

무인잠수정의 자율 운항 기술

김 태 원 University of Hawaii, 연구원
 서 주 노 해군사관학교 기계공학과 교수
 정 원 균 포항공과대학교 기계공학과 교수
 김 양 한 한국과학기술원 기계공학과 교수
 문 원 규 포항공과대학교 기계공학과 교수

_e-mail : twkim@eng.hawaii.edu
 _e-mail : joonosur@navy.ac.kr
 _e-mail : wkchung@postech.ac.kr
 _e-mail : yanghankim@kaist.ac.kr
 _e-mail : wkmoon@postech.ac.kr

이 글에서는 해상/수중 무인화 무기체계 중에서 미래 수중 전장에서 주도적인 역할을 할 것으로 기대되는 자율무인잠수정(UUV)의 개발에 소요되는 기초/기반 기술에 대하여 소개하고자 한다.

무인잠수정은 크게 자율무인잠수정(학계에서는 AUV-Autonomous Underwater Vehicle라 하고, 군에서는 UUV-Unmanned Underwater Vehicle-이라 함)과 원격조정무인잠수정(Remotely Operated Vehicle, ROV)로 나뉜다. 기존의 ROV에 비해서, UUV는 동력/신호선 없이 자체의 전원을 이용하여 바다 속을 빠른 속도로 다니며 다양한 작업을 할 수 있다는 장점이 있다. UUV의 이러한 은밀한 기동성 때문에, 점차 해양에서의 전쟁은 기존의 선박 위주의 전쟁과는 다른 양상으로 발전하게 될 것이다.

미래 수중 전장에서 UUV는 모함에서 발전하여 스스로 작전 지역으로 이동, 전장 감시 및 탐사, 기뢰 탐지 및 제거, 각종 전장 정보 수집 등의 임무를 수행하고 모함으로 안전하게 복귀하여 임무 수행 중 얻은 정보를 제공할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 무인잠수정의 운용에 필요한 진수/회수 기술, 수중 자율주행, 수중회피 제어 기술과 함께 해저 매설물체 탐지 센서 기술, 능동배열 소나 신호처리 기술 등이 확보되어야 한다.

UUV의 회수를 위한 도킹 기법

현재까지 개발된 UUV 도킹 방식 중 잠수함 어뢰발사관으로 회수하는 방법과 가장 유사한 것은 해저에 설치된 커다란 깔때기 모양의 도킹 콘에 UUV가 들어가는 방식이다. 어뢰 형상의 UUV는 제 자리에서 정지 상태를 유지하거나 수평 이동 제어가 안 되므로, 도킹 콘을 크게 만들어 UUV의 위치 제어 오차에 상관없이 도킹할 수 있도록 하고 있다. 이 방식은 원거리에서 UUV가 음파발전기(Acoustic Pinger) 신호를 따라 접근한 후, 근거리에서 어느 정도의 위치 오차를 감수하며 도킹하거나, 카메라로 도킹 콘을 인식하여 정밀 유도제어로 도

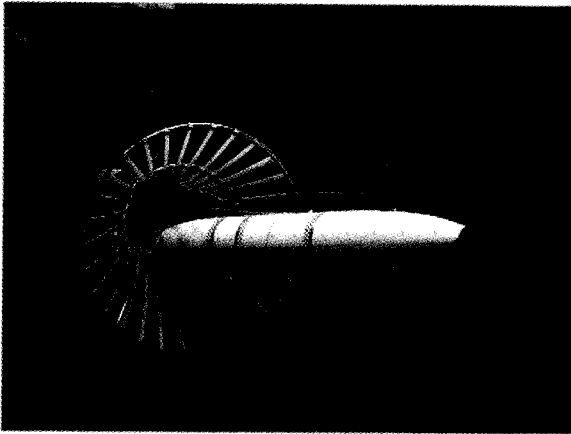


그림 1 도킹 콘(docking cone)을 이용한 UUV 도킹(MBARI 자료)

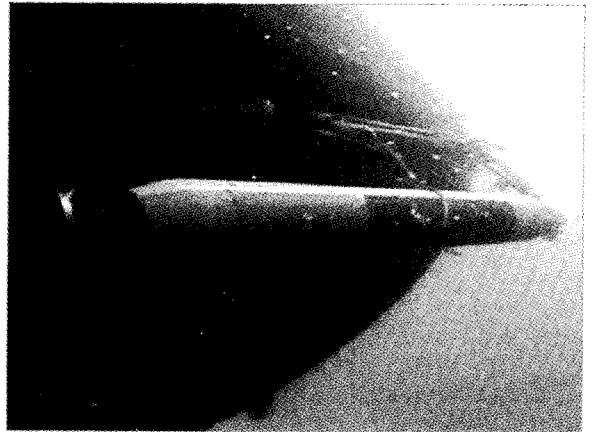


그림 2 로봇 팔을 이용한 UUV의 회수(Boeing 자료)

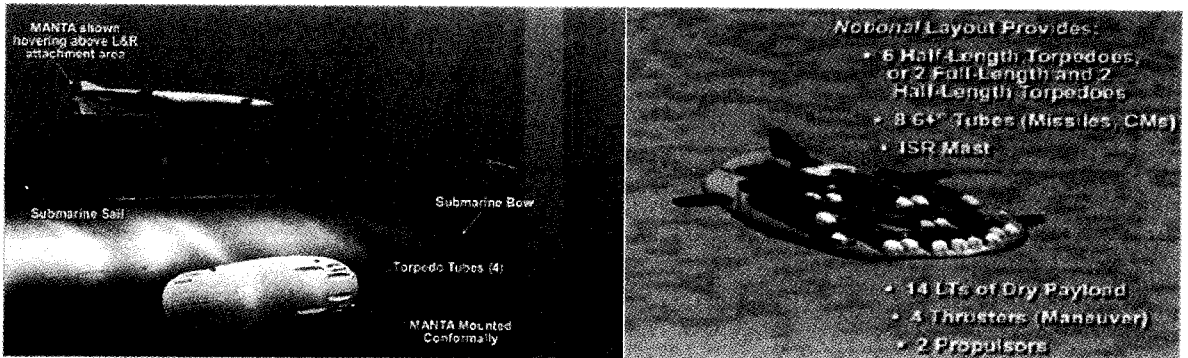


그림 3 공격용 UUV의 개념도(NUWC 자료)

킹한다.

그러나 이러한 커다란 도킹 콘은 잠수함 어뢰 발사관 앞에 설치할 수가 없으므로, 미국 보잉(Boeing) 사에서는 잠수함에 약 18m 길이의 UUV 회수용 로봇 팔을 어뢰 발사관 내에 설치하고 UUV가 로봇 팔 끝에 먼저 도킹한 후, UUV를 다른 어뢰 발사관에 넣는 방식을 개발하였다. 이 방식은 잠수함에 커다란 로봇 팔을 붙여야 하고, 로봇 팔 때문에 한 개의 발사관을 사용할 수 없다는 단점이 있으나 현재까지 나온

방법 중 유일하게 잠수함에 직접 적용된 방법이다.

한편, 미국 해군에서는 잠수함에서 어뢰를 발사하는 개념에서 한걸음 더 나아가 무인 잠수정에서 다수의 어뢰를 발사하는 공격용 UUV 개념을 정립하였다. 이 방법을 이용하면, 잠수함을 작전 해역 근처까지 위험하게 접근시킬 필요 없이, 먼 거리에서 어뢰를 탑재한 무인 잠수정을 발진시켜 작전 해역으로 보낸 후, 잠수정에서 직접 어뢰를 발사하는 간접적인 방법이다. 공격용 UUV는 그

림 3처럼 잠수함 선체 외부 절개부에서 이탈/장착하는 방식으로 발진/회수된다.

무인잠수정의 경로 계획 및 실시간 회피 제어

UUV가 3차원의 알려지지 않은 공간에서 주어진 항해임무를 성공적으로 수행하기 위해서는 경로계획(guidance), 무인잠수정의 정확한 위치 계산(navigation), 그리고 계획된 경로를 정확히 추적할 수 있는 경로제어(tracking

control)가 이루어져야 한다. 이 중 경로 계획은 무인잠수정이 운항하는 주변 환경 특히 장애물에 대한 정보와, 잠수정 자신에 대한 정보를 바탕으로 이루어진다. 경로 계획을 위해 고려되어야 하는 수중 무인잠수정의 고유한 특성은 다음과 같이 요약될 수 있다.

1) 수중 운동체의 운동 특성

수중에서 운동하는 운동체의 경우 파랑 및 조류 등 복잡한 해양 환경에 의하여 수중체 복잡한 비선형 환경하중을 받을 뿐만 아니라 수중체 운동에 의한 점성항력을 받게 된다. 또한, 잘 알려진 바와 같이 수중에서는 가속도 운동을 하는 물체가 받는 부가질량이 공기 중에서보다 매우 커짐에 따라 느린 운동응답 성능을 보일 수밖에 없다. 따라서 이를 고려한 회피제어 알고리즘을 사용해야 한다.

2) 수중환경에서 소나 센서의 특성

무인잠수정을 비롯한 수중 탐사 장비에서 장애물 탐지에 이용 가능한 센서는 초음파를 이용한 방식이 가장 효과적이다. 최근에는 수중 음향을 이용한 장비를 통해 무인잠수정의 경로 계획 및 회피 기술에 적용하려는 연구가 시도되고 있다. 하지만, 수중에서 음향 신호의 전달 속도가 수온, 염분도 및 압력 등 환경 변수에 영향을 받고 음향 신호의 전파 경로 역시 매질의 속성에 따라 굴절률이 다

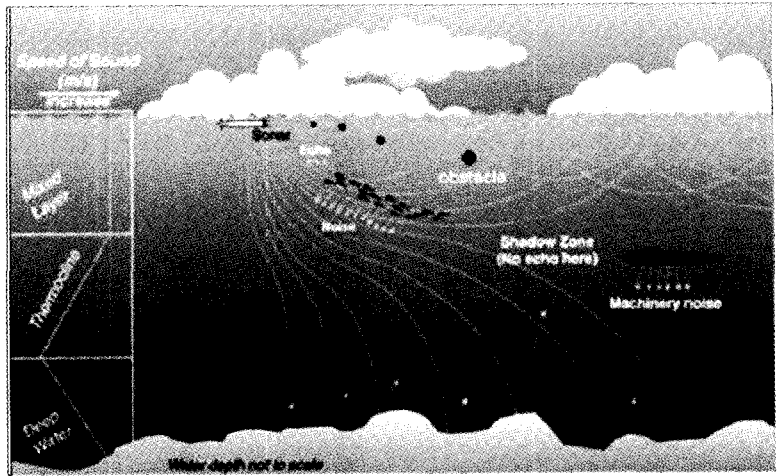


그림 4 수중에서의 음파 전달의 예. 음파가 전달되지 않아 음향 센서에 의해 감지되지 않는 영역이 존재

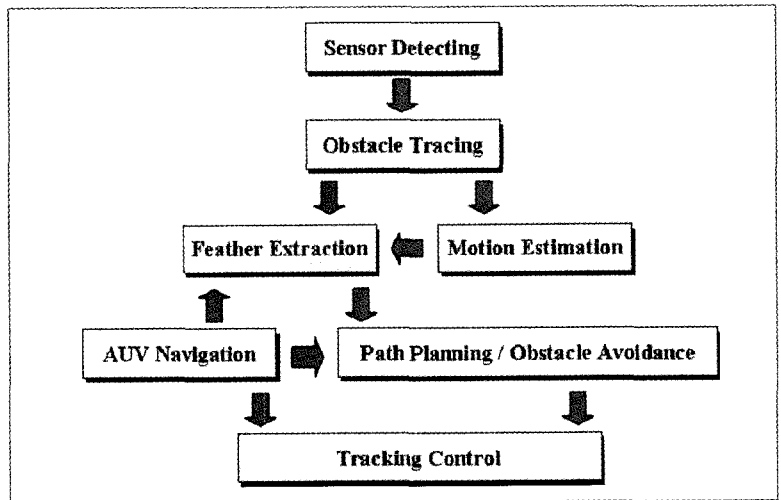


그림 5 수중무인잠수정의 경로 계획 과정 도식도

르기 때문에 시간과 해양환경에 따라 장애물의 위치 정밀도 및 음향 신호의 잡음 수준이 변화하는 특성을 지닌다. 따라서 무인잠수정의 경로계획에 소나센서의 음파 특성들이 반드시 고려되어야 한다.

3) 수중항법의 오차

수중 항법은 IMU, DVD, Magnetic Compass, Depth

Sensor 등의 복합 센서를 구성하여 실시하지만 해양환경 특성과 항법 시스템의 오차로 인하여 무인잠수정의 위치를 정확하게 계산하기는 어렵다. 따라서 무인잠수정의 항법 시스템 오차가 존재하여도 안전하고 신뢰성 있는 경로 계획이 이루어져야 한다.

무인잠수정 경로계획과 실시간 장애물 회피 제어 기술은 다음의

6단계를 걸쳐 이루어진다.

수중 무인잠수정을 위한 자율제어 기술

REMUS AUV는 운항 중 해초 등에 걸려 자신의 움직임에 제약이 발생했을 때, 센서 정보 등을 활용하여 스스로 상황을 판단한 다음, 수중 장애물로부터 벗어나 수면 위로 부상하여 회수될 때까지 기다리도록 프로그램이 되어 있다. 이러한 일련의 제어 기술은 AUV의 임무 수행 능력을 높이고, AUV의 회수율을 높이는 데 필수적인 기술이며, 이 기술이 바로 자율제어 기술이라 할 수 있다. 즉, 수중 무인잠수정을 위한 자율제어 기술이란 AUV가 인간의 개입을 최소화하면서 센서 데이터 및 각종 정보를 활용하여 자신의 상황을 스스로 판단해 가며 임무 수행이 가능하도록 하는 기술이다.

AUV가 운용되는 수중 환경은 모션과의 통신이 제한될 수 있으며, 조류의 영향 등으로 급격히 변하는 환경이다. 또한 GPS와 같이 위치 보정을 위해 사용될 수 있는 센서 시스템이 제약되어 있어 AUV의 위치를 정확히 얻는 것이 거의 불가능한 상황이다. 이러한 환경에서 AUV는 발생할 수 있는 각종 상황에 대해 자신의 행동을 스스로 결정하고, 또한 미리 정의되어 있지 않은 예외 상황에 대해서도 최선의 행동을 결정하여 주어진 임무를 성공적으로 수행할 수 있어야 하는 데 이때 필요한 기술이 바로 자율제어 기술이다.

자율제어 기술이 수행하거나 포함해야 하는 대표적인 기술은 다음과 같다.

1) 임무계획(mission planning) 기술

AUV가 진수되어 하나의 임무가 아니라 여러 임무를 수행해야

하는 경우, 주어진 임무는 어떠한 세부 임무들이 수행되어야 하는지, 또 세부 임무들은 어떠한 순서로 수행되어야 하는지 스스로 결정하는 데 요구되는 기술이다.

2) 자율판단(decision making) 기술

AUV가 임무를 수행하면서 활용 가능한 정보를 종합하여 자신의 상태(states) 및 상황(situation)을 판단하고 다음 행동을 결정하는 데 필요한 기술이다. 센서 퓨전 등을 통해 자신의 속도, 위치 등을 추정하고 시스템의 이상 여부를 판단하는 데 활용되는 상황판단기술(situation assessment)과 미리 정의되지 않은 상황에 대해 AUV가 스스로 자신의 행동을 결정하는 데 활용되는 예외처리기술(exception handler), 그리고 자신의 정보와 임무에 대한 정보를 비교하여 임무의 수행 상태, 임무의 수행 완료 여부 등을 판단하는 임무평가기술(task evaluation)로 나눌 수 있다. 또한 예외처리기술에는 필요시 모션과의 통신을 통해 자신의 정보를 전달하고 다음 행동을 지시받기 위한 통신기술이 포함되어 있다.

3) 임무수행(mission execution) 기술

임무계획기로부터 분화된 세부 임무들을 직접 수행하는 데 필요한 기술이다. 이 기술에는 세부

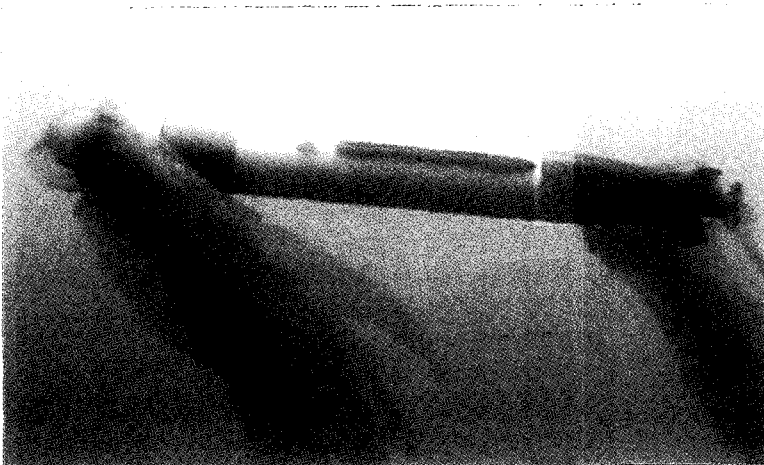


그림 6 해초로부터 탈출하여 회수를 위해 스스로 부상 중인 REMUS AUV(출처: WHOI)

임무를 해석하여 임무 수행을 위한 행동을 생성하는 임무해석기술(task interpretation)과, 경로를 생성하고 이를 추종하는 수중 항법/유도(navigation/guidance) 기술이 이에 포함된다.

4) AUV 선단제어(AUV fleet control) 기술

동일한 임무를 여러 대의 AUV를 사용하여 수행할 때, 임무를 효과적으로 수행하기 위해 필요한 기술이다. 이를 위해서 개별 AUV로부터 얻은 전체 정보를 효율적으로 관리하고 개별 AUV가 쉽게 공유할 수 있도록 하는 선단 정보 관리 기술(fleet data management)과 공유된 정보를 바탕으로 임무를 효율적으로 수행하기 위해 개별 AUV의 행동을 결정하는 선단행동결정기술(fleet behavior)로 나눌 수 있다.

소형 능동소나의 분해능 향상 및 영상신호 잡음 제거 기술

소형 무인잠수정에 탑재되는 능동소나시스템은 무 잠수정의 탑재 공간상 제약으로 인하여, 표적 위치 정보 습득을 위한 정확한 빔 형성을 위한 충분한 길이의 배열을 구성할 수 없다. 빔 형성을 통해 얻어지는 영상정보의 해상도의 성능은 센서의 배열의 길이와 직결되기 때문에 이를 극복하는 기술은 필수적이다. 아울러 합성 개

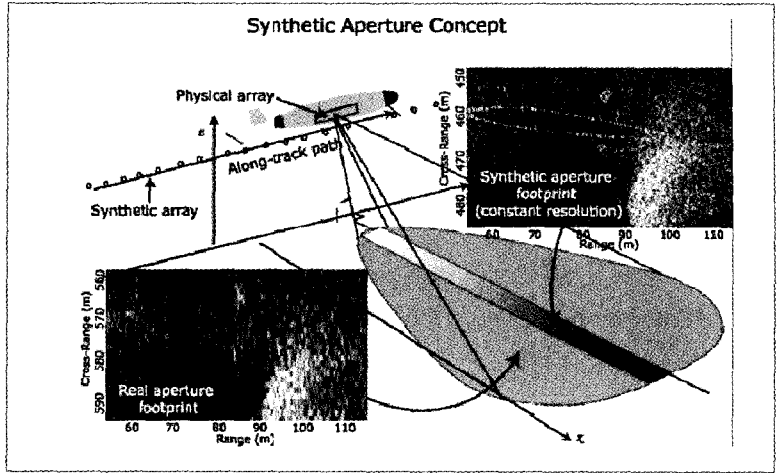


그림 7 합성 개구면 빔 형성 기법 개념

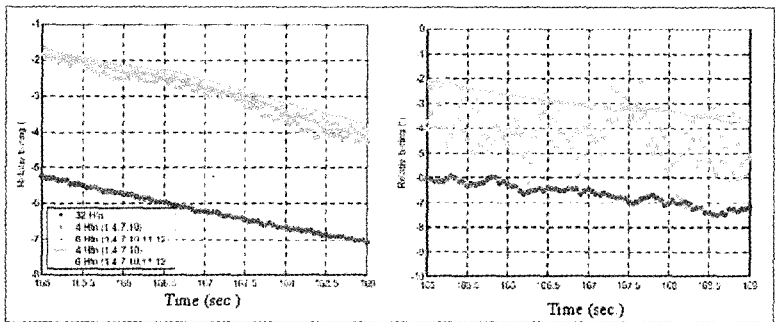


그림 8 합성 개구면 빔 형성 기법(좌)과 일반 빔 형성(우) 기법에 대한 성능 비교

구면 빔 형성 방법을 통해 얻어진 영상 정보에 포함된 잡음신호(클러터)들을 제거하여 능동소나의 식별 성능을 향상시키는 기술에 대한 연구 또한 요구된다.

자율 무인잠수정은 크기와 전력에 제한을 가지고 있기 때문에 탑재할 수 있는 장비 역시 제한을 가지고 있다. 일반적으로 수신되는 음파 신호에 대한 음원의 위치를 정확하게 파악하기 위해서는 청음기 배열을 사용한 빔 형성 기법이 사용되고 있다. 고 분해능 배열 성능을 얻기 위해서는 배열

에 사용된 청음기의 개수가 많고 배열의 길이가 길어야 한다. 합성 개구면 빔 형성기법은 이러한 어려움을 극복하고 자율 무인잠수정의 이동에 따른 배열 수신 신호에 대한 개구면 합성을 수행하여, 짧은 배열을 이용하여 고분해 성능을 확보하는 기법이다.

따라서 거리 변화에 따른 위상 변화를 파악하는 기법으로서 다양한 환경에서 사용 가능한 정합 기법(matched filter) 개발이 필요하며, 이를 이용하여 자율 무인잠수정의 이동으로 인하여 발생하는

음향 환경 특성의 변화를 반영하여 정확한 위상 변화를 파악할 수 있는 거리위상 합성 기법을 개발되어야 한다. 최종적으로 거리위상 합성 기법과 자율 무인잠수정 위치 파악 기법을 통합하여 고 분해능 합성 개구면 빔 형성 기법이 앞으로 연구가 진행되어야 할 방향이 될 것이다.

해저 포설/매설기뢰 탐지센서 기술 및 자동 영상인식 기술

매설, 포설기뢰 탐지소나가 자율 무인잠수정에 탑재되어 기뢰탐지 및 제거에 사용되기 위해서는 탐지소나의 소형화, 고 효율성이 필수적이다. 또한, 미세한 수중음향신호를 높은 신호/잡음비로 탐지하고, 해저지층의 감쇄효과의 영향을 줄이기 위해 센서의 배열 기술을 필요로 하며, 기뢰의 자동인식을 위하여 신호처리 영상화 기술과 자동인식 알고리즘 연구가 필수적이다.

포설 기뢰탐지의 경우 국내의 경우 개발이 미비하지만, 이미 외국의 경우 다양한 연구 사례를 통해 자동 탐지를 실현할 수 있는 기술이 확보되어 있다. 해저의 포



그림 9 포설물체 소나영상(좌) 매설물체 소나영상(우)

설 기뢰를 무인잠수정에서 탐지, 제거하기 위해서는 포설 기뢰를 자동으로 인식할 수 있는 센서 시스템이 개발되어야 한다. 이러한 센서 시스템은 현재 포설 기뢰 탐지에 널리 사용되고 있는 소나 시스템의 성능을 개선하고 이로부터 얻은 정보를 처리하여 영상 등 분석 가능한 형태로 만들고 이를 이용하여 포설 기뢰를 자동으로 인식할 수 있는 알고리즘을 개발해야 구현될 수 있다. 따라서 시스템 구현에 필요한 핵심 요소 기술들로 판단되는 센서배열의 성능 향상기술과 자동 인식을 위한 영상 인식 알고리즘 기술이 연구 개발되어야 한다.

반면 매설 기뢰의 경우, 현재 포설 기뢰 탐지에 널리 사용되는 단일 수중 음파 발생기와 청음기

를 이용하는 단순한 소나를 이용해서는 다양한 음파 반향 특성 때문에 신뢰성 높은 기뢰 탐지가 불가능하다고 알려져 있다. 따라서 매설 기뢰의 탐지를 위해서는 이를 위한 탐지 센서 기술의 개발이 선행되어야 한다. 해저 퇴적층에 매설된 기뢰를 탐지하는 기술은 현재 그 가능성이 확인되어 있는 정도이다. 현재 시도되고 있는 매설 기뢰 탐지 센서의 방식은 많은 청음기 배열을 이용하여 청음기의 방향성 특성을 향상시켜서 탐지하는 방식과 저주파의 음파를 파라메트릭 어레이 (parametric acoustic array) 방식을 이용하여 방향성을 키워 발생시켜서 이미지를 얻는 방식의 두 가지가 있다.