

# FMCW 레이저 거리 측정기의 비선형성 보정 방법

정수용\*, 이성로\*, 정민아\*\*, 박창수°

## Nonlinearity Correction Method in FMCW Laser Range Finder

Soo-Yong Jung\*, Seong Ro Lee\*, Min A Jeong\*\*, Chang-Soo Park°

### 요 약

본 논문에서는 연속파 주파수 변조(FMCW) 레이저 거리 측정기에서 주파수 변화의 비선형성을 보정하는 기술을 제안하였다. FMCW 기반의 레이저 거리측정기는 높은 거리 분해능을 위해 주파수 변화의 선형성이 요구되며, 비선형성이 존재할 경우 비트 신호의 주파수가 일정하지 않아 거리 측정 성능에 심각한 영향을 미치게 된다. 하지만 일반적으로 주파수 변조를 위해 사용하는 VCO(Voltage Controlled Oscillator)의 출력은 비선형적인 특성을 가지게 된다. 이와 같은 주파수 변화의 비선형성을 보정하기 위하여 본 논문에서는 보조 딜레이 구조를 사용하였다. 보조 딜레이 구조에서 생성되는 신호는 거리 정보를 가진 비트 신호와 동일한 변화율을 가지며, ADC(Analog to Digital Converter)의 Trigger 신호로 사용된다. 즉, 비트 신호의 주파수와 동일한 변화율을 가지는 신호를 Trigger로 사용하여 비트 신호를 샘플링 함으로 비선형성이 보정되어 일정한 비트 주파수를 얻을 수 있고, 따라서 정확한 거리 측정을 할 수 있게 된다. 이에 대한 성능을 검증하기 위해 실험을 수행하여 그 결과를 제시하였다. 제안한 방식에 의해 비선형성으로 인한 FMCW 레이저 거리 측정기의 측정 오차를 개선하여 시스템의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

**Key Words** : Laser range finder, Frequency modulated continuous wave, Linearization, Nonlinear frequency sweep, Signal processing

### ABSTRACT

We propose a correction method of nonlinear frequency sweep in an FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) laser range finder. FMCW laser range finder requires linear frequency sweep for high resolution, and nonlinear frequency sweep makes the system performance degrade. In general, VCO(Voltage Controlled Oscillator) which is a component used for frequency modulation in FMCW method has nonlinear property. To correct the nonlinear frequency sweep, we utilize an auxiliary delay structure for generating trigger signal of ADC(Analog to Digital Converter). Because the trigger signal has same rate of change with the beat signal, the nonlinearity of

※ 본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0017081).

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2009-0093828)

◆ 주저자 : 광주과학기술원 정보통신공학과, syjung@gist.ac.kr, 정회원

° 교신저자 : 광주과학기술원 정보통신공학과, csp@gist.ac.kr, 정회원

\* 목포대학교 정보전자공학과, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

\*\* 목포대학교 컴퓨터공학과, majung@mokpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2013-01-024, 접수일자 : 2013년 1월 14일, 최종논문접수일자 : 2013년 3월 8일

the beat signal can be corrected. the experimental results show that the proposed method effectively eliminates the nonlinear frequency sweep problem and enhances the system performance.

## I. 서 론

레이저 거리 측정기는 레이저 빔을 이용한 비접촉식 거리 측정 기술로써, 3D 이미지, 위치 측정, 자동화 시스템 등 많은 산업 분야에서 다양하게 사용되고 있다<sup>[1,2]</sup>. 레이저 거리 측정기의 대표적인 기술로는 펄스의 왕복시간을 측정하는 Pulsed TOF (Time Of Flight)<sup>[3]</sup>, 신호의 위상차를 통해 거리를 측정하는 Phase-Shift<sup>[4]</sup>, 그리고 주파수에 변화를 준 후, 주파수 차이를 통해 거리 정보를 추출하는 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 기술<sup>[5]</sup> 등이 있다. Pulsed TOF 방식은 우수한 성능을 보여주지만, 시스템의 크기가 크고 고비용이 요구되기 때문에, 저가의 거리 측정기 시스템에서는 주로 Phase-Shift 또는 FMCW 방식이 사용된다. 하지만, Phase-Shift 방식은 신호의 흔들림이나 Crosstalk에 의해 시스템의 성능이 제한되고, FMCW 방식은 주파수 변화의 비선형성에 의해 시스템 성능이 제한된다는 단점이 있다<sup>[6-8]</sup>.

본 논문에서는 FMCW 방식에서 주파수 변화의 비선형성 문제를 보완하는 기술에 초점을 맞추었다. FMCW 레이저 거리측정기는 주파수가 점진적으로 변화되는 사인파 신호를 레이저를 통해 송출하고, 표적에서 반사 되는 신호를 수신한다. 반사된 신호는 송출 신호와 믹스되어 거리 정보를 가지고 있는 비트 주파수 신호로 전달되며, 푸리에 변환을 통한 주파수 측정값으로 표적 거리를 산출한다<sup>[9]</sup>. 이 때, 주파수 변화가 선형적인 경우에는 하나의 주파수 성분만이 추출되어 정확한 거리를 산출할 수 있지만, 주파수 변화가 비선형적인 경우에는 여러 개의 주파수 성분이 존재하기 때문에 정확한 거리 산출이 어려워진다. 주파수 변화의 비선형성 문제를 해결하기 위해 지금까지 많은 기술들이 제안되었다. 제안된 기술들은 대부분 레이저 다이오드에 주파수가 변화되는 신호를 공급하여 주는 VCO(Voltage Controlled Oscillator)의 출력을 안정화 시켜 비선형성 문제를 해결하였으며, 대표적인 방식으로는 Open Loop Correction<sup>[10,11]</sup>과 Closed Loop Correction<sup>[12-14]</sup> 방식이 있다. Open Loop Correction 방식은 VCO의 입력 전압에 따른 출력 주파수 값을 Lookup Table에 저장한 후, Lookup

Table을 참조하여 출력 주파수가 선형적이 되도록 입력 전압을 조절하여 주는 것이다. 하지만, 이 방식은 VCO의 입력 전압을 인위적으로 조절해야 하고, 또한 VCO의 출력이 온도의 변화에 영향을 받기 때문에, 온도가 변할 때마다 Look Up Table을 갱신해야 하는 단점이 있다. Closed Loop Correction 방식은 Phase-Locked Loops(PLLs) 구조를 사용한 것인데, VCO를 Feedback Loop에 포함시켜 출력 주파수를 안정화 시킨 것이다. PLL은 동적 시스템이기 때문에, Lookup Table 없이 선형적인 주파수 변화가 가능하지만, 입력의 변화에 출력이 즉각적으로 따라가는 것이 아니라, 일시적인 변화를 보여줌으로 인해 FMCW 거리 측정 시스템에서 오차를 유발할 수 있다. 이와 같이 두 방식 모두 VCO의 출력 주파수의 선형성은 향상시켰지만, 여전히 문제점을 가지고 있고, 송신부의 복잡도 증가로 인해 시스템 적용에 어려움이 존재한다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 VCO의 출력 주파수의 선형성을 증가시키는 기존의 방식을 사용하는 대신, 보조 딜레이 구조를 사용하여 신호처리부에서 비선형성을 보상하는 방식을 제안하였다. 보조 딜레이 구조를 통해 생성되는 신호는 비트 신호의 주파수와 동일한 변화율을 가지고 있기 때문에, 이를 ADC(Analog to Digital Converter)의 Trigger 신호로 사용하여 ADC의 입력 신호이자 거리 정보를 포함하고 있는 비트 신호를 샘플링 함으로 비선형성을 보정할 수 있는 것이다. 제안된 기술을 이용한 레이저 거리측정기 시스템을 실제 실험을 통해 구현하였으며, 결과를 통해 성능을 확인할 수 있었다.

## II. 본 론

### 2.1. 주파수 변화의 비선형성으로 인한 문제 고찰

그림 1은 FMCW 레이저 거리측정기의 주파수 변화가 선형적인 경우, 즉, 이상적인 경우를 보여주고 있으며, 그림 2는 주파수 변화가 비선형적인 경우를 보여주고 있다. 그림에서 Reference Signal은 기준신호로써 레이저를 통해 송출된 신호를 의미하고, Reflected Signal은 표적에서 반사된 신호를 의미한다. 그리고  $f_B$ 는 비트 주파수로써 두 신호

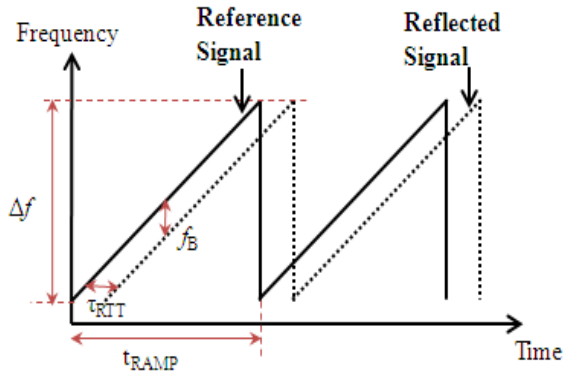


그림 1. FMCW 방식에서 주파수 변화가 선형적인 경우  
Fig. 1. Linear frequency sweep in FMCW method

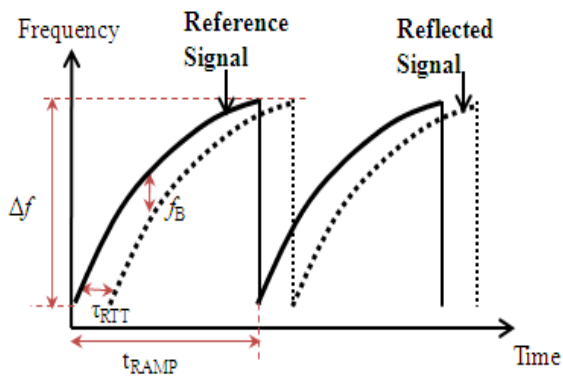


그림 2. FMCW 방식에서 주파수 변화가 비선형적인 경우  
Fig. 2. Nonlinear frequency sweep in FMCW method

의 주파수 차이를,  $\tau_{RTT}$ 는 레이저 빔의 왕복 시간을 가리키고 있으며,  $\Delta f$ 는 주파수 변화의 폭, 그리고  $t_{RAMP}$ 는 램프 신호의 주기, 즉, 주파수 변화의 시간을 가리킨다. FMCW 레이저 거리측정기에서 표적의 거리 정보는 비트 주파수에 포함되어 있으므로, Reference Signal과 Reflected Signal을 믹서의 입력 신호로 사용하여 비트 주파수 신호를 획득한 후 푸리에 변환으로 비트 주파수를 얻는 것이다. 최종적인 표적의 거리는 다음 식과 같이 표현된다.

$$d = \frac{\tau_{RTT} \times c}{2} = \frac{f_B \times t_{RAMP} \times c}{2 \times \Delta f} \quad (1)$$

수식 (1)에서  $c$ 는 빛의 속도를 의미한다. 수식 (1)에서 보듯이, 비트 주파수를 알면 표적의 거리를 간단한 수식을 통해 얻을 수 있다. 그림 1에서 보듯이 주파수 변화가 선형적인 경우에는 특정 시간 범위에서 동일한 비트 주파수가 생성됨을 알 수 있고, 이를 통해 정확한 거리를 얻을 수 있다. 하지만 일반적인 경우 완벽하게 선형적으로 변화하는 주파

수 신호를 얻기가 힘들기 때문에, 대부분 비선형적인 주파수 변화 특성을 가지고 있다. 그림 2와 같이 주파수 변화가 비선형적인 경우에는 비트 주파수가 일정하지 않고 계속 변화하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 주파수 변화가 비선형적인 경우에는 비트 주파수의 불확실성으로 인해 표적의 거리를 정확하게 얻기가 힘들고 오차가 발생하게 된다. 본 논문에서는 보조 딜레이 구조를 추가적으로 사용하여 이와 같은 비선형성으로 인한 문제를 해결하고자 하였다.

## 2.2. 주파수 변화의 비선형성 보정 원리

그림 3은 비선형 주파수 변화의 문제점을 해결하기 위한 FMCW 레이저 거리측정기의 개념도를 보여준다. 그림에서 보듯이 기본 FMCW 레이저 거리측정기에서 보조 딜레이 구조 (Auxiliary Delay Structure)가 추가되었음을 알 수 있다. 보조 딜레이 구조는 신호 처리부의 Trigger 신호를 생성하기 위한 것이다. 이는 주파수 변화의 비선형성으로 인해 생기는 비트 주파수의 변화와 동일한 변화율을 가지는 신호를 신호처리부에서 Trigger 신호로 사용하여 샘플링 함으로 비선형 특성을 보정하고자 하는 것이다.

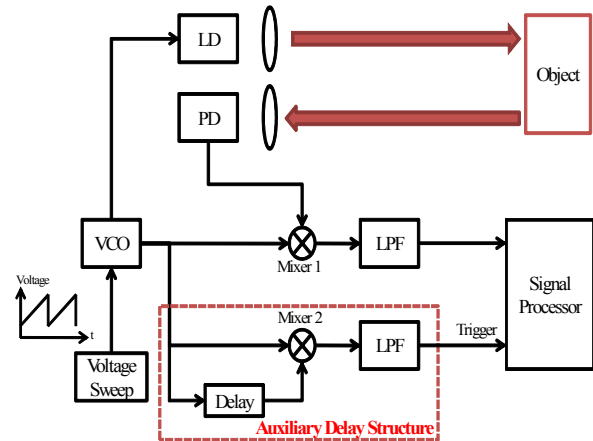


그림 3. 비선형 주파수 변화 보정을 위한 시스템 개념도  
Fig. 3. System configuration of laser range finder for correcting nonlinear frequency sweep

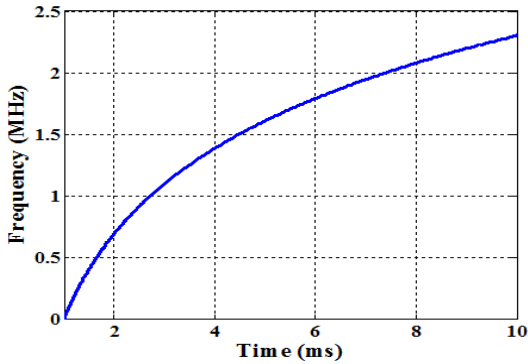


그림 4. 비선형 주파수 변화 모델  
Fig. 4. Nonlinear frequency sweep model

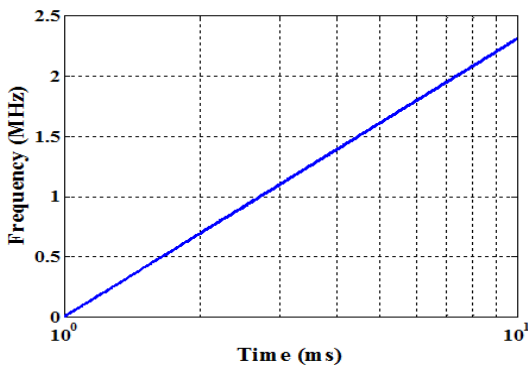


그림 5. 비선형 샘플링 주기로 인한 주파수 선형화  
Fig. 5. Frequency linearization using nonlinear sampling rate

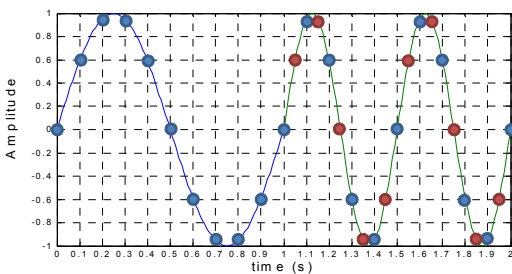


그림 6. 주파수 검출 시 샘플링 주기의 영향  
Fig. 6. Sampling rate effect on the frequency detection

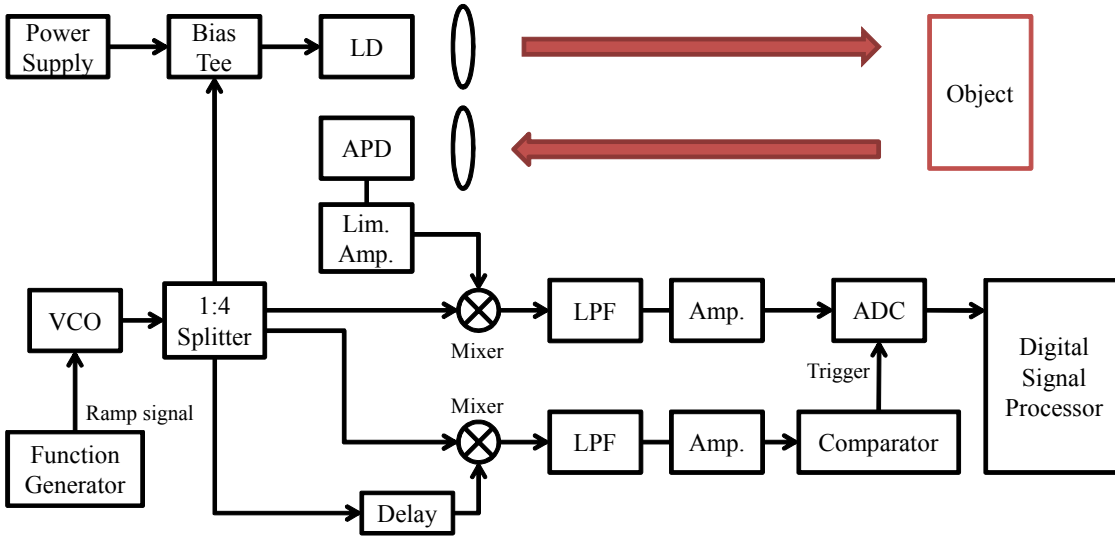
그림 4는 주파수 변화가 비선형적일 경우의 모델을 보여주고 있으며, 그림 5는 그림 4의 비선형 신호를 동일한 비선형성을 가지고 샘플링을 한 결과를 보여준다. 그림 5에서 보듯이 시간 축에서 동일한 비선형성을 가지고 샘플링을 하게 되면 주파수 변화가 선형적으로 나타나게 된다는 것을 알 수 있다. 그림 6은 처음 1초 동안은 1 Hz의 신호를, 다음 1초 동안은 주파수가 변화하여 2 Hz의 신호를 생성한 것이다. 이 신호를 신호의 변화에 따라 처음

1초는 0.1초 간격으로 샘플링을 하지만 다음 1초는 0.05초 간격으로 샘플링을 할 경우, 시스템은 주파수의 변화를 인지하지 못하고 계속해서 동일한 1 Hz의 신호가 들어오고 있다고 판단하게 된다. 즉, 시스템에 입력되는 신호의 주파수가 변화하더라도 주파수 변화율에 맞추어서 샘플링 주기를 변화시키면 시스템은 동일한 주파수로 인지를 하는 것이다. 다시 말해, 비선형성으로 인해 비트 신호의 주파수가 계속 변하고 있더라도 비트 신호의 주파수와 동일한 변화율을 가지는 신호를 생성하여 비트 신호를 샘플링을 하게 되면 원 신호가 가지고 있는 비선형성을 보정할 수 있는 것이다. 이에 대한 성능을 검증하기 위하여 실제 실험을 수행하여 보았다.

### III. 실험 구성 및 결과

그림 7은 제안한 FMCW 레이저 거리측정기의 실험 셋업을 보여준다. Function Generator에서 Ramp 신호를 생성하여 VCO의 입력으로 넣어주면 VCO는 입력된 Ramp 신호에 따라서 주파수가 변화하는 신호를 출력하고 출력된 신호는 Bias Tee를 통해 LD(Laser Diode)의 출력 광을 변조시킨다. 표적을 맞고 반사된 광 신호는 APD(Avalanche Photo Diode)를 통해 전기 신호로 변환되어 Splitter를 통해 분배된 VCO의 출력신호와 믹스되어 비트 주파수의 신호를 생성 후, ADC의 입력 신호로 전달된다. ADC의 샘플링은 내부 Clock을 사용하지 않고, 보조 딜레이 구조를 통해 생성된 Trigger 신호에 맞추어서 샘플링을 하였다. VCO의 출력이 비선형적일 경우, ADC에 입력되는 비트 신호의 주파수가 계속 변화하지만, 동일한 변화율을 가지는 Trigger 신호로 샘플링을 하기 때문에 비선형 특성을 보완하고 일정한 주파수를 얻을 수 있다. 그림 8은 LD에 변조되는 기준 신호인 VCO의 출력 신호의 주파수 범위를 보여 준다.

그림 8에서 보듯이, 20 KHz의 Repetition Rate로 4 V를 움직이는 Ramp 신호를 VCO에 입력으로 주었을 때, VCO의 출력 주파수 범위는 295 MHz - 495 MHz로 200 MHz의 주파수 변화 폭을 가지고 있음을 알 수 있다. 제안된 비선형 보정 기술을 적용하기 전, 위 기준 신호를 표적에서 반사된 신호와 함께 Mixer를 통과시켜 생성된 비트 주파수 신호를 확인하여 보았을 때, 그림 9와 같은 결과를 얻을 수 있었다.



LD: Laser diode, APD: Avalanche photo diode, Lim. Amp.: Limiting amplifier, Amp.: Amplifier, VCO: Voltage controlled oscillator, LPF: Low pass filter, ADC: Analog to digital convertor

그림 7. 실험 셋업  
Fig. 7. Experimental set-up

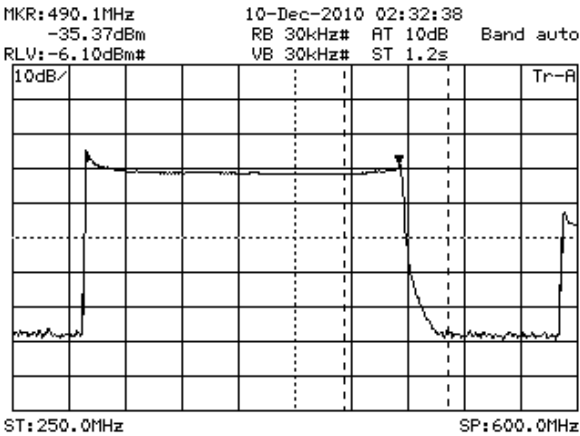


그림 8. VCO의 주파수 변화 폭  
Fig. 8. Frequency sweep range of VCO

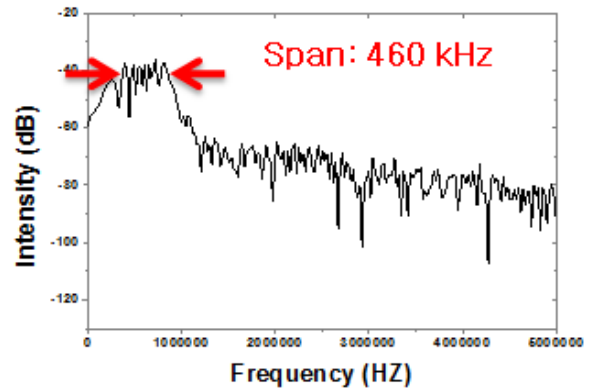


그림 10. 비선형 보정 전의 주파수 축에서의 비트 신호  
Fig. 10. Beat signal before correcting nonlinearity in frequency domain

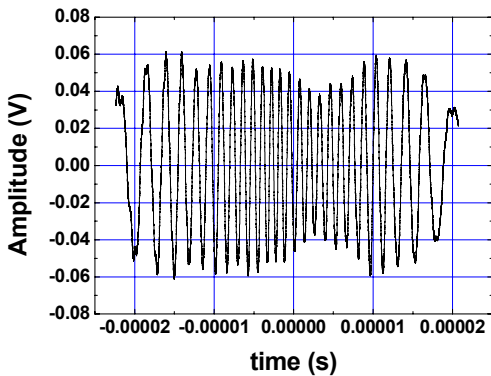


그림 9. 비선형 보정 전의 시간 축에서의 비트 신호  
Fig. 9. Beat signal before correcting nonlinearity in time domain

그림 9는 12.93 m 의 거리에 있는 표적을 측정 하였을 때 입력되는 비트 주파수 신호를 일정한 시간 간격으로 샘플링을 하여 얻어진 결과를 시간 영역에서 확인을 한 것이다. 그림 9에서 보듯이, 신호의 주파수가 높아졌다가 다시 낮아졌음을 볼 수 있다. 이것은 VCO의 출력 주파수가 선형적이지 않기 때문에 생기는 현상이다. 보다 명확히 확인하기 위해서 FFT(Fast Fourier Transform) 수행 후 주파수 영역에서 신호를 확인해 보았고, 그 결과를 그림 10에서 보여주고 있다. 그림 10에서 보듯이, 주파수 영역에서도 비트 신호의 주파수 범위가 약 460 KHz로 넓기 때문에, 정확한 비트 주파수를 얻기가

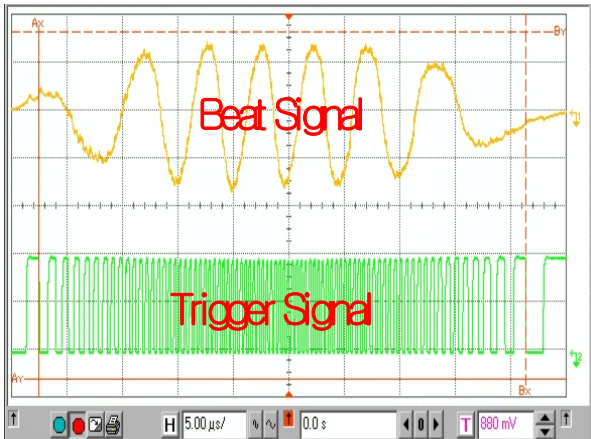


그림 11. 오실로스코프로 측정한 비트 신호와 Trigger 신호  
Fig. 11. Beat signal and trigger signal measured by an oscilloscope

어려움을 볼 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서 보조 딜레이 구조를 통해 생성되는 신호를 비트 신호 추출을 위한 ADC의 샘플링 Trigger로 사용하여 비선형성을 보정하고자 하였다. 그림 11은 비트 신호와 Trigger 신호를 오실로스코프를 통해 확인해 본 것이다.

그림 11에서 보듯이 비트 신호와 Trigger 신호는 동일한 변화율로 주파수가 변화하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 Trigger 신호의 Falling Edge 때마다 비트 신호를 추출하여 디지털 신호로 변환하면 비트 신호를 선형적으로 만들 수 있으며, FFT를 통해 선형화된 신호의 비트 주파수를 추출할 수 있다. 이와 같은 비선형 보완 기술을 그림 9에서 보여준 동일한 신호에 적용하여 보았고, 다음 그림 12는 그 결과를 보여준다.

그림 12에서 보듯이, 외부에서 보조 딜레이 구조를 통해 생성되는 신호를 Trigger로 사용하여 샘플링을 하였을 때, 비트 신호의 주파수가 변화 없이 일정하게 나오고 있음을 볼 수 있다. 그림 13은 주파수 영역에서 비트 주파수를 확인하기 위해 FFT를 수행한 결과이다. 그림에서 보듯이, 주파수 영역에서 정확하게 비트 주파수를 확인할 수 있었으며, 측정 결과 비트 주파수는 580.14 kHz 임을 알 수 있었고, 식 (1)을 이용하여 얻어진 표적의 거리는 12.85 m로 실제 거리와 0.08 m의 오차만이 발생함을 확인할 수 있었다. 즉, 비트 신호의 주파수 변화와 동일한 변화율을 가지는 신호를 이용하여 비트 신호를 샘플링을 할 경우, 비트 신호의 비선형 특성이 보정되어 정확한 거리 측정이 가능함을 알 수 있다.

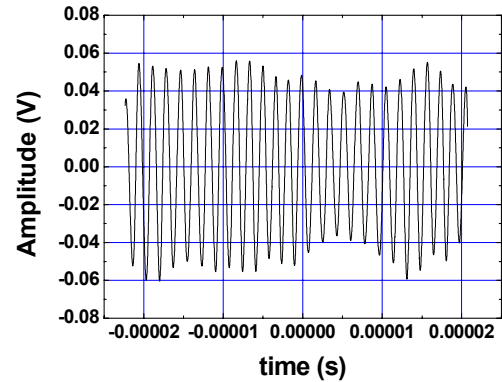


그림 12. 비선형 보정 후의 시간 축에서의 비트 신호  
Fig. 12. Beat signal after correcting nonlinearity in time domain

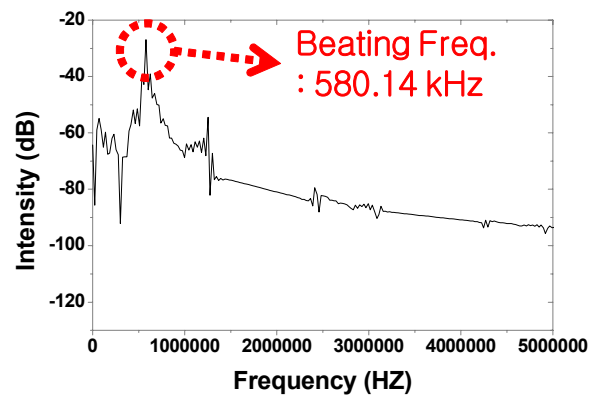


그림 13. 비선형 보정 후의 주파수 축에서의 비트 신호  
Fig. 13. Beat signal after correcting nonlinearity in frequency domain

#### IV. 결 론

본 논문에서는 FMCW 레이저 거리 측정기에 서 주파수 변화의 비선형성으로 인한 정확도 저하의 문제를 해결하기 위해 보조 딜레이 구조를 사용하였다. 주파수 변화의 비선형성으로 인해 거리 정보를 가진 비트 신호의 주파수가 일정하지 않고 변화하게 되고, 그에 따라 정확한 거리 측정에 문제가 발생하게 된다. 본 논문에서는 보조 딜레이 구조를 사용함으로써, 비트 신호의 주파수와 동일한 변화율을 가지는 Trigger 신호를 생성하였고, 이 신호를 비트 신호 변환을 위한 ADC의 샘플링에 이용하여 비선형성을 보정할 수 있었다. 제안한 비선형 보정 기술 검증을 위해 실제 실험 셋업을 구성하였으며, 12.93 m 거리에 있는 표적을 측정하였을 때, 비트 신호의 주파수가 정확하게 측정이 되었고 약 0.08 m의 오차가 발생됨을 확인할 수 있었다.



References

- [1] D. C. Carmer and L. M. Peterson, "Laser radar in robotics," *Proc. IEEE*, vol. 84, no. 2, pp. 299-320, Feb. 1996.
- [2] R. Baribeau, M. Rioux, and G. Godin, "Color reflectance modeling using a polychromatic laser range sensor," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 14, no. 2, pp. 263-269, Feb. 1992.
- [3] P. Palojarvi, K. Määttä, and J. Kostamovaara, "Pulsed time of flight laser radar module with millimeter level accuracy using full custom receiver and TDC ASICs," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 51, no. 5, pp. 1102-1108, Oct. 2002.
- [4] S. Poujouly and B. Journet, "Laser range-finding by phase-shift measurement: moving toward smart systems," *Proc. SPIE*, vol. 4189, pp. 152-160, Boston, MA, USA, Nov. 2000.
- [5] B. Journet and G. Bazin, "A low-cost laser range finder based on an FMCW-like method," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 49, no. 4, pp. 840-843, Aug. 2000.
- [6] M.-C. Amann, T. Bosch, R. Myllyla, and M. Rioux, "Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement," *Opt. Eng.*, vol. 40, no. 1, pp. 10-19, Jan. 2001.
- [7] A. G. Stove, "Linear FMCW radar techniques," *IEE Proc. F (Radar Signal Process.)*, vol. 139, no. 5, pp. 343-350, Oct. 1992.
- [8] S.-Y. Jung, C.-S. Park, M. Jung, and S. R. Lee, "A study on the suppression of nonlinear frequency sweep in FMCW laser range sensor systems," in *Proc. KICS Conf. Commun. 2012*, pp. 178-179, Jeju Island, Korea, June 2012.
- [9] G.-S. Kang and Y.-H. Kim, "A study on the development of signal processing system of 77GHz FMCW automotive radar," *J. KICS*, vol. 17, no. 2, pp. 722-726, Jan. 1998.
- [10] D. A. Williams, "A highly linearised mm-wave voltage controlled oscillator for FMCW radar applications," *IEE Colloq. Solid State Compon. Radar*, pp. 601-615, Feb. 1988.
- [11] H.-G. Park, B. Kim, and Y.-S. Kim, "VCO nonlinearity correction scheme for a wideband FM-CW radar," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 25, no. 4, pp. 266-269, May 2000.
- [12] T. Musch, I. Rolfes, and B. Schiek, "A highly linear frequency ramp generator based on a fractional divider phase-locked-loop," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 48, no. 2, pp. 634-637, Apr. 1999.
- [13] M. Pichler, A. Stelzer, P. Gulden, C. Seisenberger, and M. Vossiek, "Frequency sweep linearization for FMCW sensors with high measurement rate," *2005 IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Digest*, pp. 1693-1696, June 2005.
- [14] S. Scheiblhofer, S. Schuster, and A. Stelzer, "Signal model and linearization for nonlinear chirps in FMCW radar SAW-ID tag request," *IEEE Trans. Microw. Theory*, vol. 54, no. 4, pp. 1477-1483, Apr. 2006.

정수용 (Soo-Yong Jung)



2006년 2월 한동대학교 전산  
전자공학과 학사  
2008년 2월 광주과학기술원  
정보통신공학과 석사  
2008년 3월~현재 광주과학기술원  
정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 광센서, 가시광 통신, 위치인식시스템

이성로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 고려대학교 전자  
공학과 공학사  
1990년 2월 한국과학기술원  
전기및전자공학과 공학석사  
1996년 8월 한국과학기술원  
전기및전자공학과 공학박사  
1997년 9월~현재 목포대학교  
공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템

정 민 아 (Min A Jeong)



1994년 2월 전남대학교 전산  
통계학과 석사

2002년 2월 전남대학교 전산  
통계학과 박사

2005년 3월~현재 목포대학교  
컴퓨터공학과 부교수

<관심분야> 데이터베이스/데이  
터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야  
(RFID, USN, 텔레매틱스), 임베디드시스템

박 창 수 (Chang-Soo Park)



1979년 2월 한양대학교 전자공  
학과 학사

1981년 2월 서울대학교 전기공  
학과 석사

1990년 12월 Texas A&M  
University 박사

1982~1987 ETRI 선임연구원

1991~2000: ETRI 수석 연구원

2000~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 교수

<관심분야> WDM-PON, OCDM-PON, Optical  
Network, RoF