

한국 제4기 미고결층 분포 및 수리지질 특성연구

김 주 용	한국지질자원연구원
양 동 윤	한국지질자원연구원
조 민 조	한국지질자원연구원
최 영 섭	한국지질자원연구원
오 근 창	한국지질자원연구원

1. 서론

충적층 지하수 수리특성 조사의 일환으로 5대강과 해안 유역에 대하여 충적층의 분포 현황을 고려하여 주요 수계에 따라 대표적인 시추지점을 선정하여 시추조사와 양수시험을 수행하였고, 그 결과 충적층의 두께와 구성물질, 충적층 지하수의 수리특성 등을 파악하였다.

2. 지형 및 지표지질

2.1 지형

한반도 미고결층의 대부분은 제4기동안에 형성되었으며, 시간분대로 볼 때, 최소한 160만 년 또는 260만년 전에 시작된 것으로 추정된다. 특히 한반도의 해안지역에 분포하는 미고결 퇴적층은 층서적으로 홀로세 퇴적층(Holocene Deposits)과 플라이스토세 퇴적층(Pleistocene Deposits)으로 나눌 수 있으며, 이들 해안 퇴적층은 생성환경과 관련하여 퇴적상을 분류해 보면 홀로세 퇴적층으로는 조간대 퇴적상, 해빈사구 퇴적상, 고조간대성 니사질 퇴적층, 유기질 이토퇴적층, 간조간대 니사질퇴적상, 저조간대성 사력질 퇴적상, 하상사력 퇴적상 등으로 구분할 수 있다. 한편, 플라이스토세 퇴적층은 고토양층과 단구퇴적층 등으로 구분하고 있다. 조간대와 육지의 연결부에는 대개 현재의 해빈사구 퇴적층, 하천 사력층 및 유기질 이토층이 다양하게 분포하고 있으나, 보다 더 산지와 구릉쪽으로 가까이 갈수록 사면붕적층과 고토양층, 그리고 플라이스토세의 단구 사력층이 나타난다. 그러나 동해안의 경우는 해안층 적퇴적층의 발달규모가 제한을 받는다. 특히 현재 해변에는 해빈사와 해빈역, 해안사주, 석호 등의 지형을 따라 미고결 충적퇴적층이 발달하고 있다. 따라서 모래-자갈 퇴적층으로 이루어진 미고결층을 시대별로 구분하면 다음과 같다.

- 1) 홀로세 지층 : 현재 하천 주변부에 분포하는 충적퇴적층으로서 흔히 충적층이 발달하여 있는 하성기원퇴적층이며, 과거 약 5,000~6,000년전 이후에 형성된 퇴적층
- 2) 후기 플라이스토세 지층 : 현재의 하상으로부터 약 10~18m 더 높은 위치까지 발달하여 있는 제2단구 혹은 구하상기원 사력층으로서 과거 약 12.5~7.5만년전 마지막 간빙기에 형성

된 퇴적층이다.

3) 중기 플라이스토세 지층 : 현재 하상으로부터 약 20~80m 높은 위치에 발달하여 있는 구 하상 및 단구사력층으로서 약 80만년전 내지 12.5만년전 사이의 중기 플라이스토세 동안에 형성된 퇴적층으로 나뉘어진다.

제 4기 충적퇴적층은 해안퇴적층, 해안평야 퇴적층, 분지형 충적퇴적층, 곡간 충적퇴적층, 하안퇴적층 등으로 구분된다.

해안퇴적층은 해안에 인접된 하천유역의 퇴적층으로 해발 5~10m 범위에 분포한다. 주로 패사로 되어 있는 하안단구를 제외하고는 대부분 점토나 실트로 되어 있으며, 염분을 다량 포함하는 경우가 많다.

해안평야형 퇴적층은 하천의 하류를 따라 넓은 해안평야 대지에 발달한 퇴적층으로 주로 홍수범람에 의해 형성되었기 때문에 실트나 가는 모래로 구성되어 있다.

분지형 충적퇴적층은 기반암류의 침식에 따라 침식분지가 발달하고 이 분지내에 발달된 퇴적층은 주로 자갈에서 실트까지 다양한 입도의 퇴적물로 구성되어 있다. 주로 화강암류의 침식작용을 통하여 분지가 형성되고 분지내의 사력층이 발달한다.

곡간 충적퇴적층은 하천이 급경사의 계곡사이를 흐르는 하천유역에 발달한 퇴적층으로 주로 자갈과 굵은 모래로 구성되어 있으나 퇴적층의 발달범위가 하상 주변에만 한정되어 있는 것이 특징이다.

마지막으로 하안퇴적층은 하천의 폭이 다소 넓은 지역에 발달한 하상퇴적층으로 주로 자갈과 모래로 구성되어 있으며, 사력층의 발달심도도 양호한 퇴적층이다.

2.2 지표지질

1) 경기권 북부 : 경기권 북부는 한반도 선캠브리아기의 기저부를 형성하는 경기육괴의 북서부에 해당되는 곳이다. 경기육괴는 한반도의 중앙부에 북동-남서 방향으로 발달된 주요 지체구조구로 이 구조구의 북서변은 평남분지 및 임진강 습곡대와 남동변은 옥천대와 접해 있다. 경기육괴에는 평남분지와 임진강 습곡대, 그리고 옥천대와는 달리 지질시대가 오래된 변성암류가 우세하게 분포하고 있다. 그러나 이들 외에도 여러 지질시대의 지층과 암석이 다양하게 분포한다. 이들 지층과 암석군에는 오랜 지질시대에 걸쳐 일어난 여러 변형작용에 따라 복잡한 지질구조가 형성되어, 전반적으로 지질특성이 매우 다양하다. 경기-수도권 북부의 지질도상에 표시된 주요 지층군과 암석군을 암종과 지층별로 분포면적을 보면 편마암류가 62%, 화강암류가 26%로 이 2종의 암석이 대종을 이루고 있다(산업자원부, 1999).

2) 경기권 남부 : 경기권 남부일대의 지질은 한반도 선캠브리아계의 기저부를 형성하는 경기육괴와 류라기의 대보화강암류가 주를 이루고 있다. 본 권역의 지질분포는 보면 선캠브리아계의 변성암복합체, 대보화강암류, 제4기의 화산암류, 후기 백악기의 화산암류인 유천층군, 트라이아스기말 내지 류라기초의 김포층군 등으로 크게 분류할 수 있다(산업자원부,

1998).

3) 금강유역 : 선캠브리아기의 변성암류로부터 고생대와 중생대의 퇴적암류와 중생대의 화성암류가 기반암으로 분포하며, 하천유역을 따라 제4기의 퇴적층이 기반암류를 피복하고 있다. 분포위치로 보아 금강의 상류인 무주군과 장수군의 산악지대는 대부분 변성암으로 구성되어 있으며, 중류와 하류는 중생대 화강암류들이 주로 분포하여 있다. 이와 같은 암석분포의 차이에 따라 변성암류 지역은 주로 산악지대를 이루고 있으며, 화강암류 지역은 상대적으로 풍화와 침식에 약하여 저구릉 지대를 나타내고 있다. 이상과 같은 여러 기반암 위에 하천유역을 따라 충적층들이 부정합으로 분포하여 있다. 금강상류지역에서는 가파른 산악지형 때문에 사면붕적층에서 재이동되어진 곡간퇴적층 이외에는 거의 없는 편이며, 금강 중류 이하의 낮은 지형에서는 계곡을 충전하고 있는 곡간충적층과 하상의 구배가 심한 곳에서는 하안 및 하상충적층이 분포한다. 이들 유역의 상류에서는 자갈이나 모래 등으로 구성된 충적층이 분포하는데 하류로 갈수록 가는 입자의 모래나 점토로 구성된 충적층이 분포한다. 특히 강경일대의 낮은 저구릉지 사이에는 평야충적층과 해안충적층이 널리 분포하고 있으며, 이들 거의 대부분이 농경지로 이용되고 있다(산업자원부, 2001).

4) 경남권 : 부산과 울산을 포함하는 경남권은 지체구조상 서쪽은 시기가 오래된 선캠브리아기 소백산변성암복합체로 이루어진 영남육괴이며, 경남권의 중앙과 동쪽 및 남쪽은 신동층군, 하양층군 및 유천층군으로 구성되는 경상누층군과 불국사화강암류가 분포하여 있다. 주로 분포하는 암종은 변성암복합체, 이암, 사암, 역암, 안산암, 유문암 등의 화산암과 화강암류 등이다(산업자원부, 2000).

5) 낙동강 하류 : 부산을 포함하는 경남권의 낙동강하류는 기반암이 낙동강의 중류에 비하여 주로 화성암의 분포지를 통과하고 있고, 세일, 사암 등 퇴적암의 분포면적은 적은 편이다. 특히 화성암류로는 경상계의 비다공질성 화산암과 화강암류를 주로 하며, 이들은 지질계통상 유천층군과 불국사화강암류로 분류되기도 하는데, 비다공질화산암류에 비하여 화강암류의 분포지는 차별침식을 더 많이 받아 평탄한 지형특성을 보인다(산업자원부, 2000).

6) 낙동강 중류 : 경남권의 황강-회천 유역은 낙동강 중류에 포함되고 있으며, 이 유역은 낙동강 본류의 유로가 대체로 남북방향으로 발달하여 있는 구간으로서 남강합류부보다 상류에 위치하고 있다. 낙동강 중류유역은 넓은 계곡사이를 충전하고 있는 충적대지 위에 발달하고 있으며, 완만하게 굴곡하고 있어 하천퇴적층이 상대적으로 넓게 발달하여 있다. 황강의 발원지인 합천의 서편지역은 주로 변성암류인 편마암이 분포하는 가파른 경사의 산악지형을 나타내고 있으며, 합천댐이 자리한 계곡일대에는 주로 사암이나 세일로 이루어진 중생대 백악기의 경상계지층이 분포한다. 따라서 황강유역에 발달한 미고결퇴적층은 대개 퇴적암기원으로서 모래나 실트질이 우세한 지층이다(산업자원부, 2000).

7) 동해안 유입하천 유역 : 한반도 동해안을 따라 분포하는 기반암은 선캠브리아기의 변성암류로부터 제3기의 화산암과 퇴적암을 비롯하여 최신기의 현무암류까지 여러 종류의 지

층들로 구성되어 있다. 동해안 지역의 수계는 수로가 비교적 짧으며 경사가 급해 평야 충적 퇴적층의 발달이 매우 빈약하며, 해안 가까이에 부분적으로 평야 충적지가 분포할 뿐이다. 동해안을 따라 일반적으로 발달한 홀로세지층은 계곡의 폭이 좁은 하천상류에서는 계곡의 중앙은 하천의 유로역할을 하고 있으며, 계곡의 폭이 더 넓어지는 중류에서부터 하상에 자갈등으로 구성되는 하상 충적층이 형성되기 시작하고 하류로 갈수록 더 넓어지며 하천의 발달도 뚜렷해지며 하상충적퇴적층과 세립물로 구성된 평야 충적층이 분포한다. 하류로 갈수록 하천은 계곡을 충전하고 있는 하상충적퇴적층 위에 발달하며, 넓은 하천유역을 나타낸다. 경남권에 속하는 동해안 유입하천 유역 중 형산강유역은 언양으로 가는 경주남쪽일대에 분포하는 충적퇴적층은 형산강 최상류에 해당하며, 대개 자갈로 구성된 곡간 퇴적층으로 분포한다. 전반적으로 동해안을 따라 분포하는 해안 충적 퇴적층들은 하천의 유로 연장이 짧아서 주로 해안에 인접한 거리에 위치하여 있으며, 하천의 하류에서는 계곡의 폭이 넓은 반면에 충적층의 두께는 깊지 않은 특징을 보인다(산업자원부, 2000).

8) 남해안 유입하천 유역

남해안 지역은 마지막 빙하기부터 홀로세에 걸쳐 형성된 제4기 지층이 넓은 해안곡지내에 발달하여 있는 충적층으로 대표되고 있다. 한반도의 충적퇴적층은 남해안에도 널리 발달하여 있으며, 폭이 넓은 반면에 두께는 최고 약 5m내외로 얇은 편이다. 이러한 해안충적퇴적층형성은 최종빙기이후 빙하감소로 인한 해수면 상승과 밀접한 관계를 가지고 있다. 남해안으로 유입되는 소유역은 영산강 하구-섬진강 하구까지의 소유역내에 흐르는 하천과 섬진강 하구-낙동강 하구 소유역으로 흐르는 하천들로 구분되지만 기반암 지질이나 수문 지형의 발달양상으로 볼 때 전체 남해안의 모든 수계가 유사한 양상을 보인다. 기반암은 주로 백악기 비다공질 화산암류와 관입 화성암류로 구성되며, 약간의 선캄브리아기의 변성퇴적암도 분포한다. 남해안으로 유입되는 소하천들은 대대 발달규모가 적으며, 소규모의 해안평야 충적퇴적층이 분포할 뿐 사력층의 분포는 상당히 제한적이다(산업자원부, 2000).

9) 섬진강 하류 및 지류 유역

섬진강 하류는 경상도와 전라도의 도계가 지나는 구간으로 유로주변에는 굽은 모래가 퇴적된 구간이 많으며, 부분적으로 산사면에서 이동된 역들이 재이동되어 퇴적된 단구성 자갈층이 분포한다. 이곳의 기반암이 편마암류로서 풍화에 강하기 때문에 급한 산악지세를 보이며, 계곡의 폭이 좁아 섬진강 하류에서는 수중에 사력층이 발달하고 있다. 퇴적층의 심도는 강 중심에서 내륙으로 갈수록 얇아지며, 잔자갈도 포함되기 시작하나 굽은 모래층이 우세하다. 섬진강 하류일대의 충적층은 상부에는 굽은 모래층 또는 사력층이 발달하며, 하부에는 청회색의 실트질 점토층을 포함하는 특징을 나타낸다.

섬진강 하류에 합류하는 지류들로는 지리산의 상계사로부터 지리산의 계곡을 따라 흐르는 악양천, 하동군 청암면 목계리 일대로부터 황천면을 지나서 하동군 목도리에서 섬진강 본류에 합류하는 황천강 등이 있고 이들은 모두 지리산계로부터 여러 방향으로 발원하여 결국

남남서 방향으로 본류에 유입되는 지류들이다. 하천 폭이 좁은 산계곡을 따라 흐르므로 곡간을 채우는 자갈 혹은 거대한 전석들이 많으며, 황천강을 따라 소규모의 하상자갈층이 있을 뿐이다(산업자원부, 2000).

3. 연구방법

2.1 시추조사

금번 시추조사를 위하여 전국 5 대강과 해안 유역을 중심으로 시추위치를 선정하였는데, 위치 선정을 위한 기준은 다음과 같다.

1) 전국 5대강 유역의 주요 충적평야지대, 2) 서해안, 남해안 및 동해안 지역은 충적층의 주요 발달 지역을 대표할 수 있거나 해수 침입 관계를 규명할수 있는 지점, 3) 기존의 조사 자료가 있는 지역은 제외, 4) 영산강유역은 영산강유역의 대체용수원 개발지역 선정 조사와 관련하여 세부 수리지질 조사지역을 우선 선정하였다. 위와 같은 기준에 의해 한강 5개 지점, 낙동강 7개 지점, 금강 4개 지점, 영산강 5개 지점, 섬진강 3개 지점, 서해안 4개 지점, 동해안 1 개 지점의 총 29개 지점이 선정하였으며, 시추는 충적층 지하수 양수 시험을 위한 관측정으로 사용하기 위하여 대체로 3" 구경으로 굴진하였다. 그러나 지역적으로 기존 개발 관정을 관측정으로 사용하고 시추공을 양수정으로 사용하기 위하여 4" 구경으로 굴진하였으며, 기존공의 이용이 불가능한 지역에서는 양수정과 관측정을 굴진하였다. 입도, 공극률 분석을 위한 시료는 충적층 구성물질 특성을 대표할 수 있는 구간별로 채취하였다.

2.2 양수시험

각 시추구간별 충적층의 구성물질에 따른 지하수의 이동특성을 파악하기 위하여 기초사된 충적층 분포 특성과 지하수 자료의 분석 결과를 토대로 선정된 주요 수계유역을 대상으로 하여 양수시험을 수행하였다. 양수시험은 지하수를 취수하기 위하여 지하에 우물을 굴착한 후 실시하는데, 어떤 지점에서는 우물의 깊이가 알아도 많은 수량을 얻을 수 있는 곳이 있는가 하면, 어떤 지점에서는 아무리 심도가 깊어도 충분한 물을 얻지 못하는 경우가 있다. 지하의 물은 암석이나 토양에 발달되어 있는 공극에 포화되어 있으므로, 이 공극의 성질 특히 수리적 성질에 따라 물의 이동이나 투수능력이 결정된다. 수리적 성질에는 투수량계수(T)와 저류계수(S) 등이 있으며, 이들은 어떤 지층(대수층)의 상수로 거의 일정한 고유의 값이 된다. 투수량계수는 투수계수(K)에 대수층의 두께(B)를 곱한 것으로 $T=K \times B$ 로 표시되며 단위는 $L^2/T(m^2/min, m^2/day)$ 이다. 여기서 투수계수는 물을 통과시킬 수 있는 지층의 능력으로 $L/T(m/min, m/day)$ 단위가 쓰인다. 저류계수는 양수에 의하여 배출된 지하수의 양과 그 배출의 결과로 생긴 지하수면의 저하에 따라 일어난 감소된 체적과의 양비로서 자유면대수층에서는 유효 공극률과 대등한 의미를 갖는

다. 이들 두 상수가 알려지면 어떤 지구내에서의 지하수에 대한 양적 평가가 가능하다. 쉬운 예로서 저류계수가 알려지면 어떤 지구의 지층의 체적중에 있는 물의 총량 중에서 취수할 수 있는 양이 계산되어지며, 투수량계수로서는 어떤 조건하에서의 지하수 이동량이 알려지기 때문에 물의 취수량 계산이나 자연 상태에서의 지하수 이동량 등을 알 수 있다. 그러나 피압지하수 상태에서는 저류계수가 바로 유효공극률을 의미하지는 않기 때문에 많은 주의가 요구되어진다. 수리상수는 지역에 따라 그리고 심도에 따라 그 변화가 심한 경우도 있다. 특히 화강암이나 기타 기반암등에서는 그 정도가 심하기 때문에 여러 곳에서의 상수를 구하여 전체를 평하지 않으면 안된다. 수리상수의 산출은 양수시험을 통하여 이루어지는 바, 양수정에서 장시간에 걸친 양수를 계속하였을 때, 일정한 거리를 둔 관측정에서의 시간(t)에 대한 수위강하(s)를 측정하여 계산하게 된다. 이때 양수량은 일정하게 유지시켜야 한다. 양수정으로부터 일정한 거리에 있는 관측정에서의 수위강하는 처음에는 그 폭이 크나, 시간이 지남에 따라 점점 작아진다. 또 수위강하는 양수정에 가까울수록 크며, 양수량이 많으면 그 폭도 커진다. 수리상수를 구하기 위한 방법으로는 Theis의 도해방법과 Jacob의 간이 도해방법 등 여러 방법이 있으나, 금번에는 Theis의 이론식을 사용하였다. Theis 식은 광의로는 평형의 상태까지를 포함하므로, 오늘날 Theis 식이 일반적으로 이용되고 있다. Theis의 이론식은, 로 나타내며, 이를 통하여 S 와 T 값을 구할 수 있다. 실제작업으로는 측정된 시간(t)과 수위강하(s)값을 양대수 방안에 표시하여 얻어진 $s - t$ 곡선을 표준곡선에 맞추어 계산하게 된다. 위의 Theis식에 의한 수리상수의 산출은, 양수량(Q)이 일정하고 양수정 주위에 관측공이 있을 때에 가능하다.

4. 토의

4.1 미고결층 분포특성

선정된 시추공의 시추자료를 비교 검토한 결과, 충적층의 발달이 가장 양호한 수계는 연구대상 수계 중에서 유로연장이 가장 긴 낙동강수계로 나타났으며, 그 다음으로는 금강수계와 서해유입수계인 것으로 나타났다. 양수량과 투수량계수 등의 수리지질특성에 영향력이 있을 것으로 예상되는 충적층 내 사력층구간인 모래와 자갈층의 발달정도는 구간별로 심한 차이를 보였지만 한강유역과 섬진강유역에서 비교적 높은 비율을 보이고 있다. 이러한 결과는 이들 하천의 유로연장이 비교적 짧은 반면에 유속이 빠른 하천특성으로 인하여 가벼운 니질물은 하구를 통해 연안으로 흘러보내버리고 비교적 무거운 모래와 자갈이 하천주변에 남아서 사력층을 형성하였기 때문이다.

4.2 충적층의 입도분포 특성

시추공 내 사력질 충적층에 대한 입도분석을 실시하기 위하여 먼저 수직 분포별로 모

래와 자갈을 일차로 분류한 후 실험실에서 입도분석을 실시하였으며, 입도분석에 의한 누적도표를 이용하여 평균입도를 구하였다.

시추공 내 사력질 충전층의 평균입도와 공극률의 관계를 파악하기 위하여 대표시료를 실험하여 얻은 실험값을 기준으로 하여 회귀분석을 실시하였고, 그 결과 입도에 따른 유효공극률과 투수율을 산정하였다. 충전층의 경우 평균입도 2 mm 를 기준으로 하여 모래는 이보다 세립일 경우이며, 이보다 조립일 경우를 자갈로 보았다. 입도와 유효공극률 시험에 의하면 입도에 따른 유효공극률의 상관관계는 일반적으로 다음식으로 표시할 수 있다.

$$* \text{ 모래 : 유효공극률}(Ps) = -2.7637 \times \text{평균입도}(Ss) + 48.0182$$

$$* \text{ 자갈 : 유효공극률}(Pg) = 0.02921 \times \text{평균입도}(Gs) + 34.6904$$

한편, 투수계수는 대개 입자의 형상계수와 입도의 제곱에 의하여 결정되는데, 본 연구에서 투수율을 계산하기 위하여 모래입자의 평균입도와 투수율에 대한 상관관계를 파악하기 위하여 독일 Scherrhorn 油井의 Benheimer 사암에서 적용된 예를 이용하였다. 주로 중립사질 구간인 0.1-0.3mm 입도구간에 대한 투수율은 대개 $K=3 \times 10^{-4} \text{cm/sec} \sim 4.5 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 의 범위를 보여주고 있다. 충전층의 입도가 이보다 더 조립모래이든지 또는 자갈질 조립모래로 구성되어 있으므로 상기의 투수율은 하한값에 해당되는 것으로 파악된다. 그리고 중립질 사질 퇴적층인 경우, 단위충적층의 투수율(K)은 회귀분석을 통해 산정하였으며 다음 공식을 적용하였다.

$$Y = 124415 X^2 - 26142 X + 1659 \quad (\text{단, } X: \text{평균입도}(mm), Y: \text{투수율}(md))$$

투수율과 공극률의 관계를 검토한 결과, $R^2=0.9193$ 으로 지극히 양호한 정(+)의 상관특성이 나타났으며, 유역별 분석에서는 한강유역의 시추공(HG)을 대상으로 한 분석에서 상관계수가 0.9544로 나타나 낙동강유역(ND)의 $R^2=0.8413$ 에 비하여 높은 상관특성을 보이고 있다. 이는 한강유역에 비하여 낙동강유역의 충전층의 두께가 깊고, 충전층 내 점토층의 발달상태가 상대적으로 뛰어나므로 한강유역의 투수율과 공극률 특성이 낙동강유역에 비하여 우세하게 나타난 것으로 판단된다.

4.3 미고결층의 수리지질 특성

금번 충전층 시추조사에서는, 기존 충전층 지하수 개발 관정을 양수정으로, 시추공을 관측정으로 사용하기 위하여 대체로 2" PVC 케이싱을 설치하였으나, 지역적으로 3" PVC 케이싱을 설치하여 양수정으로 사용하고 기존 개발 관정을 관측정으로 사용하거나 양수정 및 관측정을 굴진하기도 하였다. 시추조사는 총 29개 지역에서 이루어 졌으나 기존 개발 관정의 양수량이 매우 적거나 인근에서 지하수 양수를 하는 경우에는 정확한 양수시험을 할 수 없어 22개 지역에서만 양수시험을 할수 있었으며 3개 지역에서는 Slug test로 대체하였다.

시험결과, 니질물의 발달이 양호한 수계구역에서는 양수 후의 안정수위가 깊고 비교적 일정한 반면에 니질물의 발달이 빈약하고 오히려 사력층의 발달이 양호한 수계구역에서는 안정수위가 지표에 가깝고 지점별로 심한 편차를 보이고 있다.

수질특성 중 EC(전기전도도)와 TDS(총고형물질함량)간에는 일반적으로 오염된 지하수에 비하여 오염되지 않은 지하수의 상관특성이 높은 것으로 보고 된 바 있으며(Freeze and Cherry, 1979 ; 오근창, 2001), 이는 대수층내의 지하수의 흐름상태와 밀접한 관계를 갖는다. 연구지역의 모든 시추공을 대상으로 EC와 TDS간의 관계를 검토한 결과, $R^2=0.9813$ 으로 거의 1에 가까운 정(+)의 상관특성을 나타냈으며, 유역별 분석에서는 한강유역의 시추공(HG)을 대상으로 한 분석에서 $R^2=0.7973$ 으로 나타나 낙동강유역(ND)의 $R^2=0.9968$ 에 비하여 낮은 상관특성을 보이고 있다. 이는 한강유역에 비하여 낙동강유역의 충적층의 두께가 깊고, 충적층 내 점토층의 발달상태가 양호하므로 지하수 중에 용해된 전해질이외에 기타 유기물과의 착화합물 형성, 부유 상태의 오염물 흡착 등의 작용이 뛰어나 낙동강유역의 지하수가 보다 안정된 상태를 유지하기 때문에 나타난 결과이다.

4.4 충적퇴적층 지하수 산출특성

충적층 지하수는 1960년대말-1970년대초에 한해대책의 따라 주로 개발되었으며, 근래에 이르러서는 암반지하수를 대상으로 개발이 이루어져 충적층 지하수만에 대한 지하수 산출 자료는 매우 제한되어 있다. 본 충적층 지하수 조사 자료는 1969-1970 농림부에 의해 개발된 충적층 지하수조사보고와 농어촌진흥공사의 수맥도를 바탕으로 이루어졌다.

충적층 지하수의 산출 특성을 규명하기 위해서 각 수계에 따른 충적층 분포특성 및 주변 지질 등에 의해 자료를 재분류하고, 이를 정량자료와 상관시켜 분석함으로써 유역별 지하수 산출특성이 파악될 수 있을 것이다. 이를 위하여 우선적으로 지하수 자료 중 충적층만을 대상으로 한 농림부의 지하수조사보고서(1969, 1970) 자료에 의하여 충적층 및 주대수층의 변화에 따른 지하수 산출 특성을 분석하였으며, 특히 충적층의 두께, 사력층 두께, 가채수량(양수량), 간의 관계를 파악하기 위하여 통계분석을 실시하였다. 충적층에 대한 통계처리를 위하여 자료를 정량자료와 명목자료로 구분하였다. 정량변수는 시추심도(M), 자연수위(M), 양수량 또는 가채수량(M³/DAY), 안정수위(M), 풍화대 두께(M), 충적층 두께(M), 표토층 두께(M), 니질층 두께(M), 모래층 두께(M), 자갈 및 혼전석 두께(M), 사력층 두께(M), 저류계수, 투수량계수(M²/D), 투수계수(M/D)×대수층의 두께(M)와 같이 13개로 구분하였다. 입력자료로는 1969-1970년의 충적층에 지하수 자료를 이용하였고, 통계처리를 위하여 누적빈도곡선, 평균과 표준편차 등의 기초통계량, 분산분석, 상관분석의 절차를 따라 시험하였다. 그리고 명목자료는 7개 즉, 대행정구역(광역시,도 단위 이상), 소행정구역(시,군 단위), 지질, 대수층 종류, 대하천 유역(8대), 소하천 유역, 지류하천 변수들을 포함하였다. 한편, 정량자료는 시추심도(M), 자연수위(M), 안정수위(M), 가채수량(M³/D), 풍화대심도(M), 충적층

심도(M), 표토층(M), 니질층(M), 모래층(M), 자갈·전석층(M), 모래자갈층(M), 저류계수(-), 투수량계수(M²/D)와 같이 구분하였다. 통계처리에 이용된 7개의 명목변수를 세분하여 기술하면 다음과 같다.

4.4.1 통계분석 결과

상기의 13개 정량변수에 대하여 약 708개의 자료군이 지시하는 기초 통계량인 평균과 표준편차는 표11과 같다. 평균값으로서 시추심도는 약 8.9 m이며, 자연수위는 1.3 m, 안정수위는 4.4 m, 가채수량은 528 m³/day, 풍화대 두께는 1.3 m, 충전층 심도는 7.6 m, 표토층 두께는 0.9 m, 니질층 두께는 2.5 m, 모래층 두께는 3.5 m, 자갈과 전석의 두께는 4.0 m, 모래와 자갈의 두께는 6.7 m, 저류계수는 0.0623190이며, 투수량 계수는 775.3125 m²/day 로 각각 나타났다.

또한, 정량자료 간의 상관관계를 도출하기 위해 13 개의 변수 즉, 시추심도(M), 자연수위(M), 안정수위(M), 가채수량(M³/DAY), 풍화대심도(M), 충전층심도(M), 표토층(M), 니질층(M), 모래층(M), 자갈·전석층(M), 모래자갈층(M), 저류계수((M³/DAY), 투수량계수(M²/DAY)에 대하여 상관계수를 구하고, 이 중에서 상관계수가 0.6 이상인 변수와 유의도 95 % 이상으로(P<0.05) 유의한 상관관계를 보이는 변수를 구하였다. 상관분석 결과, 전체 시추심도가 증가 할수록 충전층의 심도가 증가하는 경향(R=0.5907, p=0.0001, N=708)과, 충전층의 두께가 증가하면 세립질층과 표토층의 합한 양의 두께가 증가하는 경향(R=0.6581, p=0.0001, N=244)이 미약하게나마 관찰되었으며, 모래가 많아지면 자갈과 전석을 합한 양도 많아지고(R=0.7501, p=0.0001, N=390), 따라서 충전층의 두께가 증가하면 모래와 자갈을 합한 양도 증가(R=0.7591, p=0.0001, N=390)하는 경향은 비교적 뚜렷이 보이고 있다.

또한, 정량수치에 대한 요인분석의 결과는 다음과 같다. 제1요인에서 제5요인까지 분산 값(variance) 은 요인1은 4.364044, 요인2 1.925451, 요인3은 1.654883, 요인4는 1.244981, 요인5는 1.043814 를 각각 가지는 것으로 나타났다. 따라서 요인1에 속하는 변수들이 가장 강한 독립변수군을 이룬다고 볼 수 있다. 기타 제2에서 제5요인은 비슷한 정도의 중요도를 가지는 독립변수군을 이루고 있음을 알 수 있다. 요인분석 결과는 요인점수가 약 0.7 이상 되는 요인들을 기준으로 할 때, 제1요인의 구성변수는 충전층 심도, 자갈층 두께, 모래층 두께, 모래자갈층 두께, 충전층 심도와 관련된 변수자료 들이다. 그리고 제2요인은 니질층 두께, 제3요인은 양수량과 저류계수, 제4요인은 자연수위, 제5요인은 표토층 두께와 각각 관련되고 있다.

4.4.2 충전층 지하수 산출특성변수의 고찰

전술한 통계분석을 통하여 유역별 충전층의 산출 특성은 1) 충전층 심도(m), 2) 사력층 심도(m), 3) 양수량(m³/day), 4) 투수량계수(m²/day)와 같은 대표 자료들로서 표시될 수 있

다. 그리고 금번의 야외조사를 통하여 추가로 획득한 충적층의 특성 시험자료로서 충적층의 조성파 입도, 양수량 등을 참고하였다.

이들 4개의 변수 상호관계를 보면, 충적층과 사력층의 심도(m) 관계는 충적층 두께가 클수록 사력층의 두께도 커지며, 충적층의 두께는 유역의 하구 일대를 제외하면 대부분 4-12m 정도이나 지역적으로 거의 18m에 이른다. 충적층 두께에 따른 가채수량을 보면 이들 간의 상관 특성은 거의 나타나지 않는다. 충적층 지하수의 주대수층으로 생각되는 모래 및 자갈층의 두께는 최소 1m 에서 최대 12m에 이르는 매우 분산된 분포를 갖는다. 모래 및 자갈층의 두께에 따른 가채수량 역시 특징적인 현상을 보이지는 않는다. 투수량계수(m²/day)를 볼 때, 충적층의 조성파 입도가 다양하므로 같은 두께의 사력층이라 할지라도 기반암 지질이 다르고 구성 물질이 균일하지 않으므로 모래 및 자갈층의 투수성도 역시 균일하지 않은 것으로 판단되며 이에 따라 같은 두께의 사력층이라 할지라도 가채수량이 다양하게 나타난다고 본다. 끝으로 양수량 또는 가채수량(m³/day) 조사자료에서 나타난 바에 따르면, 최소 수10톤/일에서 최대 1,900여톤/일 로서 평균 480톤/일에 이르나, 상하 극단적인 값을 제외한 평균 가채수량은 약 510톤/일로 나타난다.

4.5 유역별 충적층 지하수의 산출량 특성

전장에서 지형과 지각의 최상부인 표층의 구성물질을 고려하여 유역별로 충적층의 분포와 충적층 지하수의 이동 특성을 고찰하였으며 유역별 충적층 지하수의 산출을 대표하는 변수를 도출하였다. 본 장에서는 이들 충적층이 갖는 충적층 지하수 산출량의 특성을 고찰하고자 하며 특히 지하수의 산출량을 양수량 및 투수량 계수 변화를 통해 살펴보고자 한다. 이와 더불어 하천 유역별에 분포하고 있는 기반암의 종류, 충적층의 심도, 사력층의 두께와 구성물질의 차이 등에 따라 지하수 산출이 제한되는 것으로 판단되므로 산출량 특성을 유역별로 구분하였다.

충적층 유형분석결과, 한강유역에서는 하상충적층의 발달이 현저하였으며, 섬진강유역에서는 곡간 및 하상 충적층의 발달이 현저하게 나타났다. 그 외, 낙동강유역, 금강유역 그리고 영산강유역에서는 공통적으로 하상 및 평야 충적층이 우세하였다. 또한, 서해유입하천유역과 남해유입하천유역에서는 공통적으로 해안 충적층이 우세하게 분포하였으며, 동해유입하천유역에서는 규모는 작지만 곡간, 하상, 그리고 평야 충적층이 고르게 분포하는 특징을 보였다.

충적층의 깊이는 하상 및 평야 충적층에서 상대적으로 높았으며, 해안충적층에서도 비교적 높은 것으로 나타났다. 충적층 내 사력층의 발달정도는 지점별로 심한 차이를 보였지만 하상충적층과 곡간 및 하상충적층에서 비교적 높게 나타났다. 지하수의 양수량과 투수량 계수는 충적층 유형이 아닌 지점별 차이를 나타냈으며, 이러한 결과는 기반암이 다르고 충적층의 조성파 입도가 다양하므로 충적층의 투수성과 양수량이 다양하게 나타난 결과이다.

5. 결론

미고결층이 분포하는 기반암은 변성암류, 관입화성암류, 고기 퇴적암류, 비다공질 화산암, 그리고 미고결퇴적층으로 이루어 졌으며, 특히 풍화에 강한 편마암류가 분포하는 부근에서는 곡간 및 곡상 층적층이 우세한 것으로 나타났다.

수리지질특성 중 투수율과 공극률 특성은 낙동강유역에 비하여 한강유역에서 우세하게 나타났는데, 이는 한강유역에 비하여 낙동강유역의 층적층의 두께가 깊고, 층적층 내 점토층의 발달상태가 상대적으로 우세한 결과이다.

EC-TDS관계는 한강유역에 비하여 낙동강유역에서 높은 상관특성을 보이고 있다. 이는 한강유역에 비하여 낙동강유역의 층적층의 두께가 깊고, 층적층 내 점토층의 발달상태가 뛰어나므로, 지하수 중에 용해된 전해질이외에 유기물과의 착화합물 형성, 부유상태의 오염물 흡착 등의 능력이 뛰어나 한강유역에 비하여 낙동강유역의 지하수가 보다 안정된 상태를 유지하기 때문이다.

주요 수리특성에 대한 요인분석 결과, 제1요인의 구성변수는 층적층 심도, 자갈층 두께, 모래층 두께, 모래자갈층 두께, 충심도와 관련된 변수자료들이 분석되었으며, 제2요인은 니질층 두께, 제3요인은 양수량과 저류계수, 제4요인은 자연수위, 제5요인은 표토층 두께와 각각 관련이 있는 것으로 분석되었다.

유역별 층적층의 산출특성은 층적층 심도(m), 사력층 심도(m), 양수량(m^3/day), 그리고 투수량 계수(m^2/day)와 같은 인자들과 관련성이 높은 것으로 분석되었다. 그러나 층적층 심도(m) 및 사력층 심도(m)와 가채수량(m^3/day)간에는 특이한 상관성이 없는 것으로 분석되었다.

층적층 심도는 하상 및 평야 층적층에서 깊게 나타났으며, 해안층적층에서도 비교적 깊은 것으로 나타났다. 층적층 내 사력층의 발달정도는 지점별로 심한 차이를 보였지만 하상층적층과 곡간 및 하상층적층에서 비교적 높게 나타났다. 지하수의 양수량과 투수량계수는 층적층 유형이 아닌 지점별 차이를 나타냈으며, 이러한 결과는 기반암이 다르고 층적층의 조성과 입도가 다양하므로 층적층의 투수성과 양수량이 다양하게 나타난 결과이다.

6. 참고문헌

1. 농림부, 1969, 지하수조사보고서
2. 농림부, 1970, 지하수조사보고서
3. 산업자원부, 1998, 골재자원부존조사 보고서
4. 산업자원부, 1999, 골재자원부존조사 보고서
5. 산업자원부, 2000, 골재자원부존조사 보고서
6. 산업자원부, 2001, 골재자원부존조사 보고서
7. 오근창, 2001, 광주광역시 운정동위생매립장 주변의 환경오염특성에 관한 연구, 박사학위논문, p. 22-23.
8. Freeze R. A., Cherry, J. A., 1979, Groundwater, Prentice-Hall Inc., 604p.