

인공함양시설 설치에 따른 유출특성 변화에 관한 연구

A Study of the Variation of Runoff Characteristics Depending upon Installation of the Groundwater Recharge Facilities

최 계 운* / 김 영 규** / 정 기 일***
Choi, Gye-Woon / Kim, Young-Kyu / Jeoung, Kee-II

Abstract

In this paper, in order to analyse the variation of runoff characteristics depending upon installation of the groundwater recharge facilities, the experiment basin was prepared and the ratio of infiltration and runoff volume were observed in the rainfall events. For the rainfall analysis, 4 types of rainfall events were examined during July 11 ~ July 17, 2004. The results show that the mean ratio of infiltration was 89.39% and the mean ratio of runoff was 10.61%. For the artificial rainfall events, which are in the range of rainfall intensities between 60mm/hr and 100mm/hr, all the rainfall volume was infiltrated through the groundwater recharging basin. However, it is necessary to be careful for the long term rainfall, the runoff can be occurred based on the groundwater table.

key words : groundwater recharge installtion, the ratio of runoff, the ration of infiltration, runoff characteristic

요 지

본 연구에서는 인공함양법을 적용한 유역에서의 유출특성 변화를 알아보기 위하여 실험유역을 설정하고 각각의 유역에 대하여 실제강우 실험과 강우모의 실험을 실시를 통하여 유출-침투특성을 분석하였다. 실강우시 유출-침투특성 분석을 위해 2004년 7월 11일 ~ 7월 17일 사이에 내린 4개의 강우사상에 대하여 분석을 실시한 결과 인공함양유역에서 유출이 발생하는 경우의 유출율 평균은 약 10.61%, 침투율 평균은 89.39%로 파악되어 유출되는 유량의 대부분이 인공함양법 적용에 의해서 침투가 가능한 것으로 나타났으며, 강우모의 실험에서는 강우강도의 변화와 상관없이 1시간의 지속시간을 가지는 60mm/hr ~ 100mm/hr 구간에서 유출되는 유량 없이 전량이 침투되는 것으로 나타났다. 그러나, 인공함양시설을 설치한 경우라도 장기간 강우 발생시 주위의 지하수 변화에 의해서 유출이 발생할 수 있으므로 주변의 지하수위에 대한 지속적인 관찰이 요망된다.

핵심용어 : 인공함양법, 유출율, 침투율, 유출특성

1. 서 론

현대사회는 산업화와 급격한 도시화로 인해 불투수성 면적이 증가하여 호우발생시 유출량과 침투유량이 증가하고 있으며 강우발생시 차집관로를 통해 직접 하수처리장으로 이송함에 따라 도시하천의 유량이 감소

하고 있다. 90년대 이후 도시화에 따른 인구의 집중으로 유역의 유출특성이 크게 달라졌고, 특히 지표면의 불투수층화로 지하침투량의 감소와 지중 유출이 감소되고 이에 따라 하천의 유량 또한 감소되는 결과를 초래하고 있다. 또한 지하수의 무분별한 개발로 인한 결과 도시하천의 건천화라는 현상으로 나타나고 있으며

* 정회원, 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수 (E-mail: gyewoon@incheon.ac.kr)

** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 박사과정

*** 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 석사과정

이러한 현상은 대부분의 도시 소하천에서 흔히 목격할 수 있다. 뿐만 아니라, 우리나라는 총강수량의 70 %가 6~9월에 집중되고 있으며, 단기간의 호우와 도시지역의 불투수면적 증가는 도시 하천의 범람을 발생시키고 이로 인해 도시지역의 홍수피해를 가중시키고 있다.

우리나라의 경우, 도시화에 따른 인구집중에 의해 지속적으로 발생하는 물 수요 증가를 충족하기 위하여 댐 및 저수지를 중심으로 하는 수자원 개발이 현재까지 계속되어 왔으나, 댐 및 저수지 건설에 따르는 부작용이 또 다른 문제로 작용하게 되어 기존에 이루어지던 수자원 개발방법에 비해 문제가 적고 개발비용이나 입지선정 등에 유리한 우수유출 저감시설 등의 방법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 인공함양법 역시 지하수의 확보를 통한 수자원 부존량 증대를 위하여 제시된 방안이라고 할 수 있다. 또한, 최근 들어 도시지역에서는 불투수면적의 증가로 인해 발생하는 많은 양의 유출수를 지하저류조에 저장시킨 후, 우기가 끝난 후 하천수 등으로 활용하는 방법이 많이 연구되고 있다.

본 연구에서는 수자원 개발에 한정되어 연구가 진행되어온 인공함양법을 도시지역에서 발생하는 지하수위 저하를 위한 수자원 확보방안 뿐 아니라 불투수면적의 증가에 대한 보안을 위해 지표함양법을 적용하는 경우 기대되는 유출수 저감 및 지하수 인공함양법의 적용성을 실제 실험을 통하여 파악하고자 한다.

2. 인공함양법 및 실험장치

2.1 인공함양법

도시지역에서의 지하수 함양량 감소현상은 도시화와 산업화에 따른 각종 구조물의 건설과, 아스팔트나 콘크리트 등으로 포장되어 불투수 면적으로 전환되고 있는 현상에 따른 것이다. 또한, 지표면을 통해 지하로 침투되던 유량들이 불투수 면적증가와 같은 이유로 표

면 유출량으로 전환되어 하천을 통해 직접 배수되고 있고, 이에 따른 지하수량의 부족으로 인하여 갈수기 하천의 유량이 더욱 감소하는 경향이 나타나고 있다. 일반적으로 지하수 및 지표수의 관계가 서로 밀접하게 연관되어 있기 때문에, 도시지역의 효율적인 수자원 활용을 위해서는 지하수량의 확보와 지표유출량의 저감이 동시에 이루어지는 것이 가장 효율적인 방법이라고 할 수 있다.

지하수의 인공적인 함양은 1810년 스코틀랜드의 글래스고우(Glasgow)에서 하천수를 침투지에 함양한 후 이를 채취수하여 용수로 공급하는 등 19세기 초반에 유럽에서 시작되었고, 이 후 침투우물을 활용한 방법 등 다양한 방법으로 발전하였으며, 1959년 이 후 이스라엘의 경우 수자원의 부존량이 절대적으로 부족한 사막지방의 농지화에 따른 물 수요증가 대비 차원으로도 적용하고 있는 등 활발하게 이루어지고 있다.

지하수 함양법은 지하수위가 낮은 지역에서 이를 보완하기 위해 적용되고 있는 방법으로 외부의 수원(水源)으로부터 대상 유역에 설치한 보어 홀(bore hole)형식의 침투우물이나 침투 트렌치, 투수성 포장, 침투 측구, 침투지 등을 통하여 수자원을 함양토록 하는 방법이다. 이와 같은 침투형 지하수 함양시설을 세분화 하여 다음의 그림 1과 같이 주입정에 의한 우물법(well method)과 지표하 침투를 유도하는 지표함양법(surface spreading method)로 구분하고 있다.

침투를 이용한 지하수 함양법 중 우물법(well method)은 투수계수가 크고 지하수위가 낮은 지역의 활용도가 높은 것으로 언급하고 있으며, 지하수위의 저하로 인한 해안 인근지반의 염수 침입 등에 대한 보안을 위해 사용하고 있다. 우물법의 적용을 위해 고려해야 할 사항은 대수층의 규모와 상태 및 함양의 정도와 함양우물의 직경, 주입방법 및 수원의 수질상태 등이 있다.

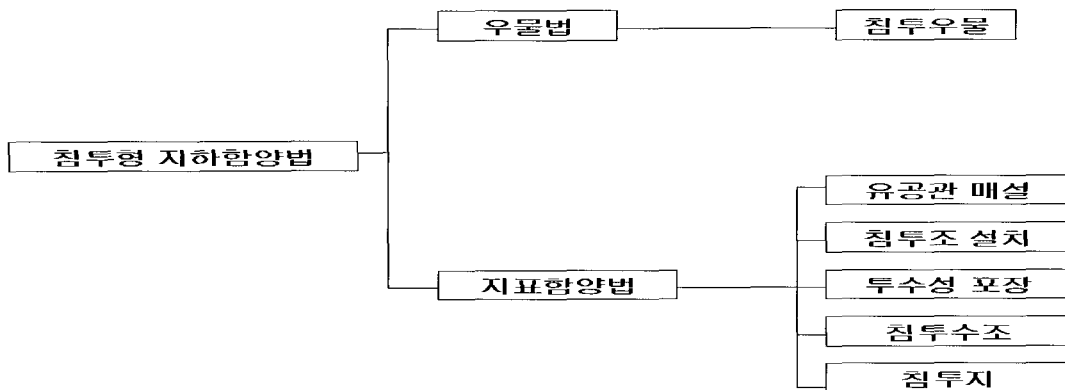


그림 1. 침투형 지하수 함양시설의 분류

지표함양법(surface spreading method)의 경우는 우물법과 같이 대수층 함양을 목적으로 행해지지 않고 지표와 그 인근의 물을 침투시켜 지하수화 하는 방법을 총칭하고 있다. 이에 따른 방법으로 별도의 침투조를 활용하는 방법이나 유공관 매설을 통한 함양방법, 투수성 포장의 이용 및 인공굴착 수로를 통하여 침투를 유도하는 방법, 침투지에 물을 저류 후 침투를 유발하는 방법 등이 대표적인 방법으로 알려져 있다.

2.2 인공함양장치의 구성

본 연구에서는 인공함양법을 활용한 유역과 일반 나대지 상태의 유역을 등면적으로 구성하고, 실제 강우시 유출량 파악 및 실험유역에 설치된 관측정을 통한 지하 침투량의 비교, 관측정을 통하여 시료를 채취하고 이를 활용하여 수질분석을 실시, 토양정화효과 등을 검증하고자 다음 그림 2와 같은 실험장치를 구성하여 실험을 실시하였다.

나대지 상태의 실험유역과 인공함양공 설치유역의 유역면적은 각각 12.5m²이며, 인공함양공 설치유역의 경우 지하에 유공관 3기가 0.5m 깊이로 매설되어 있다. 실험유역의 측면에는 측구가 구성되어 있어 유역에서 발생하는 유출수를 집수하는 역할을 한다. 나대지 상태의 실험유역에는 별도의 부가장치가 없이 유역에서 발생하는 유출수를 집수하는 측구와 집수된 유출수를 별도로 처리할 수 있는 상향식 여과장치와 연결되어 있어, 유출수가 발생하는 경우 이를 여과하여 저류할 수 있도록 구성되어 있다.

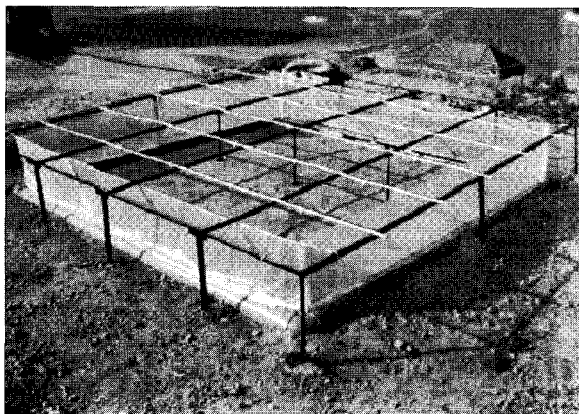
인공함양공 설치유역은 측구로 집수된 유출수가 측구에 설치된 유입구를 통하여 지하에 매설된 유공관을 통해 지하로 함양되는 구조를 가지고 있다. 또한 측구

의 내부에 8cm 높이의 위어(Weir)를 설치하여 유입구로 미쳐 흘러들어가지 못하고 유출되는 유량을 지연시켜 유공관으로 유입이 가능하도록 하였다. 유공관의 매설깊이는 0.5m이며 각각의 유공관은 사다리꼴 모양의 쇠석층으로 피복되어 있다. 실제 실험시, 사다리꼴 모양의 쇠석층은 유공관을 통해 유입된 유량의 원활한 지하 침투를 유도하고, 유입 유량이 급격하게 증가하는 경우에는 쇠석 사이의 공극이 이를 일정시간 저류하는 기능도 병행이 가능하도록 설치되었다.

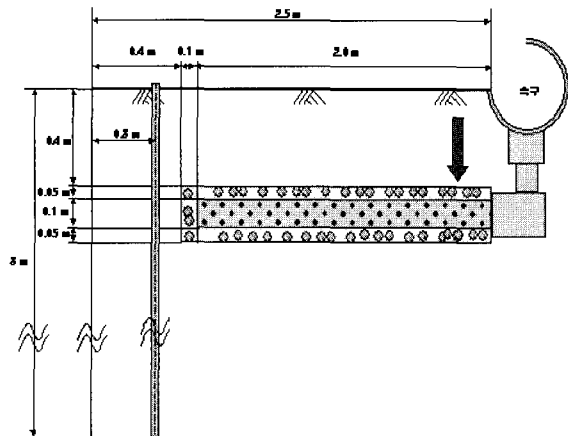
지하에 매설한 유공관은 유공율 10%의 유공관을 별도로 제작하여 설치하였으며 유공관의 재질은 PVC로 구성되어 있다. 실험유역에 300mm/hr 강우가 재하되는 경우를 가정하여 1시간에 발생하는 강우를 적용하여 유량 및 유속을 환산하였다.

각각의 유공관은 직경 10cm, 매설경사 1%로 설치하였다. Manning의 평균유속공식에 따라서 계산된 유공관내 유속은 0.66m/sec로 이를 활용하여 구한 단위시간당 유량은 18.58m³/hr이며, 각 유공관의 유공율은 약 10%이므로 18.58m³/hr중 약 1.58m³/hr가 실험유역의 침투유량으로 산정되었다. 유공관을 3기 매설하는 경우 총 4.74m³/hr의 유량이 유공관 내에서 임시저류 및 침투기능을 수행할 수 있는 유량으로 파악되었다.

인공강우실험을 위해 실험유역 전역에 동일한 간격으로 노즐 및 유량 공급부분에 순간유속계를 설치하였다. 본 실험에서 사용된 인공강우실험 강우강도는 60mm/hr, 80mm/hr, 100mm/hr로 이때 유입되는 유량은 1.5m³/hr, 2.0m³/hr, 2.5m³/hr이다. 또한, 노즐의 간격은 노즐의 입사각도를 고려하여 1m×1m 간격으로 설치하였다. 그림 3은 본 실험에서 사용된 순간유속계와 노즐을 나타내고 있다.

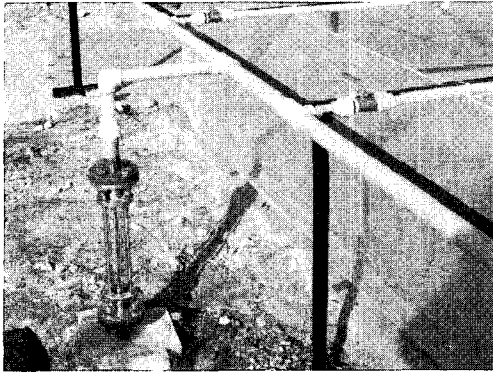


(a) 실험장치 전경

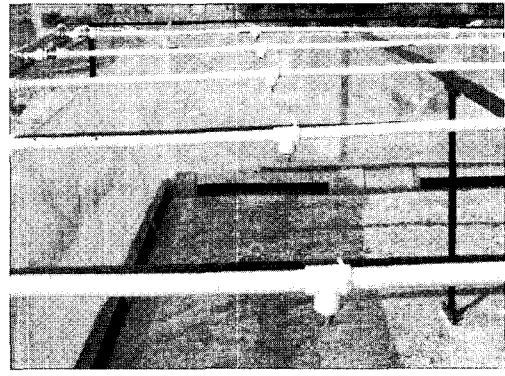


(b) 실험장치 측면도

그림 2. 실험장치 구성



(a) 순간유속계



(b) 노즐

그림 3. 순간유속계 및 노즐 설치 모습

3. 실험 방법 및 결과

3.1 실험 방법

본 연구에서는 발생한 실제 강우에 의해서 실험유역에서 발생한 유출수는 각각 인공함양유역 및 나대지 유역에서 발생하는 유출수로 분할되어 저류되도록 구성되어 있으며, 발생한 유출수에 대하여 유출량, 저류량을 산정하고, 나대지 유역을 통하여 유출된 유출수의 경우 상향식 여과장치를 통과한 후 저류되는 유량과 인공함양유역의 관측정을 통해 채취한 시료에 대하여 수질실험을 실시하여 상호 분석을 통해 인공함양법을 적용한 유역에서의 유출 특성을 분석하였다.

3.1.1 실제 강우 실험

2004년 7월과 9월에 발생한 인천지역의 강우에 의한 실험유역에서의 유출특성에 대하여 분석을 실시하였다. 분석을 실시한 항목은 강우지속기간 중에 발생하는 단위시간 유출량, 침투량이다.

표 1은 실험기간 중 인천지역에 재하된 강우의 누가 강우량, 강우지속시간, 선행무강우일수를 나타낸 것이다. 실험유역에 재하된 강우 중에서 3시간 이상 무강우가 지속된 경우에는 독립된 강우의 형태를 가지는 것으로 판단하였고, 실험기간동안의 강우발생일시, 누가 강우량, 지속시간은 다음과 같다.

3.1.2 강우모의 실험

실제 강우 실험에서 얻어진 실험유역별 유출량 및 침투량에 대한 비교 분석을 실시하기 위하여 강우모의를 이용한 유출량 및 침투량의 분석을 병행하여 실시하였다. 강우모의 실험에서는 노즐 1개당 분사범위가 1m²인 25개의 노즐을 균등 배치 후 자연풍의 영향을 배제하기 위해서 바람막이를 설치 후 실험을 실시하였다.

인공함양공의 설치에 따른 효과를 효율적으로 검증하기 위해서는 단위시간당 강우량의 변화에 따른 유출량과 침투량의 분석이 요구되므로 이를 위해서 위의 표 2와 같은 조건을 적용하여 강우모의 실험을 실시하

표 1. 실제 강우 실험에 적용한 강우량 자료

구분	발생 일시	누가강우량 (mm)	지속시간 (hr)	선행무강우일수 (day)
1	2004년 7월 11일 16시 ~ 7월 12일 07시	31.0	16	2
2	2004년 7월 12일 20시 ~ 7월 13일 13시	45.5	18	0.45
3	2004년 7월 15일 09시 ~ 7월 15일 18시	41.5	10	0.3
4	2004년 7월 15일 24시 ~ 7월 17일 14시	99.5	39	0.25

표 2. 강우모의 실험에 적용한 강우량 자료

구분	지속시간 (hr)	누가강우량 (m ³ /hr)	선행무강우일 (day)	강우강도 (mm/hr)
1	1	1.5	3	60
2	1	2.0	3	80
3	1	2.5	3	100

였다. 또한, 강우강도가 적은 경우보다 큰 경우에서 인공함양법을 적용한 구역에서의 효과를 검증하는 것이 바람직할 것으로 판단되어 실험에 적용한 강우강도는 각각 60mm/hr, 80mm/hr, 100mm/hr로 선정하여 실험을 실시하였다.

3.2 실험 결과 및 분석

3.2.1 강우 형상과 유출-침투량 분석

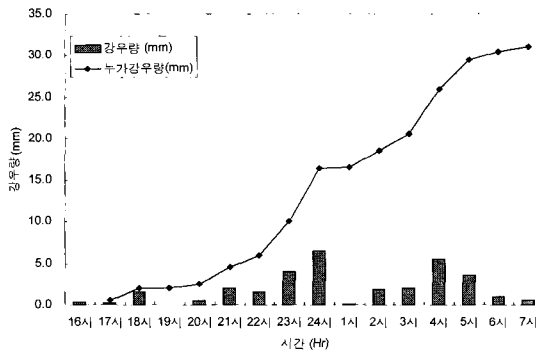
실험구역중 나대지구역에 실강우가 재하된 경우 발생하는 유출을 분석한 결과는 하단의 그림 4~7과 같다. 그림 4~7에서 보는바와 같이 강우 초기에는 유출이 발생하지 않고 대부분의 강우가 지표로 침투되는 양상을 보이고 있으며 강우량에 따라서 1~8시간의 침투시기를 거치는 것을 알 수 있다.

또한, 단위시간 강우량이 커질수록 유출량이 급격히 증가하여 침투량을 상회하는 변화가 일어남을 알 수 있는데, 이는 단시간에 많은 양의 강우가 재하되는 경우 더욱 두드러지게 나타났다. 실험기간중 나대지구역에서의 최대유출율은 7월 16일 오후 2시에 28mm/hr의

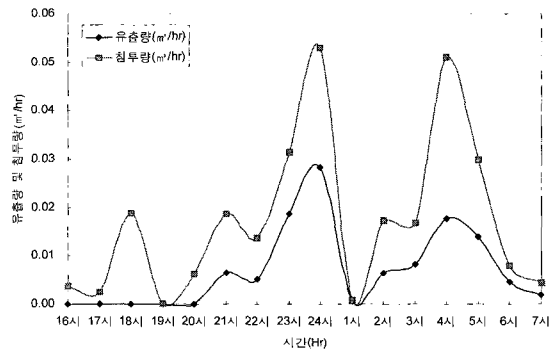
강우상태에서 45.5%를 나타내었다.

인공함양구역의 경우 측구를 통해 수집되는 유출수를 지하에 매설된 유공관을 통해 효율적으로 침투시킬 수 있도록 각 유입구 사이에 위어(Weir)를 설치하여 급격한 유출이 발생하거나 유입구를 지나 흐르는 유출수가 발생하는 경우 이를 일정시간 지연시키는 기능을 가지고 있다.

인공함양 구역에서 유출이 발생하는 경우는 지하에 매설된 유공관에서 침투되지 못한 유량이 측구까지 적체되는 경우 발생하게 되는데, 실험기간 중 인공함양 구역에서 유출이 발생한 횟수는 총 5회로 유공관 설계시 적용한 임시저류 가능유량인 4.74m³/hr에 미치지 못하는 경우에도 유출이 발생하게 된 이유는 장기간 지속된 강우로 인해서 실험구역의 주변 토양에 의하여 침투된 유량이 지하에 매설된 유공관으로 유입된 것으로 분석되었다. 인공함양구역에서 유출이 발생하는 경우 설치된 관측정을 통하여 측정한 지하수위는 하단의 표 3의 내용과 같다.

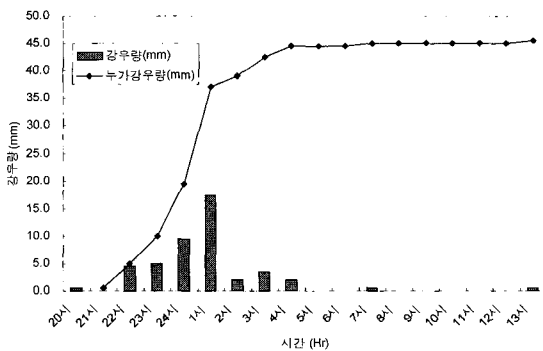


(a) 단위강우량과 누가우량

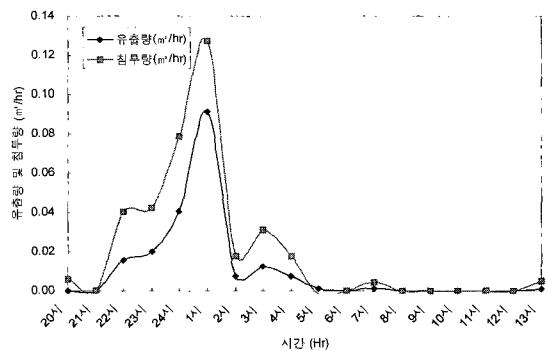


(b) 나대지구역 유출-침투곡선

그림 4. 2004년 7월 11일~12일 강우에 의한 침투 실험 결과

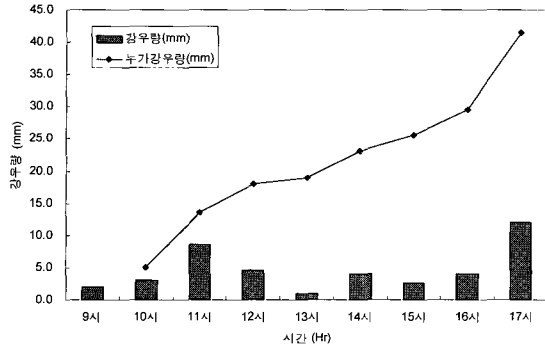


(a) 단위강우량과 누가우량

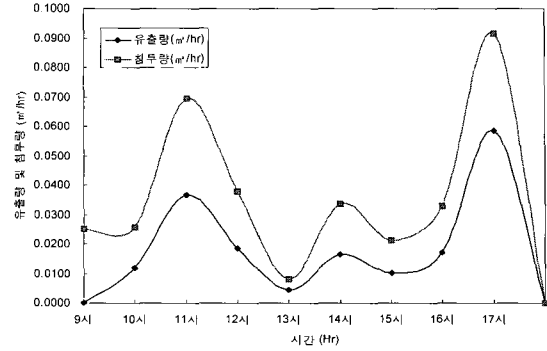


(b) 나대지구역 유출-침투곡선

그림 5. 2004년 7월 12일~13일 강우에 의한 침투 실험 결과

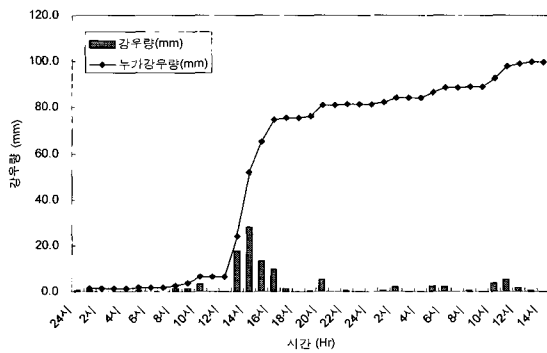


(a) 단위강우량과 누가우량

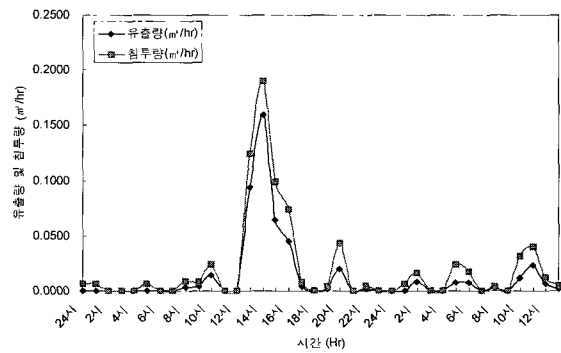


(b) 나대지유역 유출-침투곡선

그림 6. 2004년 7월 15일 강우에 의한 침투 실험 결과



(a) 단위강우량과 누가우량



(b) 나대지유역 유출-침투곡선

그림 7. 2004년 7월 15일~17일 강우에 의한 침투 실험 결과

표 3. 관측정을 통한 지하수위 측정결과 (인공함양유역 유출발생시)

구분	발생 일시	유출량(m³/hr)	지하수위(cm)
1	2004년 7월 12일 24시~ 7월 13일 01시	0.0339	-43
2	2004년 7월 14일 24시~ 7월 15일 01시	0.0100	-56
3	2004년 7월 15일 11시	0.0106	-57
4	2004년 7월 15일 17시	0.0200	-50
5	2004년 7월 16일 13시~ 7월 16일 16시	0.0967	-28

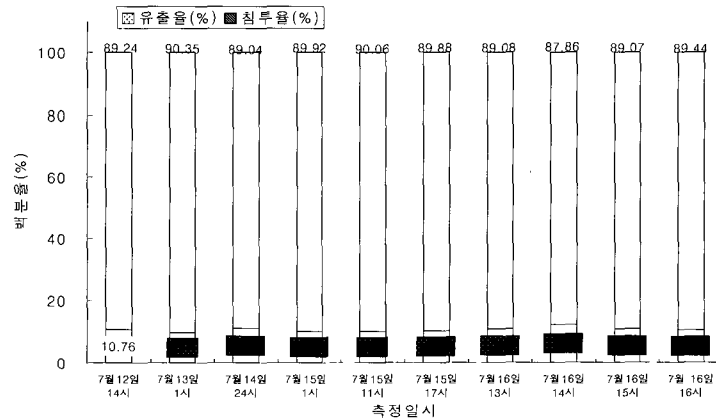


그림 8. 인공함양유역의 유출율-침투율 비교

그림 8에서 나타난 바와 같이 인공함양구역에서 발생한 유출-침투에 대한 분석을 실시한 결과, 인공함양 구역에서의 유출 발생시 강우량에 따른 총 유량과 비교했을 때 지속적으로 높은 침투율을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 인공함양구역에서 유출이 발생한 경우의 침투율 평균은 89.39%로 대부분의 유량이 지하로 함양되고 있는 것을 알 수 있으며, 또한 2004년 7월 16일 14시의 경우 실험기간 중 가장 높은 강우강도인 28mm/hr를 나타내고 있는데, 이 때의 인공함양법을 적용한 구역에서의 유출율은 87.86%로 급격한 강우강도의 변화에도 안정적인 지하 침투가 진행되고 있음을 알 수 있다.

3.2.2 강우모의에 따른 유출-침투량 분석

강우모의를 통하여 일정한 강우조건을 유지하면서 유출량과 침투량의 변화를 분석하였다. 각각의 실험은 유출이 시작된 후부터 총 60분간의 유출 변화를 관찰하였으며, 유출량과 침투량을 산정하였으며, 그림 9~그림 11은 각각 60mm/hr, 80mm/hr, 100mm/hr의 조건으로 강우모의 실험을 실시한 결과를 나타내고 있다.

각 실험에서는 유출이 발생된 후 유출량 갑자기 증가하기 전 10분을 초기유출구간으로 구분하였으며 초기유출구간에서는 1분, 2분, 4분, 8분 10분에 측정하였

으며, 초기유출구간이후 5분 간격으로 측정하여 분석하였다. 실험의 선행무강우일수는 3day로 동일하게 적용하였으며, 실험구역 표면 조건은 자생식생 상태이다.

나대지의 경우 60mm/hr의 강우모의 조건을 적용하여 실험한 결과 60분 동안의 발생한 총 유출량은 0.56m³/hr로 전체 유량의 평균 37.3%에 해당하는 유량이 유출되었다. 또한 80mm/hr의 조건을 적용한 경우 0.87m³/hr의 유량이 유출되었으며, 100mm/hr의 강우조건을 적용한 경우에는 총 유출량 1.16m³/hr, 유출율 평균 46.4%으로 측정되었으며, 이때 유출율은 각각 6.3%, 2.7%씩 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 인공함양법이 적용된 구역에서는 강우강도에 상관 없이 유출이 일어나지 않고 전부 침투되는 것으로 나타났다.

시간에 따른 강우강도별 실험구역 내의 유출율 변화를 살펴보면, 그림 12에 나타난 것과 같이 변화율이 가장 높은 0~10분 사이 구간에서는 강우강도의 변화에 따른 유출율 변화가 확연하게 구분되고 있으며 60mm/hr의 강우를 적용한 경우 유출이 발생한 후 30분이 경과한 시점부터 유출율의 안정이 이루어지는 반면에 80mm/hr의 경우는 약 15분 경과 후, 100mm/hr의 경우는 유출 후 8분 경과 후부터 유출율의 변화 폭이 매우 작게 나타나고 있다.

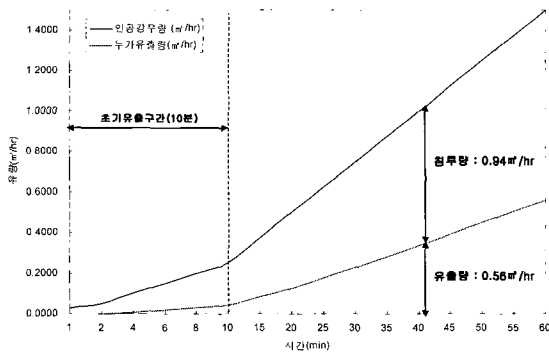


그림 9. 60mm/hr 에서의 유출량과 침투량

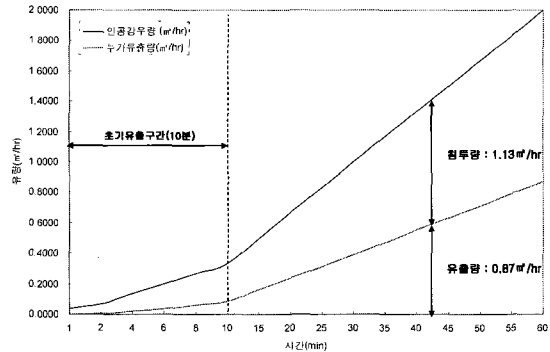


그림 10. 80mm/hr 에서의 유출량과 침투량

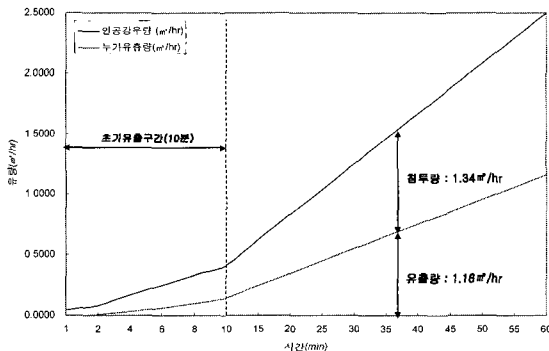


그림 11. 100mm/hr 에서의 유출량과 침투량

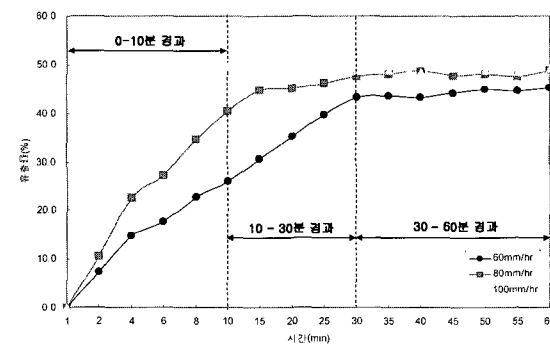


그림 12. 유출율의 변화

4. 결 론

본 연구에서는 인공함양법을 적용한 유역에서의 유출특성 변화를 알아보기 위하여 실험유역을 설정하고 각각의 유역에 대하여 실제강우 실험과 강우모의 실험을 실시를 통하여 유출-침투 효과를 분석하였다. 유출-침투특성 분석을 위해 2004년 7월 실험유역에 내린 실제강우를 4가지의 케이스로 구분하여 분석을 실시하였고, 강우모의 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인공함양법을 적용한 유역의 유출-침투 분석결과, 실제강우시 발생하는 표면유출량의 대부분을 인공함양장치로 유도하여 초기 및 장기 유출량을 저감시킬 수 있으며, 본 연구에서는 일반 나대지의 경우 약 45%의 유출이 발생하였으나, 인공함양법을 적용할 경우 10%내외의 유출을 나타내고 있다. 이와 같은 인공함양시설을 도심지 또는 상습침수지역에 설치할 경우 유출량 저감효과로 인하여 불투수 면적이 많은 도심지역이나 침수지역의 홍수 피해를 크게 감소시킬 수 있으며, 저류된 우수는 갈수시 하천유지용수 등으로 활용이 가능하다.
2. 강우모의 실험에서 인공함양법을 적용한 유역에서 강우강도의 변화에 상관없이 유출이 일어나지 않았으나, 실강우시 선행강우 등의 조건에 의해 주변지역의 지하수위 변화 등에 의해 유출이 발생할 수 있다.
3. 실강우 실험을 진행한 결과, 강우강도 및 선행강우일수에 따른 차이는 있으나 나대지 유역의 유출은 강우가 시작된 후 약 1~8시간 후에 관측되었으며, 인공함양법을 적용한 유역의 경우 강우가 지속되는 기간중 단위 시간 강우량이 최대치를 보이는 시점에서 짧은 시간동안 관측되는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 환경부(환경기술진흥원)의 2004년도 차세대핵심기술개발사업인 “도시 관류 하천의 유지유량 확보 및 자연정화기능 향상기술”을 위한 연구비로 수행되었으며 이에 깊은 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 배상근 (1999) 지하수 함양량 증강 방안. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제32권 제6호, pp. 38~44.
2. 안상진, 이종형 (1990) 지하매관에 의한 지하수함양 연구. 수공학논총, 한국수문학회, 제32권, pp. 61~79.
3. 이동률, 구호본 (2000) 강우량과 지하수위를 이용한 지하수 함양특성 분석. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제33권 제1호, pp. 51~59.
4. 최계운, 최종영, 이진원 (2003) 지하 빗물시설 설치에 따른 유출 저감효과 분석. 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제36권, 제3호, pp. 455~464.
5. 최윤영 (2001) 우수침투에 의한 지하수 함양. 기초과제 연구보고서, 한국수자원학회, pp. 343~360.
6. Jinqun Wu, Renduo Ahang (1996) Analysis of Rainfall-Recharge Relationships. *Journal of Hydrology*, ASCE, Vol. 177, pp. 143~160.
7. Richard G. Yaylor, Ken W. F. Howard (1996) Groundwater Recharge in the Victoria Nile Basin of East Africa: support for the soil moisture balance approach using stable isotope traces and flow modeling. *Journal of Hydrology*, ASCE, Vol. 180, pp. 31~53.

◎ 논문접수일 : 2004년 11월 30일

◎ 심사의뢰일 : 2004년 12월 01일

◎ 심사완료일 : 2004년 12월 21일