

쌀농가의 AI 전환 수준 진단을 위한 LLM 및 AHP 기반 평가모형 개발*

김희라

경희대학교 경영학과
(mytaht05@khu.ac.kr)

이세재

경희대학교 경영학과
(geni119@khu.ac.kr)

권오병

경희대학교 경영대학
(obkwon@khu.ac.kr)

아시아 지역, 특히 한국에서 쌀은 식량안보와 농가소득에 중요한 역할을 차지한다. 그러나 최근 기후 변화는 벼의 생장 기간 단축과 생식기 손상 등을 초래하며 쌀 생산량에 부정적인 영향을 미치고 있다. 이에 대응하기 위해 기후 데이터 기반의 정밀농업이나 드론, 이미지 정보, 통계 시각화 등 다양한 기술이 벼농사 생산성 증대에 도움이 될 것으로 기대되고 있다. 하지만 농가에 정밀농업 및 인공지능 기술 도입 방향성을 제시하기 위한 기준이 부족하여, 벼 재배 농가의 인공지능 활용 수준을 평가하고 향후 전환 방향을 제시할 수 있는 모형 개발이 필요하다. 따라서 본 연구의 목적은 벼농사를 중심으로 농가의 인공지능 전환 수준을 진단할 수 있는 평가모형을 제안하는 것이다. 이를 위해 관련 문헌을 바탕으로 전환 단계별 요소를 도출하고, 대형언어모델(Large Language Model, LLM)을 활용해 계층분석법(Analytic Hierarchy Process, AHP) 기반 평가모형을 구성한 뒤 전문가 자문을 통해 그 적절성을 검토하였다. 제안된 평가모형으로 벼농사 인공지능 도입 정책 설계에 실질적 기초자료를 제공할 것으로 기대한다.

주제어 : 벼 농작, AI 전환도, 대형언어모델, AHP, 정밀농업

논문접수일 : 2025년 6월 12일 논문수정일 : 2025년 6월 17일 게재확정일 : 2025년 6월 18일
원고유형 : Regular Track 교신저자 : 권오병

1. 서론

한국 등 아시아 지역에서 쌀은 주식이자 식량안보 관점에서 중요한 대상이다. 한국의 경우 쌀 소득이 농업소득에서 차지하는 비중이 아직도 상당하다. 그러나 최근 소비구조 및 기후의 변화는 벼 생산량에 영향을 미치고 있다(Yuan et al., 2024). 예를 들어 기온이 1.5℃ 상승할 경우 쌀의 출수기와 개화기가 앞당겨지고 생장 기간이 단축되며, 특히 출수기 전까지 생식기의 기간이 단축되어 쌀 생산량에 부정적인 영향을 미친다(Saud et al., 2022).

이에 벼농사를 위해서도 정밀농업 등 인공지능 활용이 고려되고 있다. 예를 들어 기후적 모니터

링 등 데이터 기반으로 벼 재배의 식물 위생 및 종합적 관리 맥락에서 민첩하고 시기적절한 분석 및 의사결정 행동이 가능하다(정수연, 문정연, 2020). 지구 온난화가 벼의 생육에 미치는 영향을 분석하거나, 국가 혹은 지자체 수준의 벼 재배 및 수확에 관련한 통계분석 및 시각화를 하는 것(정선옥 외, 1999), 드론이나 항공 이미지 정보에 의한 벼 생육 판단(이지현 외, 2024) 등 데이터 수집, 가공, 분석 및 인공지능 응용 연구가 활발하게 진행 중이다. 이러한 연구 결과 농업 빅데이터를 기반으로 경운(흙갈이) - 정지(땅고르기) - 이앙(모심기) - 시비(비료살포) - 방제(농약살포) - 수확으로 진행되는 벼 생육 전 주기에 걸쳐, 생산성을 증대하는

* 이 논문 또는 저서는 2020년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2020S1A3A2A02093277)

벼농사 정밀농업 서비스가 제공 중이다.

그러나 일반 쌀 농가에서는 대체로 인공지능 적용에 대한 이해가 크지 않고, 동기부여가 되어 있더라도 어떤 방법으로 인공지능 기반의 과학적 영농을 구현할지 대한 전략 수립에 어려움을 가지고 있다. 우선 각 농가가 데이터 및 인공지능 기반의 영농 차원에서 어느 정도의 수준인지를 평가할 수 있고, 이를 근거로 무엇을 준비해 나가야 하는지의 방향성을 이해할 수 있는 일종의 인공지능 전환 평가모형이 필요하다. 특히 재배의 경우 그 작물의 종류 및 재배 방법(예: 수경)에 따라 재배 프로세스가 차이가 있으므로 농가를 위한 인공지능 전환도 평가모형은 인공지능 전환의 단계 및 작물별 재배 프로세스가 혼합된 입체적 모형이 필요하다. 그러나 아직 벼농사 정밀농업 서비스의 존재에도 불구하고 이러한 벼농사 인공지능 전환도를 평가하는 모형이 제안되어 있지 않다.

이에 본 연구의 목적은 벼재배를 중심으로 농가의 인공지능 전환 정도를 평가할 수 있는 모형을 개발하고, 이의 적절성을 평가하는 것이다. 먼저 문헌을 근거로 평가모형을 개발하되, LLM을 활용하여 전환 정보를 평가할 수 있는 AHP 모델을 개발하고, 전문가 자문을 통해 적절성을 검증했다. 또한 우리나라의 벼재배 대농들을 대상으로 개발된 AI 전환도 평가모형에 따라 자신들의 수준을 평가하도록 하고, 이 과정에서 평가 모형 및 그 결과에 대한 타당성을 점검하였다.

2. 배경 연구

2.1 벼재배 관련 정밀농업

최적화된 농법은 종합적으로 설명할 수 없으며 농부들은 파종에서 수확까지 다양한 어려움과

의사결정에 직면하게 된다. 특히 벼농사는 가뭄, 물 부족, 불규칙한 강우량, 고온 등으로 나타나는 기후 변동성과 변화에 취약하나, 오랫동안 벼재배는 농부의 실무적인 지식과 경험을 바탕으로 재배가 이루어졌다. 또한 대체로 의사결정의 불확실성을 관리하기 위해 날씨와 계절 예보에 의존한다.

벼재배 정밀농업을 위해서는 분석 가능한 데이터의 가용성이 필수적이다. 예를 들어 토양 상태, 기상 조건, 해충 발생과 같은 외부 요인과 면적에 대한 공간 데이터는 공개적이고 쉬운 편이지만 작물 재배 일정과 작물에 대한 정보는 일 년에 한 번만 얻을 수 있어 상당한 시간이 소요된다. 벼 수확량 추정에는 습도, 온도, 토양 수분량 등 스마트 센서를 통해 수집된 수확한 벼의 품질 데이터가 필요하며, GPS 스마트 센서 등으로는 실시간 관수를 관찰한 결과를 사용할 수 있으며, 토양 Ph, 온도 모니터링을 통해 성장 단계에 따른 물의 양을 정확하게 측정함으로써 벼 성장 모니터링이 가능하다. 그리고 스마트 관개 시스템에서는 수위 센서로 적은 양의 물로 뛰어난 성능을 내고, 자동 관개 사용 후 쌀 생산량 증가, 물 소비량 절감을 꾀할 수 있다. 한편 농업 생산 시스템 부문에서는 전통적으로 많은 양의 데이터가 수집되지만, 증거 기반 의사결정 프로세스의 기초로 잘 관리되거나 분석되지 못한다. 그리고 최적화된 농법은 지역적 차이와 문화적, 사회경제적 요인에 따라 차이가 나므로, 이의 영향을 고려한 데이터준비가 필요하다.

벼재배에 대한 데이터가 준비되면, 기계학습 등 인공지능 기술을 통해 패턴 인식, 조기 경보 시스템 등을 준비하여 특정 조건에서의 쌀 생산을 관리하기 위한 판별, 예측, 최적화 정보를 획득할 수 있으며, 이는 농가의 벼재배 의사결정을 지원한다(Rodriguez, 2023). 또한 작물 모델과 의사결정도구는 생산 및 자원 사용 효율성을 개선

하기 위해 농업 분야에서 점진적으로 사용되고 있으며 인공지능이 첨단 기술을 통합하여 농업 생산량을 예측함으로써 농업에 혁명을 일으킬 수 있는 엄청난 여지가 있다(Dutta, 2020).

2.2 AI 전환

AI 전환은 디지털 전환(digital transformation)에 기인한다. 디지털 전환이란 단순한 전산화나 자동화와는 달리 디지털 기술을 통합함으로써 달성하는 파괴적이고 총체적인 조직의 변화(“Digital transformation refers to disruptive and holistic changes in the organisation by integrating digital technologies.”) (Alenezi, 2021) 또는 디지털 도구를 채택하여 조직의 전략, 활동, 운영, 의사결정, 가치 명제를 최적화하고 변혁하는 과정(“the process of optimizing, and transforming the institution’s strategies, activities, operations, decisions, and value proposition through the adoption of digital tools.”) (Castillo et al., 2021)으로 정의된다. 따라서 디지털 전환은 정보기술 및 도구의 채택과 활용에 관한 것이며, 상당한 정도의 조직 변화, 혁신적, 총체적, 회귀하는 목표의 달성에의 기여, 조직 문화에까지의 영향을 모두 포괄한다(Lozić et al., 2024).

디지털 전환은 기업뿐 아니라 교육 기관(Gkrimpizi et al., 2024) 등 다른 기관에도 적용하고 심지어 농가에도 적용 가능한 개념이다(Mei et al., 2024; Knitsch et al., 2024). 농업, 재배에는 계획, 재배, 수확, 저장 및 유통에 이르기까지 매우 다양한 활동이 포함되기 때문에 농가의 디지털 전환에는 스마트 센서에서부터 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, IoT, ERP, 각종 자동화 기술 외에 전자상거래에까지 폭넓은 정보기술이 관련된다. 농가에서 디지털 전환을 성공적으로 이루면 효율성 제고, 생산성,

투명성, 의사결정의 질 제고 등 경제적 효과 외에, 환경 보호, 식량안보 및 지구 공동체의 지속가능성에도 긍정적인 것으로 기대한다(Vahdanjoo et al., 2025).

AI 전환(AI, AI transformation)은 디지털 전환의 특수형태 또는 진전된 형태로서 기업 의사결정에의 AI 채택으로 인한 조직의 관리 과정(Sriharan et al., 2024), 전략(Sun et al., 2024), 비즈니스 모델(Mao et al., 2021) 등의 혁신적이고 총체적인 변화를 의미한다. AI 전환은 자원기반관점에서 볼 때 AI 자원, AI 역량은 그것을 성공적으로 도입한 기관의 차별화된 경쟁력을 가져다주고, 서비스 기반 관점에서 볼 때는 정보화된 서비스가 전통적 서비스에 비해 상대적인 경쟁력을 가지게 되어 결국 그 조직의 성공에 기여한다고 볼 수 있다.

AI 전환은 AI 도입 전략 수립, 데이터 거버넌스 정리, AI를 활용할 조직의 준비 및 훈련, AI 구현, 조직 구성원의 사후 관리, 조직 성과 측정의 로드맵으로 이루어진다(Treacy, 2022).

현재 다양한 AI 준비도 모형(AI Readiness Framework)이 제안된 바 있는데(Holmström, 2022), 그 중 Grasser의 모형에서는 데이터 수집, 데이터 저장, 데이터 이해, AI 모델 개발을 위한 데이터 특성 공학 등 준비와 기본 AI 모델 학습 및 테스트 개발과 AI 모델을 제품이나 서비스에 배포하여 사용하는 순서를 제안하고 있다(Grasser, 2019). 또한 Holmstrom 모형은 기술(AI가 조직 내에서 부가가치를 내는지 여부), 활동(기업의 핵심 활동이 AI에 의해 지원되고 있는지 여부), 조직 경계(AI 적용 범위가 조직 내에서 확장하고 있는지 여부), 목표(기업 목표 달성에 AI가 기여하고 있는지의 여부)의 네 차원에서 AI 준비도를 평가하는 Questionnaire for the AI readiness framework and scores을 제시하고 있다.

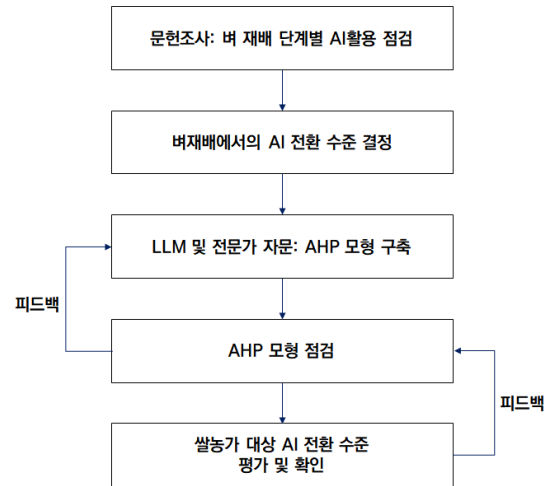
이러한 AI 전환 과정은 디지털 전환과 유사

하게 정치, 기술, 경제, 생태 환경의 파괴적 변화에 의해 동기부여 및 촉발된다. 그러므로 농업 분야에서의 AI 전환은 지구의 온난화나 식량안보 개념에서 글로벌 공급망의 혁신적 변화 등에 의해 촉발될 수 있을 것이다(Mao et al., 2021). 그러나 아직 농업 분야, 특히 벼농사에서의 AI 전환 정도를 평가하는 모델이 제시되지 않았다.

3. 벼 농작 AI 전환도 평가 방법론

본 연구에서는 쌀 농가의 AI 전환도를 평가하기 위해 <그림 1>과 같은 프로세스를 수행한다. 먼저 문헌조사에 의하여 벼재배의 단계를 인식하고, 단계별로 AI를 활용하였던 기존의 연구를 정리한다. 둘째, 벼농사에서의 AI 전환 수준을 인식하여 결정한다. 다음으로 벼농사의 전문가를 통해 AI 전환도를 평가할 수 있는 AHP 모형을 수립한다. 이때 벼농사의 전문가들이 다차원의사 결정(Multi-Criteria Decision Making, MCDM)의 전문가는 아님을 고려하여 먼저 연구자들에 의하여 LLM에 앞의 단계에서 수집한 문헌을 기반으로 파인튜닝 모형을 구축한 후에, 그 모형에 의하여 AHP 모형의 초안을 구성하고 이를 벼농사 전문가들에게

제시하여 수정 검토를 받는다. 그런 후에 입수한 쌍대비교 결과를 바탕으로 AHP 모형을 점검한 후에, 이 AHP 모형으로 전국의 일반 쌀 농가를 대상으로 AI 전환 수준을 평가한 후에 AHP 평가모형을 확인한다.



<그림 1> 평가모형 구축 프로세스

3.1 문헌 연구: 벼 농작 프로세스 및 단계별 AI 적용 현황

벼 농작 프로세스는 <표 1>과 같다. 벼 재배 과정의 핵심 국면을 계획(Plan), 경작(Cultivation), 수확

<표 1> 벼재배 프로세스

국면	단계	주요 활동	세부 활동
계획	1. 생산계획	작물선택, 품종결정, 재배일정	토양 데이터 분석, 농가별재배일정, 재배 목표 수립, 수익분석 등
	2. 준비작업	토양분석, 경작지준비, 농자재	토양샘플 분석, 경작지 정리, 비료선정, 관개시스템 점검 등
경작	3. 파종 및 육묘	씨앗 파종, 묘목 기르기	종자소독, 파종시기 결정, 육묘장 조성, 초기 병해충 작업, 묘목 작업 등
	4. 모내기	묘목 이식, 심기	논 수위 조절, 모내기, 묘목 밀도 조정, 잡초관리 등
	5. 생육관리	물관리, 병해충 방제, 비료	물공급, 배수관리, 생육모니터링, 예측방제, 시비계획 등
수확 및 유통	6. 수확준비	수확시기 확인, 장비점검	등숙률확인, 장비점검, 최적 수확시기, 탈곡일정 등
	7. 수확(추수)	벼수확, 탈곡	추수, 탈곡, 이물질 제거, 생산량 기록, 병해 발생여부 확인 등
	8. 1차가공	건조, 저장	수분제거(건조), 저장고 관리, 병해충 예방, 재고관리 등
	9. 유통준비	품질검사, 포장	쌀 품질 검사, 포장, 브랜드화, 소분, 유통경로별 준비 등
	10. 유통, 소비	도매, 소매, 소비자판매	물류 시스템 최적화, 재고관리, 마케팅, 개선계획 등

(Harvest) 및 유통(Distribution)으로 구분하였다. 단, 수확과 유통은 AI 활용도가 상대적으로 낮으므로, 한 단계로 통합하였다. 또한 각 단계는 생산계획부터 유통, 소비까지 10단계로 이루어진다. 그리고 각 단계에는 주요 활동 및 그의 세부 활동이 존재한다. 활동에 대한 열거는 그 활동에 대해 인공지능의 적용 가능성을 점검하는 데 필요하다.

<표 2>와 같이 벼재배에 있어 AI 활용에 관한 연구는 폭넓게 이루어지고 있다. 대체로 센서 데

이터 혹은 관측에 의한 이미지 데이터를 기반으로 기계학습, 딥러닝 등 다양한 방법으로 판독, 예측을 수행하고, 이를 기반으로 하여 로봇을 비롯한 다양한 지능형 농기구로 대응하는 형태를 지니고 있으며, 현장 관리 외에도 계획 수립 등에도 다양하게 AI 기술이 적용되고 있다.

이러한 문헌(쌀재배 10단계 활동 관련 AI 적용)들에 대해서 분석하고 그 문헌에서 등장하는 AI 관련 파이프라인별 키워드 분포는 <표 3>과 같다.

<표 2> 벼재배 활동 및 인공지능 적용 사례 (예)

단계	활동	AI 활용 예시	Reference
1. 생산계획	토양 데이터 분석	기계학습 기반 토양 비옥도 예측 및 추천 비료 처방	Vandana (2024)
	농가별 재배일정	기후데이터 기반 최적 재배일정 추천 알고리즘	Alfred et al. (2021)
	재배 목표 수립	생산량 예측 모델을 기반으로 한 목표 설정	Setiadi et al. (2024)
	수익분석	AI 기반 작물-가격 예측 모델을 활용한 수익 시뮬레이션	Babaee et al. (2021)
2. 준비작업	비료선정	CNN과 Decision Tree를 활용한 최적 비료 추천 시스템	Kumar et al. (2024)
	관개시스템 점검	IoT 센서 + 딥러닝을 통한 누수 및 고장 예측	Wei et al. (2024)
3. 파종 및 육묘	종자소독	딥러닝 영상분석으로 종자 이상 탐지 및 자동 분류	Thakur et al. (2022)
	파종시기 결정	기상예측+AI 모델로 최적 파종시기 제안	Jha et al. (2019)
	초기 병해충 작업	병해충 이미지 분류 AI로 초기 탐지 및 방제 시기 판단	Ramadan et al. (2025)
4. 모내기	모내기	로봇 모내기 위한 자율 시스템	Nagasaka et al. (2004)
	잡초관리	UAV와 AI 활용 잡초 탐지 및 제거	Ahmad et al. (2023)
5. 생육관리	생육모니터링	드론 기반 생육 상태 이미지 수집 및 CNN 분석	Kamilaris & Prenafeta-Boldú (2018)
	예측방제	시계열 예측 모델로 해충 발생 확률 예측	Aziz et al. (2025)
6. 수확준비	등숙률확인	이미지 인식 기술로 등숙률 자동 분석	Wang et al. (2021)
	최적 수확시기	AI로 수확 적기 자동 예측 (기후+생육 데이터 기반)	Boulent et al. (2019)
7. 수확 (추수)	탈곡일정	생산량 예측과 기상 데이터 기반 자동 일정 추천	Sharma & Mathiyalagan (2024)
8. 1차가공	수분제거(건조)	건조 시간 및 온도 최적화를 위한 AI 제어 시스템	da Silva Ferreira et al. (2024)
	병해충 발생여부 확인	저장 중 곰팡이 발생 예측 모델	Prasomphan (2023)
9. 유통준비	쌀 품질 검사	컴퓨터 비전 기반의 자동 품질 등급 판별	Desai & Gamit (2015)
10. 유통, 소비	재고관리	AI 기반 수요 예측 및 자동 재고보충 시스템	Raphael et al. (2024)
	물류 시스템 최적화	최적 경로 탐색 알고리즘 + 실시간 교통 데이터 활용	Liu et al. (2024)
	마케팅	AI 기반 가격 예측 및 구매 예측 딥러닝 활용 E-Commerce 마케팅 최적화	Mohanty et al. (2023) Yang et al. (2022)

〈표 3〉 AI 파이프라인별 벼재배 활동 적용 연구 현황

AI Pipeline 단계	관련 키워드	빈도	활용 예시 요약
1. 데이터 수집	UAV (드론), 센서, 교통 데이터, 기후 데이터	4	생육 이미지, 기상 데이터, 실시간 물류 정보 등 수집
2. 전처리 및 정제	전처리, 정규화, 보정	3	센서/영상/기후 데이터 정제, 스케일 보정
3. 특징 추출 및 선택	CNN, 영상 인식, 이미지 분류, 컴퓨터 비전	9	생육 분석, 종자 이상 탐지, 품질 등급 판단
4. 모델 설계 및 학습	딥러닝, 기계학습 모델 학습	8	비료 추천, 병해충 탐지, 수요 예측 등 다양한 예측 모델 구축
5. 예측 및 의사결정 지원	AI, 예측 모델, 시계열 예측, 추천 시스템, 최적 경로 탐색	14	파종/수확/간조 시점 추천, 생산량 예측, 물류 최적화
6. 시각화 및 결과 활용	개인화 마케팅, 자동 품질 판별, 수요예측 시스템	3	마케팅, 자동 재고보충, 출하 판단 등 실사용 시스템에 통합

3.2 AI 활용 프로세스 관점의 AI 전환 수준

앞에서 문헌으로 분석한 벼재배 관련 AI 활동 내용을 근거로 AI 전환 평가모형 초안을 작성하였다. 일반적으로 AI 활용 프로세스는 활용 계획을 수립하고, 데이터를 수집, 전처리한 후에 특성을 추출하고 AI 모델을 학습하여 테스트 및 최적화를 하여 현장에 투입하고, 그로 인해 개인 혹은 조직의 목표를 달성하는 순서로 이루어진다. 이에 따라 본 연구에서 제안하는 AI 활용 프로세스 관점의 AI 성숙도는 <표 4>와 같다.

먼저 합리적 벼재배를 위해서는 분석 가능한 데이터의 획득이 필수적이다. 예를 들어 벼 재배 데이터는 영상을 통해서도 획득될 수 있다. 영상으로부터 벼 생육 및 작황 정보를 분석하기 위한 인공지능 학습 데이터 세트를 확보할 수 있다(주현식, 2022). 영상 데이터는 위성 영상을 포함하는데 그중 SAR 영상을 통해 벼 재배 지역의 토양수분도 측정 가능하다(이지형, 2023). Carnegie-Ames-Stanford Approach (CASA) model은 이러한 데이터를 시각화하여 직관적이고 종합적으로 벼 작황 상태를 이해할 수 있게 한다(Na et al., 2013). 또한 미국 NASA(Moderate

〈표 4〉 AI 활용 프로세스 관점의 AI 전환 수준

단계	설명
1	데이터, AI 기반 농업에 대한 동기 결여
2	벼재배에서의 데이터 기반 (정밀)농업의 필요성 인식
3	벼재배 관련 데이터 획득 및 저장
4	데이터 정제 및 보고서 산출 및 이해 (가시화, 기초통계 리포트 등)
5	AI 모델에 사용 가능하도록 데이터가 가공, 준비
6	개발하지 않고 외부 AI 모델을 활용, 수정하여(fine-tuning 등) 의사결정에 활용
7	본인의 문제에 부합하도록 외부 역량의 도움을 받아 AI 모델을 확보하여 의사결정에 활용
8	본인의 문제에 부합하도록 AI 모델을 자체 개발하여 의사결정에 활용 및 그 역량을 보유
9	AI 기반 재배 방식을 농가 경영에 통합
10	농가 경영 및 경쟁력의 핵심으로 AI 기술 활용

Resolution Imaging Spectroradiometer)에서 관리하는 MODIS 데이터는 이러한 분석을 위하여 구축된 것이다(Kim et al., 2016). 그리고 이양 시기의 물수지 분석에는 라이시미터 시설 인근에 직접 설치한 기상대에서 시간별 기온과 강수량 등의 데이터가 필요하다(옥정훈, 2021). 또한 위성영상 분석을 위해 딥러닝 모델을 활용하면 벼 생산량을 예측할 수 있다. 예를 들어 FC-DenseNet은 벼 재배지 탐지에 유용하다(송석호, 2023). 다음으로 벼 모종 이미지로 모종의 우량/불량을 판정하는데 기계학습 모델을 개발하여 사용한 예도 있다(이규진, 2023).

AI 전환 수준은 AI를 통해 조직을 얼마나 심층적으로 변화시키는가, 즉 충실도(enrichment)의 관점에서 분석하게 된다. 일반적으로 AI 전환의 충실도 관점의 수준에 대한 평가는 일반적으로 최고경영자의 위임하에 업무 재설계 조직 또는 재공학 조직에서 시행한다. 업무 재설계 조직은 조직의 현재 직무를 좀 더 효율적으로 되도록 하는 것이며, 그다음에 생산성 제고를 위해 일부 직무를 재설계하거나 제거하는 단계까지이다. 이후 재공학 조직은 작업자와 AI와의 협업으로의 업무 프로세스 재설계 및 AI가 주도하여 직무를 수행하고 작업자는 이를 지휘 통제하는 단계로까지 이어진다(Bersin, 2024). 이 과정에서 평가되는 충실도 정도는 파일럿 프로젝트 수행, in-house AI팀 형성, AI 전략 구축 및 실행, 조직 내 AI 훈련 확산, AI 전환 완성을 위한 소통의 단계로 보기도 한다(Glauner, 2020).

3.3 AI 전환도 평가 위한 AHP 모형 수립

AI 전환도 평가표에 각 단계별 활동별 중요도 가중치를 설정하기 위해 AHP 모형을 수립한다. AHP 모형은 다음과 같은 순서로 수립한다.

(1) 계층 구조 설정

- (2) 국명, 단계, 주요 활동별 상대적 가중치
- (3) 일관성 검증
- (4) AHP 모형에 따른 AI 전환도 평가

먼저 벼농사에서의 농가 AI 전환도 평가를 위한 AHP 모형을 수립하기 위해 <표 5>와 같은 벼농사 분야의 전문가를 초청했다. 이들은 모두 전문 품종에 대한 벼농사 경력 10년 이상의 전문가들이며 경상도, 충청도, 전라도를 망라하였다.

그런데, 이들 벼농사 전문가들은 MCDM에 익숙한 것은 아니고, AHP 모형 전문가들은 벼농사 도메인의 전문가가 아니므로, LLM 파인튜닝 기법에 의하여 벼농사 도메인에 맞는 AHP 모형 초안을 작성하기로 하였다. 이에 먼저 단계1에서 수집한 벼농사에서의 AI 활용 연구에 대한 문서들로 ChatGPT를 활용해 파인튜닝하였다. 이때 파인튜닝을 위해 48개의 AI 활용 정밀농업 또는 스마트팜 논문을 입력하였다. 그런 후에 LLM에 역할을 부여하고(“너는 벼재배 전문가이면서 동시에 AHP 작성 전문가이다”), <표 1> 및 <표 2>에서의 벼농사 프로세스 및 주요 활동을 입력하고(“벼농사는 다음과 같은 단계로 이루어진다.”), AHP 모형의 단계(hierarchy)를 지정한 후(“벼농사에서 농가의 AI 전환 수준을 평가하기 위한 AHP 모형을 구축하려고 한다. 이때 주요 단계는 계획, 경작, 수확 및 유통으로 나뉜다...”)에 Criteria 및 Subcriteria를 출력받았다. 그런 후에 <그림 2(a)>와 같은 전문가용 설문지를 작성하여 먼저 파인튜닝 LLM이 제시한 Criteria 및 Subcriteria를 확인 받고, 수정한 후에 쌍대비교표를 입력받았다. 확인 받은 Criteria 최종안은 벼농사 과정의 주요 국면(계획, 경작, 수확), 그리고 Subcriteria 최종안은 각 국면별 세부 활동으로서 계획 5항목, 경작 7항목, 수확 9항목이었다. 이렇게 하여 구축된 쌀 농가의

<표 5> 벼농사 AI 전환도 평가를 위한 벼농사 AHP 모형 수립 전문가

성명	지역	품종	면적	경력
구O금	경북 예천	미소진품	5,000평	25년
김O일	충북 증평	삼광, 새청무	70,000평	25년
김O영	전남 나주	강대찬, 신동진	35,000평	15년
백O식	경북 예천	영호진미	5,000평	10년
김O석	경남 하동	아람	5,000평	15년
백O근	경북 예천	백진주, 미소진품	50,000평	40년
이O규	충남 아산	삼광, 해맑음	20,000평	20년
이O재	충남 천안	삼광	10,000평	23년
황O상	경북 예천	영호진미	5,000평	65년

벼농사 AI 전환도 평가를 위한 AHP 전문가용 설문지		벼농사 AI 전환도 평가를 위한 AHP 농가용 설문지																																																																																																					
□ 목적 본 설문은 벼농사의 각 단계에서 인공지능 기술이 얼마나 중요란지를 분석하고자 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법에 따라 각 활동의 상대적 중요도를 전문가에게 평가받는 것을 목적으로 합니다. 응답해주신 내용은 벼재배 농가의 AI 도입 전략 수립에 소중한 기초 자료로 활용됩니다. □ 1. 국면별 상대적 중요도 비교 1-1. 다음 각 항목에서 둘 중 더 중요하다고 생각하는 쪽을 선택하시고, 상대적 중요도의 강도를 1-5 사이에서 표시해 주세요. (1: 동일함, 2: 약간 더 중요함, 3: 중요함, 4: 매우 중요함, 5: 절대적으로 중요함) <table border="1"> <thead> <tr> <th>비교 항목</th> <th>더 중요한 항목</th> <th>중요도 (1 ~ 5)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>계획 vs 경작</td> <td>☐ 항목1 / ☐ 항목2</td> <td>☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5</td> </tr> <tr> <td>계획 vs 수확 및 유통</td> <td>☐ 항목1 / ☐ 항목2</td> <td>☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5</td> </tr> <tr> <td>경작 vs 수확 및 유통</td> <td>☐ 항목1 / ☐ 항목2</td> <td>☐1 ☐2 ☐3 ☐4 ☐5</td> </tr> </tbody> </table>		비교 항목	더 중요한 항목	중요도 (1 ~ 5)	계획 vs 경작	☐ 항목1 / ☐ 항목2	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	계획 vs 수확 및 유통	☐ 항목1 / ☐ 항목2	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	경작 vs 수확 및 유통	☐ 항목1 / ☐ 항목2	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5	□ 응답자 정보 <table border="1"> <tr> <td>성명</td> <td>연락처</td> </tr> <tr> <td>지역</td> <td>재배품종</td> </tr> <tr> <td>재배면적</td> <td>재배경력</td> </tr> </table> 1. 다음의 각 주요 활동별로 귀하의 농가는 어느 정도로 준비되어 있는지 해당 하는 곳에 체크해 주세요. <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">구분</th> <th rowspan="2">단계</th> <th rowspan="2">주요활동</th> <th colspan="10">AI준비도</th> </tr> <tr> <th>Level 1</th> <th>Level 2</th> <th>Level 3</th> <th>Level 4</th> <th>Level 5</th> <th>Level 6</th> <th>Level 7</th> <th>Level 8</th> <th>Level 9</th> <th>Level 10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">계획</td> <td rowspan="2">1. 생산계획</td> <td>품종결정</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>재배일정</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">2. 준비작업</td> <td>토양분석</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>경작지준비</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>농자재</td> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </tbody> </table>		성명	연락처	지역	재배품종	재배면적	재배경력	구분	단계	주요활동	AI준비도										Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	Level 7	Level 8	Level 9	Level 10	계획	1. 생산계획	품종결정											재배일정											2. 준비작업	토양분석											경작지준비													농자재									
비교 항목	더 중요한 항목	중요도 (1 ~ 5)																																																																																																					
계획 vs 경작	☐ 항목1 / ☐ 항목2	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5																																																																																																					
계획 vs 수확 및 유통	☐ 항목1 / ☐ 항목2	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5																																																																																																					
경작 vs 수확 및 유통	☐ 항목1 / ☐ 항목2	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5																																																																																																					
성명	연락처																																																																																																						
지역	재배품종																																																																																																						
재배면적	재배경력																																																																																																						
구분	단계	주요활동	AI준비도																																																																																																				
			Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	Level 7	Level 8	Level 9	Level 10																																																																																											
계획	1. 생산계획	품종결정																																																																																																					
		재배일정																																																																																																					
	2. 준비작업	토양분석																																																																																																					
		경작지준비																																																																																																					
		농자재																																																																																																					
(a) 전문가용 설문지		(b) 농가용 설문지																																																																																																					

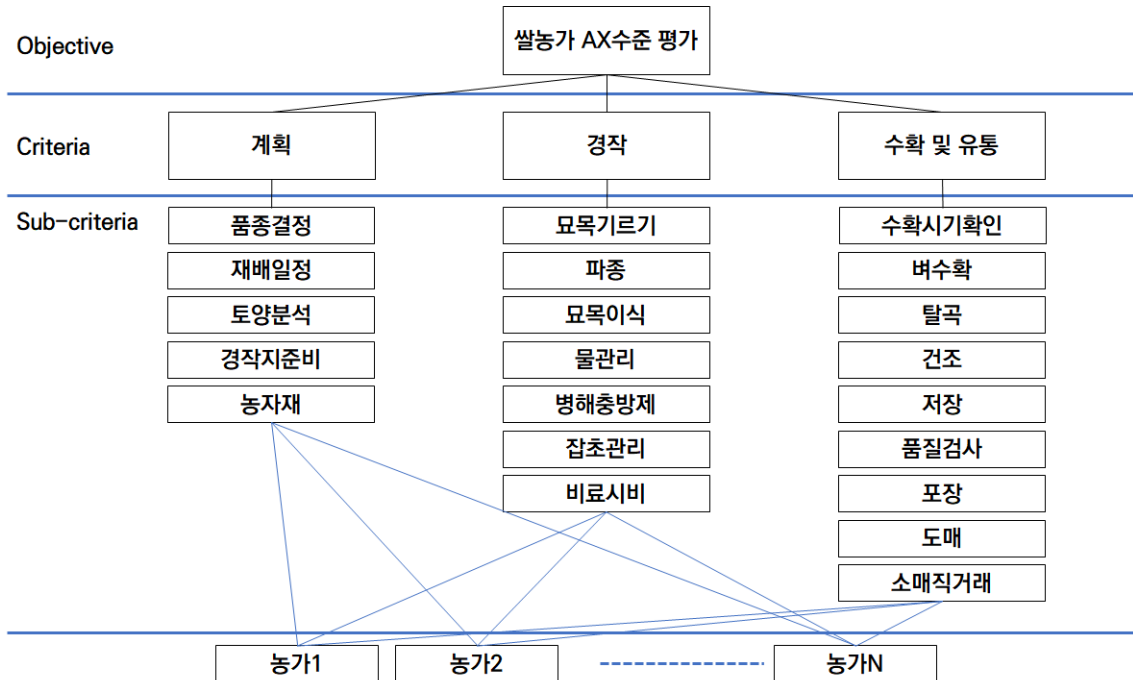
<그림 2> 설문지 양식

AI 전환도 평가 AHP 모형은 <그림 3>과 같다.

다음으로 AHP 모형의 각 항목별 가중치를 구하기 위해 <표 5>와 같이 9인의 벼농사 전문가를 섭외하였다. 이들에게 <그림 2(a)>와 같은 전문가용 설문지 양식을 제시하고, 항목별로 쌍대비교를 하게 했다. 다만, 쌍대비교할 항목이 상대적으로 많아 일관성 점검이 필수적이었다. 따라서 전문가 답변의 평균치로써 일관성 점검을 하고 비일관성이 있어 보이는 항목에 대해서 재질의를 수행했다. 참고로 일관성 지수는 식1과 같다.

$$CI = \left(\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \right) \quad \text{식(1)}$$

여기서 λ_{max} 는 최대고유값으로서 이상적인 수치는 기준의 수(n)와 같게 될 것이다. CI가 구해지게 되면 일관성 비율(CR)은 CI/RI로 구해지게 된다. 여기서 RI(Random Index)는 무작위로 생성된 쌍대비교 행렬의 평균 일관성 지수를 뜻한다. 그런 후에도 일관성이 떨어지는 답변을 한 전문가 두 사람의 응답 내용을 제외하고 나머지 전문가들의



〈그림 3〉 구축한 AHP 모형

응답 결과로 Saaty의 일관성 기준을 통과(CR=0.08) 하고, 그 평균치로써 가중치를 얻었다. 이로써 전문가 대상 조사 결과 부록A와 같은 결과를 얻었다.

또한 부가적으로 동일한 전문가들에게 주요 활동 21개 활동 중에서 1~3순위를 선택하도록 요청하였다. 그 결과 부록B와 같이 1년 농사가 시작되는 묘목기르기를 가장 중요한 항목으로 1 순위가 가장 많았고, 품종 결정, 물관리 순이었다. 기후 변화에 따른 재배환경의 급격한 변화로 생육이 강하고 밥맛이 좋은 품종 결정은 실제로 농가의 수확량 증대와 품질 향상에 직결되는 문제이다. 반면 저장과 유통은 낮은 순위를 보여 현재 농가들은 노동력과 기후에 많은 영향을 받는 생산 활동에서 AI 도입을 우선하는 것으로 나타났다.

3.4 쌀 농가 대상 AI 전환도 확인 및 AHP 모형 타당성 평가

제안된 AI 전환도 평가모형의 타당성을 평가 하기 위해 <그림 2(b)>와 같은 일반 농가용 설문 지를 별도 제작하여 실제 농가를 대상으로 평가 하고, 그 결과가 과연 현실을 잘 반영하는지에 대해서 검증하였다. 그 결과 설문 참여 농가의 평균적인 AI 전환도 수준은 <표 6>과 같았다. 국 면으로 볼 때 계획, 경작, 수확 및 유통에서의 AI 전환도는 4.0 근처였다. 이는 우리나라의 선도적 인 쌀 대농가들이 AI 분석에 사용될 수도 있는 데이터를 보유하고 있으며, 이를 정제하거나 간 단한 통계 보고서를 산출할 수 있는 수준에 있음 을 의미한다. 하위 항목으로 볼 때 우리나라의 쌀 대농가는 토양분석, 경작지 준비에서 4.6 정도의

상대적으로 높은 레벨을 보이고 있었다. 즉, 토양 및 경작지에 대한 데이터를 확보하고 있으며, 간단한 보고서를 산출하는 정도의 수준이고, 일부 AI 분석이 가능한 형태의 데이터로 정제할 가능성을 지니고 있다. 또한 수확시기를 확인하거나 벼를 수확하는 항목에서 5.0, 즉 AI 분석이 가능한 형태의 데이터를 보유하고 있다고 자가 진단하였다. 묘목 이식에 있어서도 4.65로 상대적으로 높은 평가를 하였다. 그러나 그 외 대부분의 항목에서는 2~3점대, 즉 정밀농업 적용에 대한 필요성을 인식하고 일부 거친 형태의 데이터가 모이고 있는 단계임을 알 수 있었다.

본 연구에서 밝힌 대로 각 활동에서의 AI 전환 수준은 AHP 전문가의 도움으로 각 농가의 자체평가로 10점 만점으로 매겨지며, 데이터준비까지의 단계를 의미하는 1~4단계, AI 모델 개발 및 활용 수준의 5~8단계, 그리고 AI가 농가 운영 및 경영에 내재하는 9단계 이후의 단계 등으로 저/중/고를 분류할 수 있다. 그런 차원에서 볼 때 대부분의 우리나라 쌀 농가 (비록 대농이라고 하더라도)들은 대체로 낮은 ‘중’ 단계로 평가가 된다.

다만, 제안 평가모형에서는 AI 활용 정도의 레벨로 열거되어 있는데, 이것이 정확하게 등간이라고 주장하기는 어렵다. 다만, 통상적으로 정성평가를 점수화하여 진행할 때 비록 그것이 등간이 아니라 할지라도 각 레벨에 대해 정의를 하고 자신의 상황과 가장 적절하게 묘사한 문장을 선택하게 하고 있다. 예를 들어 행동 기준 기반 등급서술 (Behaviorally Anchored Rating Scale, BARS) 같은 경우 정확하게 등간이라고 보기는 어렵더라도 주관적 편차를 줄이고 자기평가가 가능하게 하도록 이러한 방법을 사용한다. 본 연구에서 각 레벨에 대한 설명도 BARS의 원칙을 따르고 있다.

<표 6>과 같이 작성된 AI 전환 정도에 대한 자가 평가를 수행한 결과 다음과 같은 반응을 보였다. 먼저 평가 과정에서 자신의 벼재배에 있어 AI를 활용할 수 있다고 하는 지식을 습득하게 되었다는 것이다. 즉, 평가 과정이 단순한 진단 도구를 넘어 농가의 AI 리터러시(AI literacy) 제고에도 긍정적으로 작용한 것으로 해석된다.

“농업에서 가장 중요한 분야인 품종 결정에 인공지능 기술이 적용되고 있다니 놀랐다. 어떤 기술이 적용되고 있는지 농가에서 활용할 수 있다면 집약적 농업을 하는 우리나라에서는 농가에 큰 도움이 될 수 있다.(김O 일, 충북 증평)”

AI 리터러시뿐 아니라 적절한 AI 기반 벼 농법이 제공될 수 있다면 그것을 도입하겠다는 의도가 발생하였다는 점이다. 이는 자가 평가 과정이 기술 도입 의도를 유발하는 계기로 작용했음을 시사한다.

“해마다 예측할 수 없는 날씨로 재배뿐만 아니라 수확에도 피해가 크다. 기후 데이터를 이용한 인공지능기술을 농가에서 활용할 수 있다면 도입할 생각이 있다.(김O 일, 충북 증평)”

한편, AI를 적용할 수 있는 쌀 농가는 모두가 대상이 아니라 대농 및 기술에 대한 효능감이 있는 농가에서부터 시작되어야 한다는 것으로, 농가에서의 적용 우선순위를 파악할 수 있었다. 또한 그 우선순위는 국가별로 같지 않을 수 있어, 국내에 맞는 모형 및 기술 개발, 적용이 필요하다는 언급도 있었다. 즉, 기존 AI 기술의 상당수가 외국 데이터를 기반으로 개발되어 국내 농업 현실과 괴리가 있다는 점을 지적하며, 국내 환경에 적합한 기술 개발의 필요성도 제기되었다. 농

〈표 6〉 설문 참여 농가의 평균 레벨

구분	항목	평균가중치	평균레벨	표준오차
국면	계획	0.1145	3.8709	2.3825
	경작	0.3172	3.8613	2.2984
	수확 및 유통	0.5683	4.0269	2.7681
계획	품종결정	0.1993	3.0000	2.1602
	재배일정	0.1970	2.6666	2.0816
	토양분석	0.2098	4.6666	2.5166
	경작지준비	0.2270	4.6666	2.5166
	농자재	0.1669	4.2500	2.2173
경작	묘목기르기	0.1734	3.7500	1.7078
	파종	0.0829	3.7500	1.7078
	묘목이식	0.0970	4.7500	2.7537
	물관리	0.1883	3.8000	2.5880
	병해충방제	0.1785	4.0000	2.6450
	잡초관리	0.1457	3.2500	2.6299
	비료시비	0.1341	4.0000	2.6457
수확 및 유통	수확시기확인	0.1835	5.0000	2.9439
	벼수확	0.1288	5.0000	3.1140
	탈곡	0.0794	4.2000	2.1602
	건조	0.1054	3.0000	2.1602
	저장	0.0945	3.0000	2.9439
	품질검사	0.1179	4.0000	2.9439
	포장	0.0878	4.0000	2.9439
	도매	0.0854	3.5000	2.6457
	소매직거래	0.1173	3.5000	2.4494

가들은 국내 품종 특성, 토양 조건, 소비자 선호도 등을 반영한 맞춤형 기술이 필요하다는 인식을 공유하였다.

밥맛에 대한 선호도 등의 차이로 국내 활용의 문제가 있고, 우리 농가에 맞는 기술이 필요하다. (김O영, 전남 나주)”

“농부들이 고령이고 새로운 기술 사용은 너무 어려워 큰 규모의 농사를 기술을 잘 쓰는 사람이 해야 한다.(황O상, 경북 예천)”

“농민들은 기술 인지도가 낮아서 접근성이 낮고, 그나마 외국 데이터 중심의 기술들이 많아 국내 농업 현실과 차이가 크다. 품종이나 관수,

뿐만 아니라 AI 활용 우선순위에 대한 언급도 있었다. 특히 지역별 기후, 토양, 재배 품종의 차이로 인해 인공지능 기술의 보편적 적용에 한계가 있으며, 이에 따라 지역 또는 농가 단위의 소규모 맞춤형 기술 개발이 요구된다는 의견도 확인되었다.

“지역마다 기후와 토양이 다르고 재배 품종도 달라서 인공지능 기술의 적용에 어려움이 있다. 지역이나 농가에 맞는 작은 단위의 기술이 필요하다.(이O규, 충남 아산)”

일부 농가는 자가 평가를 통해 자신이 보유한 영농 기록 등의 자원을 인식하게 되었으며, 이를 활용하여 향후 AI 기술을 적용할 수 있다는 가능성을 발견하였다. 이는 평가 과정이 농가의 내부 자원 인식과 데이터 활용 가능성 탐색에도 기여했음을 보여준다.

“지난 몇 년 동안의 영농일지가 있다면 내 농지에 필요한 인공지능 기술을 개발할 수도 있겠다는 생각이 든다.(백O근, 경북 예천)”

4. 토의 및 결론

4.1 본 연구의 의의

본 연구의 학술적 의의는 다음과 같다.

첫째, 벼농사의 AI 전환 수준을 평가할 수 있는 AHP 기반 평가모형을 처음으로 제안했다는 점에서 의의가 있다. 농업 분야는 정밀농업이 도입되면서 AI 적용 사례들이 증가하고 있지만, 농가의 AI 활용에 관한 연구는 찾아보기 어렵다. 이번 연구는 계획-경작-수확 및 유통의 벼농사 전 과정을 단계별로 세분화하여 가중치, 성숙도 수준을 정량적으로 분석하였다.

둘째, AI 전환도 평가는 농업에서 새로운 정책 도구로서의 확장 가능성이 있다. 벼농사를 중심으로 설계된 AHP 기반의 평가모형은 과수, 채소, 축산 등 다양한 품목의 디지털 전환에도 적

용할 수 있으며, 이를 통해 작물 맞춤, 재배 주기별 전환도 지표로 발전시킬 수 있다. 지금까지의 기술 목록을 나열하는 방식과 달리 농가가 실제로 겪는 의사결정 과정과 농업의 어려운 현실을 반영함으로써, 평가모형의 현장 적합성과 실효성을 동시에 확보했다.

셋째, 본 연구는 단순한 AI 기술 우선순위 평가를 넘어서, 성숙도 수준과 기술 도입의 중요도를 함께 고려하였다. 성숙도 레벨과 기술 우선순위 데이터를 통합적으로 분석함으로써 단계별 성숙도 수준 파악, 기술 도입의 장애 요인, 농가들이 중요하다고 생각하면서도 아직 성숙하지 못한 단계를 파악함으로써 정책 실행 가능성과 필요성 간 균형을 고려한 정책 방향을 설정할 수 있는 기초를 제시하였다. 이는 향후 AI 도입 단계별 정책 추진과 교육 실행의 기반이 될 수 있으며, AHP 기법이 농업 기술 확산 및 정책 설계에 실질적으로 기여할 수 있는 분석 도구임을 확인하는 데 의의가 있다.

다음으로 본 연구의 실무적 의의는 다음과 같다. 첫째, 본 개발 모형은 농가 교육 및 컨설팅에 활용 가능할 것이다. 농가의 AI 성숙도 분석을 통해 농가 간 성숙도 편차를 고려한 교육을 계획하고, 농가의 인식 제고와 데이터 수집을 통한 개별 컨설팅이 가능하다. 둘째, 전문가들의 모델링 활동에 LLM의 역할을 확인할 수 있었다. 만약 적절히 도메인 지식으로 파인튜닝을 하게 된다면 농업에서의 AI 적용 등과 같은 융합적 주제에 대한 AHP 모델의 초안 마련에 도움을 줄 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 LLM을 기반으로 AHP 구조 설계, 문항 개발, 평가방식 설계에 대한 보조를 수행하여 농업 전문가들이 이해하기 쉽고, 판단을 일관되게 내릴 수 있도록 쌍대비교 설문지 설계, 자동 계산 서식 제공, 일관성 검증

알고리즘 탑재 등의 기술을 활용하였으며, 이는 전문가 참여 기반 평가 설계의 디지털 전환 가능성을 실증적으로 보여주었다.

4.2 한계점 및 추후 연구 방향

첫째, 본 연구는 농가에서의 AI 활용 정도 또는 AI 전환 정도를 평가하고, 이를 근거로 해당 농가의 AI 적용할 부분을 식별하고 프로젝트를 수행할 수 있는 근거를 마련하는 데 있다. 우선 가장 대표적이고 식량안보의 이슈가 크며 국내뿐 아니라 동아시아, 동남아시아 등 해외에도 적용 가능성이 큰 쌀 농가를 대상으로 실시했지만, 향후에는 다른 주요 재배 분야에도 확장하여 일반화 진행할 예정이다.

둘째, 지속적인 피드백으로 쌀 농가의 AI 전환도 평가모형을 정교화해야 한다. 비록 소수의 쌀 농가를 대상으로 질적연구를 병행하여 본 모형의 유용성에 대한 긍정적인 피드백은 받았으나, 아직은 각 평가항목에 대해서 레벨을 자기평가하는 데에는 설명이 부족한 것으로 보인다. 항목별로 각 단계에 대한 사례와 함께 좀 더 상세한 설명을 담은 평가표를 작성할 예정이다. 셋째, AHP 모형을 구축한 9명의 전문가 중 지역·품종 편중이 있었다. 비록 지역과 품종이 편중되어 있기는 하나, 다행히 일모작 수답 형태의 벼농사는 국내에서는 그 활동 내용이 균일하지만, 추후에는 다른 지역의 전문가에게도 확인 시행하여 그 모형의 일반화를 강화할 것이다.

4.3 결론

본 연구는 벼농사를 중심으로 농가의 AI 전환 수준을 평가할 수 있는 AHP 기반의 정량적 모형을 최초로 제시함으로써, 디지털 농업 확산을 위

한 정책 및 실무적 기초자료를 마련하였다는 점에서 의의가 있을 것이다. 특히 기존의 디지털 농업 문헌에 근거하여 계획 - 경작 - 수확 및 유통의 전 과정을 체계적으로 구조화하고, 성숙도 수준과 AI 기술 도입의 중요도를 함께 고려한 점은 기존 연구와의 차별점이라 할 수 있다. 본 연구로 농업, 특히 벼농사 분야의 AI 전환을 촉진하는 데 기여할 수 있다. 향후에는 평가모형을 다양한 작목으로 확장하고, 평가항목의 설명력을 강화함으로써 평가 정확도를 높이고 일반화를 추진할 예정이다. 본 연구의 평가모형으로 농가 교육과 컨설팅, 디지털 정책 설계 등 다양한 실무 영역에서 활용되기를 기대한다. 또한 한국뿐 아니라 벼농사가 일반적인 동아시아, 동남아시아 등지의 AI 전환도 적용으로도 활용되기를 기대한다.

참고문헌(References)

- Ahmad, S. N. I. S. S., Juraimi, A. S., Sulaiman, N., Che'Ya, N. N., Su, A. S. M., Nor, N. M., & Roslin, M. H. M. (2023). Weeds detection and control in rice crop using UAVs and artificial intelligence: A review. *Advances in Agricultural and Food Research Journal*, 4(2), 1-25. <https://doi.org/10.36877/aafrj.a0000371>
- Alenezi, M. (2021). Deep dive into digital transformation in higher education institutions. *Education Sciences*, 11(12), 770. <https://doi.org/10.3390/educsci11120770>
- Alfred, R., Obit, J. H., Chin, C. P. Y., Haviluddin, H., & Lim, Y. (2021). Towards paddy rice smart farming: a review on big data, machine learning, and rice production tasks. *IEEE*

- Access, 9, 50358-50380. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069449>
- Aziz, D., Rafiq, S., Saini, P., Ahad, I., Gonal, B., Rehman, S. A., ... & Nabila Iliya, M. (2025). Remote sensing and artificial intelligence: revolutionizing pest management in agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1551460. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1551460>
- Babae, M., Maroufpoor, S., Jalali, M., Zarei, M., & Elbeltagi, A. (2021). Artificial intelligence approach to estimating rice yield. *Irrigation and Drainage*, 70(4), 732-742. <https://doi.org/10.1002/ird.2566>
- Bersin, J. (2024). The Road To AI-Driven Productivity: Four Stages of Transformation, <https://joshbersin.com/2024/11/how-to-make-productivity-soar-four-stages-of-ai-transformation/>
- Boulent, J., Foucher, S., Théau, J., & St-Charles, P. L. (2019). Convolutional neural networks for the automatic identification of plant diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*, 153, 443 - 452. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00941>
- Castillo, Aris, Dafni Mora, Vladimir Villarreal, and Lineth Alaiín. 2021. State of digital transformation in the universities of Central America. In *Radical Solutions for Digital Transformation in Latin American Universities: Artificial Intelligence and Technology 4.0 in Higher Education*. Singapore: Springer, 109 - 28.
- da Silva Ferreira, M. V., Ahmed, M. W., Oliveira, M., Sarang, S., Ramsay, S., Liu, X., ... & Kamruzzaman, M. (2024). AI-enabled optical sensing for smart and precision food drying: Techniques, applications and future directions. *Food Engineering Reviews*, 1-29.
- Desai, D., & Gamit, N. (2015). Quality grading of rice grains using image processing. *National Journal of System and Information Technology*, 8(1), 9.
- Dutta, S., Chakraborty, S., Goswami, R., Banerjee, H., Majumdar, K., Li, B., & Jat, M. L. (2020). Maize yield in smallholder agriculture system – An approach integrating socio-economic and crop management factors. *PLoS One*, 15(2), e0229100. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229100>
- Gkrimpizi, T., Peristeras, V., & Magnisalis, I. (2024). Defining the meaning and scope of digital transformation in higher education institutions. *Administrative Sciences*, 14(3), 48. <https://doi.org/10.3390/admsci14030048>
- Glauner, P. (2020). Unlocking the power of artificial intelligence for your business. *Innovative Technologies for Market Leadership: Investing in the Future*, 45-59.
- Grasser, M., Six Steps to an Intelligent AI Strategy: The AI Readiness Toolkit, 2019. <https://bfaglobal.com/catalyst-fund/insights/six-steps-to-an-intelligent-ai-strategy-the-ai-readiness-toolkit/>
- Holmström, J. (2022). From AI to digital transformation: The AI readiness framework. *Business Horizons*, 65(3), 329-339. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2021.03.006>
- Jha, K., Doshi, A., Patel, P., & Shah, M. (2019). A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Information Processing in Agriculture*, 5(4), 456 - 464. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>

- Kim, Y., Lee, K. D., Na, S. I., Hong, S. Y., Park, N. W., & Yoo, H. Y. (2016). MODIS data-based crop classification using selective hierarchical classification. *Korean Journal of Remote Sensing*, 32(3), 235-244. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2016.32.3.3>
- Knitsch, V., Daniel, L., & Welz, J. (2024). Mapping varieties of farmers' experience in the digital transformation: a new perspective on transformative dynamics. *Precision Agriculture*, 25(4), 1958-1981. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10148-7>
- Kumar, R., Gupta, S., Srivastava, Y., & Srivastava, H. (2024, May). AI Assisted plant disease detection, crop and fertilizer recommendation system. In *2024 5th International Conference for Emerging Technology (INCET)* (pp. 1-6). IEEE. <http://doi.org/10.1109/INCET61516.2024.10592955>
- Liu, H., Zhang, J., Zhou, Z., Dai, Y., & Qin, L. (2024). A deep Reinforcement learning-based algorithm for multi-objective agricultural site selection and logistics optimization problem. *Applied Sciences*, 14(18), 8479. <https://doi.org/10.3390/app14188479>
- Lozić, J., & Fotova Čiković, K. (2024, February). Digital transformation: The fundamental concept of transformation of business activities. In *107th International Scientific Conference on Economic and Social Development - Economic and Social Survival in Global Changes*, Zagreb (pp. 326-337).
- Mao, H., Zhang, T., & Tang, Q. (2021). Research framework for determining how artificial intelligence enables information technology service management for business model resilience. *Sustainability*, 13(20), 11496. <https://doi.org/10.3390/su132011496>
- Mei, L., Zheng, Y., Tian, M., & Wu, Y. (2024). Driven by the policy or bent by the market? Cracking the digital transformation code of farmer cooperatives. *Technological Forecasting and Social Change*, 208, 123659. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123659>
- Mohanty, M. K., Thakurta, P. K. G., & Kar, S. (2023). Agricultural commodity price prediction model: a machine learning framework. *Neural Computing and Applications*, 35(20), 15109-15128. <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08528-7>
- Na, S. I., Hong, S. Y., Kim, Y. H., Lee, K. D., & Jang, S. Y. (2013). Prediction of rice yield in Korea using paddy rice NPP index-Application of MODIS data and CASA model. *Korean Journal of Remote Sensing*, 29(5), 461-476. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2013.29.5.2>
- Nagasaka, Y., Umeda, N., Kanetai, Y., Taniwaki, K., & Sasaki, Y. (2004). Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes. *Computers and Electronics in Agriculture*, 43(3), 223 - 234. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.01.005>
- Prasomphan, S. (2023). Rice bacterial infection detection using ensemble technique on unmanned aerial vehicles images. *Computer Systems Science & Engineering*, 44(2). <https://doi.org/10.32604/csse.2023.025452>
- Ramadan, S. T. Y., Islam, M. S., Sakib, T., Sharmin, N., Rahman, M. M., & Rahman, M. M. (2025). Image-based rice leaf disease detection using CNN and generative adversarial network. *Neural Computing and Applications*, 37(1), 439-456. <https://doi.org/10.1007/s00521-024-10572-w>
- Raphael, J., Wiliam, A., Praspera, E. C., & Vincentius, M. (2024, December). Leveraging artificial intelligence and blockchain to stabilize

- rice price fluctuations in DKI Jakarta, Indonesia. In *2024 International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA)* (pp. 466-470). IEEE.
- Rodríguez-Almonacid, D. V., Ramírez-Gil, J. G., Higuera, O. L., Hernández, F., & Díaz-Almanza, E. (2023). A comprehensive step-by-step guide to using data science tools in the gestion of epidemiological and climatological data in rice production systems. *Agronomy*, 13(11), 2844. <https://doi.org/10.3390/agronomy13112844>
- Saud, S., Wang, D., Fahad, S., Alharby, H. F., Bamagoos, A. A., Mjrashi, A., ... & Hassan, S. (2022). Comprehensive impacts of climate change on rice production and adaptive strategies in China. *Frontiers in Microbiology*, 13, 926059. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.926059>
- Setiadi, D. R. I. M., Susanto, A., Nugroho, K., Muslikh, A. R., Ojugo, A. A., & Gan, H. S. (2024). Rice yield forecasting using hybrid quantum deep learning model. *Computers*, 13(8), 191. <https://doi.org/10.3390/computers13080191>
- Sharma, V., & Mathiyalagan, P. (2024). *Combining AI with Sensor Data to Create Better Rice Harvesting Techniques*. Available at SSRN 5086643.
- Sriharan, A., Sekercioglu, N., Mitchell, C., Senkaiahliyan, S., Hertelendy, A., Porter, T., & Banaszak-Holl, J. (2024). Leadership for AI transformation in health care organization: scoping review. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e54556. <https://doi.org/10.2196/54556>
- Sun, Y., Wan, L., Mangla, S. K., Xu, X., & Song, M. (2024). Uncovering the interactions between the enterprise AI transformation, supply chain concentration, and corporate risk-taking capacity. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 11315-11327. <https://doi.org/10.1109/TEM.2024.3411631>
- Thakur, P. S., Tiwari, B., Kumar, A., Gedam, B., Bhatia, V., Krejcar, O., ... & Prakash, S. (2022). Deep transfer learning based photonics sensor for assessment of seed-quality. *Computers and Electronics in Agriculture*, 196, 106891. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106891>
- Treacy, S. (2022, November). A roadmap to Artificial Intelligence: Navigating core impacts to successfully transform organisations. *Academic Conferences International Limited*.
- Vahdanjoo, M., Sørensen, C. G., & Nørremark, M. (2025). Digital transformation of the agri-food system. *Current Opinion in Food Science*, 101287. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2025.101287>
- Vandana, W. M., & Kavya, B. (2024, March). Soil fertility assessment and crop recommendation for sustainable farming using machine learning and deep learning. In *2024 4th International Conference on Data Engineering and Communication Systems (ICDECS)* (pp. 1-3). IEEE.
- Wang, R., Han, F., & Wu, W. (2021). Estimation of paddy rice maturity using digital imaging. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 1403-1415. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1970581>
- Wei, H., Xu, W., Kang, B., Eisner, R., Muleke, A., Rodriguez, D., ... & Harrison, M. T. (2024). Irrigation with artificial intelligence: problems, premises, promises. *Human-Centric Intelligent Systems*, 4(2), 187-205. <https://doi.org/10.1007/s44230-024-00072-4>
- Yang, H., Zheng, Z., & Sun, C. (2022). E-commerce marketing optimization of agricultural products

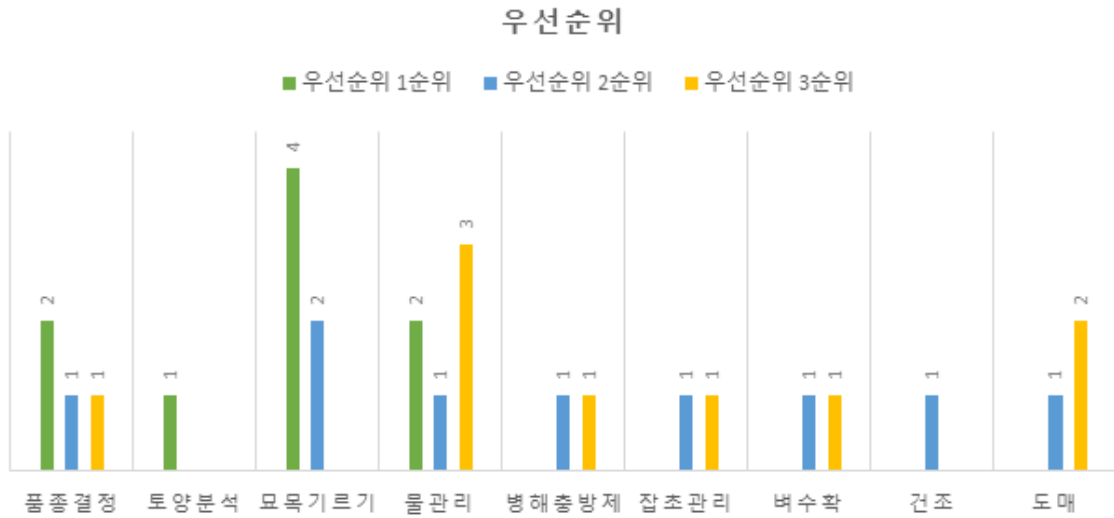
- based on deep learning and data mining. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 6564014. <https://doi.org/10.1155/2022/6564014>
- Yuan, S., Saito, K., van Oort, P. A., van Ittersum, M. K., Peng, S., & Grassini, P. (2024). Intensifying rice production to reduce imports and land conversion in Africa. *Nature Communications*, 15(1), 835. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-44950-8>
- 송석호, 최재완, & 송철민. (2023). PlanetScope 위성영상을 이용한 FC-DenseNet 모델 기반 벼 재배지 탐지. *한국농공학회 학술대회초록집*, 2023, 292-292.
- 심교문, 노기안, 소규호, 김건엽, 정현철, & 이덕배. (2010). 지구온난화에 따른 벼 생육 및 생산성 변화 예측. *한국기후변화학회지*, 1(2), 121-131.
- 옥정훈, 오부영, 황선아, & 손정우. (2021). 라이시미터를 활용한 조생종 벼 재배시 이앙시기에 따른 물수지 비교. *한국토양비료학회 학술발표회 초록집*, 61-62.
- 이규진. (2023). 수경재배 환경에서 머신러닝 기반 불량 모종 진단을 위한 증강 데이터 활용 연구. *한국정보기술학회논문지*, 21(12), 13-21.
- 이지현, 상완규, 박혁진, 백재경, 이상훈, 정희정, & 장성율. (2024). UAV 영상 기반 벼 양분 결핍 조기 진단 기계학습 모델 구축. *농업생명과학연구*, 58(2), 53-64.
- 정선옥, 박원규, 장영창, 이동현, & 박우풍. (1999). 소구획 경지에서의 벼 수확량 지도 작성. *바이오시스템공학 (구 한국농업기계학회지)*, 24(2), 135-144.
- 주현식, 김현진, 이형수, 김대철, 김성민, 이동훈, & 조용진. (2022). 드론 기반 벼 재배 영상 데이터 취득. *한국농업기계학회 학술발표논문집*, 27(1), 268-268.

부록A. 벼농사 AI 전환도 평가 모형

Criteria	Sub-criteria	가중치	AI준비도									
			Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6	Level 7	Level 8	Level 9	Level 10
국면	계획	0.1145										
	경작	0.3172										
	수확 및 유통	0.5683										
계획	품종결정	0.1993										
	재배일정	0.1970										
	토양분석	0.2098										
	경작지준비	0.2270										
	농자재	0.1669										
경작	묘목기르기	0.1734										
	파종	0.0829										
	묘목이식	0.0970										
	물관리	0.1883										
	병해충방제	0.1785										
	잡초관리	0.1457										
	비료시비	0.1341										
수확 및 유통	수확시기확인	0.1835										
	벼수확	0.1288										
	탈곡	0.0794										
	건조	0.1054										
	저장	0.0945										
	품질검사	0.1179										
	포장	0.0878										
	도매	0.0854										
	소매직거래	0.1173										

단, 1: 데이터, AI 기반 농업에 대한 동기 결여, 2: 벼재배에서의 데이터 기반 (정밀)농업의 필요성 인식, 3: 벼재배 관련 데이터 획득 및 저장, 4: 데이터 정제 및 보고서 산출 및 이해, 5: AI 모델에 사용 가능하도록 데이터가 가공, 준비, 6: 개발하지 않고 외부 AI 모델을 활용, 수정하여 의사결정에 활용, 7: 본인의 문제에 부합하도록 AI모델을 개발하여 의사결정에 활용, 8: 본인의 문제에 부합하도록 AI모델을 개발하여 의사결정에 활용 및 그 역량을 보유, 9: AI 기반 재배 방식을 농가 경영에 통합, 10: 농가 경영 및 경쟁력의 핵심으로 AI 기술 활용

부록B. AI 전환 우선순위



Abstract

An LLM- and AHP-Based Evaluation Model for Diagnosing the AI Transformation Level of Rice Farms

Heera Kim* · Sejae Lee* · Ohbyung Kwon**

In Asia, particularly in South Korea, rice plays a vital role in food security and farm income. However, recent climate changes have adversely affected rice production by shortening the growth period and damaging reproductive phases. In response, technologies such as precision agriculture based on climate data, drones, image analysis, and statistical visualization are expected to help increase productivity in rice farming. Nevertheless, there is a lack of clear guidelines for farmers on how to adopt precision agriculture and AI technologies. Thus, a model that evaluates the level of AI utilization among rice farmers and provides guidance for future transition is needed. This study aims to propose an evaluation model that diagnoses the level of AI transition in rice farming. Based on a comprehensive literature review, we identified key elements of each transition stage. Then, using a Large Language Model (LLM), we constructed an AHP-based evaluation framework and validated its relevance through expert consultations. The proposed model is expected to serve as a practical foundation for policy development related to AI adoption in rice farming.

Key Words : Rice farming, AI transformation level, Large language model, AHP, Precision agriculture

Received : June 12, 2025 Revised : June 17, 2025 Accepted : June 18, 2025

Corresponding Author : Ohbyung Kwon

* Department of Management, Kyung Hee University
** Corresponding Author: Ohbyung Kwon
School of Management, Kyung Hee University
26 Kyungheedae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 02447, Korea
Tel: +82-2-961-2148, Fax: +82-2-961-0515, E-mail: obkwon@khu.ac.kr

저 자 소 개



김희라

현재 경희대학교 경영학과 박사과정 재학중이다. 현) (주)더나은융합경영 대표, 현) 한국 농어촌공사 농촌관광경영체 자문위원이며 거제시 신활력플러스사업단 자문위원을 역임한 바 있다. 인공지능 기술의 농업 활용에 대한 응용연구를 진행중이다.



이세재

현재 경희대학교 경영학과 박사과정 재학중이다. 현) 푸른농원 대표, 현) 천안배원예농협 이사, 현) 천안 배연구회 부회장이며, 농업에서의 병해충과 기후 변화로 인한 대응되는 작물에 관한 연구 등 인공지능 기술의 농업 응용에 대한 연구를 진행하고 있다.



권오병

서울대학교 경영학과에서 경영학사, 한국과학기술원 경영과학과에서 공학석사 및 공학박사 학위를 취득하였다. 현재는 경희대학교 경영대학에서 교수로 재직 중이다. 카네기 멜론대학 ISRI 방문과학자, 샌디에고주립대학 방문교수로 재직한 바 있으며, 스탠포드대학 선정 HCR 2% 학자이다. 주요 연구분야는 AI비즈니스, 양자기계학습, 빅데이터분석, ESG경영 등이다.