

투수성 포장의 우수유출 저감효과에 관한 실험적 연구

김병훈* / 강준구** / 이재응*** / 여운광****

1. 서론

우리나라는 60년대 이후 지속적으로 진행된 개발로 인해 도시지역의 불투수 면적이 증가하고 이로 인한 홍수피해가 증가하고 있다. 이에 정부에서는 1996년 '자연재해대책법'을 마련하고 일정 규모 이상의 개발시, 시행자는 개발로 인한 도시화가 진행되었을 때 발생할 수 있는 재해를 평가하고 재해를 저감할 수 있는 대책을 포함하는 '재해영향평가'를 실시하도록 의무화 하였다.

도시의 홍수피해를 감소시킬 수 있는 방안 중 하나로 우수유출 저감시설의 도입이 검토되고 있다. 우수유출 저감시설은 크게 우수를 저류하였다가 홍수위험이 지나간 후 방류를 하여 침투유출 발생시간을 지연시키는 저류형 저감시설과, 개발시 불투수 포장 지역의 표면을 투수성 재료를 사용하여 지하로의 침투를 유발시켜 총 유출량을 줄여주는 침투형 저감시설로 나눌 수 있다. 우리나라의 경우 국토 면적이 좁고 도시지역의 지가(地價)가 높기 때문에 대단위의 저류시설을 마련하는 것보다는 침투형 저감시설이 적당하다고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 침투형 저감시설 중 하나인 투수성 포장의 저감효과를 알아보기 위해 실제로 발생한 강우와 펌프를 이용하여 발생한 강우를 대상으로 수리모형 실험을 수행하고 여기서 얻어진 자료를 바탕으로 실제로 개발되는 지역에 PCSWMM 2000 을 이용하여 실제로 투수성 포장이 적용되었을 경우에 대한 효과를 검토하고자 한다.

2. 수리모형실험

2.1 실험장치의 개요

본 연구에서 사용된 강우발생장치 및 투수성 포장재는 명지대학교 토목·환경공학관내에 마련되어 있으며 그 시설은 다음 그림 1 과 같다.

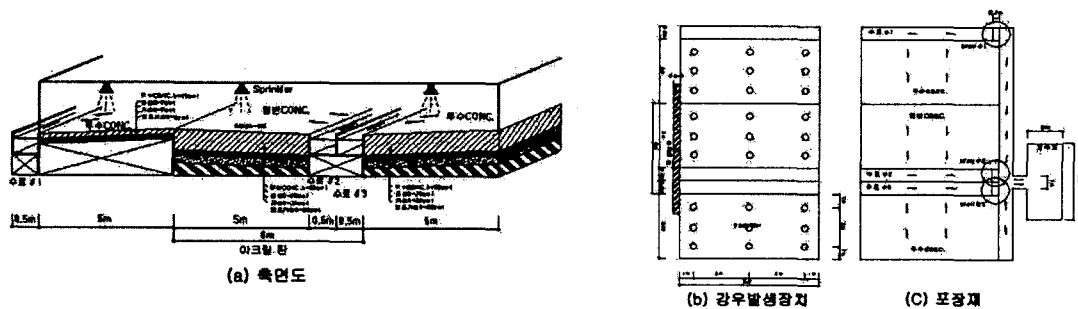


그림 1. 투수성 포장 실험장치

*명지대학교 토목공학과 공학석사 · 031-330-6818(E-mail : 3dori@nownuri.net)
**명지대학교 토목공학과 공학박사 · 031-330-6818(E-mail : kjk@cee.myongji.ac.kr)
***아주대학교 환경도시공학부 조교수 · 공학박사 · 031-219-2507(E-mail : jeyi@madang.ajou.ac.kr)
****명지대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 031-330-6408(E-mail : yeo@wh.myongji.ac.kr)

각 단면은 5m×6m의 넓이에 표층, 기층, 보조기층의 깊이가 다른 2종의 투수성 포장재와 비교를 위한 불투수성 포장재의 총 3가지로 되어 있으며 각 단면은 2%의 경사를 주어 포화에 의한 유출이 발생할 경우 한쪽으로 발생하도록 되어 있으며 각 배수지점의 끝부분에는 삼각웨어를 설치하여 유출량을 측정할 수 있도록 하였다. 또한 전문적인 기술을 요하는 투수성 포장재는 전문업체에 제작을 의뢰 하였으며 상세한 제원은 이재용 등(2001)에 제시되어 있다.

강우발생장치는 2마력의 수중 펌프와 각 단면에 9개의 노즐을 1.5m의 등간격으로 배치하여 단면에 균일하게 살수가 되도록 구성되어 있으며 3종류의 노즐과 3종류의 밸브를 이용하여 유량을 조절할 수 있도록 되어 있다. 용수의 공급은 3m×2m×1m의 수조에서 펌프를 통해 각 단면에 인공적으로 강우를 공급하게 되어 있으며 각 단면에서의 유출된 용수가 다시 수조로 유입되게 되어 있다.

2.2 실험의 기본 가정 및 실험방법

실험은 크게 강우발생장치에서 발생한 강우와 2001년 발생한 강우를 대상으로 실험을 수행하였으며, 실험의 기본 가정은 선행강우가 없는 경우로 하고 강우발생장치를 이용한 실험의 경우 실험 후 48시간 이상 건조시켰으나, 실제 강우의 경우 48시간이 지나기 전에 강우가 발생할 수 있으므로 강우시작 24시간 전에 내린 강우에 대해서만 유효선행강우량으로 채택했다. 또한 투수성 포장재의 침투는 기층 보조기층 및 하부 토양의 종류에 따라 투수효과에 차이가 나지만 본 연구에서는 같은 토양조건으로 이에 대한 영향은 고려하지 않았으며 가능한 바람의 영향이 적은 시간을 택하여 강우에 바람이 미치는 영향은 극히 적다고 가정하였다.

강우발생장치를 이용한 강우는 펌프에서 최대로 낼 수 있는 강우강도인 150mm/hr를 이용하여 지속시간 30분, 60분, 120분으로 변화시켜가며 유출량을 측정하였다. 실제 강우에 대한 실험은 2001년 발생한 강우사상을 대상으로 실험을 하였으며 강우시작부터 강우 종료후 배수가 끝나는 시점까지 실시하였다.

2.3 실제강우를 이용한 실험

2.3.1 투수성 포장에서 유출이 발생하지 않은 경우

2001년 7월 15일 3:30~10:20 발생한 강우는 지속시간이 410분, 총강우량이 55.5mm 이었으며 유효선행강우량은 15.5mm로 측정되었다. 2001년 7월 21일 12:00 ~ 15:20 발생한 강우는 지속시간이 200분, 총강우량이 19mm 이었으며 유효선행강우량은 없는 것으로 측정되었다. 두 경우 모두 80cm 투수성 포장에서는 물론 20cm 투수성 포장재에서도 유출이 발생하지 않았다. 강우량과 유출량의 관계는 다음의 그림과 같다.

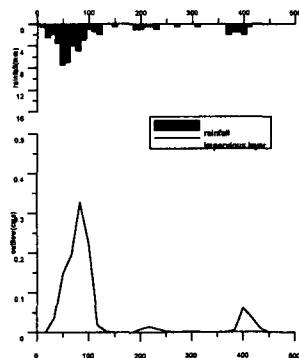


그림 2. 7월 15일 강우-유출 그래프

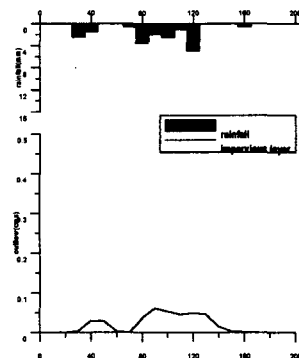


그림 3. 7월 21일 강우-유출 그래프

2.3.2 투수성 포장에서 유출이 발생한 경우

2001년 발생한 강우 사상 중에서 투수성 포장재에서 유출이 발생한 경우는 7월 24일 0:40~8:20, 지속기간 460분, 유효선행강우 24mm, 총강우량 163.5mm 인 경우에 강우 발생 350분 후에 20cm 투수성 포장재에서 유출이 발생하였으며, 7월 30일 9:20~18:30, 지속기간 550분, 유효선행강우 70mm, 총강우량 121mm 인 경우에 강우 발생 60분 후에 20cm 투수성 포장재에서 유출이 발생하였다. 이 경우에도 80cm 투수성 포장에서도 유출은 발생하지 않았다.

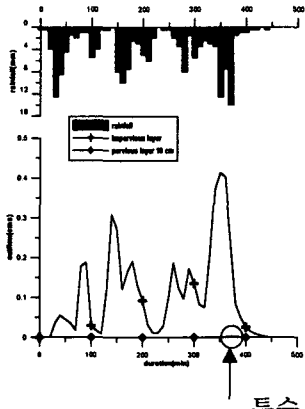


그림 4. 7월 24일 강우-유출 그래프

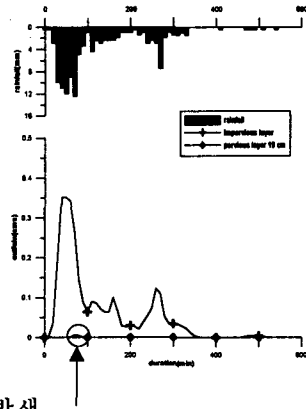


그림 5. 7월 30일 강우-유출 그래프

투수성 포장의 유출 발생

3. 수치모형실험

실제 도시지역 투수성 포장의 우수유출 저감효과를 알아보기 위해 인공강우실험에 의해 결정된 각 포장재의 저류·침투량과 실제강우 실험에 의해서 측정된 강우 사상을 PCSWMM2000을 이용하여 투수성 포장재를 적용하지 않은 현 개발상태의 유출량을 검토하였다. 또한 이를 투수성 포장 가능 지역에 투수성 포장을 적용했을 경우의 유출량과 비교하여 투수성 포장재의 우수유출 저감효과를 검토하였다.

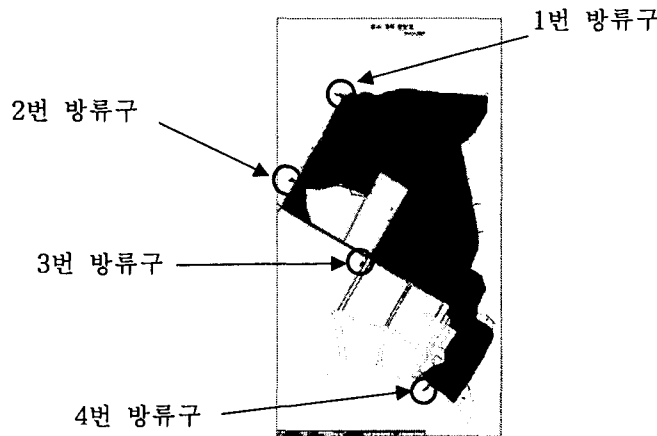


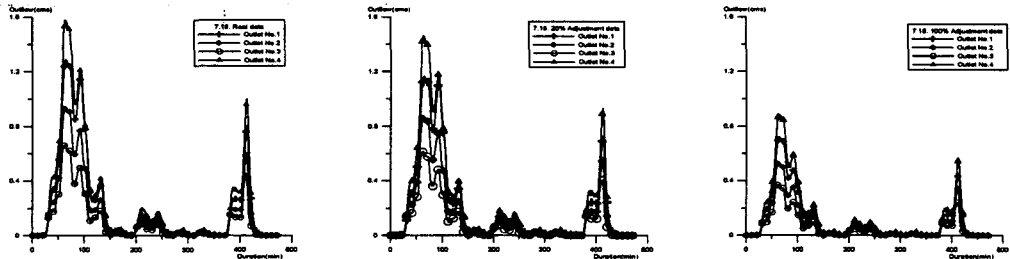
그림 6. 대상지역의 유역도

수치모형을 적용한 대상지역은 경기도 용인시 기흥읍 구갈리, 신갈리 일대에 1995년 11월 13일~1999년 6월 30일에 걸쳐 진행된 기흥구갈 2지구 택지개발사업 지역을 본 연구의 대상유역으로 선정하였다. 대상지역은 전체 면적의 약 72%가 주택, 상업용지 및 도로 등의 불투수 용지로 이루어

어져 있으며 전체 면적의 약 28%가 도로 및 주차장으로 투수성 포장을 적용할 수 있는 지역으로 구성되어 있다.

이 지역은 4개의 방류구로 구성되어 있으며 1번 방류구는 유역면적이 22.51ha이며 이중 60.94%가 불투수 지역으로 구성되어 있으며, 2번 방류구는 유역면적이 14.19ha이며 이중 73.77%가 불투수 지역으로 구성되어 있다. 3번 방류구 유역은 9ha의 유역면적과 이중 79.83%가 불투수 지역이며, 4번 방류구의 유역면적은 22.30ha이며 이중 77.85%가 불투수 지역으로 구성되어 있다.

3.1 7월 15일 강우사상 모의 결과

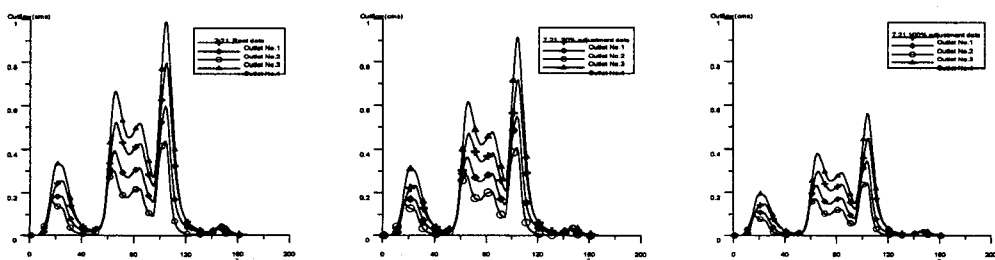


(a) 현상태 적용시 (b) 20% 투수성포장 적용시 (c) 100% 투수성포장 적용시
표 1. 각 유출구별 유출량 (7월 15일 강우사상) ()은 저감율(%)

	평균 유출(m³/sec)			최대유출(m³/sec)			총유출(m³)		
	현상태	20%	100%	현상태	20%	100%	현상태	20%	100%
1번 유출구	0.189	0.1735 (8.2)	0.0979 (48.2)	1.289	1.164 (9.7)	0.72 (44.14)	6113	5610 (8.23)	3166 (48.21)
2번 유출구	0.1345	0.1251 (6.98)	0.0713 (46.98)	0.945	0.87 (7.94)	0.5286 (44.06)	4350	4047 (6.97)	2305 (47)
3번 유출구	0.0914	0.0855 (6.46)	0.0493 (46.06)	0.6631	0.614 (7.4)	0.3685 (44.43)	2955	2764 (6.46)	1593 (46.09)
4번 유출구	0.2218	0.2077 (6.36)	0.1204 (45.72)	1.578	1.463 (7.29)	0.8881 (43.72)	7174	6717 (6.37)	3893 (45.73)

투수성 포장을 적용하지 않은 현 상태, 실제 투수성 포장재의 시공이 가능한 지역의 20%에 투수성 포장을 적용한 상태, 투수성 포장재의 시공이 가능한 지역 100%에 투수성 포장을 적용한 상태를 비교하면 표 1과 같다. 이에 의하면 현상태 보다 투수성 포장재를 사용한 경우 현저히 유출량이 감소함을 볼 수 있으며 특히 투수성 포장재를 시공 가능한 지역의 20%에 사용한 경우보다 100% 사용한 경우 각 유출구 모두 45% 내외의 큰 유출량 감소를 보이고 있어 투수성 포장의 효과를 확인할 수 있다.

3.2 7월 21일 강우사상 모의 결과



(a) 현상태 적용시 (b) 20% 투수성포장 적용시 (c) 100% 투수성포장 적용시

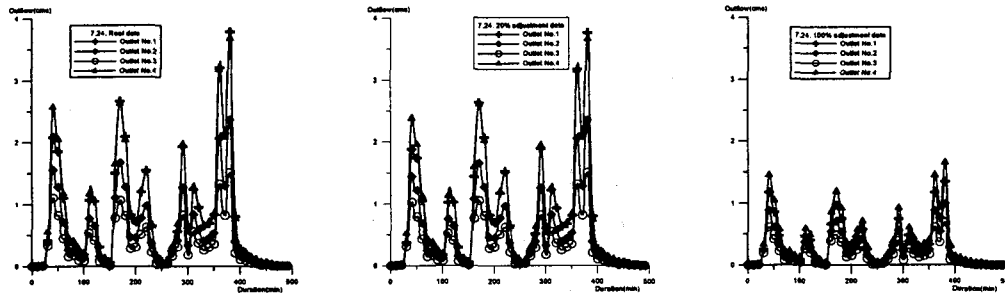
표 2. 각 유출구별 유출량 (7월 21일 강우사상)

()은 저감율(%)

	평균 유출(m ³ /sec)			최대유출(m ³ /sec)			총유출(m ³)		
	현상태	20%	100%	현상태	20%	100%	현상태	20%	100%
1번 유출구	0.1578	0.1423 (9.82)	0.0877 (44.42)	0.7935	0.7173 (9.6)	0.4485 (43.48)	1874	1690 (9.82)	1041 (44.45)
2번 유출구	0.1157	0.1064 (8.04)	0.064 (44.68)	0.5987	0.5532 (7.6)	0.344 (42.54)	1375	1264 (8.07)	760.3 (44.71)
3번 유출구	0.08	0.074 (7.5)	0.0444 (44.5)	0.4373	0.4057 (7.23)	0.2445 (44.09)	950.2	879.1 (7.48)	527.2 (44.52)
4번 유출구	0.1925	0.1778 (7.64)	0.1081 (43.84)	0.9865	0.9145 (7.3)	0.5622 (43.01)	2287	2112 (7.65)	1284 (43.86)

이 경우 또한 80cm 투수성 포장제는 물론 20cm 포장제도 유출이 발생하지 않았으며, 각 유출구의 유출량은 앞의 경우와 비슷한 결과를 보이고 있다.

3.3 7월 24일 강우사상 모의 결과



(a) 현상태 적용시

(b) 20% 투수성포장 적용시

(c) 100% 투수성포장 적용시

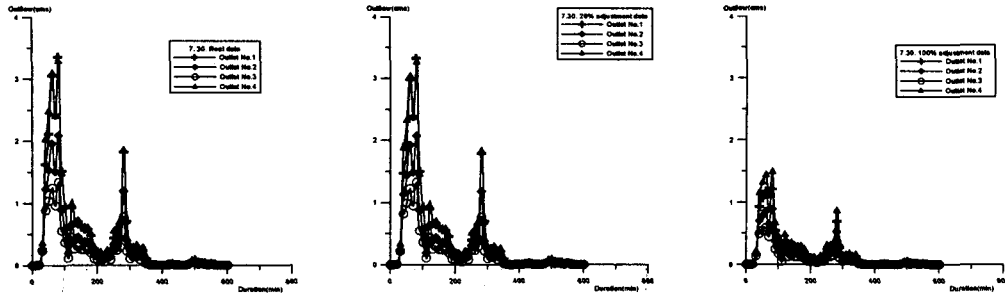
표 3. 각 유출구별 유출량 (7월 24일 강우사상)

()은 저감율(%)

	평균 유출(m ³ /sec)			최대유출(m ³ /sec)			총유출(m ³)		
	현상태	20%	100%	현상태	20%	100%	현상태	20%	100%
1번 유출구	0.7226	0.6997 (3.17)	0.2945 (59.24)	3.831	3.804 (0.7)	1.359 (64.53)	23370	22630 (3.17)	9525 (59.24)
2번 유출구	0.4675	0.4537 (2.95)	0.2146 (54.1)	2.374	2.362 (0.51)	0.9952 (58.08)	15120	14670 (2.98)	6941 (54.09)
3번 유출구	0.3056	0.2968 (2.88)	0.1483 (51.47)	1.516	1.506 (0.66)	0.6894 (54.53)	9883	9599 (2.87)	4795 (51.48)
4번 유출구	0.7498	0.7282 (2.88)	0.362 (51.72)	3.731	3.708 (0.62)	1.672 (55.19)	24250	23550 (2.98)	11710 (51.71)

이 강우사상의 경우 20cm 두께의 투수성 포장에서 적은 양의 유출이 발생하였다. 또한 이 강우 자료를 대상지역에 적용한 결과 현재 상태로 개발된 경우와 도로의 20%에 투수성 포장을 적용한 경우는 관의 통수능을 넘는 유출이 발생을 하여 침수피해가 예상되며 투수성 포장재를 적용할 경우는 홍수 피해를 예방 할 수 있음을 볼 수 있다.

3.3 7월 24일 강우사상 모의 결과



(a) 현상태 적용시 (b) 20% 투수성포장 적용시 (c) 100% 투수성포장 적용시

표 4. 각 유출구별 유출량 (7월 30일 강우사상) ()은 저감률(%)

	평균 유출(m ³ /sec)			최대유출(m ³ /sec)			총유출(m ³)		
	현상태	20%	100%	현상태	20%	100%	현상태	20%	100%
1번 유출구	0.4155	0.3987 (4.04)	0.1771 (57.38)	3.384	3.35 (1)	1.217 (64.04)	16430	15770 (4.02)	7001 (57.39)
2번 유출구	0.2734	0.2633 (3.69)	0.1291 (52.78)	2.1	2.083 (0.81)	0.8896 (57.64)	10810	10410 (3.7)	5103 (52.79)
3번 유출구	0.18	0.1736 (3.56)	0.0891 (50.5)	1.346	1.333 (0.97)	0.6155 (54.27)	7118	6864 (3.57)	3525 (50.48)
4번 유출구	0.4406	0.4247 (3.61)	0.2176 (50.61)	3.314	3.285 (0.88)	1.496 (54.86)	17420	16790 (3.62)	8605 (50.6)

이 강우사상 또한 20cm 투수성 포장에서 유출이 발생하였으며 대상지역의 적용 결과는 표 4와 같다.

4. 결론

본 연구에서는 투수성 포장의 우수유출 저감효과를 검토하기 위해 수리모형 실험을 통해 저감량을 산정하였다. 실험은 펌프에 의한 강우발생장치를 작동시킨 실험실내 실험뿐 아니라 실제강우에 대하여도 실시하였다. 이들로부터 얻어진 기초자료를 이용하여 PCSWMM 2000을 이용하여 실제 주택 단지내에서의 투수성 포장의 적용에 따른 유출변화를 모의한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 실제강우에 의한 실험결과 자전거 도로나 보도 등으로 사용되는 투수성 포장제에서도 유출이 거의 발생하지 않았으며 다만 집중호우시에는 유출이 발생하였으나 그 양은 극히 적었다. 따라서 저감효과는 매우 뛰어남을 보였으며 특히 강우강도가 약할 경우 그 효과는 더욱 크다.
- 2) 대상유역에 투수성 포장을 적용한 후 모의한 결과 전체 면적의 약 28%가 도로, 주차장 등 포장 지역이고, 현재의 투수성 포장이 적용 가능한 20%에 투수성 포장을 적용한 경우 약 6% 내외의 저감효과가 기대되며, 포장지역 전체에 투수성 포장을 적용한 경우 총 유출량이 약 절반가까이 감소하는 것을 수치모형을 통해 확인 할 수 있었다.