

## Julia Set을 이용한 회전 대칭 프랙탈 이미지 생성

한영덕  
우석대학교 정보보안학과  
ydhan@woosuk.ac.kr

### Creation of Fractal Images with Rotational Symmetry Based on Julia Set

Yeong-Deok Han  
Dept. of Information Security, Woosuk University

#### 요 약

이미지 디자인 등에 사용하기에 용이한 정다각형의 회전대칭성을 갖는 프랙탈 생성에 대해 연구하였다. Loocke의 논문[13]에서 사용한 방법과 같이 회전, 축소 아핀함수를 기반으로 하되 제곱근(square root)함수 대신 줄리아 셋(Julia set)을 생성하는 함수들로 확장하여 IFS(iterated function systems)를 구성하였다. 그 결과 줄리아 셋의 모양에 바탕을 둔 회전 대칭적 프랙탈을 생성할 수 있었으며, 줄리아 셋의 모양이 잘 나타나지 않는 경우에는 IFS 생성 알고리즘의 확률적 함수선택 부분을 변경하여 줄리아 셋의 모양이 뚜렷해지도록 할 수 있음을 보였다. 또한 줄리아 셋의 모양을 지수의 변화를 통해 변형하는 방법을 제안하였다.

#### ABSTRACT

We studied the creation of fractal images with polygonal rotation symmetry. As in Loocke's method[13] we start with IFS of affine functions that create polygonal fractals and extends the IFS by adding functions that create Julia sets instead of adding square root functions. The resulting images are rotationally symmetric and Julia set shaped. Also we can improve fractal images by modifying probabilistic IFS algorithm, and we suggest a method of deforming Julia set by changing exponent value.

**Keywords** : Fractal, Rotational symmetry, Iterated function systems, Julia set

Received: Nov. 24, 2014 Accepted: Dec. 10, 2014  
Corresponding Author: Yeong-Deok Han (Woosuk University)  
E-mail: ydhan@woosuk.ac.kr

© The Korea Game Society. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1598-4540 / eISSN: 2287-8211

## 1. 서론

프랙탈은 자기반복적 특성을 가지는 기하학적 형태로서 간단한 규칙이나 알고리즘으로 생성이 가능하다. 프랙탈은 생성시의 조건에 따라 나뉘거나 지형, 구름과 같은 형태를 만들 수 있어 게임의 배경에 등장하는 자연물과 같은 것을 묘사하는데 이용되고 있으며, 영상의 압축이나 음악분야 및 예술적 이미지의 디자인이나 Wall paper의 생성 등의 다양한 분야에 응용되고 있다[1,2,3,4,5,6,7].

프랙탈 도형을 이미지 디자인에 사용할 때 하나의 도형이 단독으로 사용될 수도 있지만 다른 도형들과 함께 더 큰 이미지 디자인의 한 부분으로 사용될 수도 있다. 그런데 프랙탈 도형의 테두리 부분의 모양은 시에르핀스키(Sierpinski) 삼각형에서와 같이 단순한 기하학적 모양인 경우도 있지만 대부분의 경우는 정형화 되어 있지 않다. 따라서 배경 이미지, wall paper 등에서와 같이 2차원 평면을 빈틈없이 채우도록 반복하여 그려야 하는 경우 경계부분을 자연스럽게 처리하기가 어려운 문제가 있다. 만약 프랙탈 도형의 가장자리 모양이 평면을 채우기에 적합한 삼각형, 사각형, 육각형 등의 정다각형 모양이거나 또는  $2\pi/n$  회전에 대해 불변인 특성(대칭성)을 가지고 있다면 연속적으로 그리거나 다른 도형과 인접하여 배치하기에 한층 편리할 것이다. 따라서 프랙탈의 활용을 위해서 이러한 모양의 프랙탈 도형 생성에 관한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

프랙탈 도형을 생성하는 방법은 여러 가지가 있는데, 여기서는 그 중 IFS(Iterated Function Systems)를 통한 프랙탈 생성[1]을 고려한다.

공간 위에서 정의되는  $n$ 개의 함수  $F_i, (i=1, \dots, n)$ 를 생각하자. 단  $F_i$ 는 임의의 두 점에 가했을 때 두 점간의 거리를 줄여주는 축소 사상이라고 가정한다. 이 함수들에 대한 끌개(attractor)는 공간의 점들의 집합  $S$ 로 다음과 같은 식으로 정의된다.

$$S = \bigcup_{i=1}^n F_i(S) \quad (\text{eq. 1})$$

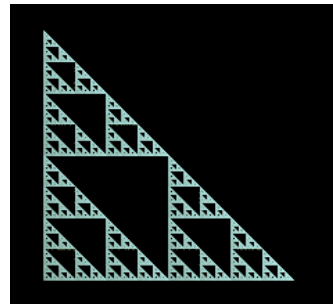
즉  $S$ 를  $F_i$ 의 축소한 점들에 의해  $S$ 가 구성되는 조건을 의미하는 것인데  $S$ 는 일반적으로 프랙탈 도형이 됨이 알려져 있다. 평면상의 점  $(x, y)$ 를 복소수  $z = x + iy$ 를 이용하여 표시할 때, 예를 들어

$$z' = f_1(z) = \frac{1}{2}z \quad (\text{eq. 2a})$$

$$z' = f_2(z) = \frac{1}{2}z + 0.5 \quad (\text{eq. 2b})$$

$$z' = f_3(z) = \frac{1}{2}z + 0.5i \quad (\text{eq. 2c})$$

와 같이 평면 위에서의 3개의 아핀(affine)함수로 이루어진 IFS의 경우, 이에 대한 attractor는 [Fig. 1]과 같은 시에르핀스키(Sierpinski) 삼각형이 된다.



[Fig. 1] 시에르핀스키 삼각형

집합  $S$ 를 조건 (eq. 1)을 이용하여 직접 구하는 것은 어렵지만  $F_i$ 의 축소시키는 성질을 활용한 다음과 같은 Chaos Game 알고리즘을 이용하면 손쉽게  $S$ 의 모양을 그릴 수 있다.

- 1) 먼저 임의의 초기점  $(x_0, y_0)$ 를 잡는다.
- 2)  $F_i$  중 임의로 하나를 선택하여  $(x_0, y_0)$ 에 대하여 다음 점  $(x_1, y_1)$ 을 얻는다.
- 3) 계속하여 2)와 같은 방법으로 다음의 점을

얻는 과정을 반복한다. 이 때 반복한 회수가 어느 이상이 된 이 후부터 유효한 점으로 보고 평면에 표시한다.

IFS에서는 사용하는 함수에 따라 다양한 도형이 나타나게 되는데 이를 미적인 이미지의 디자인에 활용하는 것도 가능하다. 예를 들어 IFS의 알고리즘에 적당한 함수를 삽입하면 특이한 모양의 프랙탈을 얻을 수도 있는데 이를 활용한 프랙탈 플레임 알고리즘[8]은 이미지 디자인이나 Wall paper 생성 등에 응용되고 있다.

## 2. 회전 대칭성을 갖는 프랙탈 생성 방법

### 2.1 기존의 연구

IFS 에 의해 프랙탈을 생성할 때  $2\pi/n$  회전 대칭성을 갖도록 하는 기존의 연구로는 회전대칭성의 조건을 만족하는 함수를 사용하는 방법[9,10,11], 또는 임의의 함수가 주어졌을 때 회전 대칭성을 갖도록 함수를 변환하여 사용하는 방법[12] 등이 있다. 이 방법들은 함수 자체에 대칭성의 조건으로 제약을 가하는 방법들인데 각 함수들에 회전 대칭성의 특성과 그리고자 하는 프랙탈 모양의 세부적 특성이 모두 들어있는 방법이라고 할 수 있다.

한편 최근에 Loocke 등에 의해 연구된 방법[13]에서는 프랙탈의 회전대칭성과 모양 축소 부분을 담당하는 2개의 아핀(Affine) 함수에 프랙탈의 세부적 모양을 특징짓는 비선형인 함수(복소수 square root 함수)를 추가하여 IFS를 구성함으로써 재미있는 모양의 프랙탈을 얻고 있다. 논문[13]에 예시된 이미지들을 보면 아핀함수와 비선형 함수를 함께 사용함에 따라 정다각형 모양의 테두리 안에 독특한 세부적 모양을 가지는 프랙탈 도형이 생성됨을 볼 수 있다. [9,10,11,12]의 방법에서는 다각형 모양의 특성과 프랙탈 모양의 특성이 각 함수들에 복합적으로 들어 있는 반면 Loocke의 방법

에서는 이 두 가지가 각각 별도의 함수로 분리되어 있는 점이 특징이다. 따라서 Loocke 의 방법은 프랙탈의 회전 대칭성과 프랙탈 내부의 세부적 모양을 독립적으로 컨트롤 할 수 있다는 점에서 편리한 방법이라고 할 수 있다. 그러나 프랙탈의 세부적 모양이 원형에 기반을 두었다는 점에서 제한되어 있다. 본 논문에서는 이를 다른 곡선으로 확장하는 방법에 대해 고려하였다.

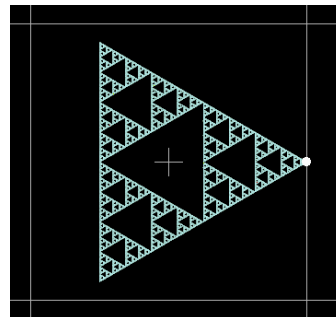
### 2.2 다각형 프랙탈 생성을 위한 IFS

먼저 원점에 대해  $\theta$  만큼 회전시키는 함수와 어떤 고정된 점으로 축소시키는 함수를 사용하여 정다각형 모양의 프랙탈을 얻는 방법에 대해 알아보자. 평면 위의 점을 복소수  $z = x + iy$  를 이용하여 표시할 때, 임의의 점  $z_1$ 을 중심으로  $r$ 의 비율로 축소시키는 함수  $f_1$  과 원점에 대하여  $\theta$  만큼 회전시키는 함수  $f_2$  는 다음과 같이 표현된다.

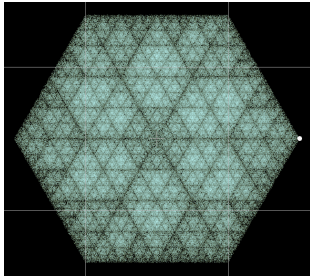
$$z' = f_1(z) \equiv r \cdot (z - z_1), \quad (0 < r < 1) \quad (\text{eq. 3})$$

$$z' = f_2(z) \equiv \exp(i\theta) \cdot z \quad (\text{eq. 4})$$

이 두 함수로 IFS를 구성하였을 때, 얻어지는 결과를 [Fig. 2]에 예시하였다. 그림에서 축소 중심  $z_1$ 은 흰 점으로, 회전 중심은 가운데의 +모양으로 나타내었으며  $x = \pm 1, y = \pm 1$ 의 직선도 나타내었다.



[Fig. 2] (a)  $z_1 = 1 + 0i, r = 0.5, \theta = 2\pi/3$  일 때 생성되는 프랙탈

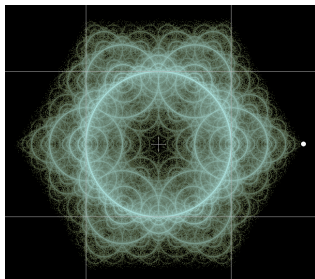


[Fig. 2] (b)  $z_1 = 2 + 0i$ ,  $r = 0.5$ ,  $\theta = 2\pi/6$  일 때 생성되는 프랙탈

$f_1, f_2$ 의 IFS에 다른 함수를 추가하면 정다각형의 회전대칭성을 가지면서 세부적인 모양은 추가된 함수에 의해 특징지어지는 프랙탈을 얻을 수 있다. 예를 들어 Loocke 가 사용한 복소수 제곱근함수를

$$z' = f_{3\pm}(z) = \pm \sqrt{az}, (|a| = 1) \quad (\text{eq. 5})$$

추가한 경우 [Fig. 3]과 같은 도형을 얻을 수 있다.



[Fig. 3]  $z_1 = 2 + 0i$ ,  $r = 0.5$ ,  $\theta = 2\pi/6$  의  $f_1, f_2$ , 그리고  $f_{3\pm}$  에 의해 생성된 프랙탈

[Fig. 3]의 도형을 보면 크고 작은 원형 및 약간 변형된 원형들로 채워져 있다. 그 이유는 평면상의 임의의 점에 (eq. 5)의 함수가 반복해서 가해지면  $f_{3\pm}$ 의 제곱근의 성질에 의해  $|z| = 1$ 인 원주로 접근하게 되는데, 이 점들이  $f_1, f_2$ 에 의해 축소 및 회전되며 6각형 내에 분포되기 때문이다.

따라서 만약 원에 접근하는 제곱근 함수를 사용한 Loocke의 방법과 달리 다른 곡선에 접근하는 함수를 사용한다면 그 곡선 형태를 특징으로 하는

프랙탈이 얻어질 것이 예상된다. 이러한 아이디어에 따라 본 연구에서는 다른 곡선 모양을 특징으로 갖도록 방법을 확장해 보았다. 3장에서는 곡선 모양에 관련된 함수를 프랙탈 곡선인 줄리아(Julia) 셋(Set)을 생성하는 함수로 확장하였을 때 어떠한 프랙탈을 얻을 수 있는지를 구체적 예를 통해 알아본다.

### 3. 줄리아 셋에 기반한 다각형 프랙탈

#### 3.1 줄리아 셋

먼저 복소수 유리함수  $h(z)$ 의 줄리아 셋을 그리는 방법에 대해 간단히 알아보자[1]. 적당한 점  $z'$ 을 잡은 뒤  $z' = h(z)$ 인 역 이미지  $z$ 를 계속 구하는 것을 반복하면 줄리아 셋의 점으로 접근하게 되는데 이를 이용하여 손쉽게 줄리아 셋을 그릴 수 있다.

예를 들어

$$z' = h(z) = z^m + c \quad (\text{eq. 6})$$

와 같은 함수의 경우를 보면  $z'$ 의 역 이미지  $z$ 는  $m$  개가 있다. 이를

$$z^m = z' - c = re^{i\theta} \quad (\text{eq. 7})$$

와 같이 극형식으로 표현하면

$$z = g_{mk}(z') = r^{1/m} e^{i \frac{\theta + 2\pi k}{m}} \quad (\text{eq. 8})$$

(단,  $k = 0, 1, \dots, m - 1$ )

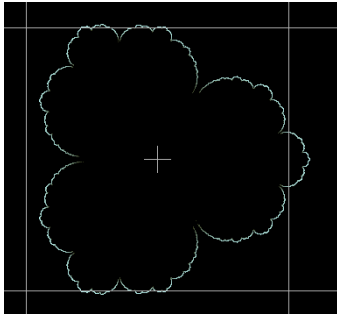
와 같이 나타낼 수 있는데,  $g_{mk}$  중에서 랜덤하게 하나를 택해  $z$ 를 구해나가는 것을 반복하면 줄리아 셋이 그려진다. 즉 IFS의 Chaos game 알고리즘과 같은 방법으로 줄리아 셋을 그릴 수 있다.

### 3.2 줄리아 셋에 의한 회전 대칭 프랙탈

여기서는 다각형을 생성하는 축소 및 회전 함수  $f_1, f_2$  에 줄리아 셋을 생성하는  $g_{mk}$  함수들을 추가한 IFS를 통해 생성된 결과들을 구체적 예를 통해 살펴본다.

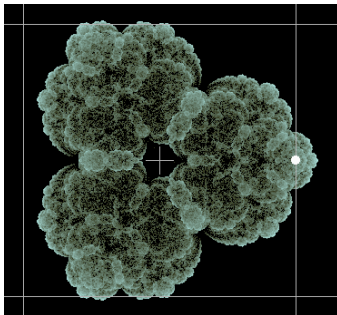
#### 3.2.1 줄리아 셋( $m=3, c=0.4+0i$ )에 의해 얻어지는 프랙탈

다항식의 차수  $m$ 이 3인 경우 (eq. 8)에 의해 얻어지는 줄리아 셋을 [Fig. 4]에 나타내었다.



[Fig. 4] 줄리아 셋( $m=3, c=0.4+0i$ )

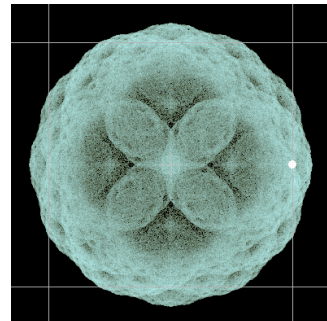
줄리아 셋을 생성하는 (eq. 8)의 함수에 다음과 같은  $z_1=1+0i, r=0.5$  및  $\theta=2\pi/3, 2\pi/4, 2\pi/6$  값으로 정의되는 축소 및 회전 함수  $f_1, f_2$  를 추가하여 IFS 시스템을 확장했을 때 생성된 프랙탈 도형을 [Fig. 5](a)~(c)에 나타내었다.



[Fig. 5](a)  $z_1=1+0i, r=0.5, \theta=2\pi/3$

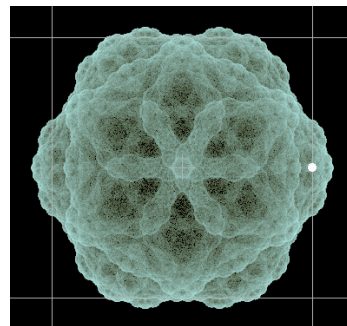
[Fig. 5](a)에서는 도형의 테두리는 줄리아 셋의 모양을 가지고 있으나 점들로 면이 채워진 모양을 하고 있다. 그 이유는 확장된 IFS 시스템에 속한  $g_{mk}$  함수와  $f_1, f_2$ 가 Chaos Game 알고리즘에 따라 섞여서 이터레이션되기 때문이다.

한편 도형의 테두리에는 줄리아 셋의 모양을 뚜렷하게 유지하고 있음을 볼 수 있는데 이는 축소 중심점  $z_1$ 이 원점에서 멀리 떨어져 있고  $f_2$ 에 의해  $2\pi/3$ 회전이 되고 있으며 축소비율  $r$ 도 충분히 작아 곡선의 경계를 넘어 점들이 생성되지 않기 때문이다. 그러나 일반적으로 곡선의 모양이 유지되는 조건을 구하는 것은 줄리아 셋의 모양이 불규칙한 까닭에 쉽지 않다.



[Fig. 5](b)  $z_1=1+0i, r=0.5, \theta=2\pi/4$

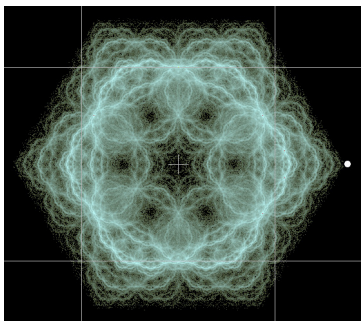
[Fig. 5](b)에서는 줄리아 셋 모양의 일부만 테두리에 나타나고 있다.



[Fig. 5](c)  $z_1=1+0i, r=0.5, \theta=2\pi/6$

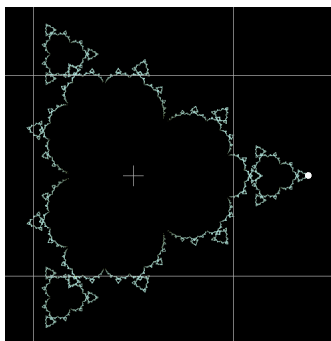
[Fig. 5](c)에서는  $f_2$ 에 의해  $2\pi/6$ 회전이 되고 있어 6각형의 회전대칭성을 가지는 모양이다.

축소 중심점  $z_1$ 을 줄리아 셋에서 충분히 바깥쪽에 위치시키면 [Fig. 6]과 같이 다각형 모양의 테두리를 갖는 도형을 얻을 수 있다. [Fig. 3]에서의 원형이 줄리아 셋 모양의 곡선으로 대체된 유사한 모양이다.



[Fig. 6]  $z_1 = 1.75 + 0i$ ,  $r = 0.5$ ,  $\theta = 2\pi/6$

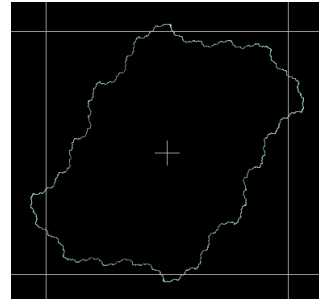
축소 비율  $r$ 이 작으면 빈 공간이 많은 모양이 된다. [Fig. 7]은 축소 중심점을 멀리 위치시켜 줄리아 곡선 내부가 빈 공간이 되게 한 경우이다.



[Fig. 7]  $z_1 = 1.75 + 0i$ ,  $r = 0.2$ ,  $\theta = 2\pi/3$

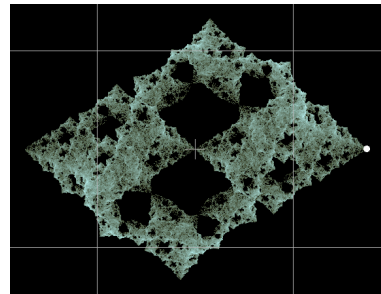
### 3.2.2 줄리아 셋( $m=2$ , $c=0+0.4i$ )에 의해 얻어지는 프랙탈

이 경우의 줄리아 셋은 [Fig. 8]과 같다.

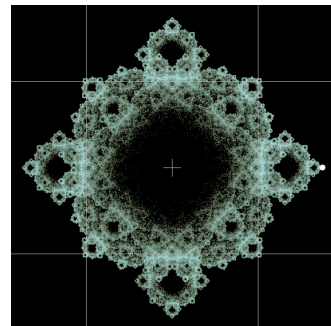


[Fig. 8] 줄리아 셋( $m=2$ ,  $c=0+0.4i$ )

앞에서와 마찬가지로 축소 및 회전 시키는 함수를 추가하여 얻어진 결과를 [Fig. 9](a)~(b)에 나타내었다.



[Fig. 9](a)  $z_1 = 1.75 + 0i$ ,  $r = 0.5$ ,  $\theta = 2\pi/2$



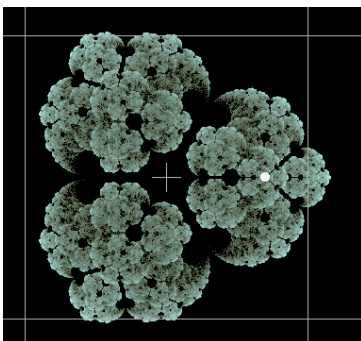
[Fig. 9](b)  $z_1 = 1.75 + 0i$ ,  $r = 0.25$ ,  $\theta = 2\pi/4$

### 3.3 IFS 함수 선택 알고리즘 개선

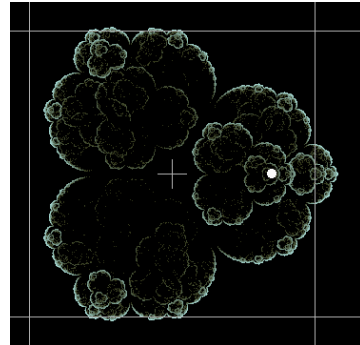
Chaos Game 알고리즘에서는 IFS를 구성하는 함수들을 어떤 확률로 선택하여 가하게 된다. 줄리아 셋이 뚜렷하게 나타나기 위해서는  $g_{mk}$ 만 반복

해야 하는데 새로 구성된 IFS에서는  $g_{mk}$ 와  $f_1, f_2$ 를 랜덤하게 선택하게 되므로 줄리아 셋의 모양이 뚜렷하지 않게 되는 현상이 발생한다. 이를 개선하기 위해서는  $g_{mk}$ 가 좀 더 많이 가해지도록 하면 되는데, 단순히  $g_{mk}$ 선택의 확률을 증가시키는 방법은 좋지 않았다. 그 보다는  $g_{mk}$ 가 선택되었을 때 계속하여 연속으로  $g_{mk}$ 를 정해진 회수만큼 가하는 것이 효과적이었다. 왜냐하면  $g_{mk}$ 선택의 확률을 증가시키는 경우에는  $f_1, f_2$ 의 선택 확률이 작아지게 되어 전체의 회전대칭의 균일성이 깨지기 때문이다.

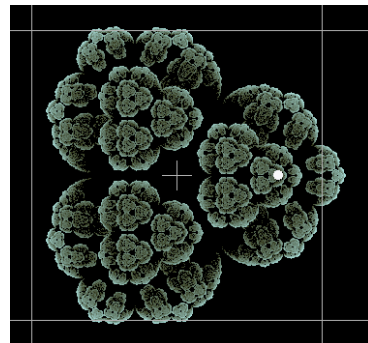
[Fig. 10](a)~(d)에서는 이 방법에 의해 개선된 이미지를 보여준다.  $f_1, f_2, g_{mk}$ 의 선택 확률을 각각  $p_1, p_2, p_3$ 로 나타내자.(각  $k$ 에 대한  $g_{mk}$ 의 확률은  $p_3/m$ ) [Fig. 10](a)는 일반적인 확률적 함수 선택에 의한 결과로  $p_1=0.1, p_2=0.8, p_3=0.1$ 인 경우이다. [Fig. 10](b)는  $g_{mk}$ 의 선택 확률  $p_3$ 를 단순히 증가시킨  $p_1=0.1, p_2=0.1, p_3=0.8$  경우인데 회전 대칭의 균일성이 깨지고 있다. [Fig. 10](c)와 [Fig. 10](d)는  $p_1=0.1, p_2=0.8, p_3=0.1$ 의 확률로 선택하되  $g_{mk}$ 가 선택되었을 때 각각 연속으로 2번 및 3번 가하는 방법에 의한 결과이다. 연속으로 가하는 횟수에 따라 줄리아 셋의 곡선 모양의 뚜렷한 정도가 달라짐을 볼 수 있다.



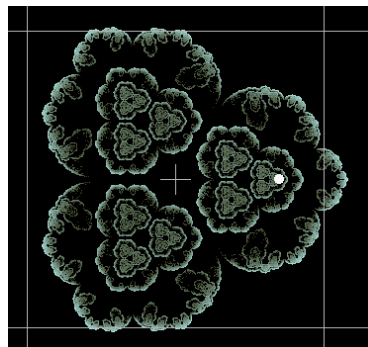
[Fig. 10](a)  $z_1 = 0.7 + 0i, r = 0.35, \theta = 2\pi/3$



[Fig. 10](b)  $z_1 = 0.7 + 0i, r = 0.35, \theta = 2\pi/3$

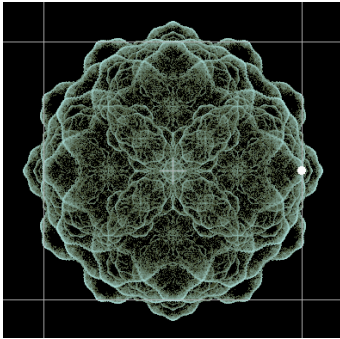


[Fig. 10](c)  $z_1 = 0.7 + 0i, r = 0.35, \theta = 2\pi/3$



[Fig. 10](d)  $z_1 = 0.7 + 0i, r = 0.35, \theta = 2\pi/3$

한편 줄리아 곡선의 회전대칭성과  $f_2$ 의 회전각도가 일치하지 않아 모양이 흐릿한 [Fig. 5](b)와 같은 경우도  $g_{mk}$ 를 연속으로 3번 실행하는 방법을 적용한 결과 [Fig. 11]과 같이 곡선 모양이 뚜렷해짐을 볼 수 있다.

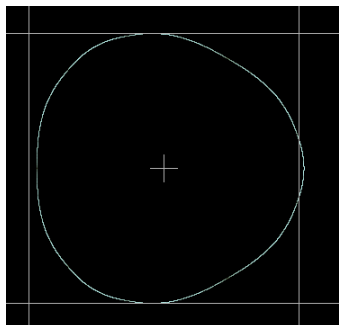


[Fig. 11]  $z_1 = 1 + 0i$ ,  $r = 0.5$ ,  $\theta = 2\pi/4$

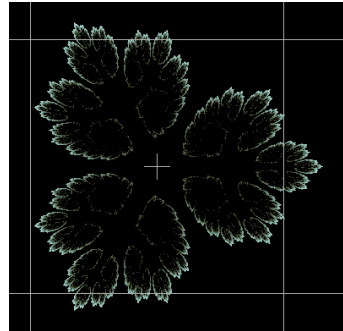
### 3.4 줄리아 셋의 변형 방법

줄리아 셋을 변형할 수 있다면 이를 바탕으로 보다 다양한 이미지를 얻을 수 있을 것이다. 여기서는 간단한 변형 방법을 제안하고 그 결과를 나타내었다.

줄리아 셋을 그려내는 (eq. 8)에서  $r^{\frac{1}{m}}$  부분은  $r \rightarrow 1$  로 접근하게 하는 역할을 한다. 따라서 이 부분을  $r^p$  (단  $0 < p < 1$ )로 바꾸어도 (eq. 8)을 통해 어떤 곡선을 얻을 수 있다. 이렇게 변형된 곡선의 모양은  $c, m, p$  에 의존하는데, 이 때  $p$ 가 0에 가까울수록  $r \rightarrow 1$  로 빠르게 접근하므로 원형에 가까운 모양을 하게 된다. [Fig. 4]와 같은 조건에서  $p = 0.1, 0.5$  인 두 경우를 [Fig. 12](a)~(b)에 나타내었다. 곡선의 매끄럽고 거친 정도가  $p$ 에 따라 달라짐을 볼 수 있다.

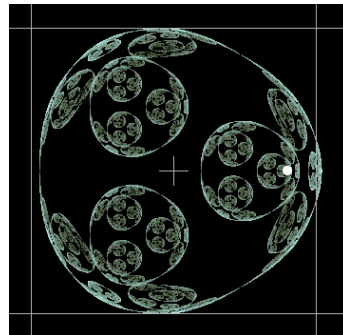


[Fig. 12](a) 곡선  $m = 3$ ,  $c = 0.4 + 0i$ ,  $p = 0.1$

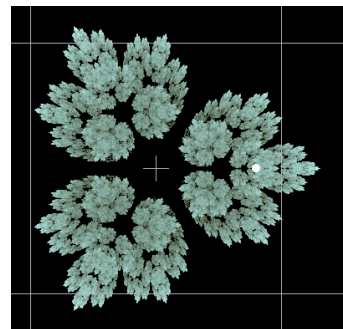


[Fig. 12](b) 곡선  $m = 3$ ,  $c = 0.4 + 0i$ ,  $p = 0.5$

[Fig. 13](a)~(b)은 여기에  $f_1, f_2$  를 추가하였을 때 각각 나타나는 결과이다.



[Fig. 13](a)  $z_1 = 0.8 + 0i$ ,  $r = 0.35$ ,  $\theta = 2\pi/3$



[Fig. 13](b)  $z_1 = 0.8 + 0i$ ,  $r = 0.35$ ,  $\theta = 2\pi/3$

### 3.5 로그(log) 밀도에 의한 컬러링

좋은 이미지를 얻기 위해서는 적당한 컬러 부여 방법이 있어야 하는데 On/Off 방식의 흑백 점찍기



로는 해상도의 제한으로 보기 좋은 모양이 나오지 않는다. 위에서 예시한 이미지들은 이터레이션시 한 픽셀에 점이 도달한 회수에 로그를 취하여 픽셀의 밝기를 정하는 방식으로 그린 것들이다.

#### 4. 결 론

다각형 모양의 회전 대칭적 프랙탈을 생성하는 2개의 아핀 함수에 [13]에서 사용한 제곱근 함수 대신 이를 확장한 줄리아 셋을 생성하는 함수들을 추가하여 IFS를 구성하였다. 그 결과 다각형의 회전 대칭성을 가지며 줄리아 셋의 모양을 특징으로 하는 다양한 프랙탈 이미지를 생성할 수 있었다. 또한 줄리아 셋의 모양이 뚜렷하지 않게 되는 경우에는 Chaos Game 알고리즘을 수정하여 이를 개선할 수 있음을 보였으며 줄리아 셋을 그리는 방법에서 지수를 변화시킴으로써 거칠기가 다른 변형된 줄리아 셋 모양을 얻을 수 있음도 보였다.

이상에서 제시된 방법은 다른 곡선모양에도 동일하게 응용될 수 있을 것이다.

#### REFERENCES

- [1] Barnsley M. "Fractals everywhere", 2nd ed. New York: Academic Press Professional, 1993.
- [2] Hang-Sook Song, Young-Duk Han, "A Study of Fractal Object Deformation for Game Environment", Journal of Korea Game Society, Vol.5, No.1, pp.19-24, 2005.
- [3] Jeong-Jin Lee, Moon-Koo Kang, "3D Cloud Animation using Cloud Modeling Method of 2D Meteorological Satellite Images", Journal of Korea Game Society, Vol.10, No.1, pp.147-156, 2010.
- [4] Young Cheul Wee, "A Very Fast 2\*2 Fractal Coding by Spatial Prediction", Journal of KIISE:Computer Systems and Theory, Vol. 31, No. 11, pp.611-616, 2004.
- [5] Jaehong Park, Cheolwoo Park, Wonseok Yang, "Fractal Image Coding for Improve the Quality of Medical Images", J. Korean. Soc. Radiol., Vol. 8, No. 1, January 2014.
- [6] Jin-Mo Kim, Hyung-Je Cho, "Real time Rendering of Realistic Grasses Using Fractal and Shader-Instancing", J. Korea Multimedia Soc. Vol. 13, No. 2, pp.298-307, Feb. 2010.
- [7] Atin Das, Pritha Das, "Fractal analysis of songs: Performer's preference", Nonlinear Analysis: Real World Applications Vol. 11, Iss. 3, pp. 1790~1794, 2010.
- [8] Scott Draves, "The Fractal Flame Algorithm", 1992.
- [9] Field M, Golubitsky M. Symmetry in Chaos. New York:Oxford University Press, 1992.
- [10] Brisson G, Gartz K, McCune B, O'Brien K, Reiter C, Symmetric attracters in three-dimensional space, Chaos Solitons and Fractal Vol.7, Iss. 7, pp. 1033-51. 1996.
- [11] Reiter C, Chaotic attracters with the symmetry of the dodecahedron. The Visual Computer, Vol. 15, Iss. 4, pp. 211-5, 1999.
- [12] Kevin C. Jones, Clifford A. Reiter, "Chaotic attracters with cyclic symmetry revisited", Computers & Graphics Vol. 24, Iss. 2, pp. 271-282, 2000.
- [13] Philip Van Loocke, "Non-linear iterated function systems and the creation of fractal patterns over regular polygons", Computers & Graphics Vol. 33, Iss. 6, pp. 698-704, 2009.



한 영 덕 (Han, Yeong Deok)

1993.8 한국과학기술원 물리학 박사  
1993.9 한국과학기술원 연수 연구원  
1994.3-현재 우석대학교 정보보안학과 교수

관심분야 : 게임물리, 게임엔진, 게임그래픽

