

# 그린인프라 기법 적용을 위한 토지 적정성 평가 연구

- 아산신도시를 대상으로 -

## A Methodology of Land Suitability Assessment for Green Infrastructure Applications

- The Case Study of Asan New Town -

서혜정\* · 김동현\*\*  
Seo, Hye-jeong · Kim, Donghyun

### Abstract

The purpose of this study is to develop a method that supports the application of Green Infrastructure(GI) into the process of land-use planning, and to test the applicability of this method by applying it to Asan new town, an area that already has a land use plan in place. To set the criteria to judge the propriety of GI, run-off analysis and fragmentation analysis were performed. Each result of the analysis is integrated by the land use matrix, classifying the structural and non-structural GI techniques into five types. By comparing the results of this method with the existing land-use plan in Asan, the propriety of the plan and its capacity for improvement become clear, which implies that the application of the method would enhance the quality of the plan.

*키 워 드* · 그린인프라, 저영향개발기법, 토지이용계획, 토지이용매트릭스

*Keywords* · Green Infrastructure, Low Impact Development, Land Use Planning, Land Use Matrix

## I. 연구의 배경 및 목적

그린인프라는 자연상태의 토지 또는 그와 유사한 기능을 하는 녹지를 보전·조성함으로써 자연 생태계의 가치와 기능을 유지하고 이와 관련된 혜택들을 얻는 계획 기법으로 알려져 있다. 그린인프라의 개념이 생소하던 과거와 달리, 최근에는 주거단지 및 신도시개발계획에 이를 포함시키는 사례들이 늘고 있으며, 개발의 영향을 최소화하기 위한 수단으로 그린인프라를 제도화하기 위한 노력들도 진행 중에 있다. 그

러나 상당수의 적용 사례들이 그린인프라를 빗물정원이나 식생수로, 옥상녹화 등의 개별 구조적 시설들로 간주함에 따라 그린인프라가 토지이용의 구상과 계획 단계에서 도시의 지속가능성을 증진시킬 수 있는 계획기법이라는 점은 간과되고 있으며 녹지의 보전과 조성을 그린인프라와 연계할 적절한 기준 또한 부재한 실정이다.

이러한 인식의 부재에 따라 개별 그린인프라 시설들의 활용 빈도가 증가하는 것에 비해, 계획 구상단계에서 적용될 수 있는 불투수면적 최소화 설계, 클러스터 개발, 자연 유수경로 유지 등 비구조적인 그린인프라 기법을 적용한

\* Korea Environment Institute (First author: seohj@kei.re.kr)

\*\* Korea Environment Institute (Corresponding author: donghyunkim@kei.re.kr)

사례들은 상대적으로 소수에 불과하다(김동현 외, 2014).

본 연구는 토지이용구상 및 계획 단계에서 그린인프라를 적용하기 위한 토지 적정성 평가 기법을 고안하고, 이를 실제 개발예정 토지이용 계획이 수립되어 있는 아산 신도시 지역에 적용하여, 토지이용 구상 및 계획 초안 단계에서 그린인프라 관련 기법이 적용될 수 있는 방안 제시를 목적으로 한다. 토지 특성에 따른 그린 인프라 기법 평가 기준을 만들기 위해 강우유출특성 분석 및 파편화지수 분석이 수행되었으며, 개별 분석결과들은 다시 토지이용 매트릭스를 통해 그린인프라 적용을 위한 토지 적정성 평가 결과로 종합된다. 도출된 적정성 평가 결과와 대상지역에 기 수립된 실제 토지이용계획의 비교를 통해 향후 토지이용계획의 보완에 있어 어떻게 그린인프라 기법을 적용할 수 있는지에 대한 시사점을 도출하였다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 그린인프라의 개념 및 기능

그린인프라는 강우유출수 관리 및 비점오염 저감과 같은 다양한 기능을 제공하는 녹지 공간 및 녹지 네트워크를 의미하며, 녹색기반시설, 저영향개발기법(Low Impact Development; LID) 등으로도 불린다. 그린인프라에 대한 다양한 정의들이 존재하지만, 통상적으로 그린인프라는 “자연 생태계의 가치와 기능을 보전하고 인간에게 이와 관련된 혜택을 제공하는 상호 연계된 녹지의 네트워크”를 의미한다(Benedict & McMahon, 2002).

Table 1. Various functions of green infrastructure

Functions	Descriptions
Heat amelioration	Alleviating the urban heat island effect through the vegetation cooling effects, ie. evapotranspiration, direct shading, and conversion of solar radiation to latent heat
Reducing flood risk	Reducing flood risk by delaying the downstream passage of flood flows, reducing the volume of runoff
Improving water quality	Improving water quality by regulating high speed runoff, pollutants and detritus collected from urban surfaces and reduced infiltration of precipitation
Sustainable urban drainage	Controlling the water at the source through tree, vegetation, green roofs, infiltration trenches and filter drains, swales and basins and ponds and wetlands
Improving air quality	Improving air quality through transpiration which can reduce the formation of ozone, and through the direct production of oxygen during photosynthesis
Health and well-being	Green space increases a level of physical activities of community and promotes psychological health and mental well-being
Aesthetic improvement	Green space makes a community more aesthetics and pleasure place
Wildlife and habitats	Green infrastructure provides wildlifes with habitats resulted in greater ecological diversity
Economic growth and investment	The positive impacts on local economic regeneration, especially for job creation, business start up, increased land values and inward investment
Building a sense of community	Green space supports community activity and increases local interactions

Modified and simplified from Forest Research, 2010; CNT, 2010; Wise et al, 2010; Davis, 2010; Tibbatts, 2002; Bell et al., 2008; Weldon et al., 2007

그린인프라는 자연 상태의 토지가 대기 및 수자원의 질 개선, 토착종과 자연 자원(natural resources)의 보전 및 지속, 생태계 프로세스의 유지, 커뮤니티와 거주민의 건강과 삶의 질 개

선 등의 혜택을 제공할 수 있다는 점에 주목하며 이러한 효과를 위해 토지의 보전과 복원을 적극적으로 활용하려는 개념이다(McMahon, 2000; McDonald et al., 2005).

녹지·산림·야생동물 서식지·공원·녹도·수로·습지·작업 농장·목장·숲·황야·기타 보전토지 등 자연상태의 토지들 또는 이와 유사한 기능을 하도록 인공적으로 조성된 옥상녹화, 식생수로 및 화단, 투수성포장/투수성블럭, 침투도랑 및 트렌치, 나무여과상자, 빗물정원 등이 그린인프라에 해당한다.

그린인프라 기법은 크게 기 존재하는 자연상태의 토지의 기능을 적극적으로 보전 및 복원하고 훼손을 최소화하는 비구조적 그린인프라 기법과 자연의 식생 및 토양 상태와 유사한 환경을 가진 인공적인 녹지시설을 조성하는 구조적 그린인프라 기법으로 구분한다. 비구조적 기법은 주로 토지이용구상 및 계획 단계에서 적용될 수 있으며 개발이 미치는 영향면적을 최소화하는 방법과 자연적 상태를 보호하는 방법, 그리고 자연 기능을 유지하는 방법 등이 있다. 구조적 기법들은 녹지계획 및 설계·배치 단계에서 적용 가능한 시설들로 침투·저류·빗물재이용 등의 기작을 가짐으로써 자연상태의 토지와 유사한 기능을 수행하고 단지 내에 분산적으로 배치될 수 있는 물리적인 기술들이다(김동현 외, 2014; 김동현과 최희선, 2013).

그린인프라 기법은 개발과 보전의 적절성을 체계적으로 고려하는 방법이며, 과거의 전통적인 녹지 보전 및 확보 계획에 녹지의 기능성에 대한 전략적인 고려를 통합한 토지보전 전략으로 도시 스프롤과 녹지개발 가속화 및 파편화가 유발하는 생태적·사회적 영향을 저감한다(McMahon, 2000; Benedict & McMahon, 2002, McDonald et al., 2005). 그린인프라와

전통적인 녹지 계획의 차이점은 그린인프라 기법은 단순히 녹지의 보전 또는 조성만을 도모하는 것이 아니라 토지 개발, 성장 관리, 그리고 건조환경(built-environment) 계획과 조화를 이루어 보전 가치를 고려한다는 점에 있다(Benedict & McMahon, 2002).

Table 2. Nonstructural and structural green infrastructure techniques

Techniques		Descriptions
Non structural techniques	Minimize disturbed areas	Cluster development, minimized total disturbed areas, reducing soil mantle disturbance and impermeable areas
	Protect sensitive areas	Protect riparian buffer areas, environmentally sensitive areas, replanting indigenous vegetations, native ground cover
	Protect ecosystem functions	Minimize soil compaction, protect natural flow pathways, control natural drainage connectivity, preserve natural infiltration
Structural techniques	Infiltration	Tree box filters, Permeable pavers, infiltration trench
	Retention	Rain garden, vegetated swale, vegetated filter strip, green roof
	Rainwater recycle	Rain barrels and cisterns

Sources: SMCG(2008), LID Center(2000; 2010), Prince George's County(1999), Puget Sound Action Team et al.(2005), London(2007), Ministry of environment-Korea environment corporation(2013), Land and housing institute(2012), Ministry of environment(2013) LID Center Website(<http://www.lid-stormwater.net/>)

## 2. 국내의 그린인프라 적용 계획 사례

### 1) 국외 그린인프라 적용 계획 사례

그린인프라 기법의 적용 및 그 효과는 90년대 미국 프린스 조지 카운티의 강우관리계획에서 처음 본격적으로 논의된 이후 미국 및 유럽

의 많은 도시 및 단지 계획에 도입되었다. 미국 조경 협회(American Society of Landscape Architects)에서는 이러한 적용 경험들을 정리하여 미국 및 캐나다의 479개의 그린인프라 적용사례들을 통해 어떻게 그린인프라의 적용이 지방자치단체의 비용을 절감하고 지역사회 전체에 경제적 효과를 제공하는지를 제시하고 있다. 이 사례집은 좁게는 교육기관에 옥상녹화를 적용하거나 주택에 빗물정원을 조성하여 강우 관리 및 심미적 효과를 꾀하는 개별 건물 단위에서부터 넓게는 도시 및 단지 단위에서 연결성을 가진 녹지체계를 구축하여 계획대상지 전체의 강우유출수를 관리하는 등 다양한 규모의 사례를 보여준다(표 3).

Table 3. Field applications of LID techniques (Foreign applications)

Application cases	Descriptions
Florence Gardens	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Location: Gulfport, MS</li> <li>- A traditional neighborhood development with low impact development principles incorporated in the home site drainage as well as the drainage infrastructure for the development.</li> <li>- GI techniques such as Cluster development, bioretention facility, rain garden, downspout removal, and curb cuts were applied.</li> <li>- The overall network of small scaled and dispersed stormwater detention facility eliminated the need for a large detention facility.</li> </ul>
South Waterfront Redevelopment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Location: Portland, OR</li> <li>- Green infrastructure network was integrated into a thirty-acre scale mixed-use redevelopment project.</li> <li>- The City of Portland worked with developers to incentivize low impact development techniques and sustainable stormwater management facilities.</li> </ul>
The Brewery	<ul style="list-style-type: none"> <li>- The project included riverbank restoration along the Willamette River, rain garden, bioswale, green roof, cistern, porous pavers, curb cuts, groundwater recharge system.</li> <li>- Location: Downtown Milwaukee, WI</li> <li>- The Brewery project places a great deal of emphasis on creating a comprehensive stormwater management plan and integrated it into the project's streetscape.</li> <li>- All of roof and non-roof stormwater empty into one of the sites BMP's to be infiltrated, cleaned and stored to be released to the combined sewer at a reduced flow rate.</li> <li>- The BMP's consist of bioswale, tree lawns, tree islands, and underground storage areas.</li> </ul>
Evergreen Brick Works	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Location: Toronto, Ontario, Canada</li> <li>- The project aimed at transforming a post-industrial brick manufacturing site into an environment education center.</li> <li>- Through the GI technique that reintroduce native vegetation, newly developed site was able to respond to the floodplain ecosystem.</li> <li>- Surface runoff was controlled by a series of greenways and drainage troughs.</li> <li>- Roof water is collected into thirteen 5000-gallon cisterns and used for irrigation throughout the site.</li> <li>- GI techniques such as bioretention facility, rain garden, bioswale, green roof, cistern, rain barrels, curb cuts, stormwater management pond, permeable concrete, and greenways are integrated into the educational center design.</li> </ul>
Pacifica Cohousing Community	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Location: Carrboro, NC</li> <li>- Pacifica community was designed to enhance community, sustainability, diversity, and affordability.</li> <li>- The stormwater system was designed to minimize increases in stormwater runoff, minimize channelization and piping, and focused on distributed stormwater pollutant removal</li> </ul>

	- GI design features are consist of bioretention facility, bioswale, cistern, porous pavers, and curb cuts.
Headwaters at Tryon Creek	- Location: Portland, OR - Based on the sustainable design principle, a derelict site was transformed into a environmentally friendly community. - Creek and wetland restoration led to improving environmental and economic conditions of community and increased property value. - Bioretention facility, rain garden, bioswale, green roof, porous pavers, curb cuts and sotrmwater flow-through planters were installed.

Source: Reconstructed from green infrastructure case study (<http://www.asla.org/stormwater>) conducted by American Society of Landscape Architects

## 2) 국내 그린인프라 적용 계획 사례

계획기법으로서의 그린인프라의 필요성은 급증한 토지 개발 및 파편화, 환경 훼손 및 오염, 수질 개선 의무의 증가, 멸종위기종 보호, 공공 보전에 대한 염려 및 주거 인근 녹지에 대한 선호, 도시 재활성화, 지속가능한 개발 등의 이슈들에 의해 대두되었다(McMahon, 2000; Benedict & McMahon, 2002). 우리나라에서는 환경문제 중에서도 특히 수질·유역관리를 위한 토지이용계획기법의 하나로 고려되기 시작했고, 대규모 도시 조성이 가져오는 물순환 왜곡 및 비점오염 관리를 위한 도구로 행정중심복합도시(세종시) 건설 시 본격적으로 그린인프라가 도입되었다(환경부, 2009). 행정중심복합도시 뿐만 아니라 판교 신도시, 파주 신도시, 광교 신도시 계획에도 녹지축과 물순환을 연계하는 그린인프라 기법의 개념이 일부 포함되었으며 이후 계획된 아산신도시와 부산 에코델타시티 계획에는 그린인프라를 도입한 물순환 도시 조성이 계획의 상위목표 중 하나로 설정되어 보다 적극적인 도입이 시도되었다. 관련 연구 및

개발계획 내용에 따라 각 계획들에 적용된 그린인프라 기법들을 정리하면 표 4와 같다.

Table 4. Field applications of LID techniques (Domestic applications)

Application cases	Descriptions
Sejong-si	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GI techniques for minimizing impervious surface was incorporated into a road plan and a building plan.</li> <li>- Rainfall detention facilities (retarding ponds, underground storages, and artificial wetlands) and infiltration facilities (infiltration trench) was installed.</li> <li>- GI techniques were utilized to manage non-point water pollutant.</li> <li>- Urban parks and open spaces were designed to have multi-functions including stormwater management.</li> <li>- Permeable materials widely applied to pedestrian road constructions.</li> <li>- Residual forests were preserved and utilized as a ecological corridor.</li> </ul>
Paju new town	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Natural drainage system was preserved and utilized.</li> <li>- GI facilities for environment education, ecotourism, and permaculture were constructed.</li> <li>- Conservation of green network was strongly considered in planning, and riparian buffer areas, ecological detention facilities were introduced.</li> </ul>
Asan new town	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilities such as Infiltration trench, bioretention reservoir, stormwater storage facilities, and wetlands was constructed in selected demonstration areas for Low Impact Development techniques.</li> <li>- Providing wildlife habitats and open space for local communities through riparian buffer areas and reintroducing natural vegetation along the streams.</li> <li>- Installing green roofs to create small</li> </ul>

	<p>ecosystem and to extend green spaces.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permeable pavement was applied to park, pedestrian road, plaza, and parking lots</li> </ul>
Gwanggyo new town	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintaining natural water flow to collect rainfall through preserving natural landscapes.</li> <li>- GI techniques including bioretention pond, cristerm, underground storage for the purpose of improving water quality and stormwater management.</li> <li>- Recreation places was established along with a small brooks.</li> </ul>
Busan Eco-delta city	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sustaining permeable area was selected as one of the major design principle, GI techniques widely applied to the project's district plans</li> <li>- Existing wildlife habitats including phragmites communis community was preserved.</li> <li>- Considerable attention was given to topography in street and open space planning to improve natural water flow.</li> <li>- GI techniques such as wetlands, ecology corridor, riparian buffer areas, bioretention facilities, early-stage stormwater management facilities was introduced.</li> </ul>

Source: Reconstructed based on Choi et al.(2009), Sejong city hall(2014), Kim and Jang(2010), Yoon et al.(2014), Song et al.(2012), and Korea land and housing corporation(2008).

사례들을 살펴볼 때 국내에서 그린인프라를 도입한 계획들은 주로 신규 개발지역에서의 물순환·우수관리에 초점을 두고 있으며, 대부분의 계획들이 빗물의 침투와 저류, 재이용을 위한 구조적 시설의 조성을 주요 내용으로 하고 있다. 신도시 계획에 물순환의 개념을 추가하고 단순히 몇 가지 관련 구조적 시설을 도입한 파주, 광교 신도시에 비해 그린인프라 도입의 초시가 행정중심복합도시나 개발계획의 제안 단계에서부터 그린인프라를 고려했던 부산에코델타시티의 경우 계획 단계에서의 불투수면적 저감 및 도시내 잔존림의 보전, 자연지형 활용 등

의 비구조적 그린인프라 기법의 개념을 반영하여 구조와 비구조적 기법을 모두 포괄하고 있는 것으로 보인다. 그러나 아산 신도시의 경우는 계획목표에서 적극적인 물순환 녹색도시를 표방하는 것에 비해 채택된 그린인프라 기법들이 구조적 시설에 치중되어 있다는 지적을 받으며(윤정중 외, 2014) 투수면적 확보를 위한 노력 또한 투수성 포장 설치에 한정되어 있는 등 토지이용구상 및 계획 단계에서의 비구조적 기법 적용은 상대적으로 미흡한 것으로 나타났다.

### 3. 시사점

이미 그린인프라 기법의 적용사례들이 누적되고 그 효과 검증이 이루어지고 있는 국외 사례들과 비교할 때, 국내에서의 그린인프라 기법 적용은 아직 도입 단계로 볼 수 있다. 그린인프라 기법이 적용되기 시작한 것은 매우 긍정적인 일이나, 그린인프라 기법이 대상지역 전반의 물순환·생태 네트워크·종다양성·심미성·레크리에이션 기능 등 종합적인 환경의 질을 제고할 수 있는 방법이라는 것을 감안할 때 파주·광교·아산신도시의 사례들은 적용된 그린인프라 기법들이 구조적 시설 위주로 한정되었다는 아쉬움이 있다.

이러한 결과는 다음과 같은 문제점들에 의한 것으로 보인다. 첫 번째로는 그린인프라가 국내에 도입될 때 비점오염원 저감을 위한 최적관리기법(BMPs)과 유사하거나 이를 대체할 시설물로서 인식되었기 때문이다(최지용·신창민, 2002). 이에 따라 그린인프라 관련 국내 연구들도 종합적인 토지이용구상 및 계획 단계에 반영되는 비구조적 기법보다는 식생 및 침투도

량, 식생여과대, 투수성 포장, 인공습지 등 개별 구조적 기법들의 기능 및 효율성 분석 위주로 진행되었다.

두 번째로는 그린인프라 기법이 토지이용 구상 및 계획단계에서의 보전을 강조함에도 불구하고 기존 계획 내에서 비구조적 그린인프라 기법을 적용하고 그 적정성을 평가할 방법이나 기준이 부재하기 때문이다. 전통적인 종합계획 내에서 그린인프라 기법이 적용될 수 있는 대표적인 부문으로는 녹지계획과 우수관리계획을 들 수 있으나 녹지의 확보가 우수관리의 효과까지 포함하는 그린인프라 기법의 개념과는 달리 우리나라의 도시기본계획 및 지구단위계획에서는 두 가지 부문이 별도로 다뤄지고 있다. 녹지계획의 경우 공원·녹지의 보전 및 배분, 우수관리의 경우 관거 확보를 주 내용으로 하고 있어 두 가지 부문별 계획의 연계성을 높이고 종합적인 구상을 도출하기 어려운 실정이다. 또한 기존의 개발계획 내의 보전 및 녹지 배치 계획은 개별 토지 특성에 대한 별도의 분석 없이 주로 생태자연도 등에 의존하여 생태등급이 높은 토지들을 배제하는 방식으로 이루어진다. 이는 역으로 높은 등급에 해당하지 않는 토지들은 토지의 특성에 관계없이 일괄적으로 개발이 가능하다는 판단을 유도할 위험이 있으며 개발할 토지를 우선 지정 후 자투리땅에 녹지를 조성하는 등 개발편의 위주의 계획을 조장하기도 한다. 그린인프라의 적용은 보전하지 않아도 되는 토지는 모두 개발 가능하다는 이분법적인 사고방식이 아니라 토지의 특성에 따라 보전과 개발의 강도와 유형을 분류함으로써 보전을 하더라도 자연 상태의 토지의 기능을 적극적으로 활용하고, 개발을 하더라도 개발이 가져오는 녹지의 기능 저하를 최소화하며 저하된 기능을 보완하고자 하는 원칙하에 실현될 수 있으나

기존 계획 내에서는 그린인프라와 관련된 토지의 특성 및 이에 따른 이용을 구분하고 검증할 수단이 나 기법이 없는 실정이다.

따라서 기존 그린인프라 적용의 한계를 극복하기 위해서는 토지의 특성에 따라 구조적 기법과 비구조적 기법의 적용 적정성을 고루 분별할 수 있는 방법을 통한 그린인프라 적용이 필요하며, 녹지 및 우수관리에 대한 통합된 접근을 통해 토지의 특성을 분석하고 이에 기반하여 계획 구상 단계에서 그린인프라 적용을 위한 구분 기준을 제시할 수단이 요구된다. 이러한 수단은 토지이용 구상 단계 및 계획 초안 단계에서 그린인프라의 개념과 원칙을 적용할 수 있도록 지원할 수 있다.

그린인프라 적용의 한계들을 보완하기 위해 본 연구에서는 강우유출특성과 녹지의 파편화 특성을 분석하고 이를 통합하기 위한 방법론을 고안하였다. 고안된 방법론은 토지이용 매트릭스를 이용하여 토지 특성별 구조적·비구조적 그린인프라 기법 적용의 기준을 제시하고, 이를 토지이용구상 단계에서 반영하거나 토지이용계획 초안 단계에서 보완을 위해 활용할 수 있도록 한다. 다음 장에서는 그린인프라 적용을 위해 토지 특성을 평가하는 방법론을 상세히 살펴보고자 한다.

### III. 연구방법

#### 1. 분석 대상지

분석 대상지로는 그린인프라 기법을 적용한 계획 사례지역 중 아산신도시를 선정하였다. 아산신도시는 충남 아산시와 천안시 일원을 대상으로 계획된 제2기 신도시로, 전국 최초 분산

식 빗물관리 시스템을 도입하여 물순환 신도시 조성을 계획하고 있다는 특징을 가지고 있으나 상대적으로 그린인프라 기법의 다양성이 떨어지고 구조적 기법 중심의 계획이 적용된 것으로 검토되어 그린인프라 기법 적용의 개선이 필요하다.

분석 단위로는 아산시 비오톱 지도에서 적용 가능한 기법이 구조적 기법으로 한정되는 도시화 토지를 제외한 비도시화 토지패치를 채택하였다. 이에 따라 각 토지패치별 적절한 구조적/비구조적 그린인프라 기법이 도출되도록 한다.

분석의 범위는 토지이용구상 및 계획의 측면에서 그린인프라의 적정성을 도출하기 위해 아산신도시 계획지구를 포함한 아산시 전체를 포괄하였다. 이때 아산 신도시는 계획 구역 내에 아산시 뿐만 아니라 천안시 일원도 함께 포함하고 있으나, 천안시가 차지하는 면적이 상대적으로 적으며 행정구역 간의 비오톱지도 구축 방법의 차이에 따른 분석의 타당성 훼손을 방지하기 위해 아산시 경계 밖의 계획지역은 분석 범위에서 제외하였다.

## 2. 분석방법

앞서 살펴본 바와 같이 그린인프라 기법 적용의 문제점들을 개선하기 위해서는 비구조적 기법의 적용을 촉진하고 우수관리를 통한 물순환과 녹지계획을 포괄하는 그린인프라의 개념을 적용할 수 있는 방법론이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 구조적·비구조적 그린인프라 기법을 배분하고, 우수관리와 녹지 체계 배분을 종합하는 그린인프라 기법 적용 및 평가기법을 고안하였다. 고안된 평가기법은 토지이용구상 및 계획단계에서 활용될 수 있도록 직관적인

형태를 취하며 강우유출특성 분석과 파편화지수 분석의 두 가지 방법으로 구성된다.

Table 5. CN coefficient by land use and land cover

Level-2 land cover classification	CN value by the land cover classification			
	A	B	C	D
Rice paddy	79	79	79	79
Dry field farming soil	63	74	82	85
Orchard	70	79	84	88
natural grassland	30	58	71	78
Other grassland	49	69	79	84
Coniferous forests	48	69	79	85
Broadleaf forest	48	69	79	85
Mixed stand forest	48	69	79	85
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Sources: Ministry of land, infrastructures and transport(2012)

강우유출특성 분석은 그린인프라의 우수관리 기능을 고려하기 위한 분석 방법으로, 강우시 토지가 물을 침투시키지 못하고 지표로 유출시키는 정도를 나타내는 강우유출률을 분석의 준거로 활용하였다. 특정 토지패치에서 강우유출률이 높을수록 토지의 물순환기능이 떨어져 그린인프라를 기법을 통한 관리의 필요성이 높다고 판단한다. 각 토지패치의 강우유출량을 도출하기 위해 토양종류별/토지이용상태별 유출곡선 지수를 통해 유역의 특성에 따라 유출량을 측정하는 SCS-CN 모델을 이용하였다(최병수와 안중기, 1997). 국토교통부가 제공하는 우리나라 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수를 기준으로 대상지역의 비오톱지도와 토양도를 통해 토지패치별 유출계수(CN)와 평년강우량



기준 강우유출률을 도출하였으며, 대상지역의 평년강우량은 1981-2010년 천안관측소 기준 연평균 1226.5mm를 활용하였다.

Table 6. Types of land by Hydrological characteristics

Types of land	Hydrological characteristics
A	Low runoff potential, High infiltration rate, Deep soil depth, Soil composed of gravel and coarsed sand
B	Moderate infiltration rate, slightly deep soil depth, Soil composed of fine-texture sand and coarsed sand
C	Low infiltration rate, Moderate soil depth with a layer hampering infiltration, Fine-textured soil
D	High runoff potential, Very low infiltration rate, Shallow soil depth with an impermeability layer and clay layer

Sources: Jeong et al.(2007)

(식 1) 강우유출률 도출 산식

$$Q = \frac{Q}{P}$$

$$Q = \frac{(P - aS)^2}{P + (1 - a)S} \quad (\text{단, } P \leq aS \text{ 일 경우 } Q = 0)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254$$

Q = 강우유출률  
 Q = 강우유출량  
 P = 강우량(mm)  
 a = 상수(SCS에서는 통상 a = 0.2)  
 S = 최대저류량(mm)  
 CN = 유출곡선지수

파편화는 전체 경관이 농업 및 기반시설의 개발과 같은 인간의 활동에 의해 작은 조각으로 부서지는 것을 의미한다. 그린인프라 적용에 관한 여러 선행연구들은 파편화수준을 녹지 네

트워크의 단절 및 분열을 판단하는 기준으로 활용하였다(La Greca et al., 2011; La Rosa & Privitera, 2013; 김동현 외, 2014). 파편화 수준이 높은 토지일수록 인간 활동에 의한 단절 및 분열이 많이 일어난 토지이므로 구조적 기법의 적용을 우선 고려할 수 있으며, 파편화 수준이 낮은 토지일수록 녹지 네트워크가 잘 유지되었다고 판단되어 보전의 가치가 높은 토지로 비구조적 기법의 적용을 고려할 수 있다. 파편화분석은 토지패치의 면적이 넓을수록, 패치 인근의 밀도가 낮을수록 경관이 덜 파편화되었을 것이라는 가정에 기반한다. 각 토지패치들의 면적과 한 패치로부터 500m 반경 내의 패치 개수를 활용하여 파편화지수가 도출되었다(La Greca et al., 2011; La Rosa & Privitera, 2013; 김동현 외, 2014).

(식 2) 파편화지수 도출 산식

$$FR = (1 - PAT_-) + (NP_-)$$

FR = 각 토지 패치들의 파편화지수  
 PAT = 패치 면적  
 $PAT_- = PAT / PAT_{max}$  로 패치 면적의 표준화값  
 NP = 한 패치로부터 500m 반경 내의 패치 개수  
 $NP_- = NP / NP_{max}$  로 패치 개수의 표준화값  
 $PAT_{max}$  = 연구 대상지역에서의 최대 PAT  
 $NP_{max}$  = 연구 대상지역에서의 최대 NP

### 3. 토지이용 매트릭스

강우유출특성과 파편화지수 분석의 결과들을 통합하여 토지이용구상 및 계획 단계에서 그린인프라 적용의 적정성 평가 기준으로 활용하기 위해 토지이용 매트릭스를 이용하였다. 이는 기존의 개발계획에서 녹지계획이 답습했던 것과 같이 토지를 단순한 개발과 보전의 두 가지 카테고리 구분하는 것이 아니라 강우유출과 토

지의 파편화라는 기준 특성에 따라 그린인프라와 관련된 세분화된 토지이용분류를 제시하기 위함이다.

토지이용 매트릭스는 각각 3개의 등구간으로 분류된 가로축의 강우유출특성과 세로축의 파편화지수로 구성된다. 앞서 분석 방법에서 설명한 것과 같이 가로축의 강우유출특성은 현재의 물순환능을 평가하여 물순환능이 우수한 토지라면 그린인프라 기법을 통한 현재 상태의 보전 및 유지, 물순환능이 상대적으로 저하된 토지라면 그린인프라 기법을 통한 물순환능의 개선을 필요로 하는 것으로 판단하는 지표가 된다. 세로축의 파편화지수의 경우 파편화지수가 낮을수록 토지가 인간 활동의 영향에 의해 쪼개진 정도가 덜해 토지 간의 네트워크 수준이 높다고 판단되며 이에 따라 그린인프라 기법을 통한 계획 단계에서의 적극적이고 우선적인 보전이 필요하다. 파편화지수가 높은 토지들은 낮은 토지들에 비해 상대적으로 우선적인 개발을 고려해야할 토지들로 판단하되 개발영향을 최소화하기 위해 그린인프라 기법이 적용되어야 한다. 이러한 기준 하에 그림 1과 같이 강우유출특성과 파편화지수에 따라 적절한 비구조적/구조적 그린인프라 기법을 배분하기 위해 크게 5개 카테고리 분류되는 토지이용 매트릭스를 구축하였다. 구축된 토지이용 매트릭스는 단순히 보전과 개발을 구분할 뿐만 아니라 토지 특성에 따른 그린인프라 기법 유형의 적정성과 달성되어야할 물순환능의 지표를 함께 제시한다. 토지이용 매트릭스를 통해 얻어진 그린인프라 적용 기준은 토지이용 구상의 단계에서 녹지체계와 강우유출관리 계획의 거시적인 축을 정립하는 데 반영될 수 있으며, 토지이용계획의 마스터플랜 수립 단계에서는 수립된 초안과 비교하여 개발지역의 위치와 면적, 녹지

시설의 배치와 배분에 있어 초안을 보완하고 발전시키는데 활용될 수 있다.

		Rainfall-runoff characteristics		
		LOW	MID	HIGH
Fragmentation ratio	LOW	Priority lies in conservation Non-structural techniques Preserve natural water flow	Priority lies in conservation Non-structural techniques Water flow improvement	Priority lies in conservation Non-structural techniques Water flow improvement
	MID	Priority lies in conservation Non-structural techniques Preserve natural water flow	Selective application	Priority lies in development Structural techniques Water flow improvement
	HIGH	Priority lies in development Non-structural techniques Minimized impacts on water flow	Priority lies in development Non-structural techniques Minimized impacts on water flow	Priority lies in development Structural techniques Water flow improvement

Figure 1. Land-use matrix

그림 1의 토지이용 매트릭스에서 그린인프라를 통해 관리해야할 강우유출량이 많이 발생하는 토지들은 가로축의 HIGH에, 강우유출량이 적은 토지들은 LOW에 해당한다. 잘게 쪼개진 정도가 높아 파편화가 많이 일어난 토지들은 세로축의 HIGH에, 파편화가 덜 일어난 토지들은 LOW에 해당한다. 매트릭스의 각 항목들을 살펴보면, 강우유출률이 낮고 파편화가 적거나 중간 수준으로 일어난 토지의 경우(강우유출률 LOW-파편화지수 LOW/MID) 현재의 녹지 네트워크 수준과 물순환능을 유지하기 위해 계획 단계에서 민감한 지역의 보호, 자연 유수 경로의 보호 등 비구조적 기법을 통한 보전을 권장하며, 강우유출률이 높거나 중간수준이고 파편화지수가 낮아 녹지 네트워크는 잘 유지되어 있는 것에 비해 물순환능이 떨어지는(강우유출률 MID/HIGH-파편화지수 LOW) 토지는 네트

워크 보호 및 유지를 위해 보전을 우선시하며 강우 단절, 훼손지역 재식생 등 비구조적 기법의 적용을 통해 물순환능을 개선할 필요가 있다. 강우유출률은 낮거나 중간 수준이라 물순환이 원활하지만 파편화지수는 높아 인간 활동으로 이미 파편화가 진행된 토지들의 경우(강우유출률 LOW/MID-파편화지수 HIGH) 필요시 우선적으로 개발할 수 있으며 이때 개발이 기존의 물순환능을 저하시키지 않도록 하기 위해 클러스터 개발 등의 비구조적 기법을 적용하여 유출량의 증가를 최소화해야 한다. 강우의 침투가 잘 이루어지지 않아 유출률이 높고 파편화지수도 높거나 중간인 토지들의 경우(강우유출률 HIGH-파편화지수 MID/HIGH) 우선 개발이 가능한 지역에 해당하며 높은 강우유출량을 처리하기 위해 옥상녹화, 침투저류지 등 구조적 기법을 적용하여 물순환을 개선해야 한다. 마지막으로 강우유출률과 파편화지수 모두 중간(MID-MID)인 토지는 토지이용의 목적에 따라 그 외 4개 카테고리의 방법을 선택적으로 적용하도록 한다.

각 특성별로 적용되어야 하는 그린인프라 기법들은 표 7와 같다. 각각 현재 물순환능 유지를 위한 비구조적 기법, 현재 물순환능 개선을 위한 비구조적기법, 개발시 물순환능 저하를 최소화하기 위한 비구조적 기법, 개발시 물순환능 개선을 위한 구조적 기법에 해당한다.

Table 7. Appropriate green infrastructure techniques by the land-use matrix

Rainfall runoff	Fragmentation Ratio	Applicable area	Applicable GI techniques
LOW	LOW	Non-structural techniques in order to	Protect riparian buffer areas and sensitive areas,
LOW	MID		

		preserve present water circulation		Preserve natural flow pathway and natural infiltration
MID	LOW	Non-structural techniques to improve water circulation		Control natural drainage connectivity, Replanting indigenous vegetations
HIGH	LOW			
LOW	HIGH	Non-structural techniques to minimize impacts of development on water circulation		Cluster development, Minimized total disturbed areas, Reducing soil mantle disturbance and impermeable areas, Minimize soil compaction
MID	HIGH			
HIGH	MID	Structural techniques to improve water circulation	Built-up areas	Tree box filters, Permeable pavers, Infiltration trench, Rain garden, green roofs
HIGH	HIGH		Roads and footpaths	Tree box filters, Permeable pavers, Infiltration trench, Vegetated swale, Vegetated filter strip
			Open space	Rain garden, Bioretention areas

#### IV. 분석 결과

##### 1 강우유출특성 분석 결과

강우유출특성 분석은 그림 2, 3과 같은 대상 지역 토지패치별 토지이용현황과 수문학적 토양유형에 따라 도출된다. 강우유출특성 분석 결과의 통계값은 표 8과 같으며 그림 4에서 토지패치별 유출률의 분포를 확인할 수 있다.

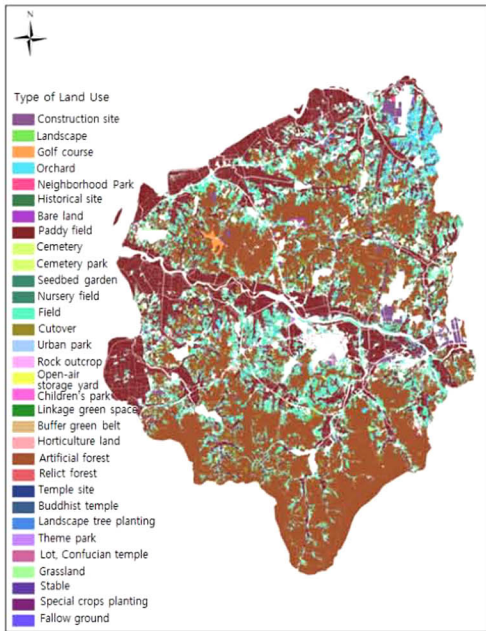


Figure 2. Land-use map of the targeted area

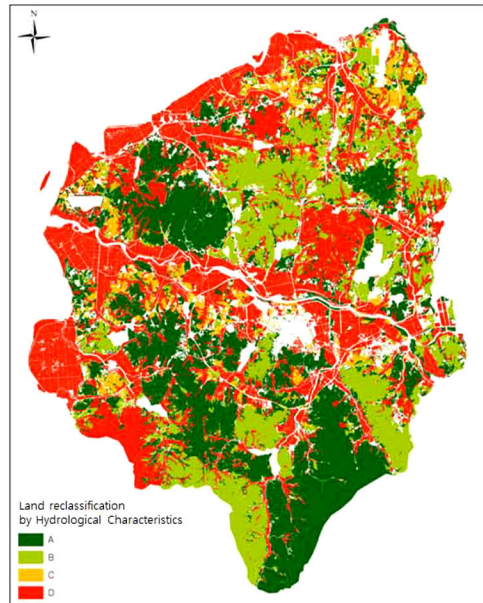


Figure 3. Patch reclassification map by Hydrological characteristics

Table 8. Results of the rainfall-runoff analysis

	Min	Max	Mean	Std.dev
Runoff ratio(Q <sub>1</sub> )	0.5885	0.9843	0.9026	0.0590
Runoff quantity(Q)	721.84	1207.26	1107.00	72.34
Curve Number(CN)	30.00	94.00	72.16	12.09
Potential storage(S)	16.21	592.67	110.13	74.34

강우유출특성 분석결과 대상지는 비도시화 지역임에도 유출률이 상당히 높은 특성을 보였다. 이러한 지역들은 이미 물이 고여 있어 강우가 침투되지 못하는 논이거나(CN = 100), 수문학적 토양분류 등급상 침투속도가 매우 느려 지표로 유출되는 빗물의 양이 많은 토지들이다. 유출률이 높은 토지들은 그린인프라 기법의 적용을 통한 물순환능의 개선이 필요하다.

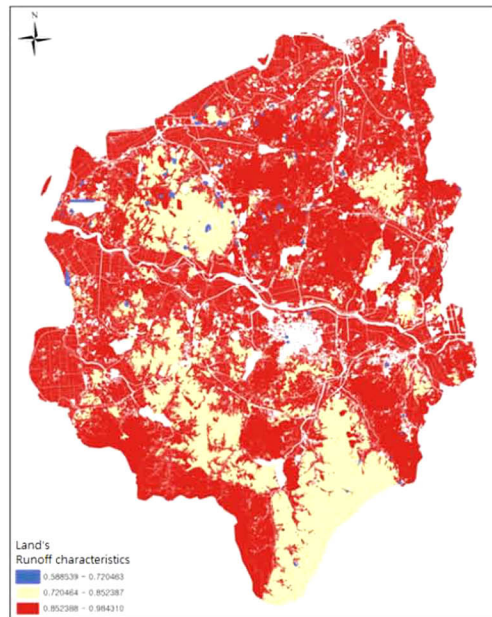


Figure 4. Patch reclassification map by rainfall-runoff characteristics

## 2. 파편화지수 분석 결과

파편화지수 분석 결과의 통계값은 표 9와 같이 나타났으며 그림 5에서 토지패치별 파편화지수의 분포를 파악할 수 있다. 파편화수준이 높은 토지는 주로 기 개발지에 인접한 토지들이 많으며 인간활동에 의해 작은 면적과 개수로 쪼개어진 지역들이다. 반면 파편화수준이 낮은 토지들은 대부분 산림지역에 해당한다. 파편화수준이 높은 토지들은 개발 필요시 우선 이용될 수 있으며, 파편화수준이 낮은 토지들은 녹지 네트워크가 상대적으로 잘 유지된 것으로 판단되어 보전이 필요하다.

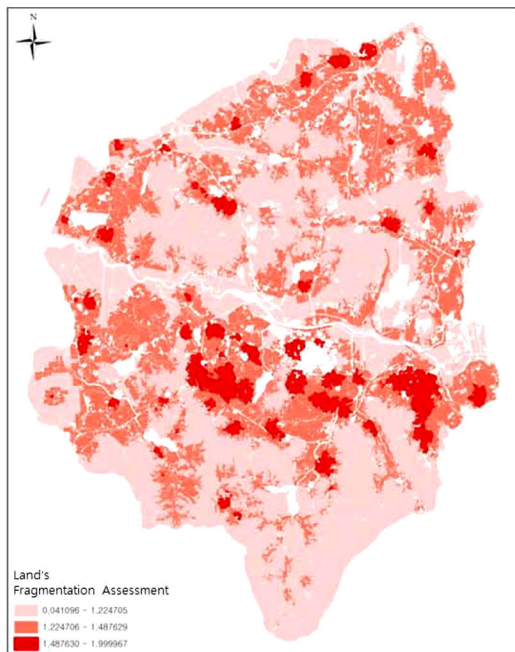


Figure 5. Resulting map of the fragmentation assessment

Table 9. Results of the fragmentation assessment

	Min	Max	Mean	Std.dev
Fragmentation ratio (FR)	0.0411	2	1.3268	0.1314
Standardized patch area (PAT <sub>c</sub> )	0	1	0.0003	0.0061
Path area (PAT(m <sup>2</sup> ))	1.4978	34225513.59	9832.03	210347.29
Standardized number of neighboring patch (NP <sub>c</sub> )	0.0027	1	14613.88	0.1310
Number of neighboring patch (NP)	1	365	119.3757	47.8225

## 3. 토지이용 매트릭스를 이용한 그린인프라 적정성 평가

토지이용 매트릭스를 통해 강우유출특성과 파편화지수를 종합한 그린인프라 적정성 평가 결과는 그림 6과 같다. 분석 결과 아산시 대부분의 토지가 현재 물순환능 유지를 위한 비구조적 기법이 필요한 지역과 개발시 물순환능 개선을 위한 구조적 기법이 필요한 지역으로 나타났다. 그림 6의 좌측 붉은 점선으로 표시된 지역이 아산신도시 계획지역으로, 파편화수준은 낮으나 강우유출률이 높은 지역과 파편화수준이 높고 강우유출률도 높은 지역이 혼합된 지역이다.

연구에서 도출된 그린인프라 적정성 평가 방법론이 실제 신도시 개발 및 도시 재개발의 토지이용구상 및 계획 단계에 적용될 수 있도록 하기 위해, 아산 신도시에 예정된 토지이용계획을 수정 가능한 토지이용계획 초안으로 가정하여 분석 결과와 비교하였다. 그림 7은 그림 6의 붉은 점선 내부를 확대하여 아산 신도시에 예정된 토지이용계획과 비교한 것이다.

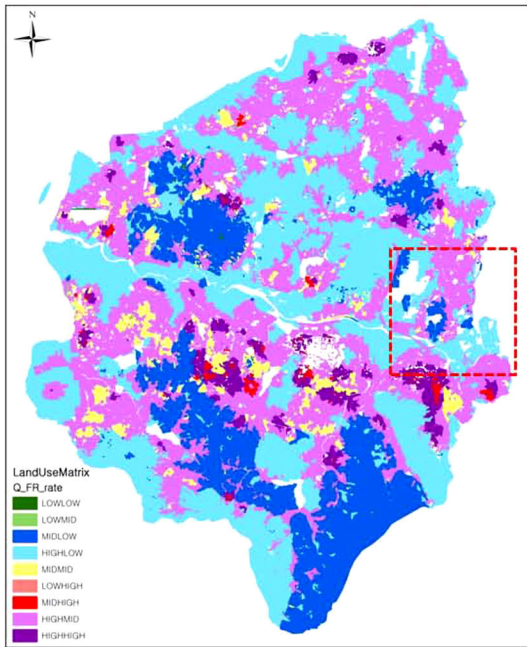


Figure 6. Result of land suitability assessment

표 10은 그림 7에 해당하는 번호에 따라 그린인프라 적정성평가 결과와 아산 신도시 토지이용계획 내의 주요 토지패치들을 비교한 것으로, 비교 결과 ‘보전이 우선되며 비구조적 그린인프라 기법을 통한 물순환능 개선’이 필요한 대부분의 토지들이 공원·녹지로, ‘필요시 우선 개발 가능하며 구조적 기법을 통한 물순환능 개선’이 필요한 토지들은 주거·준주거 및 상업지역으로 계획되어 있어 토지이용구상 및 계획의 측면에서 크게 충돌이 나타나지는 않고 있다. 그러나 번호 7과 번호 10과 같은 일부 토지들의 경우에는 보전이 우선되는 토지들이 주거 및 상업지역으로 예정되어 있어 그린인프라 적정성 평가 결과와 토지이용계획이 일치하지 않는 것을 보인다. 이러한 차이는 아산신도시 계획이 전통적인 녹지 계획과 마찬가지로 녹지의 네트워크 및 잔존 산림의 보호는 고려하였

으나 강우시 유출특성과 같은 우수관리 요소들은 토지이용구상 단계에 포함시키지 않았기 때문으로 추측된다. 그러나 이러한 차이에도 불구하고 그린인프라 적정성 평가 결과와 기존 토지이용계획 간에 크게 상이한 충돌이 나타나지 않은 것은 본 연구에서 고안된 평가 방법이 전통적인 녹지계획 방식과 동떨어지지 않는 그린인프라의 기능을 고려하도록 계획 초안을 보완하고 그린인프라의 적용 및 혜택 제고에 있어 계획의 질을 높이도록 해 줄 수 있다는 점을 시사하여 그린인프라 적정성 평가의 활용 가능성을 기대할 수 있다.

Table 10. Appropriate green infrastructure techniques and assessment of land use plan of Asan new town

No.	Appropriate green infrastructure techniques	Land-use plan in Asan	propriety
1	High conservation priority, Non-structural GI techniques	Urban parks	O
2	High conservation priority, Non-structural GI techniques	Urban parks	O
3	High conservation priority, Non-structural GI techniques	Urban parks	O
4	High development priority, Structural GI techniques	Residential areas	O
5	High development priority, Structural GI techniques	Residential areas	O
6	High development priority, Structural GI techniques	Residential areas	O
7	High conservation priority, Non-structural GI techniques / High development priority, Structural GI techniques	Residential areas	X
8	High development priority, Structural GI techniques	Residential areas	O
9	High development priority, Structural GI techniques	Urban parks	O
10	High conservation priority, Non-structural GI techniques	Residential, commercial areas	X
11	High conservation priority,	Open	O

	Non-structural GI techniques	space	
12	High conservation priority, Non-structural GI techniques	Quasi residential areas	X

## V. 결론

개발로 인한 불투수피복 증가는 불순환 왜곡, 종다양성 감소, 열섬효과, 대기의 질 저하 등 다양한 문제들을 유발할 수 있다. 이러한 문제들에 접근함에 있어 그린인프라 기법은 자연상태의 토지 또는 이와 유사한 기능을 하도록 인공적으로 조성된 녹지들이 제공하는 기능들을 고려함으로써 도시의 토지이용구상 및 계획에 있어 중요한 의사결정의 한 축이 될 수 있다.

본 연구는 토지이용의 구상 및 계획 단계에서부터 비구조적·구조적 그린인프라 기법을 고려하고 적용하기 위한 방법으로 강우유출특성 분석과 파편화지수 분석, 토지이용 매트릭스를 이용하는 그린인프라 적정성 평가방법을 고안하였다. 고안된 평가방법은 도시 조성의 목표 중 하나로 불순환 도시를 지향하는 충남 아산 신도시 지역을 대상으로 적용되었다. 강우유출 특성 분석 결과 아산시는 대부분의 토지들이 높은 강우유출률을 보이며, 상대적으로 강우유출률이 낮은 토지들은 분산적으로 분포되어 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 아산시 내 대부분의 토지들이 구조적/비구조적 그린인프라 기법 적용을 통한 불순환능 개선이 필요한 토지들에 해당한다. 파편화지수 분석 결과로는 주로 산림지역이 파편화수준이 낮으며, 기 개발지 인근 지역이 파편화 수준이 높아 인간 활동으로 인해 이미 토지가 잘게 쪼개진 모습을 보였다. 이러한 토지들은 파편화 수준이 낮아 녹지 네트워크가 잘 보전된 토지들보다 우선적으로 개발에 이용될 수 있다.

토지이용 매트릭스를 통해 강우유출특성 분석과 파편화지수 분석 결과를 통합하여 도출된

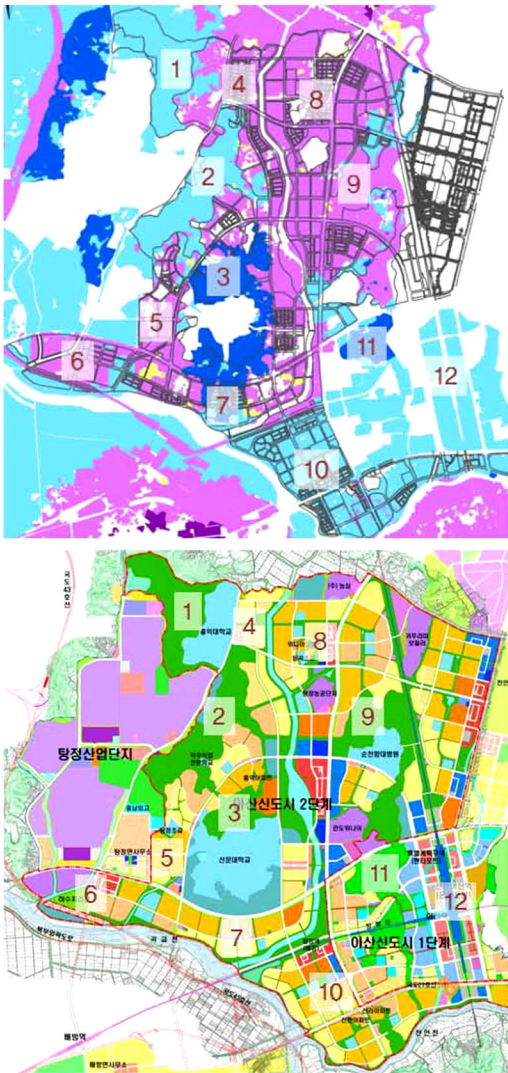


Figure 7. Comparing Land suitability assessment map for GI with land-use plan in Asan

그린인프라 적정성 평가 결과, 아산시의 대부분의 토지패치들과 마찬가지로 아산 신도시 지역은 강우유출률이 높아 물순환 개선이 필요한 지역에 해당하며, 비구조적·구조적 그린인프라 기법이 혼합되어 적용될 필요가 있는 지역이다. 그린인프라 평가 결과와 아산 신도시에 기 수립된 토지이용계획을 비교했을 때 보전과 비구조적 기법이 필요한 토지의 대부분이 공원·녹지로 계획되어 있었고, 필요시 우선 개발 가능하고 구조적 기법을 필요로 하는 토지의 대부분이 주거 및 상업지역으로 계획되어 일부 토지를 제외하고는 토지이용계획과 그린인프라 적정성 평가 결과 사이에 큰 충돌이 나타나지는 않는 것으로 보인다. 이는 아산 신도시의 토지이용구상 및 계획이 적절하게 수립되었음을 의미하며 동시에 본 연구에서 제시한 그린인프라 기법 적용을 위한 적정성 평가 방법이 기존의 토지이용구상 및 계획 방법과 함께 이용가능한 방법이라는 것을 시사한다.

본 연구에서 제시한 방법은 기존 토지이용구상 및 계획의 결과물에서 크게 벗어나지 않으면서도 녹지계획과 우수관리계획을 통합하고, 녹지 및 비도시화 토지를 그린인프라로서 적극적으로 이용할 수 있도록 돕는다. 기존의 토지이용계획 및 개발계획 수립 과정은 그린인프라와 관련된 적용 기준이 부재하여 보전에 있어서 세분화된 분류와 목적을 가지지 못했으며, 이에 따라 녹지의 보전이 그린인프라 기법의 원칙과 같이 생태·기능·경제적 효과를 얻을 수 있는 수단이 아니라 단순히 계획과정에 있어서 충당해야 할 의무에 지나지 않게 하였다. 마찬가지로 이유로 그린인프라의 개념을 적극적으로 도입한 계획 사례들에서도 적절한 그린인프라 적용 기준에 기반하지 못하여 주로 구조적 시설 위주로 계획이 수립되어 그린인프라를 통해

얻을 수 있는 혜택들을 놓치는 결과를 낳았다. 본 연구의 방법론은 이를 보완하여 개별 토지들을 대상으로 그린인프라와 관련된 토지 특성 분석을 수행하고 해당 토지에 적절한 그린인프라 기법을 도출할 수 있도록 하였다. 이에 따라 기존의 계획 과정 내에 부재했던 그린인프라 적용을 위한 판단 준거를 제시하여 토지이용구상 단계에서 이를 반영할 수 있게 하며, 이를 수립된 토지이용계획과 비교하는 과정을 거치게 함으로써 그린인프라가 단순히 개별 녹지시설로서만이 아니라 토지이용의 방법의 일부로 적용되도록 통합하였다. 이를 활용함으로써 한층 계획의 질을 향상시키고, 도시민들이 그린인프라에서 얻는 혜택을 제고할 수 있을 것으로 기대한다.

주1. 사사 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C04)으로 수행되었습니다.

## 인용문헌

## References

1. 국토교통부, 2012. 「설계홍수량 산정요령」, 경기. Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, 2012. *Technical report for design flood estimation*, Gyunggi.
2. 김동현·서해정·이병국, 2014. “비도시화 토지의 지속 가능한 토지이용을 위한 그린인프라 적용기법 : 에코델타시티 사례를 중심으로”, 『대한환경공학회지』, 36(6): 402-411.  
Kim, D., Seo, H., and Lee, B., 2014. "Method of green infrastructure application for sustainable land use of non-urban area : The case study of Eco-delta city," *Journal of Korea Environment Engineering*, 36(6): 402-411.
3. 김동현·최희선, 2013. “수변지역에서의 저영향개발 기법(LID) 적용을 위한 계획과정 도출 및 모의효



- 과”, 「환경정책연구」, 12(1): 37-58.
- Kim, D., Choi, H., 2013. "The planning process and simulation for low impact development(LID) in waterfront area," *Journal of Environment Policy*, 12(1): 37-58.
4. 김보국·장성화, 2010. 새만금 수질 개선을 위한 도시개발지역 LID 적용 방안 연구, 전북: 전북발전연구원.
  - Kim, B., Jang, S., 2010. *A study on LID applications in urban areas to improve water quality in Saemangeum*, Jeonbuk: Jeonbuk Development Institute.
  5. 대한주택공사, 2005. 「아산배방 택지개발사업 개발 계획 및 기본설계」, 경기.  
Korea Land and Housing Corporation, 2005. *Land-use plan of Asan-baebang housing land development project*, Gyunggi.
  6. 대한주택공사, 2008. 「아산배방지구 택지개발사업 제1종지구단위계획(2차변경)」, 경기.  
Korea Land and Housing Corporation, 2008. *District unit plan for Asan-baebang housing land development project*, Gyunggi.
  7. 세종특별자치시, 2014. 「2030 세종도시기본계획」, 세종.  
Sejong Metropolitan Autonomous City, 2014. *2030 Sejong urban master plan*, Sejong.
  8. 송교욱·이창한·최철웅, 2012. 「에코델타시티 그린인프라 구축방안」, 부산: 부산발전연구원.  
Song, K., Lee, C., and Choi, C., 2012. *Research on green infrastructure construction plan for Eco-delta city*, Busan: Busan Development Institute.
  9. 윤정중·현경학·최종수·이미홍·이정민, 2014. “물순환 도시 조성을 위한 LID 기법 활용방안”. 「도시정보」, 387: 3-17.  
Yoon, J., Hyun, K., Choi, J., Lee, and M., Lee, J., 2014. "LID techniques for building ecological water circulation city," *Urban Information Service*, 387: 3-17.
  10. 정강호·정석재·손연규·홍석영, 2007. 「유출곡선 지수법의 활용을 위한 수문학적 토양군 분류」, 전북: 농촌진흥청.
  - Jung, G., Jung, S., Soon, Y., Hong, S., 2007. *Classification of hydrologic soil group of Korean soils*, Jeonbuk: Rural Development Administration.
  11. 최병수·안중기, 1997. “지역단위 지하수 자연함양율 산정방법 연구”, 「지하수토양환경」, 5(2): 57-65.
  - Choi, B., Ann, J., 1997. "A study on the estimation of regional groundwater recharge ratio," *Journal of Korean Society of Groundwater Environment*, 5(2): 57-65.
  12. 최지용·신창민, 2002. 「비점오염원 유출저감을 위한 우수유출수 관리방안」, 서울: 환경정책·평가연구원.
  - Choi, G., Sin, C., 2002. *Management of nonpoint pollutant by reducing storm runoff*, Seoul: Korea Environment Institute.
  13. 환경부, 2009. 「LID 기법을 활용한 자연형 비점오염원 관리방안 마련」, 경기.  
Ministry of Environment, 2009. *Developing measures to control nonpoint pollutant through LID techniques*, Gyunggi.
  14. 토지주택연구원, 2012. 「LID 분산형 빗물관리 시설 설치해설집」, 경기.  
Korea Land and Housing Corporation, 2012. *Installation manual for LID - decentralized rainwater management facilities*, Gyunggi.
  15. 환경부, 2013. 「환경영향평가시 저영향개발(LID)기법 적용 매뉴얼」, 경기.  
Ministry of Environment, 2013. *A manual for LID application in environment impact assessment*. Gyunggi.
  16. 환경부·한국환경공단, 2013. 「저영향개발(LID) 기술요소 가이드라인」, 서울.  
Ministry of Environment, Korea Environment Corporation, 2013. *A guide for LID techniques*, Seoul.
  - Bell, S., Hamilton, V., Montarzino, A., Rothnie, H., Travlou, P. and Alves, S., 2008. *Greenspace and quality of life: a critical literature review*.

- Stirling: Greenspace Scotland.
17. Benedict, M. A., & McMahon, E. T., 2002. "Green infrastructure: smart conservation for the 21st century". *Renewable Resources Journal*, 20(3): 12-17.
  18. CNT, 2010. *The Value of Green Infrastructure : A guide to recognizing its economic, environmental and social benefits*, Chicago: Center for Neighborhood Technology.
  19. Davis, McKenna, 2010. *Green Infrastructure in-depth case analysis Theme 6 : Grey Infrastructure Mitigation in Green infrastructure implementation and efficiency*, [http://www.ieep.eu/assets/904/GI\\_Case\\_Analysis\\_6 - Grey Infrastructure Mitigation.pdf](http://www.ieep.eu/assets/904/GI_Case_Analysis_6 - Grey Infrastructure Mitigation.pdf)
  20. Forest Research, 2010. *Benefits of green infrastructure*, Farnham: Forest Research
  21. La Greca, P., La Rosa, D., Martinico, F., and Privitera, R., 2011. "Agricultural and green infrastructures: The role of non-urbanised areas for eco-sustainable planning in a metropolitan region," *Environmental Pollution*, 159(8): 2193-2202
  22. La Rosa, Daniele, and Riccardo Privitera., 2013. "Characterization of non-urbanized areas for land-use planning of agricultural and green infrastructure in urban contexts," *Landscape and Urban Planning*, 109(1): 94-106.
  23. London, 2007. *The SUDS manual*, London.
  24. Low Impact Development Center, 2000. *Low Impact Development(LID)-A Literature Review*, <http://water.epa.gov/polwaste/green/upload/lid.pdf>
  25. McDonald, L., Allen, W., Benedict, M., & O'Connor, K., 2005. "Green infrastructure plan evaluation frameworks," *Journal of Conservation Planning*, 1(1): 12-43.
  26. McMahon, E. T., & Benedict, M. A., 2000. "Green infrastructure", *Planning Commissioners Journal*, 37(4): 4-7.
  27. Prince George's County, 1999. *Low Impact Development Design Strategies*, [http://www.lowimpactdevelopment.org/pubs/LID\\_National\\_Manual.pdf](http://www.lowimpactdevelopment.org/pubs/LID_National_Manual.pdf).
  28. Puget Sound Action Team & Washington State University Pierce County Extension, 2005. *Low Impact Development-Technical Guidance Manual for Puget Sound*, [http://www.psp.wa.gov/downloads/LID/LID\\_manual2005.pdf](http://www.psp.wa.gov/downloads/LID/LID_manual2005.pdf).
  29. Southeast Michigan Council of Governments, 2008. *Low Impact Development Manual for Michigan-A Design Guide for Implementers and Reviewers*, Detroit: SEMCOG.
  30. The Low Impact Development Center, 2010. *Low Impact Development Manual for Southern California : Technical Guidance and Site Planning Strategies*, <https://www.casqa.org/sites/default/files/downloads/socallid-manual-final-040910.pdf>.
  31. Weldon, S. and Bailey, C. in collaboration with O'Brien, L., 2007. *New pathways to health and wellbeing: summary of research to understand and overcome barriers to accessing woodland*. Scotland: Forestry Commission.
  32. Wise, S., Braden, J., Ghalayini, D., Grant, J., Kloss, C., MacMullan, E., Yu, C., 2010. "Integrating valuation methods to recognize green infrastructure's multiple benefits", *Center for Neighborhood Technology*, <http://www.cnt.org/repository/CNT-LID-paper.pdf>.
  33. <http://www.asla.org/stormwater>
  34. <http://www.lid-stormwater.net/>

Date Received 2014-12-26  
 Date Reviewed 2015-02-07  
 Date Accepted 2015-02-07  
 Date Revised 2015-02-26  
 Final Received 2015-02-26