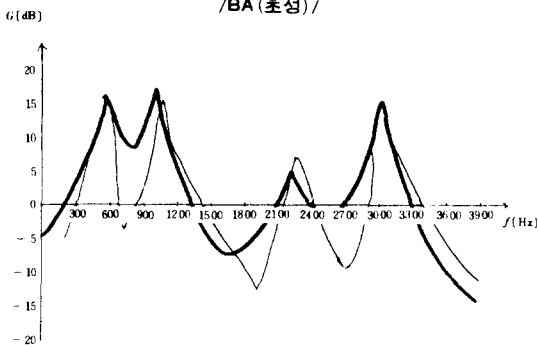
/ㅍ (중성)/



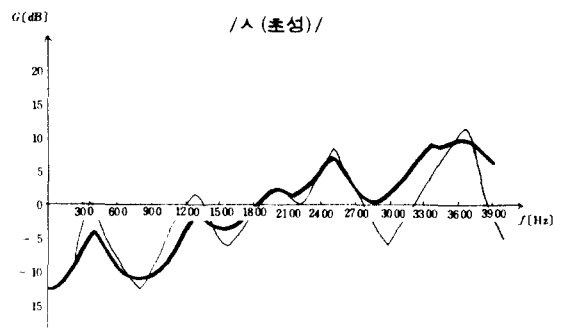
/BA (초성)/



/ㅂ (초성)/



/ㅃ /



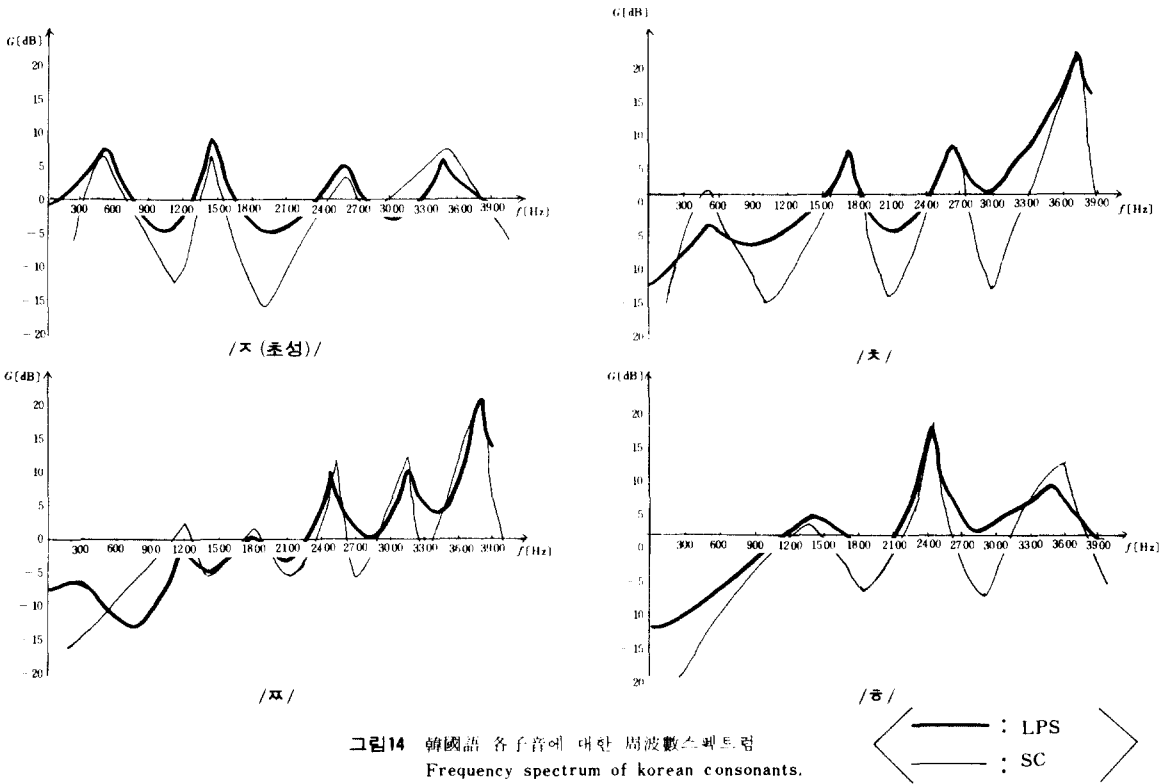
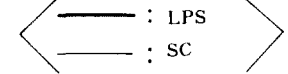


그림 14 韓國語 各子音에 대한 周波數스펙트럼
Frequency spectrum of Korean consonants.



pp. 600-608, Dec. 1977.

(3) G. C. Temes and I. A. Young, "An improved switched capacitor integrator," *Electron. Lett.*, vol. 14, no. 19, pp. 287-288, Apr. 1978.

(4) D. J. Allstot, R. W. Brodersen, "MOS switched capacitor ladder filters," *IEEE J. Solid-state Circuits*, vol. SC-13, no. 6, Dec. 1978.

(5) R. W. Brodersen, P. R. Gray and D. A. Hodzes, "MOS switched capacitor filters," *Proc. IEEE*, vol. 67, no. 1, Jan. 1979.

(6) H. Y. F. Lam, "Analog and digital filters: Design and realization," Prentice Hall, Inc., 1979.

(7) D. B. Cox, L. T. Lim and R. S. Florek, "A real time programmable switched capacitor filter," *IEEE J. Solid-state Circuits*, vol. SC-15, no. 6, pp. 972-977, Dec. 1980.

(8) Seanan, Scanlan, Fellow, "Analysis and synthesis of switched-capacitor state variable filters," *IEEE Transactions on circuits and systems*, vol. CAS-28, no. 2, Feb. 1981.

(9) J. T. Caves, M. A. Copeland, "Sampled analog filtering using switched-capacitors as resistor equivalents," *IEEE J. Solid-state Circuits*, vol. SC-12, no. 6, Dec. 1977.

(10) Ken Martin, Member, "Improved circuits for the realization of switched-capacitor filters," *IEEE Trans. on circuits and systems*, vol. CAS-27, no. 4, Apr. 1980.

(11) J. L. McCreary and P. R. Gray, "All MOS charge redistribution analogue-to-digital conversion techniques-part I," *IEEE J. Solid-state Circuits*, vol. SC-10, Dec. 1975.

(12) 김명규, "線形예측법에 의한 音聲信號의 分析和 그 應用方案," 대한전자공학회, 서울, Apr. 1981.



李永勳 (Young hun Lee) 正會員
1949年 11月 5日生
1973年 2月: 東亞大學校 電子工學科 卒業
1980年 9月: 崇田大學校 大學院 電子工學
專攻 (工學碩士)
1981年 3月~1984年 2月: 慶熙大學校 大學院 博士課程
1973年 5月~1978年 2月: 中郡工業高等
學校

1978年 2月~1978年 8月: 大田實業專門大學 專任講師
1978年 9月~現在: 大君工業專門大學 助教授



李大章 (Dai Young LEE) 正會員
1940年 3月 18日生
1968年 9月~1970年 3月: 캘리포니아州
立大學院 (工
學碩士)
1976年 9月~1979年 9月: 延世大學校 大學院 電子工學
科 (工學博士)
1971年 9月: 慶熙大學校 工科大学 電子工
學科 助教授

1977年 3月: 慶熙大學校 工科大学 電子工學科 副教授
1982年 3月: 慶熙大學校 工科大学 電子工學科 教授
1982年 9月: 慶熙大學校 工科大学 長, 韓國情報科學會理事