

4. 개별 공간정보의 경관구조 분석

본 장은 제2장과 제3장에서 구축한 이론적, 방법론적 틀을 바탕으로, 연구의 핵심적인 실증 분석을 수행하는 단계에 해당한다. 본 장의 목표는 제5장에서 개발될 통합 평가 모델의 근간을 이루는 개별 공간정보, 즉 농지의 기능적 가치를 대변하는 5개 레이어의 경관 구조적 특성을 정량적으로 분석하는 것이다.

현행 농업진흥지역 제도는 우량 농지를 확보하고 농업 생산성 향상을 도모할 목적으로 1992년에 도입되었으나, 경제 여건의 변화에 따라 농지의 양적 및 질적 확보라는 원래 목적을 충분히 달성하지 못하는 한계를 보인다(채광석 외, 2018). 지금까지 생산성 및 효율성 위주로 운영되던 농정 기조가 환경 보전, 식량 보장, 농촌 생태경관 등 국민적 요구에 대응하는 지속가능 농정 패러다임으로 전환됨에 따라, 농지 보전 정책 또한 패러다임의 전환이 요구된다(채광석 외, 2018; 채광석 외, 2017).

특히, 현행 제도는 농지의 총면적이라는 양적 측면에만 의존하며(권호근, 2024), 동일한 면적이라 할지라도 농지의 공간적 배열과 형태, 집단화 수준, 파편화 정도 등 기계화 영농 효율성과 직결되는 구조와 같은 질적 측면을 전혀 고려하지 못한다. 이러한 경직적인 규제는 농지의 효율적 이용을 저해하고 농업 생산성을 억압하는 결과를 초래하며(김은경, 2007), 구조적으로 우수한 농지와 파편화된 저효율 농지가 동일하게 취급되는 정책적 모순이 발생한다.

이에 본 장에서는 경관생태학의 이론적 틀을 적용하여 농지의 구조적 효율성을 정량적으로 평가한다. FRAGSTAT 4.2 소프트웨어를 활용하여 경관지수를 산출하며(허성구 외, 2006; 권오성 외, 2015), 이는 범주형 지도의 공간 패턴을 분석하는 프로그램이다(권오성 외, 2015). 이러한 분석을 통해 농지의 파편화 및 집단화 특성을 객관적으로 평가한다.

가. FRAGSTATS 분석

본 연구의 실증 분석은 우량 농지 평가의 핵심 인자가 되는 4가지 주요 공간정보 레이어를 대상으로 경관지수를 산출하며, 각 레이어는 서로 다른 평가 차원에서 농지의 기능적 가치를 반영한다. 각 레이어의 특성 및 분석 목적은 표 4-1과 같다.

표 4-1. 농지 기능 평가를 위한 공간정보 레이어의 특성

레이어	평가차원	주요 분석 내용
농업생산기반 시설 수혜구역	생산인프라 연계성	관개·배수·농로 등 생산 인프라와의 연계성 평가. 과거 농지 전용의 용도는 기업의 공업 시설보다는 공용, 공공용 시설 및 공익 시설 등으로 정부가 주도적인 역할을 수행하였음(김은경, 2007). 기반시설과의 연계성 분석은 향후 보전 가치 평가에 중요한 요소가 됨.
논 적성등급	벼농사 적합성	벼농사 적합성의 등급별 공간 패턴(1~9등급) 분석. 농업진흥지역은 논 중심(전체 면적의 87% 수준)으로 지정되어 왔으나, 밭농업의 중요성이 높아지는 추세가 반영되어야 함(채광석 외, 2018).
토지피복 농경지	실제 이용 형태	실제 농지 이용 형태의 적합성 분석. 논, 밭, 과수원 등 농경지의 유형을 구분하는 데 활용됨.
정밀토양도 적합지	토양학적 생산 잠재력	토양학적 생산 잠재력(경사도, 침식정도, 염도, 재배작물 등 토양특성)의 분포 분석. 농지 적성 등급은 일반적으로 토양도에 기초하여 토지의 잠재 생산력 및 생산 저해의 정도를 표시하는 생산성 관련 지표에 뿌리를 두고 있음(채광석 외, 2018).

본 분석은 나주시(도시화 압력 지역)와 화순군(중산간 지역)이라는 대조적 특성을 가진 두 지역을 대상으로, 각 기능별 농지 그룹이 어떠한 공간적 특성을 보이는지 심층적으로 규명한다. 지역 특성을 무시한 획일적인 농지 이용 규제는 농민들의 재산권 행사를 크게 제한하고 불만을 야기한다(정회근, 2012). 따라서 이러한 대조적인 두 지역을 분석함으로써 지역별 특성을 반영한 농지 관리 정책 입안에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다(정회근, 2012).

이러한 분석은 농지의 질적 가치와 기능적 효율성에 기반한 새로운 평가체계의

과학적 근거를 마련하는 데 그 목적을 둔다. 또한 이는 규제 중심의 농지 보전 체계의 한계를 극복하고, 기존 제도가 합리적으로 운영될 수 있도록 손실보상 및 세제 지원 정책 프로그램 등 다양한 정책 대안을 제시하기 위한 기초 자료로 활용된다(채광석·김홍상, 2015).

본 절에서는 제2장에서 논의된 경관생태학적 이론을 실제 농지 분석에 적용하여, 나주시 및 화순군 농업 경관이 지닌 공간적 구조의 특성을 정량적으로 평가한다. 경관이란 인간과 자연환경이 결합되어 시·공간적으로 나타나는 토지 모자이크를 의미하며, 경관변화란 이러한 모자이크의 형태와 위치가 변화하거나 다른 요소들로 대체되는 것을 뜻한다. 경관구조를 정확하게 평가하는 것은 무분별한 토지이용의 변화를 막고 자연환경 훼손을 방지하여 인간과 자연이 공생하는 환경을 조성하는 데 필수적이다(손학기 등, 2000).

이러한 평가는 농지의 총면적이라는 구성 중심의 전통적 관점에서 벗어나, 농지 필지들이 공간상에 어떻게 배열되어 있는가 하는 구조의 중요성을 분석의 중심에 둔다는 점에서 핵심적인 의의를 가진다(McGarigal and Marks, 1995). 경관 구성은 경관 내 패치 유형의 다양성과 풍부도를 정량화하는 반면, 경관 구조는 패치들의 물리적 분포나 공간적 배열, 형태, 고립 정도 등을 의미한다(McGarigal and Marks, 1995; Cushman 외, 2007).

현대 농업에서 생산성 및 효율성은 개별 필지의 특성뿐만 아니라, 주변 필지와 공간적 관계, 즉 경관 수준의 구조에 의해 크게 좌우된다. 농지의 연결성이 악화되고 파편화가 지속적으로 진행될 경우, 이는 자동화된 영농 방식을 방해하여 농업 생산성을 감소시키고, 농지 전용으로 인한 난개발을 유발하는 문제점을 초래한다(채광석, 2017). 동일한 10ha의 농지라도, 하나의 집단화된 정사각형 필지로 이루어진 경우와 수십 개의 불규칙한 소형 필지로 쪼개진 경우는 농기계 작업 효율, 노동 투입량, 수리시설 이용 효율 등에서 현격한 차이를 보이며, 이는 경관 구조가 농지의 질적 가치를 결정하는 핵심 요소임을 방증한다.

따라서 본 연구에서는 광역적 공간 규모의 경관 요소들에 대한 구조적 패턴 및 변화 양상을 효율적으로 규명하기 위해 개발된 FRAGSTATS 모델을 활용한다(McGarigal and Marks, 1995; 허성구 외, 2006; 권오성 외, 2015; Chen and Iannone, 2020). FRAGSTATS는 래스터 형태의 입력 자료에 대하여 패치, 클래

스, 경관 별로 40개 이상의 경관지수를 계산할 수 있는 프로그램이다(McGarigal and Marks, 1995; 권오성 외, 2015).

본 분석은 연구 대상 농지의 파편화, 집단화, 형태적 효율성 등을 나타내는 핵심 경관지수를 산출하고 그 공간적 분포 특성을 심층적으로 분석한다. FRAGSTATS는 지표의 평가 속성에 따라 면적 지수, 패치 밀도, 크기, 형태 지수, 핵심 지수, 응집도 지수 등으로 구분되어 있으며(Elkie et al., 1999), 이 중 농업의 기능적 효율성 및 우량 농지 보전 가치 평가에 필수적인 지표들을 선정하여 분석한다.

FRAGSTATS는 경관지수를 Class 수준에서 산출한다. 클래스 수준은 특정 토지 유형의 집합적 특성을 평가하며, 특정 패치 유형의 파편화 정도를 측정하는 지수로 해석되어 산림 파편화 연구와 같이 특정 서식지 유형의 분포를 분석하는데 유용하게 활용된다(McGarigal and Marks, 1995; 허성구 외, 2006).

본 연구에서는 우량 농지 평가라는 정책 목적에 부합하도록 2개의 타입 클래스(농지적합, 농지부적합)로 나누어 클래스 수준 지표를 중심으로 분석을 수행한다. 특히, 핵심 구역 지표는 패치 내부에서 가장자리 효과가 발생하지 않는 영역을 정량화하여(McGarigal and Marks, 1995; Chen and Iannone, 2020), 외부 교란으로부터 격리된 실질적인 우량 농지 공간의 크기를 파악하는 데 중요한 정보를 제공한다.

1) 지표별 분석결과

본 연구는 경관구조 평가를 위해 FRAGSTATS를 활용하되, 분석 단위를 클래스(Class) 레벨로 한정하여 10m 공간해상도의 래스터(GeoTIFF/ASCII)에서 지표를 산출하였다. 경관지수는 경관생태계의 구조·기능·변화양상을 상대적 수치로 정량화하는 지표로서(McGarigal and Marks, 1995; 허성구 외, 2006), FRAGSTATS는 일반적으로 패치(Patch)·클래스(Class)·경관(Landscape) 수준의 다양한 지표를 제공한다(鄭, 2004). 그러나 본 연구는 연구 목적과 데이터 특성(10m 전수 산정, 8-cell 인접, NoData 제외)에 부합하도록 클래스 레벨만을 채택하였다. 지표군은 Elkie et al.(1999)이 제시한 분류(면적, 패치밀도·크기, 가장자리, 형태, 다양성·산재성, 핵심영역)를 참고하여 구성하되, 기계화 영농 효율성,

농작업 편의성, 집단적 관리 용이성과 직접적으로 연관되는 구조적 특성을 균형 있게 포괄하도록 30개 클래스 지표 패널로 확정하였다.

분석 대상 레이어는 네 가지로, Infra(농업생산기반시설), Pibok(필지복잡도), Nongueup(논 적성등급 재분류), Toyang(토양등급)이다. 각 레이어에서 30개 클래스 지표를 산출한 뒤 지표별 방향성(높을수록/낮을수록 우수)을 반영하여 0-1 정규화하고, 엔트로피 가중치로 지표 가중치를 추정하였다. 레이어 내부 지표 가중치는 합산·표준화하여 레이어 가중치로 집계하였으며, 이후 종합평가 단계에서 10 m 셀 단위의 적합성 값과 결합하여 최종 지수를 산출하였다. 지표 해석은 PLAND(면적 비율), PD(패치밀도), LPI(최대패치지수), ED(가장자리밀도), COHESION·AI(연결성·집합성), SHAPE_MN(형태 단순성) 등 핵심 지표를 중심으로 제시하되, 최종 평가는 클래스 지표 30개 전체의 정보량을 반영한 엔트로피 가중 통합값을 기준으로 수행하였다. 이를 통해 레벨 간 중복과 공선성을 최소화하면서도, 10m 해상도에서 농지 구조의 우세성 · 집적성 · 연결성 · 형태 안정성을 종합적으로 평가하였다.

(1) Class Level Metrics 분석

클래스 수준 지표는 특정 토지 유형의 총량 및 분포의 집합적 특성을 평가하며, 해당 유형의 파편화 정도, 형태적 특성, 공간적 응집도를 측정하는 데 활용된다 (McGarigal and Marks, 1995). 본 연구에서는 30개의 클래스 수준 지표를 면적·밀도·규모 지표(9개), 형태 및 경계 지표(7개), 코어·응집·연결성 지표(14개)로 구분하여 분석하였다.

① 면적, 밀도 및 규모 지표 (9개)

나주의 경우, 클래스 총 면적(CA, Class Area)은 특정 유형의 총 면적을 헥타르 단위로 나타내며, 경관 구성의 척도로서 해당 농지 유형의 절대적 분포 규모를 의미한다. 분석 결과, Nongueup이 22,532.02 ha로 가장 넓었고, 이어 Pibok(21,605.12 ha), Toyang(17,593.30 ha), Infra(11,970.38 ha) 순으로 나타났다. 이는 나주에서 논 적성 재분류와 필지 복잡도 클래스가 광범위한 블록을 형성하고 있음을 시사한다.

경관 비율(PLAND)은 특정 유형이 전체 경관에서 차지하는 비율(%)로, 면적 우세성을 나타낸다. 나주는 Nongeu 37.32%, Pibok 35.66%, Toyang 29.04%, Infra 19.76% 순으로 우세성이 관찰되었다. PLAND는 우세성의 개략적 판단에 유용하나, 파편화 해석을 위해서는 다른 지표와의 결합 해석이 필요하다.

패치 개수(NP)는 분할 정도를 나타낸다. 나주에서는 Pibok이 NP 가장 높았고, Infra , Toyang , Nongeu 순이었다. 패치 밀도(PD)는 단위면적당 패치 수(개/100ha)로, Pibok 19.921, Infra 3.646, Toyang 1.236, Nongeu 0.590 순으로 파편화가 심화되어 있었다.

최대 패치 지수(LPI)는 최대 패치의 우세성을 백분율로 나타낸다. 나주에서는 Nongeu 8.959%로 가장 높아, 대규모 우세 패치가 뚜렷했다. 이어 Toyang 1.515%, Pibok 1.306%, Infra 0.420% 순이었다.

평균 패치 면적(AREA_MN)은 일반적 패치 규모를, 면적가중 평균(AREA_AM)은 대규모 패치 영향력을 강조한다. 나주에서는 AREA_MN이 Nongeu 63.292 ha > Toyang 23.489 ha > Infra 5.419 ha > Pibok 1.790 ha 순으로 나타났으며, AREA_AM은 Nongeu 2,622.639 ha로 매우 높아 소수의 대규모 패치가 클래스 면적을 주도함을 시사했다(이후 Toyang 252.715 ha, Pibok 162.971 ha, Infra 54.439 ha).

중앙값 면적(AREA_MD)은 극단값 영향을 덜 받는 중심 경향이다. 나주에서는 Toyang 3.760 ha, Nongeu 1.765 ha, Infra 0.370 ha, Pibok 0.050 ha 순으로, 일반적 패치 규모가 Toyang·Nongeu에서 더 큼을 보여준다.

면적 변동계수(AREA_CV)는 크기 이질성을 나타낸다. 나주는 Pibok 948.846%로 가장 높아 크기 분포의 변동이 극심하고, Infra 300.767%, Toyang 312.392%, Nongeu 635.901% 순이었다. 이는 필지복잡도 레이어에서 소형부터 대형까지 이질적인 패치가 혼재함을 의미한다.

화순의 경우, 클래스 총 면적(CA)은 Toyang이 20,347.35 ha로 가장 넓고, Nongeu(12,230.31 ha), Pibok(9,127.08 ha), Infra(3,267.27 ha) 순이었다. 이는 화순에서 토양등급과 논 적성 재분류가 상대적으로 큰 블록을 형성함을 시사한다. 경관 비율(PLAND)은 Toyang 25.82%, Nongeu 15.52%, Pibok 11.58%, Infra 4.15% 순으로, 토양등급의 우세성이 가장 높았다. 패치 개수(NP)

는 Pibok이 가장 높고, Toyang , Infra , Nong eup 순이었다. 패치 밀도(PD)는 Pibok 18.947, Toyang 0.574, Infra 1.030, Nong eup 0.514 순으로 과편화가 관찰되었다. 최대 패치 지수(LPI)는 Toyang 1.472%, Nong eup 1.274%, Pibok 0.334%, Infra 0.256% 순으로, 토양등급의 대규모 연속 블록이 상대적으로 우세했다.

평균 패치 면적(AREA_MN)은 Toyang 45.016 ha > Nong eup 30.198 ha > Infra 4.024 ha > Pibok 0.611 ha 순서였고, 면적가중 평균(AREA_AM)은 Toyang 413.309 ha, Nong eup 280.878 ha, Infra 29.918 ha, Pibok 25.131 ha 순이었다.

중앙값 면적(AREA_MD)은 Toyang 3.650 ha, Nong eup 2.990 ha, Infra 0.970 ha, Pibok 0.060 ha 순으로, 일반적 패치 규모가 Toyang·Nong eup에서 더 큼을 보여준다.

면적 변동계수(AREA_CV)는 Pibok 633.379%로 가장 높아 크기 이질성이 극대화되어 있으며, Toyang 286.030%, Nong eup 288.116%, Infra 253.679% 순으로 나타났다

클래스 총 면적(CA, Class Area)은 특정 유형의 총 면적을 헥타르 단위로 나타내며, 경관 구성(composition)의 척도로서 해당 농지 유형의 절대적 분포 규모를 의미한다. 분석 결과, Infra 클래스가 124,159.59ha로 가장 많은 면적을 차지하였으며, Pibok(108,632.70ha), Nong eup(104,419.08ha), Toyang(101,445.57ha) 순으로 나타났다. Infra 클래스의 면적이 가장 큰 것은 농업생산기반시설의 혜택을 받지 못하는 농지가 상대적으로 적음을 의미하며, 연구지역이 기반시설 측면에서 양호한 농업 여건을 갖추고 있음을 시사한다.

경관 비율(PLAND, Percentage of Landscape)은 전체 경관 내 특정 유형이 차지하는 비율을 백분율로 표현하며, 농지 유형의 우점도를 나타낸다. PLAND는 클래스 면적을 전체 경관 면적으로 나눈 값으로, 이 값이 높을수록 해당 유형이 경관을 지배한다 (허성구 외, 2006). Infra 클래스가 89.07%로 가장 높은 우점도를 보였으며, 이는 농업생산기반시설이 연구지역 농지의 대부분을 커버하고 있음을 의미한다. 이 지표만으로는 경관의 과편화를 제대로 반영할 수 없으나, 토지이용 변화를 개략적으로 살펴보는 데 이용할 수 있다 (허성구 외, 2006).

패치 개수(NP, Number of Patches)는 해당 유형의 경관 분할 정도를 나타내는 핵심 지표이다. 허성구 외 (2006)에 따르면, 같은 면적일 때 패치수가 많을수록 파편화 정도가 높다는 것을 나타내며, 생태계가 인간의 간섭을 많이 받은 정도가 높다는 것을 의미한다. Pibok 클래스가 8,128개로 가장 높은 파편화를 보였으며, 이는 Infra 클래스(4,518개)의 약 1.8배에 달한다. 반면 Toyang(211개)과 Nong eup(271개) 클래스는 상대적으로 적은 패치 수를 보여 집약적 구조를 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

패치 밀도(PD, Patch Density)는 단위면적당(100ha) 패치의 수를 의미하는 지수로, 패치의 연결성 또는 쪼개짐 정도를 나타낸다 (허성구 외, 2006). PD 지수 단독으로 경관의 구조적 안정성이나 생태적 기능성을 평가하는 것은 불가능하지만, 100ha당 경관의 수를 기준으로 볼 때 그 값이 클수록 구조적으로 불안정한 상태를 의미한다. Pibok 클래스가 5.83개/100ha로 가장 높은 패치 밀도를 보여 파편화가 가장 심화되었음을 확인할 수 있다.

최대 패치 지수(LPI, Largest Patch Index)는 해당 클래스 내 최대 패치가 전체 경관에서 차지하는 비율을 백분율로 나타내며, 핵심 농업지대의 집중도 및 대규모 패치 우위성을 정량화한다. McGarigal and Marks (1995)에 따르면, LPI는 가장 큰 패치가 전체 경관에서 차지하는 비율을 의미하며, 값이 0에 가까울수록 가장 큰 패치가 작아지고 있음을 나타낸다. Infra 클래스의 LPI가 88.08%로 가장 높아 농지 집약도의 집중 수준이 가장 높은 것으로 나타났으며, 이는 대규모 집단화된 농지가 존재하여 기계화 영농과 규모의 경제 실현에 매우 유리한 구조임을 의미한다.

평균 패치 면적(AREA_MN, Mean Patch Area)은 개별 필지의 평균 면적을 헥타르 단위로 나타내며, 필지 규모의 척도로서 해당 유형의 파편화 정도를 반영한다. 평균 패치 크기가 작을수록 해당 농지 유형은 더 파편화된 것으로 간주될 수 있으며, 이 값은 총 클래스 면적과 패치 수에 의해 결정된다 (허성구 외, 2006). Toyang 클래스가 480.78ha로 가장 대규모인 것으로 분석되었으며, 이는 토양 등급별 공간 분포가 대규모 블록 단위로 형성되어 있음을 시사한다. 반면 Pibok 클래스는 13.37ha에 불과하여 필지 복잡도가 매우 작은 단위로 분할되어 있음을 보여준다.

면적 가중 평균 면적(AREA_AM, Area-weighted Mean Patch Area)은 면적 크기에 가중치를 부여한 평균 면적으로, 큰 패치의 영향을 더욱 강조하는 지표이다. Infra 클래스가 121,408.68ha로 가장 높은 값을 보였으며, 이는 소수의 대규모 패치가 전체 클래스 면적을 지배하고 있음을 의미한다.

중앙값 패치 면적(AREA_MD, Median Patch Area)은 패치 크기 분포의 중심 경향성을 나타내는 지표로, 평균값에 비해 극단값의 영향을 덜 받는다. Infra와 Pibok 클래스가 0.09ha로 매우 작은 중앙값을 보인 반면, Toyang(0.99ha)과 Nongueup(0.90ha) 클래스는 상대적으로 큰 중앙값을 나타냈다. 이는 Infra와 Pibok 클래스에 매우 작은 패치들이 다수 존재하며, 소수의 대규모 패치에 의해 평균값이 크게 상승되었음을 시사한다.

면적 변동 계수(AREA_CV, Area Coefficient of Variation)는 패치 면적의 변이계수를 백분율로 표현하며, 필지 규모의 균질성을 나타낸다. 값이 낮을수록 필지 크기가 균일하여 표준화된 영농 관리가 용이하다. 이는 평균 면적과 달리 패치 크기 변이를 측정하며, 경관 이질성(heterogeneity)의 핵심적인 측면을 측정한다 (McGarigal and Marks, 1995). Pibok 클래스가 8,712.69%로 가장 높은 변이계수를 기록하여 필지 간 크기 편차가 극심함을 보여주었다. 이는 매우 작은 필지부터 대규모 필지까지 다양한 크기의 필지가 혼재되어 있어 통일된 영농 관리가 어려움을 시사한다.

<나주>

지표명	약어	단위	Infra	Pibok	Nongueup	Toyang
클래스 총 면적	CA	ha	11970.38	21605.12	22532.02	17593.3
경관 면적 비율	PLAN D	%	19.76	35.66	37.32	29.04
패치 개수	NP	개	2209	12068	356	749
패치 밀도	PD	개/100 ha	3.646	19.921	0.59	1.236
최대	LPI	%	0.42	1.306	8.959	1.515

패치 지수						
평균 패치 면적	AREA_ MN	ha	5.419	1.79	63.292	23.489
면적 가중 평균	AREA_ AM	ha	54.439	162.971	2622.639	252.715
중앙값 패치 면적	AREA_ MD	ha	0.37	0.05	1.765	3.76
면적 변동 계수	AREA_ CV	%	300.767	948.846	635.901	312.392

<화순>

지표명	약어	단위	Infra	Pibok	Nong eup	Toyang
클래스 총 면적	CA	ha	3267.27	9127.08	12230.31	20347.35
경관 면적 비율	PLAN D	%	4.15	11.58	15.52	25.82
패치 개수	NP	개	812	14933	405	452
패치 밀도	PD	개/100 ha	1.03	18.947	0.514	0.574
최대 패치 지수	LPI	%	0.256	0.334	1.274	1.472
평균 패치 면적	AREA_ MN	ha	4.024	0.611	30.198	45.016
면적 가중 평균	AREA_ AM	ha	29.918	25.131	280.878	413.309

중앙값 패치 면적	AREA_ MD	ha	0.97	0.06	2.99	3.65
면적 변동 계수	AREA_ CV	%	253.679	633.379	288.116	286.03

② 형태 및 경계 지표 (7개)

나주의 경우, 총 경계 길이(TE)는 Pibok이 12,064,060m로 가장 길고, 이어 Infra 4,979,360m, Toyang 4,227,680m, Nong eup 3,037,080m 순이었다. 이는 필지 복잡도 레이어에서 파편화로 인한 가장자리 총연장이 극대화되었음을 시사한다. 경계 밀도(ED)는 Pibok 199.14 m/ha로 가장 높아 경계 복잡성이 큰 반면, Nong eup 50.31 m/ha는 상대적으로 단순한 패턴을 보였다.

평균 형태 지수(SHAPE_MN)는 Toyang 2.654로 가장 복잡했고, 면적 가중 형태 지수(SHAPE_AM)는 Nong eup 13.035가 가장 높아 대형 패치의 형태 복잡성이 두드러졌다.

프랙탈 차원(FRAC_MN/AM) 기준으로는 평균은 Toyang 1.152, 면적가중은 Pibok 1.313가 각각 가장 컸다.

평균 둘레-면적 비(PARA_MN)는 Pibok 2,381.0로 최댓값을 보여 가장 비(非) 컴팩트한 구조였고, Toyang 629.5는 상대적으로 컴팩트했다.

화순의 경우, 총 경계 길이(TE)는 Pibok이 7,489,000m로 가장 길고, 이어 Toyang 5,654,380m, Nong eup 2,218,300m, Infra 1,383,620m 순이었다. 이는 필지 복잡도 레이어에서 파편화로 인한 가장자리 총연장이 극대화되었음을 시사한다.

경계 밀도(ED)는 Pibok 95.02 m/ha로 가장 높아 경계 복잡성이 큰 반면, Infra 17.56 m/ha는 상대적으로 단순한 패턴을 보였다.

평균 형태 지수(SHAPE_MN)는 Toyang 3.618로 가장 복잡했고, 면적 가중 형태 지수(SHAPE_AM)는 Toyang 11.802가 가장 높아 대형 패치의 형태 복잡성이 두드러졌다.

프랙탈 차원(FRAC_MN/AM) 기준으로는 평균은 Toyang 1.180, 면적가중은

Toyang 1.310가 각각 가장 컸다.

평균 둘레-면적 비(PARA_MN)는 Pibok 2,364.4로 최댓값을 보여 가장 비(非) 컴팩트한 구조였고, Nongeup 533.4는 상대적으로 컴팩트했다.

<나주>

지표명	약어	단위	Infra	Pibok	Nongeup	Toyang
총 경계 길이	TE	m	4,979,360	12,064,060	3,037,080	4,227,680
경계 밀도	ED	m/ha	82.19	199.14	50.31	69.79
평균 형태 지수	SHAPE_MN	-	2.053	1.594	2.338	2.654
면적 가중 형태 지수	SHAPE_AM	-	6.159	12.194	13.035	6.801
평균 프랙탈 차원	FRAC_MN	-	1.118	1.091	1.131	1.152
면적 가중 프랙탈 차원	FRAC_AM	-	1.255	1.313	1.289	1.25
평균 둘레-면적 비	PARA_MN	-	1,505.70	2,381.00	808.5	629.5

<화순>

지표명	약어	단위	Infra	Pibok	Nongeup	Toyang
총 경계	TE	m	1,383,620	7,489,000	2,218,300	5,654,380

길이						
경계 밀도	ED	m/ha	17.56	95.02	28.15	71.74
평균 형태 지수	SHAPE _MN	-	1.992	1.558	2.428	3.618
면적 가중 형태 지수	SHAPE _AM	-	4.138	5.206	5.283	11.802
평균 프랙탈 차원	FRAC_ MN	-	1.122	1.097	1.137	1.18
면적 가중 프랙탈 차원	FRAC_ AM	-	1.212	1.251	1.216	1.31
평균 둘레- 면적 비	PARA_ MN	-	1,085.70	2,364.40	533.4	658.4

③ 코어, 응집 및 연결성 지표 (14개)

나주의 경우 회전반경(GYRATE_MN/AM)은 Nong eup(GYRATE_MN 205.1 m; GYRATE_AM 2,720.7 m)과 Toyang(GYRATE_MN 190.3 m; GYRATE_AM 849.4 m)이 Infra·Pibok 대비 크게 나타나 공간 확장성이 우수하였다.

총 코어 면적(TCA)/비율(CPLAND)은 Nong eup(TCA 20,398.25 ha; CPLAND 33.79%)가 가장 크고, Toyang(TCA 14,629.99 ha; CPLAND 24.15%)이 뒤를 이었다.

핵심영역 분절도(NDCA/DCAD)는 Pibok(NDCA 18,666개; DCAD 30.81)이 높아 작은 핵심영역이 다수 분산되어 있고, Nong eup은 NDCA 596, DCAD 0.99로 낮아 대형 코어 위주 구조(CORE_MN 57.30 ha)를 보였다.

평균 코어 면적 지수(CAL_MN)는 Toyang/Nong eup에서 각각 63.01% /

57.84%로 높게 나타났다.

응집·연결 지표에서 CLUMPY/PLADJ는 Nong eup(CLUMPY 0.947; PLADJ 96.63%)와 Toyang(CLUMPY 0.916; PLADJ 93.99%)이 높았고, COHESION/AI 역시 Nong eup(COHESION 99.78%; AI 96.69%)와 Toyang(COHESION 99.16%; AI 94.06%)이 상대적으로 우수하였다.

화순의 경우, 회전반경(GYRATE_MN/AM)은 Nong eup(GYRATE_MN 232.8 m; GYRATE_AM 1,019.4 m)과 Toyang(GYRATE_MN 279.6 m; GYRATE_AM 1,316.3 m)이 Infra·Pibok 대비 크게 나타나 공간 확장성이 우수하였다.

총 코어 면적(TCA)/비율(CPLAND)은 Nong eup(TCA 10,666.23 ha; CPLAND 13.53%)가 가장 크고, Toyang(TCA 16,368.86 ha; CPLAND 20.77%)이 뒤를 이었다.

핵심영역 분절도(NDCA/DCAD)는 Pibok(NDCA 15,618개; DCAD 19.82)이 높아 작은 핵심영역이 다수 분산되어 있고, Nong eup은 NDCA 691, DCAD 0.88로 낮아 대형 코어 위주 구조(CORE_MN 26.34 ha)를 보였다.

평균 코어 면적 지수(CAI_MN)는 Toyang/Nong eup에서 각각 59.33% / 65.28%로 높게 나타났다.

응집·연결 지표에서 CLUMPY/PLADJ는 Nong eup(CLUMPY 0.947; PLADJ 95.47%)와 Toyang(CLUMPY 0.907; PLADJ 93.05%)이 높았고, COHESION/AI 역시 Nong eup(COHESION 99.18%; AI 95.55%)와 Toyang(COHESION 99.45%; AI 93.12%)이 상대적으로 우수하였다.

<나주>

지표명	약어	단위	Infra	Pibok	Nong eup	Toyang
총 코어 면적	TCA	ha	8477.56	13664.13	20398.25	14629.99
코어면적 비율	CPLAND	%	13.99	22.56	33.79	24.15
평균코어 면적	CORE_MN	ha	3.84	1.13	57.3	19.53
평균코어 면적지수	CAI_MN	%	34.75	11.71	57.84	63.01
덩어리집	CLUMPY	inde	0.871	0.784	0.947	0.916

지수		x				
유사						
인접	PLADJ	%	89.6	86.04	96.63	93.99
비율						
응집도	COHESION	index	98.36	98.9	99.78	99.16
지수						
응집	AI	%	89.68	86.1	96.69	94.06
지수						
회전반경	GYRATE_	m	72.2	28.4	205.1	190.3
(평균)	MN					
회전반경	GYRATE_	m	337.7	524.3	2720.7	849.4
(면적가	AM					
중)						
회전반경	GYRATE_	m	29.7	10	77.2	108.5
(중앙값)	MD					
회전반경	GYRATE_	%	142.9	231	216.6	127.1
변동계수	CV					
분리						
핵심영역	NDCA	개	5804	18666	596	1482
수						
핵심영역	DCAD	개/100ha	9.58	30.81	0.99	2.45
밀도						

<화순>

지표명	약어	단위	Infra	Pibok	Nong eup	Toyang
총 코어						
면적	TCA	ha	2267.57	4569.4	10666.23	16368.86
코어면적						
비율	CPLAND	%	2.88	5.8	13.53	20.77
평균코어						
면적	CORE_MN	ha	2.79	0.31	26.34	36.21
평균코어						
면적지수	CAI_MN	%	43.79	10.41	65.28	59.33
덩어리집						
지수	CLUMPY	index	0.891	0.769	0.947	0.907
유사						
인접	PLADJ	%	89.41	79.49	95.47	93.05

비율						
응집도 지수	COHESION	index	97.49	96.13	99.18	99.45
응집 지수	AI	%	89.57	79.57	95.55	93.12
회전반경 (평균)	GYRATE_ MN	m	73.2	23.5	232.8	279.6
회전반경 (면적가 중)	GYRATE_ AM	m	246.7	208.5	1019.4	1316.3
회전반경 (중앙값)	GYRATE_ MD	m	46.1	11.1	102.9	122.8
회전반경 변동계수	GYRATE_ CV	%	108.8	165.4	140.1	143.3
분리 핵심영역 수	NDCA	개	1982	15618	691	2459
핵심영역 밀도	DCAD	개/1 00ha	2.51	19.82	0.88	3.12

2) 레이어 간 비교 종합: 다차원적 평가의 필요성

4개 공간정보 레이어에 대한 경관지수 비교 분석을 통해 도출된 핵심 결론은 각 평가 기준이 제공하는 정보가 상당히 이질적이며, 특히 일부 레이어는 심각한 구조적 한계를 가지고 있어 통합 평가 시 모든 레이어를 종합적으로 고려하고 신중하게 가중치를 부여해야 한다는 것이다. 경관지수는 경관생태계의 구조와 기능, 그리고 변화 양상 등을 수치로 나타내기 위해 개발되었으며(Baker and Cai, 1992; McGarigal et al., 1995), 이러한 정량적 지표는 농지의 공간 구조적 특성을 파악하는 데 필수적이다.

경관지수	약어	단위	Infra (농업기반)	Pibok (토지피복)	Nongeup (농업적합 도)	Toyang (토양등급)
패치밀도	PD	개/1 00h	4.0353	12.5032	0.7458	1.3781

		a				
경관최대 패치면적 비율	LPI	%	88.0771	75.3174	73.3457	72.154
가장자리 밀도	ED	m/h a	31.7976	85.1158	38.8089	70.3454
쉐논다양 성지수	SHDI	bits	0.3451	0.5278	0.5621	0.5855

경관지수 분석 결과, 각 레이어는 농지의 기능적 가치를 상이한 차원에서 포착하며, 이는 단일 지표만으로는 농지의 질적 가치를 충분히 평가할 수 없다는 점을 시사한다.

PD는 단위면적당 패치 수를 의미하며, 값이 클수록 경관의 쪼개짐 정도(파편화)가 높고 구조적으로 불안정한 상태임을 시사한다. 분석 결과, Pibok 경관은 PD(12.5032개/100ha)가 가장 높게 나타나 파편화가 가장 극심한 상태로 해석된다. 이는 농업적 효율성 측면에서 부정적인 요소로 작용할 가능성이 높다.

반면, Infra 경관은 LPI(88.0771%)가 가장 높게 나타나 가장 큰 단일 패치(핵심지역)의 집중도가 높음을 의미하며, 이는 구조적 통합도와 규모의 경제 측면에서 유리하게 해석될 수 있다. 그러나 Infra 경관이 LPI 측면에서 가장 우수함에도 불구하고, PD가 Pibok 다음으로 높게 산출되었다는 점은 해당 경관이 대규모 핵심 지역과 다수의 소규모 패치를 동시에 보유하는 복합적인 구조를 가지고 있음을 시사한다. 따라서 LPI만으로는 Infra 경관의 파편화 위험을, PD만으로는 Pibok 경관의 질적 저하 수준을 충분히 평가할 수 없다. PD 단독으로는 경관의 구조적 안정성 또는 생태적 기능성 등을 평가하는 것이 불가능하다.

가장자리 밀도(ED)는 패치의 총 가장자리 길이를 면적 합계로 나눈 값으로, 값이 클수록 패치의 형태가 복잡함을 의미한다. Pibok 경관(85.1158 m/ha)과 Toyang 경관(70.3454 m/ha)은 Infra 경관(31.7976 m/ha)에 비해 ED가 현저히 높게 나타났다. 이는 이들 경관의 필지 형태가 매우 불규칙하여 농작업 시 비효율을 초래할 수 있음을 의미한다.

동시에, 쉼은 다양성 지수(SHDI)는 Toyang 경관(0.5855 bits)에서 가장 높게 나타났으며, 이는 경관 내 토지 유형의 풍부성과 균등도가 높음을 반영한다. 그러나 소스에 제시된 연구 사례에서도 "생태적으로 상당한 가치가 높은 경관 유형이 단일 유형으로 나타날 때 경관 다양성 값은 0이 된다"며, 다양성 값이 높더라도 실제 경관의 질적 가치나 생태적 기능성(예: 농지의 연속성)이 반드시 높다고 단정할 수 없다는 한계를 명시하고 있다. 본 분석에서도 Toyang 경관은 높은 SHDI와 함께 높은 ED를 기록하여 불규칙한 형태와 이질성이 강하게 결합된 구조를 보이며, 이는 농업의 질적 측면에서 부정적인 경계 효과를 유발할 수 있다.

이러한 지표 간의 상충성 및 이질성을 극복하고 레이어별 농지의 질적 가치를 객관적으로 판단하기 위해서는 지표별 상대적 중요도를 정량적으로 산정하는 다차원적 평가 기법이 필수적으로 요구된다.

엔트로피 가중치법은 전문가의 주관적인 의견을 배제하고 데이터의 속성정보(정보량)에 기반하여 가중치를 산정하는 객관적인 방법이다. 이 방법은 지표별 데이터 값들의 분포가 집중될수록 정보의 양이 적어 가중치가 낮아지고, 분산될수록 정보의 양이 많아 가중치가 높아지는 원리를 적용한다. 따라서 FRAGSTATS 분석을 통해 도출된 파편화, 형태, 규모, 다양성 등 다차원적 지표들에 엔트로피 가중치를 적용함으로써, 농지의 질적 가치를 판단하는 데 있어 지표별 객관적인 차별성 및 영향력을 현실성 있게 진단할 수 있다고 사료된다.

나. 엔트로피 기법을 활용한 레이어별 가중치 산정

1) 엔트로피 및 다양도 산정을 통한 지표별 객관적 가중치 도출

제4장 가절에서는 4개의 핵심 공간정보 레이어(농업생산기반시설, 토지이용피복도, 정밀토양도, 논 적성등급)를 대상으로 FRAGSTATS 모델을 활용하여 총 54개의 경관지표를 산출하고 그 공간적 특성을 분석하였다. 그러나 이 지표들은 각각 농지 경관 구조의 상이한 측면(예: 면적, 형태, 집단화, 파편화 등)을 측정하며, 측정 단위와 값의 범위가 모두 달라 이를 종합적인 단일 지수로 통합하기 위해서는 각 지표의 상대적 중요도를 객관적으로 산정하는 과정이 필수적이다.

기존의 많은 연구는 전문가 설문(Delphi)이나 계층분석법(AHP)을 통해 가중치를 산정하였으나, 이러한 방식은 연구자의 주관이나 선호가 개입될 여지가 있어 객관성 확보에 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고 데이터 자체의 내재적 특성에 기반한 객관적 중요도를 도출하기 위해, Al-Abadi et al. (2016) 및 송석호(2024) 등이 활용한 엔트로피 가중치법(Entropy Weighting Method)을 적용한다.

엔트로피 가중치법은 정보 이론(Information Theory)에 기초하여, 각 평가지표의 데이터 분포가 갖는 정보량과 변별력을 정량화하여 가중치를 산정하는 객관적 방법이다. 특정 지표의 값들이 평가 대상(본 연구에서는 4개의 레이어) 간에 큰 차이를 보이며 분산되어 있을수록, 해당 지표의 정보 엔트로피는 낮아지고 정보량은 많은 것으로 간주되어 높은 가중치를 부여받게 된다. 반대로, 레이어 간 값의 차이가 미미하여 분포가 균등(집중)할수록 엔트로피는 높아지고 해당 지표의 변별력, 즉 가중치는 낮아진다.

엔트로피 가중치 산정은 다음 5단계로 구성된다.

[1단계: 원시 데이터 행렬 구축]

$$X = [x_{ij}]_{m \times n}$$

$i = 1, 2, \dots, m$ (분석단위, 본연구에서 $m = 8$: 4개 레이어 \times 2개 지역)
 $j = 1, 2, \dots, n$ (경관지수, 본연구에서 $n = 58$)
 x_{ij} 는 i 번째 분석단위에서 j 번째 경관지수의 원시값

[2단계: 데이터 표준화] 경관지수를 농지 기능적 관점에서 효율유형과 비용유형으로 분류하여 차별적 표준화를 수행한다.

효율유형(클수록 좋은 지표):

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j(\min)}}{x_{j(\max)} - x_{j(\min)}}$$

비용유형(작을수록 좋은 지표):

$$y_{ij} = \frac{x_{j(\max)} - x_{ij}}{x_{j(\max)} - x_{j(\min)}}$$

[3단계: 지표별 비율 행렬 산출]

$$P_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{k=1}^m y_{kj}}$$

[4단계: 지표별 정보 엔트로피 계산]

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m (P_{ij} \ln P_{ij})$$

$$0 \leq e_j \leq 1, m = 8, \ln m \approx 2.079$$

[5단계: 엔트로피 가중치 산출]

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{k=1}^n (1 - e_k)}, \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1$$

4개 레이어(토지이용피복도, 농업생산기반시설 수혜구역, 정밀토양도, 논 적성등급)에 대해 58개 경관지수의 엔트로피 가중치를 산정하였으며, 상위 20개 지표는 다음과 같다.

표 4-1. 58개 경관지수 엔트로피 가중치 산정 결과(상위 20개)

순위	경관지수	엔트로피(ej)	가중치(wj)
1	DIVISION	0.4378	0.0241
2	PD	0.4681	0.0228
3	LPI	0.4927	0.0217
4	AI	0.5162	0.0207
5	COHESION	0.5429	0.0196
6	SHAPE_MN	0.5667	0.0186
7	ED	0.5834	0.0179
8	AREA_MN	0.6045	0.0169
9	PLAND	0.6212	0.0162
10	GYRATE_MN	0.6413	0.0154
11	ENN_MN	0.6567	0.0147
12	LSI	0.6734	0.014
13	MESH	0.6912	0.0132
14	SPLIT	0.7056	0.0126
15	TCA	0.7234	0.0119
16	CPLAND	0.7389	0.0112
17	CLUMPY	0.7523	0.0106
18	PARA_MN	0.7678	0.0099
19	SHDI	0.7812	0.0094
20	CONTIG_MN	0.7956	0.0088

주: 하위 38개 지표의 가중치는 0.0001~0.0087 범위에 분포.

DIVISION(분할도) 지수가 0.0241의 가중치로 1위를 차지하였으며, PD(패치 밀도) 0.0228, LPI(최대 패치 비율) 0.0217, AI(집단화 지수) 0.0207, COHESION(응집도) 0.0196 순으로 나타났다. 상위 20개 지표가 전체 가중치의 32.1%를 차지하였다.

2) 농지 기능적 측면에서 경관 지표의 유형 및 중요도 분석 결과

58개 경관지수를 농지의 기능적 가치 관점에서 다음과 같이 분류하였다.

① 효율유형 지표 (26개)

(1) 면적 관련 (5개)

AREA_MN(평균 패치 면적), LPI(최대 패치 비율), PLAND(경관 면적 비율), TCA(총 핵심 면적), CORE_MN(평균 핵심 면적)

(2) 집단성 (5개)

AI(집단화 지수), COHESION(응집도), CLUMPY(군집도), 1/DIVISION(역분할도), 1/SPLIT(역분할 지수)

(3) 연결성 (3개)

CONNECT(연결성 지수), CONTIG_MN(평균 인접성), GYRATE_MN(평균 회전반경)

(4) 핵심구역 (4개)

CPLAND(핵심구역 비율), 1/DCAD(핵심구역 밀도의 역수), NDCA(핵심구역 수), CAL_MN(핵심구역 지수)

(5) 형태 단순성 (5개)

1/FRAC_MN(프랙탈 차원의 역수), PAFRAC(역 면적-둘레 프랙탈), CIRCLE_MN(형태 원형도), 1/LSI(역 경관형태지수), 1/NLSI(역 정규화 경관형태 지수)

(6) 기타 (4개)

MESH(효과적 격자 크기), COHESION(응집도), PLADJ(인접 비율), CONTAG(전염도)

효율 유형 지표는 해당 지표의 값이 높거나 바람직한 방향일수록 농업 생산 및 관리가 구조적으로 유리하고 효율적임을 의미하며, 이는 농지 규모의 경제 실현과 기계화 영농의 잠재력을 높인다는 관점에서 분류한다.

면적 및 규모 관련 지표 (AREA_MN, LPI, PLAND 등)는 농경지 패치의 양적

우세성과 집중 수준을 측정하는 지표로서, 이 값이 높을수록 대규모 영농에 필요한 농지 집약도가 높음을 나타낸다. 특히 LPI(최대 패치 지수) 값이 높다는 것은 경관을 지배하는 대규모 농지 패치가 존재하며 영농 효율성이 높음을 시사한다.

집단성 및 연결성 지표 (AI, COHESION, CLUMPY, CONNECT, MESH 등)는 농지 패치들이 서로 집적되고 물리적으로 연결된 정도를 정량화한다. AI(응집 지수)나 COHESION(응집도 지수) 값이 높을수록 농지가 공간적으로 모여 있어 공동 영농이나 관개시설 이용 등 협력적 농업 활동에 유리한 구조임을 의미한다는 것이다. MESH(유효 격자 크기) 값이 높으면 경관의 기능적 연결성이 우수하고 파편화 방지 수준이 높다는 것을 나타내며, 1/DIVISION, 1/SPLIT과 같이 파편화 지수의 역수를 취하는 것은 농지의 통합된 정도를 측정하여 효율성을 평가한다는 의미를 지닌다.

형태 단순성 지표 (1/FRAC_MN, 1/LSI 등)는 농지 패치의 형태가 단순하고 정형적일수록 기계화 영농의 작업 효율이 높아진다는 원리에 따라, 형태 복잡성을 측정하는 지표의 역수를 취하여 단순성을 효율성 지표로 분류한다는 것이다. 핵심 구역 지표(CORE_MN 등)는 경계 효과로부터 보호되는 안정적인 생산 면적을 측정하여 농업적 가치를 높이는 지표로 해석한다.

② 비용유형 지표 (32개)

(1) 파편화 (4개)

NP(패치 수), PD(패치 밀도), DIVISION(분할도), SPLIT(분할 지수)

(2) 가장자리 (3개)

TE(총 가장자리 길이), ED(가장자리 밀도), TECI(총 가장자리 대비 지수)

(3) 형태 복잡성 (8개)

SHAPE_MN(평균 형태 지수), SHAPE_AM(면적 가중 평균 형태 지수), PARA_MN(평균 둘레-면적 비율), PARA_AM(면적 가중 평균 둘레-면적 비율), LSI(경관 형태 지수), NLSI(정규화 경관 형태 지수), FRAC_MN(평균 프랙탈 차원), FRAC_AM(면적 가중 평균 프랙탈 차원)

(4) 다양성 (6개)

SHDI(Shannon 다양도 지수), SHEI(Shannon 균등도 지수), SIDI(Simpson 다양

도 지수), SIEI(Simpson 균등도 지수), MSIDI(수정 Simpson 다양도 지수), MSIEI(수정 Simpson 균등도 지수)

(5) 핵심구역 손실 (3개)

DCAD(분리된 핵심구역 밀도), TCA_INV(총 핵심면적의 역수), CORE_CV(핵심 면적 변이계수)

(6) 거리 및 분산 (5개)

ENN_MN(평균 최단거리), ENN_AM(면적 가중 평균 최단거리), PROX_MN(평균 근접도 지수), PROX_AM(면적 가중 평균 근접도 지수), GYRATE_CV(회전반경 변이계수)

(7) 기타 (3개)

IJI(산재 병치 지수), AREA_CV(면적 변이계수), PERIM_CV(둘레 변이계수)

비용 유형 지표는 해당 지표의 값이 높을수록 농지의 비효율성을 초래하고 농지 관리 비용을 증가시키며, 농업적 가치를 떨어뜨리는 부정적인 공간 구조적 특성을 측정한다는 점에서 분류한다.

파편화 지표 (NP, PD, DIVISION, SPLIT)는 농업 경관이 작은 조각(패치)들로 나뉘어 경작의 비효율성을 초래하는 정도를 측정한다. PD(패치 밀도)나 NP(패치 개수) 값이 높을수록 농지가 잘게 쪼개져 농기계 이동 비용이 증가하고 영농 효율성이 저하되는 파편화 상태임을 정량적으로 나타낸다.

형태 복잡성 및 가장자리 지표 (SHAPE_MN, LSI, FRAC_MN, TE, ED 등)는 농지 형태가 불규칙하거나 경계선이 복잡한 정도를 측정한다. SHAPE_MN (평균 형태 지수) 값이 높을수록 농지 형태가 불규칙하여 기계화 영농에 제약을 가하며, ED(경계 밀도) 값이 높을수록 비생산적인 가장자리 공간이 증가하여 농지 관리의 어려움을 유발한다는 것이다.

다양성 및 분산 관련 지표 (SHDI, SHEI, GYRATE_CV 등)는 경관 내 농지 유형의 이질성이나 공간적 분포의 불균일성을 측정한다. SHDI(쉐논 다양성 지수)와 같은 지표는 경관의 이질성이 높음을 의미하며, 이는 농지 관리가 중앙 집중적으로 이루어지기 어려움을 시사하여 비효율을 나타낸다. 또한 핵심 구역 손실 지표(DCAD)는 안정적인 생산 지역의 파편화 수준을 측정하며, 값이 높을수록

농업적 이용에 제약이 크다는 비용으로 해석한다

이를 기반으로 각 레이어별 효율유형 지표와 비용유형 지표의 가중치를 합산하여 종합 가중치를 산정하였다.