

## AOD/CCD를 이용한 합성개구면 레이다 처리기에 관한 연구

<sup>1</sup>正會員 朴棋煥\*    正會員 李泳勳\*\*    正會員 李龍國\*\*\*    正會員 殷在定\*\*\*\*    正會員 朴漢奎\*\*

### A Study on the Synthetic Aperture Radar Processor using AOD/CCD

Ki-hwan Park\*, Young-hun Lee\*\*, Young-gook Lee\*\*\*, Jae-jung Eun\*\*\*\*, Han-kyu Park\*\*

#### 要 約

본 논문에서 CW(Continuous Wave) 레이저를 광원으로 사용하고 음향 광 소자(Acousto-Optic Device:AOD)의 공간 적분이론 및 CCD(Charge Coupled Device)의 시간 적분이론을 이용하여 실 시간 처리가 가능한 합성 개구면 레이더(Synthetic Aperture Radar:SAR)처리기 시스템을 구현하였다<sup>(1,2,6,8)</sup>. 제안된 시스템의 장점은 구동회로가 요구되지 않는다.

제안된 SAR 처리기 시스템은 선형 주파수 변조 신호(chirp)를 레이더 신호로 사용하였으며, 단위 표적에 대한 수신 데이터는 1차원 데이터로서 Z-80 보드와 전자회로를 이용하여 제작하였다. 또한 CW레이저를 사용함에 따라 발생하는 chirp 초점화의 유동(smear)현상을 방지하기 위하여 AOD의 Bragg 회절 각도를 이용하여 광원을 펄스화하였으며, 제작한 chirp신호는 펄스와 동기를 맞추어 구성하였다.

구성된 SAR 처리기 시스템의 CCD에 검출되는 영상과 데이터를 실험 및 분석한 결과는 단위표적의 거리가 증가함에 따라 탐지효과 감소되었고, chirp 신호 대역폭의 증가에 따라 분해능력이 향상되었으며, 펄스폭의 감소에 따라 유동(smear)현상이 감소하였다. 따라서 본 논문에서 실험결과는 제안된 시스템을 실시간 처리 시스템으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

#### Abstract

In this thesis, a Synthetic Aperture Radar processor that is possible real-time handling is implemented using CW(Continuous Wave) laser as a light source, CCD(Charge Coupled Device) as a time integrator, and AOD(Acousto-Optic Device) as the space integrator. One of the advantages of the proposed system is that it does not require driving circuits of the light source.

\* 육군 제685부대 통신대대

\*\* 연세대학교  
Yonsei University

\*\*\* 신강 전문대학  
Shingju College  
新崗大學

\*\*\*\* Changwon University  
論文番號: 94154  
接受日字: 1994年 6月 15日

To implement the system, the linear frequency modulation(chirp) technique has been used for radar signal. The received data for the unit target was processed using Z 80 board and accompanying electronic circuits. In order to reduce the smear effect of the focused chirp signal which occurs Bragg diffraction angle of the AOD has been utilized to make sharp pulses of the laser source, and the pulse made synchronized with the chirp signal.

Experiment and analysis results of the data and images detected from CCD of the proposed SAR system demonstrated that detection effect is degraded as the unit target distance increases, and the resolving power is improved as the bandwidth of the chirp signal increases. Also, as the pulse width of the light source decreases, the smear effect has been reduced. The experimental results assured that the proposed system in this paper can be used as a real time SAR processor.

## I. 서 론

19세기 중반 이후부터 지표면에 대한 지역영상용 위성 Z특하기 위해 계속 노력해 왔으며, 최근 대기조건의 의존성을 극복하고 고 해상도의 분해능력을 얻기 위해 전자파를 이용한 합성 개구면 레이더(Synthetic Aperture Radar:SAR)가 연구되고 있다. SAR 개발이론은 1951년 Goodyear항공사의 Carl Wiley에 의해 도플러 주파수 분석으로 개선된 방위분해능(azimuth resolution)을 얻는 방법이 제시되어 군사 전략용으로 이용하였으며, 길프전에 동원된 첨단과학기술 정보장비 Larcross, JSTARS 및 TR-1기는 SAR를 탑재하고 있는 정보기로 야간 및 악천후에도 감시 및 정찰임무를 수행하여 주간과 동일한 영상정보를 수집할 수 있는 영상 레이더 체제로 발전하였다. 군사목적 이외에도 70년대 이후 SEASAT, SIR-A SIR-B, MOSI, RSADAR, SAT 등 위성 및 비행체에 탑재하여 해양표면의 기름 유출, 산림의 도벌, 재산피해파악 등의 환경감시목적, 토지의 이용도, 식물분포도 파악, 기형학적 운과 및 특정과악, 해양관측, 방산지도제작 및 항성연구분야 등 민간용, 과학용으로 이용하기 위하여 활발하게 연구되고 있다.<sup>[1,2,3]</sup>

SAR데이터 처리 방법에 있어서는 1957년 원추형 렌즈를 이용한 방법을 Cutrona가 제안하였으며, 이 후 원통형 렌즈를 공간 주파수 평면에서 비틀린 각도로 위치시켜 방위각(azimuth) 거리(range)를 얻어내는 방법이 제안되었다. 이 방법은 원추형 렌즈를 사용한 방법의 단점인 슬릿을 없애거나 크기를 넓게 함으로써 영상 처리 시간을 단축시킬 수 있었다.<sup>[4,5,7]</sup>

1982년 Kelvin은 실시간 처리가 가능하고 고 해상도의 분해능력을 얻기 위해 기존의 광 SAR 데이터 처리 장치를 개선하여 AOD/CCD를 이용한 소형, 경량, 직선력, 고 동작 특성을 얻을 수 있는 처리방법을 제시하였으며, 1984년에는 수신된 데이터를 2차원으로 만들어 처리하는 방법이 제시되었다.<sup>[6]</sup> 그러나 이러한 방법은 LD를 이용함에 따르는 구동회로 제작의 난점이 있다.

따라서 본 논문에서는 광의 병렬 처리능력과 반도체 광전 변환소자의 실시간 기록 능력을 이용하여 실시간 처리가 가능한 SAR 데이터 처리 방법을 고찰하며, 광원으로 기존의 LD를 사용한 것에 대해 CW 레이저를 이용한 데이터 처리 방법을 제시하고자 한다.

또한 SAR 처리기의 입력으로 사용될 1차원 SAR 수신 신호인 chirp 신호 생성회로를 설계 제작하고, 이를 바탕으로 단위 표적에 대한 SAR 처리기를 구현함으로써 그 성능 및 특성을 측정한다.

## II. SAR 신호

SAR 지형도는 그림 1과 같으며, 레이더를 탑재한 비행체는 일정한 고도에서 직선으로 정속 비행한다고 가정할 것으로 비행체의 경로  $\theta$  방향을 방위축,  $\xi$  방향을 거리축이라 표시한다. 이때 지표면의 목표물위치는 목표물이 레이더 빔의 중심에 있을 때의 비행체위치  $\theta_0$ 와 경사거리  $R_0$ 에 의해 정의되어 진다.<sup>[2]</sup>

SAR에서 펄스 압축 기법으로 chirp신호를 사용한다

면 안테나에서 방사하는 송신 신호를 표현하면 식(1)과 같다.

$$s(t) = \sum_n \text{rect}\left(\frac{t-nT}{\tau}\right) \cdot \exp\left[j\pi b(t-nT)^2\right] \exp(j2\pi v_0 t) \quad (1)$$

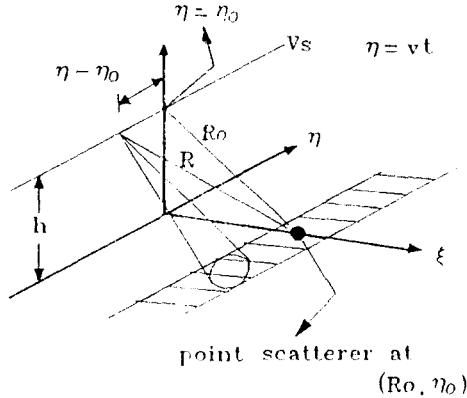


그림 1. 측면 감시용(side looking) SAR 좌표계  
Fig. 1. Coordinate of side looking SAR

여기서  $1/T$ 은 펄스 반복 주파수(Pulse Repetition Frequency),  $\tau$ 는 펄스폭을 나타내며,  $b$ 는 주파수 변조율,  $v_0$ 는 반송 주파수이다. 단위 표적으로부터 되돌아오는 반사 신호는 안테나와 표적간 거리만큼 지연되며, 또한 비행체가 진행한 거리가 표적까지의 거리에 비해 매우 작다고 가정하면 수신된 기호는

$$r(t) = \sum_n A(nT) \text{rect}\left(\frac{t - \frac{2R_0}{c} - nT}{\tau}\right) \quad (2)$$

$$\exp\left[j\pi b\left(t - \frac{2R_0}{c} - nT\right)^2\right] \exp\left[j2\pi v_0 t\right]$$

$$\left[\frac{j2\pi v_0 t}{cR_0}(vnT - \eta_0)^2\right] \exp(j2\pi v_0 t)$$

와 같다.<sup>[5]</sup>

### III. 광학적 SAR처리 알고리즘

본 논문에서 구성한 SAR 처리장치 구성도는 그림 2와 같으며, LD 대신 AOD1과 CW레이저를 사용하였으며, AOD2를 이용하여  $x$ 방향에 대해서는 공간 적분 상관을 하고  $y$ 방향에 대해서는 마스크와 CCD를 이용하여 시간 적분 상관을 하였다.

#### 3-1. 거리 압축 과정

그림 2와 같이 SAR 데이터를 처리하기 위하여 수신된 신호  $r(t)$ 는 AOD의 중심 주파수  $v_1$ 으로 중파 주파 처리한 후 기준 신호와 더해져 식(3)으로 표현된다.

$$r'(t) = r(t) \exp[-j2\pi(v_0 - v_1)t] + B \exp(j2\pi v_2 t) \quad (3)$$

여기서  $v_2$ 는 AOD의 중심 주파수와 펄스폭과 주파수 변조율로 구성된다.  $r'(t)$ 를 AOD 2의 압전 변환기에 인가 하였을 경우 AOD 2에 의해 굴절되며, 이 신호를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S_1(t, x) = \text{rect}\left(\frac{x}{X}\right) P(t) r'(t + \frac{x}{v_a}) \quad (4)$$

여기서  $x$ 는 음파의 진행방향,  $X$ 는 AOD의 개구면

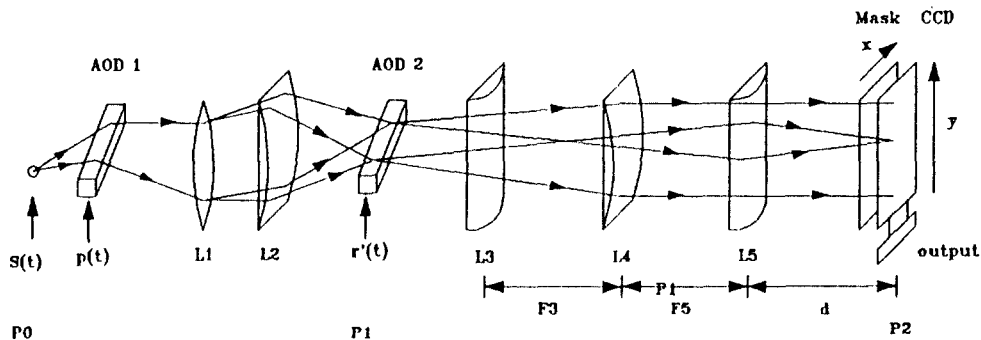


그림 2. 광학적 SAR 처리장치 구성도

Fig. 2. Optical SAR processor

크기,  $v_a$ 는 AOD에서 음파의 진행 속도이고,  $P(t)$ 는

$$P(t) = \sum_n \text{rect} \left( \frac{t-nT}{\eta_0} \right) \quad (5)$$

로, CW 레이저를 사용함에 따라오는 유동(smear)현상을 방지하기 위해 AOD 1에 의해서 펄싱된다. 그림 2에서 평면 P1으로 입사된 광은 영상 평면 P2에 회절된 형태로 나타나며, 평면 P1으로부터 평면 P2까지의  $x$ 방향에 있어서의 임펄스 응답은 식(6)과 같다.

$$h(x, \bar{x}) = \exp[ j\pi b_1(x - \bar{x})^2 ] \exp[ -\frac{j2\pi v_1 x}{v_a} ] \quad (6)$$

윗 식에서  $\bar{x}$ 는 평면 P2에서 수평축을 나타내며,  $b_1$ 은 렌즈 L3, L5와 d에 의해 결정된다. 그리고

$\exp[ -\frac{j2\pi v_1 x}{v_a} ]$ 는 AOD에서 1차 회절을 얻기 위해 브래그 각으로 비틀어 준 것을 고려한 항이다. CCD에 기록되는 신호는 광의 세기가 전하로서 기록되므로 n번째 펄스 동안 CCD에 축적되는 진하량은 식(7)과 같으며, AOD1의

$$Q(\bar{x}, nT) = \int_{t-nT/\tau_0}^{t+nT/\tau_0} | \int S_1(t, x) h(x, \bar{x}) dx |^2 dt \quad (7)$$

펄싱폭  $\tau_0$ 가 매우 작으므로  $t=nT$ 로 근사화 시킬 수 있으며,  $x$ 방향에 있어서 임펄스 응답의  $b_1$ 은  $\frac{b}{v_a}$ 으로 놓아 2차항을 제거하면 공간 적분에 의한 상관값을 다음과 같이 얻을 수 있다.<sup>(2,3)</sup>

$$\begin{aligned} Q(\bar{x}, nT) &= \eta_0 [ |A(nT)|^2 v_a^2 \tau^2 \sin^2 c \\ &\cdot [ \frac{b\tau}{v_a} (\bar{x} - \frac{2R_0 v_a}{c}) ] + |B|^2 \\ &+ 2BA(nT)v_a \tau \sin c [ \frac{b\tau}{v_a} (\bar{x} - \frac{2R_0 v_a}{c}) ] \\ &\cdot \cos [ \frac{2\pi(v_2 - v_1)\bar{x}}{v_a} + \frac{2\pi v_0}{cR_0} (vnT - \eta_0)^2 + \phi ] \end{aligned} \quad (8)$$

### 3-1. 방위 압축 과정

CCD의 수직동기신호와 레이더의 펄스반복주기를 동기시켜 구동함으로써 n번째 펄스가 축적되면 CCD가 한 화소씩 수직이동한 후 n+1번째 펄스는 각 화소에 진하가 더해져 축적된다. 이와 같은 동작은 광 신호를 시간적분하는 것으로 마스크를 CCD 전면에 놓고 방위 상관을 얻을 수 있다. 이를 식으로 표현하면 식(9), (10)과 같다.

$$Q(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_n^N Q(\bar{x}, \bar{y} + (N-n)\delta y, nT) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} T(\bar{x}, \bar{y}) &= \frac{1}{2} [ 1 + \cos [ 2\pi U_0 \bar{x} \\ &- 2\pi U_a \bar{y} + \frac{b_2}{x} \bar{y}^2 ] ] \end{aligned} \quad (10)$$

- 여기서 N : 수직방향의 화소 수,
- $\delta y$  : 수직방향의 화소 크기,
- $U_0$  : x방향 공간 반송 주파수,
- $U_a$  : y방향 공간 반송 주파수,
- $b_2$  : 마스크의 공간 주파수 변조율,

이다. 식(9)는 x방향으로 공간적분, y방향으로 시간적분한 결과로서 식을 전개하면

$$\begin{aligned} Q(\bar{x}, \bar{y}) &= \sum_n^N 2Bv_a \tau \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right. \\ &\cdot \cos [ 2\pi U_0 \bar{x} - 2\pi U_a (\bar{y} - (n-N)\delta y) \\ &+ \frac{b_2}{x} (\bar{y} - (n-N)\delta y)^2 ] \left. \right\} \cdot \\ &A(nT) \sin c [ \frac{b\tau}{v_a} (\bar{x} - \frac{2R_0 v_a}{c}) ] \\ &\cdot \cos [ \frac{2\pi(v_2 - v_1)\bar{x}}{v_a} + \frac{2\pi v_0}{cR_0} (vnT - \eta_0)^2 + \phi ] \end{aligned} \quad (11)$$

으로 표현되며 방위방향에 있어서의 SAR영상 축적은 식(11)에서 n번째에 대한 합에 의해 결정된다.<sup>(7)</sup>

IV. 실험 및 결과 고찰

제안한 SAR 처리기 알고리즘을 실현하기 위한 실험장치 구성도는 그림3과 같다.

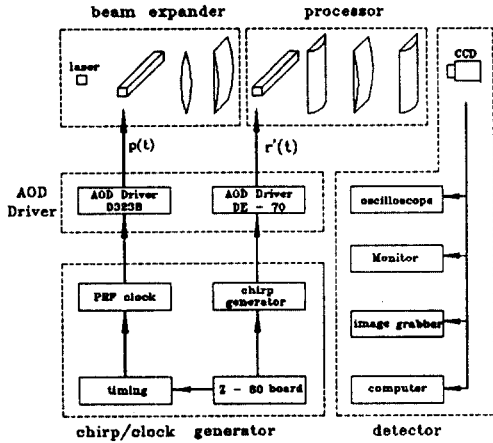
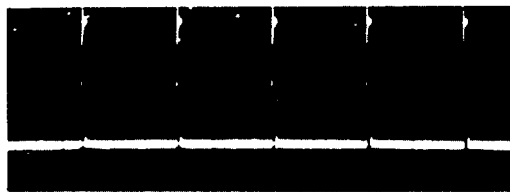


그림 3. 실험 장치 구성도  
Fig 3. Experimental configuration

본 논문에서 사용한 광원은 파장이  $0.6328\mu\text{m}$ , 출력이 15mW인 NEC사의 GLG 5700 He-Ne레이저이고, AOD1과 AOD2는 ISOMET사의 125C-1과 Intra Action사의 AOD-70을 사용하였다.



(a)



(b)

사진 1. chirp 신호 발생을 위한 톱니파신호/임펄스신호  
Picture1. Sawtooth and impulse signal for chirp signal generation

또한 Z-80 마이크로프로세서 보드와 전자회로를 이용하여 SAR 수신 chirp신호 및 임펄스 동기신호를 사진 1과 같이 제작하였으며, AOD 1을 구동하는  $p(t)$ 는 펄스폭  $\tau_0$ 가 아주 작은 임펄스 형태이며, AOD 2를 구동하는  $r'(t)$ 는 chirp신호로서 사진 1(a)에서 보인 톱니파에 의해 선형적으로 50-90 MHz로 주파수 변조되고 사진 1(b)는  $s(t)$ 에 동기될 만한 임펄스 형태이다. chirp 펄스폭은 AOD의 개구면  $10\mu\text{s}$  보다 작도록  $7.2\mu\text{s}$ 로 제작하였으며, 펄스 반복 주파수(PRF)는 69.4 KHz이다.

4-1. chirp 초점화의 유동(smear) 현상에 대한 실험 결과  
chirp 초점화의 유동현상은 처리 과정에 있어서 분해 능력을 제한한다. 이러한 현상은 AOD1에 입력되는 임펄스에 의존하게 된다. AOD1에 입사되는 펄스폭을 가변하여 실험한 결과 펄스폭이 좁아짐에 따라 CCD에 입사되는 빛의 세기가 상대적으로 작아짐을 사진2와 그림4로부터 알 수 있다. 또한 펄스폭이 상대적으로 좁아짐에 따라서 출력영상의 유동현상이 발생함을 확인하였다.

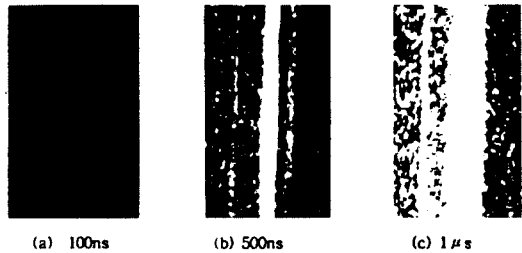


사진 2. 임펄스폭 변화에 따른 chirp 초점화의 유동현상  
Picture2. Smear state of chirp focus according to varying impulse width

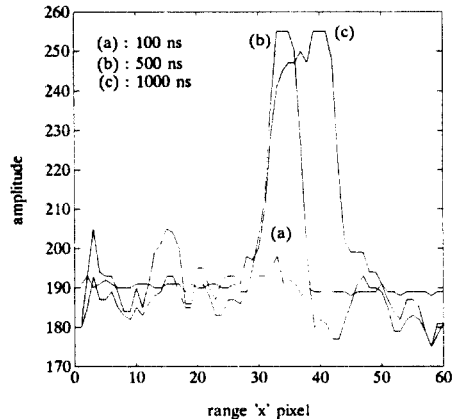


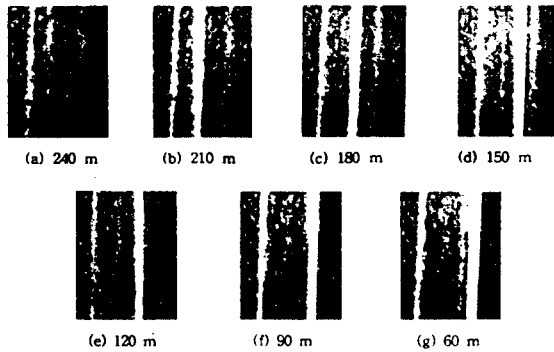
그림 4. 임펄스폭 변화에 따른 chirp 초점화의 유동현상

Fig. 4. Smear stste of chirp focus according to varing impulse width.

사진2는 임펄스의 펄스폭이 100ns, 500ns, 1μs인 경우에 대해서 CCD에 입력된 각각의 영상이며, 그림 4는 이러한 영상을 컴퓨터에 의해서 데이터화한 결과이다.

4-2. 표적 거리 변화에 따른 실험 결과

표적의 거리는 AOD1와 AOD2에 입력되는 임펄스 동기신호에 시간 지연에 의해서 표시되는데, 표적의 거리는 60m에서 240m까지 7단계로 변화하였으며, 각각의 임펄스폭은 100ns로 실험을 하였다. 이의 결과는 본문에서 제시한 식(8)에서 삼각함수 입력값으로 대입하여 얻은 결과이다. 사진3은 CCD에 입력된 각각의 출력 영상이며, 사진3과 표1로부터 알 수 있듯이 펄스폭이 넓어짐에 따라서 유동현상이 많이 일어나게 되므로 펄스폭이 작은 경우에 정확한 신호의 위치를 감출함을 알 수 있었다.



Picture 3. Experimental result according to varying target distance

표 1. 표적 거리 변화에 따른 실험 결과

Table 3. Experimental result according to varying target distance

임펄스지연 시간(μs)	단위표적의 거리(m)	CCD 출력(m)	
		이론치	실험치
1.2	240	0.00624	0.00624
1.4	210	0.00546	0.00546
1.6	180	0.00468	0.00448
1.8	150	0.00397	0.00351
2.0	120	0.00312	0.00273
2.2	90	0.00231	0.00195
2.4	60	0.00156	0.00156

4-3. chirp대역폭 변화에 따른 실험 결과

chirp대역폭은 AOD2에 인가되는 톱니파 신호의 전압을 조정함으로써 chirp신호의 대역폭이 변화하게 되는데, 각각 대역폭이 8.3 MHz(5V), 14.13 MHz(10V), 19.2 MHz(15V)인 경우에 대해 실험하였다. 사진 4는 CCD의 영상 출력이다. 따라서 사진 4와 표 2로부터 알 수 있듯이 수신 신호의 대역폭이 증가함에 따라 목표물의 분해력이 향상됨을 알 수 있다.

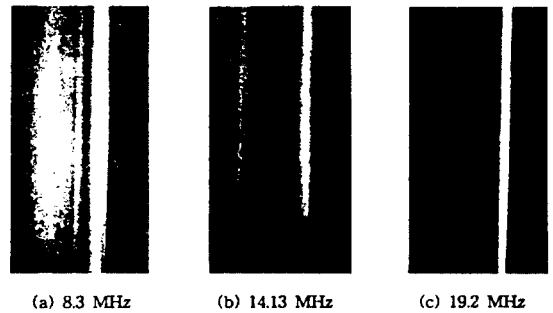


사진 4. chirp 대역폭 변화에 따른 실험 결과

Picture 4. Experimental result according to varying chirp bandwidth

표 2. chirp대역폭 변화에 따른 실험 결과

Table 2. Experimental result according to varying chirp bandwidth

송신과신호 인가 전압(V)	chirp대역 (MHz)	분해력(m) (resolution)	
		이론치	실험치
5	8.3	0.000231	0.00067
10	14.13	0.000138	0.00038
15	19.2	0.000101	0.00028

4-4. 방위 압축 실험 결과

azimuth 압축에 대한 실험을 하기 위해서는 펄스 반복 수파수(PRF)에 동기를 맞추어 CCD를 이동 및 직분을 해야 한다. 본 실험에서는 펄스수 320개, 단위 표적의 거리가 150m이고, chirp 대역폭이 14.13 MHz인 경우에 대한 거리 압축 실험 결과를 데이터로 하여 식

11을 근거로 하여 컴퓨터 프로그램에 의해서 실험하였다. 거리 압축된 실험 데이터와 마스크 함수를 토대로 실험한 결과 그림 5와 같은 방위 상관값을 나타내었으며, 가로축은 CCD의 수직 이동수를 나타낸다.

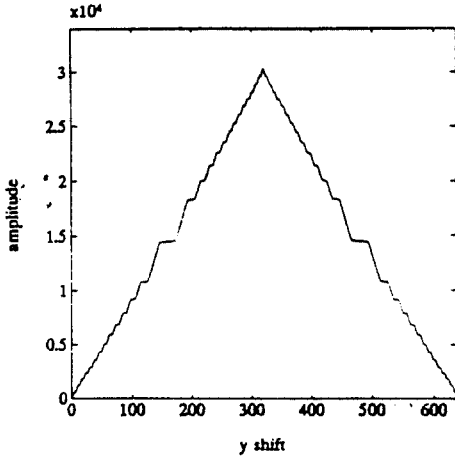


그림 5. 방위 압축 실험 결과

Fig. 5. Experimental result of azimuth compression

### V. 결 론

본 논문은 실시간 처리가 가능한 합성 개구면 레이더(SAR) 처리기를 구현하기 위해서 음향 광 소자(AOD)의 공간 적분본과 CCD의 시간 적분 본을 적용하였고, 특히 광원으로는 기존의 방법인 LD를 사용하는 대신 CW 레이저를 이용하였으며, 실험을 통하여 본 SAR 처리기의 타당성과 유용성을 확인하였다.

본 논문에서 사용된 광원은 0.6328 $\mu$ m인 HeNe 레이저와 음향 광 소자인 ISOMET사의 1205C-1을 이용하여 임펄스를 펄싱해 주었고, 공간 적분을 하기 위해 사용된 음향 광 소자는 Intra Action사의 AOD-70을 이용하였다. 또한 레이더 수신 신호와 임펄스 동기 신호는 Z-80 마이크로프로세서 모드와 전자 회로를 이용하여 설계/제작하였다.

합성 개구면 레이더에 대한 수치적 해석 및 실험 결과를 통해 단위표적의 거리(240m, 210m, 180m, 150m, 120m, 90m, 60m)변화에 따른 탐지효과, chirp대역폭(8.3MHz, 14.13 MHz, 19.2 MHz)변화에 따른 분해능력의 변화, 임펄스폭(100ns, 500ns, 1 $\mu$ s)변화에 따른 유동현상등을 확인할 수 있었다.

거리 분해 능력은 chirp대역폭에 비례하며 AOD에서 회절된 신호가 광원의 펄싱에 의해 할 위치에 고정된

것처럼 출력 영상 평면에 나타나야 하므로 펄싱폭( $\tau_0$ )이 커지면 유동현상으로 분해능력이 나빠짐을 알 수 있었다. 또한 AOD의 유효 개구면 크기와 CCD의 수평 방향 화소수는 검출 영역을 제한하고, 수직 방향 화소수는 방위 분해능력을 높이기 위해 펄스수(N)를 늘릴 경우 영향을 받음을 알 수 있었다.

본 논문에서 제안한 SAR 처리기는 소형화가 가능하며, AOD/CCD를 이용한 SAR 데이터 처리 기술은 소비 전력도 매우 작으므로 슈퍼 컴퓨터가 갖는 연산 능력과 동일한 능력을 갖는 SAR 데이터 처리 장치를 인공 위성 및 비행체에 탑재하여 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다. 앞으로 이러한 방법을 적용함에 있어서는 기존의 마이어스 제거방법을 적용하는 것이 요구되며, 또한 검출 영역의 확대를 위한 지속적인 연구가 필요하다.

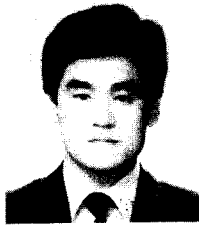
### 참 고 문 헌

- [1] D.Psaltis & K.Wagner, "Real time optical synthetic aperture radar processor", Opt. Eng., Vol.21, No.5, pp822-828, 1982.
- [2] M.Haney, K.Wagner & D.Psaltis, "Programmable real-time AOD/CCD SAR processor", SPIE, Vol.495, Real Time Signal Processing VII, pp190-196, 1984.
- [3] K.T.Stalker, P.A.Molloy & F.M.Dickey, "Real-time optical processor for synthetic aperture radar image formation", SPIE, Vol.789, Opt. Tech. for Micro. Applications III, pp.96-104, 1987.
- [4] M.Haney & D.Psaltis, "Real-time programmable acoustooptic synthetic aperture radar processor", Applied Optics, Vol.27, No.9, pp1786-1796, May, 1988.
- [5] K.T.Stalker, P.A.Molloy & F.M.Dickey, "Real-time optical processor for synthetic aperture radar image formation", Proc. SPIE, Vol.789, pp96-104, 1987.
- [6] F.T.S.Yu, "Optical information processing" A Willey Interscience, 1983.
- [7] K.H.Wagner, "Time and space integrating acousto-optic signal processing" California Institute of Tech.Pasadena, 1987.
- [8] A.Vanderlugt, "Optical signal processing", A Willey Interscience, 1992.
- [9] 박기환, 이영훈, 박한규, "광학적 레이더 신호처리기에 관한 연구", 한국통신학회 추계학술 발표회 논문집, Vol.12, No.2, pp.436-440, 1993, 11
- [10] 박기환, "AOD/CCD를 이용한 합성개구면 레이더 처리기에 관한 연구", 연세대학교 석사학위논문, 1993, 12

朴棋煥(Ki Hwan Park)   정회원  
 1988년 12월 18일생  
 1987년 2월 : 육군사관학교 물리학과(학사)  
 1994년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(석사)  
 1994년 2월 ~ 현재 : 육군 제 6885 부대 통신대대 순용 중대장

殷在定(Jae Jeong Eun)   정회원  
 1969년 5월 25일생  
 1982년 2월 : 연세대학교 전자공학과(학사)  
 1986년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(석사)  
 1986년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 전자공학과 박사과정

1989년 3월 ~ 현재 : 장원대학교 전자공학과 조교수



李泳勳(Young Hun Lee)   정회원  
 1960년 3월 20일생  
 1986년 2월 : 광운대학교 전자공학과(학사)  
 1988년 6월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(석사)  
 1990년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정

朴漢奎(Han Gae Park)   정회원  
 1941년 6월 21일생  
 1961년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(학사)  
 1968년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학석사)  
 1973년 : 불란시 파리대학교(프랑스문리대학) 박사과정수료(D.E.A)  
 1975년 : 불란시 파리6대학(Ph. D)  
 1976년 ~ 1992년 연세대학교 전자공학과 교수  
 1992년 ~ 현재 : 연세대학교 전자공학과 교수



李龍國(Yong Kook Lee)   정회원  
 1961년 6월 3일생  
 1984년 2월 : 연세대학교 전자공학과(학사)  
 1986년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(석사)  
 1986년 3월 ~ 1992년 2월 : 삼성종합기술원 선임연구원

1992년 3월 ~ 현재 : 신구전문대학 전자계산과 조교수

1992년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 전자공학과 박사과정