



저영향개발 통합 계획 체계 -다기능 성능 목표 구현 회귀적 계획 프로세스

Integrated Planning System for Low-Impact Development - The Recursive Planning Process achieving Multi-function Performance Objectives

김부연* · 이병연**
Buyeon Kim* · Byungyun Lee**

* Dept. of Architecture, Chungbuk National Univ., South Korea (buyeon89@cbnu.ac.kr)

** Corresponding author, Dept. of Architecture, Chungbuk National Univ., South Korea (ecoville@cbnu.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose and Method: The aim of this study is to suggest an integrated planning system for Low-Impact Development (LID) with recursive planning process achieving multi-functional objectives. LID can deliver multi-functional performance objectives including surface water management, non-point pollution management, amenity and biodiversity. Integrated LID planning system is proposed based on comparative analysis of six guidelines. **Result:** The phase of integrated LID design has 4 phases. The first phase is setting of the multi-functional objectives. The multi-functional objectives include performance standards and design criteria on surface water management, non-point pollution management, amenity, biodiversity. The second phase is composing the management train with LID components selected and placed. The third phase is balanced size of management train considering plot properties. The forth phase is refining dimension of each component. Each phase of LID design should include recursive planning process on performance standards and design criteria.

KEYWORD

저영향개발 통합 계획
다기능 성능 목표
회귀적 계획 프로세스

LID Integrated Planning
Multi-function Performance Objectives
Recursive Planning Process

ACCEPTANCE INFO

Received Mar 12, 2019
Final revision received Apr 29, 2019
Accepted May 2, 2019

© 2019 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 필요성

경제 발전과 인구증가에 따른 산업화와 도시화로 인해 불투수층이 증가하였고, 이로 인해 자연적인 물 순환 체계가 왜곡되었다[1]. 불투수층의 증가는 지하수위 감소, 수질 오염, 유출수 증가와 같은 현상의 원인이 되며 가뭄, 생태계 파괴, 홍수와 같은 도시 환경에 전반적인 영향을 미친다[2]. 또한, 최근 기후 변화로 인한 강수량 및 강수 패턴의 변화 역시 물 순환 체계 왜곡 현상을 더욱 가중시키고 있다[3].

이를 대응하기 위한 방법으로 1990년대 미국에서 개발로 인한 환경의 영향을 최소화하고 개발 이전의 물 순환 상태로 유지하고 회복시키기 위한 저영향개발(Low Impact Development, LID)이 도입되었으며, 영국 Sustainable Drainage System(SuDS), 호주 Water Sensitive Urban Design(WSUD), 독일 Decentralized Rainwater Management(DRM) 등 여러 나라에서도 지속가능한 물 순환 시스템이 적용되고 있다[4].

국내에서도 2013년 140대 국정과제 중 하나인 지속가능한 물 순환 체계 구축 및 적용 대책 수립 지원을 위해 본격적으로 LID가 적용되기 시작하였다[5].

LID의 정의 및 개념은 국내외 관련 여러 기관 및 문헌 등에서

다양하게 정의하고 있지만 공통적인 의미는 개발로 인해 변화되는 수문특성을 개발 전과 최대한 유사하도록 친환경적인 배수 환경을 조성하는 기법으로 설명되고 있다[6].

LID의 주요 목적 및 기능은 우수유출저감, 비점오염저감으로 활용되고 있으나 이외에도 사회적, 경제적, 심미적으로 다양한 가치를 지니는 통합적인 개발 틀로써 복합적이고 다기능적인 특성을 포함하고 있다[7].

국외의 LID 도입 사례인 미국 오클란드의 Tassafaronga Village는 건축물의 옥상으로부터 유출되는 빗물을 식생 시설을 이용하여 여과하고 오픈스페이스를 통해 빗물유출수를 관리하도록 설계하였으며, 식생수로, 옥상녹화, 연석식생지 등의 식생형 기술 요소를 적극적으로 도입하여 자연친화적인 주거 단지를 조성하였다[8]. 이외에도 미국 뉴욕 Queens botanical garden, 시애틀 SEA(Street Edge Alterative)프로젝트 등의 여러 사례에서도 LID의 어메니티 및 친환경적인 경관적 측면의 효과가 돋보인다.

이를 계획하기 위한 국외의 물 관리 체계는 수질 및 수량 관리뿐 아니라 물순환 시스템을 통한 생태 환경 조성과 관련된 내용이 일원화되어 관리되고 있다[9]. 미국은 각 주(States)별로 기후 환경 및 지역 특성에 따라 LID 가이드라인이 수립되어 있고[9], 영국은 정부 관련 최상위 기관에서 발행된 SuDS 표준 매뉴얼을 제공하고 있다[10].

국내의 LID 도입 사례는 개발 사업 단계에서 LID 적용의 필요

성이 증대됨에 따라 신도시 개발 사업에 LID 적용 사례가 증가하고 있다[11]. 대표적으로 아산탕정 분산형 빗물관리 시범지구(2009)[12], 평택고덕 신도시(2012)[13], 행정중심복합도시(2015)[14]가 있다. 국내에 LID 도입 초에는 설치가 비교적 용이하고 효율이 높은 투수성 포장과 옥상녹화와 같은 기술 요소들로 주로 계획되어 지다가[15] 최근 다양한 기술 요소로 경관 생태성 및 활용성이 고려된 계획들이 시도되고 있다[16].

국내에서는 LID 적용을 확대하기 위한 관련 정책 및 제도들이 개정되고 있지만 LID 적용 방안에 대한 체계적인 적용 방안과 기준이 부족하다. 또한, 각 기능별로 분리된 관리 체계에 의해 우수 관리, 비점오염원 관리를 위한 개별 관리 목적으로 주로 활용되고 있어, 생물다양성, 어메니티를 포함한 통합적 물 순환 시스템으로서의 가능성이 제한되어 있다[5]. 현재 국내의 LID 계획은 행정안전부에서 발간된 ‘우수유출저감대책 수립기준[17]’ 또는 환경부에서 발간된 ‘비점오염저감시설 설치 및 관리 운영 매뉴얼[18]’ 등과 같은 기능별 관련 가이드라인을 참고하여 계획되고 있는 실정이며 이는 LID의 생물다양성 및 어메니티 기능을 제대로 반영하지 못하고 있다.

현재 국내외 LID 적용 동향을 미루어보아 LID의 다양한 가치 창출의 가능성을 확인할 수 있었다. 또한, 국내에서 LID의 생물다양성 및 어메니티 기능에 대한 실효성 및 기대 효과가 증대됨에 따라 이에 순응하는 LID 설계 가이드라인이 미비한 현 상황을 파악하였으며, LID 통합 계획 체계의 필요성을 인식하였다.

1.2. 연구의 목적 및 방법

앞서 언급된 LID 통합 계획 체계의 필요성에 대한 본 연구의 목적은 LID의 다기능 계획 목표를 제시하고 이를 실현하기 위한 기준 및 디자인 프로세스에 대한 통합 계획 체계를 제안하는 것이다.

2장 국내외 LID 제도 및 가이드라인에 설명된 국내외 6개 가이드라인을 대상으로 기준 및 프로세스를 비교·분석하여 LID 통합 계획 체계의 요소를 도출하고자하였다. 분석 방법은 다음과 같다.

첫째, 국내외 LID 관련 법·제도 및 가이드라인의 계획 체계를 분석하였다. 관리 부처 및 기능에 따라 법·제도 및 가이드라인을 구분하고 주요 기능별 계획 기준 체계를 비교하였다. 둘째, 국내외 가이드라인의 LID 계획 프로세스 단계 구성 및 내용을 비교·분석하여 LID 통합 계획 가능성을 도출하고자하였다. 셋째, 분석 결과를 바탕으로 LID 통합 계획 체계의 단계별 프로세스를 규정하고 이에 따른 계획 항목 및 기준을 제시하고자 한다.

2. 국내외 LID 제도 및 가이드라인

2.1. 정책 및 제도

1) 국외

국가별로 다양한 물관리 기법이 있으며 이는 명칭이나 세부 관리 방안 등이 상이하나 개발 이전의 상태와 유사한 수문학적 상태로 되돌리고자 하는 동일한 목적을 가지고 있다[6]. 그 중 미국과 영국에 적용되고 있는 물 관리 시스템의 정책적 동향 및 현황을 살펴보았다. 미국은 수질오염법(Water Pollution Act, 1948)을 시작으로 수질 보호를 위한 기술적 지원이 직접적으로 이루어

졌으며 이후, 지역 내 공기, 대지, 물의 보호 등 인간과 자연의 조화를 유지하기 위해 국가환경정책법(National Environmental Policy Act, 1969)이 제정되었다[19]. 1972년 제정된 청정수법(Clean Water Act, 1972)은 강우 유출수 관리와 비점오염원 관리뿐만 아니라 생태 환경에 대한 내용을 포함하여 LID 적용을 권고하고 각 주의 수계에 인접한 지역에서 수행되는 지역단위 개발의 영향을 최소화하도록하고 있다[20].

영국은 중앙 정부 기관인 환경식품농촌부(Department for Environment, Food & Rural Affairs, DEFRA)를 중심으로 물 관리가 일원화되고 있는 대표적인 국가이다[9].

관할 구역별로 수법(Water Act, 1945), 수자원법(Water Resource Act, 1963), 홍수 및 수질 관리법(Flood and Water Management act, 2009)으로 수자원, 수질 오염, 홍수 방지와 자연 보존 및 계획(Environment Protection Act) 등에 대한 규정이 제정되어 있으며, 2011년 지속가능한 배수시스템 설계를 위한 국가 표준 정책(National Standards for Sustainable Drainage, 2011)이 제정되어 개발 시 지속가능한 배수시스템(Sustainable Drainage System, SuDS)의 설계를 의무화하였다[10].

2) 국내

국내의 LID 관련 제도 및 정책은 적용 범위 또는 기능과 관련된 각 부서에서 관리되고 있다. 국토교통부에서는 개발계획 수립 시 LID 적용과 관련된 제도를 관리하고 있으며, 행정안전부와 환경부, 몇 지방자치에서는 LID를 세부 기능으로 나누어 우수유출저감, 비점오염원관리, 빗물이용·관리 계획에 포함하여 다루고 있다.

국토부에서 관리하고 있는 개발 계획 수립 시 LID 적용에 관한 내용은 친수구역 활용에 관한 특별법 및 시행령(2018), 도시·군계획 시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙(2018)이 있다. 친수구역 활용에 관한 특별법 및 시행령(2018)에서는 친수구역 조성지침(환경부, 2018)을 통해 토지이용계획에 LID를 적용하여 홍수 및 수질오염을 최소화하기 위한 물 순환 시스템을 구축하도록 하고 있다. 도시·군계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙(2018)에서는 직접적으로 LID를 언급하고 있지는 않지만 LID의 주요 기능인 빗물 관리 시설 설치를 통해 유출량을 최소화하고 물 순환 회복을 목적으로 하며, LID 기술 요소인 식생도랑, 저류·침투조, 빗물정원 등이 빗물 관리 시설로 분류되어 있다.

행정안전부에서는 태풍, 홍수로 인한 재난을 대비하기 위한 자연재해대책법(2019)을 제정하여 우수유출저감 대책을 수립하도록 하고 있으며 환경부에서는 비점오염원 관리, 빗물이용시설의 내용을 다루고 있다. 물환경보전법(2019)에서는 수질오염총량 관리제도, 비점오염원 설치신고제도를 통해 비점오염원을 관리하도록 하고 있다.

개별 지자체에서 실행하고 있는 물 순환 및 LID와 관련된 정책은 물 순환 관리, 빗물관리, 빗물이용, 물 재이용의 목적으로 조례를 제정하고 있다. 몇 지자체에서는 기능적으로 분리된 물 관리 관련 법률을 제·개정하려는 시도를 하고 있으며[5] 이 중 서울시는 기존의 ‘서울특별시 빗물관리에 관한 조례’를 전면 개정하여 ‘서울특별시 물 순환 회복 및 저영향개발 기본조례’를 공포하고 LID 적용을 권고하고 있다[21].

2.2. 가이드라인

1) 국외

미국은 청정수법(Clean Water Act, 1972)을 제도적 기반으로 Prince George's County, Maryland Department of Environmental Resources(PGDER)에서 LID 기법에 대한 용어 사용과 적용에 대해 최초로 도입되었다[19].

본 연구에서는 PGDER에서 발간된 LID 기법의 개념이 적용된 최초의 가이드라인인 Low-Impact Development Design Strategies (LIDS, 1999)와 각 주(State)에서 발간된 매뉴얼 중 대표적인 사례로 Low-Impact Development Manual for Michigan(LIDMM, 2008)을 살펴보았다. LIDS에서는 통합적 LID 접근을 위한 구성 요소로 사이트 계획, 수문 분석, LID 통합 관리, LID 침식 침전 조절 고려, LID 교육홍보 프로그램을 제시하고 각 구성요소에 대한 주요 내용 및 절차를 단계적으로 설명하고 있다[22]. LIDMM도 유사한 체계로 구성되어있으며 Michigan 주에 대한 법·제도 기준과 기후 사항이 추가적으로 제시되어 있다[23].

영국은 Sustainable Drainage System(SuDS)에 대한 개별법에 의해 홍수 및 수질 관리 법(Flood and Water Management Act, 2009)에서 개발 부지에 대한 SuDS 계획을 요구하고 있으며, 표준 매뉴얼인 The SuDS Manual(SuDSM, 2015)을 따라 계획 된다[10].

SuDSM에서는 수질, 수량, 어메니티, 생물다양성의 목표를 제시하고 이를 달성하기 위한 통합 계획을 추구하고 있다. 각 목표의 개념, 설계 기준과 성능 기준을 구체적으로 설명하고 있다. 옥상녹화, 침투 시스템, 식생수로, 투수성포장이 포함된 13개의 기술 요소별 세부 설계 기준 및 상세도가 수록되어 있으며 제시된 프로세스를 실행하기 위한 지원 가이드라인으로 수문분석을 통한 디자인 방법 및 규모 계산법, 침투 디자인 방법, 수질관리 디자인 방법, 오염원 예방 전략, 랜드스케이프, 비용 및 혜택 등 SuDS 계획 시 고려되어야 하는 모든 관련 분야가 포함되어있다[24].

2) 국내

앞서 설명된 LID와 관련된 제도 및 정책을 실행하기 위해 필요한 세부적인 기준과 방법을 설명하고 있는 각 부문별 가이드라인이 마련되어있다.

‘자연재해대책법’에서는 홍수재해에 대비하기 위해 우수저감대책을 수립하도록 하고 있으며 이를 규정하고 있는 세부적인 기준은 ‘우수유출저감시설의 종류·구조·설치 및 유지관리 기준(2017)’과 ‘우수유출저감 세부계획 수립 기준(2016)’을 따르고 있다. 우수의 직접유출량을 저감시키거나 침투 유출 시간을 지연시키기 위해 배수구역 단위의 우수유출저감시설 설치 가이드라인이며 국내의 LID 기법과 관련된 다른 가이드라인에 비해 계획 수립 절차가 구체적으로 명시되어있다[17].

환경부에서는 ‘수질 및 수생태계의 보전에 관한 법률’에 의해 ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼(2016)’을 따른다. ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼’은 비점오염저감 시설의 설계 및 유지 관리의 적절한 수행을 유도하고 이를 통해 효과적인 비점오염원의 관리가 이루어지도록 하는데 그 목적이 있다[18]. 주요 내용으로 비점오염저감 시설 선정 방법과 시설별 설치 및 관리 운영 기준을 설명하고 있으며 비점오염저감 시설의 선정 시 토지이용

특성, 유역 특성, 지역사회의 수인가능성, 유지·관리의 용이성 등과 같은 고려사항에 대한 원칙이 제시되어 있다[18].

서울특별시, 수원시 등 몇 지자체에서는 종합적인 물 순환 체계를 위해 관련 조례가 제·개정되고 있다. 그 중 대표적인 사례로 서울특별시에서 시행하고 있는 ‘물순환 회복 및 저영향개발 기본 조례’를 살펴보았다. ‘서울시 빗물관리 기본계획(2013)’을 통해 빗물관리 기본계획의 구체적인 수립기준 마련과 시설별 빗물 분담량 제시, LID 계획 수립, 개발 사업에 대한 빗물관리 의무 및 빗물관리 시설 권고 확대 등의 내용을 설명하고 있다[21].

최근 조성중인 행정중심복합도시에 LID 적용 사례를 중심으로 환경부와 행복도시건설청은 ‘저영향개발(LID)기법 설계 가이드라인(2016)’을 수립하였다[14]. 빗물관리 목표량상정, 토지이용계획별 LID 적용 방안, 기술 요소별 상세 설계도 등의 내용을 담고 있으며 개발사업에 LID를 적용할 경우 참고할 수 있는 가이드라인으로 활용되고 있다. 비점오염저감 및 우수유출저감의 목표를 언급하고 있지만 이를 통합적으로 계획하기 위한 구체적인 방안을 제시하고 있지 않으며 기존의 ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영매뉴얼(2016)’을 따르도록 제시하고 있다. 지구단위계획에 LID 계획을 포함하여 토지이용계획별 LID의 기본방향을 규정하여 운영되고 있다. ‘저영향개발(LID)기법 설계가이드라인(2016)’에서는 행복도시 사례를 중심으로 작성되었기때문에 범용적으로 적용하는 과정에서의 한계를 언급하고 있다[14].

3. LID 통합 계획 체계

3.1. LID 통합 계획 체계

국내외 LID 관련 제도와 이를 기반으로 수립된 가이드라인의 목표 및 기준을 비교하였으며 이는 Table 1.에 요약되어있다.

먼저, 국내외 법·제도 및 가이드라인의 목표 설정 항목을 비교하였다. 수질, 수량, 어메니티, 생물다양성의 4가지의 목표가 제시되어 있으며 이는 개별적으로 또는 통합되어 관리되고 있다.

미국 LID와 영국 SuDS는 수량 및 수질 관리, 어메니티, 생물다양성의 목표가 통합되어 실행되고 있었다. 반면 국내의 경우, 수량 및 수질 관리를 중심으로 기능에 따라 분리되어 있다.

이에, 국내외 법·제도 및 가이드라인에 제시된 목표별 기준을 비교해보았다. 수질 및 수량 관리에 해당하는 성능 기준과 목표별 제시된 설계 기준으로 구분할 수 있었다.

성능 기준은 강우사상 크기에 따라 4가지로 제시되었다. 지하수 재충전 기준(P1)부터 대홍수(P4)까지 함께 관리되도록 통합되어 실행되고 있는 국외와는 달리 국내는 일부 기준만을 개별적으로 다루고 있었다. 설계기준은 국외의 LID 및 SuDS 에서 수질 및 수량 관리, 어메니티, 생물다양성에 대한 목표와 함께 구체적으로 명시되어있다. 하지만 국내의 경우, ‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’에서만 언급되어있으며 이는 주요 목표에 대한 기준이 아닌 부수적인 계획의 고려사항으로 제시되어있다. 성능 및 설계 기준의 자세한 사항은 3.2 다기능 목표설정, Tabel 2.에서 설명된다.

국내외 가이드라인의 디자인 프로세스를 중심으로 비교·분석하여 LID 통합 계획 가능성을 도출하고자 하였으며 그 내용은 Fig. 1. 과 같다. 각 가이드라인의 프로세스의 단계 구성과 단계별 내용을 비

교하였다.

먼저, 각 가이드라인의 프로세스의 단계 구성은 앞서 설명된 목표 설정 단계를 공통적으로 가지고 있었으며 이에 따라 통합 목표를 가지고 있는 국외 가이드라인과 기능별 분리된 목표를 가지고 있는 국내 가이드라인은 상이한 단계로 구성되어 있었다.

SuDSM과 LIDMM은 수량 및 수질 관리, 어메니티, 생물다양성의 목표를 여러 기술 요소의 조합으로 배치되는 기술 요소 선정과 배치 계획이 함께 이루어지고 있었으며, 수질 및 수량 관리의 성능 기준을 충족시키기 위해 목표 관리량을 균형있게 분배하는 규모 계획 단계, 그리고 이를 구체적으로 적용하고 계획 검증이 기반된 상세 설계 단계로 구성되어 있었다.

‘우수유출저감 세부계획 수립기준’은 홍수 대비 수량 관리를 목표로 기술 요소 선정 단계와 규모 및 배치 계획 단계, 수량 관리에 대한 계획 확인 단계를 제시하고 있다. ‘서울특별시 빗물관리 기본계획’에서는 별도의 기술 요소를 선정 하고 배치하는 프로세스를 제시하고 있지 않으며 규모 계획에 대한 기준만 제시되어 있다. ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영매뉴얼’은 수질 관리를 목표로, 별도의 단계별 계획 프로세스는 없으나 각 항목에 대한 기준이 제시되어 있다. ‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’은 수질 및 수량 관리 목표를 제시하고 있지만 수질 관리는 ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼’을 따라 계획하도록 설명하고 있으며, 수량 관리에 대한 내용을 주로 다루고 있다. 수량 관리를 위한 프로세스는 기술 요소 선정 및 배치 계획 단계, 규모 계획 및 확인 단계로 구성되어 있었다.

가이드라인의 프로세스를 종합하여 비교해 본 결과, 공통적으로 가지고 있는 목표 설정 단계 이후, 기술 요소 선정 및 배치 계획 단계, 규모 계획 단계, 상세 설계 단계의 총 3단계로 구분하여 비교 할 수 있었다. SuDSM과 LIDMM은 목표 설정 단계 후, 3단계의 프로세스로 구성되어 있으나, 국내의 가이드라인은 3단계 중 일부의 단계로만 구성되어 있거나 국외의 가이드라인과 비교하여 미비한 내용으로 반영되어 있었다.

이에 기술 요소 선정 및 배치 계획 단계, 규모 계획 단계, 상세 설계 단계의 내용을 비교·분석하여 단계별 통합 계획 요소를 도출하고자 하였다.

1) 기술 요소 선정 및 배치 단계는 SuDSM, LIDMM, ‘우수유출저감 세부계획 수립 기준’, ‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’에서 제시되어 있었다.

SuDSM은 사이트 계획, 기술 요소 선정 및 배치, 계획 검증으로 진행된다. 이는 다기능 목표를 구현하기 위해 다기능의 기술 요소가 조합되어 배치되는 관리 열(Management train)을 구성하고 체크리스트를 통해 계획이 확인된다. 또한, 다기능의 설계 기준을 검증하기 위한 회귀적 프로세스를 제시하고 있었다.

LIDMM 역시, 사이트 계획과 기술 요소 선정 및 배치가 이루어진다. LID의 비구조적 기술 요소를 통해 사이트 계획 후 여러 기술 요소를 조합한 관리 열(Treatment train)을 구성한다.

‘우수유출저감 세부계획 수립 기준’과 ‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’에서는 SuDSM, LIDMM과 비교하여 별도의 사이트 계획이 진행되지 않고 기술 요소의 선정 및 배치가 이루어졌다. 이에 대한 계획 검증 단계도 제시되어 있지 않았다.

기술요소 선정 및 배치단계가 제시되어 있는 SuDSM, LIDMM, ‘우수유출저감 세부계획 수립 기준’, ‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’ 비교 결과, 도출된 LID 통합 계획 요소는 다기능의 목표 구현을 위한 여러 기술 요소의 조합으로 배치되는 다기능 관리 열을 구성하고 회귀적 프로세스를 통한 설계 기준의 검증을 제안한다.

2) 규모 계획 단계는 국내의 ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영매뉴얼’을 제외한 모든 가이드라인에서 실행되고 있었다.

SuDSM은 수질 및 수량 관리의 목표량을 특정 시설 또는 지역에 집중되어 분담되지 않도록 앞서 계획된 관리 열에 균형 있게 분담되도록 규모를 조정하고 성능 기준에 대한 검증이 이루어진다. LIDMM에서도 관리 열의 규모 계획 단계가 있지만, 이 단계에서는 별도의 검증 과정이 제시되어 있지 않았다.

‘우수유출저감 세부계획 수립 기준’은 규모 계획과 배치 계획이 함께 이루어진다. 이는 기술 요소의 설치가 용이한 공간에 수량 관리의 효율이 높은 기술 요소를 한 곳에 집중적으로 배치하고자 하는 의도를 가지고 있다. ‘빗물관리 기본계획’과 ‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’의 규모 계획은 수량 관리 목표량에 맞추어 기술 요소의 수량 및 단위 효율을 통한 계산식으로 확인하는 단계로 제시되어 있다.

이에 규모 계획 단계에서 제안하는 LID 통합 계획 요소는 수질 및 수량 관리의 성능 검증이 수반되어 다기능 관리 열 구성 요소로 선정된 여러 기술 요소의 규모가 조화롭게 조정되도록 계획하는 것이다.

3) 상세 설계 단계는 SuDSM, LIDMM, ‘우수유출저감 세부계획 수립 기준’에서 제시하고 있다.

상세 설계 단계는 세부 요소 기술의 상세 설계와 효과 검증 단계로 구분되어 비교할 수 있다.

SuDSM과 LIDMM은 세부 요소 기술의 상세 설계와 효과 검증이 모두 이루어지고 있었다. 수량 및 수질 관리의 성능 검증뿐만 아니라 어메니티, 생물다양성의 설계 기준을 포함한 검증 과정을 거쳐 계획이 완료된다.

‘우수유출저감 세부계획 수립 기준’에서는 수량 관리에 대한 성능 기준 확인만 요구되며 이는 성능 기준 확인 결과에 대한 수정 계획 내용을 포함하지 않고 있다.

이를 바탕으로 상세 설계 단계에서 도출된 LID 통합 계획 요소는 성능 기준에 관한 구조적인 사항과 정성적 사항에 대한 설계 기준을 고려한 세부 요소 기술의 상세 설계가 이루어진다. 이는 모든 기준이 만족될 때까지 반복 과정을 거치는 수정 계획을 포함한 프로세스를 제안한다.

위의 국내외 LID 관련 법·제도 및 가이드라인의 비교 분석 내용을 종합하여 다음과 같은 LID 통합 체계를 제안하고자 한다.

1) 다기능 목표를 설정하고, 2) 다기능 목표를 이루기 위해 효과 검증이 기반된 회귀적 계획 프로세스를 가진다.

LID 통합 계획의 첫 번째 체계는 1) 다기능 목표 설정 계획(Set Multi-function Objectives Composition Phase)이다. 수량, 수질, 어메니티, 생물다양성의 통합 목표를 가지고 각 기능별 성능 및 설계 기준이 수립되어야 한다.

LID 통합 계획의 두 번째 체계는 각 가이드라인의 프로세스를 비교한 결과, 2) 각 단계별 회귀적 프로세스가 포함된 3단계의 디자인 프로세스를 제안한다.

Table 1. Objectives and Water Management technique of Policy · Act and Guideline on Low Impact Development(LID).

County	Authority	Policy	Guideline	Objectives			
				Water quality	Water quantity	Amenity	Biodiversity
Republic of Korea	Ministry of land, infrastructure, and transport	Special act on the utilization of waterfronts (2018.06)	-	○ ^{P2}	○ ^{P3}	-	-
		Regulations on the determination structure and installation standards of city and county planning facilities (2018.12)	-	-	○ ^{**P3}	-	-
	Ministry of environment	Water environment conservation Act (2018)	Non-point pollutants treatment facility adoption and management manual (2016), (NPTM)	○ ^{*P2}		-	-
		Act on promotion and support of water reuse (2018.01)	-	-	○ ^{***P3}	-	-
		-	Low-Impact development design guideline (2016) (LIDG)***	○ ^{P2}	○ ^{P3}		●
	Ministry of public safety and security	Countermeasures against natural disasters act (2018.01)	Stormwater management facility establishment standard (2017), (SMS)	-	○ ^{P4}	-	-
A local government (Seoul city)	Low-impact development and restoring water cycle primary rules (2017.02)	Rainwater management guideline (2013), (RMG)	-	○ ^{****, P3}	-	-	
The United States	Department of ecology (Each States)	Clean Water Act (1972)	Low-Impact development design strategies (1999), (LIDS)	● ^{P2}	● ^{P1-4}		●
			Low-Impact development manual for michigan(2008), (LIDMM)	● ^{P2}	● ^{P1-4}		●
The United Kingdom	DEFRA, Partment for environment, food & rural affairs	National standards for sustainable drainage (2011)	The SuDS(Sustainable drainage system) manual (2015), (SuDSM)	● ^{P2}	● ^{P1-4}	●	●

Note *According to performance standard of NPTM ** Rainwater management, *** Water reuse, **** Based on the case of Se-jong city P1~ 4 by Table 4. Comparison of design criteria and performance standard in LID guidelines
 Key ● : Design criteria + Performance standard, ● : Only design criteria, ○ : Only performance standard

다기능 관리 열 구성 계획(Multi-function Management Train Composition Phase), 성능 검증 규모 조정(Size Balancing by Performance verification), 세부 기술 요소 설계 계획(Detailed Design for Component Phase)의 3 단계로 구성하였다. 각 단계별 해당되는 항목 및 기준을 규정하는 것이 필요하며, 이를 검증하기 위한 방법으로 피드백 과정을 포함한 프로세스를 제안한다.

3.2. 다기능 목표 설정 (Set Multi-function Objectives Phase)

LID 통합 계획 체계에서의 첫 번째 체계인 다기능 목표 설정 계획은 수질 및 수량 관리, 어메니티, 생물다양성의 다기능 목표를 가진다. 이에 각 목표별 성능 기준과 설계 기준을 제시한다. Table 2.는 가이드라인별 성능 및 설계 기준 비교 내용이다.

먼저, 성능 기준에 대한 가이드라인별 비교를 통한 종합적인 내용은 다음과 같다.

성능 기준은 수질 및 수량 관리에 해당되며 기술 요소의 규모 산정 기준이 된다. 이는 관리 목적에 맞는 통일된 기준으로 통합되어 제시되어야한다. 국내외 가이드라인에 제시된 성능 기준은 강우의 크기에 따라 4가지로 구분할 수 있으며, 이는 지하수 재충전 관리 기준(P1), 수질 관리 강우 기준(P2), 경미한 홍수 관리 기준(P3), 대홍수 관리 기준(P4)이다.

다음은 각 가이드라인에 설명되어 있는 성능 기준의 대한 내용이다. SuDSM과 LIDMM은 P1~P4가 통합되어 제시되어 있다. 반면 국내 가이드라인은 기능별 체계에 의해 수질 또는 수량 관리의 기준을 각각 제시하고 있다.

국내의 경우, P1은 별도의 기준이 없다. P2는 ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영매뉴얼’에 제시되어 수질 관리 목표량의 기준이 된다. ‘서울시 빗물관리 기본계획’과 ‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’은 P3에 대한 기준을 정하고 있다. 이는 10년의 동일한 강우사상을 다루고 있지만 산정 방법에 따라 상이한 기준 체계로 제시되어있다. P4는 홍수관리 시 계획되는 강우 기준으로 ‘우수유출저

감 세부계획 수집 기준'에서는 50년 재현기간으로 규정되어 있다.

P1은 지하수 재충전에 대한 기준으로 국외의 가이드라인에서 1년 이하의 재현기간의 강우 사상을 기준으로 제시하고 있다.

P2는 수질관리 목표량에 대한 기준이다. 국외에서는 1~2년 재현기간의 작은 강우사상 기준을 제시하고 있으며 수질 관리 기술 요소(Interception component)의 용량을 결정한다. 국내의 P2는 강우량을 누적유출고로 환산하여 최소 5mm이상의 강우량을 처리하도록 하고 있다. '저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인'에서는 "강우량이 아닌 유출고의 개념이기 때문에 강우량의 개념으로 이해하기 위해서는 유출 계수를 고려해야하며 도시 지역의 평균 유출 계수인 0.5~0.6을 적용하면 10mm 내외의 강우량이 대상이 된다고 할 수 있다"라고 설명하고 있다.

이에 SuDSM, LIDMM에서 정하고 있는 P2의 기준인 1~2년 재현기간의 강우사상은 12.7mm(0.5in)~25.4mm(1in)로 환산이 가능하며 국내의 기준과 근사한 값으로 판단된다.

P3은 경미한 홍수에 대한 관리 목표량이다. SuDSM에서는 지역 범위 내에서 관리해야하는 목표량의 의미로 해석되며 기술 요소의 용량과 초과 용량에 대한 기준이 구분되어 제시되어 있다. 기술 요소는 30년, 초과 용량은 100년의 재현기간으로 정하고 있다. LIDMM은 5~10년 재현 기간으로 제시되어 있다.

국내의 경우, '서울시 빗물관리 기본계획'은 서울특별시 10년 강우사상을 적용하고, '저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인'에서는 세종시 10년 강우사상의 실측 통계 데이터 기반으로 작성된 기준으로 제시하고 있다.

국내에 제시된 강우 기준은 국외의 재현 기간의 강우량 개념의 기준과는 상이한 개념으로 비교가 어려울 수 있으나 SuDSM과는 지역적 범위 내의 관리량을 다루고 LIDS 및 LIDMM과는 비슷한 기간(10년)의 강우 사상을 다룬다는 점에서 P3에 해당되는 기준으로 추단하였다. 이에 P3에 해당되는 국내의 기준은 경미한 홍수에 준하는 강우량을 관리할 수 있는 기준으로 판단된다. 또한 국내의 기준은 가이드라인별로 다른 방식으로 산정되어 관리 목표량의 기준이 상이하게 제시되어 있기 때문에 혼란이 가중되며 LID 통합 계획에 있어서 통일된 기준이 제시되어야 할 것이다.

P4는 대홍수에 대한 관리 목표량으로 SuDSM과 LIDMM에서는 100년 재현 기간으로, 국내의 '우수유출저감 세부계획 수집 기준'에서는 50년 재현 기간으로 목표량을 정하고 있다. SuDSM은 유량과 유속 관리 기준으로 구분되어 장기저장시설(Long-term storage)과 저류 시설(Attenuation storage)로 관리된다. '우수유출저감 세부계획 수립기준'에서 제시하고 있는 50년 재현기간에 대한 관리 기법은 저장시설과 침투시설이다.

설계 기준은 정성적 내용으로, 국내의 가이드라인에는 성능 기준 이외의 설계 기준이 제시되어 있지 않거나 구체적이지 않아 실제 계획 시 중요한 요소로 고려되지 못하고 있다. 반면에 SuDSM에서는 수량, 수질, 어메니티, 생물다양성의 다기능 목표에 대한 기준 및 지표가 구체적으로 제시되어 있어 SuDSM을 중심으로 자세하게 분석해보고자 하였다.

SuDSM에서는 각 목표에 대한 설계 기준과 그 지역의 필요 요건 및 부지의 특성에 따라 세부 지표를 예시로 설명하고 있으며 이는 각 목표에 대한 설계 기준이 SuDS 디자인에 반영된 정도를 평가하는데 사용될 수 있다.

다기능 목표 중 국내에서 주요하게 다루고 있지 않은 어메니티 및

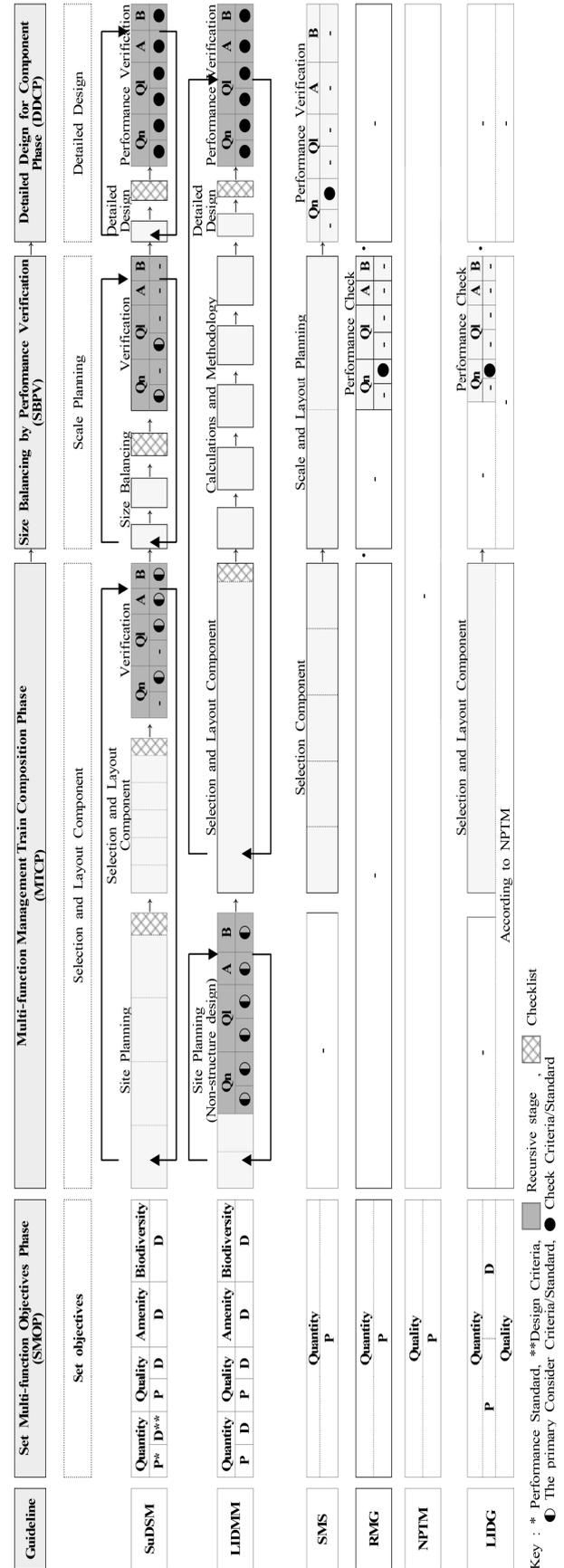


Fig. 1. Process and Objectives Comparison of LID Guidelines

Table 2. Comparison of design criteria and performance standard in LID guidelines

Objectives				SuDSM	LIDMM	LIDG	NPTM	RMG	SMS	
Performance Standard	Quality	P1	Groundwater recharge	~1year	~1year	-	-	-	-	
	Quantity	P2	small rainfall (Interception)	Volume	5mm	1~ 2year (12.7mm(0.5in)~25.4mm(1in)) ¹	5mm (About 10mm) ⁴			
				Rate	1 or 2 year					
	Quantity	P3	Minor flood (On-Site Flood risk)	SuDS capacity	30 year	5~10year ² (50.8mm(2in)~127mm(5in)) ³	25mm/day ⁵ or 23.2mm/day ⁶	-	10year ⁷	-
				Exceedance capacity	100 year					
		P4	Major flood	Volume	100 year	100 year	-	-	-	50 year
				Rate	100 year	100 year				
	Design Criteria	Quantity	D1	with	D10	Use surface water runoff as a resource	Manage stormwater runoff as close to the source, or origin, as possible.	-	-	-
D2					Support the management of flood risk in the receiving catchment	-	-			
D3			with	D16	Protect morphology and ecology in receiving surface waters	Each site should be inventoried for certain characteristics(e.g, soil type, depth to water table, slopes)	-			
D4			with	D17	Preserve and protect natural hydrological systems on the site	Successful LID programs strive to match the component with the land use and user type	Consider site characteristic as like slope, drainage system and river, especially manage flood risk.			
D5					Drain the site effectively					
D6					Manage on-site flood risk					
D7			with	D9	Design system flexibility/adaptability to cope with future change	Cold Climate Considerations				
Quality		D8			Support the management water quality in the receiving surface waters and groundwaters	-	-	-	-	
		D9	with	D7	Design system resilience to cope with future change	Cold Climate Considerations				
Amenity		D10	with	D10	Maximise multi-functionality	This can minimize total disturbed area and, in some cases, provide recreational opportunities for residents or employees	-	-	-	-
		D11			Enhance visual character	-	LID component is important to improve landscape which is in harmony with our environment and provide safety and aesthetic of users. It should be connected with surroundings infrastructure			
		D12			Deliver safe surface water management systems	-				
		D13			Support development resilience/adaptability to future change	-	-			
		D14			Maximise legibility	-	-			
		D15			Support community environmental learning	Provide an added aesthetic value to the property, which increases a sense of community lifestyle	-			
Biodiversity		D16	with	D3	Support and protect natural local habitats and species	-	When planting, consider amply landscape to select species of trees	-	-	-
		D17	with	D4	Contribute th the delivery of local biodiversity objectives	It can be integrated into landscape design and create value in addition to solving stormwater problems	-			
		D18			Contribute to habitat connectivity	-	Consideration of Selecting vegetation			
		D19			Create diverse, self-sustaining and resilient ecosystems	-				

Key

1. Michigan standard
2. It depends on State. ex)Alabama : 25year, Western Washington
3. 5year 2inch: dry area(Mid-Atlantic states), 10 year 5inch : humid area (New Mexico)
4. 5mm (Depth of runoff) apply to 0.5-0.6 (average coefficient of run off in urban area)
5. 80 ~ 85% Percntiles of 10 years rainfall events
6. Pre-Post Development Hydrologic analysis
7. 40% of the 10-year average rainfall

생물다양성의 설계 기준을 중심으로 SuDSM에 제시된 구체적인 기준과 지표, 사례를 살펴보았다[24].

어메니티 설계 기준은 6가지로 Table 2. D10~D15이며, 각 설계 기준에 대한 지표가 예시로 설명되어 있다. 예를 들어, D10은 ‘다기능성 최대화(Maximise multi-functionality)’의 설계 기준을 제시하고 있으며 ‘SuDS를 다기능적으로 사용한 공간의 수, 다양성, 질’과 같은 지표가 제시되어 있다. D1 설계 기준에 의한 레크레이션 공간에 SuDS를 적용한 사례로는 런던에 위치한 오렌지 공원(Orange park)이 있다. 공원 내 형형색색의 세라믹으로 장식된 콘크리트 채널이 계획되어있으며 강우 시 빗물의 흐름을 시각화하여 아이들이 즐길 수 있는 어메니티 요소로 활용되고 있다. 이 채널은 말단의 습지로 빗물을 이동시키는 기능을 하며 수량 및 수질 관리의 설계 기준과도 연계되어 고려된다.

생물다양성의 설계 기준은 Table 2. D16~19와 같이 4가지로 제시되어 있으며 종종 어메니티와 함께 고려되어지지만 각각의 중요한 요소가 있기 때문에 SuDSM에서는 분리되어 다루어지고 있다. 예를 들어, D16은 ‘지역의 생물종과 서식지를 파악하여 보호 및 지원’에 대한 설계 기준에 ‘SuDS 설계에 의해 지원 또는 강화된 지역 서식지의 범위, 질, 중요성’을 지표로 제시하고 있다. 이에 대한 적용 사례는 런던 Horniman 박물관의 옥상녹화가 있으며 이는 런던에 서식하고 있는 식생 및 생물들이 자라고 보호될 수 있도록 토양의 상태, 두께, 향을 고려한 지붕의 경사도 등이 고려되어 계획되었다.

LIDMM에서는 심미적 효과와 서식지 보존에 관한 계획이 함께 언급되어있다. 구체적인 설계 기준이 제시되어 있지는 않으나 서식지 보존, 경관 향상에 대한 중요성을 강조하고 있다. 이는 개별 기술 요소들의 심미적 기능에 대한 예를 들며 설명하고 있다. 빗물정원은 마당을 더욱 매력적이게 만들며 습지로 인해 자연스럽게 적용되는 식생수로, 침투 도랑과 같은 기술요소들이 경관 디자인 및 생태 환경 조성의 가치를 창출 할 수 있다고 제시하고 있다.

가이드라인별 성능 및 설계 기준에 대한 분석 내용을 바탕으로 다기능 목표 설정 계획 단계에서 제안하고자 하는 내용은 다음과 같다.

수질, 수량, 어메니티, 생물다양성에 대한 성능 및 설계 기준을 수립한다. 수질 및 수량 관리의 목표량인 성능 기준은 P1~P4에 해당하는 강우 기준이 통합적으로, 통일된 기준 체계로 제시되어야 한다. 수질 및 수량 관리와 어메니티, 생물다양성을 포함한 모든 목표의 설계 기준은 공통의 포괄적인 설계 기준에 대해 계획 지역의 특성이 고려된, 설계 기준 반영 정도의 평가가 가능한 세부 지표가 함께 제시되어야한다. 이를 통해 LID 기법의 정량적 효과뿐만 아니라 생태 환경 조성의 효과를 기대할 수 있다.

3.3. 통합 디자인 프로세스

통합적 LID 계획 체계에서의 두 번째 계획은 앞서 설명된 다기능 목표 설정 단계에서 수립된 성능 및 설계 기준을 구현하기 위한 아래와 같은 3단계의 통합 디자인 프로세스를 제시하고자 한다. 이는 국내외 가이드라인의 기술요소 선정 및 배치, 규모 계획, 상세 설계의 각 단계별 프로세스와 기준을 비교하여 도출하였다.

1) 다기능 관리열 구성 계획 (Multi-function Management Train Composition Phase, MTCP)

각 가이드라인 내 기술요소 선정 및 배치 계획의 프로세스 및 기준을 비교·분석한 결과, 통합 디자인 프로세스의 첫 번째 단계로 ‘다기

능 관리열 구성 계획’을 제안하고자 한다. 이는 사이트 계획, 다기능 관리 열 구성, 설계 기준 검증의 3단계로 구성되어있다.

사이트 계획 단계에서는 우수 흐름 경로를 파악하고 집수역의 범위를 설정한다. LID의 비구조적 기법을 적용하여 지형변화를 최소화하고 자연환경 보호 등을 고려한 토지 이용 계획을 세운다. 공동 오픈스페이스를 갖는 클러스터 개발, 침투를 고려한 토양 다짐 최소화, 자연적인 흐름 경로 보호, 불침투성의 표면을 최소화 하는 등의 계획이 포함된다[16].

다기능 관리 열 구성 계획에서 가장 중요한 계획은 여러 기능의 기술 요소 조합으로 관리 열을 구성하는 것이다. 다기능을 고려한 기술 요소 선정과 우수의 흐름이 고려된 배치 계획이 함께 이루어진다. 다기능 관리 열은 다기능 목표를 위해 기술 요소들이 연속적으로 배치되어 다기능 목표의 설계 기준을 충족시킨다. 기술 요소별 유출저감, 비점오염저감, 어메니티, 생물다양성의 기능에 대한 성능 평가 기준과 설치 가능한 부지의 계획 조건, 지역사회와 환경요소에 따른 시설별 적용성, 유지관리 용이성에 대한 기준을 활용하여 다기능 관리 열을 구성하는 기술 요소를 선정한다.

다기능 관리 열 구성 계획의 마지막 단계는 사이트 계획과 다기능 관리 열 구성을 종합적으로 확인할 수 있는 설계 기준 검증 단계이다. 앞서, 다기능 목표 설정 계획에서 수립된 설계 기준에 대한 목표 부합 여부를 확인하고 충족되지 않을 시 일련의 과정을 반복하여 적합한 계획을 도출하도록 한다.

이는 부지의 특성 및 우수의 흐름이 고려되어 여러 기능 및 특성을 가진 기술 요소들이 선정되고 배치됨으로써 다양한 디자인 계획이 가능하고 지역사회 커뮤니티 및 자연환경 조성에 대한 이점을 기대할 수 있다. 이 단계는 다목적 성능 목표를 달성하기 위한 통합 디자인 계획 프로세스로서의 중요한 계획 요소로 판단된다.

각 가이드라인에서 제시하고 있는 기술요소 선정 및 배치 단계의 프로세스 및 기준의 상세한 비교 내용은 Table 3.과 같다.

Table 3. Comparison of process and criteria on MTCP

Selection component		SUDSM	LIDMM	NPTM	SMS	RMG	LIDG	
Process	Site planning	●	●	-	-	-	-	
	Management train	●	●	-	-	-	-	
	Feedback	●	-	-	-	-	-	
	Classification according to land use plan	-	-	-	●	-	●	
Criteria	Performance of function	Water quantity	●	●	●	-	-	-
		Water quality	●	●	●	-	-	-
		Amenity	●	-	-	-	-	-
		Biodiversity	●	-	-	-	-	-
	Collection mechanism	●	-	-	-	-	-	
	Site constraints	-	●	-	-	-	-	
	Components application of community and environment element	-	-	●	-	-	-	
	Ease of maintenance	-	-	●	-	-	-	
Land use plan				●	-	●		

국외의 가이드라인은 모두 관리 열을 구성하도록 그에 상응하는 기준을 가지고 있다. 반면 국내의 가이드라인은 개별 기술 요소를 선정하여 배치하도록 제시되어 있으며, 기술 요소 선정 시, 기준이 미비하여 적합한 계획인지 확인이 불가하거나 기준만 제시되어 종합적인 판단을 통한 계획이 어렵다.

‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼’과 ‘서울시 빗물 관리 기본계획’은 기술 요소 선정 및 배치 계획이 없으며, 성능 및 유지관리 등에 대한 기준만 제시되어 있다. ‘우수유출저감 세부계획 수립 기준’과 ‘저영향개발(LID)기법 설계 가이드라인’은 토지이용 계획에 따른 기술 요소 선정 기준을 제시하고 있으나 이를 통한 계획의 적정성을 판단하기 어렵다.

SuDSM은 사이트 계획, 관리 열 구성, 계획 검증의 3단계로 제시되어 있다. 사이트 계획 단계에서는 사이트의 토양, 경사 등 사이트 특성을 파악하고 최단 배출 지점을 확인하여 유출수의 흐름을 파악한다. 유출수의 경로를 파악한 후, 관리 열을 구성한다.

관리 열 구성 방법은 Fig. 2.와 같다. 불투수면을 포함한 모든 사이트 표면에 흐르는 유출수를 침투시키거나 저장시설을 이용 하는 등의 1) 유출수 처리 방법(Collection mechanism)의 계획 및 배치를 구상한다. 불투수면에서 유입되는 오염물질의 유입을 막기 위해 2) 수질 관리(Interception) 기술 요소를 선정한다. 수질관리 기술 요소는 성능 기준 P1을 목표로 계획되며 소량의 유출수 저감의 기능을 함께 가지고 있다. 이후 빗물통, 옥상녹화와 같은 유량과 유속 관리가 가능한 3) 저장 기능의 기술 요소 계획을 한다. 수질관리 기술 요소와 저장 시설 계획 후 이를 연결하는 식생수로 등의 4) 우수 흐름 이동(Conveyance) 기능을 하는 기술 요소를 계획한다. 앞서 계획한 수질관리, 저장, 우수 흐름 이동 기술 요소들의 용량을 추가한 경우에 대비하여 5) 추가 유출 경로에 대한 장기 저장(Long-term storage)과 저류 시설 계획(Attenuation)이 고려된다.

이와 같이 관리 열을 구성하기 위해 적절한 기술 요소를 선정 기준이 제시되어 있다. 수질, 수량, 어메니티, 생물다양성에 대한 기술 요소별 성능 평가 기준과 유출수 처리 방법이 주요 기준이 된다. 기술 요소별 다기능 목표에 대한 적합성 여부는 2단계 (Likely valuable contribution, Some potential contribution)로 평가되어 있다. 유출수 처리 방법은 선형(Lateral), 지점(Point), 표면(Surface)으로 구분되어 있으며, 수질 관리(Interception), 저장(Storage), 흐름 이동(Conveyance)의 형태 및 기능을 고려한 기술 요소의 결정이 가능하다. 이후, 피드백 단계를 거쳐 계획된 다기능 관리 열의 적합성을 확인하여 최종 계획안이 확정된다.

LIDMM의 관리 열 구성 계획은 Fig. 4.와 같다. 비구조적(Non structural) 기법과 구조적(Structural) 기법으로 구분되어 계획된다.

비구조적 기법은 개발대상지의 불투수면을 줄이는 사이트 계획을 말하며 구조적 기법은 기술 요소를 사용하여 관리하는 기법이다. 비구조적 기법은 개발 대상지의 개발 컨셉 설계 후, LID 기술 요소 선정 프로세스가 진행된다. LID의 비구조적 기법을 통해 사이트 계획에서 유출수를 저감시킬 수 있는 방법을 제시하고 있다. 침투가 용이하도록 토양 다짐을 최소화하고, 자연적 흐름 경로를 보호하여 설계하거나 불 침투성 표면을 줄이는 등의 토지이용과 관련된 계획이 이루어진다.

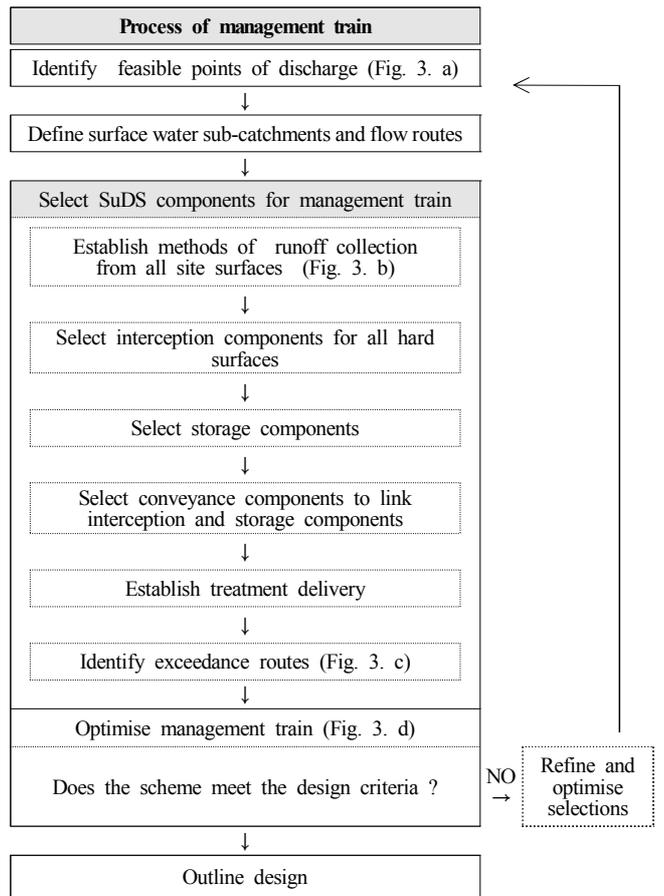


Fig. 2. MTCP in The SuDS Manual(2015)[24]

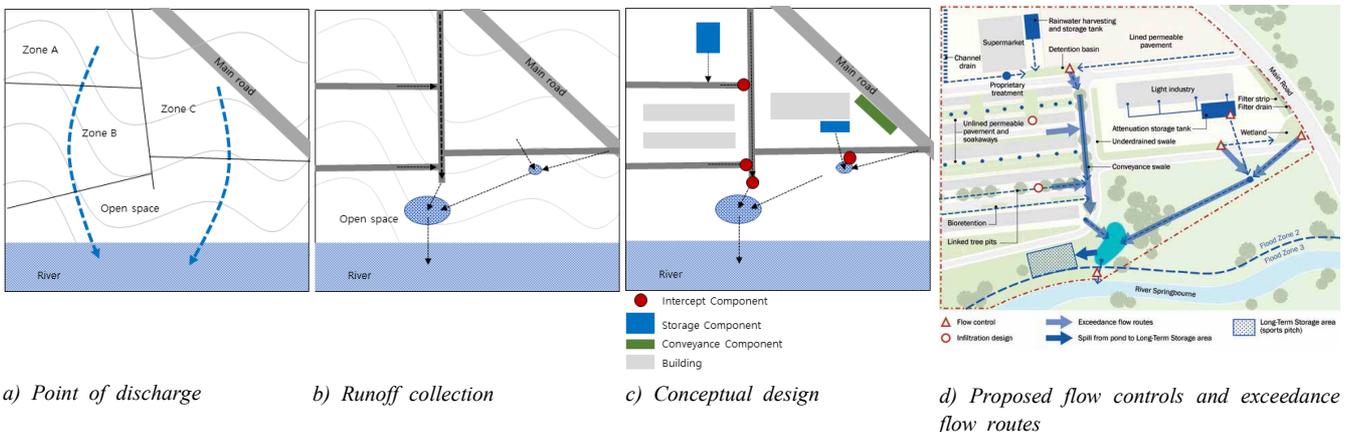


Fig. 3. Management train process diagram[24]

LID 역시 관리 열 구성 계획에서 다기능 관리 열(Treatment train)이 구성된다. 일부 기술 요소는 다른 기술 요소와 연결되어 다기능 관리 열 구성의 용이성을 설명하고 있다. 침투 기능의 기술 요소에 유출수가 유입되기 전에 비점오염원을 전처리(Pretreatment)하기 위해 수질 관리 기능의 기술 요소가 사용된다. 식생 수로와 식생 침투 도랑이 빗물정원 또는 습지와 주로 연계하여 구성되는 것을 대표적인 사례로 설명된다.

LIDMM에서 관리 열 구성 시, 기술 요소 선정 기준은 다음과 같다. 식생수로, 식생체류지, 투수성 포장 등 20개의 기술 요소를 수량, 수질, 침투 기능에 따라 분류하고 주거, 상업, 산업 지역 등에서의 적용가능성을 평가하여 제시하고 있다. 또한, 수질 및 수량 관리, 비용, 유지보수 등의 성능을 3단계로(High, Medium, Low)로 평가하여 기술 요소 선정 기준을 제공하고 있다.

국내 가이드라인에서의 기술 요소 선정 단계는 설치가능 장소에 대한 공간적 제약 조건을 제시하고 있기 때문에 다기능 관리 열 구성 시 매우 제한적인 프로세스라 판단된다.

우수의 흐름이 고려되지 않고 LID 기술 요소가 설치 가능한 용지에 따른 기술 요소의 종류를 규정하여 제시하고 있다. 이는 수질 또는 수량 관리에 대한 분리된 기능별 체계와 정량적 기준만이 고려된 가이드라인의 한계로 해석된다.

‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’의 경우, 상업·업무용지에서는, 옥상녹화, 침투빗물받이, 투수성 포장 등이 제시되어 있으며, 교육·연구 시설 용지에는 식물재배화분, 침투빗물받이, 투수성 포장, 나무여과상자 등이 적용되도록 하고 있다. 이는 토지이용계획별 적용 가능 계획으로 주변 용지들 간의 우수의 흐름이 고려되지 못하고 있다.

‘우수유출저감 세부계획 수집 기준’의 기술 요소 선정 프로세스는 Fig. 5와 같다. 주요 계획시설 현황조사를 통해 설치가능시설을 도출한다. 설치가능시설은 주거시설, 근린생활시설, 교통시설, 공간시설 등이 해당되며 이에 적용 가능한 기술 요소를 조사하여 건물, 주차장, 도로, 보도 등 토지이용에 따라 분류된다. 대상사업의 계획 여건 및 계획 수립자의 의견 등을 고려하여 적용 가능한 기술 요소를 선정한다. 적용 가능한 기술요소 선정 후 대상지역의 배수 체계, 토양, 지형 등의 현장여건, 사업비 등을 고려하고 도입가능여부를 판단한다. 이를 통해 최종 선정된 기술 요소를 도면에 표기하여 계획안을 작성한다.

비점오염저감을 주요 목표로 하고 있는 ‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영매뉴얼’은 약 7개의 고려사항을 제시하고 이를 종합적으로 판단하여 계획하도록 한다.

비점오염저감 시설의 선정 시 토지이용특성, 유역 특성, 지역사회의 수인가능성, 유지·관리의 용이성 등과 같은 고려사항에 대한 원칙이 제시되어 있다. 그러나 제시된 모든 고려사항에 대한 원칙을 종합적으로 고려할 수 있는 체계가 미흡하여 계획의 적절한 평가 및 확인이 불가능하다.

‘서울시 빗물관리 기본계획’은 별도의 기술요소 선정 계획이 없다. 침투시설과 빗물이용시설을 관리 기법으로 제시하며 각 시설에 대한 규모 산정 식을 제공하고 있다.

2) 성능 검증 규모 조정(Size Balancing by Performance Verification, SBPV)

통합 디자인 프로세스의 두 번째 단계는 성능 검증 규모 조정이

다. 각 가이드라인 내 규모 계획의 프로세스, 기준 및 항목을 비교 검토하여 다음과 같이 성능 검증 규모 조정 계획 요소를 도출하였다.

성능 검증 규모 조정에서는 다기능 관리 열 구성 계획에서 계획된 기술 요소의 규모를 조정한다. 전체 대상지 내의 목표량을 설정된 집수역의 개발 후 불침투성 비율에 따라 분배하여 관리 열을 이루는 기술 요소들 간의 규모가 적절하게 조율되도록 한다. 또한, 홍수를 대비하기 위한 추가 유출 경로 및 초과량을 고려한 계획이 이루어져야 한다. 이는 성능 기준이 1차적으로 검증되는 단계로 피드백 과정이 필수적이다. Table 2.에 제시된 수질(P1,2) 및 수량(P3,4) 관리 기준이 모두 충족되도록 계획하며 이는 세부 요소 기술 상세 설계의 근거가 된다.

Table 4.는 각 가이드라인의 규모 계획 프로세스 및 기준의 비교 내용이다.

SuDSM과 LIDMM은 관리 열 구성에 의해 침투, 저류, 저장 등 여러 시설들의 규모 계획이 동반된다. 또한, 부지별 분담 목표량 이상의 경우에 대비한 추가 경로 및 초과 저장 계획이 제시되어 있다. 반면, 국내는 해당 부지내 목표량이 균형적으로 분담되지 않고 기술 요소 설치 면적의 확보가 용이한 장소에 치우쳐 일부 기술 요소로만 계획된다. 배치가 용이한 장소의 우선순위가 정해져 있으며 각 기능별 최대의 효율을 갖는 일부 시설에 대한 기준만 제시되어 있다.

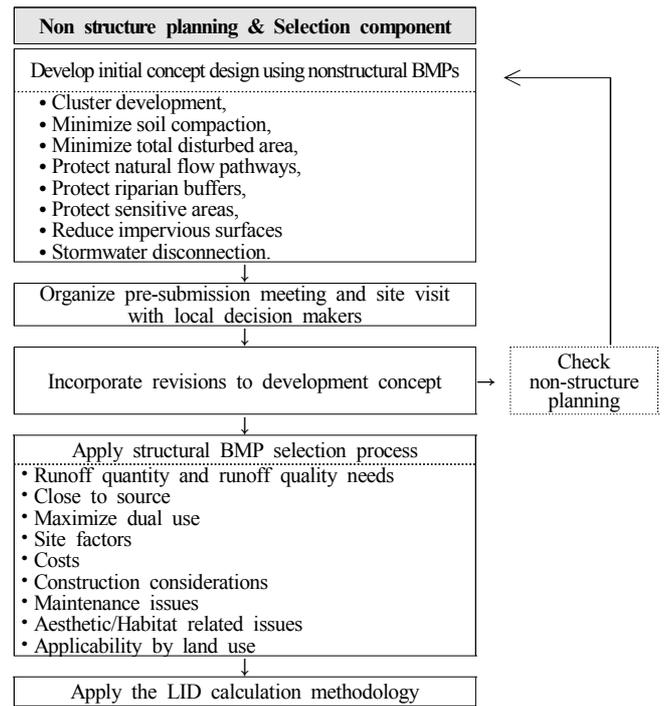


Fig. 4. Process of MTCP in LID Manual for Michigan(2008)[23]

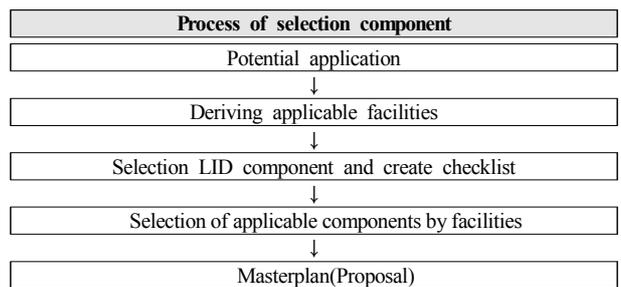


Fig. 5. Process of selection component in stormwater management facility establishment standard(2016)[17]

Table 4. Comparison of process and criteria on SBPV

Scale planning		SUDSM	LIDMM	NPTM	SMS	RMG	LIDG
Process	(Required storage volume)Distribution	●	-	-	●	-	●
	Exceedance volume and routes design	●	-	-	-	-	-
	Feedback	●	●	-	●	-	-
Criteria	Impermeable area / Land use	●	●	-	-	-	●
	On-site/Off-site				●		
Item	Storage volume	●	●	-	-	●	●
	Infiltration volume	●	●	-	●	-	●
	Attenuation volume (Rate control)	●	●	-	●	●	
	Long-term storage volume	●	-	-	-	-	-
	Conveyance flow rate	●	●				
	Exceedance flow rate	●	-				
	Water quality flow	●	●	●	-	-	-
Water quality volume	●	●	●	-	-	-	

이는 계획의 다양성이 제한되며 성능 기준만 고려된 계획으로 판단된다. 또한, 분담된 목표량을 다루고 추가 경로 및 용량에 대한 계획이 고려되지 않아 대홍수(P4)에 대한 관리가 보완될 필요가 있다.

각 가이드라인별 세부 사항에 대한 내용은 다음과 같다. SuDSTM의 규모 계획은 Fig. 6.과 같다. 전체 대상지 내 관리 목표량(P4)을 산정하고 각 집수역별로 분배하여 앞서 구성했던 관리 열을 이루는 기술 요소의 대략적 규모가 조정된다.

전체 사이트 스케일에서의 규모산정은 유출속도(Runoff rate)를 관리하는 저류량(Attenuation storage volume)과 유출량(Runoff volume)을 관리하는 장기저장량(Long-term storage volume)이 산정된다.

저류량과 유출량을 관리하기 위해 1차적으로 사이트 내의 침투 및 빗물이용시설(Rainwater harvest)로 목표량 관리 가능 여부를 판단한다. 만약 침투 및 빗물이용시설로 충분하지 않다면 저류계획(Attenuation storage scheme)과 장기저장계획(Long-term storage scheme)으로 유출속도 및 유출량이 관리된다. 이후 집수역별 다기능 관리 열에 구성된 기술 요소의 규모가 조정된다. 각 집수역에 분배된 저류량(Attenuation storage)은 최말단의 유출지점과 기술 요소 사이의 최고 유속을 추정하여 흐름 이동(Conveyance) 기술 요소의 규모를 산정하고 추가 경로와 용량을 확인하는 단계로 이루어진다.

LIDMM의 규모 계획은 Fig. 7.과 같다. 이전 단계에서 비구조적 LID 계획 단계를 통해 유출수를 최대한 감소하기 위한 부지 계획을 하였다. 비구조적 LID 계획 후의 마스터플랜으로 기술 요소의 유출수 저감 목표량이 산정된다. 유출량, 유출 속도, 홍수 대비 순으로 규모가 산정되며, 이후 유출량 및 유출속도 관리 기술 요소로 수질관리가 충분히 이루어지지 않을 시 수질관리에 대한 추가 계획이 이루어진다. 다기능 관리 열 구성에 의한 다양한 기술 요소의 규모가 순차적으로 조율되어 계획된다. SuDSTM과 마찬가지로 경미한 홍수(P3)와 대홍수(P4) 관리 기준이 함께 이루어지며 유속과 유량에 대한 계획이 순차적으로 계획된다.

‘우수유출저감 세부계획 수집 기준’은 Fig. 8.과 같이 규모 계획과 배치 계획이 함께 이루어지고 있다. 규모 계획 항목으로는 저류 시설

과 침투 시설을 다루고 있으며, 저류시설 90%이하, 침투시설 10% 이상으로 분담량의 비율을 규정하고 있다.

이후, 기술 요소의 결정을 위한 정량·정성적 평가가 이루어진다. 정량적 평가는 저류 및 침투가 가능한 용량의 크기가 클수록, 정성적 평가는 시설의 설치가 쉬울수록 기술 요소의 우선순위가 결정된다. 결정된 기술 요소는 지역외 저류시설 (Off-site), 공공시설 (지역내 저류시설), 유희지·불모지, 민간건축물(지역내 저류시설)의 배치 우선순위에 따라 최종안이 결정된다.

이는 지역의 저류시설에 의한 목표량의 분담 비율이 높게 계획되는 것이 필연적이며 유출수 저감 효율이 높은 저류 시설로 주로 계획되어 기술 요소 계획의 다양성이 제한된다. 최종 계획안은 Fig. 9.와 같다.

‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’은 토지이용계획별로 결정된 빗물 분담량에 의해 각 용지별 면적(m²), 유출 계수의 곱으로 관리유출량(m³)이 산정된다. 이에 관리 유출량을 처리할 수 있는 기술 요소별 단위용량(m³), 수량(개소, m³), 처리 용량(m³)이 결정된다.

‘서울시 빗물관리 기본계획’ 역시 공공·교육(6mm/hr), 공원·녹지(7.5mm/hr) 등 시설 분류별 빗물분담량(mm/hr)을 제시하여 관리 목표량을 산정하고 침투시설과 빗물 이용시설로 구분하여 규모 산정식을 제시하고 있다.

‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’과 ‘서울시 빗물관리 기본계획’은 세종시, 서울특별시의 규정된 지역에 대한 가이드라인으로 토지이용계획별 빗물 분담량에 의해 기술 요소 규모가 산정된다. 이는 분담량이 결정되지 않은 지역에 범용적으로 활용이 어려우며 계산상으로의 기술 요소별 단위용량 및 처리용량 기준의 적합성 판단이 모호하다.

‘비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼’은 기술 요소의 계획 형태에 따라 수질처리 유량 또는 용량으로 구분되어 규모 계획 기준이 제시되어 있다. 이는 수질 처리에 대한 기준으로 수량 및 수질 관리에 대한 통합적 기준을 다루는 데 한계가 있다.

3) 세부 요소 기술 상세 설계(Detailed Design for Component Phase, DDCP)

세부 요소 기술 상세 설계에서는 다기능 관리 열 구성과 성능 검증 규모 조정을 통해 결정된 계획안의 세부 요소 기술 설계와 수문 분석을 통한 계획 검증을 제안한다. 세부 요소 기술 설계는 규모 계획에 대한 성능 기준의 용량 설계뿐만 아니라 조정 요소, 다목적 어메니티 시설 계획 등의 설계 기준에 대한 상세 설계도 함께 이루어져야한다. 세부 요소 기술 상세 설계에서 고려되어야하는 항목은 디자인 고려사항, 구조적 계획, 수리학적 계획, 수질처리 계획, 어메니티, 생물 다양성의 항목들로 성능기준과 설계 기준이 함께 계획되어야한다. 디자인 고려사항은 기술 요소 설치 장소에 대한 적합성 판단되고, 구조적 계획에서는 기술 요소의 폭, 너비, 유입구, 유출구의 규모 등에 대한 자세한 사항이 결정된다. 또한, 각 기술 요소의 식생 계획 가능 여부 및 구체적인 식생 종류가 계획되어야하며, 어메니티 시설로서의 활용성 또한 중요한 항목으로 계획되어야한다. 이외의 LID의 운영 및 유지관리, 비용, 건강 및 안전에 관한 사항도 포함된 계획이 가능하다.

이 중 구조적 계획은 기술 요소의 구체적인 용량 설계 기준으로 성능 기준 검증을 통해 결정되어야한다. SWMM-LID(SWMM ver. 5.1), STORM 등과 같은 수문 분석 프로그램을 통한 규모 계획의 적

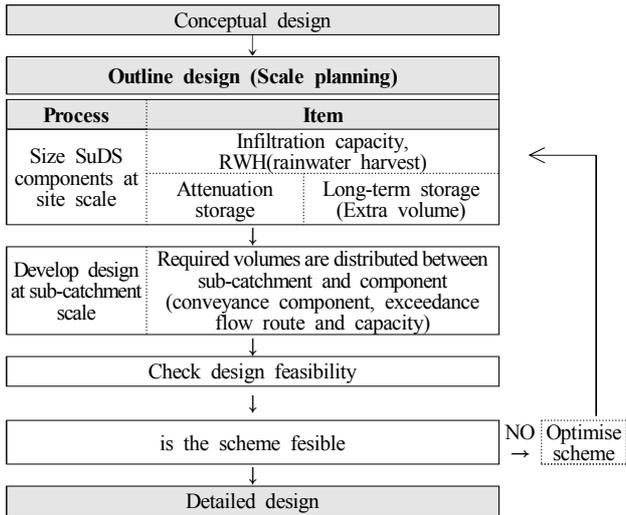


Fig. 6. BSPV in The SuDS Manual(2015)[24]

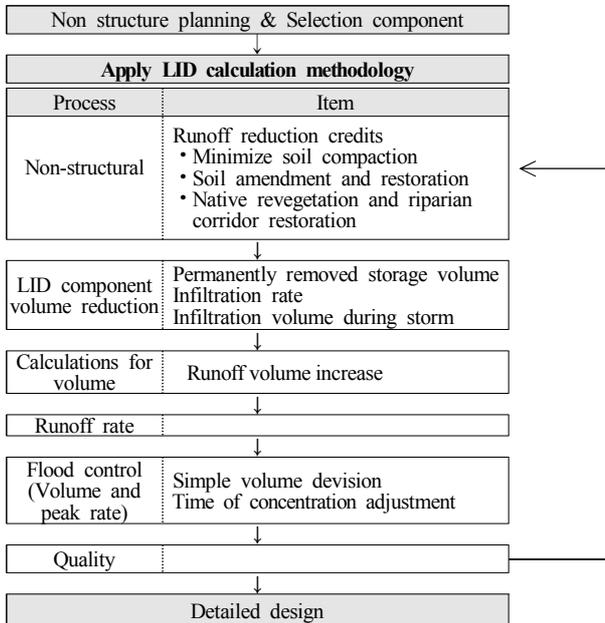


Fig. 7. BSPV in LID Manual for Michigan(2008)[23]

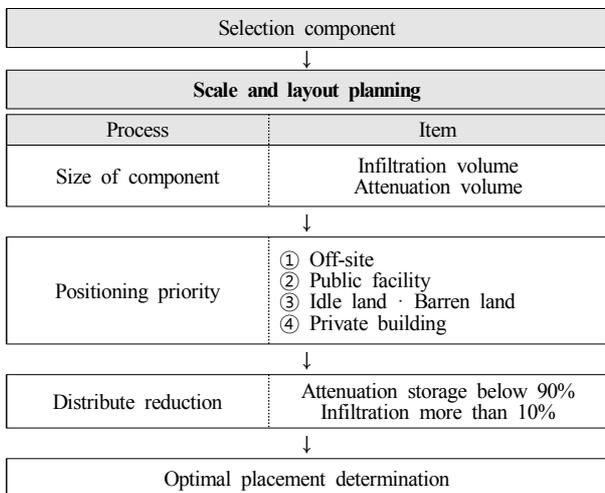


Fig. 8. BSPV in Stormwater management facility establishment standard(2016)[17]

정성 검증이 요구되어야한다.

검증을 통해 계획이 목표에 부합하지 않을 시, 선행된 계획 프로세스의 반복적 조정과정을 통해 최종 계획이 완료된다.

상세 설계에 대한 각 가이드라인의 프로세스 및 기준을 비교한 내용은 Table 5.와 같다.

국외의 가이드라인은 다기능이 고려된 항목들로 세부 요소 기술 상세 설계가 이루어지는 반면 국내의 ‘저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인’을 제외한 가이드라인은 성능 기준만을 고려한 상세도면 등 용량 설계 방법을 주요하게 제시하고 있다.

SuDSM, LIDS·LIDMM, ‘우수유출저감 세부계획 수집 기준’을 제외한 국내의 가이드라인은 수식에 의한 계산상의 절차로 단순화되어 있으며 수문 분석을 통한 효과 검증의 신뢰도를 높이는 것이 필요하다.

Table 5. Comparison of process and criteria on DDCP

		Detailed design	SUDSM	LIDMM	NPTM	SMS	RMG	LIDG	
Process	Component scale calculation	●	●	◐	◐	-	●		
	Feedback	Modeling and assessment	●	●	-	●	-	-	
		Component design statement	●	●	-	●	●	-	
Contents	Design consideration	●	●	-	-	●	●		
	Structural design	●	●	-	-	●	●		
	Hydraulic design	●	●	-	-	◐	◐		
	Treatment design	●	●	●	-	-	-		
	Amenity design	●	●	-	-	-	-		
	Biodiversity design	●	●	-	●	-	-		
ECT	Supporting guidelines	Hydrology and hydraulics	●	●		●			
		Infiltration : design methods	●	-	-	-	-	-	
		Water quality management	●						
		Pollution prevention strategies	●	-	-	-	-	-	
		Inlets, outlets and flow control system	●	-	-	-	-	-	
		Landscape	●	-	-	-	-	◐	
		Materials	●	-	-	-	-	-	
		Construction	●	-	-	-	◐	-	
		Operation and maintenance	●	●	-	-	◐	-	
		Community engagement	●	●	-	-	-	-	
		Costs and benefits	●	-	-	-	-	-	
		Health and safety	●	-	-	-	-	-	



Fig. 9. BSPV Masterplan in Stormwater Management facility establishment Standard(2016)[17]

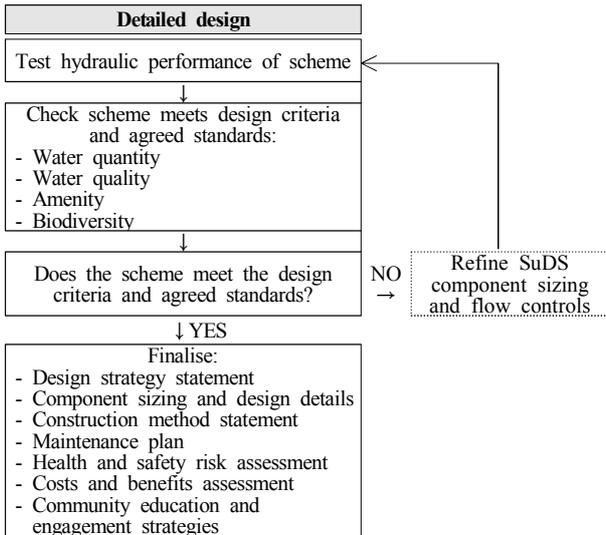


Fig. 10. DDCP process in The SuDS Manual(2015)[24]

SuDSM의 세부 요소 기술 상세 설계는 Fig. 10.와 같다. 세부 계획 요소로 수리학적 계획, 구조적 계획, 오염원처리 설계, 어메니티 설계, 생물다양성 계획, 물리적 사양, 재료, 조정계획, 건설 사항, 운영 및 유지보수에 관한 내용이 기술 요소별로 제시되어있다. 제시된 기준을 고려하여 기술 요소의 세부 사항에 대한 계획 후 디자인 기준과 성능기준에 부합 여부를 확인하는 피드백을 거쳐 기술 요소의 최종 규모 계획이 확정된다.

LIDMM 역시 SuDSM과 마찬가지로 기술 요소의 세부 설계 및 수문 분석을 통한 계획 검증이 이루어지는 프로세스를 가지고 있다. LIDMM에 제시된 기술 요소의 세부 설계 기준은 디자인 주요 특징, 토지이용계획별 적용 가능성, 수량 및 수질관리 기능의 성능, 설치 가능한 사이트의 특성이 제시되어 기술 요소의 세부 설계 시 중요한 계획 항목으로 고려된다. 이 외의 LID 관련 지원 계획으로 비용, 유지관리, 지역사회 참여 교육 내용이 포함되어 고려된다.

국내 '우수유출저감 세부계획 수립 기준'의 세부 요소 기술 상세 설계에서는 성능 검증 규모 조정에서 침투시설과 저류시설의 수식에 의한 규모 산정 계획으로 계획이 마무리되며 성능 기준에 대한 계획 검증 항목이 제시되어 있다. 하지만 별도의 검증 계획에 대한 상세한 프로세스는 없다.

'서울시 빗물관리 기본계획' 역시 성능 검증 규모 계획에서 빗물 이용시설과 침투시설의 단위 저류·침투량과 설치 수량에 따른 각 시설별 관리 계획량을 계산하여 마무리된다. 시공 시 고려사항, 유지관리에 관한 기술 요소의 관련 사항이 제시되어 있다.

'저영향개발(LID) 기법 설계 가이드라인'과 '비점오염저감시설의 설치 및 관리·운영 매뉴얼'은 별도의 효과 검증 계획이 없다. 기술 요소의 세부 설계 기준은 적용 시 고려사항, 구조 형식 기준, 용량 설계 기준에 대한 항목이 제시되어 있다.

4. 결론

현재 국내에서 계획되고 있는 LID 계획은 기능별로 분리되어 성능 기준에 적합한 프로세스로 제시되어 있다. 이에 LID를 통한 생태환경의 이점을 활용하지 못하고 있다. 본래 통합적 물관리 시스템으

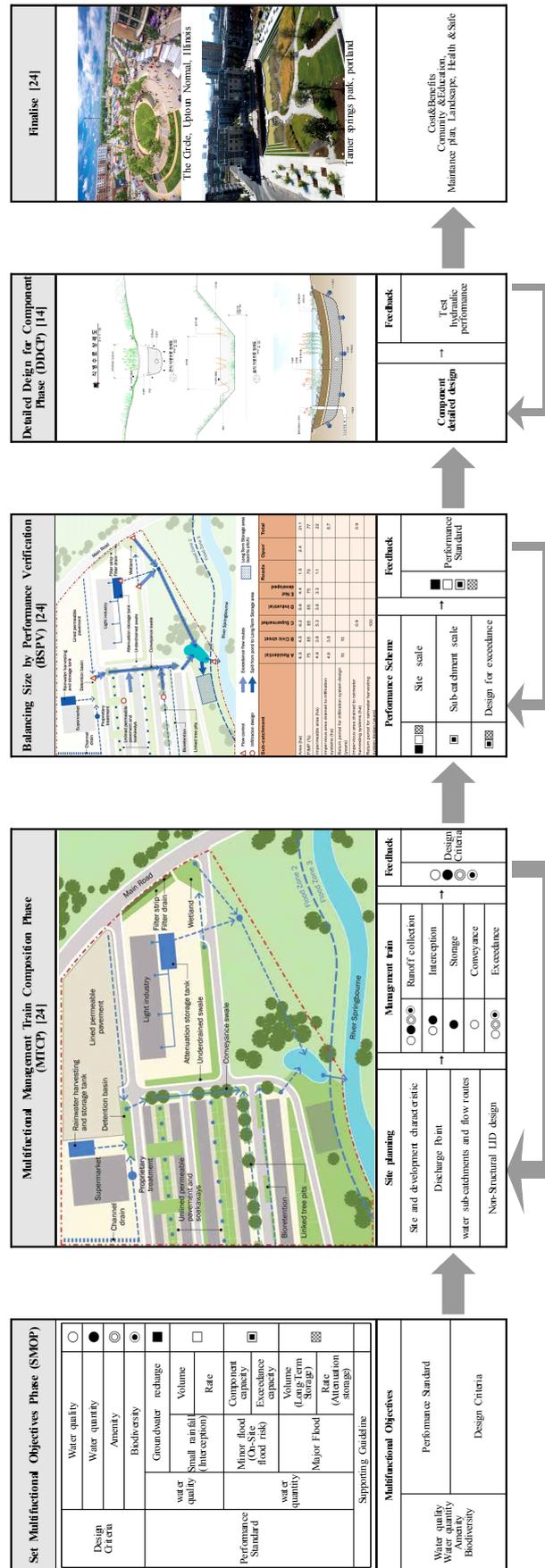


Fig. 11. Integrated LID Design Process[14], [24]

로서의 LID를 실현하기 위해 국내외 가이드라인을 비교 분석하여 LID 통합 계획 요소를 도출하였으며, Fig. 11.과 같다.

첫째, 수질 및 수량, 어메니티, 생물다양성의 다기능 목표를 설정하고 성능 및 설계 기준을 수립해야한다. 이는 단계별 디자인 프로세스의 기준 및 목표가 되며 각 단계별 회귀적 프로세스를 거쳐 목표의 부합 여부 확인이 필수적이다.

둘째, 다기능 관리 열을 구성한다. 수질, 수량, 어메니티, 생물 다양성의 설계 기준이 계획 항목에 포함된다. 다기능을 고려하여 저장, 침투, 흐름 이동 등의 여러 기술 요소들이 조합되어 연속적으로 배치된다. 이는 대상지의 수질 및 수량 관리의 목표량과 환경적, 사회적 요인을 함께 고려하여 다양한 디자인 계획을 유도한다.

셋째, 앞서 계획된 다기능 관리 열을 구성하는 기술 요소의 규모가 조화롭게 조정된다. 일부 특정 기능의 기술 요소 또는 장소에 치우쳐 목표량이 분담되지 않도록 계획되어야한다. 또한, 분담량 이상의 경우에 대비한 추가 경로 및 초과 저장 계획이 제시되어야한다. 이 단계에서는 세부 기술 요소 계획의 근거가 되므로 수질 및 수량 관리의 성능 목표를 달성하기 위한 회귀적 계획 프로세스가 필수적이다.

넷째, 다기능 관리 열 구성 및 규모 조정 계획을 통해 선정된 기술 요소의 상세 설계가 이루어진다. 성능 기준을 구현하기 위한 정량적 항목과 설계 기준을 구현하기 위한 정성적 항목으로 구분되어 있으며 통합적으로 고려하여 계획되어야한다.

구조적 계획, 수리학적 계획, 수질처리 계획의 항목은 기술 요소의 폭, 너비, 깊이 등을 결정하는 구체적인 용량 설계 기준을 제시하고 있으며 이는 SWMM-LID, STORM과 같은 수문분석 프로그램을 통해 최종 결정된다.

또한, 정성적 항목인 조정 계획, 지역 커뮤니티 계획 등이 포함되며, 기술 요소의 성격에 따라 구체적인 식생의 종류를 결정하고, 다목적 공간으로서의 활용성 평가가 이루어져야한다.

각 모든 단계는 단계별 성능 및 설계 기준의 부합여부를 확인하는 회귀적 계획 프로세스를 통해 최종 계획이 완료된다.

추후, 본 연구에서 제안된 LID 통합 계획 프로세스의 실현 가능성 및 타당성을 평가해보고자 실제 대상지에 적용해보고자 한다. 또한, 통합 디자인 프로세스에서의 가장 중요한 계획 요소인 다기능 관리 열 구성 시, 현재 기술 요소 선정 기준은 기술 요소별 성능 평가 또는 부지의 제약 조건 등에 의해 선정된다. 이는 개별 기술 요소에 대한 기준으로, 다기능 관리 열에서의 기술 요소 간의 연관성이 고려된 기준의 필요성을 인식하였다. 기술 요소 간의 최적화된 조합에 대한 근거가 마련되고 구체적인 평가가 가능한 연구가 진행되어야할 것이다.

Reference

[1] 이정민 외, LID 기법 적용에 따른 물순환 효과분석, 한국습지학회지, 제16권 제3호, 2014, pp.411~421 // Jungmin Lee et al., Analysis of Water Cycle Effect according to Application of LID Techniques, Journal of Wetlands Research, Vol.16 No.3, 2014, pp.411~421
 [2] 강승희, LID 개별요소의 효과분석에 관한 연구, 한국 : 강원대학교 박사학위 논문, 2018, p.1 // Seung-Hee Kang, Study on the analysis of effect by application of LID technique, Republic of Korea : Kangwon National University Ph.D. thesis, 2018, p.1
 [3] 현경학 외, 저영향개발 제도 및 연구 동향, 한국자연환경공학회, 15(2)호, 2014, pp.26~30 // Kyung-Hak Hyun et al., Low-Impact Development(LID) Institutional and Research Trends, Geoenvironmental Engineering, Vol.15 No.2, 2014, pp.26~30

[4] 윤정중 외, 물순환도시 조성을 위한 LID기법 활용방안, 대한국토·도시계획학회, 387호, 2014, pp.3~17 // Jeon-Joung Yoon et al., Application of LID technique for water circulation city, Korea Planning Association, Vol.387, 2014, pp.3~17
 [5] 이진희 외, 저영향개발기법의 환경영향평가 적용방안, 한국환경정책·평가연구원, 2014 // Jin-Hee Lee et al., LID(Low Impct Development) Implementation Scheme for Environmental Impact Assessment, Korea Environment Insititute, 2014
 [6] 장영수, 저영향개발 기술의 물순환 효율성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 한국 : 부산대학교 박사학위논문, 2018, p.8 // Young-su Jang, Development and Application of Water Cycle Efficiency Analysis Method for Low Impact Development Technology, Republic of Korea : Pusan National University Ph.D. thesis, 2018, p.8
 [7] 김동현 외, 수변지역에서의 저영향개발기법(LID) 적용을 위한 계획과정 도출 및 모의 효과, 환경정책연구, 제12권 제1호, 2013, pp.37~58 // Dong-Hyun Kim et al., The Planning Process and Simulation for Low Impact Development(LID) in Waterfrong Area, Korea Environment Institute, Vol.12 NO.1, 2013, pp.37~58
 [8] Oaklan Housing Authority, <http://www.oakha.org>, "OHA Department, Real Estate Development Projects, Tassafaronga Village", 2019.04.10
 [9] 박종관 외, 물관리 효율화를 위한 환경행정체계 발전방향 연구, 환경부, 2011 // Jong-Gwan Park, Study on development of environment administration system for water management efficiency, Ministry of Environment, 2011
 [10] Susdrain, <https://www.susdrain.org> "resources, policy", 2019.01.22.
 [11] 박창열 외, 제주지역의 저영향개발(LID) 기법 도입방안, 제주연구원, 2017, pp.24~26 // Chang-Youl Park et al., Low-Impact Development Guideline of Jeju, Jeju Research Institute, 2017, pp.24~26
 [12] 이정민 외, LID 시설의 유출효과 정량화에 따른 합리적 우수유출저감 시설 적용 방안 연구, LH 토지주택연구원, 2017 // Jeong-min Lee et al., Study on the Application of Rational Rainfall-runoff Reduction Facilities by Quantification of Runoff Effect of LID Facilities(I), Land &Housing Institute, 2017
 [13] 이정민 외, 팽택 고덕신도시 저영향개발기법(LID) 도입 방안에 관한 연구(II), LH 토지주택연구원, 2017 // Jeong-min Lee et al., Study on the Introduction Plan of Low Impact Development Technique in Pyeongtaek-Godeok New Town(II), Land &Housing Institute, 2017
 [14] 저영향개발기법(LID) 설계 가이드라인, 환경부, 2016 // Low-Impact Development design Guideline, Ministry of Environment, 2016
 [15] 배채영 외, 저영향개발(LID) 적용에 따른 도시지역 유출분석(옥상녹화 및 투수성 포장을 중심으로), 대한국토·도시계획학회지(국토계획), 제 47권 제6호, 2012, pp.39~47 // Chae-Young Bae et al., Analysis of Urban Runoff with LID Application(Focused on Green Roofs and Permeable Paver), Korea Planning Association, Vol.47 No.6, 2012, pp.39~47
 [16] 이정민 외, 신도시 LID 기법 적용방안 및 효과분석 모니터링에 관한 연구 (I) LID 기법 선정 및 적정규모 산정, 한국방재학회논문집, 제 15권 5호, 2015, pp.291~299 // Jung-Min Lee et al., A study on the Application and Effect Analysis Monitoring of LID Technique in New Town City (I) LID Technique Selection and Optimum Size Estimate, Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation, Vol.15 No.5, 2015, pp.291~299
 [17] 개발사업 시행자 등의 우수유출저감대책 세부수립 기준, 국민안전처, 2016 // Stormwater Management facility establishment Standard, Ministry of Public Safety and Security, 2016
 [18] 비점오염저감시설의 설치 및 관리운영 매뉴얼, 환경부, 2016 // Nonpoint Pollutants Treatment facility adoption and management, Ministry of EnvironmentManual, Ministry of Environment, 2016
 [19] 김이호 외, LID기법의 빗물관리 목표량 산정 및 최적화 기법 개발, 한국건설기술연구원, 2011 // I-Ho, Kim, Development of LID on rainwater management goals and optimization technology, Korea Institute of Civil engineering and building Technology(KICT), 2011
 [20] EPA, <https://www.epa.gov>, "Laws & Refulations" 2019.04.17.
 [21] 서울시 빗물관리 기본계획, 서울특별시, 2013 // Rainwater Management Guideline, Seoul city, 2013
 [22] Samuel E. Wynkoop, Jr. Director, Low-Impact Development Design Strategies, Prince George.s County, Maryland Department of Environmental Resource Programs and Planning Division, 1999
 [23] Janis Bobrin et al., Low Impact Development Manual for Michigan, Southeast Michigan Council of Governments, 2008
 [24] B Woods Ballard et al., CIRIA, The SuDS Manual, 2015