# 어류의 역동적 움직임 표현을 위한 기준점 적용 보간법

류남훈* · 이혜미** · 유봉길*** · 김응곤****

# Pivot Interpolation for Dynamic Locomotion Expression of Fishes

Nam-hoon Ryu* · Hye-mi Lee** · Bong-gil Yoo*** · Eung-kon Kim****

요 약

PC 성능의 향상 및 컴퓨터 그래픽스 기술의 발달로 인해 사회 각 분야에서 고품질의 컴퓨터 애니메이션이 점차 증가하고 있다. 본 연구에서는 해저의 풍경을 표현함에 있어 가장 핵심이 되는 어류 객체의 역동적이고 자연스러운 움직임을 표현하는 과정을 모핑 기법을 통하여 구현하기 위한 기준점 적용 보간법을 제안한다. 어류 객체의 꼬리 움직임에 적용시킴으로써 기존 모핑 기법이 가지고 있던 부자연스러운 속도감을 해결하고, 단조로운 움직임을 탈피한 현실감 있는 유영 방식을 구현한다.

ABSTRACT

Due to the improvement in PC performance and the development of computer graphics technology, high quality computer animation in various industrials is on the rise. This study suggests pivot interpolation to realize the process of expressing dynamic and natural motion of fish, the key of expressing the ocean landscape through the morphing technique. By applying fish tail motion, this study solves unnatural speed of the previous morphing technique and realizes the realistic swimming way without simple motion.

키워드

3D Morphing, Pivot Interpolation, Frame Morphing Technique

## Ⅰ. 서 론

PC 성능의 향상 및 컴퓨터 그래픽스 기술의 발달로 인해 사회 각 분야에서 컴퓨터 애니메이션이 점차 증가하고 있다. 이 기술은 컴퓨터를 통해서 해저의 모습을 가상으로 보여주는 사이버 수족관이나 어류생태박물관, 어류백과사전 등에도 활용되고 있다. 어류를 이용한 다양한 콘텐츠들은 전문성을 가진 곳뿐만 아니라 기초 지식을 원하는 곳에 정확한 정보를 제공하기를 원하며, 사용자의 몰입감을 위해서 어류의 실제 움직임에 대한 묘사를 필요로 한다.

지금까지 가상 어류 객체의 자연스러운 움직임 표현에 관한 많은 연구가 진행되어왔다. Tu는 Spring-Mesh를 이용하여 어류 모델을 표현했으며[1], Stephens는 어류를 피식자와 포식자로 구분지어 각각의 속성과 행동에 대한 심리적 상태를 설정함으로써 가

* 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과(nhryu@sunchon.ac.kr) ** 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과(lhrooh@sunchon.ac.kr)
*** 순천청암대학 사회복지학과(ybg7250@hanmail.net) **** 교신저자 : 순천대학교 컴퓨터공학과 교수(kek@sunchon.ac.kr)
접수일자 : 2010. 09. 10 심사(수정)일자 : 2010. 10. 01 게재확정일자 : 2010. 10. 15

상의 어류를 모델링하였으며, 어류의 등뼈를 중심으로 Skeletal Motivation으로 표현하였다[2].

본 논문에서는 해저의 풍경을 나타냄에 있어 가장 핵심이 되는 어류 객체의 역동적이고 자연스러운 움직임을 표현할 수 있는 새로운 모핑 기법을 제안하고 구현한다. 단조로운 움직임을 탈피하기 위해 진자개념을 적용하고, 현실적인 어류의 움직임 표현을 위해 어종별 형태에 따라 다른 기준점을 적용하며, 기준점에 따른 유영속도 적용으로 기존 어류 유영 방식을 새롭게 보완한 알고리즘을 구현한다.

어류의 움직임을 애니메이션하기 위해 필요한 프레임은 어류 객체를 왜곡시키지 않고, 꼬리지느러미의 역동적인 움직임을 유지하면서, 어류가 유영하는 속성에 따른 지느러미의 형태 변화를 나타낼 필요가 있다. 이와 같이 복잡하고 섬세한 과정을 모핑 기법으로 처리하기 위해 본 논문에서 제안한 기준법 적용 보간법을 이용한다.

## II. 관련연구

### 2.1 가상 어류의 애니메이션

가상 어류 객체의 자연스러운 움직임을 표현하기 위한 많은 연구가 진행되어왔다. 1994년 Tu는 가상 어류의 구성을 위해 몸체 모델링에서부터 내부에 인공지능을 적용한 애니메이션을 Spring-Mesh를 이용하여 생성하였다. 23개의 Node Point Mesh와 91개의 Spring으로 이루어진 Spring-Mesh 물리 모델을 유영단계와 회전단계로 구분하여 동적인 어류 모델을 표현하고, 길이 변경을 통해 움직임을 생성한다.

2003년 Stephens는 어류의 유영 방식을 Anguilliform, Carangiform, Subcarangiform의 3가지로 분류하고, 환경 및 다른 어류에 대응하는 감각능력을 정의하였다. 또한 어류를 피식자와 포식자로 구분지어 각각의 속성과 행동에 대한 심리적 상태를 설정함으로써 가상의 어류를 모델링하였다. 어류의 애니메이션은 3D 메시에 이미지를 텍스처 매핑하고, 어류의 등뼈를 중심으로 Skeletal Motivation으로 표현하였다. 관절들을 움직이기 위해 각 키 프레임에서의 위치와 회전각을 계산함으로써 움직임을 생성하였다.

### 2.2 유영방식에 따른 분류

1999년 Sfakiotahis는 물고기의 유영 방식을 BCF(Body and/or Caudal Fin) 방식과 MPF(Median and/or Paried Fin) 방식으로 분류하고, 이들의 타입을 다시 12가지 유영방식으로 세분류 하였다[3]. 또한 BCF와 MPF 각각에 대해 추진력 발생방법과 유영하는 동안의 몸체의 형태 변화와 어류가 유영하는 속성에 따라 지느러미들의 형태 변화 등을 제시하였다[4].

BCF 유영 방식은 어류의 약 75%에 해당되며, 몸의 일부에서부터 파장을 일으켜 꼬리지느러미까지 힘이 전달됨으로써 파동을 일으키고, 몸체의 구부림과 꼬리지느러미의 운동으로 추진력을 얻는 방식이다. 몸의 파동에 의해 추진력을 얻는 파동형과 꼬리부분의 진동에 의해 추진력을 얻는 진동형으로 구분된다[5-6]. BCF 방식의 대부분은 방향 조정 및 몸의 균형을 위해 중간지느러미 및 가슴지느러미를 함께 사용하며, 움직임 형태에 따라 장어형, 송어형, 전갱이형, 참치형, 거북복형으로 구분된다.

### 2.3 움직임 표현 방법

기존의 어류 유영 방식에 관한 연구는 꼬리지느러미의 획일적인 움직임으로 인하여 역동적인 움직임을 표현할 수 없다. 보다 자연스럽고, 현실적인 어류를 구현하기 위해 추진력에 따른 분류를 하고, 유영하는 동안 몸체의 형태 변화와 어류가 유영하는 속성에 따른 지느러미의 형태 변화를 나타낼 필요가 있다. 이에 물리 진자의 속도 개념을 더하여 현실감 있는 유영 방식을 나타내기 위한 연구가 필요하다.

물리진자는 끝점에서 중심점을 지나 반대쪽 끝점으로 진행할 때 동일 거리의 이동에 같은 시간이 소요되지 않는다. 양 끝점으로 갈수록 속도가 느려지고, 중심점을 지날 때 가장 빠른 속도로 이동한다. 어류의 꼬리 움직임도 시계추처럼 체축을 기준하여 수직인 상태에서 가장 빠른 속도로 진행을 하며, 꼬리 움직임의 최대 각도에 근접할수록 속도가 느려진다. 이 움직임은 다른 생물학적인 실험 및 연구를 통해 사인 곡선의 경로로 움직인다는 것을 알 수 있다[7-8]. 이와 같은 방법을 이용하여 꼬리 길이와 어종에 맞는 기준점을 반영한 진자 운동의 알고리즘을 적용하여 꼬리

움직임 속도를 표현하는 것이 필요하다.

## III. 어종별 꼬리 움직임 속도 알고리즘

어류 객체의 움직임을 모핑 기법으로 구현하기 위해서는 선형보간법을 주로 이용한다. 핵심이 되는 몇 개의 프레임을 제작한 후 중간 프레임은 계산을 통해 표현하는 이 모핑 기법은 비교적 간단하게 구현할 수 있는 장점이 있다. 그러나 어류 객체의 움직임이 선형으로 보간되므로 획일적인 움직임만 표현이 가능하고, 지느러미의 길이가 변형되어 어류 객체를 왜곡시킨다. 또한 유영하는 동안 몸체의 형태 변화 및 어류가 유영하는 속성에 따른 지느러미 형태 변화와 같은 섬세하고 세밀한 움직임은 계산할 수 없기 때문에 중간 프레임 산출이 불가능하다는 단점이 있다.

그림 1은 꼬리 움직임 제작 방법을 나타낸다. (x) 모델과 (z) 모델에 보간법을 이용하여 (y) 모델을 계산해 내는 방법이다. (a)의 경우는 선형보간법에 의해 계산되어 꼬리지느러미의 길이가 왜곡되는 결과를 보여주므로 이를 해결하는 방법으로 (b)와 같이 꼬리축을 기준한 길이에 사인곡선을 적용하는 방법이 필요하다.

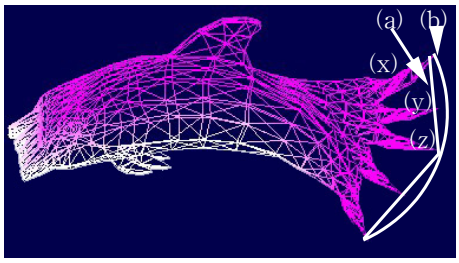



그림 1. 꼬리 움직임 제작 방법
Fig. 1 Production Method of Tail Movement

### 3.1 꼬리 움직임 속도 알고리즘

어류 객체는 사이버 수족관 등 해저환경 관련 콘텐츠에서 가장 핵심이 되는 요소이므로, 꼬리지느러미의 획일적인 움직임은 결과물의 완성도를 저해한다. 그러므로 어류 객체의 단조로운 움직임 탈피를 위해 진자 개념을 적용하여 꼬리 움직임 속도를 표현하고자 한다.

일반적인 어류의 꼬리는 체축을 기준하여 좌우로 움직인다. 꼬리움직임의 최대각도는 어종에 따라 다양하다. 이렇게 다양한 각도에 사인곡선을 적용하기 위해 90°로 정형화시키는 수식 $\frac{\pi/2}{maxAngle}$을 적용한다. 그리고 체축을 기준한 각도별 속도를 산출하기 위해서 꼬리의 각도가 양수인 경우와 음수인 경우가 동일하게 적용 되도록 절대값으로 변경한다. 체축을 기준하여 0°인 경우 가장 빠른 속도를 나타내므로, 해당각도의 사인값을 구하고, 1에서 구한 값을 빼어 꼬리의 각도별 이동 속도를 구한다. 식 (1)은 체축을 기준한 각도별 속도 산출식이다.

$$f(x) = \lim_{x \to C} 1 - \sin\left(|A(x)| \times \frac{\pi/2}{maxAngle}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

- 꼬리의 현재각도($Angle$): $A$
- 꼬리움직임의 최대각도($MaximumAngle$): $maxAngle$
- $maxAngle \times 4$: $C$

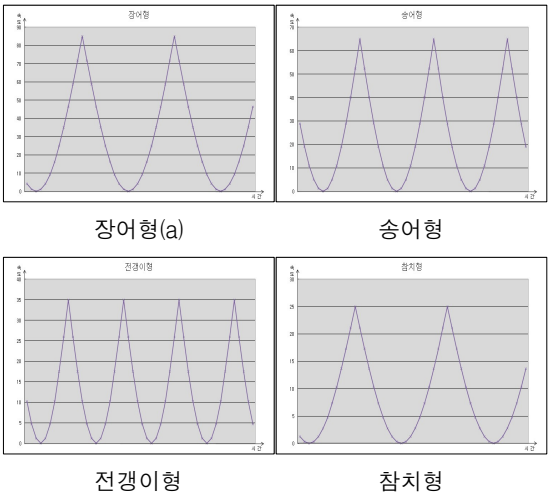
### 3.2 기준점별 꼬리 움직임 속도 알고리즘

꼬리 움직임 속도 알고리즘은 꼬리 움직임이 체축을 기준하였을 때 꼬리 움직임의 최대 각도에 근접할수록 속도가 느려지는 것을 표현할 수 있다. 진자개념을 적용하여 역동적인 움직임 표현이 가능하지만 어류는 종류에 따라 추진력의 발생 범위가 다르므로 이에 대한 보완이 필요하다.

기준점별 꼬리 움직임 속도 알고리즘은 어종별로 추진력의 발생 범위를 기준점으로 하여 추진력 발생 범위의 길이를 적용한 것으로써, 각도별 이동 속도에 기준점으로부터의 길이를 곱한다. 수식 (2)는 추진력 발생 범위의 길이를 적용한 기준점별 꼬리 움직임 속도 알고리즘이다. 그림 2는 BCF 방식의 어종별 추진력 발생 범위의 길이와 최대 각도를 적용하여 산출한 꼬리 움직임 속도를 나타낸 그래프로, 기준점으로부터의 길이는 각각 85, 65, 35, 25를, 최대 각도는 각각 80°, 60°, 120°, 110°를 적용하였다.

$$f(x) = \lim_{x \to C}\left(1 - \sin\left(|A(x)| \times \frac{\pi/2}{maxAngle}\right)\right) \times L \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

- 꼬리의 현재 각도($Angle$): $A$
- 꼬리움직임의 최대각도($MaximumAngle$): $maxAngle$
- 기준점으로부터의 길이($Length$): $L$
- $maxAngle \times 4$: $C$




장어형(a) 송어형

전갱이형 참치형

그림 2. 기준점별 꼬리 움직임 속도
Fig. 2 Movement Velocity by Pivot

## Ⅳ. 기준점 적용 보간법

기준점별 꼬리 움직임 속도 알고리즘을 통해 어종별 특성에 따른 추진력 발생범위 및 꼬리 움직임 최대 각도를 적용하여 꼬리 움직임 속도를 표현할 수 있다. 그 과정을 모핑으로 처리하기 위해 본 논문에서 제안한 기준점 적용 보간법을 이용한다. 어류의 움직임을 애니메이션하기 위해 첫 프레임만 제작한 후 나머지 프레임을 위한 중간 과정은 계산을 통해 생성한다. 중간 과정 생성에 필요한 좌표값은 기준점 적용 보간법을 통해 계산되므로 선형보간법과는 달리 핵심이 되는 키 프레임조차 제작할 필요가 없다.

꼬리지느러미의 좌표값은 꼬리축을 기준한 길이에 사인곡선의 경로로 움직이므로 선형보간법으로는 구할 수 없다. 따라서 기준점 적용 보간법을 통해 꼬리지느러미의 각도별 좌표값을 계산하여 전체 어류 객체를 왜곡시키지 않고, 지느러미 형태 변화에 맞는 중간 프레임을 산출한다.

기준점 적용 보간법을 적용하기 위해서는 추진력뿐만 아니라 어류가 유영하는 속성에 따라서 방추형 및 측편형 어류와 편평형 어류로 분류하는 것도 필요하다[9-13]. 돔과 같은 방추형 및 측편형 어류는 체축을 기준으로 사인곡선을 그리며 $x$축 및 $y$축 값이 변하므로 $x$축 좌표 $Qx(A)$는 사인함수를 적용한다. 어종별로 다른 꼬리 움직임 각도를 90°로 정형화하기 위해 각도 $A$에 $\frac{\pi/2}{maxAngle}$를 곱한 후 사인함수를 적용한다. 이 값에 기준점으로부터의 길이 $L$을 곱한 후 $x$축 기준좌표 $Px$를 더하여 구한다.

$y$축 좌표 $Qy(A)$는 체축을 기준한 꼬리의 각도가 양수인 경우와 음수인 경우가 동일하게 적용이 되도록 하기 위해 절대값으로 변경한 후, 어종별로 다른 꼬리 움직임 각도를 90°로 정형화한 사인함수를 1에서 뺀 값에 기준점으로부터의 길이 $L$을 곱한 후 $y$축 기준좌표 $Py$를 더하여 구한다. $z$축의 경우는 변경되지 않으므로 $z$축 좌표 $Qz(A)$와 기준좌표 $Pz$는 같다. 표 1은 방추형 및 측편형 어류 객체의 꼬리 각도별 좌표를 나타내기 위한 알고리즘이다.

표 1. 방추형 및 측편형 어류의 꼬리 각도별 좌표 알고리즘
Table 1. Coordinated Algorithm by Tail Angle of Spindle-type and Tidal Flat-type Fish

$$
\begin{array}{l}
for\ i = 0\ to\ maxAngle \cdot 4\ do \\
\quad NewX = OldX + \sin\left(i\frac{\pi/2}{maxAngle}\right) \cdot L \\
\quad NewY = OldY + \left(1 - \sin\left(|i|\frac{\pi/2}{maxAngle}\right)\right) \cdot L \\
\quad NewZ = OldZ \\
end
\end{array}
$$

가오리와 같은 편평형 어류는 $y$축 및 $z$축 방향으로 변하는 값에 따라 꼬리 움직임을 표현한다. $x$축의 경우 변경되지 않으므로 $x$축 좌표 $Qx(A)$는 기준좌표 $Px$와 같다. $y$축 좌표 $Qy(A)$는 방추형 및 측편형 어류의 $y$축 좌표 $Qy(A)$와 같고, $z$축 좌표는 방추형 및 측편형 어류의 $x$축 좌표 $Qx(A)$와 같다. 표 2는

편평형 어류 객체의 꼬리 각도별 좌표를 위한 알고리즘을 나타내고, 그림 3은 꼬리 움직임의 속도를 적용한 예이다.

표 2. 편평형 어류의 꼬리 각도별 좌표 알고리즘
Table 2. Coordinated Algorithm by Tail Angle of Flat-type Fish

$Input: maxAngle,\ L,\ OldX,\ OldY,\ OldZ$

$for\ i = 0\ to\ maxAngle \cdot 4\ do$

$NewX = OldX$

$NewY = OldY + (1 - \sin(|i| \frac{\pi/2}{maxAngle})) \cdot L$

$NewZ = OldZ + \sin(i \frac{\pi/2}{maxAngle}) \cdot L$

$end$

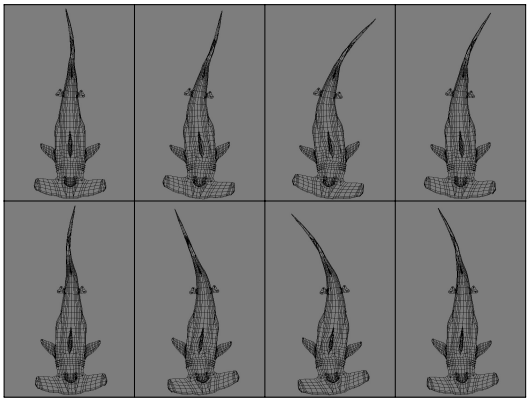


그림 3. 꼬리 움직임 속도 적용 예
Fig. 3 꼬리 움직임 속도 적용 예

## V. 결 론

오늘날의 사용자들은 컴퓨터의 처리 속도 향상으로 인해 다양한 콘텐츠를 접하게 되었고, 이로 인해 고품질의 애니메이션에 대한 요구사항이 갈수록 증가하고 있다. 기존의 어류 유영 방식에 관한 연구는 꼬리지느러미의 획일적인 움직임으로 인하여 수준 높은 디지털 콘텐츠 제작에 적합하지 않았다.

본 연구에서는 해저의 풍경을 표현함에 있어 가장 핵심이 되는 어류 객체의 역동적이고 자연스러운 움직임을 표현하는 과정을 모핑 기법을 통하여 구현하기 위한 알고리즘을 제안하고 구현하였다. 보다 자연스럽고, 현실적인 어류를 구현하기 위해 추진력에 따른 분류를 하고, 유영하는 동안 몸체의 형태 변화와 어류가 유영하는 속성에 따른 지느러미의 형태 변화를 나타내기 위해 물리 진자의 속도 개념을 더하여 단조로운 움직임을 탈피한 현실감 있는 유영 방식을 구현하였다.

기준법 적용 보간법을 어류 객체의 꼬리 움직임에 적용시킴으로써 기존 모핑 기법이 가지고 있던 부자연스러운 속도감을 해결하였다. 갈수록 증가하는 디지털 영상 콘텐츠 산업의 커다란 문제점으로 자리 잡고 있는 제작기간 및 제작비용에 관한 문제 해결에도 큰 역할을 할 것으로 기대한다.

**감사의 글**

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2010-C1090-1021-0012)

## 참고 문헌

[1] T. Xiaoyuan and T. Demetri, "Artificial Fishes : Physics, Locomotion, Perception, Behavior," ACM SIGGRAPH 94, pp.43-50, July 1994.
[2] Kingsley Stephens, Binh Pham, and Aster Wardhani, "Modelling Fish Behaviour," ACM, pp.71-78, 2003.
[3] Micheal Sfakiotakis, David M. Lane, and J. Bruce C. Davies, "Review of Fish Swimming Modes for Aquatic Locomotion," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.24, No.2, pp.237-252, 1999.
[4] Marc Ziegler, "Morphological Computation in Underwater Locomotion," Department of Information Technology University of Zurich, pp.5-11, 2005.
[5] Webb, P. W., "Form and Function in Fish Swimming," Sci. Am, Vol.251, pp.58-68, 1984.
[6] Harold C. Sun and Dimitris N. Metaxas, "Automating gait animation," SIGGRAPH 2001, Computer Graphics Proceedings, Annual

Conference Series, pp.261-270, August 2001.
[7] J. E. Colgate, K. M. Lynch, Control Problems Solved by a Fish's Body and Brain: A Review, Mechanical Engineering Department, Northwestern University.
[8] Micheal Sfakiotakis, David M. Lane, and J. Bruce C. Davies, "Review of Fish Swimming Modes for Aquatic Locomotion," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.24, No.2, pp. 237-252, 1999.
[9] J. Czarnowski, R. Cleary, and B. Creamer, "Exploring the possibility of placing traditional marine vessels under oscillating foil propulsion," Proc.7th(1997) Int. OffshoreandPolarEng. Conf., Honolulu, HI, pp.76-82, May 1997.
[10] Micheal Sfakiotakis, David M. Lane, and J. Bruce C. Davies, "Review of Fish Swimming Modes for Aquatic Locomotion," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.24, No.2, pp.237-252, 1999.
[11] Harold C. Sun and Dimitris N. Metaxas, "Automating gait animation," SIGGRAPH 2001, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp.261-270, August 2001.
[12] Kingsley Stephens, Binh Pham, and Aster Wardhani, "Modelling Fish Behaviour," ACM, pp.71-78, 2003.
[13] Marc Ziegler, "Morphological Computation in Underwater Locomotion," Department of Information Technology University of Zurich, pp.5-11, 2005.

## 저자 소개

**류남훈(Nam-hoon Ryu)**

2007년 2월 : 한국방송통신대학교 컴퓨터과학과 (이학사)
2009년 2월 : 순천대학교 컴퓨터과학과 (이학석사)
2009년 3월 ~ : 순천대학교 컴퓨터과학과 박사과정 재학 중
※ 주 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 그래픽스, 알고리즘

**이혜미(Hye-mi Lee)**

2004년 2월 : 순천대학교 정보통신공학부 (공학사)
2010년 8월 : 순천대학교 컴퓨터과학과 (이학석사)
2010년 9월 ~ : 순천대학교 컴퓨터과학과 박사과정 재학 중
※ 주 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 그래픽스, HCI

**유봉길(Bong-gil Yoo)**

1983년 2월 : 조선대학교 경상대학 (경영학사)
1988년 2월 : 조선대학교 경상대학 (경영학석사)
2009년 8월 : 순천대학교 컴퓨터과학과 (이학박사)
1993년 3월 ~ : 순천청암대학 근무
※ 주 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어, HCI

**김응곤(Eung-kon Kim)**

1980년 2월 : 조선대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월 : 한양대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
1992년 2월 : 조선대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
1993년 3월 ~ 현재 : 순천대학교 컴퓨터과학과 교수
※ 주 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어, HCI