

콘크리트내 철근위치검출을 위한 레이더화상처리기술

Radar Image Processing for Locating of Reinforcing bars in Concrete

박 석 균*

Park, Seok-Kyun

ABSTRACT

Locating of reinforcing bars, in particular to know their accurate depths, is very important thing in radar inspection of concrete structures. By the way, a depth estimation of reinforcing bars in concrete structures by the radar is not easy because 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.

1. 서론

레이더법에 의한 콘크리트내의 철근을 조사하는 경우에 가장 중요한 문제는 측정된 화상데이터로부터 정확한 철근의 위치를 해석하는 일이다. 현재의 레이더 탐사장비는 대부분이 매질내를 전파하는 전자파의 속도를 일정값으로 가정하여 그 결과로부터 철근의 배근깊이를 화면상에 표시해 주고 있기 때문에 측정결과가 실제 배근깊이와는 다른 경우가 많다. 그러나, 철근이 존재하는 대상 매질(媒質)의 전기적 성질(특히, 비유전율)을 모르면, 목표물에 대한 실제 전자파의 왕복전파시간(또는 속도)을 구할 수 없기 때문에 정확한 철근의 배근깊이(피복두께)를 산출하는 문제는 간단하지 않다.

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, 2차원 해석에 의해서도 계산이 가능한 방법을 이용해 매질의 비유전율을 산정하고 철근위치를 검출하여 계산의 효율성을 극대화하였다.

* 정회원, 대전대학교 토목공학과 전임강사

2. 이론적 고찰

2.1 레이더 화상과 일반화 호프(Hough)변환기법

철근을 목표물로 하여 측정대상 표면으로부터 레이더의 안테나를 주사(走査)하면, 그림 1과 같이 안테나의 각 발수신위치(x_n)와 철근으로부터의 레이더반사신호의 궤적(거리로서 d_n)은 안테나의 진행과 더불어 쌍곡선의 형상을 나타낸다. 이 경우의 거리를 식으로 나타내면 그림 1내의 식과 같이 된다.

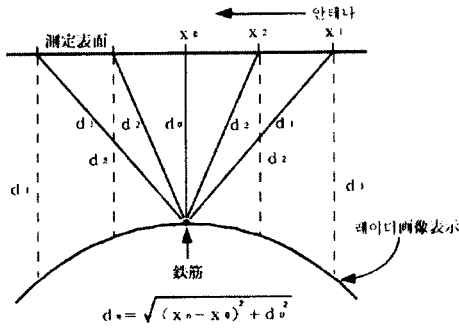


그림 1 철근에 대한 레이더화상표시

또한, 이 식을 목표물까지의 파의 왕복시간 $t(x_n)$ 의 항으로 나타내면 식(1)과 같이 된다.

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

$$\text{단, } v = c/\sqrt{\epsilon_r} \quad (1)$$

여기서, v : 매질내의 전파속도, c : 빛의 속도, ϵ_r : 비유전율(比誘電率), x_0, d_0 : 각각 철근의 수평과 수직 위치를 의미한다.

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

$$a\epsilon_r(x_n - x_0)^2 - t(x_n)^2 = -t_0^2 \quad \text{여기서, } a = 4/c^2 \text{으로서 상수} \quad (2)$$

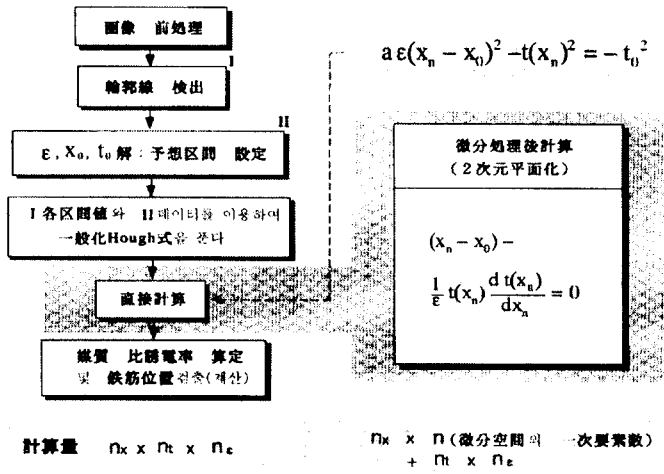
즉, 측정된 레이더 화상데이터 $x_n, t(x_n)$ 으로부터 상기식을 만족시키는 해로서, 철근위치 $x_0, d_0 (= vt_0/2)$ 와 대상 매질의 비유전율 ϵ_r 을 구하면 레이더 화상으로부터 원하는 정보를 얻을 수 있게 된다.

이를 위해, 화상처리분야에서 직선이나 곡선을 검출하는데 자주 이용되고 있는 일반화 호프(Hough) 변환기법으로부터 식(2)를 푸는 방법에 대해서 설명한다. 즉, 먼저 미지의 각 변수로서 철근위치 d_0, x_0 와 대상 매질의 비유전율 ϵ_r 에 대한 해의 범위를 정한다. 그리고, 일정 영역(공간)에서 이들 각각의 해의 범위를 $n_1 \times n_2 \times n_3$ 개의 요소로 분할한 후, 각 요소마다 $x_n, t(x_n)$ 의 데이터가 포함된 측정화상의 좌표를 함께 식(2)에 대입하면서 그 공간상에서 해를 만족하는 각 요소를 집계하여 제일 많이 집계된 요소를 선택하면 그 값(공간요소)이 식(2)의 해가 된다.

2.2 본 연구의 개선방법

앞의 2.1에서와 같이 측정된 전화상(全畫像)을 대상으로 하여 해를 구하는 방법이 원칙적이지만, 계산시간을 줄이기 위해서 철근으로부터의 신호라 판단할 수 있는 쌍곡선 영역의 좌표만을 선택하면 보다 합리적인 계산이 가능해진다. 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, 수~



수십cm이하가 보통이고, x_n 에서는 측정화상에서 곡선부의 정점이라 여겨지는 구간, ϵ_r 에서는 대상 매질의 비유전을 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, $n_t \times n_x \times n_\epsilon$ 개수의 계산량을 $n_t \times n$ (미분 공간에서의

그림 2 일반화 호프(Hough)변환 및 미분공간에서의 철근 위치 검출계산 흐름도 1차 요소수) + $n_t \times n_\epsilon$ 으로 줄일 수 있다. 이상의 계산 흐름도를 그림 2에 나타내었다.

2. 실험개요

실험은 2종류의 매질, 즉 아이소 핑크와 콘크리트를 대상으로 하였다. 먼저, 아이소 핑크를 매질로 한 경우에는 그림 3에 나타낸 바와 같이 그 내부에 D22의 철근을 깊이 20cm로 하고, 배근간격 (pitch)을 10cm, 20cm, 30cm, 40cm로 변화시켜 그 위를 레이더로 측정했다. 다음으로 콘크리트를 매질로 한 조건에서는 그림 4에 나타낸 바와 같이 D10의 철근을 깊이 12cm로 하고, 배근간격을 30cm로 하여 측정하였다. 이 때의 콘크리트 배합조건은 W/C:55%, 슬럼프:5cm, S/A:46%, 굵은골재 최대치수:25mm, 공기량:2.6%, 함수율:5.8%, 압축강도(재령28일):400kg/cm²로 하였다.

또한, 실험에 사용한 레이더는 콘크리트 내에서도 비교적 깊은 깊이의 탐사가 가능한 중심주파수 약 650MHz의 광대역 특성을 갖는 장비를 이용하였다.

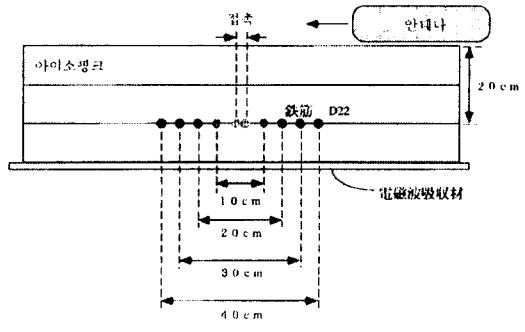


그림 3 아이소핑크내의 철근배근 시험체 개요

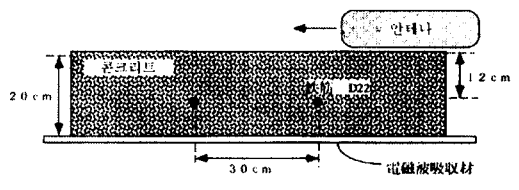
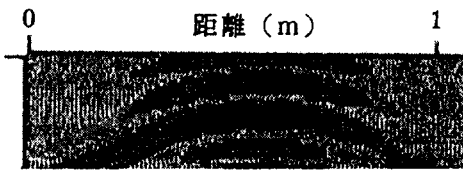


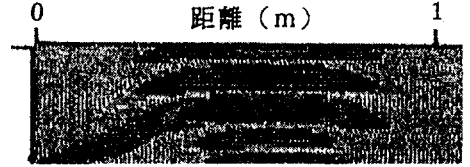
그림 4 콘크리트내의 철근배근 시험체 개요

3. 결과 및 고찰

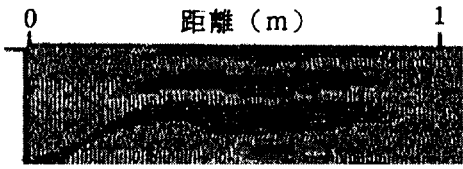
그림 3과 4에 대해 측정된 대표적인 레이더 원화상을 그림 5에 나타내었다. 그림 6에는 사전처리작업에 의해 각각의 원화상으로부터 곡선부 윤곽선을 추출한 결과를 나타내었다. 또한, 윤곽선부는 반과장에 기인하는 반사신호 또는 시스템계의 과형특성에 의해 나타난 첫 번째 반사신호를 나타내고 있다.



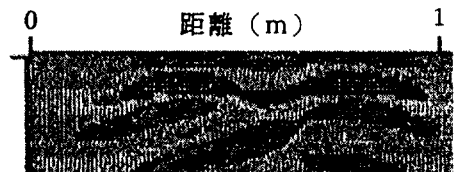
(a) 아이소핑크 매질-10cm간격



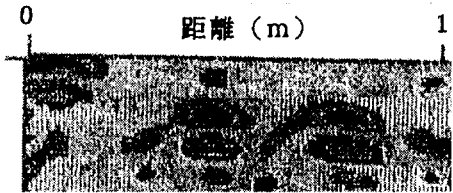
(b) 아이소핑크 매질-20cm간격



(c) 아이소핑크 매질-30cm간격



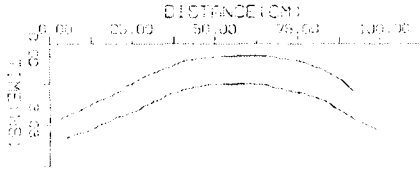
(d) 아이소핑크 매질-40cm간격



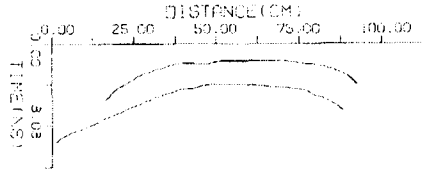
(e) 콘크리트 매질-50cm간격

그림 5 레이더 측정 원화상

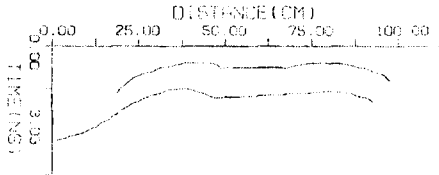
이들 데이터를 이용해서 상기방법으로 계산한 결과를 표 1에 나타내었다. 해석에서는 두 번째의 강한 반사신호의 윤곽선부 데이터를 기준으로 했지만, 화상에 변형 등이 생긴 경우에는 첫 번째의 반사신호 데이터를 이용했다[이 경우는 물론 시간축 또는 깊이축의 보정을 행하였다]. 이들 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 아이소핑크를 매질로 한 경우에는 배근간격(pitch)이 20cm이상부터 양철근의 존재가 확인되었지만, 비교적 정도(精度) 좋게 검출된 것은 40cm이상부터였다. 이는 화상상의 쌍곡선의 윤곽이 인접한 철근끼리 서로 뚜렷이 구분되는 만큼 검출정도는 좋아짐을 나타내고 있다. 또, 그림 5와 6의 일부에서 볼 수 있는 바와 같이 신호가 중첩되어 존재하는 경우라도 복수의 철근이 존재하는 정도는 예측할 수 있음을 알 수 있다. 이에 대해 매질의 비유전율이 상대적으로 큰 콘크리트의 경우에는 식(3)의 원리에 의해 수평분해능이 아이소핑크의 경우에 비해 좋아지기 때문에, 같은 배근간격조건임에도 불구하고 인접철근에 대한 쌍곡선의 윤곽이 보다 명료하게 구별되어 나타남을 알 수 있다 [그림 6의 (c)와(e)를 비교].



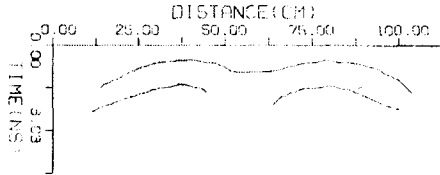
(a) 아이소핑크 매질-10cm간격



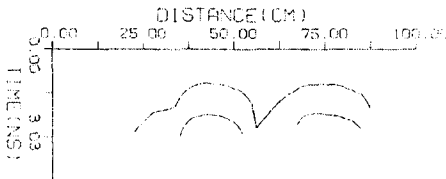
(b) 아이소핑크 매질-20cm간격



(c) 아이소핑크 매질-30cm간격



(d) 아이소핑크 매질-40cm간격



(e) 콘크리트 매질-50cm간격

그림 6 레이더 측정 원화상에 대한 곡선부 윤곽선(edge)추출결과[1차 사전처리]

$$\Delta D_R = (\Delta t/2)(c/\sqrt{\epsilon_r}) \quad (3)$$

여기서, ΔD_R 은 측정대상 물체간의 수평거리 분해능, Δt 는 펄스폭을 의미하며, 이 식은 레이더의 왕복신호에 의한 매질내의 대상물체간 거리를 구하는 식으로부터 유도된 것이다.

결국, 인접한 물체간의 수평거리 분해능은 매질의 비유전율의 자승근에 반비례해서 변화하기 때문에, 같은 펄스폭의 레이더로 측정한 경우에는 비유전율이 큰 매질에서 측정한 쪽이 높아진다. 즉, 표 1의 계산결과에 나타난 아이소핑크의 평균 비유전율을 1.3, 콘크리트의 평균 비유전율을 8.9라 하면, 분해능은 콘크리트 매질 쪽이 아이소핑크 매질 쪽보다 약 2.6배 향상된다. 그러나, 그림 6의 (c)와(e)의 실제 측정데이터를 비교한 결과에서는 분해능이 약 1.4배 정도만 향상됨을 알 수 있었다. 이와 같이 계산결과(약 2.6배)와 차가 발생한 것은 콘크리트는 아이소핑크보다 비균질 매질임에 따라 신호의 분산과 변형이 발생하기 쉬워 그로 인한 영향 때문인 것으로 사료된다.

이상의 이유로 인해 아이소핑크 매질에서는 본 방법에 의해 배근간격이 40cm이상에서 정도 좋게 검출된 것으로 보아, 실제 콘크리트 매질에서는 그 1.4배의 분해능 향상이 기대되어 약 30cm 이상의 배근간격부터 본 방법에 의한 검출이 가능할 것으로 판단된다. 실제 실험결과인 표 1의 콘크리트내의

배근간격이 30cm상에서 비교적 양호하게 철근의 실제위치를 확인할 수 있어 이러한 경향은 사실인 것으로 입증되었다.

표 1 각 매질에서의 철근위치 및 매질의 비유전율 산출결과(()내는 x좌표)

구분 매질	배근간격(cm)		상대 오차 (cm)	깊이(cm)		상대 오차 평균 (cm)	비유전율 계산결과
	원위치	계산결과		원위치	계산결과		
아이소 핑크	10 (50,60)	0 (54)	-10	20	21	+1	1.2
	20 (50,70)	40 (38,78)	-20		18, 20	-1	1.5, 1.3
	30 (43,73)	35 (40,75)	+5		19, 16	-2.5	1.0, 1.3
	40 (35,75)	42 (33,75)	+2		17, 23	0	1.8, 1.0
콘크리트	30 (47,77)	33 (46,79)	+3	12	12, 11	-0.5	8.7, 9.1

4. 결론

일반화 호프(Hough)변환기법을 응용하여 실제 철근위치검출을 위한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 철근위치검출을 위해 새롭게 응용된 일반화 호프(Hough)변환기법에 의하면, 원래의 계산방법보다 훨씬 빠르게 계산이 가능하고 그 결과도 비교적 만족한 정도(精度)를 나타내었다 .

(2) 매질의 종류에 관계없이 매질별 배근간격에 충분한 여유가 있을 경우, 철근으로부터의 반사신호(레이더 화상)에 의해 비유전율의 계산이 가능하여 실제 배근된 위치(깊이)를 계산할 수 있었다.

(3) 중심주파수 650MHz의 성능을 갖는 레이더에서는 콘크리트 매질내의 배근간격이 30cm 이상인 경우, 본 방법의 적용이 가능하였다. 다만, 이 결과는 레이더의 중심주파수가 높고, 매질내 비유전율이 높을 수록(단, 사용 레이더의 전자파 투과가 가능한 깊이내에서) 수평분해능이 향상되어 보다 배근간격이 작은 철근에 대해서도 적용이 가능할 것으로 예상된다.

(4) 본 방법은 전기적 성질(내부의 품질)을 알 수 없는 경우의 철근의 실제위치 검출에 유효한 방법으로서 그 적용이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

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. 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