

TV 고스트 제거 기술

양경석
한국방송공사 기술연구소

1. 개요

TV 방송을 수신할 때 화질열화의 가장 큰 요인으로 알려져 있는 'TV 고스트(ghost)'는 TV 전파의 다중경로(multipath) 전달특성 때문에 생기는데, 이 고스트의 제거기술을 개발하는 것은 TV 수신화질을 크게 개선시킬 뿐만 아니라 EDTV/ATV 등의 고화질 지상방송을 위해서도 필수 선결과제로 간주되고 있다. 아날로그 방송에서 고스트를 저감시키는 방법으로는 일반적으로 안테나를 조정함으로써 어느정도 제거가 가능하나 더욱 향상된 방법으로는 수신 신호 처리과정에서 제거하는 기법이 이용된다. 디지털 방송에서는 신호 자체가 고스트에 강한 특성을 갖는 OFDM 전송 방식을 이용하거나 등화기(equalizer)를 설치하여 고스트를 제거하게 된다. 아날로그 수신기 내에서 고스트를 제거하기 위해서는 먼저 채널 특성화(channel characterization)를 하여야 하는데 이 방법은 잡음에 약하고 특히 칼라 회복 능력이 미흡한 문제점 등이 있어서 고스트 제거 기준(GCR)신호를 TV의 수직귀선기간(vertical blanking interval)내의 특정한 line에 삽입하고 수신기에서 이를 기준으로 고스트를 제거하는 방법이 여러가지로 연구되어 왔다. 최초로 GCR 신호의 실용화에 나선 나라는 BTA GCR을 이용한 일본이었다. 그후 미국은 필립스의 Koo GCR 신호를 채택하였고 한국은 KBS가 주관하고 3개 가전사가 참여한 공동연구에 의해 K-GCR 신호를 개발하여 국내 시험 방송을 실시하였다. K-GCR 신호는 BTA GCR, Koo GCR 신호와 함께 ITU-R의 해 Doc. BT1124로 채택되었다.

2. 서론

GCR(Ghost Cancelling Reference) 신호는 채널의

특성을 잘 파악할 수 있도록 임펄스 형태의 신호 또는 상관(Correlation)등의 처리를 거쳐 임펄스 형태로 만들 수 있는 신호를 주로 이용한다. 공동연구팀(joint research team)은 먼저 이러한 특성을 가진 3개의 후보 GCR 신호를 선정후, 컴퓨터 시뮬레이션과 Lab. 및 Field 테스트를 실시하였으며, 그 중 가장 우수한 평가를 받은 GCR 신호를 K-GCR 신호로 명명하였다. K-GCR 신호는 PN sequence의 일종으로 cyclic한 특성을 가진 ternary sequence이다. 366개의 $\pm 1, 0$ 으로 구성되어 있으며 실내 및 실외실험 결과, 고스트 제거 능력에서 우수한 성능을 나타내었다.

특히 실외 실험은 자체 발진능력을 갖춘 전파 측정차를 이용하였으며, 측정장소는 서울과 경기 일원으로 하여 40군데 이상의 데이터를 획득하였다. 실험 채널은 KBS ch 7 (VHF)과 UHF 36을 사용하였으며 평가 방법으로는 표 1의 CCIR 5단계 주관적 평가방법을 이용하였다.

〈표 1〉 CCIR impairment scale

Scale	CCIR impairment
5	Impairment
4	Perceptible
3	Perceptible but not annoying
2	Annoying
1	Very annoying

3. K-GCR 신호

3.1 GCR 신호의 조건

효과적으로 고스트를 제거하기 위해서 TV 신호의

sync 신호 등 여러가지 형태의 신호를 GCR 신호로 사용하고자 연구하여 왔으며, 이러한 신호가 우수한 제거 성능을 나타내기 위해서는 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다.

- 가. 색 고스트 제거 파형등화를 효과적으로 하기 위해 충분한 고역성분이 있어야 한다.
- 나. 파형의 S/N비가 높아야 한다.
- 다. 전후 고스트 검출이 명확해야 한다.
- 라. 그룹 지연에 선형성이 있어야 한다.
- 마. 다수의 고스트 검출이 가능하여야 한다.
- 바. 삽입라인 수가 작고 (1H 내에 삽입), 넓은 고스트 검출범위를 가져야 한다.
- 사. 타신호에의 간섭이 없어야 한다.
- 아. 직류 변동에 대응할 수 있어야 한다.
- 자. 칼라 서브캐리어 fsc와 GCR 신호의 동기가 일치하여야 한다.
- 차. 지터(jitter)의 영향이 적어야 한다.
- 카. 신호의 에너지가 커야 한다.

3.2 3치열 생성

고스트 제거 기준신호는 3치열(Ternary Sequence)을 기본으로 하여 TV 신호에 적합하게 변형되었다. 3치열은 -1, 0, 1만의 원소들로 구성되어 있고, 그 생성 원리는 다음과 같다.

GF(q)가 $q=p^m$ 차수인 Galois field 일 때, p는 prime number이고 w는 자연수 이면,

$g(x) = x^n + g_{n-1}x^{n-1} + \dots + g_0$, $g_i \in GF(q)$ 이고, $i = 0, 1, 2, \dots, n-1$ 인 GF(q)에서 n차인 normalized primitive polynomial 이라고 가정하자.

이 때 recursive sequence(C_i)는 GF(q)의 법칙에 따라

$$C_i = -g_{n-1}C_{i-1} - g_{n-2}C_{i-2} \dots - g_0C_{i-n}, \quad i = \dots, -1, 0, 1, \dots$$

이 되고, GF(q)의 M-sequence(q-ary M-sequence)라고 부른다.

G는 GF(q) 중 zero가 없는 하나의 집합이고, α 는 G 중의 임의 원소라고 가정하자. 그러면 $\alpha = \mu^u$ 가 되는 $u(0 \leq u < q-2)$ 가 이 집합 중에 있게 된다. 두 값으로 구성된 수 $\phi(\alpha) = (-1)^u$ 를 만족하는 $\alpha \in G$ 를 생각해 보자. 여기서 $u = 0 \pmod{2}$ 일 때 $\phi(\alpha) = 1$ 이고, $u = 1 \pmod{2}$ 이면 $\phi(\alpha) = -1$ 이 된다. 이러한 두 값으로 이루어진

어진 수의 특징은

$$\phi(\alpha\beta) = \phi(\alpha)\phi(\beta),$$

$$\sum_{\alpha \in G} \phi(\alpha) = 0$$

가 된다.

각 $a \in GF(q)$ 를 3개의 수 -1, 0, +1로 바꾸기 위해 mapping θ 를 아래 식으로 할 때

$$\theta = \begin{cases} 0, & a \in GF(q) \\ \phi(a), & a \in G \end{cases}$$

여기서 $p \neq 2$ 이면, q-ary M-sequence(C_i)의 원소 C_i 를 3치열 원소 b_i 로 아래 식을 이용하여 바꿀 수 있다.

$$b_i = (-1)^i \theta(C_i) \quad i = \dots, -1, 0, 1,$$

위의 3치열 생성원리를 이용하여 만들어진 GCR 신호는 GF(13) 중에서 Primitive polynomial이 다음식인

$$g(x) = x^3 + x^2 + x + 9$$

이 되고, Recursive sequence(C_i)는

$$C_i = 12C_{i-1} + 12C_{i-2} + 4C_{i-3}$$

가 되며, M-sequence를 생성하는 Fibonacci generator는 [그림 1]과 같다. Fibonacci generator로 생성된 M-sequence의 원소 $\theta(C_i)$ 는 <표 2>의 mapping 원칙에 따라 3치열로 바꿀 수 있다.

위와 같이 생성된 GF(13)의 3치열의 길이는 183이고, 이 중 +1, -1과 0의 갯수는 각각 91, 78과 14이다. 또한 3치열의 자기상관함수는 시간지연(Time lag)이 없을 때는 169가 되고, 시간지연이 생기면 zero가 된다.

상기 3치열을 TV 방송용 기준신호로 변형시키기 위해 4.2MHz의 저역필터를 통과시키는데, 그 전에 intersymbol interference를 감소시키기 위해 원소와 원소사이에 zero를 삽입하고 보간(interpolation)하여 <표 3>과 같이 3치열의 길이를 366으로 증가시킨다. 이 3치열 신호에 직류변동 등에 대응할 수 있도록 30IRE의 pedestal 신호를 합성하는데 이로 인해 K-GCR신호의 최고값은 +70IRE가 되며 최소값은 -10IRE가 된다. 다음 이 신호를한 NTSC (CCIR system-M) TV 신호

에 적합하도록 저역필터로 필터링한다. 이 때 사용할 수 있는 저역필터의 차단주파수(Cutoff frequency)는 4.177447MHz이며 그 특성을 [그림 2]에 나타내었다. K-GCR 신호는 신호의 에너지를 증대시키기 위해서 정극성 신호와 부극성 신호로 나누어서 4 field 연산 처리를 한다. 저역필터를 통과한 2가지 타입의 K-GCR 신호를 그림 3에 나타내었다.

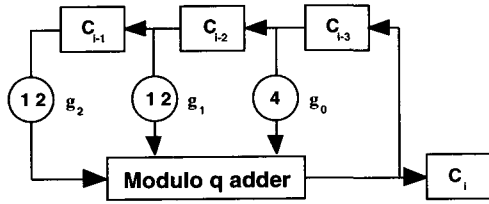
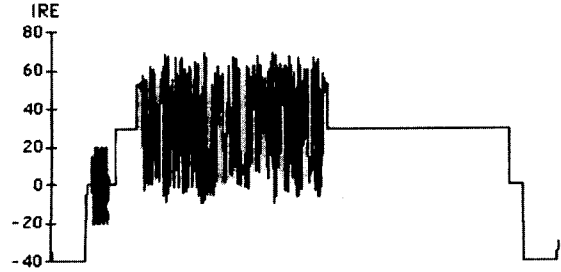


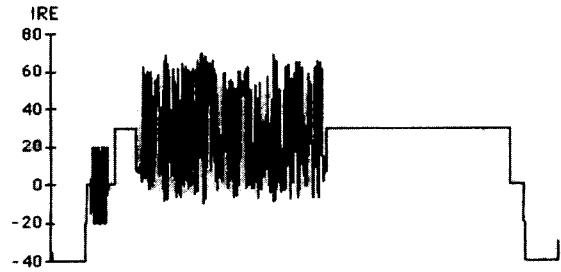
그림 1. Gf(13)의 M-sequence를 생성하는 Fibonacci generator

<표 2> Gf(13)의 M-sequence 원소를 3치열 원소로 바꾸는 map

C_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
b_i	+1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	+1



(a) Positive polarity K-GCR



(b) Negative polarity K-GCR

그림 3. K-GCR signal in VBI

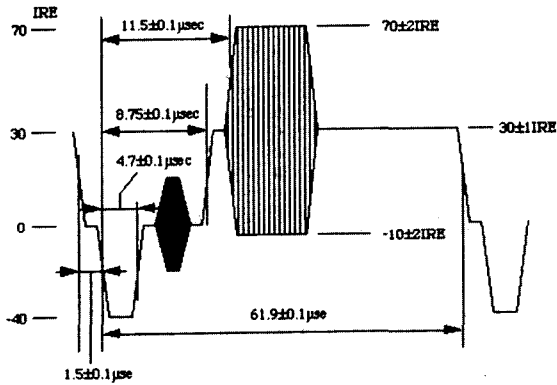


그림 2. Low Pass Filter 특성

<표 3> 고스트 제거 기준신호의 기본 3치열

1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	-1	0	-1	0	1	0		
0	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	-1	0
-1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0
1	0	-1	0	-1	0	0	0	1	0	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1	0
-1	0	-1	0	1	0	0	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0
-1	0	1	0	1	0	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0
-1	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0	-1	0	-1	0
-1	0	-1	0	-1	0	1	0	-1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0	1	0
0	0	1	0	1	0	1	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	0	1	0	1	0	1
-1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0
-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	1	0
-1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	-1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
0	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	0	0	-1	0	1	0	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1	0	-1	0
1	0	1	0	-1	0	-1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0
1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	1	0

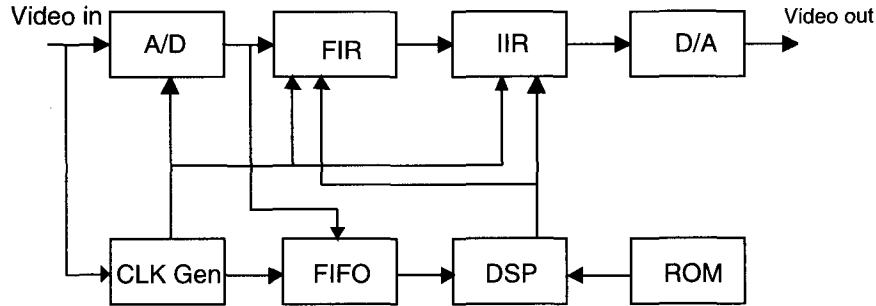


그림 4. 고스트 제거기 블록도

4. 고스트 제거 시스템

4.1 수신 시스템

[그림 4]에서 볼수 있듯이 고스트 제거 수신 시스템은 신호변환부와 클럭 발생부, 신호 콘트롤부, 및 디지털 필터부 등으로 구성되어 있다. 입력된 비디오 신호는 A/D 변환기와 클럭 발생기로 들어가는데 클럭 발생기는 입력 비디오 신호로부터 동기신호를 검출하여 그 신호를 기준으로 4fsc의 신호와 각 블록에서 필요한 콘트롤 신호를 만들어 낸다. FIFO는 수직귀선기간의 20번 라인에 들어 있는 GCR 신호를 검출하여 DSP로 보내 주는데 DSP는 ROM에 들어있는 GCR 신호와 FIFO로부터 들어온 GCR 신호를 비교하여 고스트의 크기와 위치를 알아낸후 디지털 필터의 계수를 조정하여 고스트를 제거하게 된다. FIR 필터는 근접고스트를 제거하며 IIR 필터는 비교적 원거리에 있는 고스트를 제거하게 된다.

4.2 고스트 제거 알고리즘

고스트 제거 알고리즘(algorithm)은 연산이 행해지는 영역에 따라서 시간영역 알고리즘과 주파수 영역 알고리즘으로 나눌 수 있고 다시 각각에 대하여 반복적인 알고리즘과 비반복적인 알고리즘으로 나눌 수 있다. 반복적인 알고리즘은 zero forcing, least mean square 등과 같이 일정한 기준이하로 수렴할 때까지 반복적인 방법으로 필터계수를 구하는 것이고 비반복적인 알고리즘은 matrix나 FFT(Fast Fourier Transform)등을 이용하여 단번에 필터 값을 구하는 것이다. K-GCR을 이용한 고스트 제거기는 계산량은 상대적으로 적으면 서도 성능이 좋은 LMS 알고리즘을 사용하고 있는데

Lab. test나 Field test 결과 매우 우수한 제거 성능을 나타내었다. LMS 알고리즘은 기준신호와 필터 출력간의 오차를 구하여 제공한 후, 미분에 의하여 오차 곡면의 최급경사(Steepest Descent) 방향으로 필터계수를 변화하는 방법이다.

고스트 제거 필터의 입력이 x_k 일때 출력을 y_k 로 놓으면 y_k 는 다음과 같은 식이 된다.

$$y_k = \sum_{m=1}^n a_m x_{k-m} + \sum_{n=1}^n b_n y_{k-n}$$

여기서 벡터 W_k 와 U_k 를 다음과 같이 정의한다.

$$W_k = [a_{0k} a_{1k} \dots a_{Mk} b_{1k} \dots b_{Nk}]^T$$

$$U_k = [X_k X_{k-1} \dots X_{k-M} Y_{k-1} \dots Y_{k-N}]^T$$

W_k 와 U_k 를 이용하면 y_k 는 다음 식이 된다.

$$y_k = W_k^T \cdot U_k$$

벡터 $\bar{\nabla}_k$ 는 자승오차를 계수(W_k)에 대해 미분한 값으로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{\nabla}_k &= \frac{\partial e_k^2}{\partial W_k} = 2e_k \frac{\partial e_k}{\partial W_k} \\ &= 2e_k \left[\frac{\partial e_k}{\partial a_{0k}} \dots \frac{\partial e_k}{\partial a_{Mk}} \frac{\partial e_k}{\partial b_{1k}} \dots \frac{\partial e_k}{\partial b_{Nk}} \right]^T \\ &= -2e_k \left[\frac{\partial y_k}{\partial a_{0k}} \dots \frac{\partial y_k}{\partial a_{Mk}} \frac{\partial y_k}{\partial b_{1k}} \dots \frac{\partial y_k}{\partial b_{Nk}} \right]^T \end{aligned}$$

필터 계수 W_k 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$W_{k+1} = W_k - M \nabla_k$$

$$M = \text{diag}[\mu_1, \dots, \mu_M \nu_1, \dots, \nu_N]$$

여기에서 μ , ν 는 계수의 스텝사이즈 파라미터이다. Steepest Descent에 의한 filter계수 계산방법에는 LMS외에 ZF(Zero Forcing), MSE(Mean Square Error), LAE(Least Absolute Error)등이 많이 응용되고 있다.

위에서 제시한 LMS 알고리즘의 flowchart를 그림 5에 나타내었으며 그 기능은 다음과 같다. 먼저 TV 신호의 vertical blanking interval line에 있는 GCR 신호를 선택하여 sync pulse와 color burst 신호를 상쇄시키고 전송 중에 부가된 잡음의 영향을 줄이기 위하여 수 frame의 평균치를 구한다. 다음 correlation에 의한 channel characterization을 하여 고스트의 위치등 channel 특성을 구하는데 peak값을 기준으로 GCR 유무를 판정한다. Filter의 계수를 구할 때는 계산량을 줄이기 위해 고스트가 있는 위치의 계수만을 update한다. 마지막으로 IIR filter를 사용할 때 발생하는 filter의 stability 문제와 고스트 제거를 위한 filter 계수가 만족하게 구해졌는지를 판정하기 위해 iteration에서 error 값을 비교한 후 계수 값을 전송한다.

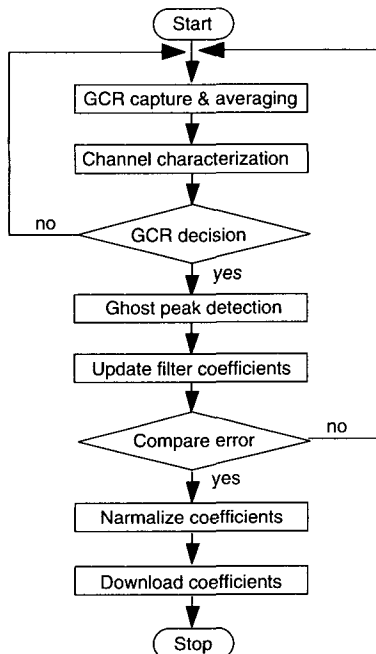


그림 5. Flowchart of the algorithm

4.3 K-GCR 신호의 특성

K-GCR 신호는 0, ± 1 로 구성된 코드 신호로 correlation에 의해 채널특성을 쉽게 구현할 수 있기 때문에 IC 회로 hardware의 제작이 간단하다. 4 field 연산 처리를 기본으로 하여 timing jitter에 비교적 강하며 신호 특성상 366개의 코드를 이용하기 때문에 하나의 $\sin(x)/x$ pulse를 이용한 GCR에 비해 S/N비가 이론상 169배 높아 noise가 심한 채널에서도 빠른 고스트의 제거가 가능하다. K-GCR 신호는 고스트 제거 능력에서도 우수한 성능을 나타낸다. 전/후 고스트의 제거범위, 제거할 수 있는 고스트의 신호 크기, 제거 가능한 고스트의 갯수, 고스트 제거 소요시간 등의 Lab. Test 측정에서 신호 자체의 성능이 매우 우수한 것으로 평가되었다. ghost 제거기의 제거 성능은 GCR 신호 자체의 고유 성능이 일단 우수해야 하지만, 또한 이론적인 제거가능 능력과는 별개로 실제 어느 정도의 제거 성능을 갖도록 하드웨어를 설계하느냐 하는 정책적인 판단에도 크게 좌우된다. 하드웨어에 사용하는 DSP 칩이나 필터 칩에 따라 제거 성능이 달라질 수 있고 이는 곧 고스트 제거기의 가격에 영향을 미치기 때문이다.

따라서 제품 가격에 따른 성능의 차별화가 가능하다. K-GCR 신호를 이용한 고스트 제거기(full tap filter 사용)의 성능은 Lab. Test에서 대략 아래와 같이 측정되었다.

- 고스트 제거 범위 : -2.0 ~ 40 usec
- 최대 제거 가능 고스트 레벨 : -4dB
- 제거후 잔류 고스트 레벨 : -40dB 이하
- 제거 가능 고스트 수 : 8개 이상
- 고스트 제거 소요 시간 : 5 ~ 8 sec
- 제거 후 화질 개선도 : 0.5 ~ 1.5 등급 향상
(평균 1.17 : CCIR 5단계 평가)

5. 결론

KBS는 95년 10월에 고스트 제거 신호 삽입장비를 자체 개발하여 본사 및 지역 총국에 설치 완료하였으며, 96년 3월부터 1TV 및 2TV에서 정규송출을 실시하고 있다. 또한 신호의 국제화 일환으로 LG전자와 공동으로 PAL용 GCR 신호에 대하여 중국의 북경과 서안에서 필드 실험을 실시하였으며 그 결과를 97년 4월에 ITU-R 회의에서 발표하였다. K-GCR 신호는 이미 국

제권고로 채택된 NTSC용 신호와 더불어 금년 4월에 발표한 PAL용 신호도 국제 권고로 채택되었다. 중국에서 필드 실험 결과에 대한 화질 개선도를 (그림 6, 7)에 나타내었다. 중국의 북경과 서안은 산악이 드문 도시이며, 주거 형태가 대부분 아파트로 구성되어 공청시설에 의해 TV를 수신한다. 따라서 그림에서 알 수 있듯이 큰 고스트는 없고 대부분의 고스트가 Cable의 임피던스 부정합에 의한 Cable 고스트(근접 고스트)인데 이경우에도 고스트 제거기가 매우 유용함을 알수 있다.

K-GCR 신호를 사용한 고스트 제거기(Deghoster)는 하드웨어 구성이 간단하여 가격이 저렴한 고스트 제거기의 보급이 가능할 것으로 보이며, TV 수신화질의 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다. K-GCR 신호는 기존에 송출중인 KBS와 EBS외에 MBC에서도 금년 봄부터 정규 송출을 하고 있으며 고스트 제거기가 내장된 TV는 현재 LG전자에서 32인치 이상되는 TV에 한하여 내장형으로 제작하여 공급하고 있다.

CCIR 5단계 평가

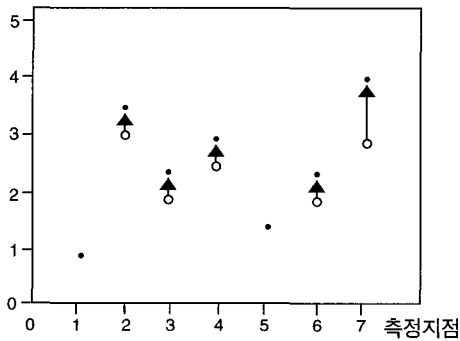


그림 6. 북경에서의 화질개선도

CCIR 5단계 평가

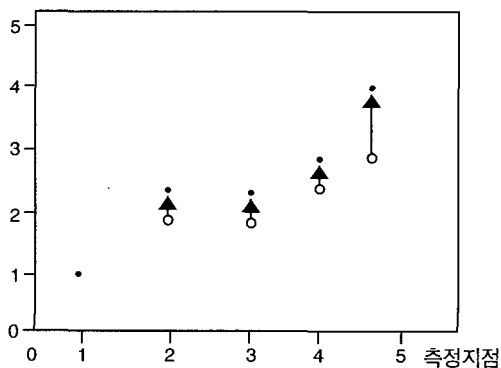


그림 7. 서안에서의 화질 개선도

참 고 문 헌

- [1] W.Ciciora, G.Sgrignoli, and W.Thomas, "A Tutorial on ghost cancelling in television system," IEEE Trans. CE-25, 1, pp. 9-44, Jan. 1979.
- [2] "Clear-vision 방송 화질향상을 위한 고스트 제거시스템의 개발과 성능 평가법," 일본 공업기술 센터, 1989.
- [3] Masaru Sakurai, "Ghost Reduction," TV학회지 vol. 44, no. 6, pp. 685~692(1990)
- [4] V. P. Ipatov, "Ternary sequence with ideal periodic autocorrelation properties," Radio Engng. Electron. Phys. 24, N.10, 1979.
- [5] "Huffman Sequence를 사용한 고스트 제거 기준신호 제안서," 대우전자. 1992.
- [6] "국내제안 고스트 제거 기준신호의 성능검토," 삼성전자. 1993.
- [7] "HDTV 연구보고서," KBS 기술연구소. 1992.
- [8] "Reference signal for ghost cancelling in television," Document 11C/TEMP/44-E, ITU-RS, Oct 1993.
- [9] A. G. Uyttendale, "Ghost cancelling: Progress report of ATSC activities," ATSC/T3S5 Document #1137, Aug. 1991.
- [10] M. pazarci, "An adaptive ghost processor for broadcast television," IEEE trans. Consum. Elect. vol. CE-35, pp. 184~194, Aug. 1989.
- [11] D. Koo, "Ghost cancellation for television in the United States: Properties and applications of the new ghost cancelling reference signal:", Proc. ITU/BR Workshop Enhanced Television, 1993, pp. 105~109.

필자 소개



양 경 석

- 1983년 고려대학교 전자공학과 졸업
- 1987년 ~ 현재 한국방송공사(KBS) 기술연구소(TRI) 연구원
- 주관심분야 : 디지털 지상 방송