

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.3.861>

JCCT 2023-5-102

아쿠아포닉스 환경에서의 작물 면적 데이터 AI 분석 연구

A Study on the AI Analysis of Crop Area Data in Aquaponics

최은영*, 이현섭**, 차주형***, 이임건****

Eun-Young Choi*, Hyoun-Sup Lee**, Joo Hyoung Cha***, Lim-Gun Lee****

요약 화학비료와 넓은 공간이 있어야 하는 기존의 스마트팜과 달리, 수생생물과 작물간의 공생 관계를 활용하여 환경오염 및 기후 변화 등의 비정상적인 환경에서도 작물 재배가 가능한 아쿠아포닉스 농법이 활발하게 연구되고 있다. 해당 농법은 작물마다 생장에 필요한 환경과 영양분이 다르므로, 생장에 최적화된 수생생물 비율을 구성이 필요하다. 본 연구는 아쿠아포닉스 환경에 영상처리 기법을 활용하여 면적과 부피를 기준으로 생육 정도를 측정하는 방법을 제안한다. 배설물을 통해 유기물 생성하는 여러 종류의 민물고기과 상추 작물을 아쿠아포닉스 환경에 생육을 통해 검증하였다. 상추의 2D와 3D 영상 분석과 실시간 데이터 분석을 통해 상추의 면적 및 부피 정보를 활용하여 생장 정도를 평가하였다. 실험 결과, 상추의 면적과 부피 정보를 활용하여 재배관리가 가능하다는 것을 입증하였다. 수생생물과 생육 정보를 활용하여 농업인에게 생산 예측 서비스 제공과, 변화하는 농업 환경에서의 문제점을 해결하는 시작점이 되어줄 것으로 보인다.

주요어 : 아쿠아포닉스, 스마트팜, 수경재배, 친환경농법, 작물부피측정

Abstract Unlike conventional smart farms that require chemical fertilizers and large spaces, aquaponics farming, which utilizes the symbiotic relationship between aquatic organisms and crops to grow crops even in abnormal environments such as environmental pollution and climate change, is being actively researched. Different crops require different environments and nutrients for growth, so it is necessary to configure the ratio of aquatic organisms optimized for crop growth. This study proposes a method to measure the degree of growth based on area and volume using image processing techniques in an aquaponics environment. Tilapia, carp, catfish, and lettuce crops, which are aquatic organisms that produce organic matter through excrement, were tested in an aquaponics environment. Through 2D and 3D image analysis of lettuce and real-time data analysis, the growth degree was evaluated using the area and volume information of lettuce. The results of the experiment proved that it is possible to manage cultivation by utilizing the area and volume information of lettuce. It is expected that it will be possible to provide production prediction services to farmers by utilizing aquatic life and growth information. It will also be a starting point for solving problems in the changing agricultural environment.

Key words : Aquaponics, Smartfarm, Aquiculture, Measurement of crop volum, etc

*정회원, 동의대학교 신산업분야 인제양성사업단 조교수
**정회원, 동의대학교 응용소프트웨어공학과 부교수
***준회원, 동의대학교 응용소프트웨어공학과 학사
****정회원, 동의대학교 게임공학과 정교수
접수일: 2023년 4월 26일, 수정완료일: 2023년 5월 8일
게재확정일: 2023년 5월 12일

Received: April 26, 2023 / Revised: May 8, 2023

Accepted: May 12, 2023

****Corresponding Author: iglee@deu.ac.kr

New Industry Talent Fostering Project Group & Game Animation,
Dong-Eui Univ, Korea

I. 서 론

식물재배는 기반이 되는 토양과 알맞은 주변 환경이 구성되어야 한다. 최근에는 기후 변화와 환경문제로 인해 생산 기반이 오염되어 정상적인 생산이 어려운 문제가 자주 발생한다.

이에 따라 환경 변화에 강인하며 생태계 오염을 최소화하고, 미래 친환경적 농법 개발 중요성과 관심이 증가 되고 있다. 주변 환경 모니터링 기술[1]을 적용한 데이터 기반의 스마트팜이나 실내 수경재배 시스템 등 다양한 기술들의 등장이 이를 증명한다.

특히, 수생생물 중 하나인 물고기와 작물 간의 공생 관계를 활용한 아쿠아포닉스는 순환식 농업기법으로, 기존의 친환경 생산방식인 수경재배 대비해서 물의 사용량이 90% 이상 절감된다. 또한, 화학비료와 농약 사용이 없음에 따라 발생하는 환경오염, 부가적인 생산 유지를 위한 쓰레기 등의 부수효과가 거의 없으므로 대표적 친환경 농법으로 볼 수 있다.

이로 인해 아쿠아포닉스를 통한 농업이 점점 확대되고 있으며 다양한 기술적 요소가 융합되어 개발되고 있다. 특히, 생산모델과 생산과정, 생육 방법 등이 표준화되어 있지 않아 주요 기술을 선점하기 위한 다양한 노력이 시도되고 있다.

본 논문은 아쿠아포닉스에 ICT기술을 융합하여 작물의 생육 환경과 실시간 환경 센서모니터링을 통해 데이터를 분석하여 기존 시스템 대비 효율적인 생산이 가능한 ICT기반 아쿠아포닉스 시스템에 대하여 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 아쿠아포닉스의 개념과 시스템 구성에 대해 설명한다. III장에서 실시간으로 수집된 데이터를 분석하여 작물의 생육 정도를 측정하는 방법에 관해 설명하고, 이를 검증하기 위한 실험 결과를 제시하고 분석한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 아쿠아포닉스 개념

아쿠아포닉스(Aquaponics)는 양어(Aquaculture)와 수경재배(Hydroponics)를 합친 의미로 물고기가 식물이 정화한 물을 이용함으로 작물을 재배하는 기법이다. 수경재배와 다르게, 물고기나 동물의 배설물을 식물의 영

양분으로 활용하는 방법으로 대표적 친환경 농법이다.

순환하는 농업용수에서 양식부에서 물고기를 양식하고, 재배부에는 식물을 성장하는 방법으로, 설비 방식에 따라 효율적으로 생산 공간을 구축할 수 있다.

그리고 각종 환경오염으로 인한 공기 중의 미세먼지 수치가 증가하며, 수질 및 토양도 오염도가 증가하고 있는 가운데, 친환경 먹거리에 관한 관심에 대응할 수 있는 친환경 생산품과 생산과정은 아쿠아포닉스의 큰 장점이라고 볼 수 있다. 코로나로 인한 건강에 대한 관심도가 증가하면서 비대면 소비 시장을 기반으로 고급 식재료인 친환경 농산물 온라인 판매점의 매출실적이 증가하고 있는 것은 이러한 사실을 증명하는 주요 지표이다[2].

즉, 아쿠아포닉스는 공간 활용 측면에서 농경지 부족 문제를 해결할 수 있으며, 친환경 농산물의 재배가 가능하고 다양한 ICT기술을 융합하여 이러한 장점을 극대화하려는 노력이 계속해서 시도되고 있어 앞으로의 농업기법 전환의 중심에 자리잡을 것으로 예측된다.

2. 관련연구

식물의 성장 정보 측정연구인 [3]은 식물의 높이를 촬영하는 카메라와 식물의 면적을 촬영하는 카메라를 두어 알고리즘에 의해 식물의 최적화 높이를 측정하는 방법과 최적화 면적을 측정하는 방법을 제시하고 있다. 이는 개개의 식물에 대한 측정으로 비용이 많이 소요되며, 만약 식물의 종류가 다양할 때는 각각의 식물 측정에 맞는 알고리즘을 개발하고 적용해야 하는 문제가 있다.

스마트팜과 아쿠아포닉스 농법을 제대로 활용하기 위해서는 다양한 IOT 센서들을 활용한 시스템 구성이 필수적이다.

엣지 컴퓨팅과 인공지능 기술을 농업생산 시스템에 적용한 연구[4]에서는 VegeCareAI 시스템을 통해 식물의 성장 조건을 고려한 품종 분류, 병충해 분류기능을 제공한다. PlanetVilliage[5], Kaggle[6]를 활용하여 딥러닝 학습하고 분류한다.

신경망 기반의 성장 예측모델을 제안한 연구 [7]에서는 성장 기반의 다양한 환경 데이터를 통해 ANN을 이용하여 예측모델을 수립하였다. 이 모델은 생산 배지에서 잎채소의 높이 증가를 예측한다. 그러나 이 시스템은 출력변수인 잎채소의 높이 정보를 이미지 처리 기반 자동화 시스템에 의해 처리하는 것이 아니라 실측에 의한 수작업 기반의 높이 정보를 입력한다.

지금까지 살펴본 기존 연구에서 이미지 자체를 학습하여 성장치를 예측하는 모델은 없고, 대부분 출력 변수가 전처리 혹은 직접 측정에 의한 식물의 크기나 면적을 구한 뒤 출력변수로 활용한다는 점에서 본 논문에서 제시한 부분과 차이가 있다. 아쿠아포닉스를 위해서는 품종의 다양성에 대비해 식물의 수직, 수평 정보를 모두 고려한 종합크기 정보, 결손 품종에 대비한 색깔 정보도 출력변수로 고려해야 한다.

3. 아쿠아포닉스 재배 시스템

아쿠아포닉스 재배 시스템은 일반적으로 양어 설비의 설치 구조에 따라 통합 모델과 분리형 모델로 나눌 수 있으며 각각의 장단점은 다음과 같다.

표 1. 아쿠아포닉스 통합형 및 분리형 모델의 장단점
 Table 1. Pros and Cons of Aquaponics Integrated and Detachable Models

Sortation	all-in-one model	Detachable models
Scale	Small-scale possible	Large scale possible
Production cost	high price	low price
Usability	Training and Exhibition	agricultural production
Vegetable cultivation area	small	Big
ease of operation	difficulty	ease

표 1에서 언급한 바와 같이 일체형 모델의 경우 학교나 어린이집 또는 가정에서 소규모로 재배할 때 유용하게 사용된다. 소규모 작물 재배로 구축된 설비에 비하여 작업이 쉽지 못하지만 어떠한 환경에서도 생산 시스템을 구축할 수 있는 장점이 있다.

반면, 분리형 모델은 주로 농업생산용이나 도시농업용으로 사용되며 일체형과 비교하여 생산 작업이 용이한 측면과 함께 제작비용 대비 높은 생산량을 가질 수 있는 장점이 있다. 특히, 기존 노지 재배나 수경재배보다 생산량 대비 비용 효율성이 월등히 높음에 따라 활용도가 증가 되고 있다.

아쿠아포닉스의 시스템 구성을 보면 재배수 순환으로 작물을 재배한다는 원리는 수경재배와 매우 유사하

다. 그러나 수경재배의 경우 작물 재배에 필요한 영양분을 양액의 형태인 비료로 제공을 하지만 아쿠아포닉스의 경우 물고기의 배설물과 분비물 등의 유기물과 박테리아 등의 미생물 상호 작용에 의해 식물이 필요한 질산염 등의 영양분이 무기화되어 제공된다.



그림 1. 아쿠아포닉스 재배 시스템
 Figure 1. Aquaponics Cultivation System

4. 3D 깊이 영상 부피 계산방법

본 논문에서 생육 환경 분석을 위해 작물의 부피를 3D 카메라 센서를 활용하여 수집한다. 3D 카메라의 경우 깊이 값의 오차가 발생하기 때문에 이를 보간법으로 정제하여 작물의 깊이 값을 보정 한다.

먼저, 촬영된 기본 정보 값에서 윤곽선을 도출한 후 주어진 모양에서 작물이 차지하지 않는 틈새를 채워야 하므로, Interpolation을 적용한다. 영상처리 기법에서 주로 사용되는 Erode(팽창) 연산은 원래의 윤곽선과 동일한 크기를 갖는 확장된 윤곽선을 만들 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 작물 주변의 값을 이용하여 Depth를 구하였다.

부피를 계산하기 위해 ROI(Region Of Interest) Mask로 관심 영역을 설정하고, 작물 영역과 토양 영역으로 구분한다. 면적과 부피를 계산하기 위해 ROI 내 작물의 면적과 부피를 추출한다. 영상을 분할 하여 통합 성장 값을 계산하기 위해서는 다음과 같이 2D 영상의 Green 채널을 이용하여 영상 분할 마스크를 생성한다.

$$M_{SEG} = \begin{cases} 1, & \text{if } I_G(x,y) > thr \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

작물의 평균 면적 A_{mean} 과 평균 부피 V_{mean} 를 구하는 공식은 다음과 같다.

$$A_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{n-1} A_i \quad V_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{n-1} V_i$$

각 측정 시점에서의 통합 성장 값 T_i 의 값을 구할 수 있다.

$$T_i = \frac{A_i}{A_{mean}} + \frac{V_i}{V_{mean}}$$

3D 카메라로 작물을 측정하면 홀(Hole)이 발생한다. 깊이 정보가 빠진 Hole의 영역이 존재할 수 있는데 홀 영역에서는 깊이는 0의 값을 가지고 작물의 부피 정보를 측정하기 위해서는 홀 영역에 대한 보간 과정이 필요하다.

III. 실험 방법

본 논문에서는 단일 작물추적 딥러닝과 작물 군 추적 딥러닝을 통해 작물의 성장을 측정하였다.

입력 영상의 획득 방법은 Intel의 RealSense 깊이 카메라 D435i를 이용하였고, RGB의 영상은 최대 공간 해상도는 1920 X 1080으로 화소 정밀도 24bpp이다. 깊이 영상의 경우 최대 공간 해상도 1280 X 720으로 화소 정밀도 16bpp, 깊이 측정 범위 0.1~10m 최적 깊이 범위는 0.3~3m이다. 본 연구에서는 RGB 영상과 깊이 영상을 680 x 480의 해상도로 조정하여 사용하였고, 깊이 영상을 RGB 영상에 정렬하였다.

1. 복합 생육 변수 예측 모델

정확한 작물의 성장 정도를 예측하기 위해, 데이터 전처리와 신경망 모델을 활용할 수 있다. 하지만, 성장 정보 예측하기 위해 영상 데이터를 활용과 함께, 생육 환경에 영향을 주는 독립 변수에 대한 고려가 필요하다. 본 실험 환경에 사용된 작물 공장에서 수집 가능한 파라미터로는 광도, EC, DO, pH, 그리고 공장의 온도와 수온 정보 등의 생육 환경 정보를 독립변수로 구성하고 생육 이미지와 함께 5단계 생육 예측모델을 설정한다.

2. 단일 작물추적 딥러닝

이 기법은 2차원 이미지의 분류 자동화에 최적화된 CNN을 활용하여 식물의 성장 정보를 학습하는 기법이다. 대상 작물에 따라 별도의 학습 데이터가 필요하며, 그림 2와 같이 작물의 성장 이미지를 학습 데이터로 사용한다. 입력 파라미터는 성장하는 작물의 시계열에 따른 이미지이며, 출력 파라미터는 다 등급으로 분류된 식물의 성장 척도 값이다.

일반적으로 아쿠아포닉스 환경은 고성능의 CPU나 GPU, 대용량의 메모리를 갖추고 있지 않으므로 제한된 환경에서는 연산 과정에서 많은 비용이 소모되는 MAC (Multiply and Accumulation)을 줄이는 Depthwise Separable Convolution을 사용해야 한다.



그림 2. 시간에 따른 식물 성장 이미지 데이터

Figure 2. Plant growth image data over time

특히, MobileNet을 활용하면 pointwise convolution 연산량은 비례로 증가하며 feature map의 채널 개수와 커널의 크기에 따라 연산량은 효율적으로 줄일 수 있다. 예를 들어 채널 개수가 1이고 커널 크기가 4일 경우 연산량은 약 14~16배 줄어든다. 이에 따라 아쿠아포닉스 환경에는 고성능의 분석 시스템을 활용하지 않아도 일정 수준 이상의 정확도를 확보할 수 있을 것으로 사료 된다.

3. 작물 군 추적 딥러닝

작물 군 추적 딥러닝은 획득한 첫 번째 2D RGB 영상에 대해 마우스를 이용하여 사각형 모서리를 나타내는 4개의 점(Point)을 클릭하는 방식으로 관심 영역을 설정한다. 첫 번째 영상에 대해 설정된 관심 영역은 이후 모든 영상에게 동일하게 적용한다.

Realsense 카메라를 이용하여 약 2개월간 상추 모종 사진 50장을 사용하여 3시간 간격으로 2D와 3D 영상을 획득한 결과는 다음과 같다.



그림 3. 입력된 2D 영상
Figure 3. Input 2D image



그림 4. 영상 내의 관심 영역
Figure 4. Region of interest in image

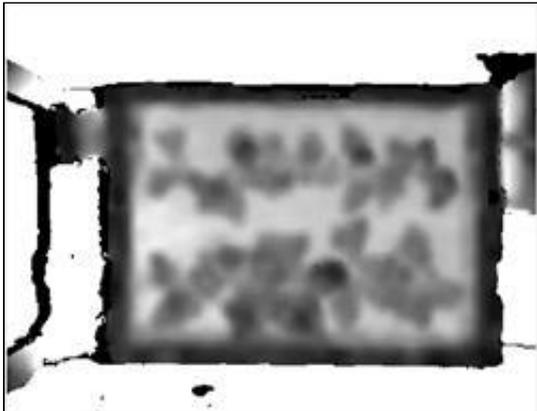


그림 5. 입력된 3D 영상
Figure 5. Input 3D image

작물과 토양으로 구성된 관심 영역에서 작물 영역을 추출하기 위해 영상 분할을 수행하였다. 토양 영역에 있는 비료 입자 등으로 인해 영상 분할 마스크에서 임펄스 잡음이 발생하였다. 잡음 제거를 위해 형태학적 처리 방법 중 열림(opening) 연산을 수행하여 잡음 성분이 제거된 영상 분할 마스크 데이터를 얻을 수 있었다.

앞서 작물의 면적과 부피를 측정하기 위해 관심 영역을 설정하였으며 이는 작물과 토양을 구분하기 위하여 활용된다. 작물의 생육 정도를 측정하는 과정은 다음과 같다. 먼저 영상을 분할 한다. ROI에서 작물의 영역을 추출하여 작물의 면적과 부피 정보를 추출한다. 이때 2D 영상과 3D 영상으로 작물과 토양의 정보를 파악한다. 2D 영상으로 찍은 정보는 작물과 토양의 색상을 구분하는 데 사용되고, 3D 영상으로 찍은 정보는 작물과 토양의 깊이 정보를 학습하기 위해 사용한다.

홀(hole)의 보간 또한 관심 영역에 포함된 홀에 대해 홀 경계 화소들의 깊이 값 평균을 이용하여 홀 영역을 보간하였다. 홀 영역에서의 깊이는 0의 값을 가지며 작물의 부피 정보를 측정하기 위해서는 영역에 대한 보간 과정이 필요하다. 본 연구에서는 관심 영역에 포함된 홀에 대해 홀 경계 화소들의 깊이 값 평균을 이용하여 홀 영역을 보간하였다.

작물 재배에 사용된 프로파일의 상단과 중간 부분이 깊이 카메라와 화분이 각각 배치되어 있어 작물이 생장함에 따라 깊이 카메라의 깊이 값이 감소하게 되었다. 이러한 점을 고려하여 작물 부피 추출을 위한 식을 변경하여 계산하였다.

이를 통해 작물 군 추적 딥러닝을 구축하고 생육 환경을 추적하여 작물의 정상적인 성장과 병충해 유무, 학습데이터와의 비교를 통한 상품으로 출하할 수 있는 작물의 생육 환경 추적이 가능하다.

본 논문에서는 정확한 생육 환경을 학습하기 위해 단일 작물추적 딥러닝 기법보다 작물 군 추적 딥러닝이 효과적이라고 제안한다. 그 이유는 단일 작물기반 딥러닝의 경우 씨앗 종의 특성에 따라 실제 학습 알고리즘이 정상적으로 동작하지 않을 수도 있기 때문이다. 바꿔말하면 생육 환경을 최적화하더라도 씨앗 자체의 문제로 인해 비정상적인 결과가 나오고 최적화된 생육 환경의 변경이 일어날 수 있기 때문이다. 이에 따라 단일 작물이 아닌 작물 군 중심의 학습이 오류를 최소화할

수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

농업의 발전이 고도화되고 있고, 지능화되고 있으며 보다 효율적으로 작물을 생산할 수 있는 다양한 농법들이 개발되었다.

우리나라의 농업 기술은 ICT와 인공지능, 사물 인터넷 등 4차 산업과 융합하여 새로운 산업으로 발전하고 있다. 특히, ICT 기술은 현재 농촌 사회가 직면한 문제를 해결하고 한국형 아쿠아포닉스를 성장시킬 동력원이다.

정부는 스마트팜과 아쿠아포닉스를 활용하여 많은 연구와 종합대책을 마련하여 청년 농업인들로 산업을 확대하고 정책자금과 R&D, 교육훈련 등 아쿠아포닉스의 확산에 장애 요인을 해소하여 아쿠아포닉스 보급을 가속하고 관련 산업 성장 기반을 강화하도록 지원하고 있다.

본 논문에서의 연구 결과 2D 영상과 3D 영상의 카메라를 활용하여 작물의 성장 정도를 측정하였다. 작물의 면적과 부피를 알기 위하여 관심 영역을 설정하였고, 그 관심 영역의 영상을 분할하여 작물의 부피를 측정하였다. 이 과정에서 작물과 토양에서 관심 영역을 제외하고 작물 영역을 추출하기 위하여 영상 분할을 수행하였다.

이때 영상 분할 마스크에서 임펄스 잡음을 감소하기 위해 처리 방법의 하나인 열림(Opening) 연산을 수행하여 잡음을 제거하였다. RealSense 깊이 카메라로 형성된 3D 영상으로 깊이 정보가 누락된 홀 영역에 대한 보간 과정이 필요하다. 그래서 각 홀에 대해 깊이 값 평균을 이용하여 홀 영역을 보간 하였다.

고차원의 작물 영상을 저차원으로 embedding 하여 단계별 시각화를 하였고, 보간을 통해 작물의 성장 단계를 추정하였다. 또한, 작물의 영상을 분석하기 위한 패턴을 데이터에서 자동으로 찾아낸 후 이를 사용하여 영상을 자동으로 분류하는 신경망의 한 종류로 딥러닝에서 사용되는 대표적인 형태의 신경망 중 하나인 CNN을 활용하였다. CNN의 출력을 활용하여 작물의 생육 정도를 판단할 수 있었다. 본 연구에서 컴퓨터 비전 방식과 인공지능 방식을 활용하여 최적의 판별 기법을 선정하였다.

References

- [1] G.R. Lee, Y.S. Kim "A study on the development of an environmental monitoring system for micro data centers" The Journal of the Convergence on Cultural Technologies, Vol.8. No. 2, pp.355-360, 2022. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.2.355>
- [2] J.Y. Moon, G.E. Gwon, H.Y. Kim, J.H. Moon, "Building a Smart Farm in the House using Artificial Intelligence and IoT Technology", in Proceeding of the Korea Information Processing Society, Vol. 27, No. 2, pp. 818-821, 2020. <https://doi.org/10.3745/PKIPS.y2020m11a.818>
- [3] Y.C. Kim, M.T. Cho, H.J. Joo, "A Study on the Development of Plant Growth Monitoring System Using Plant Measurement Algorithms", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 6 pp. 2702-2706, 2012. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.6.2702>
- [4] M Ikeda, N Ruedeenniraman, L Barolli, "An intelligent VegeCareAI tool for next generation plant growth management", Journal of Internet of Things, Vol. 15, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100381>
- [5] D.P. Hughes , M. Salath'e, "An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics through machine learning and crowdsourcing", Computing Research Repository, 2015. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1511.08060>
- [6] Data science community, <https://www.kaggle.com>
- [7] A Rizkiana, A.P Nugroho, N.M Salma, S Afif, R.E Masithoh, L Sutiarto, T Okayasu, " Plant growth prediction model for lettuce (Lactuca sativa.) in plant factories using artificial neural network ", in Proceeding of International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 733, 2021. DOI 10.1088/1755-1315/733/1/012027

※ 이 논문 또는 저서는 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(NRF-2020S1A5B8102066)