한국마린엔지니어링학회지 제36권 제4호, pp. 504～511, 2012. 5 (ISSN 2234-8352(Online) / ISSN 2234-7925(Print))
Journal of the Korean Society of Marine Engineering http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.4.504

Zoom FFT를 이용한 정밀 레벨 측정 장치의 구현

지석준[1] · 이준탁†

(원고접수일 : 2012년 3월 7일, 원고수정일: 2012년 4월 26일, 심사완료일 : 2012년 5월 15일)

Implementation of Precise Level Measurement Device using Zoom FFT

Suk-Joon Ji[1] · John-Tark Lee†

요 약 : 본 연구에서는 FMCW타입의 레이더 레벨 트랜스미터의 송·수신 신호간 주파수 차인 비트 주파수를 이용한 레벨 측정 장치를 구현하고자 한다. 레벨 정보를 나타내는 비트 주파수는 FFT(Fast Fourier Transform)과정을 통해 해석되며, 주파수 정밀도를 향상시키기 위해 Zoom FFT 기법을 적용하였다. Zoom FFT는 신호 처리 장치의 설계 초기에 결정되는 샘플링 주파수나 샘플링 데이터 수를 변경하지 않고도 주파수 분해능을 개선할 수 있는 장점을 가지며, Zoom FFT를 적용함으로써 146.5[mm]이던 거리 분해능을 5[mm]의 거리 분해능으로 크게 개선하였다. 또한, 스플라인 보간법을 활용하여 FFT point 수를 늘임으로써 레벨 측정 오차를 개선할 수 있었다. Zoom FFT를 적용한 거리 측정 방식의 유효성을 검증하기 위하여 1[mm] 단위로 거리 조정이 가능한 실험 장치를 제작하였으며, 실험을 통해 700～2,000[mm]의 거리에서 ±2[mm] 이내의 측정 오차로 정밀 측정이 가능함을 확인하였다.
주제어 : FMCW 레이더, 비트 주파수, Zoom FFT, 데시메이션 필터, 스플라인 보간법

Abstract: In this paper, level instrument is implemented using beat frequency for distance measurement which means the difference between Tx and Rx signal frequency from FMCW Radar Level Transmitter. Beat frequency is analyzed through Fast Fourier Transform of which frequency precision can be improved by applying Zoom FFT. Distance precision is improved from 146.5[mm] to 5[mm] using the advantage of Zoom FFT which can raise the frequency precision without changing the sampling frequency or FFT point number to be fixed in the beginning of designing signal processing. Also, measurement error can be reduced within 2[mm] by incresing the FFT points using the method of Spline interpolation.For verifying the effectiveness of this Zoom FFT to FMCW Radar Level Transmitter, test bench is made to measure the distance for every 1[mm] between 700[mm] and 2000[mm] and measurement error can be checked in the range of ±2[mm].
Key words: FMCW Radar, Beat frequency, Zoom FFT, Decimation filter, Spline interpolation

1. 서 론

Radar(Radio Detection And Range)방식의 거리 측정법은 1864년 맥스웰의 전자기 이론으로 라디오파의 존재가 예견된 이후, 제2차 세계대전을 계기로 군사적인 목적으로 활용됨에 따라 급속히 발전하였다[1]. 연속파(Continuous Wave)타입 레이더는 자동문 감지, 자동차 속도측정과 같이 흔히 접할 수 있는 일상 분야 뿐 만 아니라 항공 교통 제어, 선박분야, 기상분야 등 그 활용분야가 다양하다. 특히, 비교적 짧은 거리의 측정에 사용되는 주파수 변조방식의 연속파(Frequency Modulated Continuous Wave, FMCW) 타입 레이더는 하천의 수문 관측을 위한 수위계 또는 유조선, 화학 운반선의 화물탱크(Cargo tank)의 레벨측정에 이용된다[2-3].

† 교신저자(동아대학교 전기공학과, E-mail:jtlee@dau.ac.kr, Tel: 051-200-7740)
1 한라IMS(주) 대표이사

일반적으로 선박의 화물탱크용 레벨 측정은 외란으로 인한 측정오차를 감쇄시키기 위해 일정시간 동안 레벨 측정치를 평균하는 방법 또는 임계값을 설정하여 돌발적인 값을 상쇄시키는 방법 등을 적용하지만, 보다 정밀한 거리측정을 위해서는 신뢰도 높은 계측 방법이 요구된다. 본 연구에서 제안한 FMCW타입의 레이더 레벨 트랜스미터는 송수신 신호의 주파수 차인 비트 주파수(Beat Frequency)를 이용하여 거리를 측정하는데, 이를 분석하는 과정에서 주파수 편이폭, 샘플링 주파수 및 샘플링 데이터 수와 같은 주요 변수에 의한 오차가 필연적으로 발생하며, 매질의 유전율에 따른 마이크로웨이브의 반사율 및 전송속도의 차이로 인한 측정오차가 발생할 수 있으므로, 측정 장치 및 측정 환경을 고려한 측정법이 요구된다[1,3-4].

본 연구에서는 FMCW타입의 레이더 레벨 트랜스미터를 사용한 화물 탱크의 레벨 측정시 샘플링 주파수 및 샘플링 데이터 수에 의해 발생하는 오차를 해결하기 위해 Zoom FFT 기법을 적용하였고, 알고리즘의 유효성을 검증하기 위해 테스트벤치를 이용하여 실험을 수행하였다. Zoom FFT 기법은 설계 초기에 결정되는 신호처리부의 샘플링 주파수와 샘플링 수를 변경시키지 않고도 원하는 주파수 분해능을 얻을 수 있다. 또한, FFT 알고리즘이 가지는 특성상 입력신호수가 증가할수록 주파수 측정 오차가 줄어드는 특성이 있기 때문에, 입력신호의 FFT point 수를 늘이기 위해 추가적인 데이터 샘플링 없이 스플라인(Spline) 보간법을 적용함으로써 측정 오차를 개선하고자 하였다.

2. 관련 연구 및 기술

2.1 FMCW Radar 시스템

Figure 1은 일반적인 FMCW타입 레이더의 시스템 블록도이다.

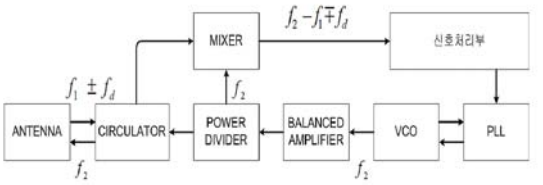

Figure 1: Block diagram of traditional FMCW radar system.

전압을 가변하여 얻어진 시변 주파수 신호는 평형 증폭기를 거쳐 안테나를 통해 전송된다. 일반적인 FMCW 레이더 시스템은 단일 안테나를 사용하기 때문에 목표물에서 반사된 신호도 동일한 안테나를 통해 수신되며, 서큘레이터를 통해 믹서로 입력된다. 믹서를 통해 신호처리부로 입력된 신호는 송신신호와 수신신호의 주파수 차이인 비트 주파수 신호로서 신호처리부에서는 비트 주파수를 이용하여 거리를 산출하게 된다[4-5]. 송신신호 f_2를 목표물을 향해 보냈다면 되돌아오는 신호는 $f_1 \pm f_d$가 된다. 여기서 '+'기호는 목표물이 레이더를 향하여 가까워지고 있음을 나타내며 '-'기호는 목표물이 레이더로부터 멀어지고 있음을 나타낸다. 유량 레벨 측정용 레이더의 개발을 목표로 하는 본 연구에서는 측정 레벨의 변화속도를 무시할 수 있으므로 목표물이 정지한 경우만을 다루며 도플러 주파수 천이 f_d는 '0'으로 볼 수 있다[6].

2.2 거리 측정 원리

FMCW타입 레이더의 거리 측정 방식은 Figure 2와 같이 시간에 따라 주파수가 변하는 송신신호와 목표물로부터 반사되어 되돌아오는 수신신호 사이의 비트 주파수를 이용한다.[1]

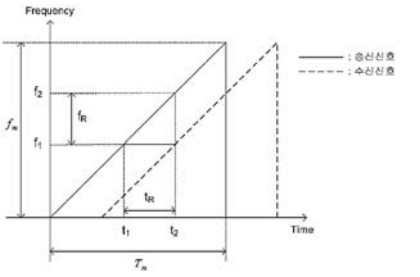

Figure 2(a): Tx/Rx frequency of FMCW radar.

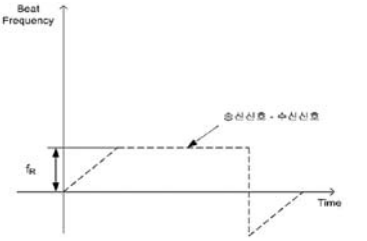

Figure 2(b): Beat frequency of Tx signal and Rx signal (f_R).

Figure 2(a)에서 보듯이 송신신호는 목표물로부터 $t_R = 2R/c$ 또는 $t_2 - t_1$ 시간이 경과된 후에 점선으로 표시된 신호로 수신된다. 여기서, R은 안테나에서 물체까지의 거리[m]이고, c는 광속 $3\times10^8[m/s]$이다. t_2 시점에서 레이더로부터 송신되는 신호와 수신되는 신호는 믹서를 거쳐 두 신호의 비트 주파수 f_R을 갖는 신호로 변환된다.

$$f_R = f_2 - f_1 \tag{1}$$

Figure 2(a)에서 사선으로 표시된 주파수 변화율은 삼각형의 기울기와 같으며 식 (2)와 같다.

$$\acute{f} = \frac{f_2 - f_1}{t_2 - t_1} = \frac{f_R}{t_R} \tag{2}$$

주파수변화율은 변조율로부터도 계산되어질 수 있다. Figure 2(a)에서 변조주기 T_m동안에 f_m의 주파수가 변화하므로 주파수변화율은 식 (3)과 같다.

$$\acute{f} = \frac{f_m}{T_m} \tag{3}$$

여기서, f_m은 변조주파수 대역폭, T_m은 변조주기이다. 식 (2)에서 $f_R = \acute{f} \cdot t_R$이다. 여기에 식 (3)을 대입하면 다음과 같다.

$$f_R = t_R \cdot \acute{f} = \frac{f_m}{T_m} \cdot t_R \tag{4}$$

식 (4)에서 t_R은 전자파가 빛의 속도로 목표물까지 왕복하는 시간이므로 $t_R = 2R/c$이 되며 이를 식 (4)에 대입하여 R에 관한 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$R = \frac{c \cdot T_m \cdot f_R}{2 \cdot f_m} \tag{5}$$

식 (5)에서 f_m과 T_m은 시스템 설계 시에 결정되고 c는 상수이므로 거리정보 R은 t_2 시점에 송신신호와 수신신호의 비트 주파수 f_R을 측정함으로서 구할 수 있다. R과 f_R이 비례하므로 거리가 멀어질수록 비트 주파수 차이가 커짐을 알 수 있다.

2.3 정밀 거리 측정 알고리즘

본 논문에서는 거리측정을 위해 AD 컨버터의 성능 및 DSP 장치의 메모리를 고려하여 샘플링 주파수 f_s가 10[kHz], 샘플링 데이터 수 N이 1,024개인 비트 주파수 신호를 사용한다. 비트 주파수 신호의 주파수특성을 분석하기 위해 FFT를 수행하는 경우, FFT의 1 point당 주파수 정밀도는 9.765[Hz]이며, 식 (5)를 통해 레벨의 거리분해능R_{res}을 구하면 식 (6)과 같다.

$$R_{res} = \frac{3\times10^8 \times 102.4\times10^{-3}}{2\times1.024\times10^9} \times 9.765 = 146.5[\mathrm{mm}] \tag{6}$$

레벨의 거리분해능이 146.5[mm]인 계측장치는 현실적으로 적용하기가 어렵기 때문에 분해능을 개선할 필요가 있다. 주파수 분해능은 f_s/N이므로, 주파수 분해능을 높이기 위해서는 f_s를 낮추던지 N을 늘여야 하나, 샘플링 주기가 길어져 신호처리 과정을 재설계해야 하는 문제가 생길 수 있다.

본 연구에서는 FMCW 레이더의 거리분해능을 상용화 가능한 수준인 5[mm] 이내로 개선하기 위하여 원하는 구간을 정밀하게 분석할 수 있는 Zoom FFT 기법을 사용한 고정밀 탱크레벨 계측장치를 구현하고자 한다. 또한, 스플라인 보간법을 이용하여 입력 데이터수를 증가시킴으로써 Zoom FFT의 측정 오차를 개선하고자 한다.

2.3.1 Zoom FFT 원리

Zoom FFT기법은 특정 주파수 대역에서 주파수 정보를 정확하게 분석할 수 있는 특정 주파수 대역 확장 기법이다. Figure 3은 Zoom FFT의 처리 과정을 간략하게 나타내었다[7].

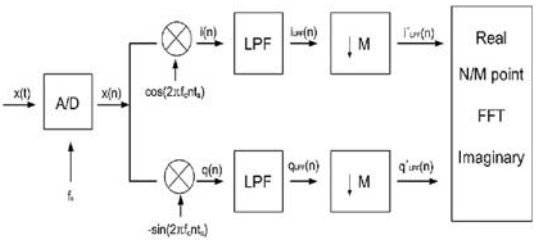

Figure 3: The Process of Zoom FFT.

Zoom FFT 과정은 첫 번째 샘플링 된 값을 I채널과 Q채널로 분류하기 위해 식 (7)에서 보듯이 $\cos(2\pi f_c n t_s)$와 $-\sin(2\pi f_c n t_s)$를 곱한다.

$$\mathrm{i(n)} = \mathrm{x(n)}\cos(2\pi f_c n t) \tag{7}$$

$$\mathrm{q(n)} = -\mathrm{x(n)}\sin(2\pi f_c n t)$$

여기서, f_c는 우리가 관심 있게 보고자 하는 주파수이다. 이때 $x(n)$에 cos함수와 $-\sin$함수를 곱하는 과정에서 생기는 이미지 주파수의 제거를 위하여 디지털 저역통과필터를 사용한다. 이미지 주파수가 제거된 신호는 데시메이션 요소인 M만큼 데시메이션을 하고, 데시메이션한 결과를 FFT 하면 Zoom FFT 과정이 끝나게 된다. Zoom FFT를 수행한 후 샘플링 주파수는 f_s/M, 샘플링 수는 N/M이 된다.

2.3.2 Zoom FFT를 이용한 레벨 계산 과정

Table 1에서는 FMCW 레이더 레벨트랜스미터에서 측정된 비트 주파수 신호를 사용하여 Zoom FFT 기법이 적용된 레벨 계산 과정을 나타내었다.

Table 1: The Procedure of Level Calculation of FMCW Radar.

단계		계산 과정
1단계		A/D 변환을 통하여 비트 주파수의 정보를 획득함.
2단계		10차 Spline Interpolation 실시함
3단계		주파수 분해능 $= \dfrac{Sampling\,Frequency}{FFT\ point}$ First FFT수행후 최대이득주파수인 f_{first}를 구함.
4단계	ZOOM FFT	$F_M = f_{first} - S_{factor}\quad (0 \leqq S_{factor} \leqq \Delta S)$ 단, S_{factor}는 설계 변수이며, ΔS는 시스템 설계자가 결정하는 범위로, 다음 제 4 단계의 LPF의 통과 대역에 의해 결정되며, 필터의 차단 주파수보다 작아야 함. 이번 단계에서는 F_M만큼 기저 대역으로 주파수를 이동시킴.
5단계		주파수가 이동된 f_{first}를 LPF 처리를 한 후, M차 Decimation을 시켜서 정보를 획득함.
6단계		제 5 단계에서 줄어든 데이터의 수만큼 0의 데이터를 삽입시키는 제로 패딩(zero padding)을 수행함.
7단계		주파수 분해능$= \dfrac{\text{샘플링주파수}/M}{FFT\ point}$ Second FFT수행후 최대이득 주파수인 f_{second}를 구함.
8단계		$f_{final} = f_{second} + F_M$
9단계		$Range = \dfrac{c \cdot T_m \cdot f_{final}}{2 \cdot f_m}$을 구함. 단, c는 빛의 속도, T_m는 주파수 변조 주기, f_m는 주파수 변조 대역폭임.

1 단계에서 AD Converter를 통해 수집된 비트 주파수 신호는 3단계 FFT 과정을 통해 비트 주파수 정보가 분석되며, FFT 기법의 측정 오차를 줄이기 위해 2 단계에서 스플라인 보간법을 적용하여 입력데이터 수를 증가시켰다. 4 단계에서는 비트 주파수 신호의 주파수 정보 중 자세히 보기 원하는 대역의 주파수 신호를 원신호에 곱하여 기저대역으로 이동시킨 후, 저역통과필터를 거쳐 M차 데시메이션을 수행한다. 데시메이션 요소인 M은 샘플링 주파수를 줄이는 주요 요소로서 거리분해능 5[mm]를 얻기 위해서는 적어도 32이상으로 설정해야 하나, 비트 주파수가 47~133[Hz]구간에서 발생하므로 샘플링 주파수가 비트 주파수의 적어도 2배 이상이 되도록 M을 설정한다. 또한, 데시메이션 필터 과정에서 샘플링 데이터의 수도 $FFT\,Point/M$ 만큼 줄어들기 때문에 6 단계에서 제로 패딩(Zero Padding)이라는 과정을 통해 줄어든 데이터 수만큼 '0'을 삽입한다. 따라서, 데시메이션 필터와 제로 패딩을 적용한 후 샘플링 주파수는 7 단계의 계산식에 의해 3,125[Hz]가 되며, Second FFT를 수행한 후 주파수 분해능 f_{res}은 식 (8)과 같이 기존의 9.765[Hz]에서 0.305[Hz]로 개선된다.

$$f_{res} = \frac{\text{Sampling Frequency}}{\text{FFT Point}} = \frac{3{,}125}{10{,}240} = 0.305[\mathrm{Hz}] \tag{8}$$

주파수 분해능이 개선됨에 따라 식 (9)와 같이 거리 분해능도 4.575[mm]가 되어 설계 사양으로 제시한 ±5[mm]이내의 거리 정밀도를 만족하게 된다.

$$R_{res} = \frac{3\times10^8\times102.4\times10^{-3}}{2\times1.024\times10^9}\times0.305 = 4.575[\mathrm{mm}] \tag{9}$$

Table 2는 레벨 계산 과정에서 단계별 주요 파라미터 값을 나타내었다.

Table 2: Main Parameter Values in Each Step.

단계	N [point]	f_s [Hz]	f_{res} [Hz]	R_{res} [mm]
ADC	1,024	10,000	-	-
Spline 보간	10,240	100,000	-	-
First FFT	10,240	100,000	9.765	146.5
Modulation	10,240	100,000	-	-
Decimation (M=32)	320	3,125	-	-
Zero Padding	10,240	3,125	-	-
Second FFT	10,240	3,125	0.3051	4.575

2.4 실험

본 연구에서는 FMCW 타입의 레이더 레벨 트랜스미터를 제작하여 실험을 수행하였다. 제작한 레이더 레벨 트랜스미터의 시스템 구성도와 사양은 Figure 4와 Table 3과 같다[8].

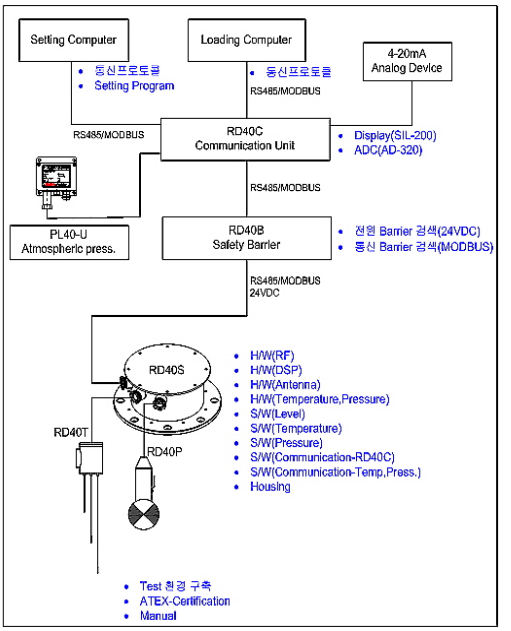

Figure 4: The Structure of FMCW Radar Level Transmitter System.

Table 3: The Specification of FMCW Radar Level Transmitter.

항목	범위
Operating Frequency	9.9 ~ 10.9 [GHz]
Antenna Aperture Angle	10 °
Output Power	-5 ~ 0 [dBm]
안테나이득	20dBi
Measuring Range	700~ 2,000 [mm]
Sampling Data	1,024개
Sampling frequency	10,000 [Hz]
주파수 Sweep 주기(T_m)	102.4 [msec]

주요사양으로는 제작이 간편하고 부착이 용이한 패치방식의 안테나를 사용하였고 안테나의 반전력 빔폭은 10 °, 이득은 약 20dBi, 선형편파를 사용하였다. 또한, 신호처리장치의 성능을 고려하여 샘플링 주파수는 10,000Hz, 샘플링 데이터 수는 1024개, 9.9~10.9GHz까지 편이시간은 102.4msec이다.

개발된 FMCW 타입의 레이더 레벨 트랜스미터의 정확도를 측정하기 위하여 **Figure 5**와 같이 1[mm] 단위로 거리 조정이 가능한 테스트 벤치를 제작하여 700~2,000[mm]까지 거리를 조정해가며 실험을 수행하였다.

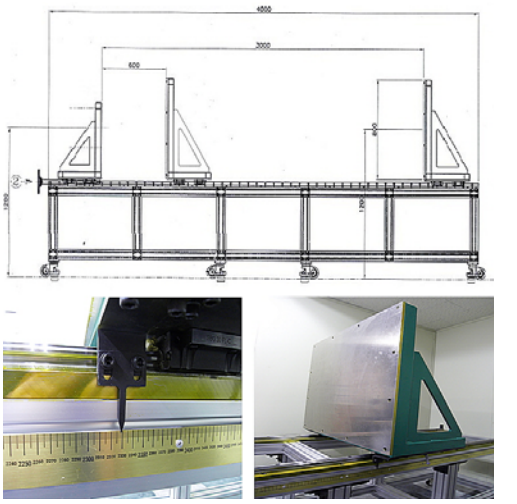

Figure 5: The Test Bench for Distance Measurement.

먼저, 측정 레벨이 700[mm]일 때 Zoom FFT 과정을 살펴보기로 한다. 측정레벨이 700[mm]인 비트 주파수 신호는 Figure 6과 같이 노이즈가 포함된 왜곡된 형태의 정현파 신호로 나타난다.

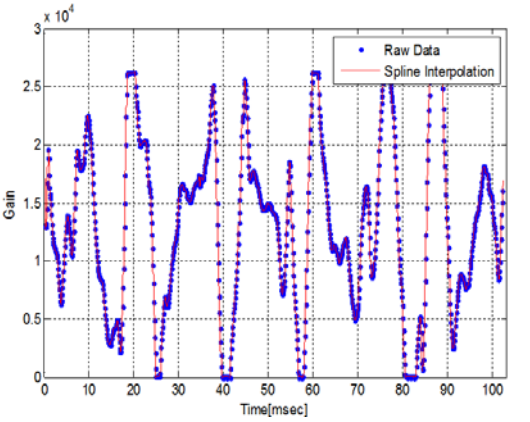

Figure 6: The Original Signal with Beat Frequency.

Figure 6에서 기호'•'는 ADC를 통해 수집된 비트 주파수 신호를 나타내고, 실선은 스플라인 보간법을 통해 데이터 수가 10배 증가된 신호이다. 이를 Table 1에서 언급한 Zoom FFT의 절차에 따라 보간된 비트 주파수 신호를 변조시킨 후 신호의 주파수 특성을 살펴보면 Figure 7과 같다.

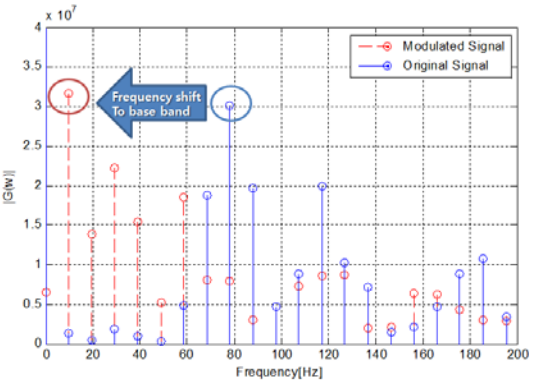

Figure 7: The Orignal Signal and Modulated Signal with Beat Frequency in Frequency Domain.

Figure 7에서 변조 신호의 주파수 성분이 기저 대역으로 이동하였음을 확인할 수 있었고, 저역통과 필터를 통해 변조 신호에 포함된 이미지 신호를 제거하고 재샘플링을 위해 Figure 8과 같이 32차 데시메이션을 실시하였다.

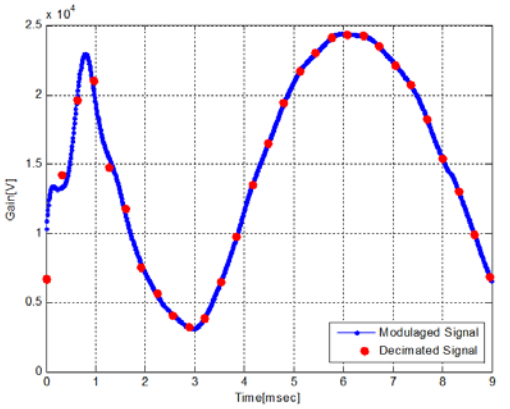

Figure 8: The Modulated Signal applying Decimation Filter.

32차 데시메이션 필터 적용 후 f_s는 낮추어졌으나 데이터 수도 함께 감소하여 제로 패딩을 통해 데이터수를 10,240개로 맞춰 Second FFT를 실시하였고 그 결과는 Figure 9와 같다.

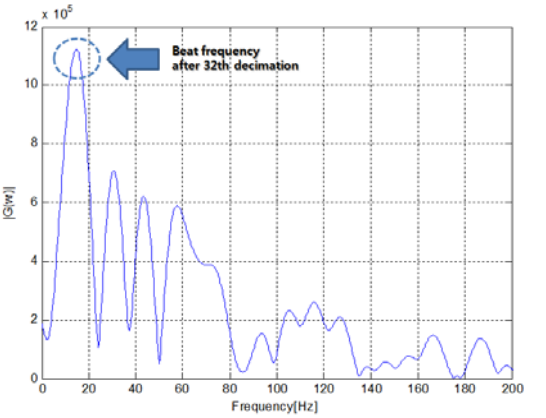

Figure 9: The Characteristic of Frequency after 32th Decimation of Modulated Signal.

Figure 9에서 나타난 주파수 특성은 Figure 7의 주파수 특성보다 32배 개선된 0.3051[Hz]의 주파수 분해능을 가진다. Figure 9에서 최대 이득을 가지는 주파수인 f_{second}을 찾아 변조 주파수 F_M을 더해주면 최종적으로 원하는 비트 주파수를 얻을 수 있다. Figure 10은 700~2,000[mm] 사이의 거리를 측정한 결과를 나타낸다.

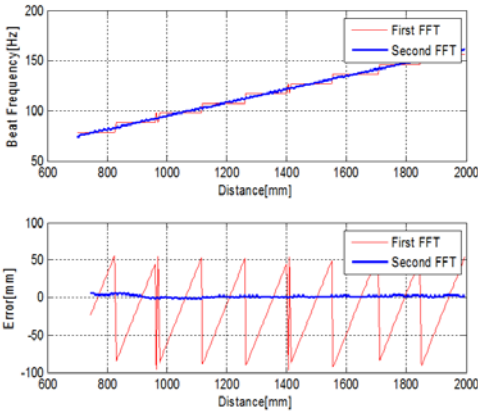

Figure 10: The Result of Distance Measurement in the range of 700~2,000[mm].

Figure 10에 따르면, Zoom FFT전 비트 주파수의 주파수 정밀도와 유수레벨 측정오차는 이론적으로 제시한 바와 같이 각각 9.765[Hz]와 146.5[mm]임을 확인할 수 있었으며, Zoom FFT를 적용하는 경우 주파수 분해능 및 측정오차가 개선됨을 확인하였다.

하지만, 비교적 가까운 거리인 700[mm]~900[mm]사이에서 오차가 상대적으로 큰 이유는 저주파 대역에서 상대적으로 크게 발생하는 신호 성분에 의한 것과 비트 주파수가 원거리에 비해 작아 좀 더 정밀한 주파수 분해능이 요구되기 때문이다 [4].

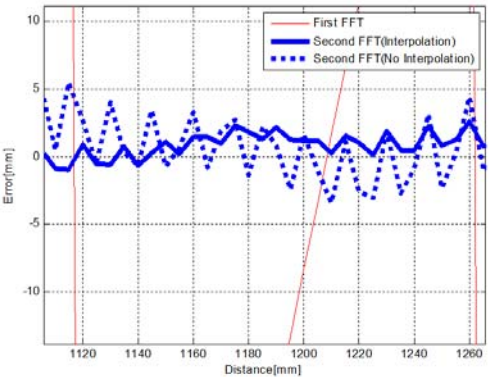

Figure 11: The Result of Distance Measurement between 1,120[mm] and 1,260[mm].

Figure 11은 1,120~1,280[mm]사이 거리 측정 결과를 확대해서 나타낸 것으로, 1,024개의 입력데이터를 사용한 경우 거리 측정값이 ±5[mm]부근의 오차 범위 내에서 측정 가능하였으나, 보간법을 사용하여 10,240개로 입력데이터를 증가시킨 경우 측정오차는 약 ±2[mm] 범위 내로 개선됨을 확인하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 FMCW 레이더를 이용한 거리 측정에서 Zoom FFT를 적용한 경우 측정 정밀도가 향상됨을 실험을 통해 확인하였다. 샘플링 주파수 및 샘플링 데이터수를 조정하지 않고 단지 Zoom FFT를 통해 거리 측정 분해능을 146.5[mm]에서 4.575[mm]로 향상하였고, ±5[mm]범위 내의 오차로 측정 가능하였다. 특히, 스플라인 보간법을 적용하여 입력데이터 수를 증가시켜 Zoom FFT를 수행한 경우 ±2[mm] 범위 내의 오차로 측정 가능하였는데, 이 결과는 기존의 연구에서 제시한 FMCW 레이더의 측정 정밀도 5[mm] 이내를 만족하며, 상용화 제품 중 고성능 FMCW 레이더 제품의 측정 정밀도인 3[mm]에도 만족한다. 다만, 비교적 근거리 측정에서 많은 오차가 발생하고 있는데 주요 원인이 되는 낮은 비트 주파수, echo 신호, 그리고 노이즈와 같은 측정 방해 요소에 대한 적극적인 대처방안이 필요할 것이다.

후 기

이 논문은 동아대학교 교내 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

[1] Peter Devine, Radar level measurement, The user guide, VEGA, 2000.

[2] 지석준, “조선산업에서의 레벨계측 기술의 개요”, 자동제어계측, 제23권, 제8호, pp. 12-26, 2010년 8월.

[3] 지석준, 김민준, “레디오 빔 방식 선박 화물유 유면레벨 측정시스템 개발 보고서”, 산업자원부, pp.27-34, 2008년 6월.

[4] 박동국, 한태경, 이현수, “거리 측정용 주파수 변조 연속파 레이더 개발에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회논문집, pp. 1005-1010, 2005년 6월.

[5] D. Brumbi, “Low Power Fmcw Radar System for Level Gaging”, IEEE MTT-S Digest International, vol.3, pp.1559-1562, 2000.

[6] M. Vossiek, T. V. Kerssenbrock, P. Heide, “Novel nonlinear FMCW radar for precise distance and velocity measurements”, IEEE MIT-S Digest International, pp511-514, Jun 1998.

[7] 박종연, 조계현, “특정 대역 신호의 주파수 성분 분석을 위한 ZOOF FFT 기법”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 3091-3093, 2000년 7월.

[8] 지석준, 이준탁, “선박 Cargo Tank의 수위측정을 위한 FMCW Radar type의 레벨트랜스미터”, 대

한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1754-1755, 2010년 7월.

저 자 소 개

지석준(地錫俊)

1977년 부산공업대학교 전기과 (공학사), 1997년 동아대학교 전기공학과(공학석사), 2000년 동아대학교 전기공학과 (박사수료), 1989년 - 현재 한라MS(주) 대표이사 관심분야: Tank Level Gauge, Tank Monitoring System, FMCW Radar, Fuzzy Theory

이준탁(李浚柝)

1979년 동아대학교 전기공학과(공학사), 1981년 동아대학교 전기공학과(공학석사), 1988년 중앙대학교 전기공학과 (공학박사), 1997년 - 1998년 Tsukuba University 객원교수 관심분야: Fuzzy Theory, Neuro-Science, GA and Intelligent Controller Design including stability Analysis