

지하수 함양량 증강 방안

배 상 근 (계명대학교 토목공학과 교수)

1. 서론

도시화가 진전됨에 따라 포장면적이 증가하는 등 불투수지역의 증대에 의하여 지하수 함양량이 감소함에 따라 종래의 하천 유역이 가지고 있던 갈수 또는 강수시의 보수 및 저수기능이 줄어들고 있다. 또한 토지가 개발됨으로 인하여 농지나 산림지 등 침투성과 보수성이 양호한 토지 이용이 감소하여 전에는 지중에 침투하여 지하수가 되던 경우가 하천으로 직접 유출하게 됨에 따라 지하수함양기능에 변화를 가져와서 갈수기의 하천유량이 급감하였다. 이와같이 유역의 개발에 의하여 우수의 지하수 함양량이 감소함에 따라 하천유지유량의 감소 고갈을 초래하였다. 갈수시의 하천유량감소는 물 이용을 더욱 어렵게하고 하천 수질을 악화시키며 물 공간에 있어서의 생태계, 경관 등에도 나쁜 영향을 미치게 되었다. 이와같이 경제발전이 진행됨에 따라 지하수 함양량의 감소를 초래하게 되어 유역의 물 순환 기구가 변화하여 하천의 수량과 수질의 양면에 걸쳐 수문환경의 악화가 사회문제가 되는 등 여러가지 문제가 발생하여 왔다. 경제가 성장함에 따라 물 이용이 점점 증가하고 있는 반면 수문환경은 더욱 열악해져가고 있기 때문에 수문환경 보전을 위한 대책이 필요하다. 물 수요의 증가에 대처하기 위하여 댐을 중심으로한 수자원 개발이 이루어지고 있으나 최근의 수자원 개발은 댐 등 건설적지의 감소와 개발비용의 상승 등의 문제로 인하여 점점 어려워지고 있다. 따라서 새로운 수자원 확보수단이 요구되며 그 방안의 하나로 지하수 함양량 증강을 통한 수자원개발이 고려 될 수 있다. 또한 자연함양량을 초

과하여 지하수를 이용하는 지역에서는 지하수위의 과다한 저하를 초래하여 이에 따른 지하수재해가 발생할 수 있다. 이런 지역에 대하여 지하수재해를 방지하고 지하수의 유용한 이용을 확보하기 위하여 지하수의 함양량 증강이 요구된다.

지하수 함양량의 증강은 이상과 같이 도시화와 개발 및 부적절한 수자원의 이용에 의하여 쇠약해져가고 있는 물순환을 회복하고 보전하는 역할을 한다. 그 구체적인 역할로는 지하수위의 회복, 침투유량의 감소, 하천유지유량의 회복, 식생의 보호 등이다. 침투유량의 감소로 치수대책(방기성, 1999; 이종국, 1999; 이창해, 1999; 이홍래, 1999; 조원철, 1999)에도 중요한 역할을 하는 등 다양한 기능과 효과를 가지고 있어 수문환경을 보전하는데 대단히 유용한 방법이다.

수자원이용에 있어서는 지하수와 하천수가 서로 보완적인 것이어서 지하수 함양량이 증강되면 하천수의 저수유량이 증가되어 갈수대책이나 댐용량의 유효한 이용이 가능하다. 유황의 변동이 크나 수량이 풍부한 하천수와 저수능력이 큰 지하수의 함양량을 증강시켜 서로 융통시키면서 운용하면 유역전체의 물을 조금이라도 더 유용하게 이용할 수 있게된다. 이와같이 하천수와 지하수를 같이 이용함으로써 물의 합리적 이용을 도모하고자 하는 것이 지하수의 함양량 증강의 주요 목적이다. 함양량 증강에 의하여 지하수를 강화시킴으로써 수자원을 보다 효율성있게 이용할 수 있는 여지가 커지게 됨으로 이에 대한 필요성이 최근에 이르러 지적(최영박, 1998)되고 있으나 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본고에서는 지속가능한 지하수개발

을 위한 합리적인 수자원이용과 열악해져가고 있는 물 순환회복에 유효한 지하수 함양량 증강방안에 대하여 고찰한다.

2. 침투형 시설에 의한 지하수 함양

침투형 지하수 함양시설은 그림 1.과 같이 주입정에 의한 우물법과 지표면에 근접한 곳에서 침투시키는 확산법으로 대별된다. 이들 시설의 개념도가 그림 2.에 나타나있다.

2. 1 우물법

우물법은 지하수체로의 염수 침입방지, 지반 침하 대책 등에 주로 사용되며 투수계수가 크고 지하수위가 낮은 지역에 활용성이 높다. 본 기법에 의한 인공함양을 실시하는데는 대상지역의 대수층의 특성, 지질의 투수성, 지하수위, 지하수의 이용현황 등을 조사하여 우물의 구조, 함양수량, 대수층의 선택, 함양수원, 수처리법 등에 대하여 검토할 필요가 있다. 함양수의 수원은 강수, 지표수, 상수도수, 공업용수도수 등이 있으며 수온과 수질에 대해서는 사전에 조사하여 수원으로서의 적합성에 대한 검토가 있어야 한다. 우물법에 의한 지하수의 인공함양을 계획할 시에는 다음 사항에 대하여 조사할 필요가 있다.

1) 환경

대상지역의 지하수에 대한 전반적인 조사가 선행되

어야한다. 조사내용은 지하수이용 현황과 지하수리의 해석으로 대별된다. 현황조사에서는 지하수이용 실태를 용도별 및 대수층별로 분석하며 인공함양의 수원이 되는 냉각 냉방배수의 실태(양, 온도, 배수시기 등)도 함께 조사한다. 지하수 수리조사에서는 착정자료를 기초로한 지하지질, 대수층의 투수성, 지하수위의 형태, 지하수의 화학적 성질 등의 기초자료를 수집한다. 이들 두 종류의 조사결과를 종합적으로 고찰함으로써 인공함양지역의 결정을 비롯한 유익한 판단을 할 수 있게된다.

2) 대수층

대수층이 어느 정도의 규모를 가지고 지하수위가 저하하여 있다면 주입한 물은 지하수가 된다. 함양지역에 여러 대수층이 있을 경우에는 어느 대수층이 함양하기 쉬운가에 대한 검토가 필요하다.

3) 우물

함양우물의 배치는 함양의 목적, 함양수원의 종류 등에 의하여 결정된다. 우물의 구조는 단층채수형으로 수위의 관측이 관의 내외에서 가능해야한다. 스트레나의 구조는 특별히 요구되는 것은 없으나 재질이 스텐레스 일 것이 요구된다. 충전재료가 필요할 것인지에 대한 여부가 검토되어야 하며 만약 필요하다면 직경이 75~100mm 정도의 크기를 가진 것이 좋다.

4) 주수

주수방법은 지표면 이상으로 수두압을 걸리지 않게 하는 자연 주수법으로하나 특수한 경우에는 가압 주수법도 가능하다. 자연 주수법에서는 전용관에 의해 주수되고 이때 공기가 혼입되지 않게 유의하며 주수관의 선단은 우물내의 수면이하에 넣는다. 주수법에 의한 인공함양을 실시하는 시기는 함양수원의 종류에 따라 년중 실시하거나 계절적으로 제한하여 실시될 수 있다.

5) 수원

함양수의 수원은 함양에 의하여 눈막힘과 수질이나 수온에 의

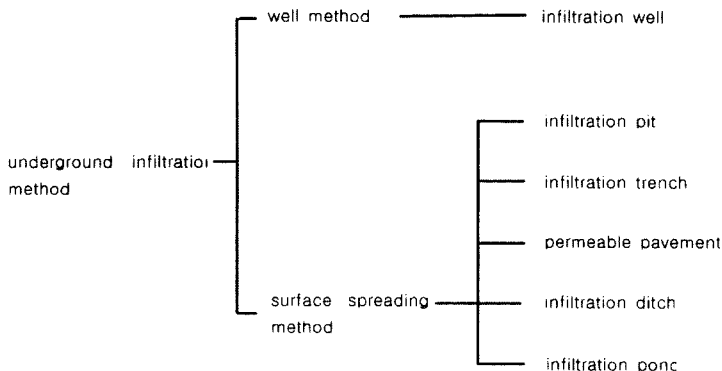


그림 1. 침투형 지하수 함양시설의 분류

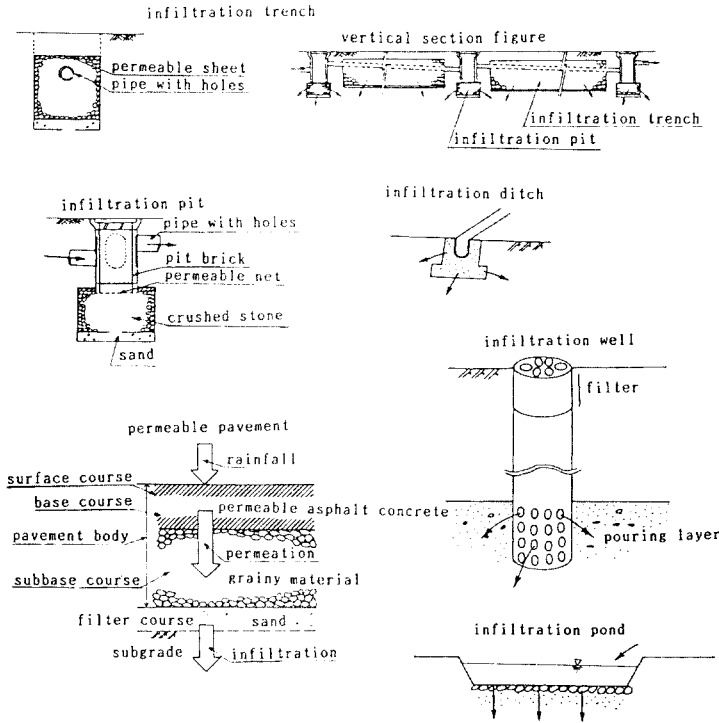


그림 2. 지하수 함양시설 개념도

한 지하수오염이 발생하지 않는 것이어야 한다. 특히 눈 막힘은 함양수의 수질 수온과 밀접한 관계가 있기 때문에 수질에 대한 비교검토가 사전에 이루어져야 한다.

2. 2 확수법

지표함양법 또는 분산침투법이라고도 하며 지표 또는 지표 부근의 물을 침투시켜 지하수화하는 방법으로 확수시설의 차이나 침투시키는 방법과 상황에 따라 다음과 같이 분류된다.

확수법 중 침투지는 설치를 위하여 넓은 면적이 필요하기 때문에 도시지역에서의 활용은 쉽지 않다. 따라서 나머지 네 가지 유형의 방법이 유역의 지하수 함양에 의한 지하수 보전대책에 널리 이용될 수 있다.

1) 침투조법: 침투조에 집수한 우수를 저면 및 측면에서 방사상으로 분산침투시키는 방법. 침투조는 쇄석을 채운 층의 위에 설치한다. 통에 유입한 우수는 통의 저면에서 쇄석층을 통과하여 지중에 침투한다.

2) 지하매관법: 지하 토양층에 유공관을 매설하여 물을 흘려 보내서 함양시키는 방법으로 대개 지하 30-60cm의 위치에 직경 38-75mm 정도의 토관을 묻어 급수한다. 본 시설은 지상의 토지 이용에 영향을 미치지 않아 용지 취득이 불필요하고 지하수 함양의 기술적으로 가장 중요한 눈막힘의 염려가 적어 대단히 유효한 지하수함양법의 하나이다(이종형, 1991).

3) 투수성포장: 우수를 직접 포장체내로 끌어와서 포장체의 저류능력과 노상의 침투능력에 의해 우수를 분산 침투시키는 포장.

4) 수로법: 인공으로 굴착한 수로로 물을 흘려보내면서

침투시키는 방법.

5) 침투지법: 인공적으로 만든 얇고 넓은 인공 저수지를 만들어 여기에 물을 담아 침투시키는 방법. 침투지의 규모는 지형, 지질, 급수량으로 결정한다. 외국의 예는 400m²~0.12km² 정도의 것이 많다(石崎와 北川, 1979).

침투공법은 그림 3.에서와 같이 여러 가지 시설을 유기적으로 연결시키고 있다. 우수의 유하 상황을 상술하면 옥상, 도로, 녹지 등에 내린 비는 먼저 침투조에 유입한다. 이 유입수의 수량이 침투조의 침투능력을 초과하면 침투조내의 수위가 상승하여 유공관을 통하여 다음의 침투조에 유입한다. 또한 그 침투조내의 수위가 상승하면 유공관의 구멍에서 쇄석층내로 물이 유입하여 지중에 침투한다. 이때 강우초기의 우수는 탁도, 부유물 등이 많으나, 이것은 침투조내에서 침전되며 침투매관 쇄석내에는 그 위의 깨끗한 물이 유입한다. 그러기 위하여 유공관의 바닥부분에는 구멍을 내지 않는다. 본 그림에 나타낸 방법은 단독으로

사용하는 것이 아니라 개발지역의 입지특성 및 형태에 따라 시설의 이점을 살린 복합적인 이용이 필요하다. 대구광역시 지역을 모형지역으로 설정하여 지표면의 침투율을 개선할 시의 지하수에 미치는 영향에 대한 연구에 의하면(김수원 과 배상근, 1996) 시가지의 침투율 개선으로 인하여 연 평균 30cm이상의 지하수위 상승효과가 나타나며 지하수유동에도 좋은 영향을 미침을 알았다. 이 결과로부터 강우의 침투율 개선이 지하수보존에 효과적임을 규명하였다. 이와같이 침투형시설은 개발에 따라 증대하는 우수유출수의 지하수화에 의한 지하수함양효과와 도시하천의 소통 능력에 대한 부하의 경감에 의한 우수유출의 억제효과를 갖는 효용성이 큰 방법으로 적극적으로 도입하는 것이 요망된다.

3. 지하댐에 의한 지하수함양

지하의 대수층을 이용하여 지하수를 함양함으로써 하천의 유황을 평활화하여 수자원을 개발하는 시스템이다. 지하에 저수지와 같은 것을 만들어 물을 저류하는 지하댐에는 지하 차수벽에 의하여 저수용량을 크게 하기 위한 것과 차수벽을 설치함이 없이 적당한 형상의 지하수역에 있어서 지하수 유동의 느낌을 이용하여 저류를 크게 하는 것이 있다. 지하댐의 적지조건은 지층이 사력층이나 큰 공극을 가진 석회암 등으로 형성되어 있어 지하수함양이 용이하며 점토층이 두껍게 분포하는 등으로 인하여 지하수위의 변동에 의하여 커다란 장해가 발생하지 않는 지역이어야 한다.

지하댐에 의한 수자원 개발이 필요하게 되어 이를

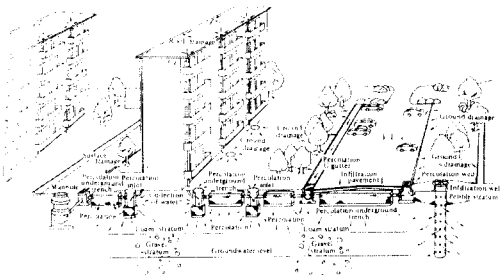


그림 3. 주택단지의 지하수함양시설 공법

위한 검토가 행해질 때에는 지하댐의 위치와 형식 및 규모에 대하여 수문조건, 지형조건, 지질조건, 지역사회의 조건 등에 대한 검토가 있어야 한다. 수문조건으로부터는 지하수위의 상황, 자연 함양량, 하천의 유황 등의 검토를 행하며, 지형과 지질 조건으로부터 지하댐의 저류용량, 저류효율, 차수벽 설치에 의한 효과 등을 검토하며, 지질조건 검토와 병행하여 개발 가능량 및 물 개발가격을 계산한다. 지역사회조건에 대해서는 지역의 개발계획, 물 수요 예측과의 적합성을 검토한다. 이로부터 지하댐의 가능성에 대하여 어느 정도 파악이 되면 상세한 검토를 하여 지하댐 시설계획과 운용계획에 대한 검토가 있게 된다(배상근, 1999). 지하댐에 의한 수자원개발의 원리는 댐과 같으나 특정 유황에 대한 개발 가능수량이 댐의 경우에는 댐 용량 만에 의하여 결정되는데 반하여 지하댐의 경우에는 지하댐의 용량과 함양시설 능력의 양자에 의하여 결정된다.

4. 논에 의한 지하수함양

우리나라에서는 의식하지 않는 가운데 논외의 관개 용수로부터 대규모의 지하수함양이 이루어지고 있다. 논은 넓은 면적에 장시간 물을 저류함으로 많은 양의 물을 지중에 침투시킨다.

관개기에는 논에서 많은 양의 지하수가 함양되어 지하수위가 상승한다. 논에서 함양되는 지하수는 긴 시간에 걸쳐서 하천에 환원 되어 하천유량의 안정에 도움을 준다. 특히 갈수시에는 하천 수위가 저하함에 따라 지하수가 하천에 유입하여 하류에서의 취수량을 안정시킨다.

즉 논외의 지하수 함양기능은 풍수시에 저류한 물을 갈수시에 방류하는 이수댐과 같은 기능을 하고 있다. 논에서는 일반적으로 썩레질 용수로 100-150mm의 물이 필요하나 이 수량의 대부분은 침투하여 지하수가 된다. 이것은 수자원의 수급에 어려움을 초래하기도 하나 지하수저류가 하천유지유량에 기여하는 바가 크다. 벼농사 기간 중의 논외의 1일당 감수심은 평균 20mm정도이다. 이중 평균적인 증발산량은 5mm정

도로 15mm/day 정도의 지하수를 함양하고 있다. 관 개기간을 120일로 생각하면 관개기간 중의 지하수 함양량은 1800mm에 달한다(三菱綜合研究所, 1992). 위와같은 결과를 얻기 위하여 우리나라의 논이 갖는 침투능에 대하여 충분한 연구가 있어야겠지만, 일본의 자료를 토대로 우리나라 논의 감수심과 증발산량이 일본과 같다고 가정하고 개략적으로 전국 논의 관개기간 중의 지하수 함양량을 계산하면 1800mm × 1,042,490ha(농림부, 1995) = 187.6억㎡이 된다. 이양은 우리나라 지하수 함양량의 추정치(최병수, 1992)인 205억㎡에 근접하는 양이다. 이와같이 논에서 함양된 다량의 지하수는 하천의 유황안정에 크게 기여하고 있다. 따라서 논의 관개는 가장 효율적인 지하수 함양의 한 방법이다. 논이 지하저류에 적합한 지역에 넓게 평면적으로 분포하여 침투지로서 이용할 수 있으며 토지이용에 문제가 생기지 않는 지역에서는 비관개기에도 침투시설로 활용할 수 있기 때문에 대단히 경제적인 지하수함양이 가능하다. 인위적으로 잉여 지표수를 침투시켜 지하저류를 증대 시켜도 댐과 같이 임의의 조절 이용은 할 수 없고 지하저류수의 무효유동은 저지가 어렵기 때문에 넓은 지역에 대용량을 저류하는 것이 바람직하다.

5. 삼림에 의한 지하수함양

산림지의 우수침투 현상은 토지조건이 변하지 않는 한 거의 일정한 침투능을 갖는다. 삼림이 가진 수원 함양기능 즉 물 보전 기능은 하천유출의 홍수와 갈수위를 완화하는데 기여한다. 그림 4.는 브라질 상파울로주 해안산맥의 삼림유역의 물순환 과정과 년 강우량의 물수지 각 성분의 백분율을 나타낸 것이다(藤技, 1996).

이 그림에 의하면 연강우량에 대한 연 수관 통과량은 77%, 년 수관유하량은 1%이며 연 강우량의 17%가 수관층에 의해 차단되기 때문에 임지 도달우량은 78%가 된다. 임지의 표층부는 침투능이 높기 때문에 지표면에 도달한 강우의 거의 전부가 침투하여 토양수분이 된다. 토양수분의 대부분은 지하수를 함

양(59%)하여 대수층에 지하수로 저류된 후 기저유량이 된다. 직접유출량은 표면유출 성분(5%)과 중간유출 성분(6%)으로 연 강우량의 11%에 상당한다. 본 그림으로부터 삼림이 갖는 토양수분 저류기능에 의한 지하수함양에 미치는 역할의 중요성을 알 수 있다. 일본 산지유역내의 75개소의 지역에서 지표경사를 30° ± 10°로 하고 최고 강우강도 400mm/hr 전후로 약 1시간 급수하여 중기 침투능을 구하고 별도로 행한 경사각과 침투속도에 관한 기초 실험 값을 사용하여 측정치를 보정한 지피별 측정 결과의 평균치가 그림 5.에 나타나있다(村井, 1996). 본 그림에 의하면 임지는 다른 지피보다 침투능이 높고 임지평균 258mm/hr, 벌채적지 평균 158mm/hr, 초지평균 128mm/hr, 나지 평균 79mm/hr로 임지를 100%로 했을시 나지는 30%에 지나지 않는다. 임지에서의 침투능은 활엽수가 침엽수 보다 5% 정도 높고 그 중에서도 너도밤나무천연림이 최대로 400mm/hr에 가까운 값을 나타낸다. 그러나 나지에서는 지표가 단단한 보도에서 극단적으로 낮아 10mm/hr정도이다.

본 그림으로부터 임지가 갖는 지하수 함양기능의

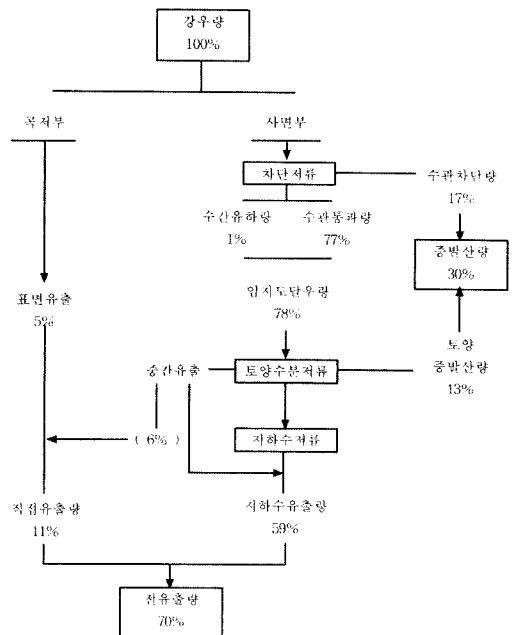


그림 4. 삼림유역의 물순환 과정과 년 강우량의 배분

규모와 임지에 대한 관리의 중요성을 알 수 있다. 삼림지에 존재하는 낙엽층은 삼림 조성후의 경과 연수, 입지조건에 의한 분해정도, 수종임상 등에 의하여 퇴적상황이나 퇴적 두께의 차이가 있다. 이 낙엽층이 지하수함양, 침식방지와 침투촉진 등에 영향을 미친다. 일본 이와데산 산록의 화산재 토양에 식재한 약 30년생의 11수종을 대상으로 실험한 결과에 의하면 낙엽층을 제거 했을시에는 전체적으로 20-30% 침투능이 저하함을 나타내었다(村井, 1996). 이는 삼림에 의한 낙엽층이 갖는 지하수함양 기능의 중요성을 알 수 있다. 일본 동경에 위치한 다마천은 동경도민의 생활용수 공급원으로 중요한 역할을 하고 있다. 동경도에서는 건전한 삼림을 보호 육성함으로써 하천 유량의 평준화, 토사유출방지, 유수의 정화 등 삼림이 갖는 공익적 기능을 충분히 발휘하는 것을 목적으로 다마천 유역내 동서 약 31km, 남북 약 20km에 달하는 삼림을 1910년에 수도수원림으로 지정하였다.

이목적을 달성하기 위하여 수도수원림의 수원함양 기능을 일층 강화하는 것을 도모하는 것 등을 기본방

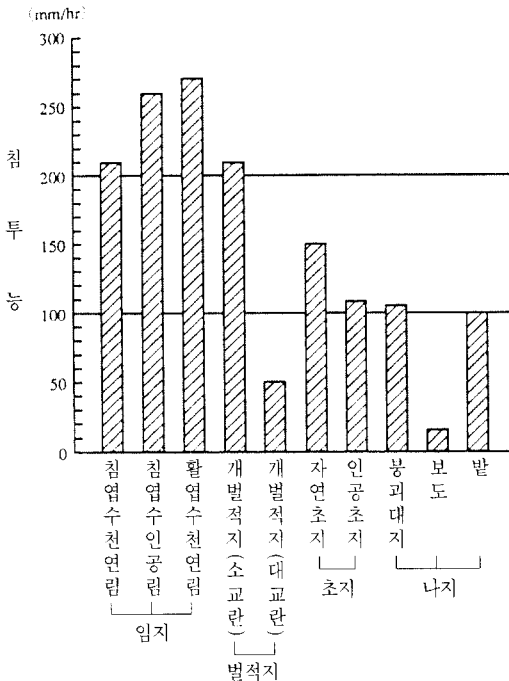


그림 5. 지피별로 평균한 침투능의 비교

침으로 하여 관리하고 있다. 이와같이 노력한 결과 동경지역에 대갈수가 엄습한 1964년은 1960년부터 지속된 소우기였음에도 불구하고 다마천 상류의 수원지역으로부터 30만 m^3/day 이상의 물을 확보할 수 있었다(湯本, 1996). 이는 삼림의 수원함양기능을 하천 유지용수확보에 활용한 좋은 예이다. 일본의 산지유역내의 삼림지대에서는 임지면에 도달한 강우는 대부분 지중에 침투하여 지표면을 유하하는 강우성분은 없다고한다. 그것은 임상에 적합한 낙엽지피물과 임상식물이 발달하여 그 하층에는 물리성이 양호한 토양이 존재하기 때문이다. 그러나 임업의 생산성의 저하와 노동력의 부족으로부터 삼림의 관리가 보육이 되지 않고 산은 푸르나 임지의 황폐가 진행중인 장소가 있게 되었다. 그 결과 침투능의 저하가 현저한 곳에서는 강우강도가 크지 않음에도 지표유출이 발생하고있다. 지표유출이 가속화 되면 하천의 홍수유출에도 영향을 주고 이때까지 장기간에 걸쳐 형성된 양호한 삼림토양도 침식에 의해 사라질 수 있다. 적절한 삼림의 관리에 의하여 침투능의 유지증강에 노력해야 한다. 유역의 물 순환기구 중에 삼림지대의 침투능은 중요한 역할을 담당하고 있다. 이 침투기구의 증강은 장기적으로는 삼림사업에 의하여 어느정도 해결가능하나 보다 적극적으로는 산체나 계곡에 대한 토목공학적인 보완공사도 필요하다. 예를들면 계류를 도수하여 산복에 확보하는 것도 고려할 수 있다. 또한 계곡에 투수성 댐을 축조하여 유수를 일시저류 한 후 침투시키던가 중요 수원지대에서는 종합적인 유역의 침투 강화법을 검토하는 것이 바람직하다.

6. 결론

지속가능한 지하수개발을 위한 방안으로 지하수 함양량 증강에 대하여 고찰하였다. 개발에 의하여 증가하는 불투수지역으로 인하여 감소하는 지하수 함양량을 자연상태로 회복시키고 과잉양수 등으로 인하여 발생하는 지하수장해를 방지하고 자연함양량을 상회하는 적극적인 이용과 지하수를 영구적으로 안정된 수원으로 이용하기 위하여서는 지하수함양의 증강을

행하여야 한다. 지하수 함양을 증강시킴으로써 지하수 재해의 예방과 지하수위회복을 통한 지하수보전에 의하여 지하수이용을 가능하게 할 뿐만아니라 수자원이 보전되어 수자원을 보다 효율성 있게 이용하고 관리할 수 있으며 치수측면에서도 대단히 효율성이 높게 된다.

이의 활용을 위해서는 침투형 지하수함양시설이나 지하댐을 건설하고 지하수함양능력이 대단히 큰 논에 의한 지하수함양을 유지시키기 위하여 논을 보존하고 비관개기에도 지하수함양에 이용하며 산림을 보존하고 관리하는 등의 기법에 대한 적용성 검토가 있어야 한다. 지하수함양의 증강은 그 토지의 지하수 상태에 적합한 방법을 사용함으로써 최대의 효과를 올릴 수 있다. 함양증강책을 검토하기 위해서는 자연함양량을

추정하고 광범위한 지역에 걸쳐 장기간의 실험이나 관측을 행함과 동시에 함양증강에 적합한 지역의 선정이나 실시한 경우의 가능성이나 영향에 대해서도 조사 연구할 필요가 있다.

공업화에 따른 인구의 도시집중에 의하여 발생하는 물 순환기구가 수자원 이용을 불리하게 하고 있으며 수자원의 개발 및 이용 상황이 어려워져가고 있기 때문에 지하수 함양량 증강에 의한 수자원개발과 보전이 자연의 물 순환시스템을 재생하기 위한 수단으로써의 역할이 대단히 크며 유용하기 때문에 장래의 이수 및 치수상 유일한 희망이 될 것이다. 따라서 지하수 함양량 증강에 대한 연구가 지속적으로 이루어져 수자원의 보전과 그의 유효이용에 의한 수자원문제 해결이 합리적으로 될 수 있어야겠다. ●

〈참고문헌〉

김수원, 배상근(1996). "도시화에 의한 지하수환경의 변화". 대한상하수도학회지, Vol. 10, No.1, pp.69-77.

농림부(1995). "'95 농업 총 조사결과"

방기성(1999). "중앙정부의 우수유출 저감시설 도입방안". 한국수자원 학회지, Vol. 32, No. 4, pp.26-31.

배상근(1999). "수자원확보를 위한 지하수이용 방안". 한국수자원 학회지, Vol. 32, No. 5, pp.158-165.

이종국(1999). "우수유출 저감시설을 통한 치수방재효과의 실시간 측정기법". 한국수자원 학회지, Vol. 32, No. 4, pp.44-48.

이종형(1991). "지하매관을 이용한 지하수함양연구". 충북대학교 대학원, 박사학위 논문, p. 70.

이창해(1999). "우수유출 저감시설의 수문환경에 미치는 효과와 경제성 평가". 한국수자원 학회지, Vol. 32, No. 4, pp.49-56.

이홍래(1999). "우수유출 저감시설 설치공법의 확립을 위한 과제". 한국수자원 학회지, Vol. 32, No. 4, pp.20-25.

조원철(1999). "서울특별시 호우유출 저감시설 시험사업". 한국수자원 학회지, Vol. 32, No. 4, pp.32-43.

최병수(1992). "지하수개발의 현황과 문제점". 물관련 정책토론회, 건교부·한국수자원공사, pp.157-179.

최영박(1998). "식금의 물난리와 물부족에 대한 반성과 대책-무인 대홍수(1998.6-8)에 제하여-". 한국수자원 학회지, Vol. 31, No. 6, pp.10-17.

石崎勝義, 北川明(1979). "地下水の人工涵養". 地下水ハンドブック, 建設産業調査會, pp.1279-1310.

三菱綜合研究所(1992). "水田のもたらす外部經濟果に關する調査・研究報告書". p. 56.

村井 宏(1996). "林地における雨水の浸透". 雨水技術資料, Vol. 20, pp.35-44.

藤枝基久(1996). "森林と水流出". 雨水技術資料, Vol. 20, pp.27-34.

湯本敏夫(1996). "安全でおいしい水をはぐくむ水道水源林". 雨水技術資料, Vol. 20, pp.61-69.