

이탈리안 라이그라스(IRG) 건조기 개발 및 건조 성능 비교

김박금, 이아영*, 김기영, 임종국
국립농업과학원 농업공학부

Development of Dryer for Italian Ryegrass(IRG) and Comparison of Drying Performance

Bal-Geum Kim, Ah-Yeong Lee*, Gi-Young Kim, Jong-Guk Lim
National Institute of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering

요약 2000년대 들어 우리나라 1인당 육류 소비량은 해마다 약 3%씩 증가하고 있다. 최근, 코로나 19 확산으로 외부 활동에 제약을 받으면서 가정 내 육류 소비가 더욱 증가하고 있다. 이에 따라 양질의 조사료 생산 또한 축산 경쟁력이 될 만큼 중요시되고 있다. 이탈리안 라이그라스(IRG)는 대표적인 동계 조사료로 가축 기호성이 매우 좋고, 초기 생육이 우수하여 수요량이 급증하고 있다. 하지만 IRG 수확 시기와 우리나라 계절상 장마 기간이 겹치고, 높은 함수율 및 품온을 가진 물성 특성으로 건조 단계에 어려움을 겪고 있다. 현재, 국내에는 IRG 종자용 건조 시스템을 전무하여 종자 건조 속도 및 종자 품질 저하 문제가 발생한다. 이를 극복하기 위해 본 논문에서는 IRG 종자용 건조 장치를 개발하여 건조 특성을 비교하고자 하였다. 초기 함수율 50% 이상의 수확 직후 종자를 사용하였으며, 30 kg씩 60℃의 동일한 온도로 설정된 각 건조기를 이용해 시험을 수행하였다. 종자 저장 유통을 위한 목표 함수율은 14% 미만이며, 컨베이어 건조기 이용 건조 결과 20분 이내에 건조 목표 함수율까지 도달하였으며, 시간당 처리량은 90 kg/hr이었다. 반면에 유동층 건조기를 이용해 2시간 건조 시에도 목표 함수율까지 도달하지 못하였으며 상하 함수율 편차가 컸다. 따라서 완전 밀폐 식인 유동층 건조기보다 컨베이어 건조기가 IRG 종자용에 더 적합할 것으로 판단되었다.

Abstract In the 2000s, meat consumption per person in South Korea has increased by about 3% every year. Recently, meat consumption at home in South Korea has been increasing further as external activities of people have been restricted due to the spread of COVID-19. Accordingly, the production of high-quality roughage is becoming important as a measure of the competitiveness of stockbreeding. Italian ryegrass(IRG) is a representative winter roughage with good livestock preference and excellent initial growth, so the demand for IRG is increasing rapidly. However, the IRG harvest period overlaps with the rainy season in South Korea, and it is difficult to dry IRG due to its high moisture content and thermal properties. Hence, we developed suitable dryers for IRG and compared their respective characteristics. In particular, 30kg of IRG seeds with an initial moisture content of 50% were dried by conveyor and fluidized-bed dryers, respectively, at 60°C. Subsequently, the optimal moisture content for seed storage and distribution was found to be less than 14%. In addition, this study showed that the drying time of the conveyor dryer was 20min. On the other hand, in the fluidized-bed dryer, the target moisture content could not be reached even after drying the seeds for 2h, and the vertical deviation of moisture content, in this case, was large. Therefore, it was judged that the conveyor dryer was more suitable for drying IRG seeds than the fluidized-bed dryer.

Keywords : Italian Ryegrass, IRG Seed, Conveyor Dryer, Fluidized Bed Dryer, Drying Performance

본 논문은 농촌진흥청 어젠다사업(과제번호: PJ01477501)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Ah-Yeong Lee(National Institute of Agricultural Sciences)

email: lay117@korea.kr

Received March 24, 2022

Revised June 15, 2022

Accepted July 7, 2022

Published July 31, 2022

1. 서론

2000년대 들어 우리나라 1인당 육류 소비량은 연간 해마다 약 3 %씩 증가하며, 코로나 19 발생 이후 외부 활동에 제약을 받으면서 가정 내 육류 소비가 더욱 증가하고 있는 추세이다. 코로나 19 확산과 소득 상승 및 인구 증가에 힘입어 육류 소비는 증장기적으로 증가할 전망이다이며, 그 중에서도 쇠고기 소비는 2030년까지 연평균 0.31 %씩 증가될 것으로 전망된다[1]. 이렇듯 육류 소비가 증가함에 따라 최근 양질 조사료 생산 또한 축산 경쟁력의 척도로 여겨질 만큼 중요시되고 있으며, 그동안 호밀 중심이었던 국내 풀 사료 재배는 사료 가치가 높은 이탈리안 라이그라스(IRG) 위주로 바뀌고 있다. 우리나라 양질 조사료 재배 면적은 2009년 24만 1천 ha에서 2019년 28만 3천 ha로 증가하였으며[2], 그중에서도 실제 IRG 재배 면적은 2018년 15만 2천 ha로 동계 사료 작물 중 차지하는 비율이 70%로, 2015년 9만 3천 ha에 비해 약 63% 큰 폭으로 증가하였다[3]. IRG는 벳짚을 소에게 먹이로 급여했을 때보다 일당 증체량이 관행 대비 22 %가 증가하고, 육질 1등급 이상 출현율이 관행 대비 50 %가 증가한다[4]. 이렇듯 IRG는 사료 품질 및 가축 기호성이 매우 좋으며, 초기 생육이 우수하여 사료 가치가 높은 특성을 가진다[5]. 하지만 수요량의 지속적 증가에 반해 종자 수급에 어려움을 겪고 있으며, 현재 연간 국내 종자 소요량은 6,000 톤으로 대부분 수입에 의존하고 있다[6]. 우리나라 IRG 종자 수확 시기는 계절상 장마 기간이 겹쳐 종자 수확 후 종자를 건조하는 데 한계가 있기 때문이다. 또한, 종자 물성 특성상 높은 초기 수분과 품온으로 인해 단시간에 부패하기 때문에 종자 부패를 최소화하고, 저장 기간 중 곰팡이 등 부패균의 증식을 억제하기 위해서는 포장에서 수확 직후 수분 함량을 20 %까지 신속하게 낮추는 것이 중요하다[7].

농산물 건조에 관한 연구는 1970년대 말부터 1980년대에 걸쳐 벼나 보리 등과 같은 곡물을 대상으로 한 기계식 건조, 열풍 건조나 저온 및 상온 통풍 건조에 대해 주로 많이 수행되었다[8]. Fig. 1은 초기 함수율 약 20 % 정도인 벼와 같은 곡물을 건조하는 연속 순환식 곡물 건조기이다.

하지만 이를 이용하여 IRG 종자를 건조할 경우, 초기 수분 함량이 50 % 이상인 종자가 서로 뭉쳐 건조기 이송부가 막히거나 까락으로 인한 건조기 내 끼임 현상이 발생한다. 이처럼 국내 생산된 IRG 종자는 IRG 종자용 건조 시스템이 전무하여 기존 곡물용 건조기를 이용하기



Fig. 1. Continuous Circulating Dryer

때문에 건조 속도 저하 및 품질 저하가 증가하고 있다 [9].

따라서 본 연구에서는 관행의 IRG 종자 건조의 한계를 극복하고자 IRG 종자 건조용 시작기를 개발하였다. 건조 장치별 요인 시험을 통해 각 건조기의 성능을 비교하여 IRG 국산 종자에 적합한 건조기를 최적화하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 재료

Fig. 2(a)는 본 연구의 건조 실험에 사용한 IRG 종자는 국내에서 개발된 ‘그린콜’ 품종으로, 2019년 9월 파종하여 2020년 6월 천안 소재 국립축산과학원 사료 작물포에서 수확한 종자이다. 함수율 변화를 최소화하기 위하여 Fig. 2(b)에서와 같이 수확 직후의 종자를 사용하였으며, 종자의 품온은 탐침식 온·습도 측정기 (ChefAlarm®Cooking thermometer and timer, Electronic Temperature Instruments, Worthing, United Kingdom)를 사용하여 측정하였다. 초기 함수율은 55.64 %, w.b.였으며, 가열식 수분 측정기 (MX-50, A&D Company, Tokyo, Japan)를 사용해 측정하였다. 건조 실험이 진행되는 현장의 온·습도는 온·습도 측정 데이터 기록장치(TR-77Ui, T&D Corporation, Nagano-shi, Japan)를 사용하여 실시간으로 기록되었고, 건조기로 IRG를 건조한 후 최종 산물의 함수율은 실험용 건조 오븐(FSI-9100, E-Science, Seoul, Korea)을 사용하여 측정하였다.



Fig. 2. Experimental sample (a) A grain of IRG seed (b) Seeds sample after the harvest

2.2 IRG 건조기 설계 및 제작

본 연구를 위한 IRG 종자 건조기는 2가지 타입으로 설계 및 제작하였다. 각 건조기의 사양은 Table 1과 같으며, 컨베이어 건조기는 길이, 폭, 높이가 각각 3,000(L)X1,000(W)X4,000(H) mm, 유동층 건조기는 474(L)X344(W)X534(H) mm이며, 소요 전력은 각각 37 kW, 23 kW로 제작하였다.

Fig. 3은 실험에 사용된 건조기의 종류와 각각의 장치 구성을 보여주고 있다. Fig. 3(a)는 컨베이어 건조기이며 크게 종자 투입부, 건조부, 열풍 공급부, 건조 온도 및 속도 제어부, 배출부 등으로 구분된다. IRG 종자 투입부에서 시료를 일정 두께로 조절할 수 있게 하여 최대한 종자가 얇게 투입되도록 하였다. 건조 온도는 0 ℃~80 ℃, 컨베이어 통과 시간은 0~100 Hz로 제어 가능 하도록 설계하였다. 기존 곡물 건조기를 이용해 IRG를 건조할 경우 건조기 이송부 막힘 현상이 발생하는데, 이를 방지하기 위해 건조부 내부에 교반 장치를 추가하여 종자가 멍치거나 한쪽으로 쏠리는 현상을 방지하도록 제작하였다. Fig. 3(b)는 유동층 건조기로 밀폐된 건조 챔버 내부에

고압의 열풍을 공급하고, 종자의 멍침을 방지하기 위해 진동을 가하는 방식이다. 이는 크게 종자 투입부, 전기 히터, 진동 모터, 배출부 등으로 구성되어 있다. 컨베이어 건조기와 동일하게 건조 온도는 0 ℃~80 ℃까지 제어할 수 있도록 하였다.

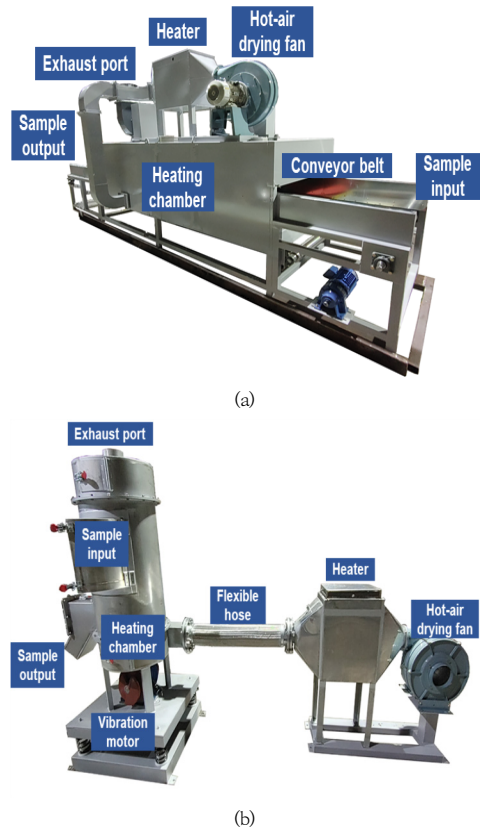


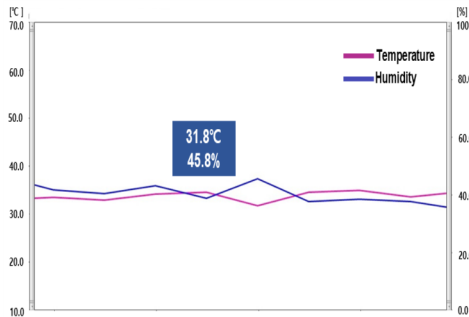
Fig. 3. Each type of dryer for IRG seeds (a) Conveyor dryer (b) Fluidized Bed dryer

Table 1. Description of dryers for IRG seeds

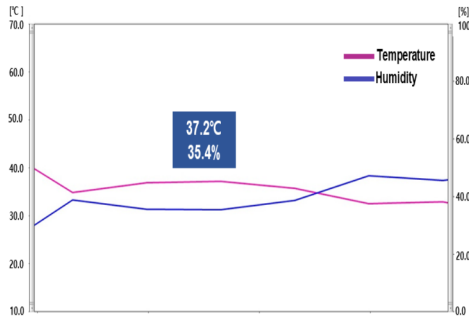
Device	Specifications	
	Conveyor	Fluidized Bed
Power	37 kW, 380 V	23 kW, 380 V
Control System	Temperature: P.I.D Control Conveyor Speed: Inverter Control	Temperature: P.I.D Control
Heater	PIN HEATER 1250 W	PIN HEATER 1120 W
Heating Chamber	3000X1000X700	474X344X534
Hot-air Drying Fan	DTB-3803S, 3.1kW, 220/380V	DTB-413, 2.2kW, 220/380V

2.3 실험 방법

Fig. 4(a)는 건조 실험이 진행되는 바깥의 외기 온습도를 나타내며, Fig. 4(b)는 실제 건조 실험이 진행되었던 건조 장치가 설치된 곳의 내부 온습도를 나타낸다. 이때의 평균 외기 온도와 상대습도는 각각 31.8 °C, 45.8 %이었고, 평균 내기 온도와 상대습도는 37.2 °C, 평균 상대습도는 35.4 %였다. 실험의 조건은 Table 2와 같으며, 본 연구는 Fig. 5의 실험 순서로 진행되었다. 먼저 각 건조기의 건조 온도를 60 °C로 설정하였다. 건조기에 투입 하기 전 시험 시료의 초기 함수율과 품온을 측정 한 후, 각 건조기에 30 kg씩 동일하게 투입하였다. 컨베이어 건조기는 시료가 투입되는 퇴적고를 3 cm로 하였으며, 벨트 이송속도는 600rpm으로 하였다. 건조가 완료된 후 시료 품온을 재측정하였고, 컨베이어 건조기는 10 분마다, 유동식 건조기는 20분마다 시료를 꺼내어 가열식 수분 측정기를 이용하여 함수율을 측정하였다. 같은 시료에 대해 건조 오븐을 이용하여 반복하여 측정 한 후 아래의 Eq. (1)을 이용하여 값을 환산하였다[10].



(a)



(b)

Fig. 4. Changes of temperature and humidity in outside &inside during the drying experiment (a) Outside temperature and humidity (b) Inside temperature and humidity

Table 2. Conditions for the drying experiment

Factors	Conditions
Drying Temp[°C]	60
Initial Seed M.C.[%w.b.]	55.64
Initial Seed Weight[kg]	30
Outside Temperature[°C]	31.8
Outside Humidity[%]	45.8
Inside Temperature[°C]	37.2
Inside Humidity[%]	35.4

$$M.C. = (W_i / W_s) X 100 \tag{1}$$

Where, M.C.: moisture content wet basis (%(w.b.))

W_i : loss in weight (g)

W_s : weight of wet sample (g)

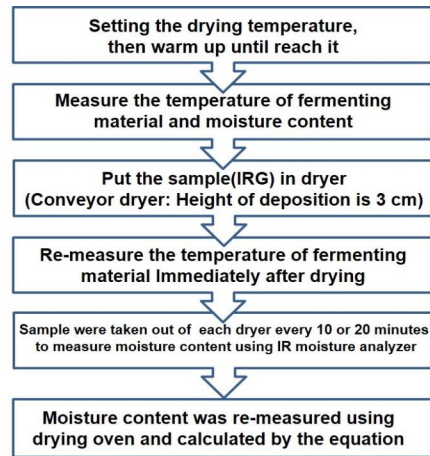


Fig. 5. Flowchart of experimental procedure

3. 실험 결과

3.1 건조기별 IRG 건조 성능

Fig. 6은 IRG 종자 건조 시간에 따른 함수율 변화를 나타낸 그래프이다. 보는 바와 같이 종자가 초기 함수율 55.64 %, w.b.일 때 각 건조기에 투입하고, 컨베이어 건조기는 (a)그래프에서와 같이 10분마다 함수율을 측정하였다. 함수율 변화 측정 결과 시료 투입 후 10분 사이에 27.24 %, w.b.로 28.4 %, w.b.가 감소되어 함수율 변화가 가장 컸으며, 20분 이후로는 함수율의 감소가 완만하였다.

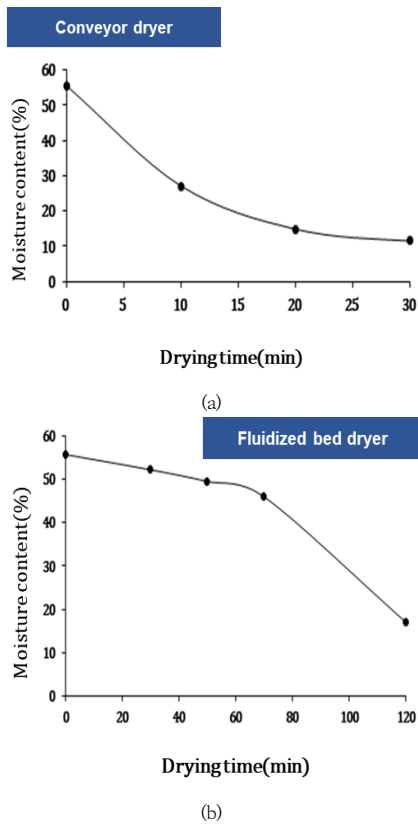


Fig. 6. Change of M.C. according to drying time (a) Result of the experiment using a conveyor dryer (b) Result of the experiment using a fluidized bed dryer

건조기는 곡물의 저장력 증대를 위하여 곡물의 수분을 14 % 이하로 건조 시키는데[11], IRG 종자 역시 저장 및 유통을 위해 함수율 14 % 이하로 건조해야 한다. 컨베이어 건조 결과, 건조 후 20분 이내에 함수율이 14 %, w.b.로 목표 함수율에 도달하는 것을 확인하였다. 따라서 Table 3에서와 같이 컨베이어 건조기를 이용해 IRG 종자 목표 함수율까지 건조할 경우 시간당 약 90 kg 정도 처리 가능한 것으로 나타났다.

반면에 Fig. 6(b) 유동층 건조기 그래프를 보면 건조 1시간 후 함수율이 45.95 %, w.b.로 약 17 %, w.b.가 감소 되어 건조가 거의 되지 않은 산물 상태였다. 건조 2시간째 함수율은 17.18 % w.b.로 2시간을 건조했음에도 목표 함수율인 14 %까지 건조되지 않았다. 또한 Fig. 7과 같이 각 건조기를 이용해 IRG 종자를 건조한 결과, 컨베이어 건조기 이용 건조 시 IRG 종자가 균일하게 건조되는 반면 완전 밀폐식인 유동층 건조기 이용 시 내부

에서 시료가 교반되지 못 해 건조된 산물의 함수율이 부분별로 불균일하게 나타났다.

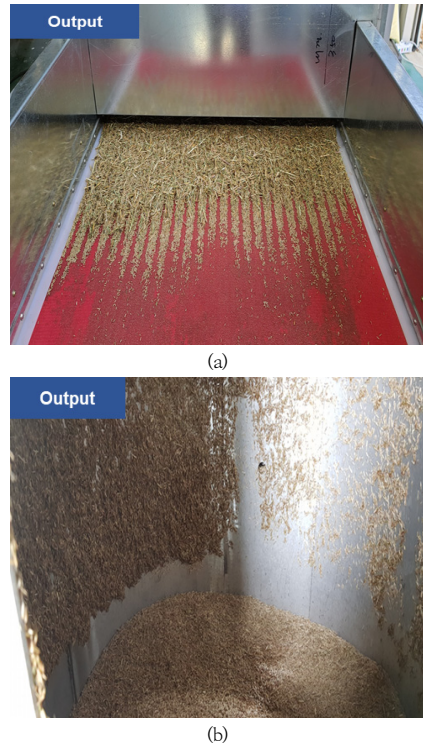


Fig. 7. IRG seed's condition after drying using each type of dryer (a) Conveyor dryer (b) Fluidized bed dryer

3.2 건감률

건감률(% w.b./h)

$$Dr = (mi - mf) / Tif \quad (2)$$

mi : Initial moisture content(% , w.b.)

mf : Final moisture content(% , w.b.)

Tif : mi 에서 mf 까지 소요된 건조 시간(h)

단위 시간당 함수율의 감소량을 백분율로 표시한 값을 산출하기 위해 Eq. (2)로 계산한다. 컨베이어 건조기를 사용해 IRG 종자를 건조할 경우, 건감률은 87.92 %, w.b.이었고, 유동층 건조기를 사용할 경우 같은 건조 시간 대비 7 %, w.b.의 건감률을 나타내었다. 이로써 컨베이어 건조기 IRG 함수율의 건감률은 유동층 건조기의 13배 이상 건감률 차이를 보임을 알 수 있었다.

Table 3. Results of the drying experiment using drying devices

Drying Device	Conveyor	Fluidized Bed
Input[kg]	30	30
Final Moisture Content[% w.b.]	11.68	17.18
Drying Time[min]	20	120
Throughput[kg/hr]	90	15
Power Required[kW]	35	23

4. 결론

본 연구에서는 IRG 종자 수확 후 건조 단계의 문제점을 극복하고자 하고자 IRG 건조용 시작기를 개발하여 각 장치별 성능을 비교해보고자 하였다. 이에 관한 주요 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 같은 조건에서 각 건조기를 이용한 IRG 종자 건조 성능을 비교한 결과, 컨베이어 건조기 이용 시 IRG 종자를 목표 함수율인 14%, w.b.까지 20분 이내에 건조 가능하였으나, 유동층 건조기는 목표 함수율까지 건조하는 데에 한계가 있음을 확인하였다.
- (2) 유동층 건조기는 밀폐식 구조로 함수율 상하 불균일 문제와 처리 용량의 한계로 IRG 종자 건조 현장 적용에 많은 제약이 따를 것이나, 컨베이어 건조기는 시간당 처리 용량을 증가시킬 경우 현장 적용이 가능할 것으로 기대된다.
- (3) 추후 IRG 건조 장치의 규모화 및 건조 메커니즘 구명을 통한 IRG 건조 장치의 현장 적용 시 관행의 노지 건조 방식보다 건조에 필요한 시간, 노동력, 공간적 요소 등 소요 에너지를 크게 줄일 수 있을 것이라 기대된다.

References

- [1] M. K. Jeong, H. J. Kim, H. U. Lee, (Consumer Behavior for Meat Consumption and Tasks to Respond to Its Changes, Research Report, Korea Rural Economic Institute, Korea, p.28-p.29, p.146-p.147
- [2] Hanwoomadang, The supply and demand of feed-utilization and Feed self-sufficiency rate of Improvement Plans, Presidential Committee on Agriculture, Fisheries and Rural Policy(PCAFRP), 2020, <https://www.ihanwoo.kr/news/articleView.html?idxno=1078>

2021 January

- [3] C. H. Kang, I. S. Lee, S. J. Kwuan, "Identification of Ideal Seed Harvest Time for Italian Ryegrass (IRG) 'Kowinearly' Variety in Reclaimed Land", Korean Society Of Crop Science, Vol.65, No.2, pp.142-150, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7740/kjcs.2020.65.2.142>
- [4] National Institute of Animal Science, 100 Questions and 100 Answers of Research Fees to Solve Difficulties in Livestock Field, p.188, jinhanbook, 2019, p.45
- [5] K. Y. Kim, H. C. Ji, S. H. Lee, K. W. Lee, W. H. Kim, M. W. Jeong, S. Seong, G. J. Choi, "Yield and Nutritive Value of Spring-seeded Early and Late Maturity Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.)", Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science, Vol. 30, No. 2. pp.97-102, 2010
DOI: <https://doi.org/10.5333/KGFS.2010.30.2.097>
- [6] Rural Development Administration[Internet]: Wanju: National Institute of Animal Science, 2011.
- [7] S. Seong, J. G. Kim, U. S. Jeong, J. G. Lee, W. H. Kim, D. E. Sin, "Effect of Drying Methods on the Field Drying Rate and Quality of Alfalfa and Spring Oats Hay", Journal of the Korean Society of Grassland Science, vol.21, no.2, pp.67-74, 2001
- [8] Y. C. Yoon, W. M. Seo, J. G. Kang, H. T. Jo, "Red Pepper Drying with Solar Energy in Greenhouse", Proceedings of the Korean Society of Agricultural Engineers Conference, The Korean Society of Agricultural Engineers, Korea, pp.256-260, 2001
- [9] H. Kim, H. J. Lee, J. W. Han, "Development of Desorption Equilibrium Moisture Content Model of Italian Ryegrass Seeds", Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol.22, No.9, pp.754-760, 2021
- [10] H. Kim, H. J. Lee, J. W. Han, "A Study on the Measurement of Physical Properties for Miscellaneous Cereal Crops Sorting", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 10 pp. 354-360, 2020
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.10.354>
- [11] H. S. Jo, "Development of Ceramic Pepper Dryer", The Korea Academia-Industrial cooperation Society, The Korea Academia-Industrial cooperation Society Fall Conference, Korea, pp.178-180, 2008

김 밝 금(Bal-Geum Kim)

[정회원]



- 2016년 8월 : 전남대학교 지역·바이오시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

<관심분야>

농업, 기계, 품질계측

임 중 국(Jong-Guk Lim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학박사)
- 2004년 7월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구관

<관심분야>

근적외선 분광, 농업기계, 품질계측

이 아 영(Ah-Yeong Lee)

[정회원]



- 2019년 8월 : 서울대학교 바이오시스템공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구사

<관심분야>

분광분석, 영상처리, 품질계측

김 기 영(Gi-Young Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 대학원 농업기계전공 (농공학석사)
- 1995년 12월 : 미국 Virginia Tech, Dept. of Biological Systems Engineering (공학박사)
- 1997년 2월 ~ 2001년 3월 : 서울대학교 부설 농업개발 연구소 특별연구원
- 2001년 4월 ~ 현재 : 국립농업과학원 농업공학부 농업연구관

<관심분야>

농식품 안전성 신속진단, 바이오센서