



A study on the construction of the planning process Green Stormwater Infrastructure (GSI) in the public building in Gyeongsangnam-do

Lee, Hyojung^a · Shin, Hyunsuk^{b*}

^aPh.D Student, Department of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

^bPresident, Busan Development Institute, Busan, Korea

Paper number: 23-004

Received: 9 January 2023; Revised: 10 March 2023; Accepted: 20 March 2023

Abstract

Since 2013, the Ministry of Environment has been promoting the ‘Green Stormwater Infrastructure (GSI) application project’, a small-scale distributed stormwater management method, and supporting installation costs. So, the number of local governments that want to apply for ‘GSI applied projects’ is increasing every year. However, with the exception of Seoul, which introduced the ‘Low Impact Development Prior Consultation System’, each local government has difficulties because there is no guideline or implement systems. Therefore, in this study, the application scope and priority setting of public buildings in Gyeongsangnam-do, the review of the GSI application effect in the pilot study area, and the establishment of an integrated implement system will be proposed as a result of the study.

Keywords: GSI, Propulsion system, Public building, Priority, Gyeongsangnam-do

경상남도 공공청사형 그린빗물인프라(GSI) 조성 체계 구축

이효정^a · 신현석^{b*}

^a부산대학교 토목공학과 박사과정, ^b부산연구원 원장

요 지

환경부에서는 2013년부터 소규모 분산식 빗물 관리 방식인 ‘그린빗물인프라(Green Stormwater Infrastructure, GSI) 조성 사업’을 추진하여 설치비를 지원함에 따라 각 지자체의 GSI 조성 사업은 매년 증가하고 있다. 하지만 ‘저영향개발 사전협의제도’를 도입하고 있는 서울시를 제외하면, 각 지자체별 가이드라인, 추진체계 부존의 문제로 도입에 어려움을 겪고 있다. 이에 본 연구에서는 경상남도를 대상으로 공공청사의 적용 범위 및 우선 순위 설정, 시범 구역 GSI 적용 효과 검토를 수행하고 이를 통합한 추진체계 구축을 연구 결과로서 제안하고자 한다.

핵심용어: 그린빗물인프라, 추진체계, 공공청사, 우선순위, 경상남도

1. 서 론

우리나라는 국토의 63%가 산악지형, 유역면적이 작고 유로 연장이 짧아 단기 유출 발생이 잦은 지형 조건을 가지고 있어 물 관리에 매우 불리하다. 뿐만 아니라 급속한 도시화 및 산업화로 인한 수질 악화 등 물 환경 보전에 취약한 여건을 가지고 있다.

이에 따라 환경부에서는 2013년부터 소규모 분산식 빗물 관

리 방식인 ‘그린빗물인프라(Green Stormwater Infrastructure, GSI) 조성 사업’을 추진하여 도시지역의 우수유출 저감, 물순환 구조 개선, 비점오염원 관리 등을 목표로 추진되고 있다. 이 사업이 시작된 이래로 2014년 공공청사 중심에서 2015년 학교, 도서관, 공원 등 적용 범위 및 설치비 지원을 확대하고 있다.

하지만 각 지자체에서는 추진체계 및 가이드라인 부존 등으로 추진 건수가 많지 않고, 서울시의 ‘저영향개발 사전협의제도’에서 빗물 분담량 산정이 가능한 몇몇 시설을 모방 적용하고 있는 것으로 조사되었다.

국외에서도 GSI 관련 시설의 미국의 경우, 1972년 CWA

*Corresponding Author. Tel: +82-51-510-3288
E-mail: hsshin@pusan.ac.kr (Shin, Hyunsuk)

(Clean Water Act)에 의해 만들어진 국가 오염물질 배출 제거 시스템(National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES)을 통해 빗물허가제도(Municipal Regional storm-water Permit, MRP)를 시행하고 있다. 이는 각 관할구역 내 하수도 시스템으로 유입되는 빗물의 오염물질 및 유출량을 제어하여 수질 오염 문제를 해결을 목적으로 한다. 이 허가제도에 의거, 2000년대부터 시작된 최적관리기법(Best Management of Practices, BMPs) 기반의 ‘Green Infrastructure technical assistance program’이 실시되고 있다.

이에 각 지자체에서는 관계자 또는 시민들의 이해도를 높이기 위해 ‘Green Stormwater Infrastructure’ 개념 및 용어의 정의, 시설별 기능 및 적용 효과, 예상 비용, 인센티브, 설치방안, 유지 관리 방안 및 모니터링, 시민참여(홍보 및 교육 성과) 등의 내용을 수록한 가이드라인을 작성·배포하고 있다(DEP, 2010, 2011; PAC, 2015; SCC, 2016; DC, 2019; SJC, 2019; SMC, 2020; PWD, 2022). 여기서 GSI는 빗물 관리 및 수질 개선 외에도 지역사회 미관 조성, 공중 보건 개선, 생태 서식지 조성, 지역 경제 활력 향상과 같은 혜택을 제공하며, 적용 범위의 제약이 없다는 점에서 그린인프라(Green Infrastructure, GI)와 유사한 개념으로 사용되기도 한다.

국내에서는 2000 년대에 접어들면서 빗물이용시설 보급을 시작으로 빗물이용시설 보급 확대를 위한 법/제도, 국외 사례 및 빗물관리시설 적용 사례, 기후변화 적응을 위한 빗물 관리 방안 등의 연구를 실시하였다(Kim and Lee, 2005; Han *et al.*, 2006, 2009; Hyun *et al.*, 2006). 이후 2011년 「물의 재이용 촉진 및 지원에 관한 법률」이 제정되면서 빗물 관리 적용 타당성 분석, 빗물 관리 조례 제정, 시설의 적정 규모 산정, 각 시설별 물순환·물 환경 효과 검증 등에 관한 연구가 진행되었다(Lee *et al.*, 2011; Byeon *et al.*, 2013; Kim and Sim, 2013; Song *et al.*, 2014; Choi, 2014; Lee *et al.*, 2016; Lee and Jung, 2017). 특히 2013년 건전한 도시물순환인프라의 저영향개발(Low Impact Development, LID) 및 구축·운영 기술 연구단의 연구성과 중 일부인 「한국 저영향개발 적용 도시계획 및 지구단위계획 지침 개선(안)」, 「한국형 저영향개발 지자체 지원 가이드라인」을 통해 우리나라 최초의 물순환 평가체계를 마련한 바 있다. 서울시에서는 2014년부터 「서울특별시 물순환 회복 및 저영향개발 기본조례」를 통해 일정 규모 이상의 공공·민간개발사업 시행시 저영향개발 사전협의를 진행하고 있다. 이후 수도권 외 지역 물순

환 선도도시 지정 등 빗물관리가 확산 되는 추세이나, 서울시에서 제시한 빗물 분담량에 의존하고 있는 실정으로 실질적인 물순환, 물 환경을 고려한 설계 협의가 이루어져야 할 것이다.

국내 GSI 관련 지자체별 조례 제정 현황을 조사한 결과, 수도권 총 20건(서울 5건, 경기 15건), 경북/충남 5건, 광주/경남 4건, 전북 3건, 강원/대전/부산/인천/전남 2건으로 수도권을 포함하여 물순환 선도도시로 선정된 광주, 김해, 대전, 안동, 울산을 중심으로 점차 확산되고 있는 것으로 판단된다.

하지만 2017년~2021년 제2차 경상남도 기후변화 적응대책 세부 시행계획에서 볼 수 있듯이, 경남지역의 빗물 관리 사업의 제반여건 미성숙으로 인해 물 관리 분야 이행률이 가장 낮은 것으로 조사되었다. 이에 경상남도는 행정적 추진체계 및 가이드라인 미흡, 관심 부족 등의 문제를 해결하기 위해 본 연구를 추진하였다. 본 연구에서는 경상남도의 지역적 특색을 고려한 정성·정량적 현황조사 실시, GSI 조성을 위한 공공청사의 범위 및 우선순위를 설정하였다. 우선순위에 따른 시범 구역 2개소(도시형, 농촌형)를 대상으로 적용 규모별 GSI 적용 효과 검증을 수행하였으며, 이를 통합한 추진체계를 구축하고 연구 결과로써 제안하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 경상남도 공공청사 내 GSI 조성 체계 구축을 위해, 현재 개발 사업 인·허가 시 협의가 진행되고 있는 재해영향평가, 환경영향평가, 서울시 저영향개발 사전협의제도 등의 실무 지침에서 주요 검토되고 있는 항목을 참고하여, 공공청사의 적용 범위를 설정하였다. 또한 입지 평가 범주의 우선순위를 선정하기 위해 「예비타당성조사 운용지침」에 의거, 사업 타당성 평가 시 우선순위 선정에 많이 사용되고 있는 계층화분석 기법(Analytic Hierarchy Process, AHP)를 활용하여 각 평가 항목별 가중치 부여·평가를 통한 시범 구역을 선정하였으며, 상세 연구추진 절차는 Fig. 1과 같다.

3. GSI 적용 공공청사의 범위 설정

공공청사는 「도시·군 계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」 제94조에 의하면 공공업무를 수행하기 위하여 설치·



Fig. 1. Research Procedure

관리하는 국가 또는 지방자치단체의 청사 등을 말하며, 외교업무수행을 위하여 정부가 설치하여 주한 외교관에게 빌려주는 공관, 교정시설(교도소·구치소·소년원 및 소년분류심사원에 한한다) 포함한다. 또한 「정부조직법」에 근거한 「정부청사관리규정」에서는 국가가 중앙행정기관 및 그 소속기관의 사무용과 공무원의 주거용으로 사용하거나 사용하기로 결정한 건물·부대시설 및 그 대지로 정의하고 있다. 이를 바탕으로 AURI (2015)에서는 「도시·군 계획시설의 결정·구조 및 설치기준에 관한 규칙」에 의거, 공공청사의 대상 범위를 중앙정부청사, 지방정부청사, 공관, 공공기관 청사, 책임운영기관 청사, 지방공기업 청사 총 6가지로 분류하고 있다. 또한 최근 행정서비스의 중요도 및 비중 확대로 인해 공공청사 계획 시 각 기관의 공공청사의 지역별 인구·방문이용객 규모 및 상주 공무원의 수가 가장 큰 고려요인임을 제시하였다. 공공청사는 국토의 이용 및 도시 조성 시 기능 증진 및 제반 활동을 위한 필수적 요소로 공공청사의 합리적 이용 및 물순환 기능의 강화는 국토의 효율적 이용 및 기후변화 등 미래환경의 대비에 필수 불가결한 요소이다. 하지만 현재의 법·제도적으로는 「자연재해대책법」에서 대지면적 2,000 m²이나 건축 연면적 3,000 m² 이상의 건축물·공공시설 등에 우수유출저감시설 설치만을 의무화하고 있으며, 기타 법·제도들은 토지이용계획, 도시·군 계획 수립 시의 지구단위계획 수준에서 체계적 물 관리를 위한 사항만을 명시하고 있어 공공시설용지 자체에 대한 물 관리 기준이 부족한 실정이다(Lee, 2021).

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 청사별 규모 및 상주 공무원의 수, 시민들의 접근성 등을 고려하여 GSI 적용을 위한 순위를 설정하였다. Table 1은 1순위로 선정된 공공청사의 종류별 특성을 나타낸 것으로, 본 연구를 통해 제시된 공공청사의 범위, 우선순위는 ‘GSI 조성 사업’의 확대 적용을 위해 의사결정자의 참고자료로써 지역별 차등을 없앨 수 있을 것이다.

4. 입지 평가 범주별 현황 분석

4.1 토지이용 및 토양특성

경상남도에서 고시하고 있는 공공청사 및 주요기관은 시·

군·구청을 포함하여 경찰서, 소방서, 법원·검찰서, 교육청, 우체국, 세무서 등 행정구역별 총 1,589개로 조사되었으며, 이 중 1순위로 설정된 공공청사인 도청, 시·군·구청 25개소를 대상으로 토지이용현황, 토양특성, 수문학적 특성 등 기초현황 조사를 실시하였다. 그 결과 Table 2와 같이 불투수면적은 합천군청, 함안군청이 가장 높은 것으로 조사되었다. 하천과 가장 인접해 있는 청사는 창원시 의창구청으로 조사되었다. 토양특성에 따른 영향 검토를 위해 국가공간정보포털에서 제공하고 있는 배수등급도를 활용하여 각 청사별 평균 배수등급을 산정하였다. 등급은 1~5단계로 구분하였으며, 수치가 높을수록 배수불량상태로 설정하였다. 그 결과, 경남지역은 매우불량에 해당되는 5등급은 없는 것으로 나타났으며, 불량상태인 4등급 청사는 경상남도 서부청사, 김해시청, 통영시청, 거창군청, 하동군청, 창원시 의창구청이 해당된다.

4.2 수문학 및 환경적 특성

대상 후보지의 수문학적 특성 검토를 위해 「재해영향평가 등의 협의 실무지침(MOIS, 2021)」에서 제시되고 있는 토지이용 형태에 따른 유출곡선지수(Curve Number, CN), 도시구역의 홍수량 산정을 위해 많이 사용되고 있는 단순 경험공식인 합리식을 활용하여 각 유역별 단위홍수량을 산정·비교하였다. 그 결과 Table 3과 같이 단위홍수량이 가장 높은 청사는 함안군청, CN값이 가장 높은 청사는 합천군청, 창원시 의창구청으로 분석되었다. 환경적 특성 분석에는 국립환경과학원에서 고시하고 있는 ‘토지계 지목별 연평균 발생부하원단위’를 적용하여 각 지목별 생물화학적산소요구량(BOD, kg/km²·일), 총질소(TN, kg/km²·일), 총인(TP, kg/km²·일) 발생부하원단위를 적용하였다.

그 결과, Table 2와 같이 BOD, TN 발생이 가장 높은 청사는 진해구청, TP가 가장 높은 청사는 경상남도(본청)로 나타났다.

4.3 사회적 요인

사회적 요인검토를 위해 Table 4의 항목을 현장답사 및 각 지자체공무원 면담 또는 공보 등을 통해 직접 수집하였다. 먼저 GSI 관련 시설이 설치된 적이 있거나, 설치 예정인 지자

Table 1. Scope and ranking of public building for the application of GSI

Rank	Types of public buildings	Characteristics
1	<ul style="list-style-type: none"> - Special City Hall, Metropolitan City Hall, Provincial public building, City/Gun/Gu public building - Council building of local governments (including parliamentary affairs organizations) - Assistant and assistant organizations 	<ul style="list-style-type: none"> - Government buildings to be included or excluded from the area standards of local government buildings pursuant to the rules on the determination structure and standards for establishment of City/Gun planning facilities - As a large-scale public building, there is a large floating population, such as resident public officials and visiting civil petitioners, and various business facilities on the site are comprehensively established - Most of them are located in the center of the city with a high impermeable area ratio - Easy accessibility for residents considering social aspects such as public relations and education

Table 2. Land use and soil type characteristics of each public buildings

Name	Public building land area (m ²)	Imper meable area ratio (%)	Land scape area ratio (%)	Soil drainage grade	Hydro logical soil type	Non-point pollution load by land use category		
						BOD (kg/km ² ·day)	TN (kg/km ² ·day)	TP (kg/km ² ·day)
Gyeongnam-do (Main)	145,723	41.0	44.0	2	B	1.097	0.842	0.061
Gyeongnam-do (Western)	56,758	53.2	40.8	4	C	0.464	0.359	0.023
Geoje-si	31,273	63.7	36.3	3	C	0.275	0.221	0.013
Gimhae-si	25,009	85.8	14.2	4	D	0.099	0.075	0.004
Miryang-si	40,824	73.6	26.4	2	B	0.064	0.054	0.003
Sacheon-si	73,151	66.0	30.0	1	B	0.258	0.213	0.011
Yangsan-si	20,522	85.2	14.8	2	B	0.056	0.048	0.003
Jinju-si	25,173	75.5	24.5	3	C	0.402	0.291	0.016
Changwon-si	34,832	80.6	19.4	2	C	0.671	0.489	0.028
Tongyoung-si	15,536	81.7	18.3	4	C	0.160	0.127	0.007
Geochang-gun	9,662	80.5	19.5	4	C	0.216	0.165	0.009
Gosung-gun	6,218	85.8	14.2	1	D	0.162	0.138	0.010
Namhae-gun	6,143	71.1	28.9	3	C	0.243	0.197	0.011
Sancheong-gun	16,661	74.1	25.9	1	D	0.276	0.201	0.011
Uiryeong-gun	18,302	63.8	36.2	3	C	0.353	0.275	0.015
Changnyeong-gun	26,340	82.2	17.8	3	D	0.162	0.118	0.006
Hadong-gun	35,841	81.2	18.8	4	D	0.371	0.279	0.016
Hamahn-gun	10,811	99.0	1.0	3	D	0.127	0.092	0.005
Hamyang-gun	35,348	79.4	20.6	3	C	0.336	0.274	0.016
Hapcheon-gun	13,151	100.0	0.0	1	D	0.156	0.112	0.006
Uichang-gu	6,957	92.3	7.7	4	D	0.033	0.026	0.004
Seongsan-gu	11,667	63.5	36.5	1	B	0.099	0.088	0.005
Masanhappo-gu	10,102	81.0	19.0	1	B	0.092	0.099	0.006
Masanhoewon-gu	10,893	84.1	15.9	1	C	0.095	0.068	0.005
Jinhae-gu	11,667	63.5	36.5	1	C	1.180	0.907	0.055

Table 3. Hydrological characteristics of each public buildings

Name	Stream name	Distance to neighbor stream (m)	Runoff according to Rational formula (m ³ /m ² /hr)	CN (AMC-III)	Target precipitation of disaster prevention (2018 yr, 1 hr)	Probability precipitation (10 yr 1 hr)
Gyeongnam-do (Main)	Changwon	500	0.029	71	95.0	69.7
Gyeongnam-do (Western)	Hachon	150	0.041	84	76.1	76.3
Geoje-si	Gohyeon	760	0.048	85	95.0	75.7
Gimhae-si	Haeban	1,400	0.045	89	95.0	60.3
Miryang-si	Jedae	1,100	0.060	80	80.0	56.9
Sacheon-si	Gamasil	300	0.052	83	85.0	none
Yangsan-si	Dabang	460	0.053	79	85.0	68.7
Jinju-si	Namcheon	750	0.042	87	76.1	76.3
Changwon-si	Yongji	420	0.050	83	95.0	69.7
Tongyoung-si	Jungryang	340	0.048	86	90.0	64.3
Geochang-gun	Wuicheon	330	0.059	87	75.0	56.6
Gosung-gun	Daebok	670	0.041	87	70.0	none

Table 3. Hydrological characteristics of each public buildings (Continue)

Name	Stream name	Distance to neighbor stream (m)	Runoff according to Rational formula (m ³ /m ² /hr)	CN (AMC-III)	Target precipitation of disaster prevention (2018 yr, 1 hr)	Probability precipitation (10 yr 1 hr)
Namhae-gun	Bongcheon	370	0.058	86	86.3	74.1
Sancheong-gun	Namcheon	170	0.049	89	80.7	64.5
Uiryeong-gun	Namsan	640	0.056	88	85.0	63.9
Changnyeong-gun	Changnyeong	350	0.053	90	80.0	59.7
Hadong-gun	Seomjin	1,100	0.052	90	81.5	63.5
Hamahn-gun	Gwangjeong	680	0.065	90	95.0	65.5
Hamyang-gun	Wuicheon	290	0.055	86	80.0	68.8
Hapcheon-gun	Hwanggang	630	0.062	92	80.0	62.5
Uichang-gu	Hanam	30	0.064	92	95.0	69.7
Seongsan-gu	Namsan	40	0.057	80	95.0	69.7
Masanhappo-gu	Janggun	50	0.059	82	95.0	69.7
Masanhoewon-gu	Samho	400	0.044	80	95.0	69.7
Jinhae-gu	Jangcheon	370	0.041	82	95.0	69.7

Table 4. Social factor of each public buildings

Name	Total budget (million won)	Density of population	Public building area (m ²)	Amount of government officials		GSI installation or plan Y/N	Construction life
				Amount (person)	Rate		
Gyeongnam-do (Main)	9,580,239	319	44,119	5,039	11.42%	None	>10yr
Gyeongnam-do (Western)	-	-	10,386	592	5.70%	None	<10yr
Geoje-si	998,202	616	16,491	1,171	7.10%	None	<10yr
Gimhae-si	2,078,084	1,170	6,617	1,742	26.33%	Yes	<10yr
Miryang-si	1,090,702	132	6,156	976	15.85%	Yes	<10yr
Sacheon-si	915,991	281	17,714	912	5.15%	None	>10yr
Yangsan-si	1,404,304	722	4,784	1,225	25.61%	Yes	>10yr
Jinju-si	2,062,427	487	13,220	1,527	11.55%	Yes	<10yr
Changwon-si	4,164,113	1,397	12,900	4,766	36.95%	None	<10yr
Tongyeong-si	891,484	548	7,118	973	13.67%	None	<10yr
Geochang-gun	860,088	77	15,307	726	4.74%	None	>10yr
Gosung-gun	734,198	101	7,512	693	9.23%	None	>10yr
Namhae-gun	663,051	122	18,886	626	3.31%	None	<10yr
Sancheong-gun	610,248	45	8,309	608	7.32%	None	<10yr
Uiryeong-gun	624,319	56	20,839	611	2.93%	None	>10yr
Changnyeong-gun	679,739	117	12,959	739	5.70%	Yes	<10yr
Hadong-gun	675,573	69	7,581	701	9.25%	Yes	<10yr
Hamahn-gun	596,546	158	6,028	694	11.51%	None	>10yr
Hamyang-gun	621,825	55	6,784	640	9.43%	None	>10yr
Hapcheon-gun	773,313	46	8,369	46	0.55%	Yes	<10yr
Uichang-gu (Existing)	-	1,053	1,604	1,053	65.65%	None	>10yr
Seongsan-gu	-	2,788	3,740	2,788	74.55%	None	<10yr
Masanhappo-gu	-	744	1,222	744	60.88%	None	<10yr
Masanhoewon-gu	-	2,034	3,921	2,034	51.87%	None	<10yr
Jinhae-gu	-	1,577	17,689	1,577	8.92%	Yes	<10yr

체의 우선순위를 후 순위로 선정하였다. 따라서 물순환 선도도 시로 지정된 김해시, 농업 비점 집중관리사업에 선정된 창녕군, 합천군, 그 외 GSI 조성 사업이 진행 중인 밀양시청, 진해구청 등을 후 순위로 설정하였다. 경제적 측면에서는 연도별 예산 현황을 조사하였으며, 이 경우 지자체의 예산 현황이 적을수록 GSI 조성 사업에 활용될 수 있는 예산이 적을 것으로 판단하여, 함안군청, 산청군청, 함양군청 등의 순으로 높은 점수를 부여하였다. 특히 본 연구에서는 사회적 요인으로 청사별 공무원 수를 평가하였는데, 이는 청사 내 조성된 GSI 시설을 직접적으로 경험할 수 있는 시민의 한 사람으로서, 교육·홍보 측면에서 중요한 사회적 요인이 될 수 있다. 뿐만 아니라 청사 면적에 비해 상주하고 있는 공무원 수가 많을수록 업무환경 개선을 통한 기분전환 및 스트레스 해소 등의 효과가 있을 것으로 판단하여 평가항목으로 설정하였다. 각 지자체별 시설물 건설수명의 경우 10년 이상, 10년 미만으로 구분하여 최근 청사 내 시설물 유지보수가 시행되었는지에 대해 조사하였다. 증축/리모델링 계획으로는 창원 의창구청의 경우 최근 신청사 개청으로 이전 후 구청사를 개선하여 다른 목적으로 사용될 계획이다. 함안군청의 경우 인근 고분군의 급경사면에서 발생·유입되는 우수저류, 하류 침수위험지구로의 우수유입량 저감 등 불투수면 개선이 필요하여 본 연구를 통한 결과를 바탕으로 GSI 조성 사업 신청 의사가 있는 것으로 조사되어 평가에 반영하였다.

5. 우선순위 선정 및 대상 후보지 평가

5.1 AHP 적용 및 설계

우선순위 결정에는 「예비타당성조사운용지침」에 의거, 사업 타당성 평가에 많이 사용되고 있는 계층화분석기법인 AHP (Analytic Hierarchy Process)를 활용하였다. 1972년 Satty에 의해 개발된 AHP 기법은 다기준의사결정(Multi-Criteria Decision Making, MCDM)기법 중 하나로 다수의 속성을 분류하여 각 속성별 중요도를 파악하여 최적의 대안을 선택하는 기법을 말한다.

이를통해 의사 결정에 영향을 미치는 여러 요소들의 상대적 중요도를 기반으로 최적 대안을 선정할 수 있을 것이다.

AHP 기법은 문제 정의 및 목표설정, 계층구조 만들기, 비교행렬 작성하기, 상대적 중요도 산출, 일관성 검증, 우선 순위 도출과정으로 수행하였다. 앞서 입지 평가 범주별 현황 분석을 통해 조사된 토지이용 특성, 토양특성, 수문학적 특성, 사회적 요인에 대한 각 항목별 주요 인자를 Fig. 2와 같이 세분화하여 설정하였다. 각 세분화된 항목들은 선호도 상대평가를 위해 세부항목별 9점척도의 쌍대비교판단을 수행하였다. 이러한 평가항목들은 복합적으로 상호작용하는 요소로 AHP의 계층구조에 의한 문제 분석, 평가항목에 대한 최적의 정량적 평가 적용, 다양한 이해관계자의 의견을 일관성 있게 검증하여 모형의 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

AHP에서는 의사결정자의 경험과 주관적 요인도 평가에 고려되기 때문에, 이러한 판단 불안정성의 해결을 위해 일관성 지수(Consistency Index, CI) 평가를 실시하여야 한다.

일관성 지수 평가를 위해 다음 Eqs. (1) and (2)를 활용하였다.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{1}$$

여기서, λ_{max} = 최대고유값, $\lambda_{max} = (Y_1/W_1 + Y_2/W_2 + \dots + Y_n/W_n)/n$ $Y = [A] \times [W]$ 이며, $[A]$ 는 각 항목별 쌍대비교결과행렬, $[W]$ 는 가중치 행렬, n 은 $n \times n$ 행렬의 차수를 말한다.

Table 5. Result of consistency evaluation

Classification		Weight calculation	
		Reflection (CR≤0.2)	Exclusion (CR>0.2)
Evaluation criteria	Land use	76.7%	23.3%
	Soil type	86.7%	13.3%
	Hydrological characteristics	60.0%	40.0%
	Social factor	66.7%	33.3%

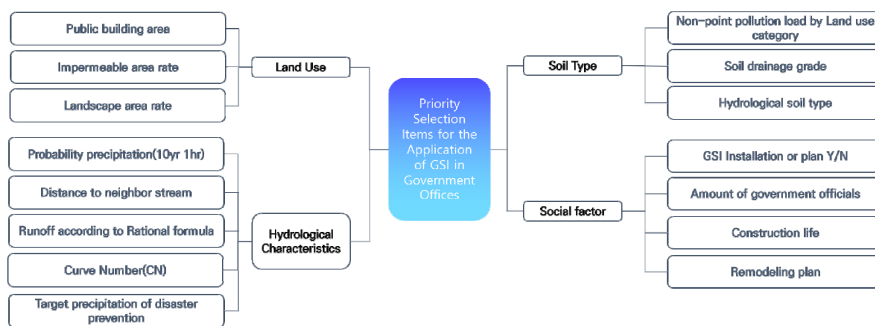


Fig. 2. Priority selection for the application of GSI in Government offices

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

여기서, CR은 일관성 비율, RI는 무작위 일관성 지수를 나타낸다.

Eq. (2)의 CR 지수가 0.1 미만일 경우 일관성 있음(Reasonable), 0.1 이상 0.2 미만인 경우 용납할 수 있음(Tolerable)으로 구분하였으며, CR 지수가 0.2를 초과하는 경우는 제외하였다.

다음 Table 5는 일관성 평가 결과이다.

5.3 우선순위 선정 가중치 산정 및 대상 후보지 평가

대상 후보 청사 총 25개소의 일관성 지수 평가를 통한 가중치 산정 결과는 Table 6과 같다. 대항목별 우선순위는 사회·경제적 요인이 28%로 가장 높게 나타났으며, 뒤이어 토양특성(27%), 수문학적 특성(24%), 토지이용별 특성(21%) 순으로 산정되었다.

세부 항목별로는 부지 내 녹지면적에 대한 가중치가 가장 높게 나타났으며, 이는 GSI 시설 적용이 용이한 부지 확보를 위해 가장 중요한 요소로 선정된 것으로 판단된다. 반면 중요도가 가장 낮은 10년빈도 1시간 확률강우량의 경우, 국가수자원관리종합정보시스템(www.k-idf.re.kr)에서 고시되고 있는 자료로 최근 강우 사상이 반영되지 않은 것이 원인으로 판단된다. 최종 산정된 가중치는 총 100점 만점으로 표준화하였으며, 각 세부 항목별 가중치를 표준점수에 맞게 배분하고, 적용 범위를 설정하여 정량화하였다. 이를 통해 대상 후보지를 평가한 결과,

농촌복합형 시범 청사는 함안군청, 도시형 시범 청사에는 창원시 의창구청이 각각 84점, 86점으로 최종 선정되었다. 두 시범 구역의 GSI 적용 효과 검증을 위해 본 연구에서는 국내 활용되고 있는 K-LIDM 모형을 활용하여 GSI 적용 규모별 효과를 분석·비교하였다. K-LIDM은 WWHM (Western Washington Hydrologic Model)을 한국 실정에 맞게 개발한 모형으로 HSPF (Hydrological Simulation Program - FORTRAN)을 기반으로 하고 있다. K-LIDM은 도시유출 및 물순환 해석 모델 중 LID 상세 메커니즘을 쉽게 해석할 수 있으며, SWMM-LID의 단점을 보완한 LID 시설의 기하학적 구조와 다층구조의 토양특성을 반영할 수 있는 장점이 있다.

6. 시범 구역 GSI 적용 효과

시범 구역의 GSI 적용 효과 분석을 통해 경남지역 공공청사의 시설 개선을 통한 GSI 적용 방향을 제시하고자 하였다.

본 연구에서는 도시형, 농촌복합형 청사 각 1개소씩을 선정하여 주요 적용 기술 요소 및 적정 위치 선정, 적용 효과 분석을 수행하였다. 이는 시범 구역으로 선정된 지자체의 ‘GSI 조성 사업’ 신청을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라, 타 지자체의 동일 사업 신청 시, 참고자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

시범 구역의 GSI 적용 규모별 효과 분석을 위해 활용된 강우

Table 6. Results of weight calculation for priority selection of GSI

Factor	Land use					
		Office Area	Impermeable area	Landscape area		
Estimate	0.216	0.215	0.246	0.539		
Standard	21	4	5	12		
Factor	Soil type	Non-point sources		Soil drainage grade	Hydrological soil type	
		0.281		0.354	0.365	
Estimate	0.27	0.281		0.354	0.365	
Standard	27	7		10	10	
Factor	Hydrological characteristics	10yr 1hr rainfall	Neighboring stream distance	Rational formula	Curbe Number	Performance objective rainfall for disaster
		0.122	0.136	0.186	0.225	0.331
Estimate	0.239	0.122	0.136	0.186	0.225	0.331
Standard	24	3	3	4	6	8
Factor	Social factor	Non-point pollution reduction facility Y/N	GSI installation Y/N	Public officers, Density of Population etc.	Construction life	Re-modelling plan (new/extension)
		0.186	0.187	0.173	0.188	0.266
Estimate	0.275	0.186	0.187	0.173	0.188	0.266
Standard	28	5	5	5	6	7

자료는 「확률강우량도 개선 및 보완 연구(MOLIT, 2011)」의 창원 관측소 확률강우량 및 Huff 분포를 활용하였다. 이는 적용면적에 따른 우수유출 저감 효율 검토가 주된 목적이므로 적용 강우분포의 객관화를 위해 공식적으로 고시된 자료를 활용하였다. 또한 GSI 적용 효과 분석을 통해 시범 구역으로 지정된 지자체의 경제적 여건에 따라 적용 규모를 선택할 수 있도록 100%, 70%, 10%로 나누어 물순환 효과를 검토하였다.

6.1 시범 구역 I (농촌복합형)

시범 구역 I 은 부지 면적 약 10,811 m², 부지 내 불투수율 99.0%로 물순환 개선이 필요한 농촌복합형 지역이다.

지형적으로 시범 구역 I 은 주변 지역에 비해 지대가 높고, 고분군, 공원 바로 아래 위치하여 고분군이 위치한 남서측에서 북동측으로 경사진 지형이다. 특히 상류에 위치한 고분군에서 발생하는 우수는 지표유출을 통해 시범 구역 I 로 유입되고 있으며, 일부는 측구를 따라 우수관로로 배출되고 있는



Fig. 3. Location of GSI facility

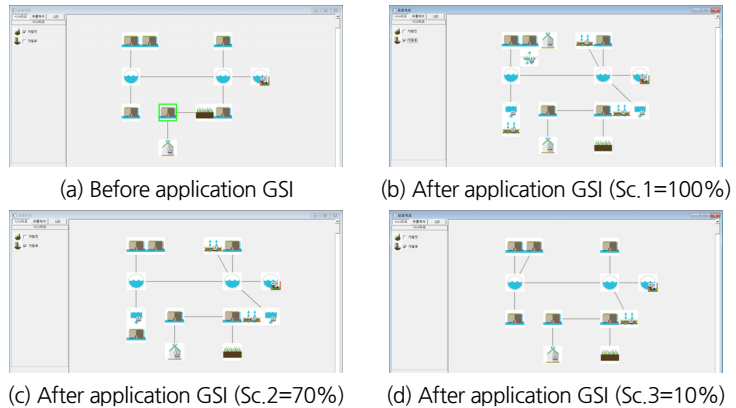


Fig. 4. Input data of GSI facility in K-LIDM

Table 7. Scenarios for application by scale of GSI facilities

Classification	Design of facilities
Scenario 1 (100%)	Porous pavement, Bio-trench, Bio-swale, Green roof
Scenario 2 (70%)	Porous pavement, Bio-trench, Green roof
Scenario 3 (10%)	Porous pavement, Green roof

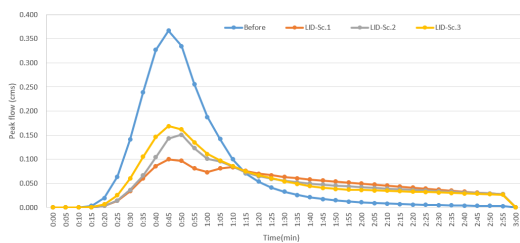


Fig. 5. Changes in peak flow for each scenario

것으로 조사되었다. 현장 조사를 통하여 청사 내에는 Figs. 3 and 4, Table 7과 같이 GSI 시설을 계획하였다. 각 시나리오별 홍수 유출량 변화 그래프는 Fig. 5와 같으며, 첨두홍수량 변화는 Table 8과 같이 GSI 적용 전에 비해 Sc.1은72.8%, Sc.2는58.9%, Sc.3은54.0% 저감되는 것으로 분석되었다.

6.2 시범 구역 II (도시형)

시범 구역 II 는 부지 내에는 구청, 행정복지센터, 은행, 어린이집, 도서관, 주차장이 위치하고 있다. 인근지역 대부분이 주거 및 상업지역으로 전형적인 도시형 소규모 공공청사로 부지 면적 약 6,957 m², 부지 내 불투수율 92.3%로 물순환 개선이 필요하다. 현장답사 결과 지형적으로는 경사가 거의 없는 평탄 지형이나, 남서측에 위치한 하천 일부를 복개하여 상부를 주차장으로 활용하고 있는 특징이 있었다. 현장 조사 결과 부지 내 발생하는 우수는 암거를 통해 하천으로 최종 배출 되는 것으로 조사되었으며, 해당 청사 내에는 Figs. 6 and 7, Table

Table 8. Changes in peak flows by GSI scenario

Classification	Before GSI	Sc.1	Sc.2	Sc.3
Peak flow (m ³ /s)	0.367	0.100	0.151	0.169
Amount of increase and decrease (m ³ /s)	-	▽0.267	▽0.004	▽0.018
Rate of increase and decrease (%)	-	▽72.8%	▽58.9%	▽54.0%



Fig. 6. Location of GSI facility

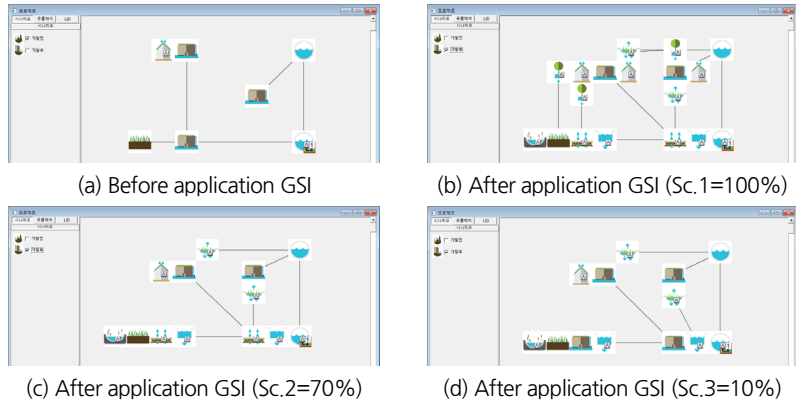


Fig. 7. Input data of GSI facility in K-LIDM

Table 9. Scenarios for application by scale of GSI facilities

Classification	Design of facilities
Scenario 1 (100%)	Porous pavement, Bio-trench, Rain garden, Bio-swale, Green roof, Tree trench
Scenario 2 (70%)	Porous pavement, Bio-trench, Rain garden, Bio-swale, Green roof
Scenario 3 (10%)	Bio-trench, Rain garden, Bio-swale, Green roof

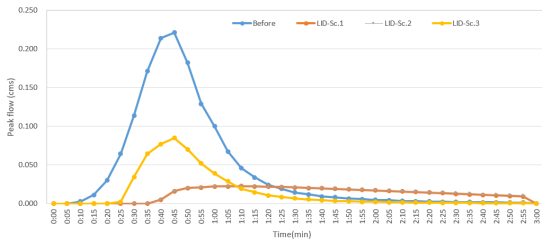


Fig. 8. Changes in peak flow for each scenario

Table 10. Changes in peak flows by GSI scenario

Classification	Before GSI	Sc.1	Sc.2	Sc.3
Peak flow (m ³ /s)	0.221	0.022	0.023	0.085
Amount of increase and decrease (m ³ /s)	-	▽0.199	▽0.199	▽0.136
Rate of increase and decrease (%)	-	▽90.0%	▽89.9%	▽61.7%

9와 같이 GSI 시설을 계획하였다. 각 시나리오별 홍수 유출량 변화 그래프는 Fig. 8과 같으며, 침투 홍수량 변화는 Table 10과 같이 적용 전에 비해 Sc.1은 90.0%, Sc.2는 89.9%, Sc.3은 61.7% 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

7. 결론

본 연구는 경상남도 공공청사형 GSI 조성 추진체계 구축을 위해 공공청사의 범위 설정, 기초현황 조사, 대상 후보지에 대한 우선순위 선정, 공무원 인식조사 등 종합적인 현황을 파악하고 이를 토대로 경상남도의 지형 및 기후 특성 등을 고려한 맞춤형 물순환·물 환경 통합관리를 위한 최적의 GSI 적용을 위해 연구의 수행내용을 통합하여 Fig. 9와 같은 추진체계를 제안하였다. 그 결과 공공청사의 범위 설정 및 우선순위 제시, 각 지자체별 우선순위 선정, 표준점수가 가장 높게 나온 2개 청사를

시범 구역으로 선정하였다. 선정된 시범 구역(도시형, 농촌복합형)의 GSI 적용 효과 검증을 위해 K-LIDM 모형을 활용하여 우수유출저감 효과 분석을 실시하였다. 시범 구역 두 곳 모두 GSI 적용 규모가 클수록 저감 효율이 높은 것으로 분석되었으며, 적용규모가 넓을수록 우수유출저감 효과가 커지는 것은 곧 각 지자체의 GSI 시설 도입 필요성 인식, 예산투입으로 공공부문의 적극적인 노력이 필요함을 시사하고 있다. 또한 GSI 시설의 특성상 유입되는 우수의 일부를 저류·침투시킴에 따라 유출되는 우수의 침투유출량이 감소되고, 잔류수의 배출 시간이 늘어나는 양상을 보이므로 적용 대상지 내 물순환 효과가 클 것으로 기대된다. 따라서 본 연구를 통해 작성된 현장 조사, 문헌조사, 모형적용·분석과 같은 일련의 과정들을 통합하여 제안된 GSI 적용을 위한 추진체계를 기반으로 각 지역별 특성에 맞는 설계가 이루어져야 한다. 이를 위해 각 지자체별 기후, 지형 특성에 최적화된 GSI 시설의 적용 가이드라인 작성, 추진체계 마련이 우선되어야 할 것이다. 본 연구는 향후 타 지역의



Fig. 9. Method of an implementation system for GSI construction

추진체계 작성시 앞서 제안된 방법이 모범사례가 될 수 있을 것으로 판단되며, GSI 도입을 위한 주체자의 의사결정 과정에 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 경남녹색환경지원센터 연구용역사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Architecture & Urban Research Institute (AURI) (2015). *Establishment of criteria for rational planning of public buildings and system improvement plan*. Architecture & Urban Research Institute Brief, pp. 2-6.
- Byeon, S.J., Jung, J.K., Choi, G.W., and Jang, W. (2013). "A study on the improvements of smart water grid on water policy direction for local government." *Journal of Crisisonomy*. Vol. 9, No. 3, pp. 27-42.
- Choi, J.H. (2014). "The characteristics and the meaning of the entire revision of 「Seoul Metropolitan ordinance on rainwater management」." *Journal of the Urban Design Institute of Korea*, Vol. 15, No. 4, pp. 21-32.
- City of Dublin (DC) (2019). *City of Dublin green stormwater infrastructure plan*. Dublin, CA, U.S., pp. 15-23.
- City of Palo Alto (PAC) (2015). *City of Palo Alto green stormwater infrastructure plan*. Palo Alto, CA, U.S., pp. 47-49, 71-77.
- City of San Jose (SJC) (2019). *City of San Jose green stormwater infrastructure plan*. San Jose, CA, U.S., pp. 13-52.
- City of San Mateo (SMC) (2020). *City of San Mateo countywide water pollution prevention program 2020 C.3 regulated projects guide*. San Mateo, CA, U.S., pp. 5-1-6-78.
- Han, M.U., Moon, J.S., and Kim, C.I. (2009). "Climate change adaptation strategy by multipurpose, proactive rainwater management and case studies in Korea." *Journal of Korea Society of Water and Wastewater*, Vol. 23, No. 2, pp. 223-230.
- Han, Y.H., and Lee, T.G. (2006). "Comparative study of the system for decentralized rainwater management in Korea and Germany." *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture*, Vol. 34, No. 4, pp. 84-95.
- Hyun, K.H., Jang, S.Y., and Ahn, S.S. (2006). "Nature-adapted rainwater management facility cases in Korean apartment complexes." *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 15, No. 2, pp. 111-119.
- Kim, K.M., and Lee, S.B. (2005). "A Study on the efficient management of rainwater." *Journal of Korea Research Institute for Human Settlements*, Vol. 45, pp. 23-40.
- Kim, Y.R., and Sim, J.Y. (2013). "A feasibility analysis of stormwater management for the housing redevelopment and reconstruction." *Journal of Seoul Institute*, Vol. 14, No. 2, pp. 615-626.
- Lee, J.M., and Jung, Y.G. (2017). "A study on the rational scale estimation of rainwater harvesting facilities on condominium complex." *Journal of Korea Society of Hazard mitigation*, Vol. 17, No. 5, pp. 297-303.
- Lee, M.H., Han, Y.H., Hyun, K.H., and Im, S.H. (2016). "A basic study on the features of LID-related ordinance enactment conducted by Local Government - mainly on Seoul City, Suwon City and Namangju City -". *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol. 25, No. 1, pp. 25-40.
- Lee, T.S., Song, B.J., Han, C.B., and Park, K.H. (2011). "Analysis of the GIS-Based water cycle system for effective rainwater management of Gyeongsangnam-do." *Journal of The Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 14, No. 2, pp. 82-95.
- Lee, Y.G. (2021). *Green infrastructure for domestic public land and Low-impact development technology application methodology and applicability evaluation study*. Ph. D. Dissertation, University of Pusan National, pp. 10-92.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2011). *Stochastic rainfall improvement and supplementary research*. pp. 10-92.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS) (2021). *Full text of revision of standards for type, structure, installation and maintenance of stormwater runoff reduction facilities*. pp. 1-177.
- NYC Department of Environmental Protection (DEP) (2010). *Nyc green infrastructure plan*. New York, NY, U.S., pp. 1-4.
- NYC Department of Environmental Protection (DEP) (2011). *NYC green infrastructure plan (2011 Update)*. New York, NY, U.S., pp. 1-4.
- Philadelphia Water Department (PWD) (2022). *Green stormwater infrastructure strategic framework*. Philadelphia, PA, U.S., pp. 63-72.
- Santa Clara County (SCC) (2016). *Santa clara valley urban runoff pollution prevention program C.3 stormwater handbook*. EOA Inc., Santa Clara Valley, CA, U.S., pp. 5-1-7-13.
- Song, B.G., Lee, T.S., and Park, K.H. (2014). "Assessment of flooding vulnerability based on GIS in urban area - Focused on Changwon city -". *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 17, No. 4, pp. 129-143.