

---

# 일반화 Hough변환을 응용한 콘크리트 레이더 화상 내 실제 철근위치의 검출 해석

Locating Reinforcing Bars in Concrete Structures Using  
Generalized Hough Transform of Radar Image



박 석 균\*  
Park, Seok-Kyun



魚本健人\*\*  
Uomoto, Taketo

---

## ABSTRACT

Locating reinforcing bars, in particular to know their accurate depths, is very important in radar inspection of concrete structures. By the way, an accurate depth estimation of reinforcing bars in concrete structures by the radar is not easy because the microwave propagation velocity in test area is generally unknown. This problem can be solved by Generalized Hough transformation technique. Using this technique, the microwave propagation velocity in test area can be detected from the radar image, which appear as hyperbolas conveying the velocity information in their shape. A developed speed-up technique for the computation of the Generalized Hough transformation is also investigated in this study. As a result, although it becomes difficult to locate reinforcing bars when multiple parallel bars lying too close together, there is a possibility of detecting accurate depths of reinforcing bars in test area by the proposed method

**Keywords** : radar, non-destructive testing, reinforcing bars, concrete structures, generalized hough transform

---

\* 정희원, 대전대학교 토목공학과 전임강사

\*\* 동경대학교 교수

·본 논문에 대한 토의를 2000년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2000년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

레이더법에 의한 콘크리트내의 철근을 조사하는 경우에 가장 중요한 문제는 측정된 화상데이터로부터 실제 철근의 위치를 정확히 해석하는 일이다. 현재의 레이더 장비는 대부분이 매질내를 전파하는 전자파 속도를 사전에 일정값으로 가정한 후, 이 값을 철근으로부터 반사되어온 전자파의 시간에 곱하여 줌으로써 배근깊이를 화면상에 표시해 주고 있기 때문에 측정결과가 실제 배근깊이와 다른 경우가 많다. 그러나, 철근이 존재하는 대상 매질(媒質)의 전기적 성질(비유전율)을 모르면, 목표물에 대한 전자파의 실제 왕복전파속도를 구할 수 없기 때문에 정확한 철근의 배근깊이(피복두께)를 산출하는 것은 곤란하다.

본 연구는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 컴퓨터 화상처리분야에서 물체의 형상(직선과 곡선)을 검출하기 위해 사용되어 오고 있는 일반화 호프(Hough)변환기법을 응용해서, 임의 매질내의 비유전율(比誘電率) 산정 및 철근위치 검출에 대한 가능성을 검토했다. 또한, 본 연구에서는 일반화 호프(Hough)변환기법을 이용할 경우, 3차원 해석에 의해 방대한 계산량이 요구되는 결점을 개선하기 위해 측정화상에 대한 1차 사전(事前)처리에 의해 필요한 정보만을 추출한 후, 미분처리에 의한 2차원 해석에 의해서도 계산이 가능한 방법을 이용해 매질의 비유전율을 산정하고 철근위치를 검출하여 계산의 효율성을 극대화하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 레이더 화상과 일반화 호프(Hough) 변환기법

철근을 목표물로 하여 측정대상 표면으로부터 철근 길이방향과 직각을 이루는 방향으로 레이더의 안테나를 주사(走査)하면, Fig. 1과 같이 수평이동 안테나의 각 발수신위치( $x_n$ )에서 철근으로부터 반사되어 돌아오는 레이더반사신호의 궤적(거리로서  $d_n$ , 실선표시)은 그대로 화상 상에서 수직방향의 깊이 축(또는 시간 축, 점선 표시)

신호로 전환되게 된다. 따라서, 이의 원리에 의해 안테나 이동 후 측정된 레이더 반사신호는 화상 상에서 쌍곡선의 곡면 형상을 나타내게 된다. 이때, 이들 관계를 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_n = \sqrt{(x_n - x_0)^2 + d_0^2} \quad (1)$$

여기서,  $x_0$ ,  $d_0$ 는 철근의 실제 배근위치로서 각각 수평, 수직좌표를 의미한다.

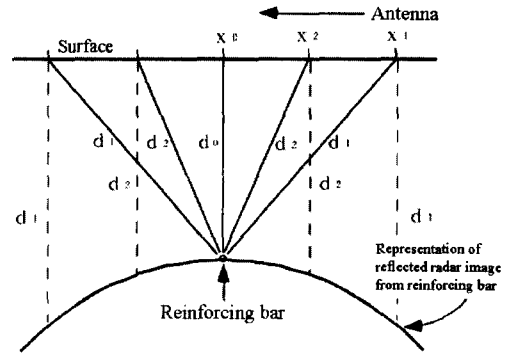


Fig. 1 Geometry of subsurface reinforcing bar

또한, 이 식을 목표물까지의 파의 왕복시간  $t(x_n)$ 의 항으로 나타내면 식(2)와 같이 된다.

$$t(x_n) = 2\sqrt{(x_n - x_0)^2 + d_0^2}/v \quad (2)$$

여기서,  $v = c/\sqrt{\epsilon_r}$ ,  $v$ : 매질내의 전파속도,  $c$ : 빛의 속도,  $\epsilon_r$ : 비유전율(比誘電率),  $x_0$ ,  $d_0$ : 각각 철근의 수평과 수직위치를 의미한다.

윗 식을 다시 식(3)과 같이 전개하면  $x_0$ ,  $t_0 (= 2d_0/v)$ ,  $\epsilon_r$ 의 3가지 변수 축을 갖는 3차원 호프(Hough)변환공간으로 나타낼 수 있다.

$$a\epsilon_r(x_n - x_0)^2 - t(x_n)^2 = -t_0^2 \quad (3)$$

여기서, 상수  $a = 4/c^2$  이다.

즉, 측정된 레이더 화상데이터  $x_n$ ,  $t(x_n)$ 로부터 상기 식을 만족시키는 해로서, 철근위치  $x_0$ ,  $d_0 (= vt_0/2)$ 와 대상 매질의 비유전율  $\epsilon_r$ 을 구하면 레이더 화상으로부터 원하는 정보를 얻을 수 있게 된다.

이를 위해, 일반화 호프(Hough)변환기법으로부터 식(3)의 풀이 방법에 대해서 설명한다. 즉, 먼저 철근으로부터의 레이더 반사화상 상에서 미지변수인 철근위치  $d_0$ ,  $x_0$ 와 대상 매질의 종류에 따라 알려진 비유전율  $\epsilon_r$ 에 대한 해의 범위를 정한다. 그리고, Fig. 2에서와 같이 일정 영역(공간)에서 이들 각각의 해의 범위를  $n_t \times n_x \times n_\epsilon$ 개의 요소로 분할한 후, 각 요소마다  $x_n$ ,  $t(x_n)$ 의 데이터가 포함된 측정 레이더 화소의 좌표를 함께 식(3)에 대입하면서 그 공간상에서 해를 만족하는 각 요소를 집계하여 제일 많이 집계된 요소를 선택하면 그 값(공간요소)이 식(3)의 해가 된다. 이 방법은 화상 중의 직선 성분을 검출하는 Hough변환기법을 임의의 곡선 검출에 응용한 것으로, 화상으로부터 어떤 변수공간으로 새로이 화상을 변환시키는 개념이라 볼 수 있는데, 일반화 Hough 변환이라 불리고 있다.<sup>(2)</sup>

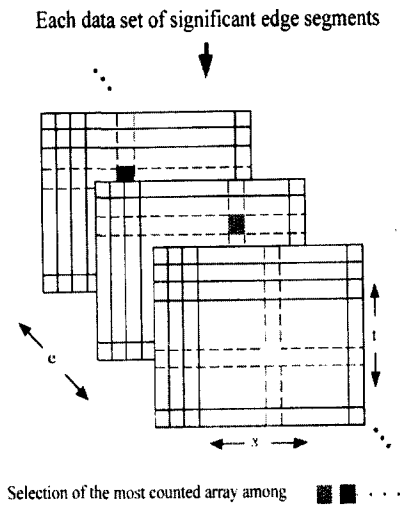


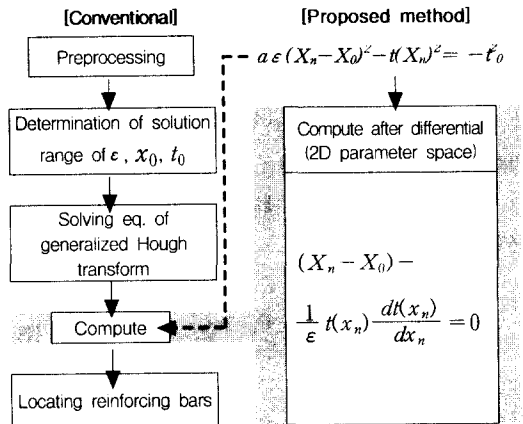
Fig. 2 Count and selection of solution in 3D parameter space

## 2.2 본 연구의 계산방법

앞의 2.1에서와 같이 측정된 화상(畫像) 중에서 철근으로부터의 신호라 판단할 수 있는 쌍곡선 영역의 좌표만을 선택하면 보다 합리적인 계

산이 가능해진다. 이를 위해서는 전체화상 중에서 철근으로부터의 화상 신호라 생각되는 일정 화상 강도 이상의 값을 추출해 낸 후 그 값들을 계산에 이용하면 된다. 또한, 그 입력좌표로서 쌍곡선 화상에 해당하는 윤곽선부(edge)를 추출한 데이터만을 이용해도 좋지만, 잡음이나 화상 변형 등의 영향이 큰 경우에는 일정 범위의 쌍곡선 영역의 데이터군을 이용하는 쪽이 보다 정확한 해를 얻을 수 있는 경우도 있다.

한편, 앞의 과정에서 각 변수별 해의 범위를 선정함에 있어서  $t(x_n)$ 에서는 콘크리트의 경우, 배근깊이가 수~수십cm이내가 보통이므로 이 범위를 시간대로 대략 환산하여 정하고,  $x_n$ 에서는 측정화상에서 곡선부(쌍곡선부)의 정점이라 여겨지는 구간,  $\epsilon_r$ 에서는 대상 매질의 비유전율 범위를 선택하면 좋다. 그러나, 이와 같은 한정된 해의 경계조건을 활용하더라도 3차원 공간에서의 계산량은 적지 않다. 그래서, 미분을 통해 변수를 줄여 2차원 조건에서 계산하면 계산량을 한층 줄일 수 있다. 이 방법에 의하면, 한 화소에 대해  $n_t \times n_x \times n_\epsilon$ 개수의 계산량을  $n_x \times n$  (미분 공간에서의 1차 요소수) +  $n_t \times n_\epsilon$  으로 줄일 수 있다. 이상의 계산 흐름도를 Fig. 3에 나타내었다.



[Computation amount]

$$n_t \times n_x \times n_\epsilon$$

$$n_x \times n + n_t \times n_\epsilon$$

Fig. 3 Computation flow of generalized Hough transform (Comparison of conventional and proposed method)

이 원리에 의해 효율적인 계산을 하기 위해서는 화상 내에서 쌍곡선 즉, 식(3)으로부터 얻어지는 형상을 찾는 일이 중요하다. 이 형상은 비유전율이  $\infty$  [따라서, 반사계수는 1이 되어 전반사(全反射)함]에 가까운 금속물질인 철근으로부터의 반사신호이므로, 다른 신호에 비해 화상 농도가 크게 나타난다. 화상 내의 각 점에 대해 미분처리를 하면 농도에 관한 기울기 벡터(gradient vector)로부터 화상의 농도변화가 최대로 되는 방향을 구할 수 있다. 또한, 화상 내의 쌍곡선 상의 점  $(x_1, y_1)$ 에 대한 기울기 벡터는 쌍곡선의 접선방향  $g(x_1, y_1)$ 과 직각을 이룬다. 바로 이 접선방향은 쌍곡선의 형상에 관한 식(3)으로부터 미리 알 수 있다.

즉, 식(3)을 미분하면,

$$(x_n - x_0) - \frac{1}{\epsilon_r} t(x_n) \frac{dt(x_n)}{dx_n} = 0 \quad (4)$$

이 되고, 이로부터 접선방향은

$$\left. \frac{dt(x_n)}{dx_n} \right|_{\substack{x_n = x_1 \\ t(x_n) = t(x_1)}} = g(x_1, y_1) = (x_1 - x_0) \epsilon_r \frac{1}{t(x_1)} \quad (5)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

따라서, 식(4)와 식(5)로부터 다음 식(6)을 얻어, 쌍곡선인 식(3) 상의 점  $(x_1, y_1)$ 에 대해서  $(x_n, \epsilon_r)$  평면상에서 식(6)을 앞서의 Hough 변환원리를 이용해 풀면, 그 곡선군의 교점으로부터 철근의 수평위치와 매질의 비유전율  $(x_0, \epsilon_r)$ 을 구할 수 있게 된다.

$$x_n + t(x_1)g(x_1, y_1) \frac{1}{\epsilon_r} = x_1 \quad (6)$$

이렇게 해서  $(x_0, \epsilon_r)$ 가 구해지게 되면, 이 값들과 다시 곡선상의 좌표  $(x_1, y_1)$ 를 이용해서, 다음 식(7)로부터  $t_0 (= 2d_0/v)$  즉, 철근의 수직 위치  $d_0 (= t_0 v/2)$ 를 구할 수 있게 된다.

$$t_n^2 = -a\epsilon_r(x_1 - x_0)^2 + t(x_1)^2 \quad (7)$$

여기서, 상수  $a = 4/c^2$  이다.

### 3. 실험개요

본 연구를 위한 실험은 철근콘크리트 도로교 상판모델의 배근조건의 일례를 적용한 시험체를 이용하여 실시하였다. 철근콘크리트 상판의 전체 크기는 종방향(L) 길이가 2 m, 횡방향(T) 길이가 1.5 m, 두께는 20~24 cm이고, 중앙부에서 주철근 D13, 배근 D10을 이용하였다. 상세배근 조건 등은 Fig. 4에 나타내었다.

콘크리트의 배합조건은 Table 1과 같으며, 압축강도(재령28일): 401 kgf/cm<sup>2</sup>, 정탄성계수: 2.8 × 10<sup>6</sup> kgf/cm<sup>2</sup>, 동탄성계수: 3.5 × 10<sup>6</sup> kgf/cm<sup>2</sup>의 물성치가 얻어졌다.

Table 1 Mix proportions of concrete

W/C (%)	S/A (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				G <sub>max</sub>	Slump (cm)	Air content (%)
		W	C	S	G			
64	48	165	258	892	972	25	7.5	4.5

철근검출을 위한 레이더 측정은 Fig. 4(c)에 나타낸 바와 같이 상기의 시험체에 대해 각각 종방향(L)과 횡방향(T) 1방향씩을 선정해 실시하였다. 레이더는 모노사이클 펄스방식의 보우타이형 안테나를 이용하였고, 종방향(L)과 횡방향(T) 각 1방향씩에 대하여 얇은 깊이(15 cm) 탐사용과 깊은 깊이(40 cm) 탐사용 안테나 2종을 각각 사용해 측정하였다.

또한, 레이더 측정결과로부터 본 연구의 계산방법을 적용하기 위해 측정결과를 해석용 컴퓨터의 텍스트 모드로 데이터 변환하여 각종 계산 및 화상처리를 실시하였다. 화상변환은 미국 SPYGLASS사의 SPYGLASS TRANSFORM(Version 3.0 for Macintosh) package를 이용하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 4의 시험체 및 조건에 따라 측정된 대표적인 레이더 원 화상을 Fig. 5와 6에 나타내었다. Fig. 5는 얇은 깊이(15cm) 탐사용 안테나를 사용했을 때이고, Fig. 6은 깊은 깊이(40cm) 탐사용 안테나를 사용했을 때의 측정결과를 나타낸 것이다. 이들 그림에서 (a)는 종방향(L) 측정결과를 (b)는 횡방향(T) 측정결과를 나타내었다.

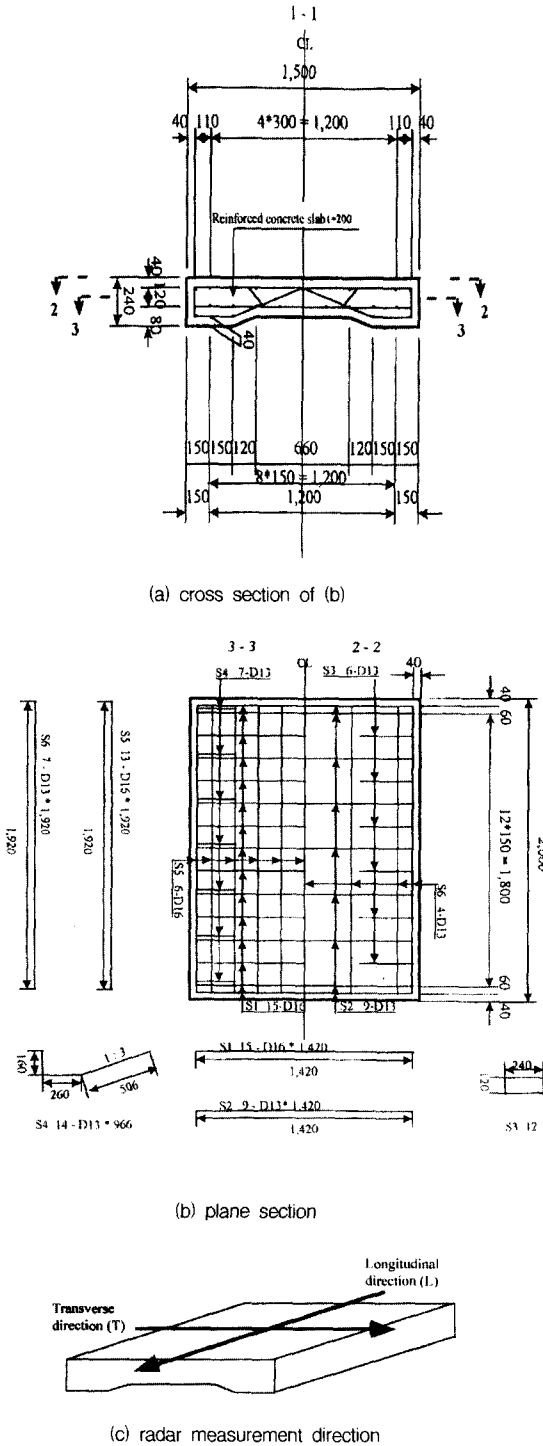


Fig. 4 Details of specimen (unit:mm)

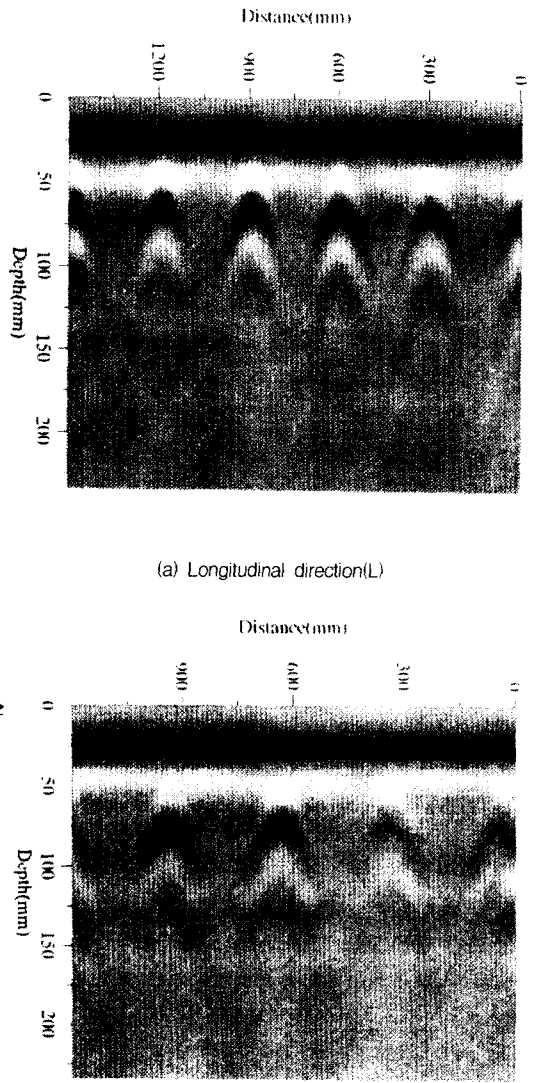
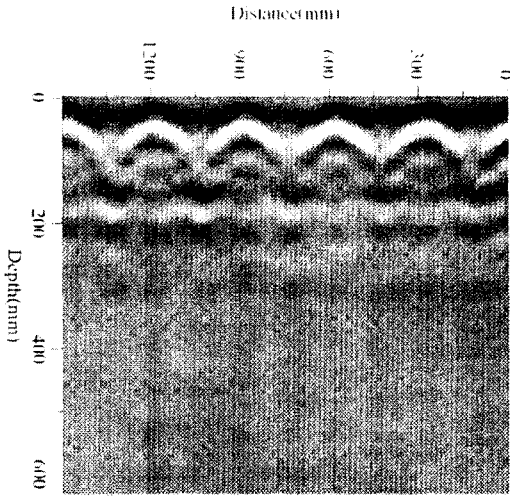
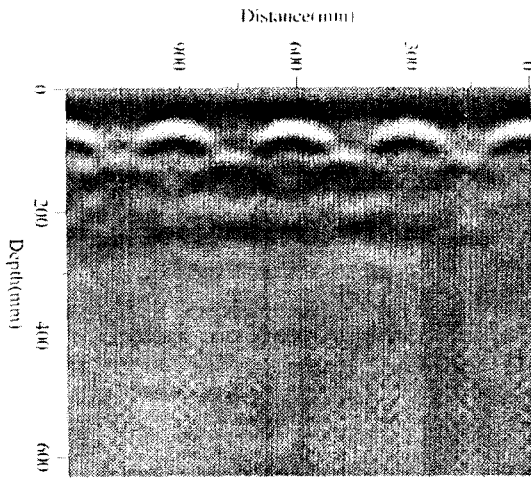


Fig. 5 Radar image measured 15cm depth capable antenna



(a) Longitudinal direction(L)



(b) Transverse direction(T)

Fig. 6 Radar image measured 40cm depth capable antenna

이상에서 알 수 있는 바와 같이 Fig. 5의 얇은 깊이(15 cm)탐사용 레이더를 사용해 측정된 결과(원 화상)에서는 상부철근으로부터만 전자파 반사신호가 뚜렷이 관찰되어지고, 하부철근으로부터의 반사신호는 상부철근으로부터의 신호에 묻히거나 고주파수의 사용으로 인해 파의 감쇠 등의 영향을 크게 받아 검출이 곤란함을 알 수 있다. 또한, 이 경우 상부철근에 대해서는 종·횡방

향 탐사 모두 본 실험조건인 철근의 수평배근간격(pitch)조건하에서는 철근 간의 신호구분이 충분히 가능함을 알 수 있다. 이에 반해, Fig. 6의 깊은 깊이(40 cm)탐사용 레이더를 사용해 측정된 결과(원 화상)에서는 상부철근으로부터의 반사신호는 뚜렷이 관찰되어지고, 하부철근은 Fig. 5(b)에서 보는 바와 같이 상부철근의 수평배근간격 사이로 배근된 경우에 대해서는 반사신호가 어렵듯이 나타나 하부철근의 식별이 가능함을 알 수 있다. 단, 상부철근과 같은 열(列)밑에 하부철근이 배근된 경우에는 상부철근의 반사신호(링잉(ringing)포함)에 묻혀 하부철근으로부터의 반사신호는 구분이 곤란함을 알 수 있다. 또한, 일부에서는 상판의 바닥(깊이 20 cm)으로부터의 반사신호까지 나타나고 있지만, 일부 상·하부철근으로부터의 반사신호(링잉(ringing)포함) 등의 영향으로 이들 신호와 서로 섞여 바닥으로부터의 신호의 구분이 어려움을 알 수 있다.

한편, 이들 결과에 대해 본 연구의 계산방법을 이용해 해석하기 위해 Fig. 7에는 대표적으로 Fig. 5(a)의 경우에 대한 화상농도를 x,y방향으로 미분하여 농도변화방향, 즉 기울기 벡터 계산한 결과를 나타내었다. 또한, Fig. 8에는 Fig. 7에서 철근 한 개로부터의 반사신호만을 추출해 확대한 결과를 나타내었다. Fig. 7과 8은 Fig. 5(a)의 원 화상에 대한 처리결과를 나타내었지만, 본 연구방법의 계산 시에는 기본적으로 잡음(noise)의 영향을 줄이기 위해  $2 \times 2$  화소를 평균화하여 평활화(smoothing) 처리를 실시한 결과를 이용하였다. 일반적으로 레이더 화상은 많은 잡음(noise)을 포함하게 되어 이를 줄이는 것이 좋은 계산결과를 얻기 위해서는 매우 중요한 요소가 된다. 이를 위해서는 잡음을 증폭시키지 않고 대역적인 농도변화를 추출하는 미분처리방법이 제안되고 있는데, 원 화상의 잡음의 중첩 정도에 따라 화상미분필터를 적절히 잘 선정해 이용할 필요가 있다. 특히, 본 경우와 같은 레이더 화상은 x,y방향에 대해 각각 중첩되는 잡음의 성질이 전혀 다르기 때문에 각각의 방향에 대칭하지 않는 화상필터를 이용하는 것이 바람직하다.

또한, 실제 계산은 Fig. 8과 같이 철근으로부터의 반사신호가 뚜렷이 나타난 영역을 각 철근

별로 별도 선정하여 구분한 후, 일정 강도이상의 기울기 벡터값을 갖는 해당 영역의 화소에 대해서만 계산을 실시함으로써 철근이외의 불요신호 부분에 대한 계산량을 줄였다.

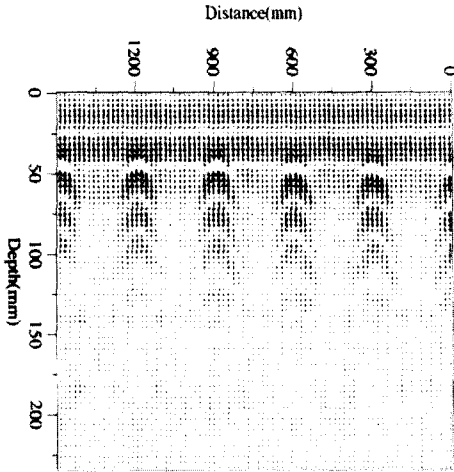


Fig. 7 Gradient vector of Fig. 4(a)

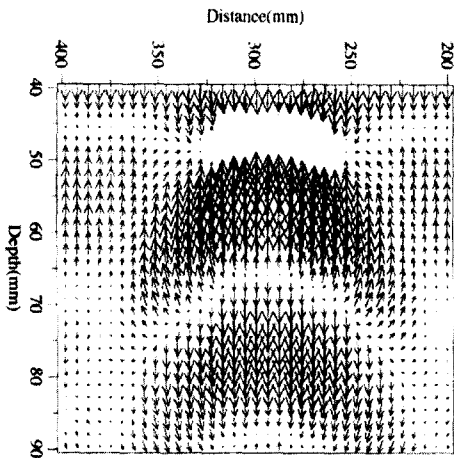


Fig. 8 Gradient vector for one reinforcing bar in Fig. 7

이상의 결과에서도 알 수 있는 바와 같이 Fig. 5와 6의 철근에 대한 레이더 원화상에서 나타난 배근깊이는 얇은 깊이 탐사용 레이더에서는 종방향 탐사의 경우 6.5cm, 횡방향 탐사의 경우 7.9cm이고, 깊은 깊이 탐사에서는 종방향 탐사의 경우 2.4cm, 횡방향 탐사의 경우 3.8cm로 나타냈다. 이들 화면상 깊이는 반파장으로부터 나

타나는 첫 번째 반사신호는 무시하고, 1파장에 의해 반사되는 신호로서 가장 큰 반사화상강도 (Fig. 5에서는 철근으로부터의 반사신호 중 2번째 흑색반사신호, Fig. 6에서는 첫 번째 흑색반사신호)를 갖는 좌표를 기준으로 산정한 값이다.

그러나, 깊은 깊이 탐사용 레이더의 표시화상은 얇은 깊이 탐사에서와 동일한 위상(흑색 반사신호)을 갖는 반사신호값을 읽을 경우, 이들 둘 사이의 값에 많은 차이를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이는 주파수에 따른 분해능 등의 차이로 인해 화면상 표시에 관한 제작사의 프로그램 사정에 의한 것으로 사료된다.

이에 따라 Fig. 6의 깊은 깊이 탐사용 레이더에 의한 측정데이터에 대해서는 근본적으로 해당 위치표시가 다르므로 Fig. 5의 결과와의 비교에 의미가 없고, 또한 해당신호(첫번째 흑색 반사신호)의 강도와 모양이 본 연구의 계산방법의 적용이 곤란하게 나타나 계산에서 제외하였다.

이상의 결과, 본 연구의 계산방법의 적용은 Fig. 5의 종·횡방향 배근 탐사결과만을 이용하였다. 이에 대한 정리결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Computed results by proposed method

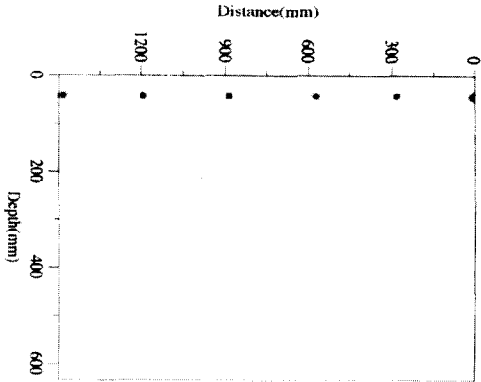
Methods Antenna and measurement direction		Measured value	Computed value by proposed method		Depth in real
		Depth	Depth	$\epsilon_r$	
15cm depth capable antenna	Longitudinal(L)	6.5cm	4.0cm	14	4.0cm
	Transverse (T)	7.9cm	5.4cm	14	5.6cm
40cm depth capable antenna	Longitudinal(L)	2.4cm	-	-	4.0cm
	Transverse (T)	3.8cm	-	-	5.6cm

이 결과에 의하면, 당초 레이더의 화면상 측정 결과에서는 종·횡방향 배근깊이가 6.5cm와 7.9cm로 나타나 실제 배근깊이인 4.0cm와 5.6cm와는 각각 +2.5cm와 +2.3cm의 오차가 발생하였으나, 본 연구의 계산방법에 의해 보정한 결과 원래 배근깊이와 거의 동일한 값(단, 횡방향 철근에 대해서만 -0.2cm의 오차)이 얻어지고, 그 때의 콘크리트 비유전율값은 14로 계산되었다.

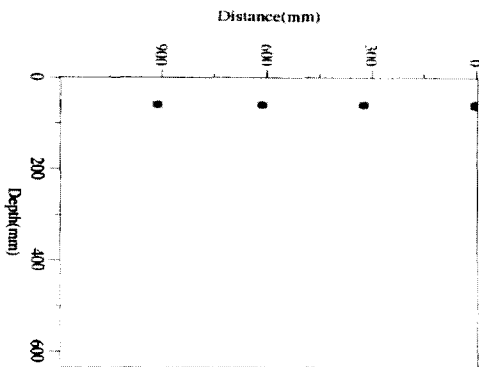
또한, 수평배근위치는 실제 위치와 동일하게 나타났고, 일부의 차이는 실제 배근시의 차이 등에 의해 나타난 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구의 계산방법은 일부 측정결과에 적용에 한계가 있었지만, 뚜렷한 반사신호가 얻어질 경우, 레이더 화면상의 정보만으로도 실제 배근깊이와 수평철근의 위치를 찾는 데 매우 유효함을 알 수 있다.

한편, Fig. 9에는 본 연구의 계산 및 해석에 의해 구해진 철근배근위치를 별도 화상처리기술을 이용해 Fig. 5의 경우에 대해서 나타내었다. 본 결과는 먼저 철근위치를 계산에 의해 산출한 후, 화상상의 식별을 용이하게 하기 위해 각각 한 개씩의 계산좌표에 대해 평활화(smoothing) 처리를 실시해 나타낸 것이다.



(a) Longitudinal(L) measurement



(b) Transverse(T) measurement

Fig. 9 Image processing results of fig. 5

## 5. 결 론

일반화 호프(Hough)변환 응용에 의한 실제 철근위치의 검출해석에 관한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 얇은 깊이(15 cm)탐사용 레이더를 사용해 측정된 결과에서는 상부철근에 대해서만 반사신호가 관측되었고, 상부철근에 대해서는 본 연구방법에 의한 실제 철근위치의 정확한 검출해석이 가능하였다.
- 2) 깊은 깊이(40 cm)탐사용 레이더를 사용해 측정된 결과에서는 상부철근은 물론 상부철근 간격사이로 배근된 하부철근의 식별까지는 가능하였으나, 측정화면상의 비교대상기준(눈금 표시와 위상)이 얇은 깊이(15 cm)탐사용 레이더에서와 다르고, 계산 대상 반사신호가 뚜렷한 형상을 이루지 않아 본 연구방법에 의한 검출해석은 곤란하였다. 또한, 상부철근과 같은 열(列)에 배근된 하부철근은 상부철근의 반사신호에 묻혀 신호가 나타나지 않았다.
- 3) 측정된 레이더 화상을 통해 실제 철근위치해석을 위한 본 연구방법은 사용 안테나의 종류에 따른 화상표시 차이 등으로 일부 측정결과에 대해 적용에 한계를 보이기는 하였으나, 원래의 Hough변환에 의한 직접계산방법보다 훨씬 빠르게 계산이 가능하고, 해당 매질의 전기적 성질을 알 수 없는 경우의 철근의 실제위치(수평, 수직 위치 모두) 검출에 유효한 방법으로서 그 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- 4) 본 방법은 해당매질의 전기적 성질을 알 수 없는 경우의 철근의 실제위치 검출에 유효한 방법으로서 그 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 일본 東京大學校 國際·産學共同研究센터 魚本研究室의 협조에 의해 이루어진 것입니다. 이에 협조해주신 여러분께 감사드립니다.



## 참고문헌

1. Toru KANEKO, "Radar Image Processing for Locating Underground Linear Objects", IEICE TRANSACTIONS, VOL.E74, No.10, Oct. 1991.
2. D. Ballard, "Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes", Pattern Recognition, 13-2, 1982.
3. 朴錫均, 魚本健人, "一般化Hough變換を用いたレーダ法による鐵筋位置の檢出", 日本土木學會第50回年次學術講演會講演概要集, 1部 A号, 1995.9.
4. 山口, 岡田, 森下, "一般化Hough變換による地中探査畫像の解析", 計測自動制御學會論文集, Vol.25, No.7, 1989.
5. 박석균, "콘크리트내 철근위치검출을 위한 레이더 화상처리기술", '99 봄학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 1999. 5.

### 요 약

레이더법을 이용해 측정된 콘크리트내 철근은 콘크리트의 비유전율 값을 모르고는 정확한 철근의 위치(깊이)를 화면상에 나타내어 줄 수 없다. 현재 시판 중의 레이더는 대상 콘크리트 구조물의 종류에 관계없이 콘크리트의 비유전율 값을 일정한 것으로 가정해 측정된 결과를 나타내어주고 있거나, 커브피팅(curve fitting)에 의한 육안조절방식으로 비유전율을 보정하고 있으나 오차가 발생되고 있기 때문에, 측정된 화면상의 철근 위치(깊이)는 실제 배근 깊이와 다른 경우가 많다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 측정된 레이더 화상정보만으로 해당 매질(콘크리트)의 비유전율을 산정하고, 이를 바탕으로 철근의 정확한 배근 깊이를 알아낼 수 있는 방법으로서, 일반화 Hough변환기법을 응용해 그 적용 가능성을 검토하였다. 그 결과, 콘크리트 내 철근으로부터의 반사신호가 충분히 얻어진 경우는 본 연구방법의 적용이 가능하여 정확한 배근 깊이를 알아낼 수 있었으며, 3차원 공간의 계산량을 미분처리를 통한 2차원 공간으로 줄여 계산함으로써 계산 속도를 월등히 향상시켰고, 또한 그 산출결과를 이용해 화상 내에 철근만의 위치를 화상처리에 의해 나타내 주어 본 연구방법이 유용함을 입증하였다.

(접수일자 : 1999. 10. 6.)