LID 홍수조절능력 및 유출계수 상관관계 연구

Correlation between LID Flood Control Capability and Runoff Coefficient

정용길* · 박종표** · 신현석***

Jeong, Yonggil*, Park, Jongpyo**, and Sin, Hyunsuk***

Abstract

Short-term heavy rains caused by global warming could lead to urban flooding as well as damage to both people and property. Although Korea is taking active measures to reduce the impact of flood-related disasters through disaster impact assessments, these assessments mainly consist of qualitative evaluation procedures for urban inundation when designating districts for development projects. The recently developed “inundation determination and detention site size calculation program” has made it possible to review urban inundation hydraulic calculations, even when designating districts for development projects. However, there is still a limit to the hydraulic review and the utilization of Low Impact Development (LID) facilities due to the lack of linkage between the use of such facilities and the inundation determination program. Accordingly, it is necessary to develop a technique to utilize runoff coefficients in applying the LID in the flood determination program. Therefore, in this study, the flood control capacity of stormwater runoff reduction facilities at each LID facility was reviewed and the relationship with runoff coefficient was analyzed.

Key words : District Designation, Urban Planning, Lid, Flood Control Capability, Runoff Coefficient

요 지

근래 지구온난화로 유발된 지역별 단기집중 호우가 도시홍수를 발생시켜 인명, 재산 등 피해를 키우고 있다. 우리나라는 재해영향평가를 통해 홍수재해 저감을 유도하고 있으나, 현 영향평가에서는 개발사업 지구지정시 도시침수에 대해서는 주로 정성적 평가 절차를 채택하고 있어 수리계산 검토 등 정량적 검토 한계발생으로 인해 도시침수가 늘어나고 있다. 한편, 최근에 “침수판정 및 저류지 규모산정 프로그램”이 개발되어 개발사업 지구지정시에도 도시침수 수리계산 검토가 가능해졌다. 그러나 저영향개발(Low Impact Development) 시설 활용과 침수판정 프로그램과의 연계성 부족으로 LID 시설의 수리적 검토 및 활용에는 여전히 한계가 있는 실정이다. 이에 침수판정 프로그램에서 LID 기법 적용을 위한 유출계수 활용기법 개발의 필요성 대두되었다. 따라서 본 연구에서는 LID 시설별 우수유출 저감시설의 홍수조절능력을 검토하고 유출계수와와의 관계를 분석하였다.

핵심용어 : 개발사업 지구지정, 도시계획, LID, 홍수조절능력, 유출계수

1. 서 론

자연유역이 개발되어 도시화가 되면 불투수 면적이 증가, 우수 관거의 설치 및 배수로의 정비로 인해, 침투유량이 증가하고, 도달시간은 단축되어 재해의 유발 가능성이 커진

다(Korea National Housing Corporation, 1997). 따라서 유역 개발에 따라 증가된 유출을 저감시키기 위해 우수유출 저감 시설이 계획된다(MPSS, 2016).

개발사업시행자들은 사전재해영향성 검토 시 개발 사업으로 인한 홍수재해 저감을 위한 주요 시설물로 영구저류지

*정회원, 한국토지주택공사 인사처 차장(E-mail: channels@lh.or.kr)

Member, Senior Manager, Personnel Department of Land & Housing Company

**교신저자, 정회원, 주식회사 헥코리아 이사(Tel: +82-2-572-4320, Fax: +82-70-4325-6097, E-mail: jppark@hecorea.co.kr)

Corresponding Author, Member, Director, HECOREA

***정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학과 교수(E-mail: hsshin@pusan.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University

및 침투 저류시설을 계획하고 있다(LH, 2010).

한편, 한국토지주택공사는 2016년 발생한 태풍 차바 영향에 대한 사업지구 인근 대규모 홍수피해에 대한 원인을 분석하고 관련 업무에 능동적으로 대처하고자 지구지정시기 침수피해 범위와 적정 저류지 규모산정을 쉽게 분석할 수 있는 엑셀 기반의 침수판정 및 저류지 규모 산정 프로그램을 개발한 바 있다(Jeong and Kang, 2020). 동 프로그램은 수자원 전문가가 아닌 실무자 수준에서 간이하게 저류지 규모를 모이하고 절점 수두별 침수판정이 가능하다. 구동 기초 프로그램은 SWMM이나, Visual Basic for Application로 코딩하여 엑셀에서 구동할 수 있도록 하였다.

또한, 최근에서는 물 문제에 효율적으로 대응하기 위한 도시 물관리의 새로운 패러다임으로 저영향개발(Low Impact Development, LID)의 개념이 해외로부터 도입되어 국내에서도 활발히 활용하고 있다. 하지만 LID 기법은 도시계획 단계에서부터 효과와 위치를 고려하여 계획이 되어야하나, 토목설계의 가장 마지막 단계에서 적용되어 설계가 이루어지고 있는 실정이다.

아울러, 침수판정 프로그램에서 홍수량 산정시 유출계수를 이용하나 LID 시설의 홍수조절 능력과 유출계수간 산술적 상관관계 연구, 토지이용계획 및 목표 유출계수 설정 값에 따른 유출계수 보정에 대한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 첫째, 개발된 프로그램과 도시 내 LID 시설의 배치 및 물순환 관리 능력에 대한 효과 분석을 위해 LID 시설별 홍수조절 능력을 분석하였다. 둘째, 우수유출저감 능력과 유출계수와의 상관관계를 분석하여 우수유출저감 능력에 맞추어 유출계수를 연계할 수 있는 유출계수 적용 기법을 개발하였다.

2. LID 홍수조절 능력 분석

2.1 기본개념 및 분석방법

본 연구에서 적용한 우수유출저감시설은 식생체류지, 투수성포장, 침투트렌치, 빗물정원, 식생수로의 5가지 종류이며(Table 1), 대표 설계단면(Fig. 1)을 이용하여 시설물 규모에 따른 홍수저감효과를 분석하였다.

개별 우수유출저감시설의 효과분석은 유역면적-시설 규모 변화에 따른 홍수유출저감 정도를 정량적으로 평가하였다.

집수유역의 면적을 0.3, 0.5, 0.7, 1, 10, 30 ha로 설정하고 우수유출저감시설의 규모를 증가시키면서 시설물의 시설처리비(저류침투용량/유입총체적)에 대한 총 유출량 저감율의 민감도를 분석하였다. 이 경우 강우량은 시설물 모의지역인 대전기상 관측소 10년 빈도 확률강우량 63.7 mm에 상응하는 60 mm를 적용하였다.

홍수유출저감량의 정량적 평가를 위한 우수유출저감시설의 설치 면적은 유역면적 대비 1% 단위로 증가시켜 분석을 수행하였으며 강우 총 유출량에 대한 저류침투용량(표면저류 용량+시설저류 용량+원지반 침투 용량)의 비인 시설처리비와 총 유출량 저감율의 관계를 제시하였다.

여기서, 시설물의 저류량은 표면저류량과 시설 내부 저류량으로 구분되며 표면저류량은 공극이 없는 표면층에 저류되는 우수의 용량을 의미하며 시설 내부저류는 토양층으로 침투되는 용량을 의미한다. 시설물의 침투량은 저류층 하부에서 원지반으로 발생하는 침투량으로 수리전도도와 연관되는 인자이다.

Table 1. Current Status of Flood Control Capability Sensitivity Analysis by Excellent Spill-Reduction Facilities

Basin Section	Applied Rainfall (mm)	Area Range (ha)	Applied Lid Facilities				
			Vegetation	Permeable Packaging	Infiltration Trench	Rainwater Garden	Vegetation Reactor
Basic Modeling Basin	60	0.3, 0.5, 0.7, 1, 10, 30	O	O	O	O	O

Fig. 1. Conceptual Diagram of Storage Penetration Capacity (Surface storage, facility storage, ground penetration)

2.2 홍수조절 능력 분석을 위한 유역 및 분석 대상 강우 선정

본 연구에서는 홍수조절능력 분석을 위한 유역조건으로 0.3 ha부터 30 ha까지 중소규모의 정방형 유역으로 가정하였으며 그 외 분석시 유역조건은 Table 2와 같으며 모의에 적용한 강우량은 확률강우량도 개선 및 보완연구(MLTM, 2011)에 제시된 기상청 대전관측소 지점의 강우를 대상으로 하였으며, 강우의 시간분포는 Huff 3분위를 사용하였다.

2.3 LID 시설별 홍수조절능력 분석

개별 LID 시설에 대해 유역면적-시설규모 변화 및 유입강우-시설규모 변화에 대한 홍수유출저감 민감도를 SWMM-LID 모형을 통해 분석을 수행하였다.

2.3.1 식생체류지의 홍수조절능력 분석

유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감 효과 분석 결과, 식생체류지의 시설처리비가 1.0인 경우 총 유출량 저감율은 유역면적 0.3, 0.5, 0.7, 1, 10, 30 ha에 대해 각각 26.86, 28.79, 29.58, 29.77, 34.33, 37.67%로 집수유역의 크기가 커질수록 시설물의 시설처리비 대비 유출 저감율은 선형적으로 증가한다(Table 3).

식생체류지의 유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감을 산정결과 그래프를 Fig. 2에 도시하였다.

2.3.2 투수성포장의 홍수조절능력 분석

유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감 효과 분석 결과, 투수성포장의 시설처리비가 1.0인 경우 총 유출량

저감율은 유역면적 0.3, 0.5, 0.7, 1, 10, 30 ha에 대해 각각 20.21, 22.44, 23.94, 25.04, 25.14, 27.18%로 집수유역의 크기가 커질수록 시설물의 시설처리비 대비 유출량 저감율은 증가한다(Table 4).

식생체류지의 유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감을 산정결과 그래프를 Fig. 3에 도시하였다.

2.3.3 침투트렌치의 홍수조절능력 분석

유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감 효과 분석 결과, 침투트렌치의 시설처리비가 1.0인 경우 총 유출량 저감율은 유역면적 0.3, 0.5, 0.7, 1, 10, 30 ha에 대해 각각 78.07, 79.18, 80.41, 77.97, 81.65, 84.04%인 것으로 분석되었다. 즉, 집수유역의 면적이 커짐에 따라 시설처리비 대비 유출량 저감율도 동시에 증가한다(Table 5).

식생체류지는 시설처리비 대비 총 유출량 저감율의 기울기가 급하여 타 시설과 비교하여 홍수조절 효과가 가장 우수한 것으로 판단되며 시설처리비가 약 1.3이 되면 총 유출량 저감율이 거의 100%인 것으로 검토되었다.

식생체류지의 유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감을 산정결과 그래프를 Fig. 4에 도시하였다.

2.3.4 빗물정원의 홍수조절능력 분석

유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감 효과 분석 결과, 빗물정원의 시설처리비가 1.0인 경우 유출량 저감율은 유역면적 0.3, 0.5, 0.7, 1, 10, 30 ha에 대해 각각 25.5, 28.83, 30.79, 31.15, 37.7, 42.45%로 집수유역의 면적이 커질수록 시설물의 시설처리비 대비 유출량 저감율은 증가한다(Table 6).

Table 2. Simulated Watershed Characteristics for Sensitivity Analysis of Flood Reduction Capability

Basin Area (ha)	Basin Width (m)	Surface Slope (%)	Impermeable Area Ratio (%)	Surface Roughness		Berm Height (mm)	
				Impermeable Area	Permeable Area	Impermeable Area	Permeable Area
0.3	35.77	0.5	100	0.014	-	0.4	-
0.5	70.71	0.5	100	0.014	-	0.4	-
0.7	83.67	0.5	100	0.014	-	0.4	-
1	100	0.5	100	0.014	-	0.4	-
10	316.23	0.5	100	0.014	-	0.4	-
30	547.72	0.5	100	0.014	-	0.4	-

Table 3. Vegetation Facility Parameters

Category		Factor	Unit
Surface Layer	Berm height	150	mm
	Thickness	500	mm
Soil Layer	Porosity	0.35	Void/Solid
	Conductivity	13	mm/hr
Storage Layer	Thickness	200	mm
	Porosity	0.5	Void/Solid
	Seepage rate	13	mm/hr

Table 4. Permeable Packaging Facility Condition Parameters

Category		Factor	Unit
Surface Layer	Berm height	100	mm
Soil Layer	Thickness	700	mm
	Porosity	0.35	Void/Solid
	Conductivity	13	mm/hr
Storage Layer	Thickness	200	mm
	Porosity	0.5	Void/Solid
	Seepage rate	13	mm/hr
Pavement Layer	Thickness	150	mm
	Porosity	0.2	Void/Solid
	Permeability	13	mm/hr

Table 5. Infiltration Trench Facility Condition Parameters

Category		Factor	Unit
Surface Layer	Berm height	100	mm
Storage Layer	Thickness	500	mm
	Porosity	0.5	Void/Solid
	Seepage Rate	13	mm/hr

Table 6. Rainwater Garden Facility Condition Parameters

Category		Factor	Unit
Surface layer	Berm height	150	mm
Soil layer	Thickness	1,000	mm
	Porosity	0.35	Void/Solid
	Conductivity	13	mm/hr
Storage layer	Thickness	0	mm
	Porosity	0.5	Void/Solid
	Seepage rate	13	mm/hr

Table 7. Vegetation Channel Facility Condition Parameters

Category		Factor	Unit
Surface layer	Berm height	150	mm

Fig. 2. Flood Runoff Reduction Rate by Watershed Area of Vegetation **Fig. 3.** Flood Runoff Reduction Rate by Watershed Area of Permeable Packaging

Fig. 4. Flood Runoff Reduction Rate by Watershed Area of Infiltration Trench

Fig. 5. Flood Runoff Reduction Rate by Watershed Area of Rainwater Garden

Fig. 6. Flood Runoff Reduction Rate by Watershed Area in Vegetation Channel

식생체류지의 유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감을 산정결과 그래프를 Fig. 5에 도시하였다.

2.3.5 식생수로의 홍수조절능력 분석

유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감 효과 분석 결과, 시설물(Table 7)의 시설처리비가 1.0인 경우 총 유출량 저감율은 유역면적 0.3, 0.5, 0.7, 1, 10, 30 ha에 대해 각각 18.33, 20.58, 21.47, 21.4, 24.5, 26.99%로, 대상 집수유역의 면적이 커질수록 시설처리비 대비 유출량 저감율은 증가하는 것으로 분석되었다. 총 유출량 저감율의 증가율은 유역면적이 0.3 ha에서 30 ha로 증가하면 약 8% 이상 효율성이 더 좋아질 것으로 판단된다.

식생체류지의 유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감을 산정결과 그래프를 Fig. 6에 도시하였다.

2.4 LID 시설별 홍수조절능력 분석에 대한 결과

유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감 민감도와 유입강우-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감 민감도 분석을 수행한 결과, 두 가지 경우에서 모두 시설처리비(시설처리용량/유입총체적)가 증가하면 총 유출저감율은 선형적으로 증가한다.

구체적으로 살펴보면 유역면적-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감 민감도는 유역면적이 커질수록 시설처리비 대비 총 유출저감율의 증가 기울기가 커진다. 그러나 유입강우-시설규모 변화에 따른 홍수유출저감 민감도는 강우량의 변화 양상과 동일하게 시설처리비 대비 총 유출저감율의 증가 기울기가 변화하지 않으며 일부 우수유출저감시설의 경우 불규칙적인 양상을 보인다. 즉, 시설처리비와 집수유역의 면적이 총 유출량 저감율을 결정하는 지배적인 함수임을 알 수 있다(Table 8).

이상의 연구결과를 기초로 우수유출저감시설 도입에 따른 단일 시설의 적용 효율을 간편하게 평가하고 개략적인 사업의 효과를 분석하기 위한 방법으로 유역면적-우수유출저감시설 규모별 홍수조절능력표를 작성하였다(Table 9). 또한 LID 시설별 10 ha 면적기준 따른 유출유량 분석도를 작성하였다(Fig. 7).

3. LID 도시 디자인을 위한 유출계수 적용 기법

3.1 기본개념 및 적용 기법

본 연구 2장 에서 유역면적대비 LID 시설 면적이 증가할수록 유출유량이 감소(Table 9, Fig. 7)되는 것으로 분석되었다. 한편, 아래 식생체류지(0.3 ha 유역면적)의 유출저감율이 유출계수와 시설면적비간 상관관계(Fig. 9)를 적용하면 유출계수 0.8 유역에서 유출저감율 6.25%를 확보하기 위해서는 식생체류지 시설면적비는 유역면적대비 5%를 확보하여

야 하며, 이때 유출 계수는 0.75까지 줄일 수 있는 것으로 분석되었다. 결국 LID 시설면적비가 증가하면 유출계수가 작아지는 것으로 분석되었다.

이와 같은 유출계수·시설면적비 상관관계의 기본개념으로 식생체류지 유출계수를 전반적으로 분석하여 보면 Fig. 8과 같다. 그러나 현실적으로 유출이 100%인 도시는 존재

하지 않기 때문에 Fig. 8, Table 10을 참고하여 개발대상지의 LID 시설면적비에 따른 유출계수 C값을 계획 또는 설계단계에 적용하여 홍수조절능력을 산정할 수는 없다. 따라서 개발 후 예상 토지이용계획도를 기준으로 유출계수 보정해야 한다.

Table 8. Sensitivity Analysis Result of Flood Control Ability When Facility Treatment Cost is 1.0

Category		Vegetation	Vegetation Reactor	Infiltration Trench	Permeable Packaging	Rainwater Garden
Rainfall	10 mm	33.87%	29.09%	82.11%	31.76%	26.59%
	20 mm	32.83%	27.14%	78.62%	30.17%	23.66%
	30 mm	31.43%	26.07%	80.00%	30.06%	22.20%
	40 mm	30.73%	25.61%	80.53%	30.40%	22.06%
	50 mm	30.19%	25.25%	78.61%	30.66%	22.02%
	60 mm	29.77%	25.04%	77.97%	31.15%	21.40%
Basin Area	0.3 ha	26.86%	20.21%	78.07%	25.50%	18.33%
	0.5 ha	28.79%	22.44%	79.18%	28.83%	20.58%
	0.7 ha	29.58%	23.94%	80.41%	30.79%	21.47%
	1 ha	29.77%	25.04%	77.97%	31.15%	21.40%
	10 ha	34.33%	25.14%	81.65%	37.70%	24.50%
	30 ha	37.67%	27.18%	84.04%	42.45%	26.99%

Table 9. Flood Control Capacity Table According to Changes in Watershed Area and Facility Scale

Facility Area Ratio (%)	storage-Infiltration Ability	Runoff Reduction rate (%)					
		0.3 ha	0.5 ha	0.7 ha	1 ha	10 ha	30 ha
1	0.08	0.00	3.45	2.44	3.45	4.29	5.03
2	0.15	0.00	3.45	4.88	5.17	7.55	8.64
3	0.23	5.88	6.90	7.32	8.62	10.46	11.90
4	0.30	5.88	10.34	9.76	10.34	13.21	14.93
5	0.38	11.76	10.34	12.20	12.07	15.78	17.85
6	0.45	11.76	13.79	14.63	15.52	18.35	20.65
7	0.53	11.76	17.24	17.07	17.24	20.75	23.34
8	0.60	17.65	17.24	19.51	18.97	23.33	26.03
9	0.68	17.65	20.69	21.95	20.69	25.73	28.60
10	0.75	17.65	24.14	24.39	24.14	27.96	31.12
11	0.83	23.53	24.14	26.83	25.86	30.36	33.58
12	0.90	23.53	27.59	26.83	27.59	32.59	36.04
13	0.98	29.41	27.59	29.27	29.31	34.82	38.44
14	1.05	29.41	31.03	31.71	31.03	37.05	40.85
15	1.13	29.41	34.48	34.15	34.48	39.28	43.19
16	1.20	35.29	34.48	36.59	36.21	41.51	45.54
17	1.28	35.29	37.93	39.02	37.93	43.74	47.83
18	1.35	35.29	37.93	39.02	39.66	45.80	50.11
19	1.43	41.18	41.38	41.46	41.38	48.03	52.35
20	1.50	41.18	41.38	43.90	43.10	50.09	54.63

Fig. 7. Runoff Flow Rate according to Facility Area Change Per LID Facility (based on watershed 10 ha)

3.2 토지이용계획별 평균 유출계수 보정

3.2.1 평균 유출계수 산정 방법

평균유출계수 산정은 Eq. (1)에 따라 토지이용계획을 참고하여 산정하며, 면적을 가중한 유출계수 총합을 총 개발면적으로 나누어 평균유출계수로 산정한다.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n A_n \cdot C_n}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

단지의 적정유출량 산출을 위한 공종별 유출계수는 “한국토지주택공사 공종별 유출계수 값 적용기준”인 Table 11을 준용하되, Table 11 이외의 공종에 대한 유출계수는 유사공종에 대한 유출계수를 적용하였다.

3.2.2 평균 유출계수 산정 구간

Table 11과 Eq. (1)에 따라 최근 한국토지주택공사에서 개발한 18개 지구의 도시 및 주택단지의 토지이용계획도 기준으로 평균 유출계수는 0.66~0.79로 분석되었다. 따라서 본 연구에서 적용하고자 하는 평균유출계수의 범위는

Fig. 8. Vegetation Retention Factor-Change in Facility Area

Table 10. Vegetation Residue Coefficient-Facility Area Ratio Change Table

Runoff Coefficient	Runoff Reduction Rate (%)	Basin Area					
		0.3 ha	0.5 ha	0.7 ha	1 ha	10 ha	30 ha
0.99	1	3	1	1	1	1	1
0.98	2	3	1	1	1	1	1
0.97	3	3	1	2	1	1	1
0.96	4	3	3	2	2	1	1
0.95	5	3	3	3	2	2	1
0.94	6	5	3	3	3	2	2
0.93	7	5	4	3	3	2	2
0.92	8	5	4	4	3	3	2
0.91	9	5	4	4	4	3	3
0.90	10	5	4	5	4	3	3
0.89	11	5	6	5	5	4	3
0.88	12	8	6	5	5	4	4
0.87	13	8	6	6	6	4	4
0.86	14	8	7	6	6	5	4
0.85	15	8	7	7	6	5	5
0.84	16	8	7	7	7	6	5
0.83	17	8	7	7	7	6	5
0.82	18	11	9	8	8	6	6
0.81	19	11	9	8	9	7	6

Table 10. (Continued)

Runoff Coefficient	Runoff Reduction Rate (%)	Basin Area					
		0.3 ha	0.5 ha	0.7 ha	1 ha	10 ha	30 ha
0.80	20	11	9	9	9	7	6
0.79	21	11	10	9	10	8	7
0.78	22	11	10	10	10	8	7
0.77	23	11	10	10	10	8	7
0.76	24	13	10	10	10	9	8
0.75	25	13	12	11	11	9	8
0.74	26	13	12	11	12	10	8
0.73	27	13	12	13	12	10	9
0.72	28	13	14	13	13	11	9
0.71	29	13	14	13	13	11	10
0.70	30	16	14	14	14	11	10
0.69	31	16	14	14	14	12	10
0.68	32	16	15	15	15	12	11
0.67	33	16	15	15	15	13	11
0.66	34	16	15	15	15	13	12
0.65	35	16	17	16	16	14	12
0.64	36	19	17	16	16	14	12
0.63	37	19	17	17	17	14	13
0.62	38	19	19	17	18	15	13
0.61	39	19	19	17	18	15	14
0.60	40	19	19	19	19	16	14
0.59	41	19	19	19	19	16	15
0.58	42	22	21	20	20	17	15
0.57	43	22	21	20	20	17	15
0.56	44	22	21	21	21	18	16
0.55	45	22	22	21	21	18	16
0.54	46	22	22	21	21	19	17
0.53	47	22	22	22	22	19	17
0.52	48	25	22	22	22	19	18
0.51	49	25	24	24	23	20	18
0.50	50	25	24	24	23	20	18
0.49	51	25	24	24	24	21	19
0.48	52	25	26	25	25	21	19
0.47	53	28	26	25	25	22	20
0.46	54	28	26	26	26	22	20
0.45	55	28	26	26	26	23	21
0.44	56	28	28	26	27	23	21
0.43	57	28	28	27	27	24	22
0.42	58	28	28	27	27	24	22
0.41	59	31	29	29	28	25	22
0.40	60	31	29	29	28	25	23
0.39	61	31	29	30	29	26	23
0.38	62	31	29	30	29	26	24

Table 10. (Continued)

Runoff Coefficient	Runoff Reduction Rate (%)	Basin Area					
		0.3 ha	0.5 ha	0.7 ha	1 ha	10 ha	30 ha
0.37	63	31	31	30	30	27	24
0.36	64	31	31	31	31	27	25
0.35	65	34	31	31	31	28	25
0.34	66	34	33	32	32	28	26
0.33	67	34	33	32	32	29	26
0.32	68	34	33	32	33	29	27
0.31	69	34	35	34	33	30	27
0.30	70	34	35	34	34	30	28
0.29	71	37	35	35	35	31	28
0.28	72	37	35	35	35	31	29
0.27	73	37	37	35	36	32	29
0.26	74	37	37	36	36	32	29
0.25	75	37	37	36	36	33	30
0.24	76	37	39	38	37	33	30
0.23	77	40	39	38	37	34	31
0.22	78	40	39	38	38	34	31
0.21	79	40	39	39	38	35	32
0.20	80	40	40	39	39	35	32
0.19	81	40	40	40	39	36	33
0.18	82	40	40	40	41	36	33
0.17	83	43	42	42	41	37	34
0.16	84	43	42	42	41	37	35
0.15	85	43	42	42	42	38	35
0.14	86	43	42	43	42	38	36
0.13	87	43	44	43	43	39	36
0.12	88	43	44	44	44	40	37
0.11	89	47	44	44	44	40	37
0.10	90	47	46	44	45	41	38
0.09	91	47	46	46	45	41	38
0.08	92	47	46	46	46	42	39
0.07	93	47	46	47	46	43	40
0.06	94	47	48	47	47	43	40
0.05	95	50	48	47	48	44	41
0.04	96	50	48	49	48	45	42
0.03	97	50		49	49	46	43
0.02	98	50			49	47	44
0.01	99	50				48	45
0.00	100	50				50	48

0.65~0.8로 한정한다(Table 12).

3.2.3 유출계수 보정

유출계수의 범용적 적용을 위해서 토지이용계획 평균유출계수를 기준으로 0.8에서부터 0.65까지 유출계수 보정구

간을 0.01 단위로 쪼개어 15개 유출계수 기준을 만든다. 15개 유출계수값 보정기준으로 LID 5개 시설면적 중 식생 체류지에 대해 시설면적비를 분석했다(Table 13).

Fig. 9는 평균 유출계수 0.8에서 0.75로 변경되면 유출체적이 37.5에서 35.2로 변경되고 유출저감율은 6.25%가 된다.

Table 11. Runoff Coefficient by Type

Category	Runoff Coefficient	Category	Runoff Coefficient
A Single House	0.80	Educational facilities	0.40
Multi-Family Housing	0.65	Social welfare facilities	0.75
Quasi-Residential Land	0.80	Cultural and assembly facilities	0.75
Neighborhood Facilities Land	0.80	Business facilities	0.75
Commercial Site	0.80	Medical facilities	0.75
Road	0.85	Water supply plant	0.80
Parking Lot	0.85	Physical training facilities	0.75
Park	0.45	Leaveout lands	0.40
Green Buffer Zone	0.40	Distribution business facilities	0.75
Landscape Green Area	0.40		

Table 12. Average Runoff Coefficient by District

District	Post-Development Runoff Coefficient	District	Post-Development Runoff Coefficient	Note
Busan Dadae1	0.69	Yangsan bukjang	0.73	Average runoff coefficient (0.66~0.79)
Busan Dadae2	0.66	Yangsan seochang	0.72	
Busan Mandeok1	0.69	Busan hwamyeong	0.69	
Busan Mandeok2	0.71	Busan zhurye	0.75	
Busan Mora	0.72	Ulsan taehwa	0.79	
Ulsan Boksan	0.72	Ulsan hwabong	0.72	
Ulsan Samho1	0.78	Ulsan okdong	0.71	
Dongtan1	0.66	Busan anrak	0.69	
Daegu Techno	0.71	Ulsan songjeong	0.67	

Flood volume			0.3					
Runoff Coefficient	peak flood quantity (0.3ha)	Runoff volume	The change of runoff volume	Runoff reduction rate	Facility area ratio	Runoff reduction rate	Facility area ratio	
(C)	Q(m³/S)	(m³)	(m³)	(m³)	C=0.8	(m³)	C=0.79	
0.82	0.110	38.5	-0.5					
0.81	0.108	38.0	-0.5					
0.80	0.107	37.5	-0.5		0			
0.79	0.106	37.1	-0.5	1.25%	3		0	
0.78	0.104	36.6	-0.5	2.50%	3	1.27%	3	
0.77	0.103	36.1	-0.5	3.75%	3	2.53%	3	
0.76	0.102	35.6	-0.5	5.00%	3	3.80%	3	
0.75	0.100	35.2	-0.5	6.25%	5	5.06%	3	
0.74	0.099	34.7	-0.5	7.50%	5	6.33%	5	
0.73	0.098	34.2	-0.5	8.75%	5	7.59%	5	
0.72	0.096	33.8	-0.5	10.00%	5	8.86%	5	
0.71	0.095	33.3	-0.5	11.25%	5	10.13%	5	

Facility area ratio (%)	0.3ha		0.5ha		0.7ha		1ha	
	Infiltration ability	Runoff reduction rate(%)	Infiltration ability	Runoff reduction rate(%)	Infiltration ability	Runoff reduction rate(%)	Infiltration ability	Runoff reduction rate(%)
1	0.08	0.00	0.08	3.45	0.08	2.44	0.08	3.45
2	0.15	0.00	0.15	3.45	0.15	4.88	0.15	5.17
3	0.23	5.88	0.23	6.90	0.23	7.32	0.23	8.62
4	0.30	5.88	0.30	10.34	0.30	9.76	0.30	10.34
5	0.38	11.76	0.38	10.34	0.38	12.20	0.38	12.07
6	0.45	11.76	0.45	13.79	0.45	14.63	0.45	15.52
7	0.53	11.76	0.53	17.24	0.53	17.07	0.53	17.24
8	0.60	17.65	0.60	17.24	0.60	19.51	0.60	18.97
9	0.68	17.65	0.68	20.69	0.68	21.95	0.68	20.69

Fig. 9. Variation of Vegetation Retention Coefficient

Table 13. Vegetation Residue Coefficient-Facility Area Ratio Change Table

Coefficient	Vegetation residue facility area ratio																																	
	Basin area 0.3 ha																Basin area 0.5 ha																	
0.80	0															0																		
0.79	3	0														1	0																	
0.78	3	3	0													1	1	0																
0.77	3	3	3	0												3	1	1	0															
0.76	3	3	3	3	0											3	3	1	1	0														
0.75	5	3	3	3	3	0										3	3	3	1	1	0													
0.74	5	5	3	3	3	3	0									4	3	3	3	1	1	0												
0.73	5	5	5	3	3	3	3	0								4	4	3	3	3	1	1	0											
0.72	5	5	5	5	3	3	3	3	0							4	4	4	3	3	3	1	1	0										
0.71	5	5	5	5	5	3	3	3	3	0						6	4	4	4	3	3	3	1	1	0									
0.70	8	5	5	5	5	5	3	3	3	3	0					6	6	4	4	4	3	3	3	1	1	0								
0.69	8	8	5	5	5	5	5	3	3	3	3	0				6	6	6	6	4	4	3	3	3	1	1	0							
0.68	8	8	8	5	5	5	5	5	3	3	3	3	0			7	7	6	6	6	4	4	3	3	3	1	1	0						
0.67	8	8	8	8	8	5	5	5	5	3	3	3	3	0		7	7	7	6	6	6	4	4	4	3	3	1	1	0					
0.66	8	8	8	8	8	8	5	5	5	5	3	3	3	3	0	9	7	7	7	6	6	6	4	4	4	3	3	1	1	0				
0.65	11	11	8	8	8	8	8	5	5	5	5	3	3	3	3	0	9	9	7	7	7	6	6	6	4	4	4	3	3	1	1	0		
0.64	11	11	11	8	8	8	8	8	5	5	5	5	5	3	3	3	9	9	9	7	7	7	6	6	6	4	4	4	3	3	1	1		
0.63	11	11	11	11	8	8	8	8	8	5	5	5	5	5	3	3	10	9	9	9	7	7	7	6	6	6	4	4	4	3	3	1		

“식생체류지 유역면적-시설규모 홍수조절능력표”에서 유출저감율 6.25%보다 큰 값 중 가장 차이가 적은 11.76%에 해당하는 시설면적비 5%에 해당하는 값이 유출계수 0.75와 부합된다.

Fig. 9와 같은 방법으로 LID 시설중 식생체류지의 유출계수-시설면적 변화표는 Table 13과 같으며, 본 표를 이용하여 LID 시설계획 및 설계시 유출계수와 시설면적을 적용하면 된다.

4. 결 론

본 연구의 목적은 침수판정 프로그램에서 LID 기법 적용을 위한 유출계수 활용기법의 개발이다. 이를 위해 LID 시설 설치면적에 따른 홍수조절 능력과 유출계수 변화를 합리적으로 분석해야할 필요가 있었다. 따라서 본 연구에서는 도시 내 LID 시설 배치에 따른 홍수조절을 검증키 위해 LID 시설별 홍수조절 능력을 분석하였다. 또한, LID 시설배치에 따른 우수유출 저감 능력과 유출계수와의 상관관계를 분석하고 서로 연계할 수 있는 유출계수 적용 기법을 개발하여 활용방안을 제시하였다. 특히, 토지이용계획시 범용으로 적용할 수 있는 평균 유출계수 범위(0.65~0.8)를 제시하였으며 LID 시설 계획 및 설계시 적용 할 수 있는 LID 시설적용면적별 유출계수 변화표(Table 13)를 제시하여 설계자가

적용 가능한 유출계수 활용기법을 개발하였다. 본 연구에서 제시한 사항들을 기반으로 LID 시설을 계획, 설계, 설치를 한다면 LID 시설을 보다 효율적으로 활용 할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 금회 제시된 LID 시설별 홍수조절 능력과 개발된 유출계수 적용 기법을 활용하고 기 개발된 “침수판정 및 저류지 규모산정 프로그램”과 연계하여 향후 LID 설치관련 경제성 평가 및 LID 도시 디자인 방안을 연구할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 지능형 도시수자원 관리사업의 지원을 받아 연구되었습니다 (2019002950003).

References

- Jeong, Y.G., and Kang, T.U. (2020). Program development for detention pond sizing based on excel using SWMM engine. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 20, No. 2, pp. 229-238.
- Korea National Housing Corporation. (1997). *A study on the design techniques of the detention facility.*

Korea Land & Housing Corporation (LH). (2010). *Establishment of reasonable evaluation criteria for the Preliminary Disaster Inspection system*.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). (2011). *Improvement and complementary research for probability rainfall*.

Ministry of Public Safety and Security (MPSS). (2016).

Guideline for preliminary disaster impact inspection and consultation.

Received	■	August 25, 2020
Revised	■	August 27, 2020
Accepted	■	September 8, 2020