

# KSLV-1 FTS 수신기용 Tone Filter 설계

황수철\*, 임유철\*\*, 이재득\*\*\*

## Design of Tone Filter applied to The KSLV-1 FTS Receiver

Soo-Seul Hwang\*, You-Chol Lim\*\*, Jae-Deuk Lee\*\*\*

### Abstract

In this study, contains Design and Simulation data for Tone Filter applied to the KSLV-1 FTS Receiver. Received Signal contains unwanted Noise and Jitter which should be eliminated by any kind of filters. In the design of KSLV-1 FTS Receiver, two different type of filters are used. One is Low-Pass Filter for rejecting high order harmonics and another is Tone Filter for sorting pure original signal in the mixed demodulated Signals. For the purpose of this development, various kinds of filter are studied and simulated for finding adequate type of filter.

### 초 록

본 논문에서는 FTS 수신기(Receiver)의 기저대역(Baseband)부에 적용되어 신호에 포함되는 불필요한 잡음성분을 제거하기 위한 용도의 저역통과필터(Low-Pass Filter)와 톤(Tone) 신호를 검출해 내기 위한 톤 필터로 적용 가능한 여러 종류의 필터에 대해 고찰하였고, 이를 바탕으로 Simulation을 통해 적용 가능성을 검토하였다. 서로 다른 형태의 필터는 각각의 목적과 용도에 따라 특성의 차이가 있으므로 어느 하나의 필터 특성이 좋다는 절대적인 기준은 없고 적용하려는 목적과 성능의 필요성에 따라 필터의 형태가 결정되는 상대적인 기준에 의해 결정되게 된다. 이에 따라 본 논문에서는 적용되는 부품 소자의 수를 줄여 무게의 경량화와 소형화를 얻으면서도 요구하는 성능을 만족시킬 수 있는 최적의 필터 형태를 제시하였다.

키워드 : 저역통과 필터(low-pass filter), 대역통과 필터(band-pass filter), 잡음제거 필터(noise rejection filter), Q값(Q-factor), 공진주파수(resonant frequency)

### 1. 서 론

우주발사체용 전자탐재장치는 고진동, 저압력 등의 극한 환경에서 동작 하여야 하고, 페이로드

(Payload) 발사능력과 직접적인 관련이 있기 때문에 소형화 및 경량화가 요구된다. 이를 바탕으로, 현재의 전자장치들은 무게의 경량화와 크기의 소형화를 가장 큰 핵심설계 목표로 설정하고

\* 전자그룹/sooseul@kari.re.kr

\*\* 전자그룹/yylim1002@kari.re.kr

\*\*\* 전자그룹/jdlee@kari.re.kr

있다. 이와 같이 동일한 성능을 유지하면서 무게의 경량화와 소형화를 얻기 위해서는 적용되는 부품 소자의 수를 줄여 전체적인 크기와 무게를 줄이도록 하여야 하며 이를 위해 적용되는 부품 선정에서부터 신중을 기해 선택하여야 한다. FTS 수신기 설계에는 목적에 따라 여러 종류와 필터가 사용되게 되며 RF/IF신호를 처리하기 위한 필터는 상용으로 제작되어 판매되는 부품의 성능이 우수하므로 이를 구입하여 적용하게 되고, Demodulator를 통과한 후의 신호에 포함되는 불필요한 잡음성분을 제거하기 위한 용도의 기저대역(baseband)부의 저역통과필터(Low-Pass Filter)와 톤(Tone) 신호를 검출해 내기 위한 톤 필터(Tone filter)는 직접 구현하게 된다.

본 논문에서는 FTS 수신기의 기저대역부의 설계에 적용 가능한 여러종류의 필터에 대해 고찰해보고 이를 바탕으로 검토된 저역통과필터와 톤 필터에 대한 검토결과와 Simulation 결과를 바탕으로 FTS 수신기 설계에 적용하고자 한다. Simulation에는 Nuhertz Technologies사의 Filter Solution 8.1과 OrCAD PSPICE Tool을 이용하였으며 Simulation에 사용된 OP-Amp.는 ON-Semiconductor사의 MC33078을 이용하였다. 본 논문은 최소량의 부품을 사용하여 IRIG STD 313-01에 제시된 톤 필터의 대역폭(Bandwidth), 필터이득(Gain) 특성을 만족하는 필터 구현이 가능한지를 확인하기 위한 자료로 OP-Amp.를 동작시키고 필터특성을 내기위한 주변의 R,L,C 수동 소자들은 Parasitic을 고려하지 않은 Ideal한 정수값으로 가정하였으므로 설계된 정수값으로 제작되었을 때 약간의 Trimming이 필요하리라 생각된다.

## 2. 적용 필터의 위치 및 종류

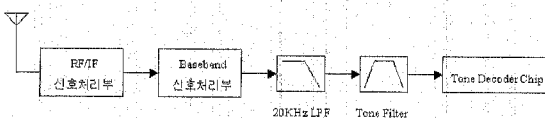


그림 1. 톤 신호 검출을 위해 필요한 필터 위치 및 종류

기저대역부를 통과한 신호는 톤 신호들이 조합된 형태로 출력되게 되고 기저대역부를 구성하는 비선형적인 소자들의 특성에 의해 출력된 톤의 조합 신호 주변에는 여러 Spurious 성분들이 포함되게 된다. 출력된 신호에 포함된 고주파 잡음(Noise) 성분들을 제거하기 위해 먼저 사용하고자 하는 최대 주파수 대역까지만 통과시키는 저역통과필터(LPF)가 필요하게 되고 LPF를 통과한 신호에서 원래의 톤 신호를 복원해 주기 위한 톤 필터(BPF)를 거쳐 Tone Decoder Chip(LM567 or something else)에서 출력신호의 유무를 TTL 신호로 판단하여 출력하게 된다. 아날로그 대역통과필터(BPF)는 크게 수동소자를 이용한 방법과 능동소자(OP-Amp.)를 이용한 방법으로 나누어 설계할 수 있으나 수동소자만을 이용하여 필터를 설계할 경우 밴드폭 조절이 어렵고 사용되는 소자의 수가 많아지며 적용되는 소자의 정수값 설정이 쉽지 않기 때문에 상대적으로 설계가 용이한 OP-Amp. 등의 능동소자를 이용한 필터기법만을 본 연구에서 소개하고 Simulation을 통해 검증한 후 이를 이용하여 설계에 이용하도록 한다.

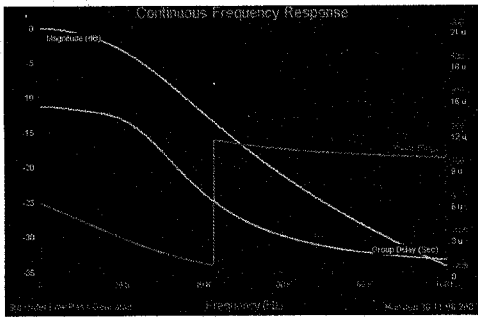
### 2.1 20kHz 저역통과필터

#### (20kHz Mixed tone acception LPF)

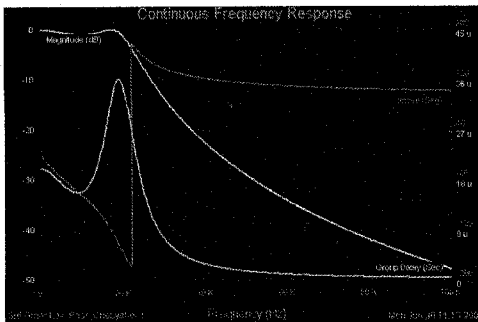
Demodulator를 통해 출력된 신호에는 송신 측에서 보낸 톤 신호들이 조합된 형태의 신호가 출력되게 되고 Demodulator 역시 비선형적인 특성을 가지게 되는 Mixer이므로 불필요하게 형성되는 합성신호(sum신호)와 harmonic 등의 불필요한 Spurious 성분들을 제거하고 원래의 톤 신호를 검출하기 위해서는 예상되는 주파수 성분까지만 통과시키는 LPF를 필요로 하게 된다. 설계하고자 하는 FTS 수신기에서는 IRIG 주파수를 톤 신호로 사용하고자 하고 IRIG 주파수 중 실제 사용되리라 예상되는 주파수를 고려하여 cut-off freq.가 20kHz인 LPF를 설계하였다. 또한, passive 필터로 구현하였을 때 생기게 되는 감쇠와 Trimming에 많은 시간이 소요된다는 등의 문제점을 쉽게 하기 위해 op-amp.를 이용한 Active

필터로 구현한다. 필터의 구현방법은 여러 형태가 존재하고 Simulation을 통해 Gaussian, Chebychev, Bessel, Butterworth 형태의 특성을 각각 검증하였고 그 특성은 아래와 같다.

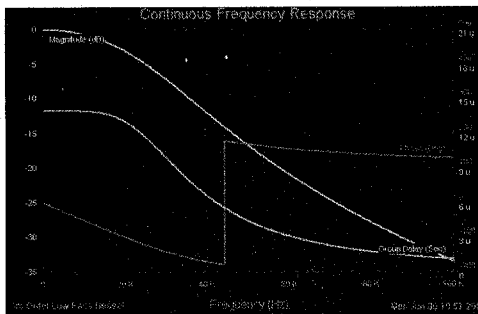
(a) Gaussian



(b) Chebychev



(c) Bessel



(d) Butterworth

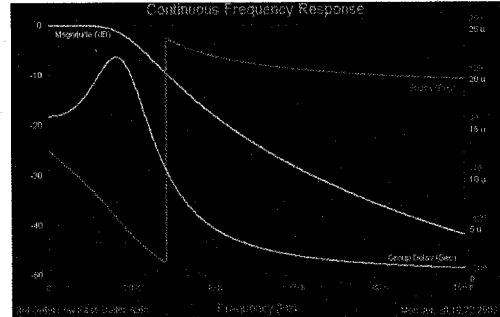


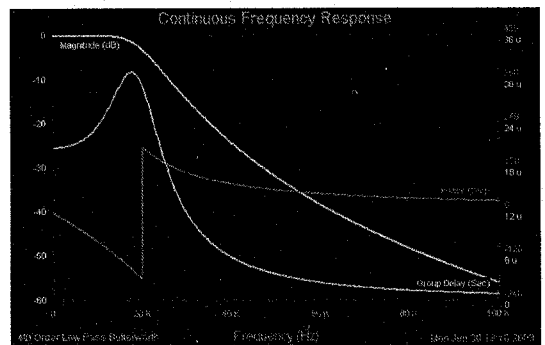
그림 2. LPF 형태에 따른 주파수 특성

Simulation 결과, Butterworth형태의 LPF가 Inband내에서의 Ripple특성과 Outband내에서의 Attenuation 특성이 비교적 우수한 것으로 판단되어 Butterworth 형태로 20kHz Mixed tone acceptance LPF를 구현하였다.

### 2.1.1 3'rd, 4'th Order Butterworth LPF

Multi-Feedback 형태를 기본으로 구성된 3차와 4차 Butterworth LPF의 Simulation 결과를 보면, 3차에 비해 Pole점을 하나더 삽입한 형태인 4차의 경우 Outband에서의 감쇠특성이 좀더 우수한 것으로 Simulation되었지만 4차로 구현하기 위해서는 2단의 op-amp단이 부가되어 전체적인 구성이 복잡해지게 됨으로 설계에는 3차의 Butterworth 형태를 이용하여 구현하였다.

(a) 3'rd order Butterworth



(b) 4'th order Butterworth

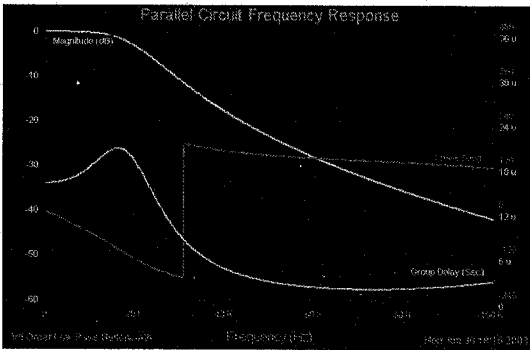


그림 3. 3'rd, 4'th Butterworth LPF의 주파수 특성

환하게 된다. 필터는 여러 형태로 구현 가능하지만 LPF, HPF, BPF 혹은 BRF에 따라 적용이 유리한 형태를 판단하고 구현하고자 하는 조건에 만족하는 형태를 선택하여 설계하게 된다. 설계하고자하는 FTS 수신기에서는 IRIG 주파수를 톤 신호로 사용하고자 하고 IRIG 주파수 중 실제 사용되리라 예상되는 주파수를 Tone의 존재시 'High' 신호, 비존재시 'Low'의 신호를 출력하여야 하며 각 톤 필터의 대역폭(BandWidth)은 대략 2dB에  $\pm 1\%$ , 14dB에  $\pm 4\%$ , 20dB에  $\pm 4\%$ 의 특성을 가지도록 설계되어야 한다. (IRIG STD 313-01 참조) 일반적으로 사용하는 BPF의 형태를 보이면 다음과 같이 Sallen-key(SK) BPF와 Multiple- Feedback(MFB) BPF 등을 대표적으로 구분할 수 있다.

3rd Order Low Pass Butterworth

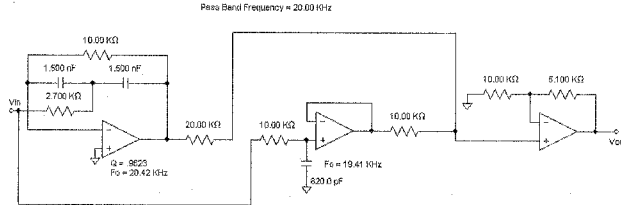


그림 4. 3차 Butterworth LPF

4th Order Low Pass Butterworth

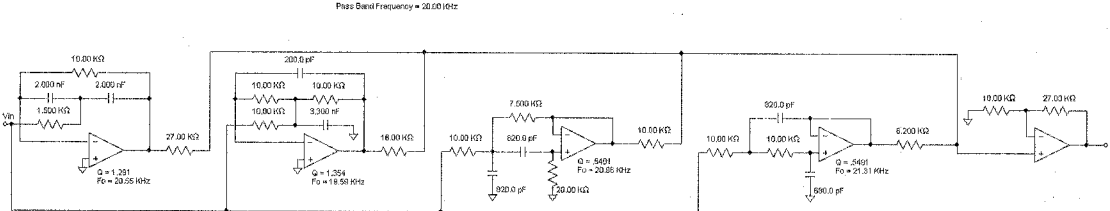


그림 5. 4차 Butterworth LPF

## 2.2 톤 필터(Tone Filter : BPF)

톤 필터부는 수신단에 의해 Baseband 신호로 Demodulation된 신호를 원래의 톤 신호로 복원하는 역할을 수행하게 되며, FM 복조된 톤의 조합신호를 각 톤의 대역통과필터(BPF)를 이용하여 해당 신호를 검출한 후 Digital Logic Level의 신호로 변

또한, 필요로 하는 대역의 넓고 좁음에 따라 Quality Factor(Q-factor)가 결정되고 Q값에 따라 Cascade하여 사용하기도 한다. Sallen-key BPF는 Active Filter의 이득이 1인 경우로 고정되어 있으며 Multi-Feedback BPF는 이득조절이 가능하므로 이득조절이 필요한 경우 MFB BPF가 유리하다. 또한, 일반적인 OP-Amp.를 동작시키는 전원으로

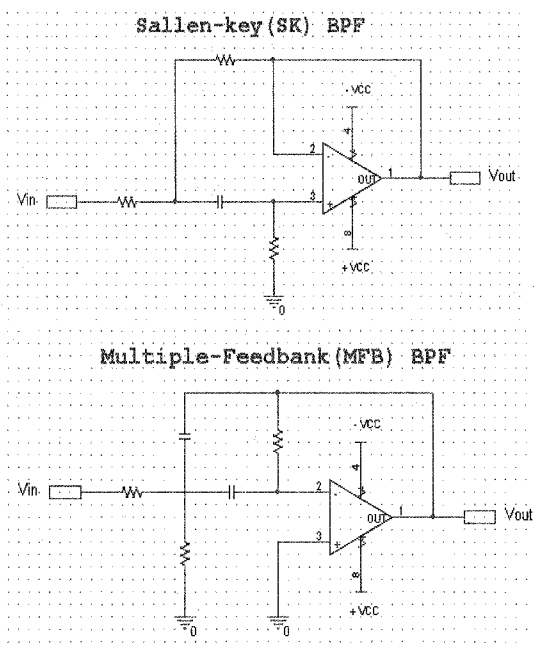


그림 6. 대표적인 BPF 구현방법

양/음의 전원(+Vcc, -Vcc)이 필요하지만 제작상의 편의와 전원단을 공통전원으로 묶기 위해 단일 전원(Single Supply : +Vcc)으로 사용할 경우 MFB BPF로 구현하게 되면 음의 전원(-Vcc)단을 GND로 연결하여 바로 적용이 가능하므로 제작상 유리하게 된다.

### 2.2.1 Multi-Feedback(MFB) BPF

Active Filter 설계시 가장 일반적으로 사용되는 형태인 Multi-Feedback(MFB) BPF형태를 이용하여 설계한 결과는 다음과 같다. 1단의 OP-Amp.를 이용한 일반적인 MFB BPF는 Q값이 20 미만(Q<20)인 경우에 적용 가능하며 Simulation 결과 Cascade로 순차적인 연결을 통해 보다 높은 Q값을 가지는 Filter를 구현할 수 있음을 확인할 수 있었다.

표 1. IRIG STD 313-01에 의한 각 Tone의 BandWidth

Tone Number	Tone Frequency (kHz)	2dB BW (Fo-1%) (kHz)	2dB BW (Fo+1%) (kHz)	20dB BW (Fo-4%) (kHz)	20dB BW (Fo+4%) (kHz)	2dB BW (kHz)	20dB BW (kHz)	Qeff=Fo/2 dB BW	Qeff=Fo/20 dB BW
1	7.5	7.425	7.575	7.200	7.800	0.150	0.600	50	12.5
2	8.46	8.375	8.545	8.122	8.798	0.169	0.677	50	12.5
3	9.54	9.445	9.635	9.158	9.922	0.191	0.763	50	12.5
4	10.76	10.652	10.868	10.330	11.190	0.215	0.861	50	12.5
5	12.14	12.019	12.261	11.654	12.626	0.243	0.971	50	12.5
6	13.7	13.563	13.837	13.152	14.248	0.274	1.096	50	12.5
7	15.45	15.296	15.605	14.832	16.068	0.309	1.236	50	12.5
8	17.43	17.256	17.604	16.733	18.127	0.349	1.394	50	12.5
9	19.66	19.463	19.857	18.874	20.446	0.393	1.573	50	12.5
10	22.17	21.948	22.392	21.283	23.057	0.443	1.774	50	12.5
11	25.01	24.760	25.260	24.010	26.010	0.500	2.001	50	12.5
12	28.21	27.928	28.492	27.082	29.338	0.564	2.257	50	12.5
13	31.83	31.512	32.148	30.557	33.103	0.637	2.546	50	12.5
14	35.9	35.541	36.259	34.464	37.336	0.718	2.872	50	12.5
15	40.49	40.085	40.895	38.870	42.110	0.810	3.239	50	12.5
16	45.68	45.223	46.137	43.853	47.507	0.914	3.654	50	12.5
17	51.52	51.005	52.035	49.459	53.581	1.030	4.122	50	12.5
18	58.12	57.539	58.701	55.795	60.445	1.162	4.650	50	12.5
19	65.56	64.904	66.216	62.938	68.182	1.311	5.245	50	12.5
20	73.95	73.211	74.690	70.992	76.908	1.479	5.916	50	12.5

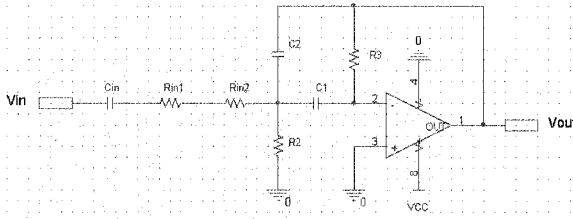


그림 7. Multi-Feedback(MFB) BPF

MFB BPF는  $C_{in}$ ,  $R_{in1}$ ,  $R_{in2}$  정수값의 변경으로 필터의 이득( $Gain = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ )을 간단히 조절할 수 있으며 설계에는 이득이 1이 되도록 정수값을 결정하였고, 필터의 공진주파수는  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ 에 의해 주로 결정되며 기본적인 수식은 다음과 같다.

$$R_3 = \frac{Q}{\pi \cdot f_r \cdot C}$$

$$R_{Total} = (R_{in1} + R_{in2}) \mid R_2 = \frac{R_3}{4Q^2}$$

where,  $Q = \text{Quality Factor}$   
 $f_r = \text{Resonant Frequency}$  (1)  
 $C = C_1 = C_2$

설계된 MFB BPF의 중심주파수(Center Frequency)는 비교적 작은 값으로 결정된  $R_2$  저항값에 의해 민감하게 변화하게 됨으로 실제 제작에 적용되기 위해서는 충분한 고려가 필요하리라 예상되며 1단의 MFB BPF에서 얻을 수 없는 대역폭을 만족시키기 위해서 1단에서 4단까지 순차적으로 연결하여 Simulation하였으며 결과는 다음과 같다.

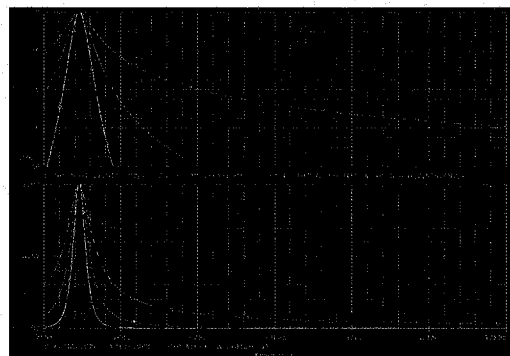
표 2. 설계된 Multi-Feedback(MFB) BPF 연결 단수에 따른 대역폭(Bandwidth)

Tone 중심주파수	설계된 중심주파수	IRIG 규정치/연결 단수	2dB BW.(kHz)	14dB BW.(kHz)
------------	-----------	----------------	--------------	---------------

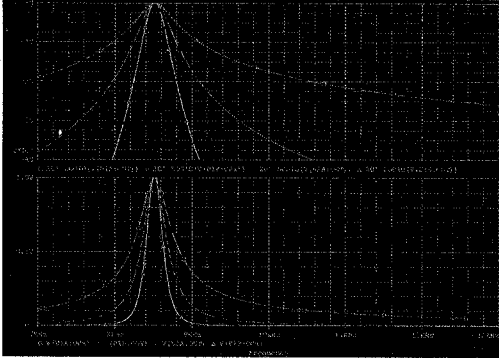
7.5kHz	7.46kHz	IRIG 규정치	0.150	0.600
		1단	0.20	1.46
		2단	0.14	0.58
		3단	0.12	0.40
		4단	0.10	0.31
8.46kHz	8.51kHz	IRIG 규정치	0.169	0.677
		1단	0.30	1.94
		2단	0.20	0.76
		3단	0.16	0.52
		4단	0.16	0.44
9.54kHz	9.45kHz	IRIG 규정치	0.191	0.763
		1단	0.30	1.94
		2단	0.20	0.80
		3단	0.18	0.54
		4단	0.14	0.44
10.76kHz	10.57kHz	IRIG 규정치	0.215	0.861
		1단	0.34	2.80
		2단	0.22	0.94
		3단	0.18	0.64
		4단	0.16	0.52
12.14kHz	12.25kHz	IRIG 규정치	0.243	0.971
		1단	0.44	2.66
		2단	0.30	1.14
		3단	0.24	0.78
		4단	0.20	0.64

Simulation 결과, 2단 또는 3단의 MFB BPF를 Cascade하여 IRIG에서 규정한 대역폭을 만족시키는 Tone filter를 구현할 수 있음을 확인할 수 있고 설계시 변경된 중심주파수의 보정과 Ideal한 정수값으로 가정한 R,L,C 수동소자들의 Parasitic 성분을 고려하여 3단의 구성이 적합하리라 생각된다.

(a) 7.5kHz(Tone #1)



(b) 8.46kHz (Tone#2)



(e) 12.14kHz (Tone #5)

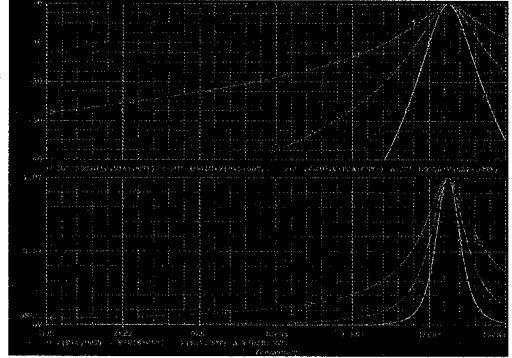
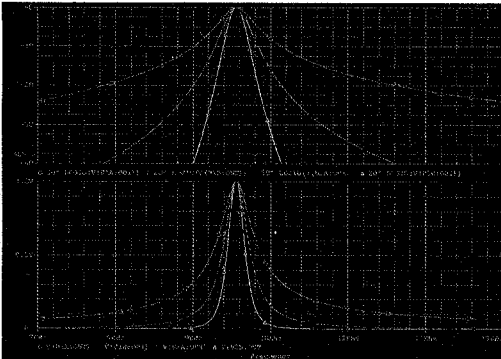
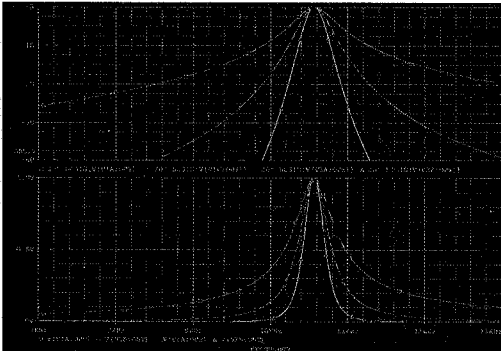


그림 8. MFB BPF Simulation 결과

(c) 9.54kHz (Tone#3)



(d) 10.76kHz (Tone#4)



## 2.2.2 Fliege BPF

Fliege BPF는 2개의 OP-Amp로 구성되며 높은 Q값( $Q < 150$ )을 가지는 필터 구현시 적용가능한 BPF 형태이다. 필터의 이득은 2로 고정되어 있으나 필터의 단수를 늘려 이득을 높이거나 그림에서처럼  $R_{m1}$ 에 GND와 연결된 저항  $R_{m2}$ 를 연결하여 Voltage Divider로 동작하게 하면 필터의 이득을 줄일 수 있는 등 이득 조절을 비교적 쉽게 구현할 수 있고, 공진주파수와 Q값의 독립적인 조정이 가능하다는 장점이 있다. 즉, 공진주파수( $f_r$ ) 변경시  $R_2$  값을 조정함으로써 Q값의 변동 없이 원하는 주파수로 선택할 수 있고, Q값은  $R_{m1}$ ,  $R_{m2}$  값에 의해 독립적으로 결정되므로 설계시 정수값 설정이 비교적 쉽게 되게 된다. Fliege BPF의 기본 수식과 회로도 는 다음과 같다.

$$R = \frac{Q}{2\pi \cdot f_r \cdot C}$$

$$R_1 = Q \cdot R$$

$$R_2 \approx R_3 \approx R$$

where,  $Q$  = Quality Factor

$f_r$  = Resonant Frequency (2)

$$C = C_1 = C_2$$

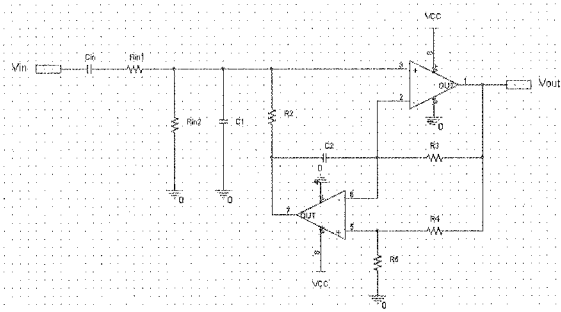


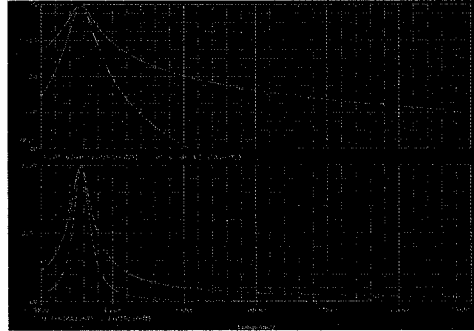
그림 9. Fliege BPF

설계된 정수값 결정시  $R_{in1}$ ,  $R_{in2}$ 는 필터이득이 1이 되도록 설정하였고  $C_1 = C_2$ 를 먼저 결정하고  $R_2$ ,  $R_3$  값을 조절하여 원하는 중심주파수로 맞춘다.  $R_4 = R_5$ 는 임의의 값으로 선택해 주면 되고 여기서는  $10k\Omega$ 으로 정하여 Simulation하였다.

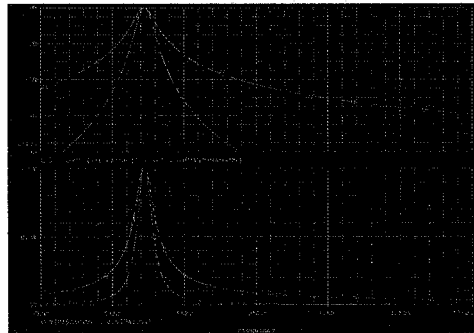
표 3. 설계된 Fliege BPF 연결 단수에 따른 대역폭(Bandwidth)

Tone 중심주파수	설계된 중심주파수	IRIG 규정치/ 연결 단수	2dB BW.(kHz)	14dB BW.(kHz)
7.5kHz	7.55kHz	IRIG 규정치	0.150	0.600
		1단	0.21	1.39
		2단	0.17	0.59
8.46kHz	8.45kHz	IRIG 규정치	0.169	0.677
		1단	0.18	1.26
		2단	0.12	0.52
9.54kHz	9.57kHz	IRIG 규정치	0.191	0.763
		1단	0.21	1.50
		2단	0.16	0.61
10.76kHz	10.71kHz	IRIG 규정치	0.215	0.861
		1단	0.23	1.48
		2단	0.16	0.61
12.14kHz	12.15kHz	IRIG 규정치	0.243	0.971
		1단	0.22	1.48
		2단	0.14	0.60

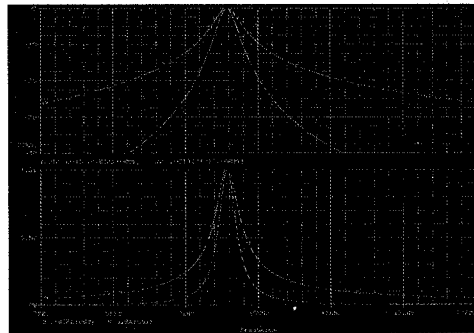
(a) 7.5kHz (Tone#1)



(b) 8.46kHz (Tone #2)

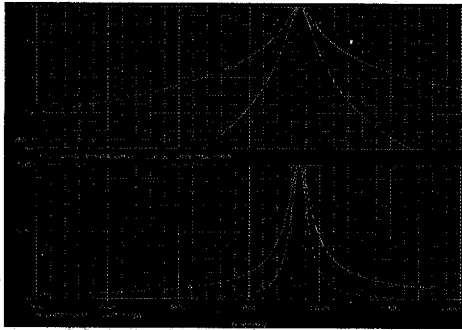


(c) 9.54kHz (Tone #3)





(d) 10.76kHz (Tone #4)



(e) 12.14kHz (Tone #5)

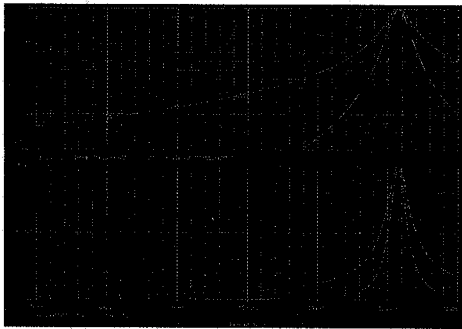


그림 10. Fliege BPF Simulation 결과

설계된 결과에서 보이는 바와 같이 Fliege BPF는 비교적 Q값이 높고, 필터의 정수값 설정이 용이하므로 중심주파수를 원하는 IRIG Tone 주파수에 근접한 주파수로 필터의 공진주파수를 맞추기는 쉽지만, 공진주파수 이외의 주파수 범위에서 감쇠 특성이 좋지 않아 1단으로 설계하였을 경우 IRIG에서 규정하고 있는 2dB BW.는 만족하지만 14dB BW.는 만족하지 못하게 된다. 14dB BW.를 만족시키기 위해 2단으로 설계하게 되면 2dB BW.가 규정치보다 협소해짐으로 외부적인 요인에 의해 중심주파수가 변동되었을 때 신호를 찾지 못할 수 있는 단점을 가지게 된다.

### 2.2.3 Akerberg-Mossberg(AM) BPF

Akerberg-Mossberg(AM) BPF는 Q값과 필터이득 설정이 쉽고 신호 입력단의 변경으로 LPF, HPF 등의 다른 목적의 필터로의 변형이 쉽다는 장점이 있으나 전체적인 구성이 복잡해지는 단점이 있다. 기본적인 수식과 회로도 는 다음과 같다.

$$R = \frac{Q}{2\pi \cdot f_r \cdot C}$$

$$R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$$

$$R_1, R_6 : \text{Control } Q$$

where,  $Q = \text{Quality Factor}$   
 $f_r = \text{Resonant Frequency}$   
 $C = C_1 = C_2$  (3)

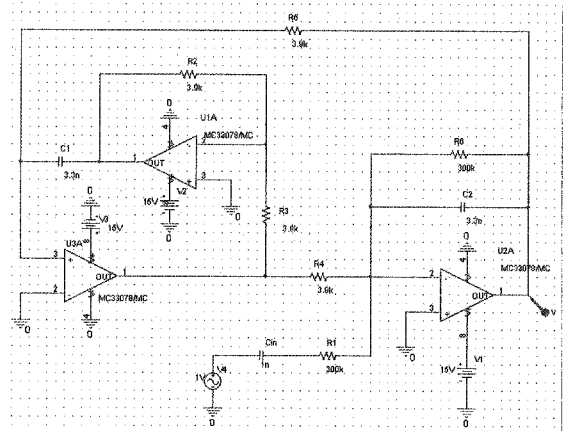


그림 11. Akerberg-Mossberg(AM) BPF

AM BPF는  $R_1, R_6$ 에 의해 필터이득과 Q값이 결정되며 이득은  $\frac{R_6}{R_1}$ 에 의해 원하는 값으로 설정 가능하다. 또한 Q값의 결정은  $R_1, R_6$  저항값을 높게 설정하면 Q값이 높은 BPF를 설계할 수 있고  $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$ 에 의해 회로를 구성하는 저항값들이 동일한 값을 가지게 됨으로 전체적인 정수값은 비교적 쉽게 설정할 수 있다는 장점이 있다.

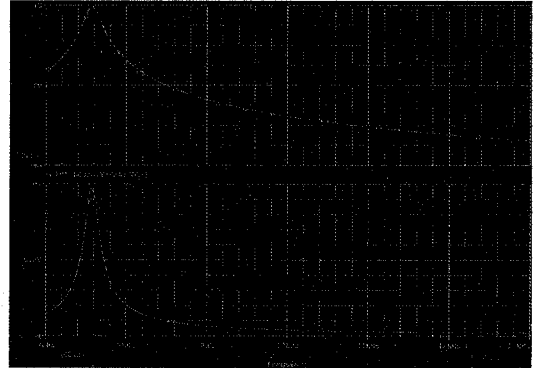
표 4. 설계된 Akerberg-Mossberg(AM) BPF  
대역폭(Bandwidth)

Tone 중심주파 수	설계된 중심주파 수	IRIG 규정치/ AM BPF BW.	2dB BW.(kHz)	14dB BW.(kHz)
7.5kHz	7.57kHz	IRIG 규정치	0.150	0.600
		AM BPF BW.	0.08	0.92
8.46kHz	8.60kHz	IRIG 규정치	0.169	0.677
		AM BPF BW.	0.08	0.81
9.54kHz	9.45kHz	IRIG 규정치	0.191	0.763
		AM BPF BW.	0.08	0.76
10.76kHz	10.63kHz	IRIG 규정치	0.215	0.861
		AM BPF BW.	0.12	1.24
12.14kHz	12.35kHz	IRIG 규정치	0.243	0.971
		AM BPF BW.	0.13	1.14

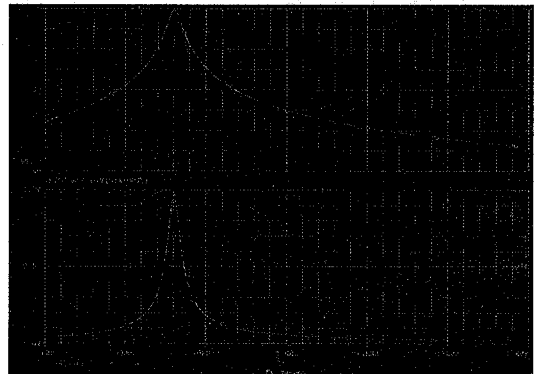
설계에 적용된 정수값을 보면 비교적 큰 값으로 결정되게 되며 이는 실제 제작시 변동될 수 있는 중심주파수 보정을 쉽게 할 수 있게 되는 장점이 있게 되지만  $C_1 = C_2 = C$ ,  $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$ 에 의해 동일한 값으로 결정되게 됨으로 상용의 Chip형태의 수동소자로 원하는 주파수로 공진을 형성시키기 어렵다는 단점이 있게 된다.

설계된 결과를 보면 Akerberg -Mossberg(AM) BPF는 비교적 Q값이 높고, 필터의 정수값 설정이 용이하지만 상용 수동소자의 정수값으로는 중심주파수를 원하는 IRIG Tone 주파수에 근접한 주파수로 필터의 공진주파수를 맞추기는 어렵고, 높은 Q값에 의해 IRIG에서 규정하고 있는 2dB BW.대역에서는 규정치보다 협소한 특성을 가지게 되며 14dB BW.대역에서는 공진주파수 이외의 주파수 범위에서 감쇠 특성이 좋지 않아 규정치보다 광대한 특성을 가짐으로 규정치를 만족하지 못하게 된다.

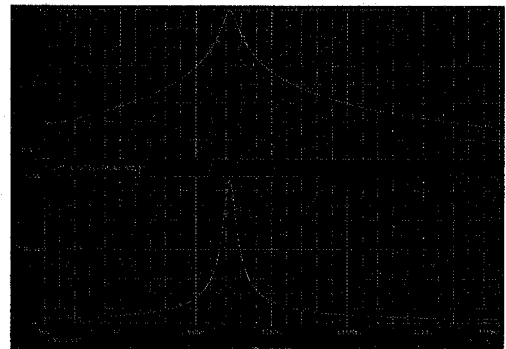
(a) 7.5kHz (Tone #1)



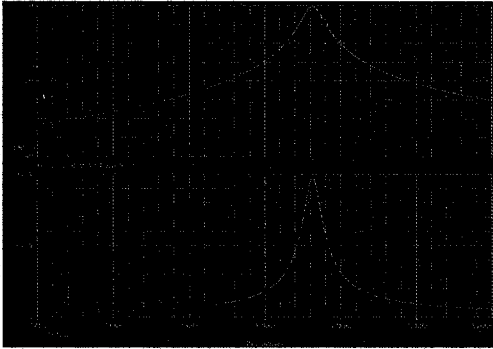
(b) 8.46kHz (Tone #2)



(c) 9.54kHz (Tone #3)



(d) 10.76kHz (Tone #4)



(e) 12.14kHz (Tone #5)

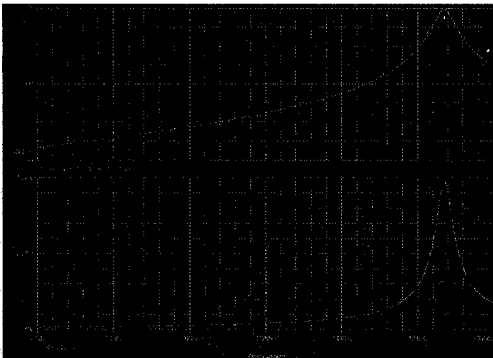


그림 12. AM BPF Simulation 결과

### 3. 결 론

본 논문에서는 FTS 수신기(FTS Receiver)의 Baseband부에 적용되어 신호에 포함되는 불필요한 잡음성분을 제거하기 위한 용도의 Low-Pass Filter와 Tone 신호를 검출해 내기 위한 Tone Filter로 적용 가능한 여러 종류의 Filter에 대해 고찰하였고, 이를 바탕으로 Simulation을 통해 적용 가능성을 검토하였다. 서로 다른 형태의 필터는 각각의 목적과 용도에 따라 특성의 차이가 있으므로 어느 하나의 필터 특성이 좋다는 절대적인 기준은 없고 적용하려는 목적과 성능의 필요성에 따라 필터의 형태가 결정되는 상대적인 기

준에 의해 결정되게 된다. 이에 따라 본 연구에서는 적용되는 부품 소자의 수를 줄여 무게의 경량화와 소형화를 얻으면서도 요구하는 성능을 만족시킬 수 있는 최적의 필터형태를 제시하였다.

필터의 설계에는 능동소자인 OP-Amp를 이용하였고 Simulation에 사용된 OP-Amp는 적용하려는 부품의 모델링을 통해 내부 특성값을 고려하였지만 OP-Amp를 동작시키고 필터특성을 내기 위한 주변의 R,L,C 수동소자들은 Parasitic을 고려하지 않은 Ideal한 정수값으로 가정하였으므로 설계된 정수값으로 제작되었을 때 약간의 Trimming이 필요하리라 생각된다. Demodulator를 통과한 후 신호에 부가된 잡음제거를 위한 20kHz LPF는 Inband내에서의 Ripple특성과 Outband내에서의 감쇠(Attenuation) 특성을 고려하여 여러 형태의 LPF의 특성을 비교해본 결과 Butterworth LPF의 특성이 비교적 우수한 것으로 판단되어 Butterworth 형태로 20kHz Mixed tone acceptance LPF를 구현하는 것이 적합하리라 예상되며 차수가 늘어날수록 Outband내에서의 감쇠(Attenuation) 특성은 좋아지지만 그만큼 적용되는 부품 소자의 수가 늘어나게 됨으로 적절한 비교가 필요하리라 본다.

본 연구를 통해 적용하려고 하는 FTS 수신기의 20kHz LPF는 Tone Filter 앞단에서 고주파 성분을 제거해주는 역할을 수행하게 됨으로 높은 감쇠 특성을 필요로 하지 않으므로 20kHz Mixed tone acceptance LPF의 구현에는 3단의 Butterworth 형태의 LPF가 적합하리라 예상된다. Tone 신호를 검출해 내기 위한 Tone Filter는 적용되는 부품 소자의 수를 비교하기 위해 하나의 OP-Amp를 이용하여 구현되는 Multi-Feedback (MFB) BPF 형태와 2개의 OP-Amp로 구현되는 Fliege BPF, 3개의 OP-Amp로 구현되는 Akerberg-Mossberg (AM) BPF 형태의 특성을 비교하고 각각의 필터를 Simulation하여 그 특성을 확인하였다.

Tone Filter에 대한 Simulation 결과, MFB BPF인 경우 1단으로는 IRIG에서 요구하는 규정치를 만족시킬 수 없고 2단 또는 3단의 MFB BPF를 Cascade하여 IRIG에서 규정한 대역폭을 만족시키는 Tone Filter를 구현할 수 있음을 확인할 수

있었고 Fliege BPF와 Akerberg-Mossberg (AM) BPF인 경우 중심주파수 부근에서의 특성은 만족하지만 중심주파수를 벗어난 주파수 범위에서 감쇠 특성이 좋지 않아 1단으로 설계하였을 경우 IRIG에서 규정하고 있는 2dB BW.는 만족하지만 14dB BW.는 만족하지 못하는 것으로 확인되었다. 또한, MFB BPF의 경우 공진주파수 결정에 주요한 역할을 하는 정수값이 비교적 작은 값을 가지게 됨으로 실제 제작시 생기게 되는 Parasitic 성분에 의해 선택된 IRIG Tone의 중심주파수가 민감하게 변동될 수 있으리라 예상된다. Fliege BPF의 경우 필터의 이득을 비교적 쉽게 조절할 수 있고, 공진주파수와 Q값의 독립적인 조정이 가능하여 필터의 정수값 설정이 용이하므로 중심주파수를 원하는 IRIG Tone 주파수에 근접한 주파수로 필터의 공진주파수를 맞추기는 쉽지만 공진주파수 이외의 주파수 대역에서 감쇠 특성이 좋지 않아 IRIG 규정치를 만족시키기 어렵다는 단점이 있다.

Akerberg-Mossberg(AM) BPF인 경우는 설계에 적용된 정수값이 비교적 큰 값으로 결정되게 되며 이는 실제 제작시 변동될 수 있는 중심주파수 보정을 쉽게 할 수 있게 되는 장점이 있게 되지만 Fliege BPF와 마찬가지로 공진주파수 이외의 주파수 대역에서의 감쇠특성이 좋지 않고 OP-Amp 3개를 사용하게 됨으로 사용되는 부품의 수가 많아지고 회로도 복잡해지는 단점이 있게 된다.

이상의 결과를 통해, 20kHz Mixed tone acceptance LPF의 구현에는 3차의 Butterworth 형태가 적합하리라 예상되며 Tone Filter의 구현에는 3단의 Multi-Feedback(MFB) BPF와 1단의 Fliege BPF가 가능하리라 본다. 이상과 같이 Simulation을 통해 비교한 여러 종류의 필터는 OP-Amp.등의 능동소자를 이용하여 필터를 구현하는 대표적인 몇가지 형태에 해당될 뿐이며 향후 본 연구에서 제시한 방법 외에 Digital Filter에 대한 필터 특성 조사와 Simulation을 통해 좀더 FTS 수신기에 적합한 필터 형태를 찾기 위한 연구가 계속되어야 하리라 본다.

## 참 고 문 헌

1. "Test Standard for Flight Termination Receiver/Decoder," IRIG Standard 313-01, Range Safety Group, Range Commanders Council, 2001.
2. "IRIG Standard for UHF Command Systems," IRIG Standard 208-85, Range Safety Group, Range Commanders Council, 1985.
3. "Streaming Space Launch Range Safety," National Academy Press, 2000.
4. Arthur B. Williams, Fred J. Taylor "Electronic Filter Design Handbook", Second Edition McGraw-Hill, Inc.
5. Application Report "More Filter Design on a Budget", December 2001, Texas Instruments, Inc.
6. Application Report "A Single-Supply Op-Amp Circuit Collection", December 2001, Texas Instruments, Inc.
7. 한국항공우주연구원, "소형위성발사체(KSLV-I) 개발사업(I)," 과기부 제출 연차보고서, 2003.