



## RITEC RAM-5000

다양하게 적용할 수 있는 컴퓨터 콘트롤 초음파 시스템

- 사용자의 실험/연구 필요에 따라 모듈별로 구성 가능
- 7 MHz, 5 kW까지의 RF 출력
- 50 kHz에서 40 MHz까지 카바할 수 있는 세 개 주파수 범위의 스탠다드 (3가지 모델)
- 사용자가 원하는 주파수 범위로 구성 가능
- 신호의 크기와 위상을 정밀하게 판정하는 신호 처리
- 위상-감지 슈퍼헤테로다인 리시버로 일반적으로는 불가능한 잡음에서 신호들을 추출

## RAM-5000 소개

Ritec사의 하이파워 초음파 분석 시스템에 관심을 가지신 여러분에게 감사를 드립니다. 이 사이트는 Ritec사의 장비 구매를 고려하는 분들에게 적절한 장비를 선택할 수 있도록 도움을 드리기 위한 것입니다.

Ritec사의 회장인 Bruce Chick은 1958년 Matec사를 설립하여 하이파워 초음파 분석 장비를 제조하여 왔습니다. 1985년에 그 회사를 매각하고 현재 사장인 Gary Petersen과 함께 Ritec을 창립하였습니다. 이 때부터 본격적으로 RAM-10000 시스템을 생산 판매하여 여러 대학교와 연구소로부터 호평을 받아 왔습니다. 이 두 사람은 모두 미국 Rhode Island주에 소재하고 있는 Brown 대학교 출신이며 많은 논문을 발표한 바 있습니다. Bruce Chick과 Petersen 박사는 수많은 초음파 관련 논문을 발표하였으며 Bruce Chick의 대표적인 저서로는 1969년에 출간된 “Ultrasonic Methods in Solid State Physics”가 있는데 국내에서는 골드기술사나 엠케이씨로 연락하여 구입할 수 있습니다. Ritec사는 아날로그 초음파에 관한 한 세계적인 명성을 가지고 있으며 47년간 축적된 노하우는 Ritec 장비가 최상의 성능을 발휘할 수 있도록 하고 있습니다.

Ritec사는 현재 Rhode Island주의 Providence에 소재하고 있으며 현재에도 새로운 장비를 개발 중에 있습니다. RAM-10000 시스템은 정밀한 속도 측정이나 감쇄 측정과 같은 적용에서부터 EMAT, 초음파 공명, 유도파, 비선형 연구 등에서 유용함이 증명된 장비입니다. RAM-10000 장비는 현재 RAM-5000이라는 모델명으로 생산되며 기본적으로는 RAM-10000과 장비 케이스와 전원부를 제외하고는 크게 다른 점이 없습니다.



엠케이씨코리아에서는 1992년부터 Ritec사의 대리점으로 일했으며 수많은 장비를 여러 대학교와 연구소에 공급하였습니다. 현재는 중국 시장을 카바하고 있는데 근래에 중경에 소재한 대학교와 북경에 있는 대학교에 2대의 장비를 공급하였습니다.

엠케이씨에서는 RAM 시스템을 구매하는 고객에게 최상의 교육과 서비스를 제공하기 위해 노력하고 있습니다. 필요한 경우 메이커에서 교육을 받을 수 있도록 마련해 드립니다. 또한 데모 장비를 구비하고 있어 언제든지 장비의 성능을 테스트하고 싶은 경우 유용하게 사용할 수 있을 뿐 아니라 긴급하게 장비가 필요한 경우 30일 이내에서 임대하여 이용하실 수 있습니다.

현재 Ritec사의 연구 장비는 국내의 주요 초음파 관련 대학교 및 연구소에서 사용되고 있습니다. 주요 사용처는 다음과 같습니다.

명지대학교 물리학과, 아주대학교 기계공학과, 포항제철 기술연구소 (3), 육군사관학교 물리과, 동아대학교 전기공학과, 한양대학교 기계설계공학과, 한국원자력연구소 비파괴연구실, 서울산업대학교 기계공학과, 한국기계연구원 비파괴 평가실, 인제대학교 기계공학과, 조선대학교 기계설계공학과, 한국전력기술연구원, 한국중공업 기술연구소, 영남대학교 물리학과, 경기대학교 기계공학과, 농업기계화연구소, 충남대학교 농업기계과 (2), 군장대학 전기과, 성균관대학교 기계공학과, 강원대학교 농업기계과, 미지테크 기술연구소, 한국기술교육대학교 기계공학과, 한국표준과학연구원 비파괴연구실 (2), 연세대학교 기계공학과, 한국원자력연구소 재료연구실, 에코마이스터 기술연구소, 서울대학교 기계공학과, 중국 중경대학교 물리학과, 중국 북경 기술대학교, 한양대학교 토목공학과 등

엠케이씨에서는 장비 구매를 검토하는 분들에게 이미 발표된 논문 모음의 사본을 제공합니다. 필요하신 분은 연락하여 주시기 바랍니다.

다음은 Ritec 장비의 특징을 간략히 소개한 것입니다. 이 내용을 영문으로 읽고자 하시는 분은 웹사이트 내의 영문 사이트를 클릭하여 주십시오. 영문은 최근에 업그레이드된 내용들을 포함하고 있으므로 더 많은 정보를 얻을 수 있습니다. 본 한글번역판은 이전 모델인 RAM-10000 장비 소개 내용 중 일부만 업데이트하여 놓은 것입니다.

RITEC사의 RAM-10000 시스템은 연구 및 재료의 평가 적용을 위해 설계된 완벽한 초음파 측정 장비입니다. 다른 장비에서는 볼 수 없는 다음과 같은 특수한 기능을 가지고 있습니다.

- Pulsed RF 신호의 크기 및 위상 측정에서 뛰어난 신호 처리 능력을 가지고 있습니다. 위상각의 재현성은  $0.03^\circ$  이며 신호 크기의 재현성은 0.01 dB 이하입니다. 예를 들면 어떤 샘플에 있어서 10 MHz에서 5 microsecond의 전달 시간이 측정되었다면 4 picosecond의 분해능이 가능합니다. 다른 모든 조건이 동일하다면 그 분해능은 사용 주파수와 비례의 관계가 있습니다. 하지만 초음파 신호의 크기와 위상 측정의 정확도는 장비의 성능보다는 여러 가지 실험 요소에 의해 좌우됩니다.
- 콤포지트나 투과가 어려운 재질에 대하여 짧은 RF 버스트(최소 한 주기까지)를 사용하여 재현성 있는 측정을 할 수 있는 기능을 갖추고 있습니다. 신호를 자동으로 정확하게 측정하고 이 측정치를 근거로 음파의 전달 시간과 감쇄에 관한 정보를 처리하기 위한 소프트웨어가 접목된 기능이 RAM-10000 시스템을 매우 강력한 초음파 연구 장비가 되게 하였습니다.

이 장비의 유용함은 송신 신호와 수신된 정보를 처리하기 위한 양질의 쾌속 스위칭이 가능한 합성 CW 주파수(synthesized continuous wave frequency source)의 사용에 기인된 것입니다. 이 개념은 위상과 신호 크기를 동시에 측정하면서도 또한 그 신호의 레벨과 관계없이 시스템이 직선성을 가지게 할 수 있다는 것입니다.

이 장비의 전자적 구성은 일반적으로 아래와 같은 4가지 요소로 이루어져 있습니다.

1. 다양한 종류의 초음파 탐촉자를 구동하기 위하여 CW 신호원으로부터 나오는 RF 버스트를 만들기 위한 광대역의 고출력 게이트 증폭기 (gated amplifier)
2. 송신 탐촉자 또는 분리된 수신자로부터의 초음파 신호를 증폭하기 위한

슈퍼헤테로다인 수신 장치

3. 빠르고 높은 분해능의 주파수 조정을 위한 정밀하고 직접 방식의 디지털 신씨사이저
4. 정확한 위상과 신호 크기 측정을 위한 신호 처리 회로

모든 조정과 측정 기능은 컴퓨터로 조정되며 초음파에서 사용되는 여러 표준화된 측정에 사용되기 위한 소프트웨어가 제공됩니다. 또한 사용자가 자신만의 필요한 사양으로 프로그램을 변경할 수 있도록 마이크로소프트사의 professional Basic language용 소스코드가 제공됩니다.

### (Modular Approach)

이 정교한 초음파 시스템의 전자 장비는 기능별 모듈로 나누어집니다. 각각의 모듈은 특정한 기능을 수행하며 개별적으로 이해하고 실험하고 조정되어야 합니다.

이러한 방법은 다음과 같은 여러 가지 장점들을 제공합니다.

1. 각각의 모듈은 독립적으로 개발시킬 수 있고 특별한 요구에 따라 개조할 수도 있습니다.
2. 모든 실험 분야에서 항상 같은 기능을 필요로 하지 않으므로 필요한 모듈만 구입하고 필요하지 않은 모듈은 구입하지 않아도 됩니다.
3. 특별한 요구에 맞추기 위하여 새로운 모듈만을 추가할 수 있으므로 경제적 부담이 적습니다.
4. 모듈은 사용 중인 장비의 측정 기술의 발전에 따라 새로운 모듈로 교체할 수 있습니다. 이러한 모듈의 접근 방식은 Ritec사의 기술력을 최고 수준으로 유지할 수 있게 하고 사용자에게 장비를 최상의 상태로 계속 사용 유지할 수 있게 하는 바탕이 되고 있습니다.

이러한 장점들은 결과적으로 모듈화된 장비는 모듈화 되지 않은 타사의 장비 혹은 여러 제조업체로부터 콤포넌트를 구입하는 것보다 장비의 발전 가능성을 증진시키고 융통성과 낮은 가격을 가능하게 합니다.

Ritec사는 컴퓨터, 오실로스코프, 탐촉자 등을 생산하지 않습니다. Ritec사의 장비는 모든 종류의 초음파 탐촉자와 연결하여 사용할 수 있으므로 이러한 탐촉자들을 모두 제조 공급하는 것은 불가능합니다. 하지만 이러한 품목들도

Ritec 장비의 일부로 구입할 수는 있습니다.

그림1은 스탠다드 RAM을 구성하는 블록 다이어그램으로 회로의 기능과 모듈의 분리도를 보여주고 있습니다. 이 여러 시스템의 기능에 대하여 아래에 간단히 설명되어 있습니다.

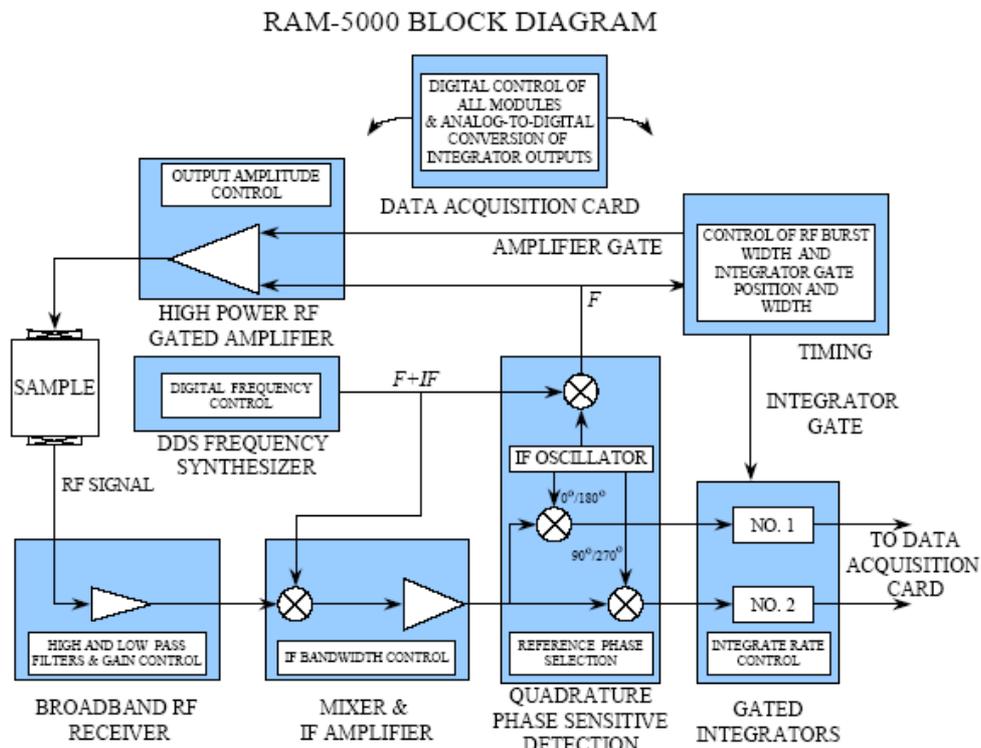


그림 1 RAM-5000 Mark-VI의 전체적인 블록 다이어그램

## RF (High Power Gated RF Amplifier)

Ritec사의 RF 게이트 증폭기(Gated RF Amplifier)는 CW 주파수를 최근의 초음파 연구에 필요한 하이파워 RF 버스트로 증폭하도록 디자인되었습니다.

이 RF 버스트는 PZT나 EMAT와 같은 다양한 초음파 센서들을 구동하기 위하여 사용될 수 있습니다. 감쇄가 매우 심한 재료들을 실험할 때, 여러 싸이클을 가진 긴 버스트로 매우 큰 증폭 신호를 만들 수 있습니다. 하지만 높은 시간 분해능이 필요할 때는 독특한 pre-gating 회로에 의하여 증폭기가 정밀한 한 주기의 RF (2 MHz까지)를 발생시키게 됩니다.

한 주기의 RF 버스트(Single Cycle RF burst)는 많은 경우에 스파이크 펄스의 분해능에 필적합니다. 아래 그림2는 전형적인 버스트를 보여주고 있습니다.

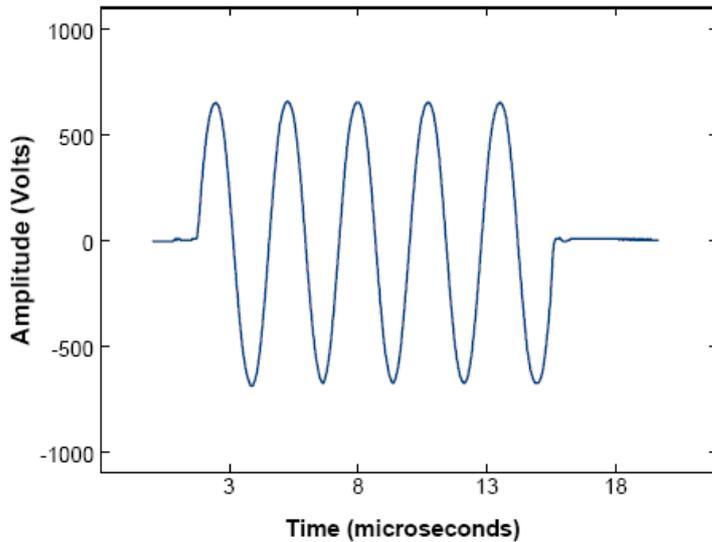


그림 2 다섯 주기의 350 kHz 버스트 출력

하이파워 RF는 CW로부터 미리 선택한 주기(cycle)의 개수와 증폭기의 결합된 gating으로 만들어집니다. 증폭기를 통한 CW 유출(CW leakage)에 대한 펄스 증폭의 비율은 140 dB보다 큼니다. 이 높은 on-off 비율은 중요한데 매우 작은 양의 유출이라도 증폭율이 높은 경우 수신 입력을 압도하게 되어 구적 위상 감지기(quadrature phase sensitive detector)의 출력에 왜곡을 만들 수 있기 때문입니다. 수신 시간 동안 게이트 증폭기의 잡음 레벨은 증폭기가 off 되기 때문에 매우 낮습니다. 이것은 외부에서 만들어진 낮은 레벨의 RF 버스트를 증폭하기 위해 연속적으로 작동되는 기기들과는 다른 게이트 증폭기의 큰 특징 중 하나입니다.

다른 장점 중 한 가지는 사이즈가 작은 경제형이며 회로에 열이 적게 나고 전력 소모가 적다는 것입니다. 또한 최대 출력에서 시간상 퍼센트(duty cycle)가 한계점에 이르더라도 출력 증폭에 별다른 처짐(sag) 현상이 일어나지 않습니다. 하지만 만약에 한계점을 초과하게 되면 자동 전원 차단 회로가 작동하게 되고 전원이 꺼지게 되어 기기에 손상을 주지는 않습니다. (최대 출력은 “high voltage”를 끄고 초과된 duty cycle을 바로 잡은 후, “high voltage” 스위치를 다시 켜면 복구됩니다.)

고출력은 EMAT와 같이 효율이 아주 낮은 탐촉자를 구동시키면서도 시스템이 적절한 기능을 수행할 수 있게 하는데 유용합니다.

게다가 초음파의 감쇄가 심한 재질을 검사할 때 효율이 높은 탐촉자와 하이파워의 결합은 의미 있는 데이터를 취득하느냐 아니면 아무 신호도 보지 못하느냐의 차이로 나타날 수 있습니다.

## ( Frequency Generation )

Ritec의 주파수 신썬사이저 (음의 합성 장치)의 출력은 직접 사용되지 않고 슈퍼헤테로다인 리시버에서 “ local oscillator ” 의 기능을 수행하며 또한 게이트 증폭기(gated amplifier)에서 사용되는 작동 주파수를 만들기 위해 중간 주파수 오실레이터 (Quartz intermediate frequency oscillator: IF)와의 믹싱 기능을 가지고 있습니다. 직접적인 디지털 합성법 (direct digital synthesis)이 사용되기 때문에 새로운 주파수를 입력하기 위해 필요한 시간은 32 비트 컴퓨터 콘트롤 속도에 제한을 받게 됩니다. 대부분의 경우에서 이것은 데이터를 취득하는 속도에 영향을 미치지 않고 주파수는 RF 버스트 간에 변화될 수 있습니다. 0.028 Hz의 주파수 분해능은 초음파 연구에 충분하고도 남음이 있습니다.

## (Timing Circuitry)

RAM의 모든 디지털 타이밍 기능들은 CW 작동 주파수에 관하여 조화를 이루게 만들어져 있습니다. 컴퓨터 외부 소스 혹은 내부의 반복을 발생기(rep, rate generator)로부터 트리거를 받게 되면 타이밍 회로는 게이팅 과정을 시작하기 전에 CW의 확실한 zero crossing을 기다리게 됩니다. 그러면 정확한 폭의 버스트를 만들기 위해 원하는 RF 사이클의 수가 계수됩니다.

동시에 게이팅 기능이 시작됩니다. 트리거 펄스가 트리거 출력 단자로 보내지면 10 MHz의 gated clock oscillator가 작동됩니다. 클럭 (clock)은 CW와 일치하게 되고 신호 처리 게이트의 딜레이와 폭을 만드는 데 사용됩니다. 이러한 특징의 일치성은 연속적인 클럭이 사용될 때 나타나는 게이트 위치의 지터 (jitter) 현상을 막아줍니다.

## (Superheterodyne Receiver)

슈퍼헤테로다인 회로는 1930년대 이래 만들어진 거의 모든 라디오-주파수 리시버에서 사용되어 왔습니다. 이 개념은 중간 주파수 (IF)에서 고정된 튜닝 소자의 사용 작동 주파수와 관계없이 일정한 bandwidth 그리고 관계없는 유사 (비슷하지만 가짜인) 신호를 제거할 수 있게 합니다. Ritec 장비에 있어서는 Broadband RF Receiver, Mixer 및 IF Amplifier, Direct Digital

Synthesizer 그리고 IF Oscillator 및 Quadrature Phase Sensitive Detector 모듈이 슈퍼헤테로다인 기능을 수행하도록 결합되어 있습니다.

신세사이저를 세팅함으로서 송신 주파수의 선택과 수신부 튜닝이 동시에 이루어집니다. 이 특징은, 특히 주파수 스위프 (sweep)을 필요로 하는 경우에, 리시버의 컴퓨터 콘트롤을 매우 간단하게 할 수 있게 합니다.

위상 감도 검출 회로의 조정도 간단해지는데 이는 배가 공정 (multiplication process)이 고정된 IF 주파수에서 이루어지기 때문입니다. 특히 IF 오실레이터로부터의 비교 출력은 위상 감도 검출 배가 회로 전에 정방향 ( $90^\circ$ )에 가능한 한 가깝게 조정됩니다.

2 dB 스텝의 디지털 게인 조정은 신호 강도의 정밀하고 재현성 있는 측정을 가능하게 하며, 저잡음, 높은 게인의 외장형 프리앰프는 신호가 약하게 나타날 때 사용할 수 있습니다.

조정 가능한 IF 밴드 패스, 하이 패스 및 로우 패스 필터를 더하면 이 장비는 초음파 연구에서 가장 폭 넓게 사용할 수 있는 장비가 되게 할 것입니다.

### (Quadrature Phase Sensitive Detection and Analog Integration)

RAM 장비에 있어서의 혁신적으로 뛰어난 점은 구적 위상 감지 (Quadrature phase sensitive detection)와 게이트된 아날로그 적분을 포함하는 신호 처리 기술입니다. 구적 감지는 vector 전압계에서 사용하는 것과 흡사하게 신호를 처리하게 합니다. 두 개의 배율 감지기 (Multiplier) 회로는 증폭과 위상각이 계산될 수 있게 하는 신호의 두 직각 벡터 요소 (실수부와 허수부)를 산출하게 됩니다.

이 감지 방법은 또한 신호가 매우 작을 때에도 탁월한 직선성 (linearity)을 유지하게 해주는 장점을 가지고 있으며 노이즈의 존재에 영향을 받지 않습니다. 따라서 노이즈로부터 신호를 추출하기 위해 신호의 평균값 산출 기술이 사용될 수 있습니다.

그러나 신호의 RF 주기 폭이 매우 작을 때에는 벡터의 크기를 측정하는데 얼마의 실험상의 어려움이 있습니다. 일반적인 신호는 피크들의 높이가 균일하지 않으므로 피크 값이 신호의 진폭을 표현하는데 적절하지 않을 수

있습니다. 이상적인 상황에서라면 RF 항 (term)이 완전히 제거되므로 진폭과 위상이 신호 중간이나 정상 상태 (steady state)의 신호가 얻어질 때 순간적으로 위상 감지되는 출력의 측정값을 계산하므로 얻어질 수 있습니다. 유감스럽게도 정상 상태는 그림 3에서 보는 일반적인 경우처럼 얻기가 힘듭니다.

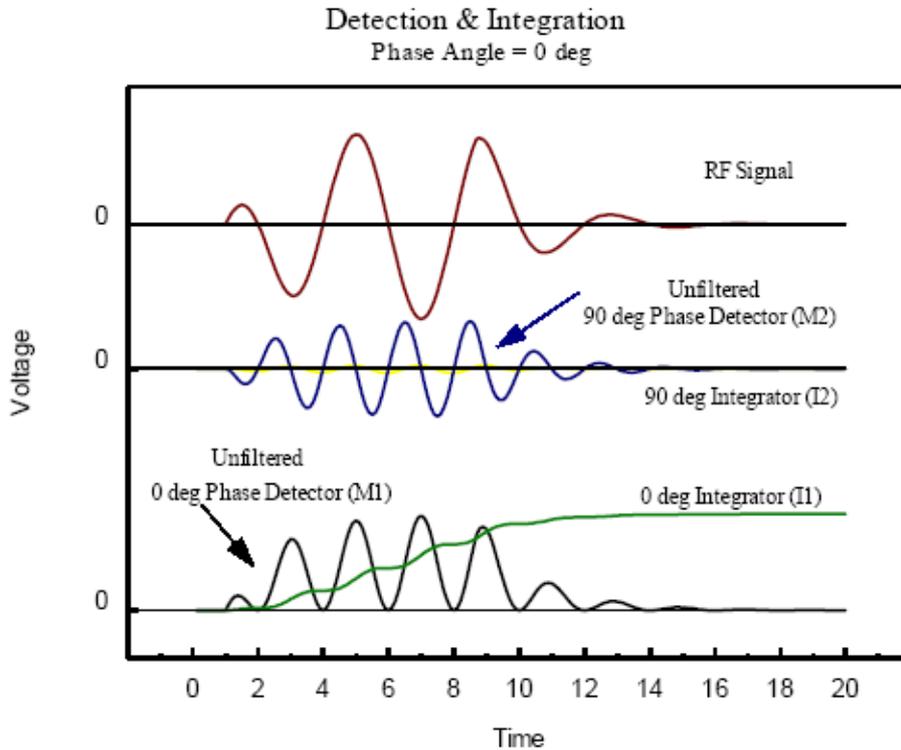


그림 3 전형적인 신호의 RF 리시버, 구적 위상 감지기 그리고 적분 출력  $\Phi_r = 0^\circ$

이 예에서는 신호가 한 주기의 RF 펄스에 의해 발생되었습니다. 감지된 출력에서 RF분을 걸러낼 때 신호의 상승 시간과 하강 시간에 현저한 저하가 있음을 명확히 보여줍니다.

신호의 정확한 진폭과 위상 값을 얻기 위해 감지된 신호가 아날로그 적분 회로에 의해 처리됩니다. 이 방법은 게이트 위치에 구애받지 않게 하므로 RF 신호를 제거하고 신호 대 잡음비를 향상시킵니다. 한계 시간은 적분 게이트에 의해 조정되며 적분 비( $r_i$ )는 컴퓨터에 의해 조정됩니다. 게이트는 신호 앞에서 시작되고 신호 후에서 끝나도록 위치해 있습니다. 표본 유지 (sample-and-hold) 회로는 적분된 결과가 디지털화되어 컴퓨터에 기록될 때까지 유지됩니다. 적분 출력은 다음과 같이 계산됩니다.

$$I_1 = r_1 \int_{t_1}^{t_2} D_1 dt \quad (1)$$

$$I_2 = r_2 \int_{t_1}^{t_2} D_2 dt \quad (2)$$

$I_1$ 과  $I_2$ 는 1번과 2번 적분기의 출력입니다.  $t_1$ 과  $t_2$ 는 적분기 게이트에 의해 정의되는 시작과 종료 시간이며  $D_1$ 과  $D_2$ 는 위상 감지기의 출력입니다. 수신된 신호의 위상각은 다음의 식으로 구할 수 있습니다.

$$\Phi_r = \tan^{-1} ( I_2 / I_1 ) \quad (3)$$

신호의 진폭은 다음의 식으로 구할 수 있습니다.

$$\text{Signal Amplitude} = ( I_1^2 + I_2^2 )^{1/2} \quad (4)$$

이 신호 처리 체계의 효과를 보여주고 감쇄 측정이 Burst 폭에 의해 영향을 받는지 측정하기 위해 Plexiglass 샘플을 사용한 간단한 시험을 할 수 있습니다. 송신되는 여러 burst 폭의 감쇄 측정값인 두 반사 신호의 진폭의 대수 비는 주파수 함수로 측정됩니다. 시험이 진행되는 동안 적분기의 게이트 폭과 위치는 일정하게 유지됩니다. 결과는 그림 4의 도표에서 볼 수 있습니다.

각 주파수가 펄스 폭에 관계없이 일정 값의 감쇄를 얻고 있음을 보여주고 있습니다. 만일 게이트가 에코 신호의 평평한 윗부분에 위치해 있고 감지된 신호에서 RF 영역을 제거하기 위해 필터 처리가 충분히 되었다면 이 결과들은 표본 유지 장치를 통해 반복될 수 있습니다. 그러나 그림 3에서 알 수 있듯이 적은 수의 RF 주기를 가진 반사 신호의 진폭을 표본 유지 장치를 사용해서 측정하는데는 어려움이 있습니다.

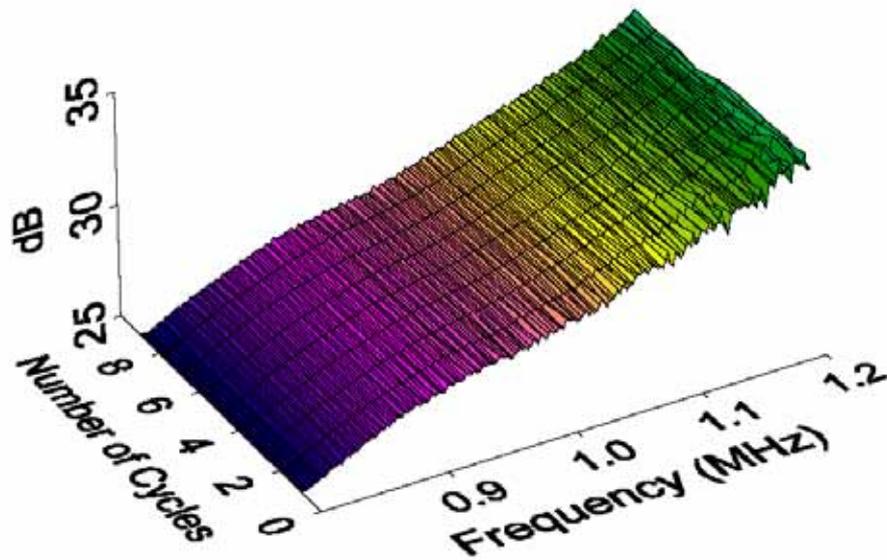


그림 4 주파수와 Burst 주기 폭의 함수로써 dB로 나타낸 반사 신호 1과 2의 진폭 비

짧은 Burst로부터 수신된 신호의 스펙트럼은 낮은 주파수 영역에 의해 지배당하므로 이 예는 위상 감지와 적분을 더욱 강력히 뒷받침합니다. 이 점이 사실인 이유는 구동 펄스는 항상 얼마의 저주파 부분을 포함하고 있고 스펙트럼의 이 끝 부분에서 저주파의 감쇄가 상대적으로 낮기 때문입니다. 위상 감지와 적분 처리는 이 주파수들을 제거하는데 매우 효과적입니다. 사실 구적 위상 감지와 적분 처리가 송신 주파수의 푸리에 (Fourier) 변환된 값과 동일한 진폭을 생성한다는 점은 수학적으로도 증명이 된 것입니다. 결론적으로 이 신호 처리 기술은 펄서화된 음향 신호로부터 진폭이나 위상에 관한 정보를 얻기 위해 현재까지 알려진 방법 중 최상의 방법입니다.

## 가 ( Evaluation Tests )

다음은 RITEC의 RAM 장비의 성능을 예시하기 위한 얼마의 간단한 테스트 결과입니다.

### (Absolute Time Measurements)

신호의 위상 대 주파수 경도 (slope)를 결정한 후 전자 소자들과 음향 소자들 그리고 군속도 (group velocity)가 관련된 샘플을 통한 음파 전달에 소요되는

지연을 포함한 신호의 총 도달 시간은 다음의 식으로 산정될 수 있습니다.

$$\text{Time} = \Delta \Phi_r / 2 \pi \Delta F \quad (1)$$

여기에서  $\Delta \Phi_r$ 은 위상 변화이고  $\Delta F$ 는 주파수 변화입니다.

두 개의 에코를 측정할 때, 얻어진 결과 사이의 차이와 선택한 에코의 적절한 송신 숫자로 나눔으로써 정확한 음파 전달 시간을 측정할 수 있습니다. 그림 5의 예에서 처음 두 에코가 측정되었습니다.

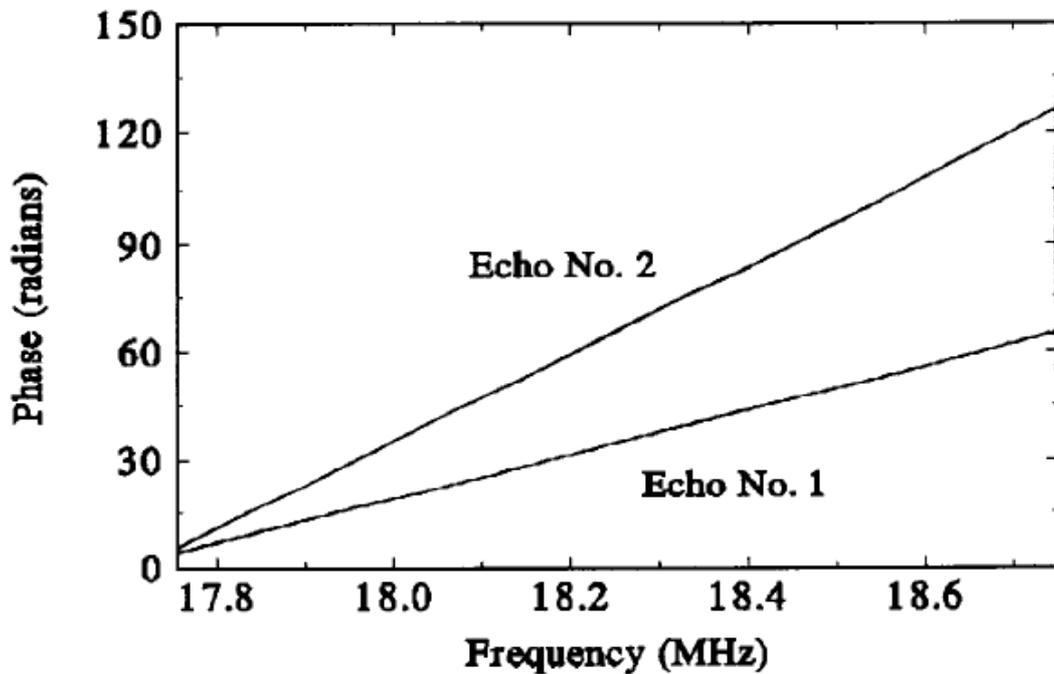


그림 5 실리카 막대의 음파 위상 측정

최소 자승 데이터는 검출된 위상대 주파수 경도 값인 61.533 radians/MHz 그리고 121.489 radians/MHz와 일치하며 4.771 microsecond의 음파 전달 속도가 계산됩니다. 이러한 종류의 데이터를 소수점 네자리 이하의 정확도로 재생하는 것은 어렵지 않습니다. 그러나 연구원이 이 정도까지의 절대 정확도를 요구한다면 회절이나 위상 변화와 같은 모든 상대적인 음향 현상들을 포함시키도록 주의해야 합니다.

## (Change in Acoustic Transit Time)

많은 경우 검사는 절대 시간보다는 온도나 압력과 같은 다른 변수들의 함수인 음속이나 시간 변화와 더 관련이 있습니다. 이러한 변화들은 절대 측정보다 더 정확하고 정밀하게 결정될 수 있습니다. 다음의 식으로 계산이 가능합니다.

$$\text{Changes in Time} = \Delta \Phi_r / 2 \pi F \quad (6)$$

이 실험이 진행되는 동안 주파수를 일정하게 유지하는 것에 유의해야 합니다. 이렇게 하므로 전자 회로나 센서와 검사물의 접지 상태에 의해 발생하는 주파수에 근거한 위상 변화의 문제를 해결할 수 있습니다. 그러나 센서와 검사물의 접지 상태는 측정하는 동안 일정하게 유지되어야 합니다.

신호 전달 시간의 변화를 측정하는 장비의 성능을 증명하기 위해 트럼본으로 알려진 길이를 조정할 수 있는 공기 유전체 동축선 (Air dielectric coaxial line)을 사용한 실험이 고안되었습니다. 유전체가 공기이므로 시간의 증가가 빛의 속도와 라인의 길이에 의해 쉽게 계산될 수 있습니다. 이 실험의 블록 다이어그램이 그림 6에 나와 있습니다.

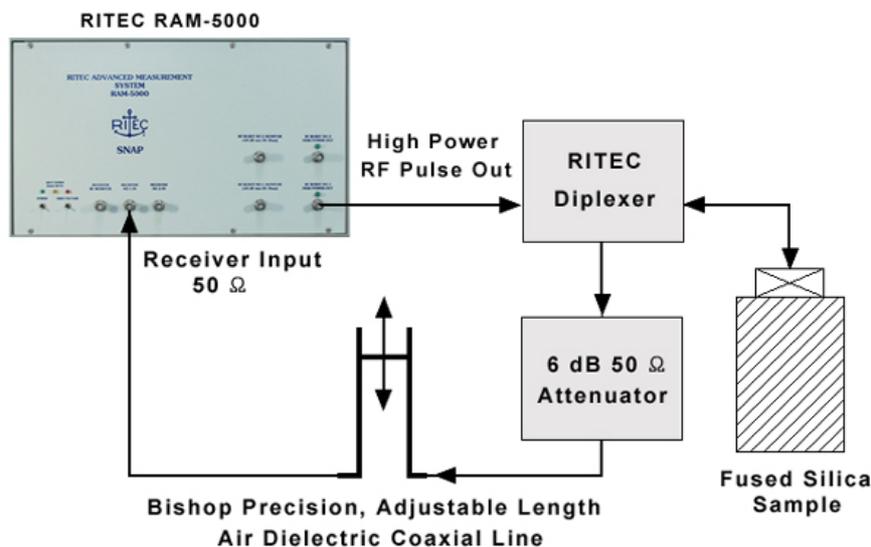


그림 6 인위적으로 정해진 시간 동안 에코의 도달 시간을 지연시키기 위한 장치

이 동축선에서 발생하는 시간 지연에 정확성을 기하기 위해 트럼본이 양쪽 방향으로 50 Ω이 되도록 합니다. 이를 위해 6 dB 감쇄기 (Attenuator)가 추가되었으나 실제 초음파 적용에서는 요구되지 않습니다. 18.312 MHz에서 행해진 실험이 그림 7에 나와 있습니다.

얻어진 데이터가 이론적 접근에 근접한다는 사실이 시간의 변화를 측정하는 이 장치의 성능을 명확히 입증합니다. 발생하는 약간의 오차는 동축선의 길이를 정확히 세팅하는 어려움에 따른 것입니다.

실리카 막대에서 처음 두 에코의 도달 시간의 변화를 더 긴 시간 동안 그래프로 나타내므로 장비의 안정성 평가와 시간의 변화를 측정하는데 있어 두 개의 에코를 사용하는 이점을 예시할 수 있습니다. 이 실험에서 장치의 각 부분에서의 온도 안정성 문제는 배제하고 샘플을 테이블 위에 위치시켰습니다. 결과가 그림 8에 나와 있습니다.

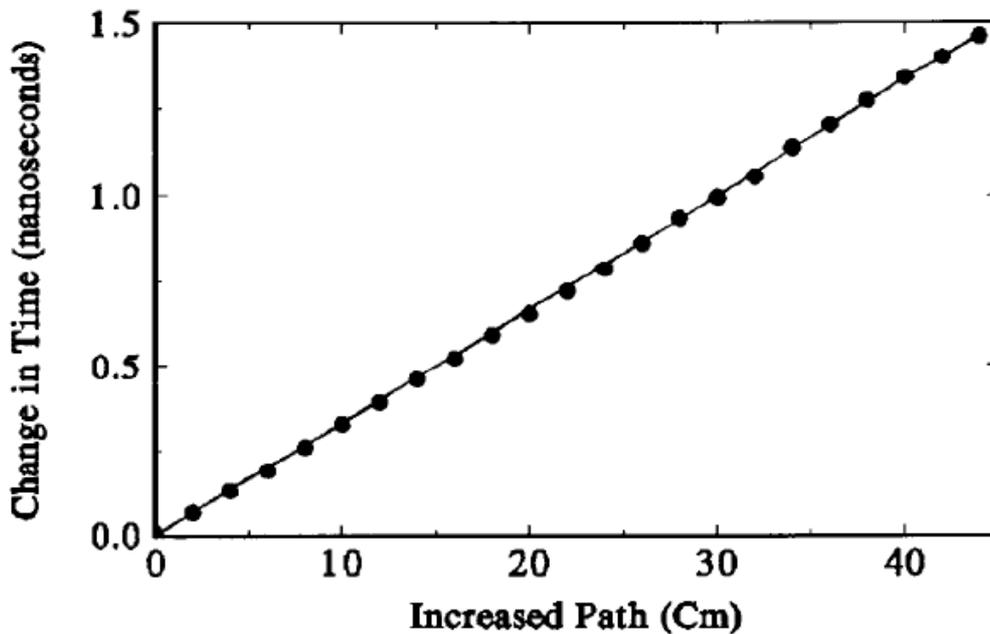


그림 7 빛의 속도를 사용하여 이론적으로 계산된 지연 시간의 직선과 실험에 의한 측정으로 얻어진 점선

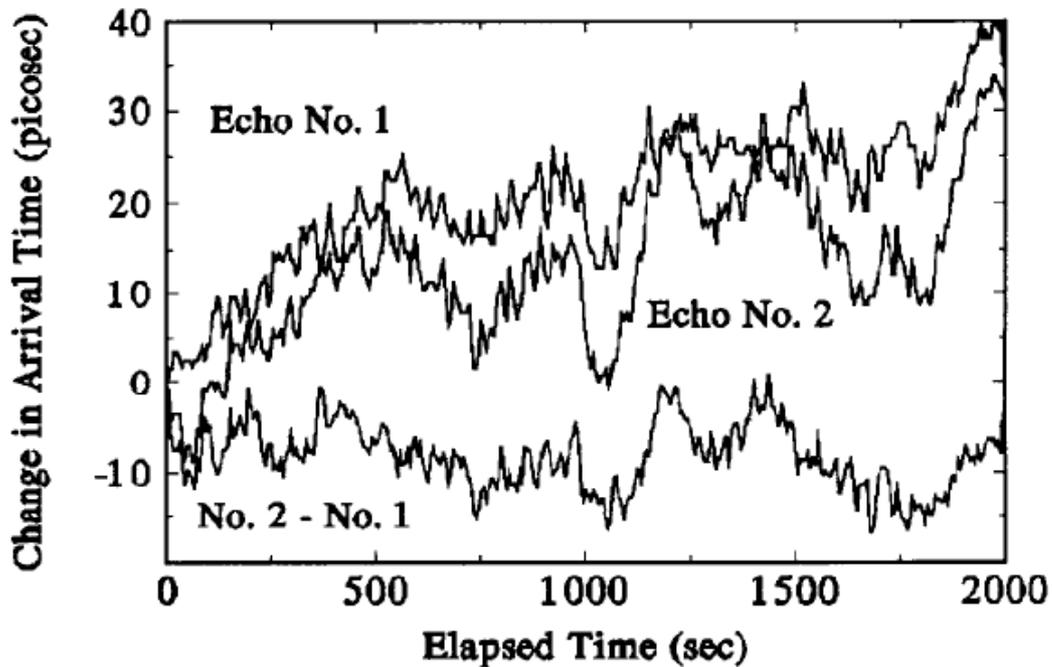


그림 8 실리카 막대에서 처음 두 에코의 도달 시간의 변화와  
이 데이터로부터 계산된 왕복 시간의 변화

두 에코의 도달 시간의 그래프가 함께 근접하게 상승합니다. 샘플의 칫수나 음속의 변화는 두 에코의 곡선을 서로 다른 방향으로 가게 하므로 이 상승 곡선은 샘플의 칫수나 음속의 변화로는 설명할 수 없습니다. 이 현상은 대부분 장치의 변화에서 오게 됩니다. 따라서 상승 곡선은 서로 상쇄하고 나머지는 잡음이나 샘플의 실제 변화에 의한 것이므로 왕복 시간 변화의 계산이 훨씬 더 정확하게 됩니다.

참고: 이 미세한 전달 시간의 변화는 신호 평균화 기술 (Signal averaging techniques)에 의해 관찰되었습니다.

## (Changes in Acoustic Attenuation)

음감쇄의 측정이나 감쇄의 변화를 측정할 때 정확한 진폭 측정이 요구됩니다. 이 요구 조건에 대해서는 이전에 논의되었으며 결과가 그림 4에 나와 있습니다. 이어지는 실험은 장비의 직선성과 정밀 감쇄기에 의한 진폭 변화의 측정을 확인하기 위한 것입니다. 장치의 블록 다이어그램이 그림 9에 나와 있습니다.

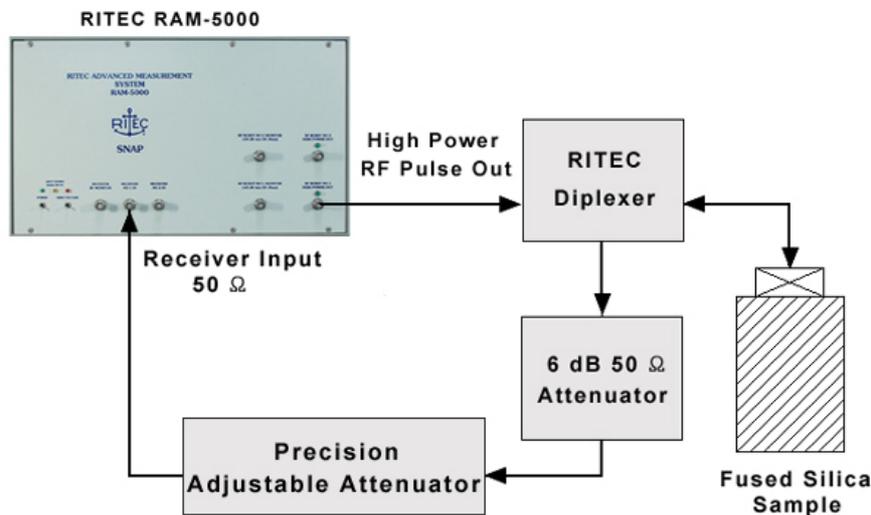


그림 9 에코 진폭의 변화를 조정하기 위한 장치

처음 실험에서의 감쇄기는 34 dB의 입력 감쇄와 .02 dB의 분해능을 가진 조정 가능한 정밀 파장 유도 장치입니다.

그림10에 나와있는 데이터는 이론적 수치에 근접하며 감쇄기의 분해능 내에서 일치합니다.

두 번째 실험에는 0 dB의 입력 감쇄와 10 dB씩 조정할 수 있는 스위치가 있는 감쇄기가 사용되었습니다. 결과가 그림 11에 나와있습니다.

이 경우에 감쇄가 크게 설정되어 있을 때는 데이터가 이론적으로 기대되는 값과 일치하지 않습니다. 이 불일치는 CW 유출을 적절히 보상하지 못한데서 기인하는 것으로 보입니다.

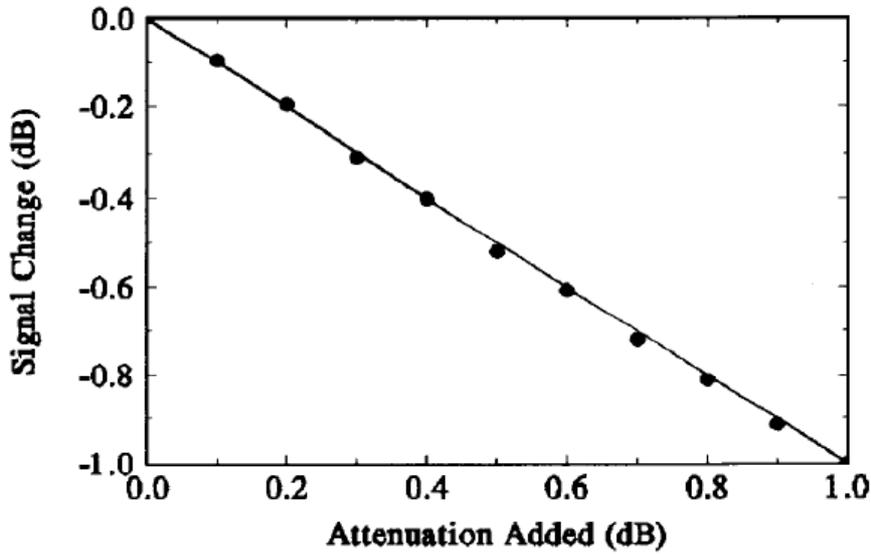


그림 10 측정된 신호 변화와 1 dB 범위에서 기대되는 값을 보여주는 직선

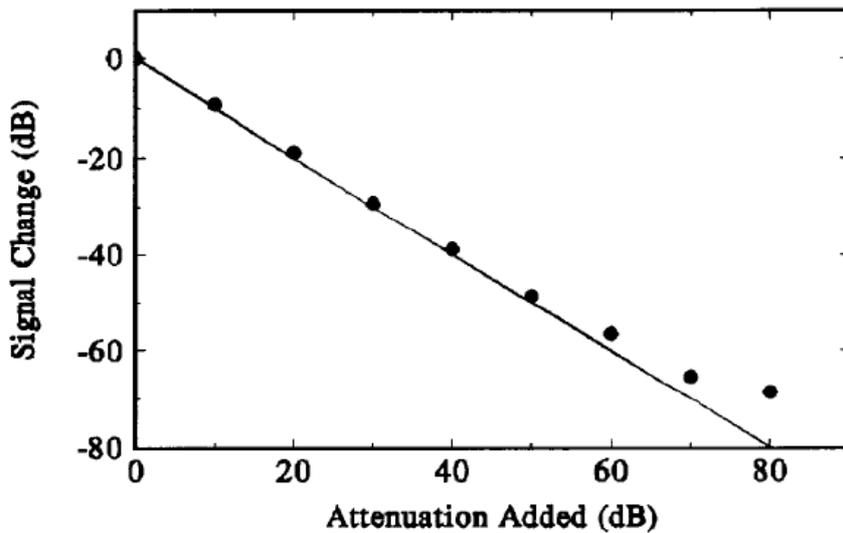


그림 11 측정된 신호 변화의 80 dB 범위에서 기대되는 값을 보여주는 직선

이 설명서를 통하여 장비를 사용할 가능성이 있는 모든 사용자의 질문에 답하기 위해 노력하였습니다. 그러나 Ritec사의 RAM-5000 장비의 모든 가능한 적용과 연구원들이 일반적인 적용을 위해 가질 수 있는 관심을 예측하기는 쉽지 않습니다. 만일 어떤 특수한 또는 일반적인 요구를 위해 이 장비를 적용하는데 있어 질문이 있다면 엠케이씨코리아로 혹은 Ritec사의 Bruce Chick이나 Gary Petersen 박사에게 연락한다면 도움을 주기 위해 최선을 다할 것입니다.