

Global Report

그린 어바니즘 원리에 기초한 지속가능한 도시 공간 개발 평가 시스템 - 중국 친바 산간지역 기반의 사례 연구

1. 서론
2. 최신 기술
3. 방법론
4. 결과 분석 및 논의
5. 결론

1. 서론

전 세계적으로 생태 환경의 악화는 20세기 이후 인간 정주지 건설에 큰 걸림돌이 되었다. 급속한 도시화와 도시 확장에 따른 인구의 증가로 인간 활동과 생태 환경 간의 대립이 점차 더 부각되어왔다. 도시 개발은 자원 및 에너지 소비 증가, 생물 다양성 감소, 임계치에 다다른 환경 오염, 사회-경제적 이익 증가와 생태 환경적 이익 증가 사이의 부조화, 도시의 물질적 공간 개발과 도시 기능 사이의 모순된 조합 등과 같은 다양한 문제들을 야기 시켰다.

세계적인 소비 측면에서 중국 도시들의 1차 에너지 소비 비율은 2000년 11%에서 2010년 20.3%로 증가했다. 이는 전 세계 에너지 소비 증가량의 53%를 차지했다¹⁾. 2012년에 개최된 지속가능한 개발 컨퍼런스에서는 환경 보호를 비용이 훨씬 적게 들고 환경 영향이 적으며 높은 창의성과 혁신 능력이 결합된, 새로운 개발 방식이자 지속가능한 개발을 위한 중요한 지원 메커니즘으로 간주했다. 이 컨퍼런스의 경제 회계보고서에서 자연 자본과 생태 서비스 가치들의 평가가 제안되었다²⁾. 지속가능한 개발 요인들과 도시 공간 요소들은 서로 다르다. 게다가 도시 개발의 지속가능성을 위한 평가 시스템들은 일반적으로 도시 공간 건설과 관련된 지표들이 부족해서 도시 공간 개발 평가에 한계가 있다. 예를 들어서 도시-농촌 생태 공간의 협력, 도시 정주지 건설, 토지 자원 보호, 녹색 건물, 그리고 녹색 개발 공동체 등의 평가 지표들이 부족하다. 게다가 전통적인 평가 시스템은 경제적으로 개발이 미진한 도시 공간 개발 평가에 적용하기 어렵다. 도시 개발 계획은 도시 공간 개발을 위한 고도의 지속 가능성과 접목되어야 하므로 도시 공간 개발을 합리적으로 지향하고 정량화하기 위한 일련의 과학적이고 합리적인 평가를 요구한다. 하지만 도시 공간 개발의 지속 가능성은 도시 환경, 도시 경제, 도시 토지, 도시 개발 정책 등과 같은 많은 복잡한 요소들을 포함한다³⁾.

도시 공간 개발 평가 시스템의 한계는 주로 두 가지 측면에서 비롯된다. 첫 번째 측면은 평가 대상에 관한 것으로 복잡한 도시 시스템에는 환경, 경제, 사회 및 기타 요인들이 포함된다. 사물들을 포용하는 지대로서 도시 공간은 개발 및 건설 과정에서 불확실성을 다양한 요인들과 직면한다. 두 번째 측면은 지속가능한 개발 평가 전문가에 관한 것으로 과거에는 경제학자들이 주요 평가자였으나 이들은 도시 공간 건설에 대한 완벽한 전문 지식과 복잡하고 이질적인 도시 공간들에 대한 관리 경험이 부족했다. 이에 평가자들은 잘못된 결정을 내리거나 부정확한 평가를 하게 되어 불완전한 평가 결과들을 초래할 수 있었다. DFSR (Driving Force-State-Response; 추진력-상태-반응) 모델은 지속가능한 개발을 위한 포괄적인 평가 시스템을 실현하는데 적용될 수 있다⁴⁾. DFSR 모델의 주요 지표들은 총 4가지로 사회, 경제, 환경 및 제도적 지표들을 다루지만 이 모델에서 사회적 지표와 경제적 지표 간의 인과 관계가 명확하지 않다. "추진력(Driving Force) 지표들"와 "상태(State) 지표들"의 모호한 분류는 정보 누락을 야기하므로 평가 결과의 합리성과 정확성에 영향을 미친다. 이 연구에서는 경제 상태가 열악하지만 생태 자원이 풍부한 지역의 지속가능한 도시 공간 개발 평가 시스템의 지표들을 협업 평가 정보의 체계적 결합 분석과 정량 분석을 통해 순차적으로 정리하였다. 생성된 데이터를 기반으로 완벽한 정보 집합을 가진 지속가능한 도시 공간 개발 평가 시스템을 제안하였다.

2. 최신 기술

도시 공간 개발을 위한 지속가능성 평가 모델은 녹색 도시 개발 공간에 초점을 맞춘 모델과 “정원 도시” 및 “생태 도시”⁵⁾⁶⁾⁷⁾의 개념을 결합함으로써 보완되고 확장되었다. 선(Searn)⁸⁾은 미국 덴버의 사례

1) The BP Group. BP Statistical Review of World Energy; BP: London, UK, 2011.

2) Pushpam, K. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations; UNEP/Earth print: Nairobi, Kenya, 2012.

3) Bogadi, A. The prospects for ecosystem services provision in fragile states' urban areas. Teh. Glas. 2018, 12, 44-49.

4) United Nations. Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies; United Nations: New York, NY, USA, 1996.

연구를 통해 녹색 도시 공간의 지속 가능한 개발은 자연 환경에 기반한 경제, 감정(appreciation) 및 사회적 혜택을 통합한 개발 방식으로 기존의 생태 자원을 완벽하게 합리적으로 사용하는 방식이라고 주장하였다. 홍수, 기후 변화, 보다 광범위한 지속가능성 목표들과 관련된 위험 요소들을 다루기 위해 몇몇 학자들은 도시 공간의 시너지 효과를 극대화하기 위해 이러한 위험 요소들과 취약성 사이에 잠재적인 균형을 유지시킬 것을 제안했다⁹⁾¹⁰⁾. 도시 개발 평가 연구는 거주 적정 도시 평가¹¹⁾, 생태 도시 건설 평가¹²⁾¹³⁾, 저탄소 도시 평가¹⁴⁾¹⁵⁾, 산림 도시 평가¹⁶⁾를 다룬다. 이러한 평가 모델들은 주로 표준 분석의 형식을 취하여 경험적 데이터와 정량적 평가 방법들의 활용이 부족하다. 전술한 격차들을 바탕으로 학자들은 도시 개발을 위한 정량적 평가 기준들을 도입했다. 이코노미스트 인텔리전트 유닛(Economist Intelligence Unit)¹⁷⁾이 환경 건강성, 자원 절약, 저탄소 개발, 거주성 등을 다루는 녹색 도시 지표 체계 구축에 사용되었다. 리차드슨 등¹⁸⁾은 미국 49개 대도시의 토지 이용 자료를 이용하여 녹색 개발 수준을 측정하고 녹색 개발 수준과 심장병, 당뇨병, 폐암 발생률과의 관계를 검증하였다. 저탄소 기술과 인터넷 기술의 발전으로 스탠포드 대학¹⁹⁾은 정량적 평가를 기반으로 도시의 탄소 배출량을 줄이는 수단으로 “스마트 그린 시티(mart green cities)”라는 프로젝트를 시작했다. 일부 학자들은 기업과 사회의 지속가능성을 평가하기도 했다²⁰⁾. 전술한 지표 체계들은 주로 지속가능한 도시 개발 평가에 대한 독립된 연구였지만 도시 공간과 도시 개발 간의 관계에 대한 심층 분석이 부족했다. 유엔의 지속가능한 개발위원회(The United Nations Commission on Sustainable Development)는 평가 지표들 중에서 4가지 측면(사회, 경제, 환경, 제도적 지표들)을 다룰 수 있는 포괄적인 지속가능한 개발 평가 시스템을 제안하였

-
- 5) Badiu, D.L.; Loja, C.; Patrorscu, M.; Breuste, J.; Artmann, M.; Nita, M.R.; Gradinaru, S.R.; Hossu, C.A.; Onose, D.A. Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities' sustainability goals? Romania as a case study. *Ecol. Indic.* 2016, 70, 53-66.
 - 6) Kuai, P.; Li, W.; Cheng, R.; Cheng, G. An application of system dynamics for evaluating planning alternatives to guide a green industrial transformation in a resource-based city. *J. Clean. Prod.* 2015, 104, 403-412.
 - 7) Wolch, J.R.; Byrne, J.; Newell, J.P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landsc. Urban Plan.* 2014, 125, 234-244.
 - 8) Searn, M. The evolution of greenways as an adaptive urban landscape form. *Landsc. Urban Plan.* 1995, 33, 1-3.
 - 9) Shirvani Dastgerdi, A.; Sargolini, M.; Broussard Allred, S.; Chatrchyan, A.; De Luca, G. Climate Change and Sustaining Heritage Resources: A Framework for Boosting Cultural and Natural Heritage Conservation in Central Italy. *Climate* 2020, 8, 26.
 - 10) Dastgerdi, A.S.; Sargolini, M.; Pierantoni, I. Climate Change Challenges to Existing Cultural Heritage Policy. *Sustainability* 2019, 11, 5227.
 - 11) Wang, Y.Q. The Path Selection of Urban Green Development in China. *J. Hebei Univ. Econ. Trade* 2014, 3, 51-53.
 - 12) Shi, M.J.; Liu, Y.Y. Urban Green Development: An International Comparison and Perspective of Problems. *Urban Dev. Stud.* 2013, 5, 140-145.
 - 13) Zheng, C.D.; Ma, K.; Su, J.R. Assessment of Ecological and Livable City Based on the Satisfaction of the Residents. *Stat. Decis.* 2014, 5, 64-66.
 - 14) Matthew, K.E. *Green Cities: Urban Growth and the Environment*; Brookings Institution: London, UK, 2006.
 - 15) Wang, Y.X.; Liang, J.Y. The Evaluation Model of Eco-city: Construction and Application. *Econ. Probl.* 2011, 10, 126-129.
 - 16) Li, T. Research on Fuzzy Mathematics Evaluation of Urban Low Carbon Economy. *Chin. J. Manag. Sci.* 2015, 23, 744-748.
 - 17) Economic Intelligence Unit. *Asian Green City Index: Assessing the Environmental Performance of Asia's Major Cities*; Siemens AG: London, UK, 2011.
 - 18) Richardson, E.A.; Mitchell, R.; Hartig, T.; de Vries, S.; Astell-Burt, T.; Frumkin, H. Green cities and health: A question of scale? *J. Epidemiol. Community Health* 2012, 66, 160-165.
 - 19) Lee, J.H.; Hancock, M. Toward a framework for smart cities: A comparison of Seoul, San Francisco and Amsterdam. In *Proceedings of the Smart Green Cities Conference on Innovations for Smart Green Cities: What's Working, What's Not, What's Next*, Stanford Business School, Palo Alto, CA, USA, 26-27 June 2012.
 - 20) William, E.S.; Lucianetti, L. Machiavellianism, stakeholder orientation, and support for sustainability reporting. *Bus. Ethics Eur. Rev.* 2018, 27, 272-285.

다. 이 시스템은 압력 상태 반응(PSR; Pressure State Response) 모델을 계승하여 지속가능한 개발 요구에 따라 “압력”이라는 단어를 “추진력(Driving Force)”으로 바꾸어 DFPSR 모델을 구성했다. 이 지표는 경제 및 사회적 조건에 대한 인간 활동이나 정책들의 역할을 반영했다. 이 시스템은 환경에 대한 압력과 환경 파괴 사이의 인과 관계를 강조하여 환경 목표들 간의 관계를 아주 밀접하게 만들었다. 하지만 사회 지표와 경제 지표의 인과 관계는 명확하지 않았다. “추진력 지표들”과 “상태 지표들”의 분류도 모호했다. 예를 들어, 지속가능한 개발 정책의 지표는 분명한 추진력이지만, 빈곤 퇴치와 소비 패턴 변화의 지표들은 추진력 지표인지 상태 지표인지 이해하기 어렵게 만들어졌다. 이러한 격차들은 정보의 누락을 야기할 수 있고, 평가 결과의 합리성과 정확성에 영향을 미칠 수 있다. 2010년에 중국 경제 모니터링 분석 센터(China Economic Monitoring and Analysis Center)는 경제 성장의 녹색화, 자원 환경의 잠재력 유지, 정부 정책을 통한 지원 확보의 관점에서 녹색 개발 모니터링 지표 시스템과 지표 측정 방법을 개발하였다²¹⁾. 이 시스템은 기존의 중국 녹색 개발 지표를 만드는 데 도움이 되었다. 이 지표 시스템은 대기질 평가를 포함하여 지속가능한 도시 개발 분야에서 특별한 관심을 가져야 하는 특성 지표들을 강조한다. 특정 지표 유형들의 선택은 자원 환경의 잠재력 유지가 도시 개발에 미치는 중요성을 강조한다. 중국의 학자들은 또한 난징시의 녹색 도시 건설을 위한 평가 지표 시스템²²⁾, 샤먼시의 지속가능한 도시 건설을 위한 평가 지표들²³⁾, 푸젠성의 도시 개발 상황과 종합적 효과 평가²⁴⁾, 베이징의 도시 녹색 생산, 녹색 소비, 생태 환경의 지속가능한 개발 목표 시스템²⁵⁾을 포함한, 전형적인 도시 건설과 관련된 도시 개발 지속가능성의 정량적 평가 모델들을 제안했다.

환경, 경제, 정치적 요인들은 지속가능한 도시 개발을 위한 평가 시스템에 대한 기존 연구에서 중요한 구성 요소들이다. 환경 압력, 국가 행동, 경제 및 사회 개발 수준에 대해 비교적으로 완전한 지표들을 이러한 평가 시스템에서 사용할 수 있다. 또한 경제 활동에서 에너지 절약 및 친환경 산업의 비율이 강조된다. 이러한 기존 평가 시스템들에서 도시 공간과 밀접한 관련이 있는 지표들은 기반시설 및 자원 풍요성(resource abundance)에 집중되어 있고 전체 지표들 중 5~13%에 달한다, 이 지표들은 그린란드의 도시 공간과 대중 교통망에 따라 선택되었지만 이러한 지표 시스템들은 일반적으로 도시-농촌 생태 공간의 협력 및 도시 정주지 건설에 관한 지표가 부족하다. 또한 토지 자원 보호, 녹색 건물 및 녹색 개발 공동체에 대한 지표들이 강조되지 않았다. 기존의 지표 체계들은 주로 경제 산업의 평가²⁶⁾에 초점을 두지만, 지속가능한 도시 개발에 대한 공간 의존과 관련된 구조적 요소들을 무시한다. 결과적으로 이러한 평가 지표 체계들의 실제 적용 범위는 제한적이며, 경제적으로 개발수준이 낮지만 생태 자원이 풍부한 지역의 도시 공간 개발의 지속가능성 평가에 적용할 수 없다. 따라서 도시의 경제적인 공간 평가 문제를 종합적으로 해결하기 위한 수단으로 지속가능한 도시 공간 개발을 위한 통합적이고, 효과적인 평가 체계가 제안되어야 한다. 이러한 지속가능한 도시 개발 평가 시스템은 평가 정보의 한계를 극복할 수 없고 실제 상황에 쉽게 적용할 수 없다. 또한 평가 결과들은 실제 상황과 다를 수 있으므로 합리적이고 정확한 평가를 보장하기가 어렵다. 따라서 이 연구에서는 시스템 결합의 관점에서 도시 공간 개발을 위한 지속 가능성 평가 시스템을 제안한다. 추진력은 경제 시스템과 사회 시스템의 요인들을 통해 반영되고, 그 상태(state)는 생태 환경 시스템의 요인들을 통해 반영된다. 그 목표는 합리적이고 효과적

21) Li, X.X.; Pan, J.C. Compilation of China Green Development Index-A Brief Introduction to the Annual Report of China Green Development Index 2010-Provincial Comparison Review of Economic Research. Rev. Econ. Res. 2011, 2, 36-64.

22) Wang, W.J.; Zhao, R.X.; Chuai, X.W.; Gao, S. Evaluation Index System of Green Nanjing City Construction. Areal Res. Dev. 2012, 31, 62-66.

23) Du, Y.Z. The Research on the Appraisal of Coordinated Development of Green City Xiamen Based on PRED; Fujian Agriculture and Forestry University: Fujian, China, 2010; pp. 32-41.

24) Zhu, B.; Yao, Q.Q. Comprehensive Evaluation and Thinking Analysis of Green City Development in Fujian Province. Dev. Res. 2013, 11, 24-31.

25) Beijing Municipal Commission of Development and Reform. The Development and Construction Plan of Green Beijing During the Twelfth Five-Years Plan Period in Beijing; Beijing Municipal People's Government: Beijing, China, 2016.

26) Shlafman, N.; Frolina, K.; Gotal Dmitrovic, L. Modeling for the analysis of the investment potential of the construction sector. Teh. Glas. 2018, 12, 236-243.

인 방식으로 관련 평가의 한계들을 극복하는 것이다. 연구 결과물들은 지속가능한 도시 공간 개발의 관리 및 의사 결정을 위한 참조자료로 활용가능하다.

3. 방법론

3.1. 예비 개념

결합(coupling)은 두 개 이상의 시스템들 간의 요인들이 상호 작용을 통해 서로 연결되는 현상으로, 서로 다른 시스템들 간의 조합된 관계들을 측정하기 위한 표준으로 사용될 수 있다. 시스템 결합의 개념은 5개 측면(보전성(integrity), 연관성, 다양성, 코디네이션, 역학)을 다룬다. 이러한 특징들은 서로 다른 시스템들의 구성요소들이 특정한 구조와 법칙에 따라 연결되어 온전한 통합성을 형성한다. 결합도(coupling degree)는 서로 다른 시스템들이나 요인들 사이에 상호 영향 정도에 해당하는 중요한 지표이다. 평가 프로젝트와 조직의 완성도(maturity degree)에 관한 연구들은 전술한 이론에 기반한 최적화 방법으로 프로젝트나 조직이 직면하게 될 위험요소들을 줄이기 위해 수행된다²⁷⁾.

결합도(C)의 함수는 다음과 같이 정의된다:

$$C = \left\{ (u_1 \times u_2 \times u_3 \dots \times u_n) / [\prod (u_i + u_j)] \right\}^{1/n} \quad (1)$$

여기서 C는 결합도, u는 평가 시스템의 지표값, u_i 와 u_j ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j$)는 전체시스템에 대한 하위 시스템 i와 j의 기여도를 나타낸다. C값의 범위는 0~1 사이에서 산출되는데 C값이 높아질수록 서로 다른 시스템들의 결합도가 높아진다. $0 < C \leq 0.3$ 일 경우에는 서로 다른 시스템들의 결합도는 낮은 단계이고 $0.3 < C \leq 0.5$ 일 경우에는 서로 다른 시스템의 결합 정도는 대립 단계(an antagonistic stage)이며 $0.5 < C \leq 0.8$ 이면 서로 다른 시스템의 결합도가 친밀화 단계(a breaking-in stage)에 해당되며 $0.5 < C < 1$ 이면 서로 다른 시스템의 결합도가 높은 수준의 결합 단계에 해당된다.

C값이 1이면 두 시스템들이 구조적 조합을 형성하거나 영향 수준이 가장 좋고, 완전 공명 결합 수준(benign resonance coupling level)에 도달한다. C값이 0이면 두 시스템이 결합되지 않은 것이다²⁸⁾²⁹⁾. 평가 프로젝트 및 조직의 완성도에 대한 연구들은 프로젝트나 조직의 위험요소들을 줄이기 위한 수단으로 전술한 이론에 기반한 최적화 방법들에 대해 다룬다.

3.2. 우선순위 차트

우선순위 차트(precedence chart, 이하 PC)의 원리는 중요도에 대해 쌍대 분석(pairwise analysis)을 수행하는 것이다. PC는 관리자들에게 의사 결정 참고자료를 얻기 위해 사용된다. 많은 연구자들이 영향 요인들의 중요성을 산출하기 위해 분석적 계층화법(analytic hierarchy process)³⁰⁾, 종합 지표법(comprehensive index method), TOPSIS법 등의 방법들을 제안하였다. 하지만 이런 분석법들은 일반적으로 조사자들의 부적절한 관련 지식으로 일관성 테스트에서 판단 매트릭스의 실패로 실제 적용 과정에서 종종 문제가 발생하고, 평가 결과물의 정확성에 영향을 미친다. PC 방식은 다른 방법들에 비해 신뢰성이 더 높다³¹⁾³²⁾. PC에는 테셀레이션 패턴(tessellated pattern)이 있다(표 1). n이 비교를 위한 지표

27) Gandarias, N.T.; Ramon, J.; Olasok, O. A Novel Method for Strategic Decision Making Based on Project Management Maturity. DYNA 2019, 94, 75-81.

28) Ren, X.P. The Analysis of the Spatial and Temporal Evolution of the Coupling Coordination between the Regional Urban Behavior and the Environment in China. Ecol. Econ. 2018, 34, 158-163.

29) Li, X.M. Coupled Analysis of the Social-Economic Development and Resource Environment in Wuhan City. In Information Engineering Research Institute, USA. Proceedings of 2012 4th International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT 2012), Bali, Indonesia, 1 December 2012; Information Engineering Research Institute: Texas City, TX, USA, 2012; pp. 213-218.

30) Mandolini, M.; Favi, C.; Germani, M. An Analytic Hierarchy Method for Anticipating the Selection of the Supplying Strategy at the Design Stage. DYNA 2019, 94, 161-167.

31) Lu, K.P.; Chang, S.T. Detecting change-points for shifts in mean and variance using fuzzy classification maximum likelihood change-point algorithms. J. Comput. Appl. Math. 2016, 308, 447-463.

들의 개수이고, $n \times n$ 의 공간들이 제시되었다고 가정할 때, 표에서 왼쪽 열들은 비교 지표들을 의미하고 위쪽 행들은 비교되는 지표들이다. 쌍대 비교(pairwise comparison)를 하는 동안, 1은 더 좋거나 더 중요한 것을 의미하고, 0은 더 열악하거나 덜 중요한 것을 의미하며, 0.5는 똑같이 중요하다는 것을 의미한다. PC 방법은 다른 지표들의 출현 빈도들을 모든 지표들의 총 출현 빈도로 나누기 위해 사용된다. 이 연구에서는 여러 전문가들이 서로 다른 지표들과 서로 다른 권위 계수들(authority coefficients)의 중요성에 관한 서로 다른 견해들을 제시할 수 있기 때문에 다중 입력방식으로 가중치가 부여되는 PC 방법(multi-input-weighted PC method)이 적용되었다. 전문가들을 선별하기 위해 객관적인 샘플링 방법이 적용되었다. 예를 들면 이 연구에서는 친바(秦巴) 산간지역에서 다음과 같은 기준을 충족하는 전문가들이 선정되었다.:

- 1- 10년 이상 도시 계획, 생태 보호, 도시 건설 및 관리 분야 종사자
- 2- 최소 석사 학위 이상 보유자
- 3- 최소 수석 전문직 이상의 직함 소유자
- 4- 최소 대학원 교육 자격을 갖춘 대학 졸업자
- 5- 정보에 입각해 동의하고 이 연구에 협조할 의사가 있는 자

권위 계수는 각 항목별로 20%로 산출되었다. 다음과 같은 경우에 해당되는 전문가들은 제외하였다.:

- 1- 불완전한 설문지를 제출하고 전문가와 연락한 후에 응답이 없는 자
- 2- 지정된 시간 내에 질문에 응답하지 않은 자

1차적으로 산출된 전문가들의 권위 계수들은 다음과 같이 할당되었다.

(0.95 = 6, 0.90 = 5, 0.85 = 4, 0.80 = 3, 0.75 = 2, 0.70 = 1).

전문가들로부터 얻어진 지표들의 비교 결과들은 전문가들에 부합하는 권위 계수를 곱하여 가중화된 PC 패턴을 얻을 수 있었다. 각 전문가별로 산출된 PC 패턴들이 결합되었고 다중 입력 가중치 PC 패턴(a multi-input-weighted PC pattern)이 도출되었다. 통계 분석을 통해 레벨-1 지표들의 가중치들이 최종적으로 결정되었다. 한편, 레벨-2 지표들의 중요도에 대한 전문가 점수들을 레벨-1 지표 하의 모든 레벨-2 지표들의 총점으로 나눈 후 레벨-2 지표들의 가중치 계수들을 도출하였다. 레벨 1과 레벨 2 지표들의 가중치 계수들을 모두 곱하여 모든 레벨-2 지표들에서 가중치 조합에 부합되는 레벨-2 지표들의 비율을 얻어냈다.

표 1. 우선순위 차트(PC) 방식의 도식

비교 지표	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	...	N_n
N_1	—						
N_2		—					
N_3			—				
N_4				—			
N_5					—		
...						—	
N_n							—

3.3. 시스템 결합 기반의 도시 공간 개발 지속가능성 평가 시스템

3.3.1. 도시 공간의 구조적 요인들과 지속가능한 개발 요인들 간의 결합 관계

지속가능한 도시 공간 개발의 직접적인 목적은 도시 생태학과 경제 사회 시스템의 구조적 관계를 통제하고 지도함으로써 보호와 성장의 균형적인 발전을 실현하는 것이다. 도시 공간 구조와 지속가능한 개발 요인들의 결합 관계를 구축하면 대상 요인들의 선정과 평가 시스템 지표들의 분석을 위한 토대를 마련할 수 있다.

32) Tasiyas, K.A.; Nenes, G. A variable parameter Shewhart control scheme for joint monitoring of processmean and variance. Comput. Ind. Eng. 2012, 63, 1154-1170.

지속가능한 도시 개발 요인들

지속가능한 개발은 경제 개발이 천연자원의 보존 능력에 대해 매우 신중해야 된다는 것을 강조한다. 이는 예측 가능한 기간 내의 개발 전략이자 개발 목표로서 그 목표는 경제, 사회, 환경 사이의 관계로 요약된다. 하지만 이러한 개발 개념은 진취적이지만 실제로는 전통적인 개발 모델을 뒤집는 범세계적인 행동을 이끌어 내지는 못했다. 21세기 이후로 기후 변화는 전 세계 국가들에게 잠재적인 위협이 되었다. 세계 경제 발전의 목표는 복지와 사회적 형평성을 향상시키고, 환경 및 생태의 위험 요소들을 줄이는 것이다. 2012년 6월 지속가능한 발전 회의(Conference on Sustainable Development)에서는 “녹색 경제(green economy)”라는 주제가 제안되었다. 녹색 경제는 환경 위험을 줄이고 사회의 전반적인 발전을 촉진하는 경제적 방법이다. 이에 여러 국가들이 “천연 자본의 비(非)감축(non-reduction of natural capita)”을 목표로 지속가능한 발전에 주목하기 시작했고, 도시 개발에서 녹색 도시의 공감대를 형성했다. 그린 어바니즘의 관점과 지속가능한 개발 평가 시스템은 다음 요인들을 포함한다: 생태 환경적 하위 시스템, 경제적 하위 시스템, 사회적 하위 시스템.

이 연구에서 서로 다른 지표들에 대한 통계 분석을 수행하고 지표 설정의 통계에 따라 지속가능한 도시 개발 요인들이 결정되었다(표 2).

표 2. 지속가능한 도시 개발 요인들

지속 가능한 개발 목표	지속 가능한 개발 의미		지속 가능한 개발 요인들
생태 환경 시스템의 녹색 개발	자원 환경의 내성		폐수 방출 폐가스 방출 고형 폐기물 방출 지역 GDP의 에너지 소비 비료 및 농약 적용 강도 지역 소음 공해
	환경 거버넌스		“폐가스”, “폐수”, 그리고 “고형 폐기물”의 포괄적인 재활용 농업 폐기물의 포괄적 재활용 광물 자원의 포괄적 재활용 재생 자원의 포괄적 재활용 생태환경 회복
	자원의 풍부함과 생태 보호		산림 자원이나 생태 녹지 수자원 자연 보호
경제 시스템의 녹색 개발	경제 개발 수준		지역 GDP 하이테크 산업 생태 농업 3차 산업 R&D 재생 에너지원 활용
	경제 개발의 질	감축	에너지 소비 자원 소비 생활 폐기물 발생
		재활용	회수된 물의 재활용 폐기물 재활용
		무해성	하수 처리 유해성 고형 폐기물 처리 무해성 폐기물 처리 공기 오염
사회 시스템의 녹색 개발	인구의 질적 수준		3차 산업 종사자들의 질 교육 개발 전문 기술인
	기반시설과 도시 관리		공공 녹지 대중 교통 지하수 그린 마킹 시스템
	녹색 사회 개발 정책		환경 보호 정책 과학, 교육, 문화, 보건 정책 사회 보험과 고용 정책

도시 공간의 구조적 요인들

도시 공간 개발의 의미는 인위적으로 생태 공간, 경제적 공간, 사회적 공간의 전반적인 기획단계에 도달하는 것이다. 도시 공간 개발은 도시-자연의 공간 구조들 간의 생태학적 상호 작용, 경제적 공간 구조의 조정 및 완전화, 사회적 공간 구조의 진화적 갱신에 의해 반영된다. 도시 공간 개발의 의미는 또한 전체 도시 공간 구조의 진화로 특성화된다. 따라서 이 연구에서 도시 공간의 구조적 요인들은 표 3과 같이 도시 공간 개발의 의미들(connotations)을 바탕으로 분석되고 결정된다.

표 3. 도시 공간 구조 요인들

도시 공간 개발의 의미	공간 구조 특성	공간 구조 개발 목적	공간 구조 요인
도시-자연 공간 구조의 생태학적 교차	자연 공간의 연속성	자연환경 조건들과 결합	자연 지형 수문학, 지리학, 기상학 도시 토지 확장 방향
		자연 공간 구조의 생태 안전	자연재해 발생 생태 회복 지역 내 토지 이용 도시 치안
		자연 공간 구조의 생태 효율성	생물 다양성 수준 생물 다양성 보호
	자연 환경과 인공 환경의 공간 침투	도시의 건축 영역과 교외에 자연 침투 도시 속 자연 침투	랑, 뿔기, 회랑형 녹화 시스템 도시 공공 녹지 시스템
	자연 및 인공 환경 주변의 생태 효율	생태 효율성	유기체의 항목과 개수 특수 유기체의 항목과 개수
		생태 안정성	지구화학적 환경 도시-농촌 에코톤(ecotone)내의 생태 환경
	도시의 소규모 생태 토지들의 공간 연계	소규모 생태 토지들의 다양성	자연 요인들 오픈 스페이스
		소규모 생태 토지들의 연결성	생태 회랑
도시 경제 공간 구조의 협력적 적응	도시의 경제 공간들의 연결	경제 공간 연결의 편의성	외부 교통 연결 공간 산업 레이아웃 도시 건설 지역의 교통체계
	산업 레이아웃의 합리성과 토지 이용 강도	산업 레이아웃의 합리성	도시 토지의 내성(bearing capacity) 토지이용 강도 도시 건설 지역의 토지 당 생산량 도시 건설 지역의 개발 강도 도시 산업의 집산(集散) 도시 블록 패턴
	토지의 다양성 기능적 레이아웃	도시 토지의 복합적 이용	도시 토지 이용의 기능 배분 도시 토지 이용의 복합
	토지 이용 구조의 공간적 코디네이션	도시 토지 이용의 코디네이션	도시 공공 녹지 서로 다른 토지 이용 비율 건설용 도시 토지 부적합성
	경제 공간 구조 요인 레이아웃의 생태 효율성	경제 공간 구조 요인 레이아웃의 생태 효율성	건설 토지의 성장과 도시 GDP 성장 간의 비례 관계 도시 산업 행위들의 공간 레이아웃 도시 에너지 활용 도시 기반시설 토지의 레이아웃
도시 사회-공간 구조의 진화적 갱신	인구 규모와 공간 규모간의 일관성	인구와 공간 규모 간 매칭	1인당 토지 면적 1인당 주거 공간
	공공 서비스 레이아웃의 합리성	도시 공간 자원의 편의성	공공 서비스 시설의 레이아웃 도시 오픈 스페이스 도시 교통망
		도시 교통 생태	도시 대중교통 체계 도시 저속 교통 체계 도시 도로 및 광장
	주거 공간의 차이와 혼합의 조직적 결합	사회적 모순 회피	도시 택지 레이아웃 도시 자가 택지 레이아웃 택지 내 서비스 시설 구성
전체 도시 공간 구조의 물리적 진화	역사 영역 내 공간 형태의 연속성	도시 역사 문화 특성의 계승	도시 공간 조직 도시 역사 및 문화유산 보호 역사 영역의 갱신과 옛 도시의 재건
	도시 공간 구조의 적응	도시 공간 구조와 도시 역사문화 특성 계승	도시 공간 구조와 역사적 원형 간의 유사성
	도시 공간 구조의 확장성	도시 공간 규모와 자연 환경 성능 간의 적응	도시 인구 규모 도시 토지 이용 규모 도시 산업 규모
	도시 공간 구조의 탄력성	도시 공간 구조의 시공간적 코디네이션	도시 공간 구조의 진화적 시계열 도시 개발 보호구역 주요 기반시설용 예비 토지

도시 공간의 구조적 요인들과 지속가능한 도시 개발 요인들의 결합

도시 공간 개발의 해석된 의미를 기반으로 지속가능한 개발 목표의 맥락에서 생태 환경적 시스템, 경제적 시스템, 사회적 시스템은 도시-자연의 공간 구조들의 생태적 상호작용, 경제적 공간 구조의 협업적 조정과 사회적 공간 구조의 진화적 갱신을 표현하기 위해 사용될 수 있다. 생태 환경적 시스템의 지속가능한 개발에서 자원 풍족화 및 생태 보호 목적은 도시-자연의 공간 구조들과 주로 밀접하게 관련된다. 자연 공간들의 연속성과 자연 및 인공 환경적 가장자리의 생태적 효율은 생태 환경 시스템들의 지

속가능한 개발 목표에 현저한 영향을 미친다(그림 1).

그림 1. 생태 환경 시스템의 지속가능한 개발과 도시-농촌 구조 요인들 사이의 결합 관계(원문 참조)

경제적 시스템의 지속가능한 개발에서 경제 개발의 질에 대한 목적은 대부분 도시의 경제적 공간 구조와 밀접한 관련이 있다. 도시 공간 구조의 경우에 산업적 배치의 합리성, 도시 토지 이용의 혼합과 코디네이션, 경제적 공간 구조 배치의 생태학적 효율성이 경제 시스템의 지속 가능한 개발 목적에 비교적 현저한 영향을 미친다(그림 2).

그림 2. 경제 시스템의 지속가능한 개발과 도시 경제의 공간 구조적 요인들 사이의 결합 관계 (원문 참조)

사회적 시스템의 지속가능한 개발에서 기반시설은 도시 관리, 사회발전을 위한 녹색 투자의 실현, 도시의 사회-공간 구조의 진화적 갱신과 밀접하게 관련된다. 도시 공간 구조의 경우에 인구 크기와 공간 규모의 조화와 도시 공간 자원 활용의 편의성이 사회적 시스템의 지속가능한 발전 목적에 영향을 미치는 주요 요인들이다. 도시-공간 구조의 진화적 갱신은 사회적 개발을 위한 녹색 투자 목적의 실현에 중대한 영향을 미칠 수 있다(그림 3).

그림 3. 사회 시스템의 지속가능한 개발과 도시의 사회-공간 구조 요인들 사이의 결합 관계 (원문 참조)

도시 공간 개발 요인들의 포괄적 기능은 결국 전체 도시 공간의 구조의 진화로 이어질 수 있다. 지속가능한 도시 공간 개발 목적은 생태 환경적 시스템과 경제적 시스템의 개발 목적에 특별한 주의를 기울일 필요가 있다. 게다가 도시 공간 규모와 자연 환경 용량 사이의 적응과 도시 공간 구조의 시공간적 코디네이션은 지속가능한 개발의 중요한 방향이다(그림 4)

그림 4. 지속가능한 개발과 전체 도시 공간 구조와의 결합 관계(원문 참조)

도시 공간 구조 요인들과 지속가능한 개발 요인들 간의 연결 관점에서 도시 생태 환경, 토지 이용, 교통망, 공간 배치는 지속가능한 도시 개발을 크게 촉진시킬 수 있다. 이러한 요인들의 연결 강도와 효과적인 협력은 지속가능한 도시 공간 개발에 직접적으로 영향을 줄 수 있다. 지속가능한 개발은 자연 자산은 인간의 행복을 위한 다양한 자원들과 환경적 서비스를 제공하고, 사회 경제의 성장과 발전을 촉진할 수 있다는 것을 보장한다. 천바 산간지역의 토지 이용의 이점 분석은 급속한 도시화 속에서 경제적 이점들이 사회 개발의 주요 부분이 되었고, 도시 공간 성장은 지속가능한 개발의 환경의 질 개선을 무시했다는 것을 보여준다. 따라서 도시 공간의 지속가능한 개발은 경제적 이점과 생태 환경적 이점을 결합해야 하고 경작지 보호와 녹색 경제로의 변화에 중요성을 부여해야 한다. 따라서 도시 공간 구조의 틀 내에 도시 공간 구성요소들과 지속가능한 개발 구성요소들 간의 이론적 모델 구축은 도시 공간을 컴팩트하고 효율적인 개발 상태로 전환하는데 도움이 된다.

3.3.2. “녹색 코디네이션”. “녹색 개발”, 그리고 “녹색 지속가능성” 기반의 도시 공간 구조 해석

지속가능한 개발에서 도시 공간 조직은 “질서있고 효율적이며 공존할 수 있는 지속가능한”개발의 공간 구조를 구축하고 유기적으로 자기 조직화하기 위해 도시 공간 구조의 능력을 향상시키며 도시 공간 요인들의 코디네이션과 공존을 실현시키고 다양한 “흐름”의 연속적인 동적 최적화를 달성하기 위해 사용된다.

지속가능한 개발에서 공간 구조는 도시 생태 환경 건설, 도시 경제 개발, 도시의 사회적 과정의 관점에

서 여러 요인들의 결합 관계를 고려하는 공간 조직 유형이 필요하다. 이러한 접근 방식은 도시 환경의 질, 경제 발전의 양, 사회 발전의 시간 차원에서 나타난다. 따라서 이 연구는 도시 공간의 “녹색 코디네이션”, “녹색 개발”, “녹색 지속가능성”을 확립하여 지속가능한 도시 공간 구조 개발의 의미를 숙고하고 자했다.

도시 공간 구조를 위한 “녹색 코디네이션”의 해석

도시 공간의 지속가능한 발전은 도시 공간과 자연의 공존, 도시 환경의 질적 향상, 지역 생태 환경의 개선을 강조한다. 도시 공간에 대한 “녹색 코디네이션”은 도시 생태 공간의 레이아웃, 도시 환경 안전 및 도시 환경 생물 다양성 유지의 의미를 갖는 것으로 요약될 수 있다. 공간 개발은 전체 도시 공간과 구조적 요인들 간의 논리적 관계를 구축하여 전체 도시 공간의 다양성과 공존을 실현하고, 자기 조직화 능력을 향상시키며, 도시 공간의 전반적인 환경적 질을 숙고하는 것을 목표로 한다.

도시 공간 구조를 위한 “녹색 개발”의 해석

지속가능한 개발 관점에서 도시의 생산과 생활 활동은 도시 정주 기능의 특정 표현일 뿐만 아니라 다양한 자연 및 사회 에너지 흐름을 수행하는 도시 공간의 성능을 숙고해야 한다. 도시 공간 시스템에서 물질과 에너지 투입, 제품과 폐기물 발생 사이의 균형은 에너지 흐름 과정 중에 신진대사를 통해 실현된다. “녹색 개발”은 신진대사 과정에서 도시 공간 시스템의 다양한 흐름 요인들에서 시작하여 도시 공간 개발 규모와 사회 경제적 개발 상황의 조화를 숙고한다.

도시의 신진대사 시스템에서 다양한 흐름의 투입과 배출에 의해 생성되는 에너지 효율은 도시 녹색 개발의 역동적인 기반을 반영하고 도시가 고배출 및 고공해 환경 조건의 위험에 처하는 것을 방지할 수 있다. 도시 신진대사 시스템의 고효율적인 자원 및 에너지 활용은 도시 공간 요소의 상호 결합 및 협력에 의해 나타난다. 이로써 도시의 생산성과 삶의 질이 향상될 수 있으며, 도시 공간의 맹목적이 비효율적인 확장에서 합리적이고 지속 가능한 개발로의 전환이 촉진될 수 있다.

도시 공간 구조를 위한 “녹색 지속가능성”의 해석

도시의 사회적 발전 수준에 대한 포괄적인 고려를 기반으로 하는 “녹색 지속가능성”은 도시 공간의 레이아웃과 기능 간의 조화에 따라 도시 구조 정립이 성취될 수 있는지에 대한 여부를 결정하는데 사용된다. “환경-경제-사회”의 체인은 인구의 질적 수준, 기반시설의 완벽성, 건강한 생활 방식, 사회 관리의 효율성의 관점에서 결합된다. 이 접근법은 지속가능한 도시 공간 개발의 능력과 잠재력을 예증하는 시간 차원의 요구사항들을 고려할 수 있고 도시 공간 구조의 양적 확장에서 질적 변화로의 갱신을 실현할 수 있다.

3.3.3. 지속가능한 도시 공간 개발을 위한 평가 시스템

관련 지표들은 도시 공간 구조와 지속가능한 개발 사이의 결합 관계를 기반으로 선별되었다. 지속가능한 도시 공간 개발의 대상 요인 집합은 전문가 설문지 배포를 통해 정해졌다. 대상 요인 집합의 선별은 1차 선별단계와 정제된 선별단계로 나누어졌다. 1차 선별단계는 전 세계적으로 반복적으로 구현되었던 관련 지표 시스템들에 대한 검토 분석(review analysis)의 기반 위에서 이루어졌고 지속가능한 개발 지표 시스템에서 찾아낸 가치 있는 지표들을 참조하여 도시 공간 수준에서 운영할 수 없는 유지 지표들과 기타 지수들을 제거하였다. 나머지 관련 지표들은 도시 공간 구조적 요인들과 지속가능한 도시 개발 요인들 간의 결합 관계를 기반으로 하는 1차 요인 집합을 구성하는데 사용되었다. 이어서 친바 산간지역의 지속가능한 도시 공간 개발 목적에 부합하는 요인들이 선별되었고 서로 다른 지역의 토지 이용 현황들이 결합되었다. 이 연구에서는 200개의 설문지들이 도시-농촌 계획 전문가, 공무원, 환경 보호 및 생태 실무자들에게 배포되었다. 1차 선별범위의 지표들은 PC 방식을 기반으로 정해졌고 지속가능한 도시 공간 개발 목적 시스템의 요인 집합으로 사용되었다. 목적 레이어는 사전 목적(생태 환경 시스템), 핵심 목적(경제 시스템), 지원 목적(사회 시스템)으로 구성되었다. 녹색 코디네이션, 녹색 개발, 녹색 지속 가

능성과 관련된 정량 지표들을 적용하였다. 생물 다양성 보호, 생태 공간 건설, 도시 환경 안전, 경제 개발 수준, 집약적 토지 이용, 경제 개발의 질, 인구의 질적 수준, 기반 시설의 완성도, 건강한 삶의 방식, 사회 관리 효율성의 10가지 요인들을 고려하였다. 지표 레이어에는 33개의 지표들을 포함시켰다(표 4).

표 4. 친바 산간지역의 지속가능한 도시 공간 개발을 위한 평가 시스템(원문 참조)

※ 목적(P), 항목 레이어(A), 요인레이어(B), 지표레이어(C) 그리고 지표 레이어의 단위를 목록화 하고 지표들의 의미를 설명하는 표로 구성됨.

3.3.4. 지속가능한 도시 공간 개발의 평가 프로세스

1 단계: 200명의 전문가들을 초대하여 이 연구에서 구현되어야하는 단계들을 참고하여 서로 다른 평가 지표들을 채점하도록 했다. 그런 다음 종합 평가를 수행하고 척도 비교(1~9)를 위한 판정 행렬을 구성했다. 단일 시퀀스들(sequences)의 가중치를 얻기 위해 14개의 행렬들(P_{A1-A3} , $A1_{B1-B3}$, $A2_{B4-B6}$, $A3_{B7-B10}$, $B1_{C1-C2}$, $B2_{C3-C9}$, $B3_{C10-C15}$, $B4_{C16-C17}$, $B5_{C18-C22}$, $B6_{C23-C26}$, $B7_{C27}$, $B8_{C28-C29}$, $B9_{C30-C31}$, $B10_{C32-C33}$)을 구성하고 배열했다. 행렬 P_{A1-A3} 의 예를 들면 다음과 같다.

$$P_{A1-A3} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

P_{A1-A3} 의 아이겐벡터들의 목록은 표 5와 같다.

표 5. 판정 행렬 P_{A1-A3} 의 아이겐벡터

지속 가능한 도시 공간 개발(P_{A1-A3})	생태 환경 보호(A1)	순환경제개발(A2)	사회적 과정(A3)	W_i
생태 환경 보호(A1)	1	3	5	0.6370
순환경제개발(A2)	1/3	1	3	0.2583
사회적 과정(A3)	1/5	1/3	1	0.1047
$\lambda_{\max} = 3.038511$, $CI = 0.0192555$, $RI = 0.58$, $CR = 0.033199$.				

표 6. 지속가능한 도시 공간 개발을 위한 평가 시스템 내의 지표들의 가중치(원문 참조)

※ 표 4에서 목록화된 내용들 중에서 요인 레이어(B)와 지표 레이어(C)에 단일 시퀀싱 가중치(Weght of Single Sequencing)와 총 시퀀싱 가중치(Weight of Total Sequencing)를 산출하여 나열한 표임.

2단계: 서로 다른 단일 시퀀스 레이어들의 결과물들이 전술한 계산 과정을 참고해서 얻어졌다. P에 대한 A의 가중치는 WA_i ($i = 1, 2, 3$)이다. A에 대한 B의 가중치는 WB_i ($i = 1, 2, \dots, 10$)이다. B에 대한 C의 가중치는 WC_i ($i = 1, 2, \dots, 33$)이다. 14개의 모든 행렬들에 일관성 테스트를 수행한 후에 표 6과 같이 목적 시스템의 지표들에 대한 가중치들을 얻을 수 있었다.

3단계: 지속가능한 도시 공간 개발 목적들에 대한 평가 지표들은 전향적 추세와 후향적 추세를 포함한다. 목적 지표는 다음과 같이 계산되었다. 만약 C_{-i} 지표의 실제 가치가 X_{-i} 이면 그 기준치와 평가 목적 지표는 전향적 지표(forward index)가 "자격"을 표준값으로 사용하는 경우에 Y_{-i} 및 P_{-i} 가 되고 $X_{-i} \leq Y_{-i}$ 일 때 $P_{-i} = 1$ 이고 $X_{-i} \geq Y_{-i}$ 일 때 $P_{-i} = 1$, 반면에 $X_{-i} < Y_{-i}$ 일 경우에는 $P_{-i} = X_{-i} / Y_{-i}$ 가 된다. 후향적 지표(backward index)가 "자격"을 표준값으로 사용하는 경우에는 $X_{-i} \leq Y_{-i}$ 일 때 $P_{-i} = 1$ 이고 반면에 $X_{-i} > Y_{-i}$ 일 때 $P_{-i} = Y_{-i} / X_{-i}$ 가 된다. 게다가 도시 공간 시스템은 종합적으로 고려되어야 하므로 각

각의 단일 지표에 대한 포괄적인 목적 값이 산출되었다. 그 계산 공식은 다음과 같다.:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \times W_i \quad (3)$$

여기서 P는 포괄적인 목적 평가 값, n은 지표들의 개수, P_i 는 다양한 지표들 중 목적 지표이며 W_i 는 여러 지표들의 가중치들이다. P의 더 높은 점수들은 지속가능한 도시 공간 개발이 그 목적에 더욱 근접한다는 것을 나타내며 더 나은 녹색 개발 상황을 반영한다. 그 계산 결과는 표 7과 같다.

표 7. 지속가능한 도시 공간 개발 상황 평가

번호	요인	목표치	평가 의미
1	생물 다양성 보호	0.0605	녹색 코디네이션
2	생태 공간 건설	0.1128	
3	도시 환경 안전	0.3551	
4	경제 개발 수준	0.0193	
5	집약적 토지 이용	0.0837	녹색 개발
6	경제 개발의 질	0.1132	
7	인구의 질적 수준	0.0050	
8	기반시설의 완전도	0.0485	녹색 지속가능성
9	건강한 삶의 방식	0.0250	
10	사회 관리 효율성	0.0093	
	총계	0.8324	지속가능한 도시 공간 개발

4. 결과 분석 및 논의

4.1. 사례 연구

상글루오 시(市)는 산시성 남부 지역의 친바 산간지역에 위치하고 있다. 도시 건설 용지 규모는 24.21 km²이고 1 인당 건설 용지 면적은 99.38m²/인이다. 1990년부터 2015년까지 도심지의 총 도시 면적은 5.53km²에서 24.21km²로 4.38배 증가했는데 이는 도시 건설 용지의 급격한 확장에 따라 도시 경제가 급속히 발전했다는 것을 의미한다. 산업 용지의 비중은 해마다 감소하는 반면, 택지 면적의 비중은 1990년부터 2009년까지 지속적으로 증가하다가 그 후에 안정화되었다. 상글루오 시의 인구는 1990년 52,000명에서 2014년 243,600명으로 증가했다. 당시 1인당 건설 용지 면적은 매우 부족한 상황에서 합리적인 규모로 확장되는 발전 단계를 경험했다. 1990년부터 2000년까지 도시 건설 면적 증가와 인구 증가 사이의 부조화가 관찰되었다. 도시 건설 용지의 확장은 2000년부터 2010년까지 지속되다가 그 규모가 2010년 이후 안정된 경향을 보였다.

이 연구의 평가 전문가들은 도시-농촌 계획 전문가 52명, 환경 보호 전문가 34명, 생태 전문가 18명, 도시 건설 관리자 26명, 도시 거주자 70명으로 구성되었다. 도시 공간을 면밀히 분석한 후 평가단은 33개의 지표들에 대한 평가를 지시 받았다. PC 방법의 특성에 따라 평가자에게 평가 정보 외에도 만족도 점수(A)와 불만족 점수(B)를 부여하도록 하여 서로 다른 척도로 인해 발생할 수 있는 데이터 누락을 방지하도록 요청하였다. A와 B는 0에서 10사이의 정수형으로 $0 \leq A + B \leq 10$ 의 범위에서 점수를 부여하도록 했다. 유효 설문지 194개를 포함하여 총 200개의 설문지가 수집되었다. 평가 집단의 데이터는 행렬 방식으로 구성되었다. 마지막으로 상글루오 시의 지속가능한 도시 공간 개발에 대한 평가 정보는 투표 모델³³⁾에 따라 결정되었다. 지속가능한 도시 공간 개발 평가 시스템의 구성을 고려하여 생태 공간 건설 및 도시 환경 안전성(녹색 코디네이션), 집약형 토지 이용(녹색 개발), 기반시설의 완성도(녹색 지속가능성)를 주요 조사 요인들로 선정하였고, 지속가능한 도시 공간 개발 요인들의 관계를 분석하였다. 이러한 요인들의 지표들 중에서 도심 지역 내의 인구 밀도 시퀀스(x0(k) 시퀀스)를 모(母) 요인 시퀀스

33) Chen, L.-H.; Hung, C.-H.; Tu, C.-C. Considering the decision maker's attitudinal character to solve multi-criteria decision-making problems in an intuitionistic fuzzy environment. Knowl. Based Syst. 2012, 36, 129-138.

(mother factor sequence)로 사용하였다. 그 다음과 같은 시퀀스들이 하위 요인 시퀀스들로 선택되었다: 경작 면적 비율($x_1(k)$ 시퀀스), 산림 면적 비율($x_2(k)$ 시퀀스), 건축 면적의 녹화 비율($x_3(k)$ 시퀀스), 건축 면적 중 녹피율($x_4(k)$ 시퀀스), 1인당 녹지 면적($x_5(k)$ 시퀀스), 생활 폐기물의 유해한 처리($x_6(k)$ 시퀀스), 산업 폐수 총 배출 농도($x_7(k)$ 시퀀스), 산업 분진 총 배출 밀도($x_8(k)$ 시퀀스), 건설 토지 면적 비율($x_9(k)$ 시퀀스), 주거 지역의 평균 체적율($x_{10}(k)$ 시퀀스), 1인당 도시 건설 토지 면적($x_{11}(k)$ 시퀀스), 산업 용지 사용률($x_{12}(k)$ 시퀀스), 버스 정류장 500m 이내의 범위 비율($x_{13}(k)$ 시퀀스), 5분 내에 접근 가능한 공공 서비스 시설들의 범위 비율($x_{14}(k)$ 시퀀스). 주 요인 시퀀스와 하위 요인 시퀀스간의 관계에 대해 회색 연관성 분석(gray association analysis)을 수행하였고, 지속가능한 도시 공간 개발에 대한 여러 요인들의 영향을 조사했다. 다양한 지표 요인들의 연관도를 산출했는데 그 결과는 표 8과 같다.

표 8. 상글루오시의 지속가능한 도시 공간 개발의 지표 요인들의 연관도

번호	지표의 의미	녹색 도시 공간 개발의 지표요인들	수치값
1	녹색 코디네이션	경작 면적 비율(%)	0.7269
2		산림 면적 비율(%)	0.7367
3		건축 면적의 녹화 비율 (%)	0.7356
4		건축 면적 중 녹피율(%)	0.7830
5		1인당 녹지 면적(m^2 /인)	0.8731
6		생활 폐기물의 유해한 처리(%)	0.5536
7		산업 폐수 총 배출 농도($t/km^2 \cdot 일$)	0.4820
8		산업 분진 총 배출 밀도($t/km^2 \cdot 일$)	0.7346
9	녹색 개발	건설 토지 면적 비율(%)	0.5215
10		주거 지역의 평균 체적율	0.7251
11		1인당 도시 건설 토지 면적(m^2 /인)	0.7474
12		산업 용지 사용률(%)	0.9703
13	녹색 지속가능성	버스 정류장 500m 이내의 범위 비율(%)	0.5926
14		5분 내에 접근 가능한 공공 서비스 시설들의 범위 비율(%)	0.5745

4.2. 결과 분석

연관도 분석에서 얻어진 계산 결과에 따르면, 산업 토지 사용 비율에 관한 하위 요인은 14가지의 모든 지표 요인들에서 주로 지속가능한 도시 공간 개발에 영향을 미쳤다. 나머지 지표 요인들인 1인당 녹지 면적율과 건축 면적 중 녹피율, 1인당 도시 건설 용지 면적, 산림 면적 비율, 건축 면적 중 녹화율, 산업 분진 총 배출 밀도, 경작 면적 비율과 주거 지역의 평균 체적율은 지속 가능한 도시 공간 개발의 2차 영향 요인들이었다.

그러나 버스 정류장 500m 이내 권역(圈域) 비율, 5분 이내에 접근 가능한 공공 서비스 시설들의 권역 비율, 생활 쓰레기의 유해한 처리, 건설 용지 면적의 비율 및 총 산업 폐수 배출 밀도도 지속 가능한 도시 공간 개발에 약간의 영향을 미칠 수 있었지만 이 연구에서 제안된 평가 시스템에서는 산업 용지 이용 비율이 주요 영향 요인임을 밝혀냈다. 이는 도시 주민과 전문가 집단에 의해 확인되었다. 자연 환경이 도시에 미치는 영향과 더불어 산업체는 오염 배출 기준을 제대로 따르지 못했고 오염 물질 처리 시설을 정기적으로 점검하고 수리할 수 없었음을 발견했다. 따라서 도시 거주자들에게 환경 인식을 고취시키고³⁴⁾ 재생 가능 에너지 원의 지속적인 개발을 통해 화석 연료로부터 점차 벗어나려면 기업들 사이에서 환경 보호 교육 및 훈련이 강화되어야 한다³⁵⁾. 산림 면적 비율과 경작 면적 비율 지표들은 도시와 농촌의 공동 발전을 반영하였다. 자연 환경의 제약으로 친바 산간지역 도시 규모는 작고 농촌의 경제는 상대적으로 낙후되었고 경작 면적도 불충분하며 산업도 단일 업종이다. 이는 정부가 지속가능한 개발 정책 수립과정에서 도시와 농촌의 통합적이고 조화로운 개발을 고려하고 생태 농업 생산에 더 많은 지원 정책을 제공해야 한다는 것을 시사한다. 요약하자면 평가 결과물과 실제 상황의 일관성이 지속가능한 도시와 농촌의 공간 개발을 위해 이 연구에서 제안된 평가 시스템의 실행가능성과 타당성을 증명한

34) Ntanos, S.; Kyriakopoulos, G.; Skordoulis, M.; Chalikiyas, M.; Arabatzis, G. An application of the new environmental paradigm (NEP) scale in a Greek context. *Energies* 2019, 12, 239.

35) Arabatzis, G.; Kyriakopoulos, G.; Tsalis, P. Typology of regional units based on RES plants: The case of Greece. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 78, 1424–1434.

다.

5. 결론

지속가능한 도시 공간 개발에 대한 기존 평가 방식은 평가 결과가 불완전해 질 수 있는 몇 가지 한계들을 갖고 있다. 합리적이고 정확한 평가 결과를 얻기 위해서는 정보의 누락이 없어야 한다. 따라서 이 연구에서는 지속가능한 도시 공간 개발을 위한 포괄적인 평가 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 실행가능성과 타당성이 친바 산간지역의 상글루오 시의 사례연구에 의해 검증되었다.

주요 결론은 다음과 같이 도출되었다.:

1. 시스템 결합에 기초한 지속가능한 도시 공간 개발을 위한 평가 시스템은 누락된 평가 정보의 한계들을 고려하여 극복할 수 있다. 이 시스템은 또한 도시 공간 개발에 직접 적용할 수 없었던, 기존의 지속가능성 평가 시스템의 단점을 극복할 수 있다.
2. 지속가능한 도시 공간 개발의 “녹색 코디네이션”, “녹색 개발”, “녹색 지속가능성”의 3가지 측면에서 평가 시스템이 구축되었고 도시-농촌 생태 공간 코디네이션, 토지 자원 보호, 녹색 개발 공동체 등의 평가 내용들이 보완되었다.
3. 제안된 평가 시스템의 결과물들은 실제 도시 공간 개발 상황에 부합하였다. 조사된 14 개의 지표들 중에서 산업 용지 사용 비율은 지속가능한 도시 공간 개발에 주된 영향을 미쳤다. 나머지 지표 요인들인 1인당 녹지 면적과 건축 면적의 녹피율, 1인당 도시 건설 용지 면적, 산림 면적 비율, 건축 면적 중 녹화율, 산업 분진 총 배출 밀도, 경작 면적 비율과 주거 지역의 평균 체적율은 지속가능한 도시 공간 개발의 2차 영향 요인이었다. 이 연구에서는 지속가능한 도시 공간 개발을 위한 실행 가능하고 효과적인 평가 시스템을 제공할 수 있었다.
4. 제안된 평가 시스템은 경제개발은 낙후되었지만 생태 자원이 풍부한 지역과 같은 복잡한 특성을 가진 지역의 도시 공간 개발을 평가하는 데 사용할 수 있다. 연구의 한계는 1) 장비, 통신기기 및 기타 이유로 인해 시스템에서 비정상적인 데이터가 생성되고 때로는 데이터가 누락되었고 2) 친바 산간지역에서는 도시들이 많고 행정구역별로 도시의 지속가능한 발전 정책이 다양하여 평가시스템과 도시 정책 도구 사이의 연계가 불충분했다는 것이다.

제안된 평가 시스템은 기존의 평가 기법과 비교하여 도시 공간 개발의 지속가능성을 포괄적으로 고려할 수 있고 지속가능한 도시 공간 개발과 도시-농촌 통합 개발을 목표로 하는 관리자들에게 의사결정 참고 자료들을 제공할 수 있다.

지속가능한 도시 공간 개발의 평가 방식은 회색 연관 분석(gray association analysis, or Gray relational analysis, 중국에서 개발된 시뮬레이션 이론)에 의존하지만 인터넷과 빅 데이터의 완전한 활용이 불충분하다. 향후 연구에서는 기계 학습의 장점을 결합한 탐구를 고려할 것이다.

<원문제목> An Evaluation System for Sustainable Urban Space Development Based in Green Urbanism Principles—A Case Study Based on the Qin-Ba Mountain Area in China

<원문출처> Sustainability