

# 계층적 각-거리 그래프를 이용한 물체 면적 측정을 위한 디지털 영상처리 알고리즘에 관한 연구

김 옹 기<sup>†</sup> · 나 성 웅<sup>\*\*</sup> · 이 정 원<sup>†</sup>

## 요 약

일정한 형태의 물체를 분석하기 위해 사용되는 각-거리 그래프를 이용하여 임의의 물체의 경계선 내부 영역의 면적을 측정하는 디지털 영상처리 알고리즘을 제안한다. 물체의 경계선 내부의 한 점을 중심으로 1차 각-거리 그래프를 생성하고 이 그래프로부터 거리 값이 급격히 변화하는 위치를 추출하여 1차 그래프에서 접근하지 못한 영역을 인식하여 새 영역에서의 한 점을 중심으로 2차 각-거리 그래프를 생성한다. 물체의 형태가 복잡한 경우 차수가 증가하게 되며 이와 같이 계층적으로 구성된 각-거리 그래프 그룹에 대해 거리의 제곱을 각도 방향으로 적분하여 물체의 경계선 내부 영역의 면적을 측정한다.

키워드 : 물체 면적 측정, 계층적 각-거리 그래프, 디지털영상처리

## A Study on Digital Image Processing Algorithm for Area Measurement of an Object Image by the Hierarchical Angle-Distance Graphs

Woong-Ki Kim<sup>†</sup> · Sung-Woong Ra<sup>\*\*</sup> · Jung-Won Lee<sup>†</sup>

## ABSTRACT

Digital image processing algorithm was proposed to measure the area inside of an object image using angle-distance graph used to analyze the pattern of an object in the digital image processing techniques. The first angle-distance graph is generated from a point inside of an object area. The second angle-distance graphs are generated for the areas missed in the first graph by extracting the positions with large gradient in the first angle-distance graph. The order of the graph increases according to the complexity of an object pattern. Size of the area inside of an object boundary is measured by integrating square of distance multiplied by angle for each area from the hierarchical angle-distance graphs.

Key Words : Area Measurement, Hierarchical Angle-Distance Graph, Digital Image Processing

## 1. 서 론

디지털 영상처리 분야에서 목적물의 형태를 인식하거나 크기를 측정하는 기술은 일반 산업 및 의료용 진단, 검사, 그리고 로봇 비전 분야 등 다양한 분야에서 응용되고 있다. 특히 크기를 측정하는 기술은 농산물의 분류, 분말야금 분야에서 결정립의 크기 측정, 의료 영상에서 장기나 이상조직 크기 측정, 비파괴 검사 분야에서의 결함 크기 측정 등 매우 광범위하게 적용되고 있다.

디지털 영상처리 분야에서 현재 사용되는 물체의 면적 측정 방법으로는 경계선 내부에 존재하는 화소(pixel : picture

element)를 판별하고 판별된 화소의 수를 계산하여 면적을 측정하고 이를 이용하여 식 (1)과 같이 물체의 체적을 측정하는 방법으로 컴퓨터 단층 영상의 면적 및 체적 측정에 활용되고 있다[1-3].

$$V = D[(W_p XY) \text{ of } S_i + (W_p XY) \text{ of } S_{i+1}]/2 \quad (1)$$

여기서,  $V$ : 체적

$D$ : 슬라이스 간격

$W_p$ : 물체를 구성하는 화소의 수

$X, Y$ : 한 화소의 가로 및 세로 길이

$S_i, S_{i+1}$ : 슬라이스 번호

이다. P. Soille 등은 영상처리기술을 이용한 나무의 나이트 내부 면적을 측정하는 방법에 관한 연구[4]에서 morphology 방법

※ 본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

<sup>†</sup> 정 회 원 : 한국원자력연구소 책임연구원

<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 충남대학교 교수

논문접수: 2005년 6월 30일, 심사완료: 2006년 2월 27일

을 이용하여 나이트를 정확히 추출한 후에 나이트 사이의 면적 구성원인 각 화소의 수를 더하는 방법을 사용하고 있다. 이 방법의 핵심은 morphology 방법인 erosion과 dilation, opening과 closing 기법 등을 이용하여 경계선을 거의 완전하게 추출하는 알고리즘으로 매우 복잡하다. 이러한 전처리 과정을 통해 경계선이 완전하게 구분된 영상에 대해서 면적을 측정하게 된다. 일반적으로 관심 영역의 화소를 더하여 면적을 계산하는 방법은 전처리 결과에 따라 측정 결과가 많은 영향을 받게 된다. Zhang 등도 자기공명 영상에 대해 동맥의 면적을 측정하는 방법을 제안한 바 있다[5]. 이 방법도 경계선을 추출하고 경계선 내부의 화소를 더하는 기존의 방법과 유사하다. 대부분의 면적 측정 방법은 획득한 영상을 전처리한 후에 면적 구성원인 화소의 수를 더하는 방법을 채택하고 있다[6, 7]. 이와 같이 면적 구성원을 구분하는 경계선 영역 내에서의 화소를 더하여 면적을 측정하는 방법은 물체의 윤곽이 명확한 경우 측정 오차가 매우 적다. 그러나 윤곽이 불명확한 경우 화소가 물체 영역에 속하는지를 판단하는 과정이 복잡할 수 있으며, 노이즈에 약한 단점이 있고, 한 평면에 같은 질감을 가진 2개 이상의 물체가 존재하는 경우 화소의 밝기 값이 유사해 구별이 곤란하여 인위적인 분할 과정을 거쳐야 측정이 가능하다.

면적을 측정하는 효과적인 방법 중의 하나는 화면을 분할 및 통합하여 면적을 계산하는 split-and-merge 방법이 있다 [8]. Split-and-merge 방법은 화면을 점차적으로 세분화시켜 각 세분화된 영역의 면적을 측정하여 전체 영역에 대해 누적함으로써 계산 속도를 향상시킬 수 있으나 이 방법의 경우에도 한 평면에 같은 질감을 가진 2개 이상의 물체가 존재하는 경우 구별이 곤란하다.

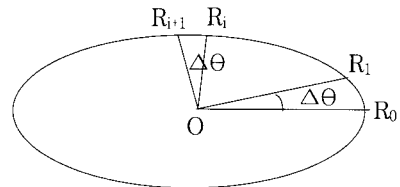
3차원적인 영상 정보를 이용하여 물체의 단면적을 측정하는 방법도 제시되고 있다. Goldsmith 등은 전선과 같이 단면의 모양이 원형으로 일정한 물체에 레이저빔을 조사(illumination)시키고 반사된 원형 패턴을 분석하여 반경을 구한다. 반경 정보를 이용하여 면적을 측정하고 결과를 공정 감시에 활용하고 있다[9]. 이 방법은 물체의 형태가 단순하고 일정해야 적용할 수 있는 특수한 응용 방법이다. 이 방법은 단면의 모양이 단순하고 일정한 전선이나 철강을 생산하는 제조공정의 감시에 유용하게 활용될 수 있지만, 형태가 일정하지 않은 일반적인 물체에는 적용이 곤란하다.

기존 방법의 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 체계적인 각-거리 그래프 그룹을 생성하고, 그래프로부터 거리 제곱 값을 각도 방향으로 적분하여 물체의 면적을 측정하는 방법을 제안하였다. 영상처리 분야에서 물체의 형태를 분석하기 위해 응용되는 각-거리 그래프를 이용하여 물체의 경계선 내부 영역의 면적을 측정할 경우 노이즈에 의한 영향을 최소화시킬 수 있고, 경계선 정보에 대한 의존도를 줄일 수 있으며, 다양한 형태의 물체가 다수 존재하여도 독립적으로 각 물체의 면적을 측정할 수 있다.

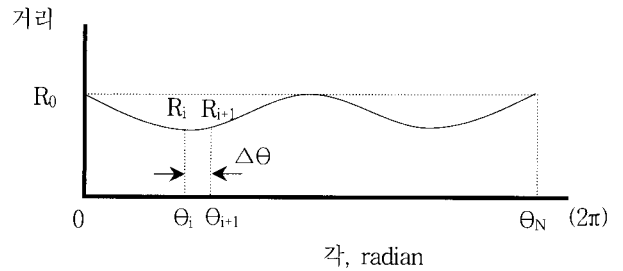
**2. 각-거리 그래프와 면적 측정**

(그림 1)에서 볼 수 있는 바와 같이 2차원 평면상에서 경

계선 영역 내부의 한 점을 중심으로 360도 회전시키면서 중심점으로부터 경계선까지의 거리를 측정하여 얻어지는 회전 각 대 거리 정보를 생성할 수 있으며, 회전각 대 거리 정보를 그래프로 표현하면 (그림 2)와 같다. 이 각-거리 그래프는 물체가 회전하거나 확대 및 축소되면 각-거리 그래프상에서 회전축 방향으로 천이하거나 거리 방향으로 확대 및 축소되지만 본래의 속성은 유지되는 특성을 가지고 있기 때문에 특정한 물체의 인식에 활용될 수 있으며 signature라고도 한다[10].



(그림 1) 각-거리 생성



(그림 2) 각-거리 그래프

본 연구에서는 이 각-거리 그래프를 이용하여 물체의 면적을 측정하는 방법을 제안한다. 360도를 N으로 균등하게 나누고 이 때의 미소 각  $\Delta\theta$ 를 라디안(radian)으로 표현하면,  $\Delta\theta = 2\pi/N$  이다. 이 때 이웃한 거리 값이 각각  $R_i, R_{i+1}$  이고, 그 사이 각을  $\Delta\theta$ 라 하면 이 부분의 면적  $s_i$ 는 근사적으로 식 (2)와 같다.

$$s_i = \frac{1}{2} R_i R_{i+1} \sin \Delta\theta \tag{2}$$

N개의 부분 면적을 모두 합한 전체 면적이 물체의 면적이며 이를  $S_N$ 이라 하면,

$$S_N = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{2} R_i R_{i+1} \sin \Delta\theta \tag{3}$$

이다. 한편 N이 충분히 큰 경우에는,  $R_i \cong R_{i+1}$ ,  $\sin \Delta\theta \cong \Delta\theta$  이므로 식 (3)을 식 (4)와 같이 쓸 수 있다.

$$S_N = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{2} R_i^2 \Delta\theta \tag{4}$$

식 (4)는 식 (3)에 비해 매우 간단하며 사인(sine) 함수를 실행하지 않으므로 계산속도가 매우 빠르다. 물체의 형상이 극단적으로 비정상적인 경우를 제외하고는 근사해  $S_N$ 을 이

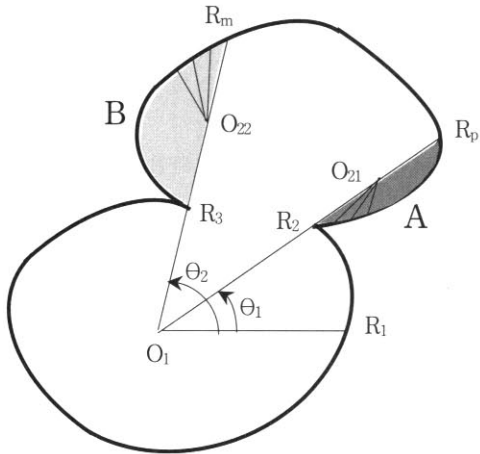
용하여 물체의 면적을 측정할 수 있다.

### 3. 제안된 계층적 각-거리 그래프와 면적 측정

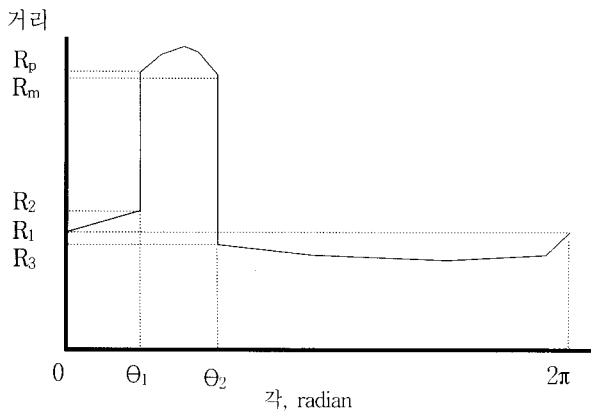
물체의 모양이 단순하여 중심점으로부터 경계선까지 겹치지 않고 직선적으로 모두 접근이 가능한 경우에는 물체의 전체 면적을 쉽게 계산할 수 있다. 그러나 (그림 3)과 같이 물체의 모양이 복잡하여 중심점으로부터 경계선까지 겹치지 않고 직선적으로 접근이 불가능한 경우에는 접근이 불가능한 부분에 대한 고려가 필요하다.

(그림 3)에서 경계선 영역 내부의 한 점  $O_1$ 을 중심으로 각-거리 그래프를 (그림 4)와 같이 생성할 수 있다. 대부분의 영역에서 거리 값은 완만하게 증가하거나 감소하지만  $\theta_1$ 과  $\theta_2$  지점에서는 거리 값이 급격히 변화하였다.

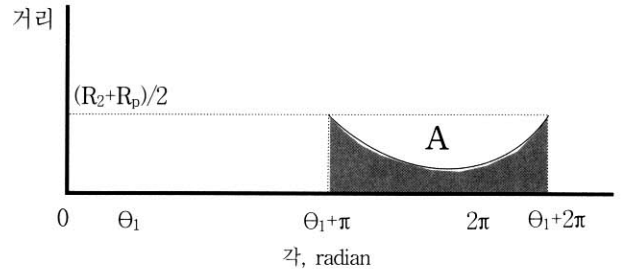
$\theta_1$  지점에서는  $R_2$ 에서  $R_p$ 로 급격히 증가하였다. 이 지점과 접한 A 부분이  $O_1$  점에서는 직선적으로 접근이 불가능한 지점임을 알 수 있다. 여기서,  $R_1$ 은 각도 0도에서의  $O_1$ 과 경계선 사이의 거리를 나타내며,  $R_2$ 는 각도  $\theta_1$ 에 대해서  $O_1$ 과 경계선 사이의 거리 중 작은 값을,  $R_p$ 는 큰 값을 나타낸다. A 부분에 대해 새로운 중심점  $O_{21}$ 을 지정하고  $O_{21}$ 을 중



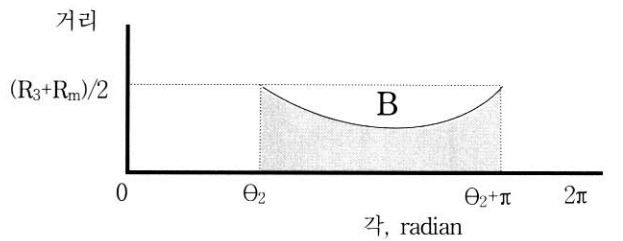
(그림 3) 임의의 물체의 영상



(그림 4) 임의의 물체 영상에 대한 1차 각-거리 그래프



(그림 5) 2차 첫 번째 각-거리 그래프



(그림 6) 2차 두 번째 각-거리 그래프

심으로 각-거리 그래프를 생성할 수 있다. 이 때  $O_{21}$ 은  $R_2$ 와  $R_p$ 의 중간 값으로 정한다. 이 그래프를 첫 번째 2차 각-거리 그래프라 하며 (그림 5)와 같다. 이 2차 각-거리 그래프는  $2\pi$  전 방향에 대해 구할 필요는 없으며, A 부분의 각-거리 그래프는 각  $\theta_1+\pi$ 부터  $\theta_1+2\pi$  까지  $\pi$  범위에서만 구한다. 이를 일반적으로 표현하면, 거리 값이 증가하는 지점을 기준으로 한 영역의 각-거리 그래프는 기준 각이  $\theta_1$ 인 경우에  $\theta_1+\pi$ 부터  $\theta_1+2\pi$  까지  $\pi$  범위에서만 구하면 된다.

$\theta_2$  지점에서는  $R_m$ 에서  $R_3$ 으로 거리 값이 급격히 감소하였다. 이 지점과 접한 B 부분이  $O_1$  점에서는 직선적으로 접근이 불가능한 지점이다.  $R_3$ 은 각도  $\theta_2$ 에 대해서  $O_1$ 과 경계선 사이의 거리 중 작은 값을,  $R_m$ 은 큰 값을 나타낸다. B 부분에 대해 새로운 중심점  $O_{22}$ 를 지정하고  $O_{22}$ 를 중심으로 각-거리 그래프를 생성할 수 있다. 이 때  $O_{22}$ 는  $R_3$ 과  $R_m$ 의 중간 값으로 정한다. 이 그래프를 두 번째 2차 각-거리 그래프라 하며, (그림 6)과 같이 각  $\theta_2$ 부터  $\theta_2+\pi$  까지  $\pi$  범위에서 구한다. 이를 일반적으로 표현하면 거리 값이 감소하는 지점을 기준으로 한 영역의 각-거리 그래프는 기준 각이  $\theta_2$ 인 경우에  $\theta_2$ 부터  $\theta_2+\pi$  까지  $\pi$  범위에서만 구하면 된다.

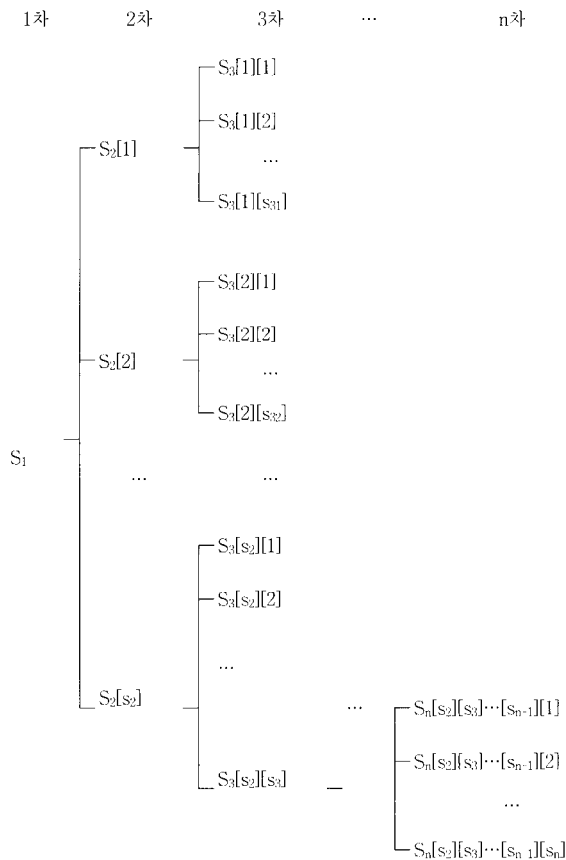
따라서 (그림 3)과 같은 물체의 면적은 1차 각-거리 그래프와 2차 각-거리 그래프에서 각각의 면적을 구하고 이를 합하여 측정이 가능하다.

보다 복잡한 형태의 물체에서는 3차 4차 등의 각-거리 그래프가 계층적으로 생성된다. 즉 1차 각-거리 그래프를 생성하고, 이 1차 각-거리 그래프로부터 거리 값이 급격히 변한 지점의 각도 값을 검색한 후에, 거리 값이 감소 또는 증가하였는지를 판단하여 2차 각-거리 그래프를 생성한다. 계속하여 각각의 2차 각-거리 그래프에서 1차 때와 마찬가지로 거리 값이 급격히 변한 지점의 각도 값을 검색하고, 거리 값이 감소 또는 증가하였는지를 판단하여 3차 각-거리

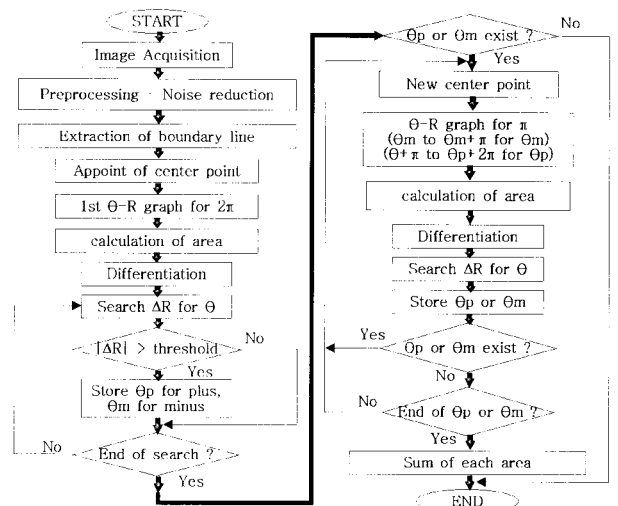
그래프를 생성한다. 이 과정을 계속 수행하여 4차, 5차, ..., n차 등의 각-거리 그래프가 계층적으로 생성될 수 있다. 이와 같은 과정에 의해 구한 각각의 각-거리 그래프로부터 면적을 계산하고, 이 값을 모두 합하면 전체 면적이 된다. 각각의 각-거리 그래프에 의한 부분 면적을 나타내면 (그림 7)과 같다.

여기서  $S_1$ 은 1차 각-거리 그래프에 의해 계산된 면적이며, 1차 각-거리 그래프로부터 급격히 거리 값이 변하는 지점이  $s_2$  개라 하면  $s_2$  개의 2차 각-거리 그래프가 생성되고, 이로부터 각각의 부분 면적을 계산할 수 있다. 이와 같이,  $s_{n-1}$  번째 n-1 차 각-거리 그래프에서 급격히 거리 값이 변하는 지점이  $s_n$  개라 하면  $s_n$  개의 n차 각-거리 그래프가 생성되어 각각의 부분 면적을 계산할 수 있다. 부분 면적을 합하면 전체면적 S를 식 (5)와 같이 구할 수 있다. 이와 같은 면적측정 과정을 정리하면 (그림 8)과 같다.

$$\begin{aligned}
 S = & S_1 + \sum_{i_2=1}^{s_2} S_2[i_2] + \sum_{i_3=1}^{s_{31}} S_3[1][i_3] \\
 & + \sum_{i_3=1}^{s_{32}} S_3[2][i_3] + \dots + \sum_{i_3=1}^{s_3} S_3[s_2][i_3] \\
 & + \dots + \sum_{i_n=1}^{s_n} S_n[s_2][s_3] \dots [s_{n-1}][i_n]
 \end{aligned} \tag{5}$$



(그림 7) 계층적 각-거리 그래프에서 부분 면적 구성

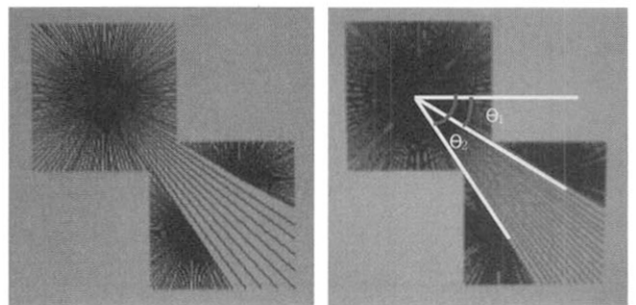


(그림 8) 계층적 각-거리 그래프를 이용한 면적 측정 알고리즘

#### 4. 실험 및 결과

두 개의 정사각형이 겹친 형태의 물체를 표현하는 영상데이터를 생성하고 제안된 알고리즘으로 각-거리 그래프를 생성하였다. 각 정사각형은 99x99화소로 구성되었으며 19x19화소 영역이 겹쳐 있으므로 영상데이터의 면적은 19241(2x99x99-19x19)개의 화소로 구성되어 있다. 각도를 분할하는 분해능을 나타내는 N 값으로는 128, 256, 512, 1024를 적용하였다. (그림 9)는 주어진 영상데이터에 대해 N이 128, 256인 경우에 각-거리 정보를 나타낸다. N이 증가하면 계산량이 증가하지만 물체의 표현에 충실해지며 그에 따른 오차율 감소도 기대할 수 있다.

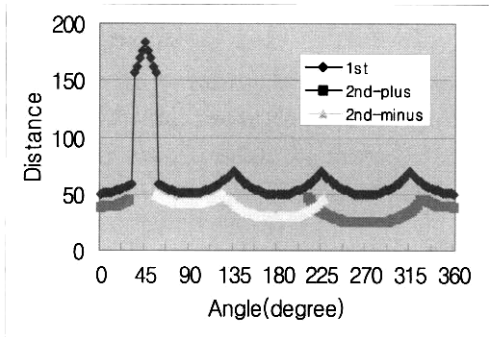
(그림 10)은 주어진 영상데이터에 대한 각-거리 그래프를 나타낸다. 1차 각-거리 그래프에서 거리 값이 급격히 변하는 2개의 지점을 발견할 수 있다. 첫 번째 지점  $\theta_1$ 에서는 값이 증가하였으며 두 번째 지점  $\theta_2$ 에서는 값이 감소하였다. 따라서 첫 번째 지점에서는 각  $\theta_1+\pi$ 부터  $\theta_1+2\pi$  까지 범위에서 2차 각-거리 그래프를 생성하고, 두 번째 지점에서는  $\theta_2$ 부터  $\theta_2+\pi$  까지 범위에서 2차 각-거리 그래프를 생성한다. 1차 및 2차 각-거리 그래프를 이용하여 각각의 면적을 계산하고 더하면 전체 면적을 구할 수 있다.



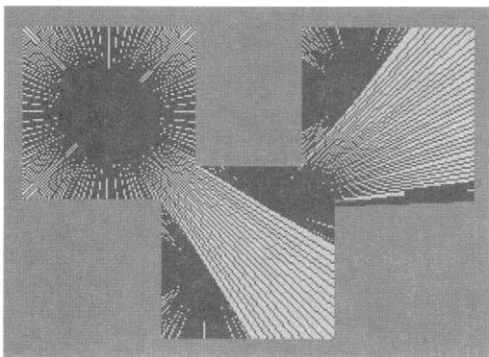
(a) N=128

(b) N=256

(그림 9) 측정할 기준 영상에 대한 각-거리 정보 표현



(그림 10) 각-거리 그래프



(그림 11) 복잡해진 물체 영상에 대한 각-거리 정보 표현(N=256)

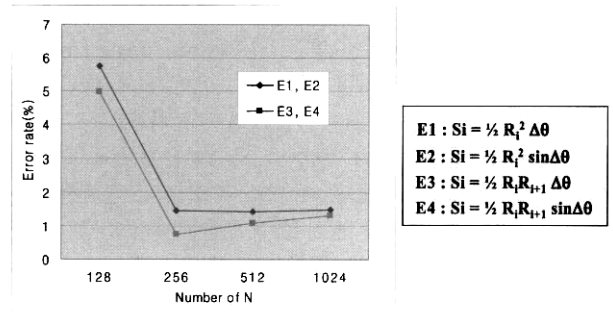
(그림 11)과 같이 기준 영상보다 복잡해진 영상에 대해서도 제시된 알고리즘을 이용하여 물체를 구성하는 각-거리 정보를 얻을 수 있으며, 이 정보를 이용하여 면적을 계산할 수 있다. (그림 9)의 기준데이터는 1차 및 2차의 각-거리 그래프로 표현될 수 있었으며, (그림 11)에 나타난 물체를 표현하기 위해서는 1차, 2차, 그리고 2차 각-거리 그래프에서 파생된 3차의 각-거리 그래프가 요구되었다. 물체의 구조가 복잡해질수록 이를 표현하기 위해서는 각-거리 그래프의 차수가 증가하게 되며 이를 충분히 프로그램에 반영해야 한다.

#### 4.1 각 분해능과 측정 오차율

(그림 12)는 기준 영상에 대해 각 분해능의 변화에 따른 면적 측정 오차율을 측정된 결과를 나타낸다. (그림 12)에서 E1의 경우 본 연구에서 적용한 가장 간단한 미소 면적 측정 식이며, E2, E3, E4는 E1보다 정확한 근사식을 사용한 경우이다. 측정결과 E1은 E2와 유사한 결과를 나타냈으며 E3는 E4와 유사한 결과를 나타냈다. E1과 E2의 경우 E3와 E4의 경우보다 오차율이 다소 증가하였지만 그 차이는 1% 미만으로 미미하였다. 따라서 E1의 근사식을 이용하여 면적을 계산해도 큰 오차가 발생하지 않음을 알 수 있다.

N=128에서 E1의 경우 약 6%의 오차가 발생하였으나 N=256 이상에서 측정 오차는 1.4% 이내로 나타났으며, N=256 이상에서는 오차가 더 이상 크게 감소하지 않았다. 일반적으로 N을 증가시키면 계산량이 증가하는 반면 오차가 감소할 것으로 기대할 수 있지만 디지털 데이터의 특성

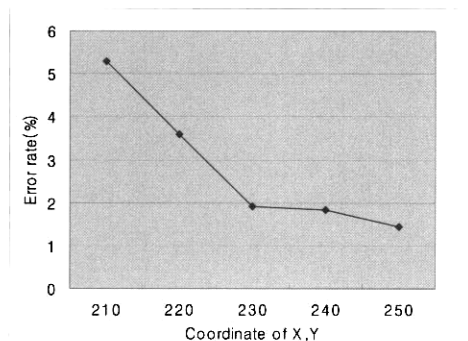
상 양자화 에러 등이 누적되어 일정한 범위에서는 N의 증가에 따라 오차가 감소하나 그 이상의 N에 대해서는 더 이상 오차가 감소하지 않는다. (그림 12)에서 볼 수 있는 바와 같이 본 실험에서도 N값이 256이상에서는 오차율이 감소하지 않는 결과를 나타내고 있다. 따라서 본 연구에서는 최적의 N값으로 256을 적용하였다.



(그림 12) 각 분해능과 측정 오차율

#### 4.2 중심점의 위치와 측정 오차율

물체의 형태에 따라 1차 각-거리 그래프를 생성하기 위한 중심점의 위치가 측정 오차에 영향을 줄 수 있다. 일반적으로 물체의 중심에 중심점을 설정하면 물체의 외곽에 중심점을 위치시키는 경우에 비해 오차를 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 본 실험에서는 하나의 사각형의 중심(X, Y좌표 : 250,250)을 기준으로 외곽에 중심을 지정한 경우에 대해 오차율을 측정하였다. (그림 13)은 1차 각-거리 그래프를 생성하기 위해 지정한 중심점의 위치에 따른 오차율을 측정된 결과를 나타낸다. 여기서 N=256이다. 사각형의 중심에 1차 각-거리 그래프의 중심을 설정한 경우에 약 1.4%의 오차율을 나타냈으며, 외곽으로 각-거리 그래프의 중심을 이동함에 따라 오차율이 약 6%로 증가하였다. 이는 외곽으로 중심을 설정할 경우에 미소영역의 형태가 왜곡되어 미소 면적 측정을 위한 근사식을 적용하기에 무리가 발생하고 그에 따른 오차의 누적으로 오차율이 증가하게 된다. 따라서 물체의 형태에 따라 다르지만 가능한 1차 각-거리 그래프를 생성하기 위한 중심점을 물체의 중심에 설정하면 오차율을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.



(그림 13) 중심점의 위치와 측정 오차율(N=256)

### 5. 결 론

본 연구에서는 임의의 물체에 대해 계층적 각-거리 그래프를 생성하여 각각의 그래프로부터 부분 면적을 계산하고, 이를 합하여 물체의 면적을 측정하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘을 이용하여 영상데이터를 생성하고 실험한 결과 N=256인 경우 1.4%의 측정 오차를 나타내 우수한 성능을 나타낸 것으로 분석된다. 제시된 알고리즘을 응용하기 위해서는 능률적인 영상 전처리(pre-processing) 기술 개발이 추가로 요구되며, 다양한 모양의 물체를 전 범위에서 측정할 수 있도록 각-거리 그래프의 차수를 프로그램에서 확장할 필요가 있다. 제안된 알고리즘을 응용할 경우 경계선 내부의 면적을 쉽게 계산할 수 있으며, 경계선이 불연속한 경우나 노이즈의 영향을 최소화할 수 있어 다양한 물체의 면적 측정기술 자동화에 기여할 수 있을 것이다. 따라서 일반 산업 분야 및 CT 영상에서의 단면(slice)의 패턴 면적 측정, 핵연료의 조직 검사 등에도 적용되어 검사능률 및 신뢰성을 향상시킬 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

[1] A. Carrington and A.D. McLachlan, "Introduction to Resonance," Chapman and Hall, London, 1967.  
 [2] 유승화, "복부 CT image에서 간과 비장의 추출에 대한 연구," 충남대학교 석사학위논문, 1998.  
 [3] 고현진, "의학영상 자동영역분할 Algorithm을 이용한 백질, 회백질, 뇌척수액 체적 분석," 충남대학교 석사학위논문, 2002.  
 [4] P. Soille and L. Misson, "Tree Ring Area Measurement Using Morphological Image Analysis," Can. J. For. Res, Vol. 31, pp.1074-1083, 1998.  
 [5] S. Zhang, T. S. Hatsukami, N. L. Polissar, C. Han and C. Yuan, "Comparison of Carotid Vessel Wall Area Measurement Using Three Different Contrast-weighted Black Blood MR Imaging Techniques," Magnetic Resonance Imaging, Vol.19, pp.795-802, 2001.  
 [6] T. Akuysu, "Process for Measuring Lamina Size Distribution," US patent 4661985, 1987.  
 [7] D. R. Seitz and C. Woods, "Engraved Area Volume Measurement System and Method Using Pixel Data," US patent 5831746, 1998.

[8] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital image processing," Addison Wesley, pp.461-465, 1992.  
 [9] M. Goldsmith and M. Hone, "Cross-sectional Area Measuring Machine," US patent 5428449, 1995.  
 [10] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital image processing," Addison Wesley, pp.488-490, 1992.



#### 김 옹 기

e-mail : wkkim@kaeri.re.kr

1986년 고려대학교 전자공학과(학사)  
 1995년 충남대학교 전자공학과(공학석사)  
 2001년~현재 충남대학교 전자공학과 박사과정  
 1986년~1987년 금성전기(주) 기사

1987년~현재 한국원자력연구소 책임연구원  
 관심분야: 영상처리, 패턴인식, CT, 방사선투과검사, 핵연료품질검사

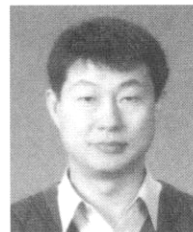


#### 나 성 응

e-mail : swra@cnu.ac.kr

1976년 서울대학교 전기공학과(학사)  
 1978년 KAIST 전기전자공학과(공학석사)  
 1992년 KAIST 전기전자공학과(공학박사)  
 1978년~1979년 상공부 전자전기공업국 전기기좌

1980년~현재 충남대학교 교수  
 관심분야: 영상코딩, 영상신호처리



#### 이 정 원

e-mail : jwlee3@kaeri.re.kr

1979년 연세대학교 금속공학과(학사)  
 1984년 연세대학교 금속공학과(공학석사)  
 1992년 연세대학교 금속공학과(공학박사)  
 1981년~1982년 한국전력공사 고리원자력 발전소

1986년~현재 한국원자력연구소 책임연구원  
 관심분야: 핵연료제조, 핵연료 검사