

DSP 알고리즘을 사용한 CO<sub>2</sub> 레이저거리 측정기의 설계에 관한 연구

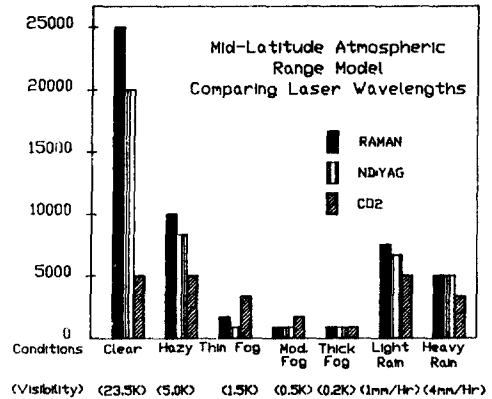
김 영 대 김 도 종 강 윤 식 (국방과학연구소)  
김 점 수 (삼성전자)

The Study of DSP algorithm for CO<sub>2</sub> Laser Range Finder

Y.D. KIM , D.J. KIM , Y.S. KANG ( A.D.D. )  
J.S. KIM ( S.E.C. )

ABSTRACT

Recently, LASER is used in many industrial, military applications. In this study, digital filtering, correlation, differentiation techniques for CO<sub>2</sub> LASER Range Finder System are introduced. This LASER Range Finder System can be realized by DSP algorithm suggested in this paper and high speed digital signal processors.



도 1. 대기오염에 따른 레이저 측정거리

1. 서론

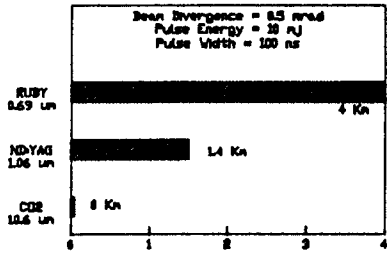
최근들어 Laser 의 응용분야는 산업, 군용, 공작분야에서 응용, 적용되고 있다. 한편 최근 짧은 파장의 레이저(Laser beam)를 발사하는 기구들에 있어서, 이를 이용하는 방식의 다양화 및 거리 측정에도 적용되고 있다. 이에 따라 CO<sub>2</sub>

레이저의 경우 NDYAG 레이저와 비교적으로 측정거리가 짧아 측정능력이 높으며, 대기중에 열기, 변형등의 없는 깨끗한 대기 (외산도의 높음) 일수록 거리 측정능력이 높다.

- ① C : 레이저의 반사율
- ② n : 공기굴절률
- ③ t : 전자기파의 유효 속도, 빛속

CO<sub>2</sub> Laser 의 경우 일반적으로 레이저 파장의 반사율의 측정 능력의 약하다. 이것은 CO<sub>2</sub>의 수증기나 대기압의 흡수율이 많이 적고, 30%정도에 대한 반사율이 떨어지기 때문이다. 그러나 현재의 열외공해 대책에는 상대적으로 좋은 거리 측정 능력의 우수하며, 눈에 유해하지 않거나 정밀도가 높기 때문이다. 또 9.12um영역의 레이저를 사용하는 열외공해 대책 (Thermal) image system 의 원격 사용의 경우 센서를 보유할 수 있는 equipment 한 시그널을 구성할 수 있다. 또한 CO<sub>2</sub> 레이저의 유해도를 차단할 수 있다.

현재 사용중인 Pulse type 의 Laser기의 측정거리 형태는 3-4가지 정도가 사용되고 있는데, 각각의 대기조건 상태에서 최대 거리 측정능력을 보여주고 있다.



<그림 2. Pulsed Laser System의 유효도 비교>

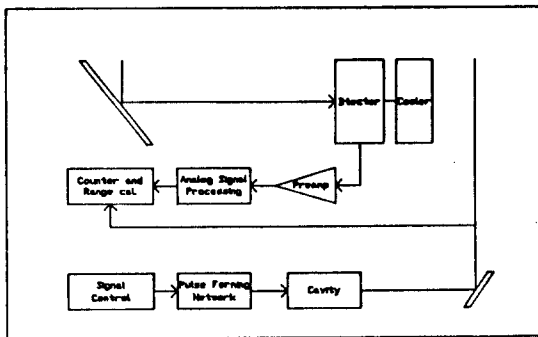
CO<sub>2</sub>의 낮은 대기 투과도는 반사파의 크기를 아주 미약하게 하여 detector에서 검출되는 신호가 아주 작아 현재의 Analog 신호 처리 방식으로는 작은 noise에 대해서도 거리측정 능력이 저하된다.

본 연구목적은 CO<sub>2</sub> Pulsed Laser에 대해 미소한 반사파를 Digital 신호 처리를 함으로서 거리측정 능력이 향상되고 오거리 발생을 제거하는 Algorithm의 개발에 있다.

## II 본 문

### 1. 레이저 거리 측정 장치 구성도

거리측정 장치는 레이저가 발사되면 계수기(Counter)가 계수를 시작하고, 적외선 detector에 반사파가 검출되면 계수기가 멈추어 그때까지 계수된 값으로 거리를 환산한다. 그림 3은 레이저 송/수신부를 간략히 그린 그림이다.



Laser Transmitter/Receiver Block Diagram

<그림 3. 거리 측정 장치 구성도>

### 2. 수신 신호 처리부

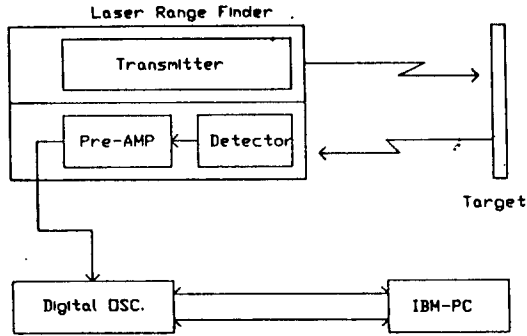
Detector에서 검출되는 미세신호의 반사파는 analog 회로의 Preamp, Compensator 등을 거쳐 기준전압 이상의 전압이 나오면 반사파가 검출되었다고 보는데, analog부는 Laser파장, 펄스폭, detector의 특성 등을 변수를 신중히 고려하여 설계 하여야 하고 최초 구성후에 시행착오를 통한 조정작업을 거쳐야 한다. 또한 시스템에 결합시 발생하는 Conduction 및 Radiation noise에 의한 오거리 측정 가능성이 많고, 설계/조정시 불확정적인 Noise에 대해서 SNR (Signal to Noise Ratio), TNR (threshold to Noise Ratio) 등을 설정하여야 하는 어려움이 발생한다.

### 3. Digital 신호 처리

미세한 신호를 처리하는 수신부 analog신호 처리부에서 발생하는 Pulse type의 Noise는 실제 오측정율의 주요 원인으로 거리 측정기의 성능저하 주요원인이 되고 있다. 또한 Component의 노화(aging), tuning, Impedance matching, transmission line effect 등은 장시간 사용시 신뢰성에도 상당히 문제가 되고 있다.

이러한 Analog 방식의 문제를 피하기 위해 Digital 신호처리 방식을 사용하면, 설계의 어려움, Noise 문제 및 기타 조정의 반복작업 등을 피할 수 있으나 기존의 Processor를 사용할 경우 실시간 신호 처리가 상당히 문제가 되어왔다. 최근들어 많이 사용되고 있는 DSP(Digital Signal Processor) Chip을 사용하게 되면, 이러한 경우 실시간 처리가 가능하고 기존 회로의 신호제어 및 거리 계산부 등을 한꺼번에 처리할 수 있어 Compact한 System을 구현할 수 있다.

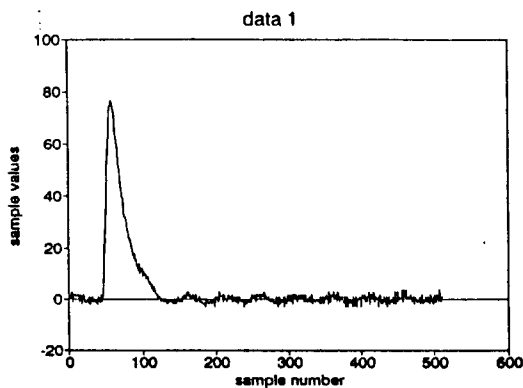
Laser 신호의 해석을 위해 수신부의 Pre-amplifier의 뒷단을 Digital 오실로스코프로 보았고 GPIB를 통해 IBM-PC로 보내 PC에서 신호처리를 하였다. (그림 4)



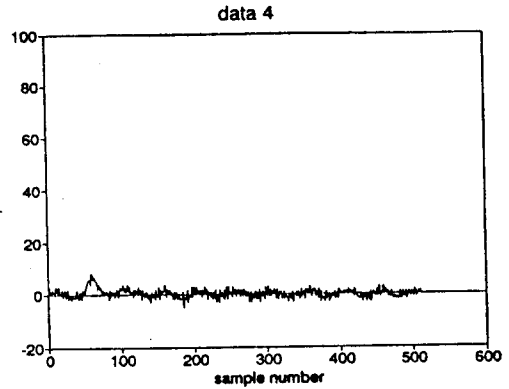
<그림 4 실험 장치 구성도>

기초적인 연구방향설정을 위해 특정거리의 표적에 대해 Focusing 을 조절하여 반사파 신호의 크기를 조절하였고 background Noise 는 허공에 Laser를 발사함으로써 표적 없이 얻을 수 있었다. 그림 5 는 레이저 발사후 일정 시간에 기준점을 두고 그때부터 512개의 Sample 만을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는것과 같이 전체적인 신호 경향은 high frequency noise에 실려 있는 low frequency 의 laser 반사파 신호이다.

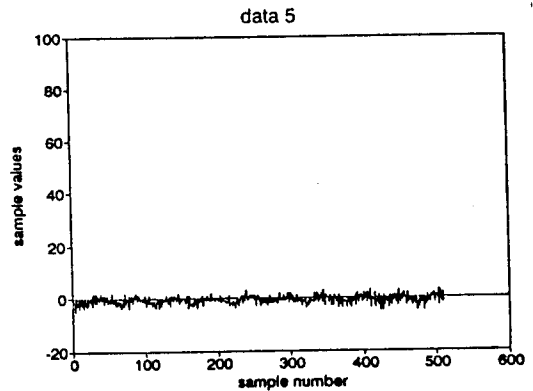
그림 6는 그림5(c)의 noise Signal에 대한 power spectrum을 구한 것으로서 Noise 자체만의 신호는 White 한 경향을 뚜렷이 나타내고 있음을 볼수 있다.



(a) 정상 반사파

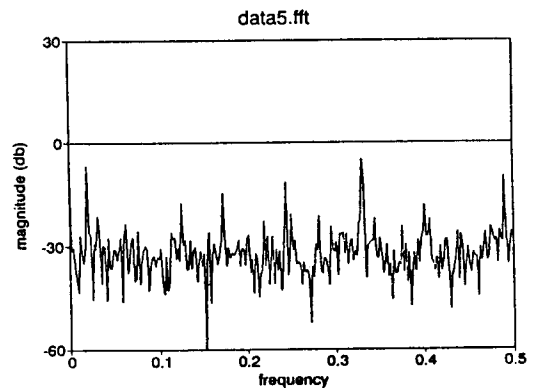


(b) 미소 반사파



(c) 반사파 없는 경우

<그림 5. laser 반사파 신호>

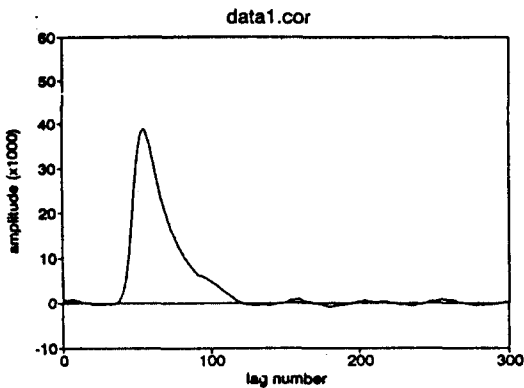


<그림 6. Noise 신호에 대한 Spectrum>

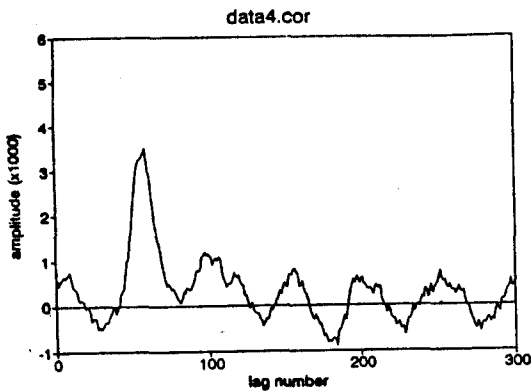
Source Signal에 대한 time delayed version signal은 Cross correlation 을 해석함으로써 쉽게 구할 수 있다는 사실은 널리 알려져 있다. 아울러 White noise는 Cross corre-

lation에서 이론적으로 아무런 영향을 미치지 못한다.

Source Signal 을 원점에서 Peak 를 갖는 impulse 로 가정하고 각 경우에 300 개의 lag number 까지 Cross correlation 을 구한것이 그림 7 에 나타나 있다.



(a) 정상 반사파



(b) 미소 반사파

<그림 7. Cross correlation values between source and laser signal>

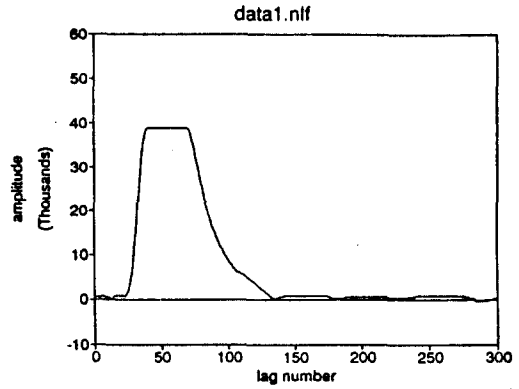
실제로 반사된 laser 신호는 detector 를 거치면서 detector 특성상 어느 정도의 time constant 를 갖는 완만한 파형이 된다.

(그림 5), 그림에서 반사파가 들어오는 시점은 wave가 시작하는 순간이고 이를 구하는 적절한 기능은 신호를 미분하면 구할 수 있다.

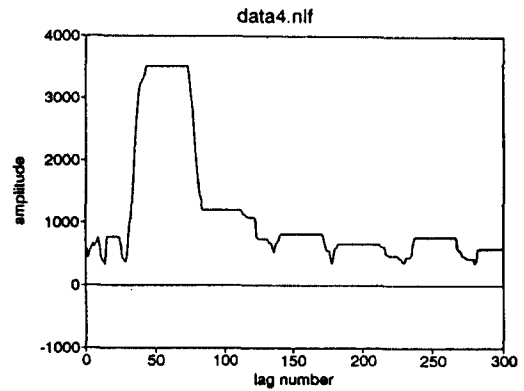
그러나 그림 7(b)에서와 같이 미소 반사파에 대해서 원하는 신호와 유사한 주파수 대의

잡음 신호가 섞일 경우 미분하면 좋지 않은 영향을 미칠수 있다. 이를 극복하기 위해 Minimum filtered technique 이 적용되었다.

(그림 8)



(a) 정상 반사파

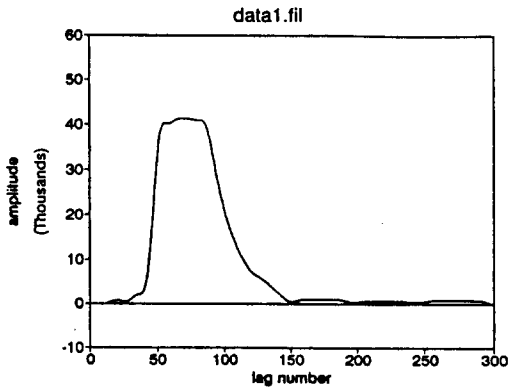


(b) 미소 반사파

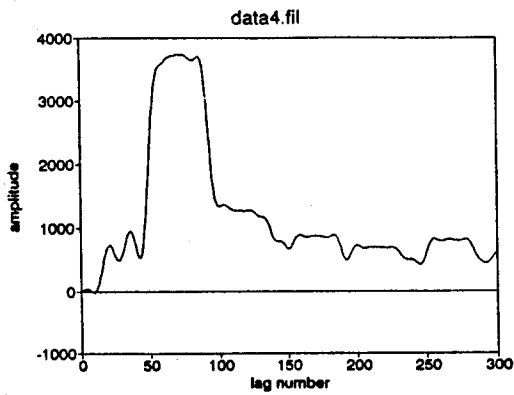
<그림 8 Nonlinearly filtered signal (minimum filter)>

그림 8.에서와 같이 Nonlinearly filtered signal은 다소 dumb하게 보인다. Nonlinear filtering의 "flat topping" 성질은 바람직한 현상은 아니나, 낮은 Amplitude 의 신호에 효과적으로 작용되며, 전체적으로 Waveform 을 넓혀 준다. 이렇게 구한 신호를 linear phase 와 time delay 특성을 갖는 FIR low pass filter로 통과시켜 미분 가능한 신호를 구하였으며 (그림 9), 마지막 단계로 미분된 Signal을 구하였다. (그림 10) 미분 신호에서

Maximum point 값을 갖는 곳을 반사파가 돌아 오는 시점으로 계산하였을 경우 원래 신호에서 구해진 신호와 +1 Sample의 오차를 가져왔다. 지금까지의 전체적인 laser신호처리 block diagram은 그림 11에 나타내었다.

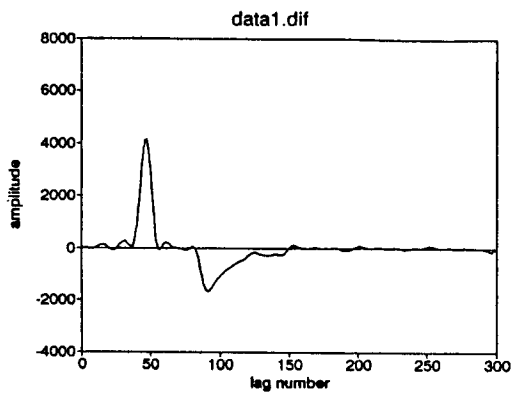


(a) 정상 반사파

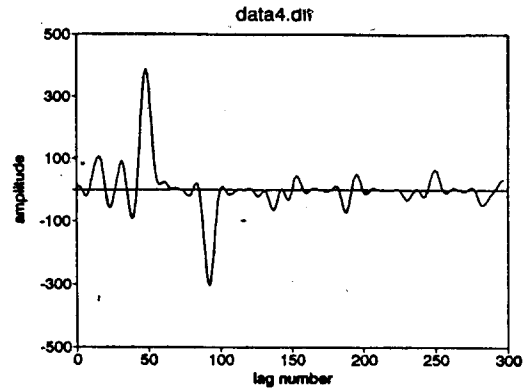


(b) 미소 반사파

<그림 9. FIR filtered Signal>

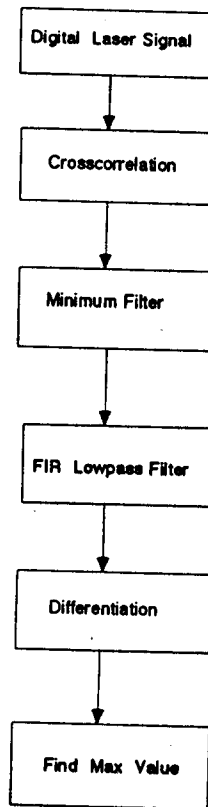


(a) 정상 반사파



(b) 미소 반사파

<그림 10. Differentiated signal>



<그림 11. 전체적인 신호처리 흐름도>

### III 결과 및 고찰

본 논문에서는 Digital 신호 처리를 응용한 Laser 거리측정 장치의 Digitalize에 대하여

연구하였으며 결론은 다음과 같다.

1. 반사파는 Pre-amplifier 의 신호를 직접 digitize 함으로서 기존 Analog 보상회로에서 발생하는 Pulse type의 noise가 제거되었다. (오거리현상 없어짐)
2. Crosscorrelation, Filtering 및 Differentiation 기능을 이용하여, 원하는 정확도의 거리 측정 능력을 갖는 Digital 레이저 거리 측정기를 설계 할 수 있다.

#### 향후 연구과제

1. 광범위한 조건(거리, 환경조건, 표적형태)에 대해서도 Robust 한 레이저 거리측정 능력을 확보하기 위해 다양한 Laser data 해석이 필요하며,
2. 본 논문에서 제안한 방법과 여러 경우의 Data를 바탕으로한 좀더 효율적인 Alogrithm 개발이 필요하고,
3. 고속 A/D Converter 와 DSP 를 사용하여 Realtime Digital Signal Processing을 할수 있는 신뢰성 있는 Hard Ware 제작/구현이 필요하다.

#### 참고문헌

1. Stearns, S.D., and R.A. David Signal Processing Algorithms, Prentice Hall 1988
2. Embree, P.M., and B. Kimble, C Language Algorithm for Digital Signal Processing, Prentice-Hall, 1991.
3. Bendat, J.S., and A.G. piersol, Random analysis data and measurment procedures, John Willey & Sons
4. Lam, H.Y-F, Analog and Digital Filters : Design and Realization, Prentice-Hall, 1979
5. Oppenheim, A.V., and A.S. Willsky, Signals and Systems, Prentice-Hall, 1983
6. B.W. Jolleiffe, P.T.Woods, D.J. Ravenhill Optics and Laser Technology. April (1978) 86-88
7. M.J. Taylor, P.H. Davies, D.W. Brown, W.F. Woods, I.D. Bell, and C.J. Kennedy Applied Optics 15 March 1987 Vol. 17 No. 6
8. G.R. Osche, C.F. Luck, R.E. Seavey, R.K. Phelan CO<sub>2</sub> Laser Devices and Applications (1980) Spie Vol. 227