

투수블록시설의 유출저감효과 분석 및 강우강도-지속시간 관계 분석

한상윤·길경익[†]

서울과학기술대학교 건설시스템공학과

Analysis of Runoff Reduction Effect and Rainfall Intensity-Duration Time of Permeable Block Facility

Sangyun Han·Kyungik Gil[†]

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea
(Received : 31 December 2018, Revised: 19 November 2019, Accepted: 16 December 2019)

요약

비점오염은 수계에 악영향을 끼치며 그 영향은 점차 커지고 있다. 이러한 비점오염을 관리하기 위해 정부에서는 LID(Low Impact Development) 시설의 연구와 다양한 효율평가를 시행하고 있다. 본 연구에서는 다양한 LID 시설 중 실제 설치된 투수 블록 시설의 강우 유출 억제를 위한 유출 저감율, 잔류 강우량 분석 및 유출 지연시간 그리고 최대 유입 및 유출의 저감율을 분석했으며, 그 결과를 각 시설 간 비교했다. 불투수블록, 필터형 투수블록, 틈새형 투수블록 순서대로 분석 결과 저감 효율이 높게 나타났으며, 이를 통해 강우강도-유출지연시간간의 관계를 나타낸 그래프를 제시하였다. 이 그래프를 통해 앞으로 설계 시, 본 시설과 유사한 투수블록 시설의 재현 기간에 따른 시설 용량 선정 등의 설계에 도움을 줄 수 있으리라 생각한다.

핵심용어 : LID(Low Impact Development), 유출 저감율, 강우강도, 유출지연시간

Abstract

Non-point pollution adversely affects the water system and its influence is increasing. In order to manage such nonpoint source pollution, the government has conducted studies on LID (Low Impact Development) facilities and various efficiency evaluations. In this study, the actual installed permeable block facility among the various LID facilities was analyzed the effluent reduction rate, the residual rainfall analysis, the runoff duration time and the reduction rate of the maximum inflow and outflow for the rainfall runoff control and the results were compared the other facilities. The analysis results show that the reduction efficiency is high in order of impermeable block, filter type permeable block, and clearance type permeable block, and the graph showing the relationship between the rainfall intensity and the runoff duration time is presented. This graph can be helpful in the design of facilities such as the facility capacity selection according to the reproduction period of the permeable block facility similar to this.

Key words : LID(Low Impact Development), Runoff Reduction Rate, Rainfall intensity, Runoff duration time

[†] To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea
E-mail: kgil@seoultech.ac.kr

• Sangyun Han Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea / Master's course (smhsy95@seoultech.ac.kr)
• Kyungik Gil Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Korea / Professor (kgil@seoultech.ac.kr)

1. 서 론

비점오염원이란 도시, 도로, 농지, 산지, 공사장 등으로서 불특정장소에서 불특정하게 수질오염 물질을 배출하는 배출원을 말한다(MOE, 2016). 이러한 비점오염원은 도시화로 인한 불투수면의 증가와 함께 강우가 하천으로 직유입 되어 홍수의 위험 증가와 수계의 수질에 악영향을 끼치는 등 많은 문제점을 발생시킨다(Gil et al., 2011; Koo et al., 2014). 이에 국내에서도 점차 비점오염원 관리에 많은 관심을 기울이고 있으며, 그 예로써 정부에서는 2004, 2012년 각 제1, 2차 비점오염 관리 종합대책을 수립하는 등 다양한 시범 사업을 통하여 비점오염을 관리하려는 노력을 보이고(Jeon et al., 2013), 비점오염 관리지역을 지정하여 비점오염에 의한 오염이 심해지는 지역을 관리하고 있다(Kim et al., 2015; MOE, 2016). 이러한 비점오염을 관리하기 위해 최근에는 도시지역을 개발 이전의 수문 상태로 유지하거나, 비점오염 및 강우 유출을 효과적으로 관리할 수 있는 LID(Low Impact Development) 시설의 연구와 다양한 효율평가가 이루어지고 있으며, LID 시설에 최적관리기법(Best Management Practices, BMPs)을 이용하여 수질 관리 및 유출을 저감시키고 있다(Jeon et al., 2009; Lee et al., 2008). 다양한 LID시설 중 투수블록 시설은 빗물이 지하로 스며들 수 있도록 함으로써 토양수의 증발에 따른 기온의 저하, 토양미생물의 보전, 지하수 함량에 의한 물순환 재생, 미기후 조절, 수질 오염저감, 수목 및 생물의 생육환경 조성 등의 환경보전의 효과를 가지고 있다. 또한 일상 생활에서 도심, 주차장 지역등 가장 광범위하게 설치되고 볼 수 있는 시설이며, 일반적으로 지하수를 고갈시키고 물순환 체계를 왜곡시키는 아스팔트형 포장 대비 투수포장은 빗물침투, 저류등을 통해 강우의 유출지연을 높이는 효과가 있다(Brattebo

et al., 2003). LID 시설의 다양한 효율평가에 있어, 투수블록시설의 효율평가에는 유출 및 비점오염물질을 저감하는 효과를 분석하는 것과 다공질 여재의 효과를 분석하는 등의 다양한 연구가 이루어지고 있다(Lee et al., 2018; Lee et al., 2014). 또한 최근에는 비점오염 저감 시설의 종류 및 용량을 결정하여 설계할 시 유량 저감 효과, 지하수 충전등의 강우 유출수 관리능력 또한 주목받고 있는데(Lee, 2016; Valinski and Chandler, 2015) 이는 환경부의 비점오염저감시설의 설치 및 관리 운영 매뉴얼(MOE, 2016)에서도 수로 보호 및 홍수 예방이 필요한 지역에서의 비점오염저감시설 설계 시 기존 시설로 부족할 경우 추가적 시설의 설치를 고려하는 등의 강우 유출수 관리능력에 대한 언급을 하는 것을 통해 확인할 수 있다. 실제 투수블록 시설의 유량저감 효율 분석을 다양한 조건 의 강우 모니터링 자료를 바탕으로 실시하였다. 이러한 시설 효율 분석을 통해 투수블록 형태별 강우 강도와 시설의 유출지연 시간 간의 관계를 알아보았다. 이는 연구 대상 지역의 투수블록형 비점오염저감시설 설계 시 강우 강도와 유출 지연 시간에 따른 시설의 유출 발생 여부 및 재현 기간에 따른 시설 용량 선정 등에 도움을 줄 수 있을 것이라 예상된다.

2. 대상 지역 및 실험방법

2.1 연구 대상 지역 및 시설 소개

Fig. 1 (a) 에서의 연구 대상 시설인 A 구는 전주시에 있으며 (b) 를 통해 불투수 포장, (c) 는 필터형 투수 포장(이하 투수포장 A), (d) 는 틈새형 투수 포장(이하 투수포장B)으로 이루어져 있는 시설을 확인할 수 있다. 불투수 포장은 투수블록이 없는 구조로 되어있으며, 시설효율 분석에 있어서 투수블록이 존재하는

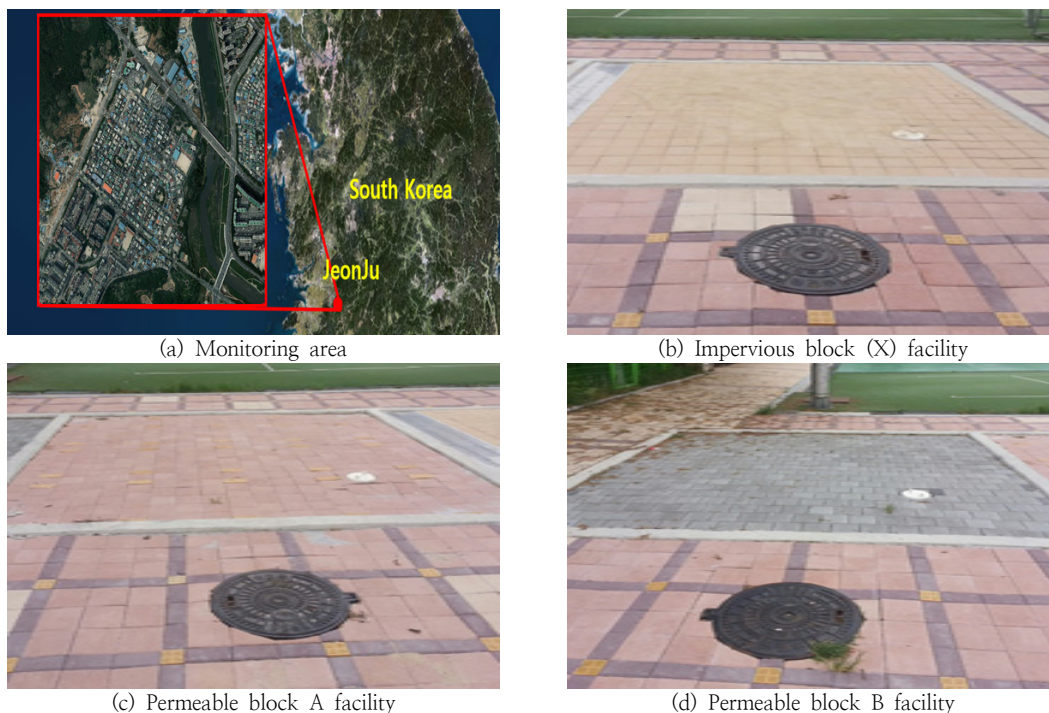


Fig. 1. Monitoring area and permeable block facility

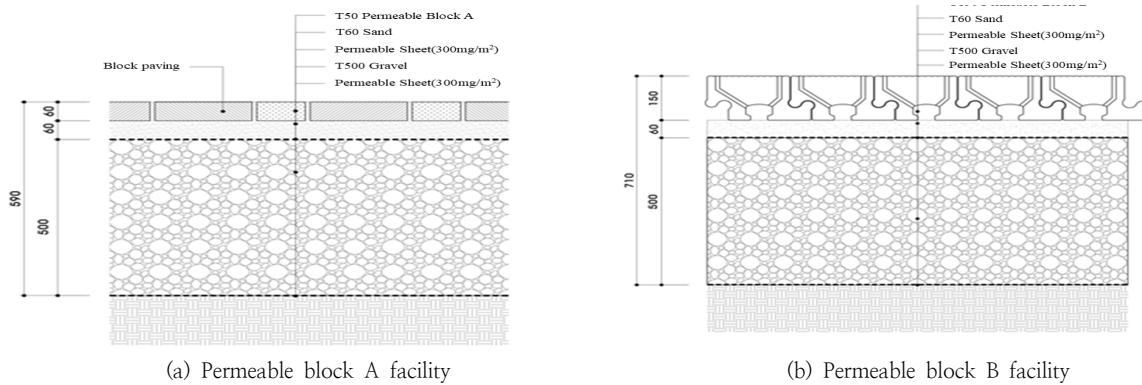


Fig. 2. Permeable block facility

투수포장A, B와의 비교를 위한 실험의 대조군으로써 존재한다. 투수포장A내의 투수블록의 비율은 약 4%이며, 블록 내부의 공극에 의한 투수방식으로 장기간 사용 후 표면막힘의 저감과 내부 필터 교체를 통해 지속적 유지관리가 가능하다는 특징이 있다. 투수포장B의 투수블록의 비율은 100%이며, 블록 틈새를 통한 투수와 하부공간은 빗물 저류를 함께 수행한다는 특징이 있다.

연구 대상 시설은 별도의 유역은 존재하지 않으며, 강우가 시설 내부로 직유입되므로 시설의 면적인 14.4m²이 해당 시설의 배수 면적이라 할 수 있다. 시설의 하부 토양층은 모래층과 자갈층으로 구성되어 있으며 유공관은 자갈층 구간에 설치되어 있고, 이 유공관은 강우가 시설 내부로의 침투 및 침투가 발생하여 지하 수위가 일정 이상 상승한 경우 원활한 유출을 발생시키기 위해 설치되어 있다. 시설을 포함한 주변은 유동인구가 있는 공원 내부의 인도이기 때문에 유입되는 주요 오염물질들은 시설 표면에 축적된 부유물질, 유기물질, 금속 및 오일류 등이 유입된다. 또한, 시설은 강우 발생 시 투수 포장으로의 직유입 이후 투수

포장재로의 여과, 저류 및 침투가 발생한 후 유출이 발생한다. 아래 Fig. 2에서 시설의 단면을 확인할 수 있다.

2.2 대상 시설 효율 검증을 위한 강우사상 특성

Table 1은 연구 대상 시설의 강우 사상을 나타내고 있다. 시설별 6회씩의 모니터링으로 총 18번의 모니터링을 시행하였으며, 불투수 포장은 인공강우 5회, 실제 강우(이하 실강우) 1회의 모니터링, 투수포장A, B는 실강우와 인공강우를 합한 강우를 3회, 인공강우만을 이용한 3회의 모니터링을 하였다. 또한 최소 3일 이상의 선행건기일수를 확보했다.

모니터링 대상 강우 조건은 불투수포장 평균 강우강도 2.5~42.5mm/hr, 투수포장A는 0.6~36.3mm/hr 그리고 투수포장B는 0.6~77.6mm/hr 의 강우강도이며 이를 통해 현실적인 강우강도 조건에서의 실험이 이루어졌음을 확인할 수 있다. 실강우 및 인공강우를 사용해 시설의 효율을 평가함으로써, 실강우조건과 함께, 자유롭게 강우강도를 조절할 수 있는

Table 1. Summary of rainfall events in facility

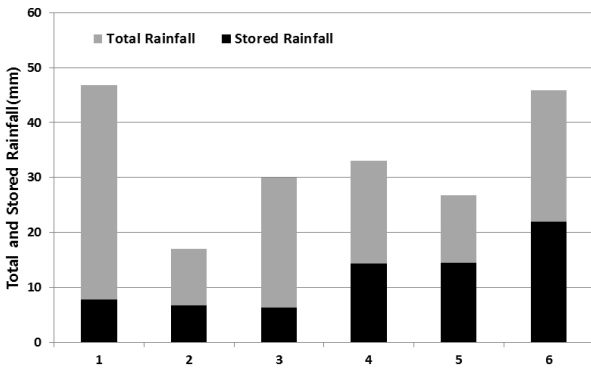
Event No.	Event Date (yy/mm/dd)	ADD (Days)	Total Rainfall (mm)	Duration (hr)	Rainfall Intensity (mm/hr)	Monitoring method
X - 1	17/08/09	6	33.8	4.83	7.0	Artificial
X - 2	17/08/30	3	17.1	3.42	5.0	Artificial
X - 3	17/09/05	4	30.0	1.0	30.0	Artificial
X - 4	17/09/10	3	33	13	2.5	Rainfall
X - 5	17/10/30	19	26.8	1	26.8	Artificial
X - 6	17/11/07	5	45.9	1.08	42.5	Artificial
A - 1	17/08/09	6	199.8	24.33	Avg. : 8.2	Artificial + Rainfall
A - 2	17/08/30	3	64.4	5.15	12.5	Artificial
A - 3	17/09/05	4	86.7	39.78	Avg. : 2.2	Artificial + Rainfall
A - 4	17/09/10	3	63.5	14.02	Avg. : 4.5	Artificial + Rainfall
A - 5	17/10/30	19	63.1	2.3	27.5	Artificial
A - 6	17/11/07	5	81.6	2.25	36.3	Artificial
B - 1	17/08/09	6	214.4	24.75	Avg. : 8.7	Artificial + Rainfall
B - 2	17/08/30	3	201.4	9.42	21.4	Artificial
B - 3	17/09/05	4	182.3	40.87	Avg. : 4.5	Artificial + Rainfall
B - 4	17/09/10	3	129.9	14.75	Avg. : 8.8	Artificial + Rainfall
B - 5	17/10/30	19	227.7	2.93	77.6	Artificial
B - 6	17/11/07	5	200.0	2.58	77.5	Artificial

인공강우의 특성을 이용하여 시설의 효율을 평가함에 있어, 다양하고 세밀한 강우 조건에서의 시설 효율을 평가할 수 있었다. 또한 일정한 강우강도가 장기적으로 지속됨에 따라 최대 유출 유량 저감평가를 위한 장기간의 모니터링이 가능하였다.

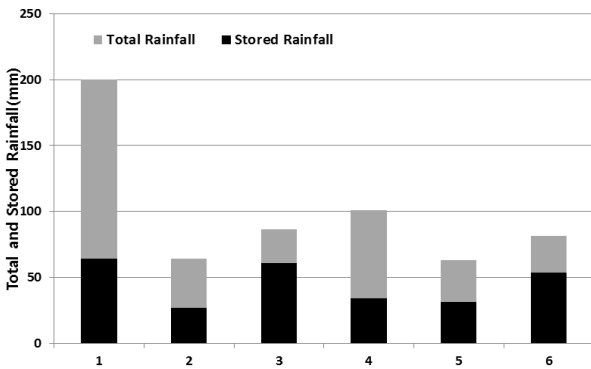
3. 연구결과 및 고찰

3.1 대상 시설의 유출 저감을 및 강우량 분석

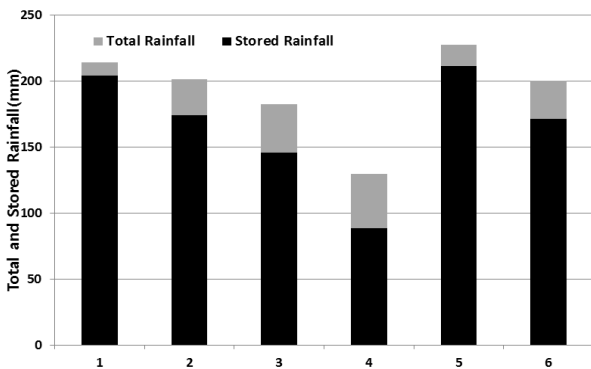
Fig. 3를 통해 각 시설의 각 6회 모니터링에 대한 총 강우량 대비 저류된 강우량을 확인할 수 있다. 각 시설의 유출 저감율을 살펴보면 불투수포장의 경우 인공강우 유입 및 유출 유량은 평균 0.45m³, 0.28m³의 값을 보였고, 유출 저감율은 약 37.9%로 나타났다. 투수포장A의 경우 유입 및 유출 유량은



(a) Impervious block (X)



(b) Permeable block A



(c) Permeable block B

Fig. 3. Stored rainfall relative to total rainfall

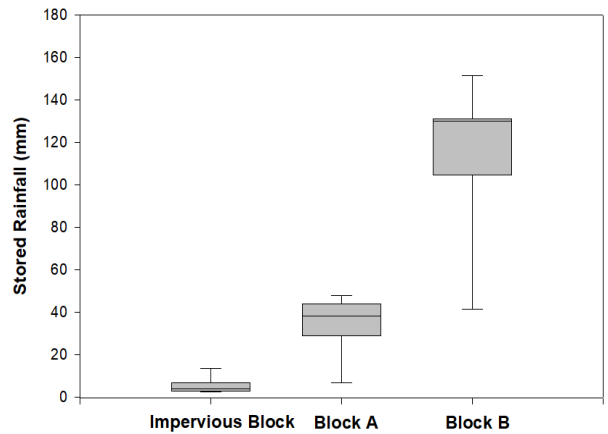


Fig. 4. Comparison of stored rainfall permeable block

평균 1.34m³, 0.67m³의 값을 보였고, 유출 저감율은 약 55.0%로 나타났으며, 투수포장B의 경우 유입 및 유출 유량은 평균 2.78m³, 0.39m³의 값을 보였고, 유출 저감율은 약 84.7%로 나타났다. 유출 저감율을 산정한 결과 투수포장 시설별 투수블록의 비율 및 종류에 따라 효율이 다르게 나타났고, 투수블록의 비율이 높을수록 저감율이 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 시설자체의 저류효과가 결과에 작용했으며, 또한 시설 면적 대비 단위 투수블록이 차지하는 집수 면적이 차이가 투수포장B의 시설이 더 작고, 투수포장B의 경우 투수블록의 비율이 100%인 만큼 시설의 전면에서 고른 투수가 이루어졌다는 점과 또한 투수 블록의 공극에 추가적인 저류가 발생하는 등의 이유로 판단된다. 이러한 저류효과와 상승으로 인하여 시설 전반적으로 높은양의 유출이 저감되었다. Fig. 4은 앞선 Fig. 3의 저류된 유량을 이용하여, 시설별 시설 내 저류된 강우량을 비교한 그래프이다. 불투수포장, 투수포장A, 투수포장B의 순서대로 저류된 강우량이 값이 높았다. 불투수포장의 경우 평균 5.6mm, 투수포장A는 33.6mm, 투수포장B는 130.0mm의 강우량이 저류되었다. 이는 Fig. 3의 결과와 마찬가지로 투수블록의 비율이 높을수록 더 많은 강우량이 저류되고, 따라서 더 많은 유량을 저감시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

3.2 대상 시설의 유출 지연 시간 비교

Fig. 5는 각각의 투수포장 시설별 강우 시작 후 강우유출이 발생되기까지의 시간(유출 지연 시간)을 비교한 그래프이다. 불투수포장, 투수포장A, 투수포장B로 갈수록 지연시간이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 실제 중앙값을 기준으로 각각 18.9, 77.4, 122.4분의 유출지연시간을 보이고 있다. 이러한 지연시간의 차이를 보이는 이유는 앞선 각 투수포장별 침투 및 저류된 강우량에 따른 결과로 관련지어 해석할 수 있다. 시설 전체적으로 초기손실이 발생하였으며, 불투수포장의 경우 일부 강우가 표면에 저류되는등의 이유로 유출 지연이 발생하였고, 투수포장A와 투수포장B의 경우 투수블록이 설치되지 않은 불투수포장 시설보다 유출지연시간이 크게 증가한 것을 볼 수 있다. 또한 투수포장B의 경우 투수포장A보다 약 58%

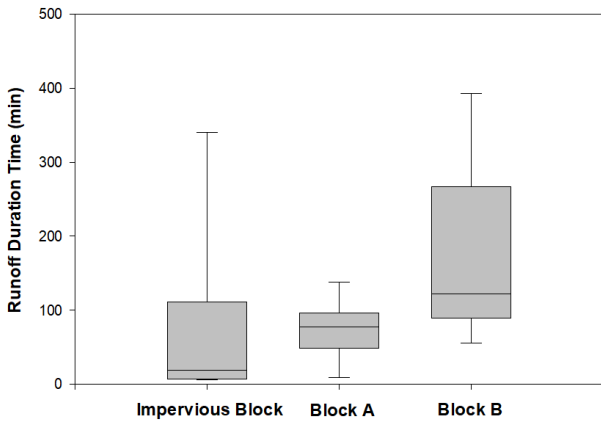


Fig. 5. Comparison of runoff duration time by permeable block

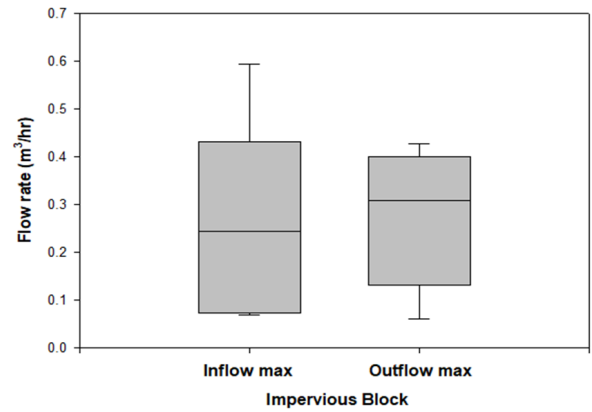
높은 유출지연시간을 보이고 있다. 이는 앞선 유출 저감을 및 강우량 분석에서와 같이 블록의 틈새 및 공극으로의 침투 및 저류가 발생하는 투수포장B의 특성이 반영된 결과로 해석할 수 있다.

3.3 대상 시설의 최대 유입유량, 최대 유출유량 (ΔQ_{Peak}) 저감 비교

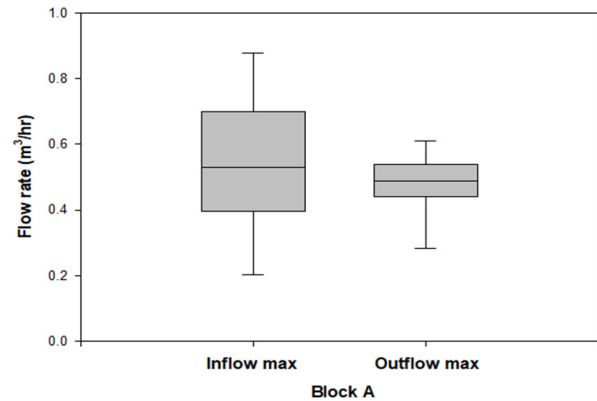
Fig. 6는 시설별 최대 유입유량(Q_{Inpeak})과 최대 유출유량($Q_{Outpeak}$)을 비교한 그림이다. 불투수포장의 최대 유입유량대비 최대 유출유량의 저감율은 중앙값을 기준으로 27.9%이다. 이는 불투수포장의 시설 특성상 강우가 유출되기까지의 지연 시간이 발생하고 시설의 표면 등에 일부 강우가 저류되는 이유로 저감율이 발생한 것으로 해석할 수 있다. 투수포장A의 최대 유입유량대비 최대 유출유량의 저감율은 24.2%이고, 투수포장B의 저감율은 53.5%이다. 이는 투수포장A시설과 비교하였을 시 약 2배 이상의 높은 저감 효율을 나타낸 것으로 판단된다. 시설별 결과를 보았을 때, 투수블록의 비율이 적은 투수포장 A시설의 경우 불투수 포장시설과 비교하여 큰 저감율의 차이를 보이지 않았으나, 투수블록의 비율이 높은 투수포장 B시설의 경우 앞선 두 시설에 비해 높은 저감율을 보였다. 이를 통해 투수포장 시설에서 불투수 포장시설과 비교하여 의미 있는 최대 유입 유량 대비 최대 유출 유량의 저감율을 확보하기 위해서는 높은 투수블록의 비율이 필요할 것으로 생각된다.

3.4 시설유출에 영향을 주는 강우강도, 유출지연시간간의 관계 분석

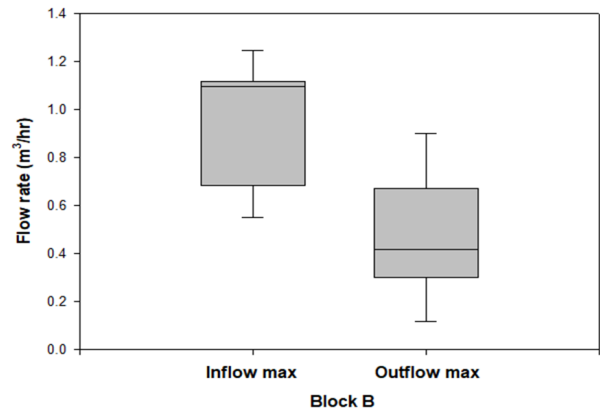
Fig. 7는 강우강도와 유출 지연시간의 자료를 이용하여, 각 시설별 두 자료간의 관계곡선을 그래프로 나타낸 것이다. 앞선 Table 1에서의 시설별 각 6회의 모니터링에 대한 회차별 강우강도 및 유출 지연시간의 값을 이용하여 Fig. 7에서와 같이 상관성 그래프를 작성했다. 그래프를 통해 강우강도와 강우 지속시간에 따른 투수블록 시설의 유출 발생 시점을 예측할 수 있다. 그래프의 A지점을 보면 약 40~50mm/hr의 강우강도의 강우가 1시간 이상 지속 시 불투수포장과 투수포장A는 유출이 발생할 것이고, 투수포장B는 유출이 발생하지 않음을 예상할 수 있다.



(a) Impervious block (X)



(b) Permeable block A



(c) Permeable block B

Fig. 6. Comparison of maximum inflow and outflow reduction by facility

하지만, A지점에서 강우 시간이 증가한 B지점을 봤을 때 이 강우가 약 3시간 이상 지속될 시 투수블록B에서도 유출이 발생할 것을 예상할 수 있는데 이는 전주지역의 IDF곡선에 근거하여 산정된 재현기간 약 50~70년에 해당하는 강우강도이다. 이와 같이 Fig. 7을 통해 시설의 저류된 강우량, 유출등의 값들과 함께 IDF곡선과 비교하여 본 시설과 유사한 전주지역 투수성 블록의 시설 설계 시 재현기간에 따른 시설 용량 선정 등에 도움을 줄 수 있을 것이라 예상된다. 또한 이 후 추가적인 모니터링을 통해 그래프의 신뢰도를 높일 수 있을 것이라 생각된다. Fig. 7의 상관성 그래프에서 투수포장A보다 투수포장

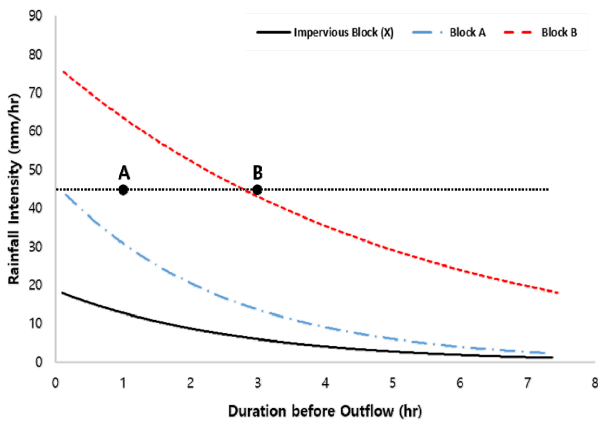


Fig. 7. Relation of rainfall intensity duration time and runoff

B 시설이 높은 유량 저감 및 유출지연을 보이는 이유는 앞선 분석들의 값의 결과와 같이, 시설의 투수블록의 비율을 근거로 제시할 수 있다. 시설 설계 시 같은 집수면적 대비 투수포장A는 투수블록의 비율이 약 4%인 반면, 투수포장B는 전체 면적이 모두 투수 블록으로 되어있기에 더 높은 유출 저감율, 저류 강우량 그리고 유출 지연시간을 보여 이러한 차이가 발생한 것으로 판단된다.

4. 결 론

도로 및 인도에서 가장 쉽게 접할 수 있는 투수포장시설의 유출 저감율, 저류 강우량, 유출 지연 시간, 최대 유출입 유량 저감을 비교하여 연구 대상 시설의 유량 관련 시설효율을 평가하였다. 그 결과 투수블록의 비율이 높은 투수포장B 시설이 전체적으로 높은 시설 효율을 보였다. 또한, 분석된 결과를 바탕으로 유출에 영향을 주는 강우강도와 유출 지연시간간의 관계를 나타낸 관계 곡선을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었으며, 향후 연구과제로써 좀 더 많은 시설별 추가 모니터링이 필요할 것이며, 이를 이용한 다변량 분석 및 다중 회귀분석등의 통계적 기법을 사용하여 연구를 보완할 수 있을 것이다.

대상 시설별 각 시설의 유출 저감율은 불투수 포장의 경우 약 21.4~53.6%, 투수포장A의 경우 약 55.0% 그리고 투수포장B의 경우 약 84.7%의 유출 저감 효과를 보이는 것으로 나타났다. 또한 시설 내 저류된 강우량의 경우 불투수 포장은 평균 5.6mm, 투수포장A는 33.6mm 그리고 투수포장B는 130.0mm의 강우량이 침투 및 저류되었다.

대상 시설별 유출 지연 시간은 중앙값 기준 불투수 포장의 경우 18.9분, 투수포장A는 77.4분 그리고 투수포장B는 122.4분으로 나타났다.

대상 시설별 시설의 최대 유입유량대비 최대 유출유량 (Q_{Peak}) 저감 비교의 결과는 불투수포장의 경우 평균 27.9%, 투수포장A의 경우 24.2% 그리고 투수포장B의 경우는 53.5%로 나타났으며, 투수포장A대비 매우 높은 저감수치를 나타내었다. 이는 투수포장 시설별 투수블록의 비율에서 그 이유를 확

인할 수 있었다. 추 후 연구를 통해 투수블록의 비율과 저감율 간의 관계를 파악할 수 있을 것이라 사료된다.

강우강도-유출 지연시간 관계 곡선을 통해 시설에 저류된 강우량, 유량등의 값들을 쉽게 파악할수 있으며, 강우강도와 강우지속시간간의 관계를 통해 시설유출시간을 예측할 수 있었다. 또한 IDF곡선과 함께 비교하여 본 시설과 유사한 투수성 블록 시설 설계시 재현기간에 따른 시설 용량 선정등의 설계에 도움을 줄 수 있을것이라 생각한다.

사 사

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Brattebo, B.O. and D.B. Booth (2003). Longterm stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems, *Water Research*, 37(18), pp. 4369~4376.
- Gil, K, Kim, T and Jung, M (2011). Runoff Characteristics of Refractory Organic Matters from South-Han River Watershed during Rainfall Event and Dry Season, *Journal of Korean Society on Water Environment*, 27(3), pp. 306-313. [Korean Literature]
- Jeon, C, Kown, K, Lee, S and Lee, J (2013). EMC and Unit Loads of Pollutants Generated from Tomato Cultivation during Rainfall, *Journal of Korean Wetlands society*, 15(4), pp. 555-566. [Korean Literature] [<https://doi.org/10.17663/jwr.2013.15.4.555>]
- Jeon JH, Kim JJ, Choi DH, Han JW and Kim TD (2009). Guideline of LID-IMPs Selection and the Strategy of LID Design in Apartment Complex. *J. Korean Soc. Water Environ*, 25(6), pp. 886-895.
- Kim, EB, Park, Y, Kim, D, Rhew and K. Jung (2015). A study on development of management targets and evaluation of target achievement for non-point source pollution management in Saemanguem watershed, *Journal of Korean Society Environmental Engineers*, 37(8) pp. 480-491. [Korean Literature] [<https://doi.org/10.4491/ksee.2015.37.8.480>]
- Koo, YM, Kim, YD and Park JH (2014). Analysis of Non-point Pollution Source Reduction by Permeable Pavement. *J. Korea water resources association*, 47(1) pp. 49-62. [Korean Literature] [<http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2014.47.1.49>]
- Lee, B, Jung, Y, Park, M and Gil, K (2008). A Study on the Discharge Characteristics of Non-point Pollutant Source in the Agricultural Area of the Kyongan Watershed. *J. of Korean society on water environment*, 24(2), pp. 169-173. [Korean Literature]

- Lee, BS, Kim LH, Lee, KH, Jeon, PG and Segismundo, E (2014). Modeling of Suspended Solid Clogging of Porous Media in Urban Stormwater Infiltration Facility, J. Korean Soc. Hazard Mitig., 14(6), pp. 427–437. [Korean Literature] [<http://dx.doi.org/10.9798/KOSHAM.2014.14.6.427>]
- Lee, D (2016). Restoration of Water Cycle by a Rainwater Management System Applied to Low Impact Development (LID), Journal of Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering, 3(2), pp. 130–133. [Korean Literature] [<https://doi.org/10.17820/eri.2016.3.2.130>]
- Lee, JC, Yu, JU, Lee, TH, Lee, CY and Kim, HW (2018). Reduction and Retardation of Non-Point Pollution Sources in Permeable Pavings for Low Impact Development (LID), J. of the Korean Society for Environmental Technology, 19(3), pp. 284–293. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) (2016). The Manual for Installation, Management, and Operation of Nonpoint Source Control Facility, Ministry of Environment, Korea. [Korean Literature]
- Valinski, N and Chandler, D (2015). Infiltration performance of engineered surfaces commonly used for distributed stormwater management, Journal of Environmental Management, 160, pp. 297–305. [<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.032>]