

농업용 무인항공기를 활용한 농약방제 효율성 방안에 관한 연구

정가영¹, 조용윤^{2*}

¹순천대학교 스마트농업전공 대학원생, ²순천대학교 스마트농업전공 교수

A Study on Efficient Methods of Pesticide Control Using Agricultural Unmanned Aerial Vehicles

Ga-Young Jeong¹, Yong-Yoon Cho^{2*}

¹Student, Department of Smart Agriculture Major, Suncheon National University

²Professor, Department of Smart Agriculture Major, Suncheon National University

요약 농업환경에서 농약방제는 농업인에게 작업 위험성과 높은 노동력을 요구한다. 무인항공기를 활용한 농약방제는 기후, 토지형태, 무인항공기의 특성에 따라 효율성이 다르게 나타난다. 따라서, 살포조건과 환경조건을 고려한 효율적인 무인항공기 농약방제 방안이 요구된다. 본 논문은 작물별 살포조건과 환경정보를 고려한 농업용 무인항공기 기반의 효율적인 농약 방제 시스템을 제안한다. 감수지 부착 후 고도 및 속도 변화에 따른 농약 낙하균일도 측정 및 작물 성장조건 변화에 따른 수관내부 약제 침투율 측정 실험을 통해 제안하는 모델의 효과성을 보였다. 실험결과, 무인항공기의 높이가 지면과 가까울수록 작물에 고르게 살포되지만 안전이 고려된 2m이상이 높이와 평균 2m/s의 속도에서 가장 방제효과가 적합하였다. 제안하는 방제 시스템은 농업환경에서의 다양한 무인항공기 활용 기반 지능형 서비스 개발에 도움을 줄 것으로 기대한다.

주제어 : 스마트팜, 무인항공기, 멀티콥터, 농약방제, 노지작물

Abstract In the agricultural environment, pesticide control requires a high risk of work and a high labor force for farmers. The effectiveness of pesticide control using unmanned aerial vehicles varies according to climate, land type, and characteristics of unmanned aerial vehicles. Therefore, an effective method for pesticide control by unmanned aerial vehicles considering the spraying conditions and environmental conditions is required. In this paper, we propose an efficient pesticide control system based on agricultural unmanned aerial vehicles considering the application conditions and environmental information for each crop. The effectiveness of the proposed model was demonstrated by measuring the drop uniformity of pesticides according to the change in altitude and speed after attaching the sensory paper and measuring the penetration rate of the drug inside the canopy according to the change in crop growth conditions. Experiment result, the closer the height of the UAV is to the ground, the more evenly the crops are sprayed, but for safety reasons, 2m more is suitable, and on average a speed of 2m/s is most suitable for control. The proposed control system is expected to help develop intelligent services based on the use of various unmanned aerial vehicles in agricultural environments.

Key Words : smart farm, unmanned aerial vehicle, multi-copter, pesticide control, field crops

본 논문은 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성(Grand ICT연구센터)사업의 연구결과로 수행되었음 (HITP-2022-2020-0-01489)

*교신저자 : 조용윤(yycho@sunchon.ac.kr)

접수일 2022년 2월 24일 수정일 2022년 3월 29일 심사완료일 2022년 4월 4일

1. 서론

농촌지역은 노인인구 고령화와 인구가 감소에 따라 인력이 부족한 실정이다[1]. 낮은 농업소득, 농산물 가격의 불안정과 높은 고령화와 인구가 감소로 인한 농촌 노동력 부족과 더불어 최근 코로나19 장기화 여파로 인력수급에 어려움이 있어 농가의 피해가 예상된다[2]. 농업용 무인항공기를 활용한 농약방제는 일손부족을 해소하고 농업 생산성 향상에 도움이 될 수 있다. 농업용 무인항공기는 지상 장비보다 더 많은 장점을 갖고 있으며, 공중에서 작물과 동물에게 피해 없이 접근하여 임무를 수행할 수 있으며, 방제를 위해 토양의 특성을 크게 고려할 필요가 없다. 농촌 지역 인구 고령화와 주거지역과 농경지 사이 밀접한 때문에 광역장비보다 소형의 농업용 무인항공기의 확대가 국내 농업에 효율적일 것으로 보고 있다[3,4]. 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)는 본래 군사적인 목적으로 개발 및 활용되었는데, 농업을 포함한 다양한 분야로 확대되었고 최근 농업 분야에서 ICT 및 4차산업기술과의 융합연구가 활발히 시도되고 있으며, 특히 노지에서 무인항공기를 활용한 다양한 첨단기술 융합 개발 노력이 시도되고 있다[3]. 무인항공기를 활용하면 인력, 비용, 시간이 많이 소요되는 기존의 방제 방식을 벗어나 빠르고 정확한 방식으로 방제 작업이 가능하다[5]. 그러나, 현재 무인항공기의 농약 살포조건과, 환경조건 및 작물 생육조건등 다양한 현장 요소를 종합적으로 고려한 무인항공기 활용 농약방제 효율성 및 방제 기준 연구 사례가 부족하다. 급격하게 변하는 국내 드론 산업에서 농업용 무인항공기의 자체탑재 물량 살포량 및 살포 균일도를 높이고 방제 작물에 정확한 방제를 수행하기 위해서는 지속적인 농업용 무인항공기 표준을 구축하고 무인항공기를 이용한 정보관리의 필요성이 증가되고 있다[6]. 기존에 특정 작물을 기준으로 무인항공기 방제 효율에 대한 연구와 주요 해충 방제 기준에 대한 비교 연구가 진행되었으나 농약 방제시 작물별 생육조건과 병해충의 형태가 다양하여 작물별 방제법과 기준이 있어야 하지만 무인항공기를 이용한 구체적인 방제 기준은 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 농약 방제시 작물별 생육정보와 발생하는 병해충에 따라 살포조건(작물종류, 농약종류, 희석량, 살포력)과 환경조건(풍속, 풍량, 날씨) 등의 다양한 현장 정보를 종합적으로 고려해 방제 효율을 높일 수 있는 무인항공기 기반 농약방제 효율화 방안을 제안하고자 한다.

2. 관련연구

2.1 배추 주요해충 3종의 방제 기준 설정

배추좀나방은 아주 작은 해충으로 배추, 무, 양배추 등 주로 십자화과 작물을 가해한다[7]. 뿐만 아니라 배추에 발생하는 주요 해충들은 크기는 작지만 1주당 기생개체가 많으면 피해가 크게 나타나 큰 피해를 받게 된다[8]. 이에 무인항공기를 활용하여 배추 해충 방제기준을 설정하기 위해 살포 높이와 진행속도에 따른 하향풍 속도, 살포 폭, 낙하 입자수와 입자크기를 감수지를 이용하여 조사하였고 항공방제용 농약에 따라 주요해충인 배추좀나방, 파밤나방, 담배겨세미나방에 대하여 완전치사능도와 약량을 검정하여 배추 주요 해충 3종의 방제기준 설정에 대한 연구가 진행되었다[9].

2.2 쪽파 파밤나방과 무배추 좀나방의 방제효과

파밤나방은 5월경 성충이 나타나는 것을 시작으로 6~11월까지 피해를 발생시키며 유충은 표피를 뚫고 들어가 엽신 내부를 가해한다[10]. 파밤나방은 반드시 1~2령의 어린 유충을 발견하면 즉시 방제해야 하며 토양 등에서 일주일 정도 번데기로 지내는 특성이 있어 7~10일간격으로 2~4회 집중 방제 실시해야한다[11].

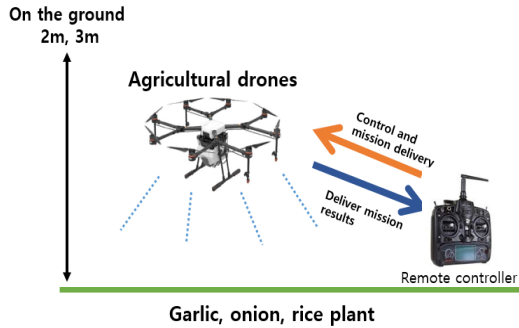
이에 쪽파, 무를 대상으로 농작물에 피해를 주는 주요해충인 파밤나방과 배추좀나방에 대한 무인항공기 방제 기준 연구가 진행되었다. 그 결과 spinetoram 액상수화제 등 5종 살충제를 살포한 결과 추천농도에서 모두 90%이상의 우수한 살충 효과를 보여주었다[12]. 저항성 발현을 억제하기 위해 다양한 계통의 약제를 이용하여 방제하는 것이 필요하지만, 무인항공기에 활용되는 파밤나방 약제는 9개로 많이 부족한 상황이며 무인항공기 방제 실험을 통해 등록 약제의 추가가 필요하다고 판단된다[13].

2.3 소나무 재선충병 무인항공기 방제

소나무재선충은 크기 1mm내외의 실 같은 선충으로서 매개충의 몸 안에 서식하다가 새순을 갉아 먹을 때 상처 부위를 통하여 나무에 침입한다[14]. 최근 소나무 재선충 방제에 무인항공기가 활용되며 하루 4시간 기준 5ha 방제가 가능하다. 10m이내 높이에서도 약제를 정확히 살포하여 안전과 경제성으로 효과를 보고 있다[15].

3. 시스템 구성

[Fig. 1]는 제안하는 무인항공기 기반 농약방제 효율화 방안의 대략적인 개념도이다.



[Fig. 1] The suggested conceptual diagram

Fig.1 에서 비행조건별 농약살포에 대한 효과를 구명하기 위해 조사대상지를 구분하고 조종기를 통해 무인항공기의 속도와 높이를 설정하였다. 다음 <Table 1>은 제안하는 시스템이 작물별 고려하는 살포조건과 환경조건을 나타낸다.

<Table 1> Spray conditions and environmental conditions

crops	height	speed	Drug concentration
onion	2m	1ms, 2ms, 3ms	10,20,50,100times
garlic	2m	1ms, 2ms, 3ms	10,20,50,100times
rice	2m, 3m	2ms, 3ms	10,20,50,100times

<Table 1>에서 양파, 마늘의 경우 제안하는 시스템에 적용하는 살포력과 약제 농도 조건은 지면의 초기 높이 2m를 기준으로 무인항공기의 속도를 1m/s, 2m/s, 3m/s의 조건으로 수행하며, 마늘과 양파 포장의 두둑에 재식간격인 12cm 간격으로 총 20개의 기둥을 설치하고 각 기둥에 상하좌우 4곳에 감수지를 부착 후 상면과 하면, 좌측면과 우측면 등 4방향으로 부착하여 약제의 입자를 측정하였다. 벼는 물이 차있는 논이 특성상 가장 하단부를 10cm로 설정하고 감수지를 12cm 간격으로 부착하여 조사하였다. 드론 살포용으로 적정 농도를 구명하기 위하여 관행방제구를 대조구로 하였고, 관행방제구에 별도로 고농도 살포실험구를 만들어 10배액, 20배액, 50배액, 100배액의 약제를 살포하여 약해 발생여부를 판단하였다. 위 실험을 통해 방제시 무인항공기의 높

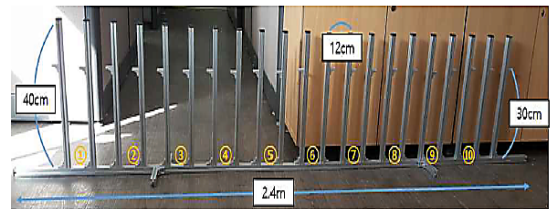
이, 속도, 약제농도에 따라 최적의 방제효율을 갖는 작물별 방제 모델을 찾을 수 있다.

4. 실험 및 평가

4.1 실험 환경

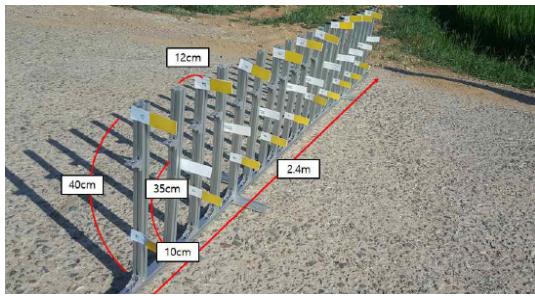
제안하는 시스템에 대한 실험을 위해 무인항공기 (MS-1S, DJI)의 기체특성과 성능은 기체규격 1940x1940x482(mm), 날개수 8개, 탑재중량 10kg, 최대이륙중량 24kg, 비행시간 10~15분이며 수동과 GPS모드로 농약 살포가 가능한 무인항공기를 이용하였다. 생육조사를 위한 무인항공기(Inspire 1 pro, DJI)의 기체 특성과 성능은 기체규격 438x451x301(mm), 날개수 4개, 탑재중량 2.87kg이며 생육조사 무인항공기에 장착한 카메라는 Sequoia(Parrot)를 살용하였다. 또한, 표 1에 제시한 환경조건과 살포조건에 따라 실험을 진행하였다. 드론구와 대조구의 농약살포 정도를 파악하기 위하여 감수지를 이용, 1cm²크기로 한정하여 표시된 도트 수를 계수하였다. 기상조건으로 바람이 불지 않고 기류가 안정된 오전 시간대를 주로 활용하였고 비, 안개가 발생할 시 가시거리 확보 및 성능 향상을 위해 방제 실험을 중단하였다.

[Fig. 2]는 감수지 부착 구조물로 실제 이랑폭과 작물간 거리 및 작물 초장에 맞추어 이랑폭 2.4m, 작물간 거리 12cm로 설정하였고, 양파와 마늘의 생육기간중 평균 초장을 30~40cm으로 추정하여 높이를 40cm으로 설정하였다.



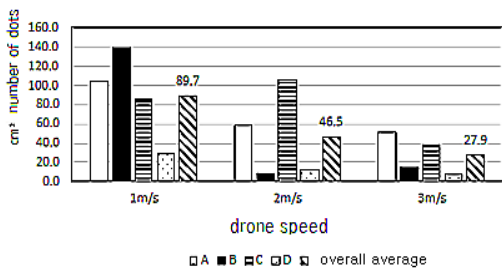
[Fig. 2] Experimental structure for pesticide control of onion and garlic

[Fig. 3]은 벼 방제 실험에 사용된 구조물로 물이 차있는 논이 특성상 가장 하단부(B)를 10cm로 설정하고, 중단부(C)를 25cm, 상단부(D)를 40cm으로 설정하여 감수지를 1~10까지 12cm 간격으로 부착하였다.



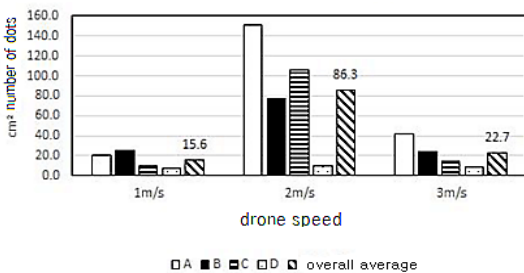
[Fig. 3] Experimental structure for pesticide control of rice

4.2 실험 결과



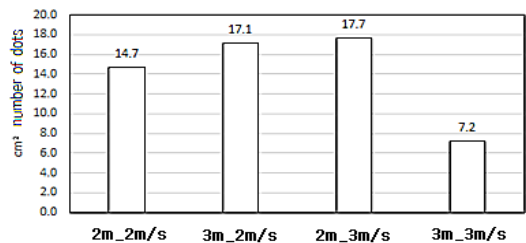
[Fig. 4] Location-specific sensitivity results according to drone operation speed in onion pesticide control

[Fig.4]는 양파 방제시 무인항공기 운행 속도에 따른 위치별 감수량에 대한 실험 결과를 나타낸다. 양파 방제시 감수되는 정도가 적은 속도는 1m/s였고 가장 감수정도가 적은 속도는 3m/s로 나타났다. 드론 운행 속도별 전체 평균을 살펴보면 1m/s에서 89.7개, 2m/s에서 46.5개, 3m/s에서 27.9개로 계수되었다. 1m/s에서 2m/s로 속도가 증가하면 감수량이 49%감소, 2m/s에서 3m/s로 속도가 증가하면 감수량이 40% 감소하여 속도가 증가할수록 감수량이 크게 감소하는 것을 확인하였다.



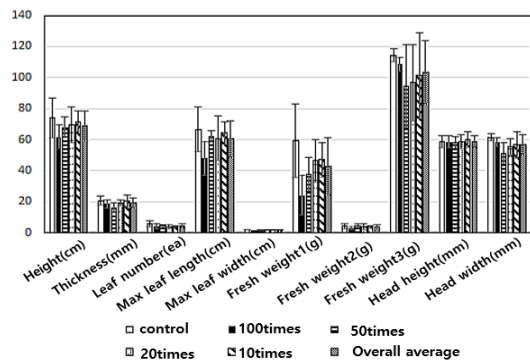
[Fig. 5] Location-specific sensitivity results according to drone operation speed in garlic pesticide control

[Fig. 5]는 마늘 방제시 무인항공기 운행 속도에 따른 위치별 감수량에 대한 실험 결과를 나타낸다. 마늘 방제시 감수되는 정도가 가장 많은 속도는 2m/s였고 가장 감수정도가 적은 속도는 1m/s로 조사되었다. 드론 운행 속도별로 전체 평균을 살펴보면 1m/s에서 15.6개, 2m/s에서 86.3개, 3m/s에서 22.7개로 속도가 증가함에 따라 감수정도가 낮아졌던 양파실험과는 다른 양상이었으며, 이는 실험 시점에서 풍속 3.5m/s로 다소 강한 바람이 불어 드론 속도 1m/s에서는 바람에 날리는 정도가 심해 감수정도가 낮았던 것으로 판단되었다.



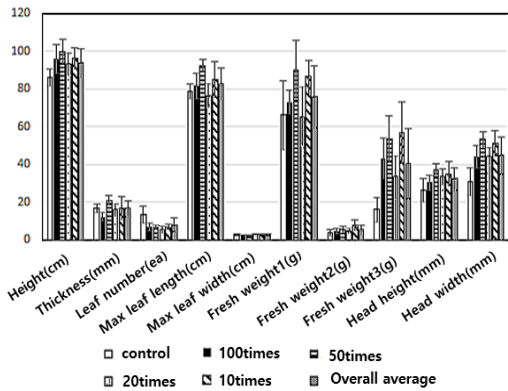
[Fig. 6] Test result for rice pesticide control

[Fig. 6]은 무인항공기를 이용한 벼 방제 실험 결과를 나타낸다. 벼 방제시 감수지 부착 위치중 B와 D는 부착면이 향하는 쪽이 오른쪽으로 갈아 위치별 감수되는 양상이 전반적으로 비슷하였으나 결속값이 많았고, 감수되는 방향이 갈더라도 부착된 위치가 다를 경우 양상이 다르게 나타날 수 있음을 확인하였다. 2m 높이에는 가장 높은 지점인 D지점에 감수되는 정도가 가장 컸고, 3m 높이에서는 가운데 지점인 C지점에 감수되는 정도가 더 많았다. 드론 비행 높이 2m, 속도 3m/s 조건의 방제에서 평균 감수정도가 좋으며, 높이 3m에서 속도 2m/s에서 하단, 중단, 상단 부위별 고르게 적정방제가 이루어진 것으로 보인다.



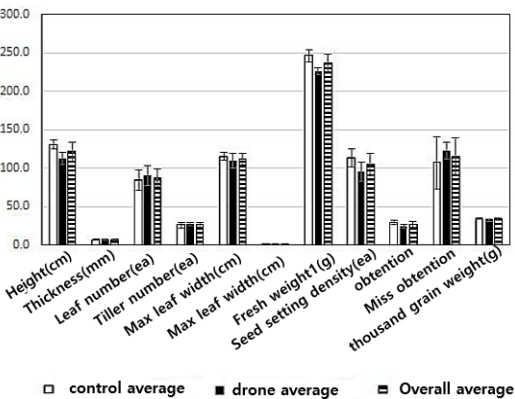
[Fig. 7] Results of onion growth test

[Fig. 7]는 제안하는 농약방제 방법을 통한 양파 생육 실험 결과를 나타낸다. 관행 방제구를 대조구로 하여 대조구와 고농도 실험구(100배액, 50배액, 20배액, 10배액)에서 5주씩 총 25주를 샘플링하여 파괴조사를 수행하면서 생육조사와 병해충조사를 동시에 수행하였다. 전반적인 생육상태가 대조구에서 가장 좋았으나 구경의 생체중, 초장을 비롯한 엽장과 엽폭, 잎과 뿌리의 생체중은 방제구와 큰 차이가 없었다. 대조구에서 생체중이 높았다 할지라도 병해 발생율이 있어 상품성이 떨어질 것으로 예상된다. 병 발생 정도는 고농도 50배와 20배에서 양호했으며 전체 실험구에서 총해는 관찰되지 않았다.



[Fig. 8] Test result for garlic pesticide control

[Fig. 8]는 제안하는 농약방제 방법을 통한 마늘 생육 실험 결과를 나타낸다. 전체 생육이 대조구에서 가장 낮았고 병해충의 발생이 고농도 100배액과 50배액이 비슷한 수준 이었다. 병해는 세균성 벼알마름병, 도열병이 발생하였다.



[Fig. 9] Test result for rice pesticide control

관행 방제구를 대조구로하여 대조구와 드론 방제구에서 3포기씩 총 6포기를 샘플링하여 파괴조사를 수행하였다. 1회 파괴조사 이후 총해는 발견되지 않았지만 병해인 세균성 벼알마름병 2회, 도열병 1회 두 가지 병 모두 대조구, 드론구에서 발생하였고, 드론구에서 발병정도가 조금 더 심하게 나타났다. 생육조사 결과 전반적으로 대조구에서 생육이 더 양호했으나 큰차이는 나지 않았다. 드론구에서 생육에는 큰 지장이 없지만 병해의 발병정도로 보아 관행방제보다 1~2회 더 방제가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 작물별 살포조건과 환경정보를 고려한 농업용 무인항공기 기반의 효율적인 농약 방제 방법을 제안하였다. 양파, 마늘, 벼를 대상으로 제안하는 농약방제 방법의 농약방제 효율성 실험을 통해, 제안하는 무인항공기 방제 방법의 효율적인 결과를 확인하였다. 양파와 마늘의 경우 농약 살포 높이는 2m이내, 속도 2m/s에서, 벼의 경우 3m의 높이와 2m/s의 속도에서 가장 균일한 약제의 살포 효과를 나타냈다. 또한, 비행 간격은 대상작물 모두 높이 3m, 평균 방제폭 3m에서 좋은 방제 효과를 얻었다. 농약배액정도에 있어서, 100배액은 살포량이 충분하더라도 너무 희석되어 병해 방제에 적합하지 않고 10배액은 농도가 너무 짙어 생육에 유리하지 않았다. 20, 50배액을 살포한 경우 고시된 살포량을 넘겨 방제하여도 생육에 지장이 없이 적절한 방제가 가능할 것으로 판단된다. 향후, 제안하는 무인항공기 기반 농약방제 방법 및 실험 결과는 다양한 작물을 대상으로 무인항공기 기반 효율적인 농약방제 연구 및 방안 개발에 효과적으로 활용될 것으로 예상된다.

REFERENCES

- [1] Y.T.Seo ,Rural areas where the population is declining every year, there is no one to farm[Internet], <http://www.shanews.com/news/articleView.html?idxno=411057>.
- [2] J.H.Jeong, Hope to solve the problem of shortage of manpower in rural areas during the farming season[Internet], <https://www.jjan.kr/article/20220321580170>.

- [3] G.H.Jeoung, J.H.Lee, M.H.Jeon, I.T.Park, Unmanned aerial vehicle launches rice farming, Gyeonggi Agricultural Research and Extension Services Journal, 71-6410563-00051-01, pp.9-11, 2015.
- [4] S.H.Kim, G.H.Lee and G.H.Yoo, "Drone technology trends and tasks for agricultural use", iCROS, Vol.22, pp.34-42, 2016.
- [5] A.R.Lee, "Drone Market and Industry Trends", Convergence Research Policy Center, pp.2-4, 2017.
- [6] B.Y.Park, I.H.Jeong and J.R.Cho, "Control Efficacy of Spodoptera exigua on Welsh onion and Plutella Xylostella on White Radish Field using Drone," The Korea Journal of Pesticide Science, 2020.
- [7] S.G.Lee, "A Study on biological control of diamondback moth", Agricultural science and technology institute, pp.232-240, 1994.
- [8] I.H.Choi, "diamondback moth occurrence and drug control effect", Agricultural industry-university cooperative collection, pp.40-47, 1992.
- [9] S.D.Yoo, Drone-based smart quarantine performance research, The Journal of the Convergence on Culture Technology, 2020-5-53, 437-444p,2020.
- [10] U.W.Lee, spodoptera exigua early control[Internet], <http://www.newsfm.kr/news/article.html?no=5805>.
- [11] J.H.Na, Warning on crop damage to spodoptera exigua[Internet], <http://www.joongdo.co.kr/web/view.php?key=20200916010005117>.
- [12] D.S.Choi, K.C.Ma, H.J.Kim, J.H.Lee, S.A.Oh and S.G.Kim, "Control Standards of Three Major Insect Pests of Chinese Cabbage(Brassica campestris) Using Drones for Pesticide Application", Korea journal of applied entomology, 2018.
- [13] IRAC, IRAC Mode of action classification scheme[Internet], <https://www.illac-online.org/mode-of-action/>.
- [14] S.H.Lee, Damaged Pine Trees from Wilt Disease[Internet], https://www.forest.go.kr/kfswweb/kfi/kfs/cms/cmsView.do?mn=NKFS_02_02_02_01_03&cmsId=FC_001186.
- [15] B.G.Choi, Drone control effect about to damaged Pine trees from wilt disease[Internet], <https://www.yna.co.kr/view/AKR20170626070500052>.

정 가 영(Gayoung Jeong)

[준회원]



- 2014년 2월 : 순천대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2013년 11월 ~ 2017년 2월 : 현대중공업 정보기술부
- 2017년 3월 ~ 2020년 2월 : 순천대학교 정보통신공학전공 조교
- 2020년 5월 ~ 현재 : ㈜날다 기업부설연구소 연구원

<관심분야>

무인항공기, 스마트팜, 정보통신, 빅데이터, 인공지능

조 용 윤(Yongyun Cho)

[종신회원]



- 1998년 8월 : 송실대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : 송실대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 국립순천대학교 교수

<관심분야>

사물인터넷, 정보통신, 빅데이터, 인공지능, 시스템소프트웨어