

풍화잔적토의 유동특성에 대한 연구

Particle Transport of Residual Soils

이 인 모*¹ 고 재 신*²
Lee, In-Mo Ko, Jae-Shin
박 광 준*³ 김 상 균*³
Park, Kwang-Joon Kim, Sang-Gyun

Abstract

The phenomena of detachment and movement of fine particles are one of the important mechanisms both in geotechnical and geoenvironmental engineering. In geoenvironmental engineering, in particular, movement of fine particles may facilitate the transport of contaminants since the particle surfaces absorb contaminants before movement. Weathered granitic residual soils, which are the most abundant in Korea, contain large quantities of fine particles up to 50%.

The characteristics of fine particle movement of weathered granitic residual soils are investigated in this paper. Samples are obtained from Poi-dong, Shinnae-dong in Seoul and Andong in Kyungpook; each of the samples represents typical residual soil types in Korea.

Laboratory experiments for the three adopted soil types are performed. It is found that effluent concentration of the samples is influenced by porosity, fine particle percentage and particle size distribution. The critical velocity decreases as the fine particle percentage increases and the rate of change of erosion rate increases as the porosity increases. And well-graded samples showed less effluent concentrations compared to poorly-graded samples. The governing equation on the physical mechanism of fine particle movement and its numerical solution scheme are suggested on the basis of the test results.

요 지

흙 세립자의 이탈 및 유동은 지반공학이나 지반환경공학적인 관점에서 매우 중요한 현상 중의 하나이다. 특히 지반환경공학적인 견지에서 보면 세립자가 입자유동을 하기 전에 오염물질을 흡착하기 때문에, 오염물질 정화의 방편으로 이용될 수 있다.

본 논문에서는 한국에 가장 편재해 있는 화강풍화토의 입자유동특성을 실내시험에 의해 파악

*¹ 정희원, 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

*² 정희원, 동부엔지니어링 기술연구소 연구원

*³ 정희원, 고려대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정

하였다. 실험에 사용된 시료는 대표적인 잔류토라 할 수 있는 서울 신내동, 포이동 및 경북 안동의 시료 각각에 대하여 흐름에 대한 지반특성치등을 측정하였다.

풍화잔적토에서의 세립분 유동특성에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 세립자의 함량과 초기간극률 그리고 입도분포로 나타났고 입자가 이탈되기 시작하는 한계속도는 200번체 통과량에 비해 하여 감소하는 경향을 보였다. 이탈률의 변화율은 간극률에 비해하여 증가함을 보였으며 입도분포가 불량하고 200번체 통과량이 적은 시료에서의 입자이탈률이 가장 크게 나타났다.

또한 실험결과를 토대로 단계별 입자유동현상을 표현하는 기본방정식을 모델링하고 유한차분법을 이용하여 해를 구하므로써 흐름이 발생하는 지반구조물에서 입자유동현상이 미치는 영향을 파악할 수 있는 토대를 마련하였다.

Keywords : Particle transport, Effluent concentration, Critical velocity, The rate of change of erosion rate

1. 서론

풍화잔적토의 경우 모암의 지질학적 특성, 풍화 정도 및 구성입자의 특성 변화 등으로 인하여 입도분포에 있어서 자갈에서 점토까지 다양한 크기의 입자가 복합된 지반을 이루고 있다. 그러므로 풍화잔적토지반에 설치된 지반구조물에 흐름이 발생하는 경우, 점토크기의 입자들은 흐름에 의해 입자유동(particle transport)이 발생하는 세립분으로 볼 수 있으며 동수경사 또는 유속이 큰 경우는 실트크기의 입자도 물과 함께 이동할 수 있다. 강우나 지하수의 흐름과 같은 수리동역학적 요인에 의한 흙 입자유동이 토류 구조물에 미치는 영향을 살펴보면, 옹벽 배면의 세립토사가 강우에 의해 이동하여 옹벽의 배수파이프를 막아 수압을 증가시키고 배수터널에서는 유동된 세립분이 필터재를 막는 현상이 발생하여 라이닝에 과도한 침투수압을 발생시키게 되는 원인이 된다. 흙댐 또는 사력댐의 경우는 입자유동에 의해 제체에 점차적인 침식유로를 형성하거나 유동된 세립토사가 저부 필터층에 퇴적되어 과도한 동수경사로 인한 파이핑 현상을 유발하며 연약지반처리공법 적용시, 동수경사에 의해 점토층의 간극수가 소산되면서 세립점토가 필터층을 막

는 현상(clogging)이 발생하여 압밀시간이 지연되는 현상등이 발생한다. 그러나 이와 같이 많은 지반구조물에 있어서 입자유동이 안정성에 미치는 영향에 비해 설계 및 시공에의 반영은 미흡하고 특히 풍화잔적토에 대한 적용은 거의 없는 실정이다.

외국의 경우에는 오히려 입자유동이론을 오염된 지반을 정화하는데 이용하기도 하는데 이는 오염된 지층에 물을 공급하여 흐름을 유발하고 큰 비표면적을 갖고 있는 점토 입자에 흡착된 오염물을 유동시켜 처리하는 방법으로 이루어지고 있다 (Reddi and Govindaraju, 1995).

본 논문에서는 흙모체(soil matrix)로부터의 입자이탈(detachment)과 유동(transport)에 대한 이론을 흐름에 의해 발생하는 동수경사 그리고 흙속에서의 간극수 이동속도에 관련시켜 각각에 대해 살펴보고 인공혼합토에 대한 실험으로부터 얻어진 기존의 수학적모델링의 타당성을 검토하였다. 또한 국내의 대표적인 잔류토 지반인 풍화잔적토의 입자유동특성을 실내시험을 통해 확인하였으며 이를 토대로 입자유동현상에 대한 기본방정식을 모델링하고 수치해석을 실시하여 시간에 따른 입자유출율을 파악하였다.

2. 입자유동이론

2.1 입자유동메카니즘

흙모체로부터의 세립자의 이탈과 유동에 대한 물리적인 메카니즘을 수학적으로 모델링을 하기 위해 간극에서 발생하는 물리적현상을 동수경사에 의한 흐름에서의 물의 흐름에 대한 지반공학적 지식으로부터 알아보면 다음과 같다.

(1) 흙 모체로부터의 점토입자 이탈

점토입자가 가지고 있는 전기화학적인 힘 그리고 흙모체와의 상호표면력 때문에 흙모체에 붙어 있는 입자와 간극속에 부유되어 있는 입자는 움직이지 않고 평형을 이루고 있다. 그러므로 강우 또는 지하수위변동으로 인해 간극 크기에서의 콜로이드 입자가 움직일 수 있는 힘이 가해져야 입자가 움직이게 된다. 이와 같이 입자이탈을 일으키는 주 요인을 간극 벽에 작용하는 흐름의 속도에 의한 전단력과 흙에 작용하는 동수경사에 의한 압축력으로 표현할 수 있다.

(2) 간극수에서의 입자의 유동

수두차로 인해 발생된 전단력과 압축력에 의해 흙 모체에서 이탈한 콜로이드 입자와 부유상태의 입자는 물과 함께 간극수의 경로를 따라 부유형태를 띄며 이동하게 된다. 이때 흐르는 물에 대한 세립자의 함량을 입자유출농도(c)로 볼 수 있다.

(3) 점토입자의 퇴적

점토입자가 흙 모체에서 이탈하여 부유형태의 액체로서 흐름의 속도에 의해 매체내의 간극사이로 움직이며 간극수의 흐름속도가 변화되거나 간극의 크기의 변화에 의한 기하학적 조건에 의해 어떤 간극에서는 입자가 퇴적되거나 흙모체에 부착되게 된다. 퇴적된 입자들은 간극수의 속도나 간극의 크기 조건이 바뀌면 다시 움직이기도 한다. 이와 같은 세 가지 현상은 입자의 유동 과정에서 동시에 발생하는 것으로 볼 수 있다.

2.2 입자유동방정식의 고찰

지층에 흐름이 발생하는 경우, 입자유출 및

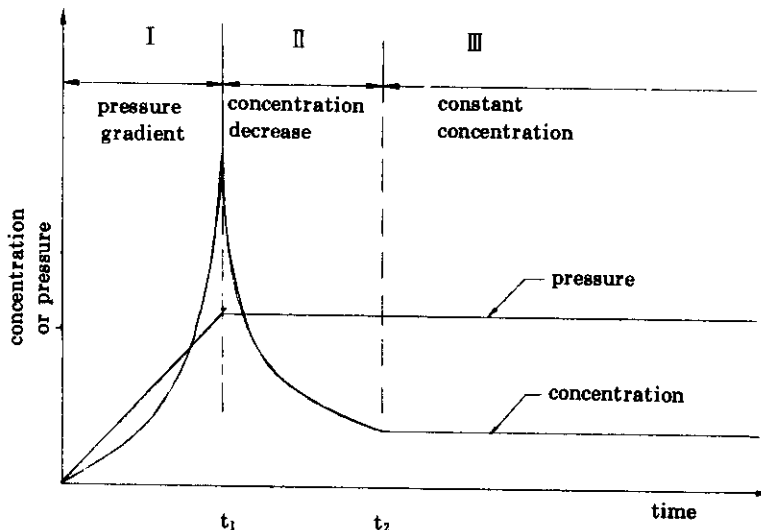


그림 1. 압력에 따른 시간-유출농도곡선

퇴적에 대한 방정식은 질량보전의 법칙으로부터 유도될 수 있으며 요소부피당 입자의 질량 평형을 고려한 입자유동방정식은 다음과 같이 나타내어진다(Gruesbeck and Collins, 1982).

$$\frac{\partial}{\partial t}(nc+n_i\sigma)+v\frac{\partial c}{\partial x}=0 \quad (1)$$

여기서, nc 는 단위 부피당 현탁액 속의 입자 부피 (L^3)

$n_i\sigma$ 는 단위 부피당 퇴적되는 입자 부피 (L^3)

c 는 간극수내의 입자 농도(M/L^3),

n_i 는 초기간극비, n 은 입자이탈이나 부착후의 간극비

σ 는 시료모체 내의 단위간극부피당 퇴적된 입자 농도(M/L^3)

v 는 Darcy 속도(L/T), x , t 는 각각 공간과 시간의 좌표이다.

외국의 경우 상기의 방정식으로부터 포화된 지층에서의 흡입자의 이탈 및 퇴적량을 파악하기 위한 연구가 여러 가지 이론을 기초로 상당히 진척되어 있다. Reddi와 Govindaraju (1995)는 모래와 점토를 혼합한 흡시료에 대한 실험으로부터 그림 1과 같은 압력(pressure) 및 시간에 따른 입자유출농도를 파악하였고 이를 세구간으로 나누어 각각의 단계에 대한 입자유출방정식을 제안하였다.

2.2.1 I 구간 : 압력경사 발생구간 ($0 < t < t_1$)

이 구간은 압력이 0에서부터 증가되는 구간으로 흡속의 간극수는 정상류상태가 아니고 압력경사를 가지게 된다. 그러므로 이구간에서의 입자유출농도는 간극 벽에 작용하는 흐름의 속도에 의한 전단력보다는 흡에 작용하는 동수경사에 의한 압축력에 의해 지배를 받게 되며 (2)식과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{d(nc)}{dt} = \sigma \left[\frac{x}{\rho_s} b \frac{dp}{dt} - cq \right] \quad (2)$$

여기서 σ , a , b 는 시간-농도곡선의 가파른 부분으로부터 얻어지는 계수들이다.

2.2.2 II 구간 : 급격한 농도 감소구간 ($t_1 < t < t_2$)

가해진 압력이 이 구간에서부터는 일정하게 되어 정상류상태의 흐름이 되지만 압력경사가 0이기 때문에 동수경사에 의한 압축력은 더 이상 존재하지 않게 된다. 이 구간에서 입자의 유동능력은 급격히 감소하게 되며 입자유출방정식은 다음과 같다.

$$\frac{d(nc)}{dt} = -\sigma cq \quad (3)$$

실험에서 얻어진 시간-농도곡선의 II구간에서 임의의 한점을 식(3)에 대입하여 σ 를 구할 수 있다.

2.2.3 III 구간 : 일정농도구간 ($t < t_2$)

II구간에서 입자의 유동능력은 농도가 평형상태의 값을 가질 때 까지 감소하고 t 가 t_2 를 지나면 일정한 유출농도가 계속되게 된다. 평형상태의 농도를 c_s 라 표현하면 (4)식과 같은 지배방정식이 유도된다.

$$c_s \frac{dn}{dt} = \sigma \left[\frac{\alpha}{\rho_s} (aq - \tau_{cr}) - c_s q \right] \quad (4)$$

여기서 τ_{cr} 은 한계전단응력을 나타내며 지반의 조건에 따라 다른 값을 가지는 지반특성치로 실험시 측정된 압력으로부터 얻을 수 있다.

위와 같이 압력에 따른 입자유동방정식과는 달리 농도가 일정한 값을 가지는 정상상태흐름에서 간극에 발생하는 속도를 중심으로 입자유출현상을 파악할 수 있는 입자유동방정식이 Reddi(1996)에 의해 제안되었다. 이는 입자유동의 기본방정식인 (1)식을 단순화하고 세립자의 유출에 큰 영향을 미치는 지반특성치만을 반영하여 입자유동방정식을 모델링하고 해를 구하는 방향으로 수행되었으며 다음과 같은 지배방정식이 제안되었다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial \sigma}{\partial t} = 0 \quad (5)$$

여기서, V 는 간극내 흐름속도(v/n)이며 $\frac{\partial \sigma}{\partial t}$ 를 S 라고 불리는 이탈률로 표현하여 (6)식과

같이 지반특성치인 β 와 V_c 를 실험을 통해 결정함으로써 입자의 이탈량을 파악하고자 하였다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V_c \frac{\partial C}{\partial x} + S = 0,$$

$$S = -\beta(V - V_c) \quad (6)$$

여기서, β = 이탈률의 변화율(M/L'), V_c = 한계속도(L/T)이다.

식(5)가 압력에 따른 입자유동방정식과 다른점은 시료모체 내의 단위간극부피당 퇴적된 입자를 나타내는 σ 를 시간에 따라 변하는 값으로 본 것이다.

3. 입자유동시험

입자유동시험은 풍화잔적토의 입자유동특성을 적절히 파악하고 입자유동방정식에의 적용이 용이하며 지반공학적인 지식으로 쉽게 이해할 수 있는 지반특성치를 결정할 수 있는 시험방법을 파악하기 위해 압력제어방식 및 속도제어방식 각각에 대해 실시하여 앞절에서 제시된 식들과 비교·분석하였다.

3.1 시험시료

실험에 사용한 시료는 국내의 대표적 풍화잔

적토 지반으로 알려진 서울의 포이동, 신내동과 경북 안동시료를 시험에 사용하였다. 풍화잔적토의 재성형시료를 사용하여 주어진 함수비와 건조단위 중량을 이용한 정적 다짐을 실시하였다. 세 시료에 대한 입도분포 양상은 그림 2와 같다.

풍화잔적토의 물리적 성질은 표 1과 같으며, 실험에 사용된 풍화잔적토의 구성성분을 알기 위한 X-Ray 회절시험 분석결과는 표 2에 나타내었다. 시료의 높이는 4cm, 직경은 10cm로 하였다.

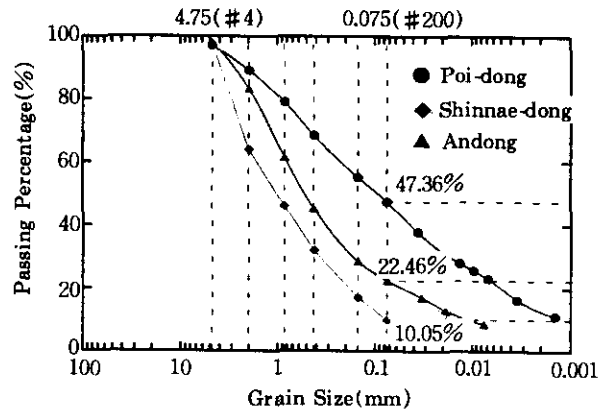


그림 2. 풍화잔적토의 입도분포곡선

표 1. 시료(풍화잔적토)의 특성

시료	공극률	건조밀도 (ton/m ³)	#200체 통과량(%)	액소성(%)			G _s	통일분류
				액성한계	소성한계	소성지수		
포이동	0.409	1.6	47.36	34.0	19.84	14.16	2.74	SC
신내동	0.358	1.7	10.05	NP			2.63	SW-SM
안동	0.296	1.7	22.46	24.8	17.1	7.7	2.74	SC

표 2. 시료의 X-Ray 회절시험 분석결과(단위 %)

시료	1차광물			2차광물					참고문헌
	Quartz	Feldspar	Mica	Kaolinite	Illite	Vermiculite	Chlorite	Montmorillonite	
포이동	17.7	15.0	9.8	23.5	20.7	8.4	4.5	-	이(1994)
신내동	33.3	50.0	9.0	6.0	-	2.0	-	-	
안동	15.81	23.64	-	40.97	3.77	5.72	-	7.51	김(1993)

3.2 시험 방법

본 시험에 사용된 시험장치는 그림 3과 같다. 그림에서 성형된 시료의 상부에는 수압에 의한 시료 상부의 흡입자 세굴을 방지하기 위해 porous stone을 설치하였다. 시료 하부에는 흡시료에서의 용액 유출시 흡덩어리의 이탈을

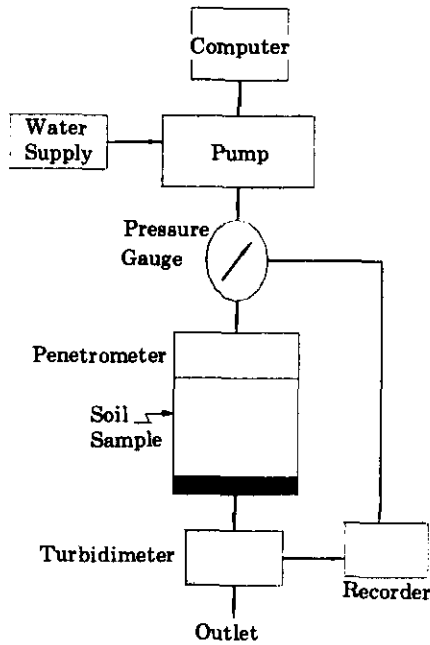


그림 3. 입자유동시험장치 구성도

방지하기 위해 No. 40번 체를 설치하였다. 입자유동시험은 압력제어시험방법을 사용하여 압력변화에 따른 시간-입자유출농도관계를 파악하였으며 유량제어시험을 통해 한계속도 (V_c) 및 흡 시료 간극사이에서 흐르는 간극수의 속도에 의한 이탈율의 변화율(β)을 측정하였다. 유출속도를 제어하는 방법은 일정유량을 시료에 유입시키는 방법을 사용하였으며 시료 상부에 압력계를 부착하여 흐름에 의해 발생하는 압력을 측정함으로써 유출속도와 상관관계를 파악하였다. 실험데이터는 압력증가단계, 정상류흐름단계 그리고 일정유출농도 단계 전 과정에 대해 얻었다.

4. 실험 결과 및 모델링

4.1 압력제어 시험결과

압력제어시험으로부터 얻은 세가지 시료에 대한 입자유출 및 가적유출량곡선은 그림 4와 그림 5 그리고 그림 6과 같다. 실험결과로부터 풍화잔적토의 입자유동특성에 주로 영향을 미치는 인자는 200번체 통과율, 간극률 그리고 입도분포로 나타났다. 포이동시료의 경우, 간극률은 크지만 세립분 함량도 많기 때문에 상대적으로 투수계수가 작아 침투농도에 이르는 시간이 가장 늦고 일정농도의 입자유출이 계속

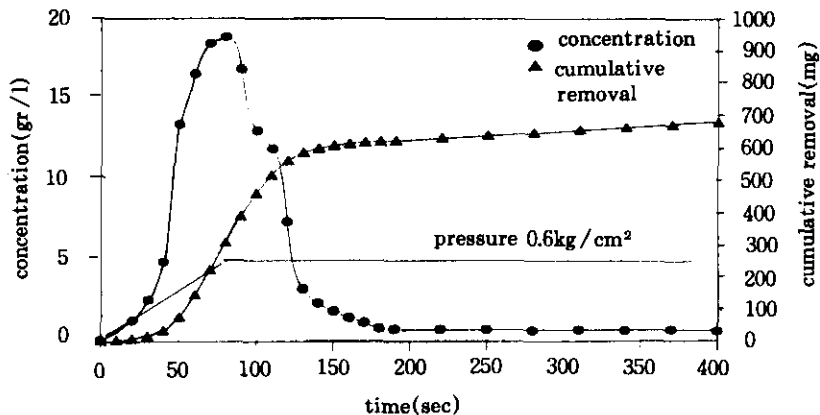


그림 4. 시간에 따른 입자농도 및 가적유출량(포이동)

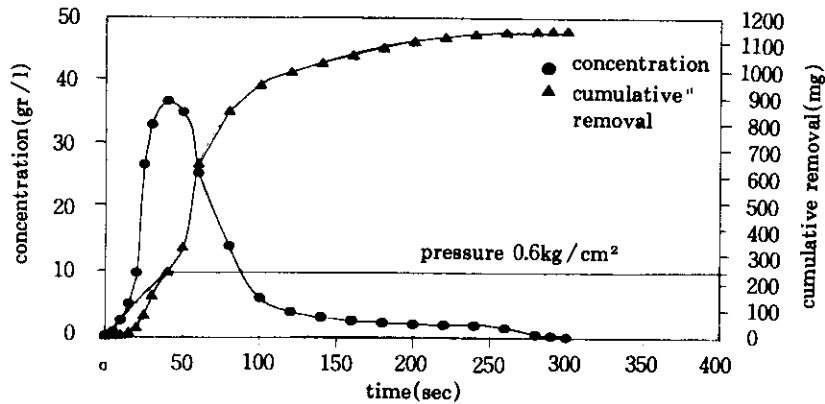


그림 5. 시간에 따른 입자농도 및 가적유출량(신내동)

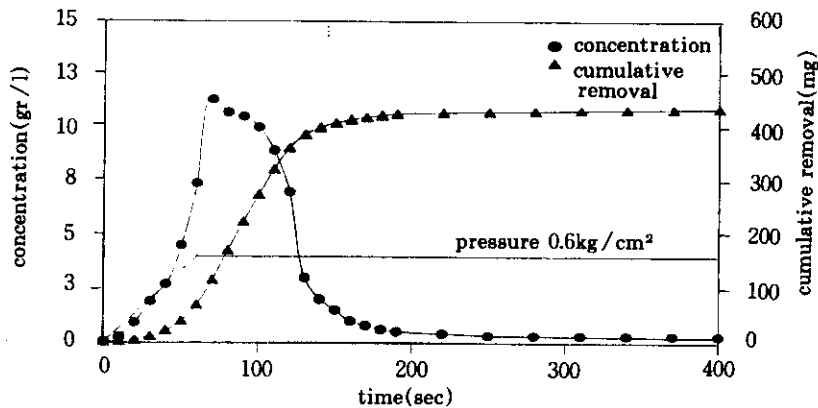


그림 6. 시간에 따른 입자농도 및 가적유출량(안동)

되는 현상을 나타냈다. 신내동시료의 경우는 침투입자유출농도는 38gram/liter, 가적유출량은 1150mg 으로 가장 크고 유출농도가 짧은 시간에 0 으로 수렴되는 현상을 보였다. 이는 세립분의 함량은 작지만 간극률도 비교적 크고 입도분포가 불량하여 간극유로의 크기가 상대적으로 크기 때문으로 판단된다. 입도분포가 가장 좋은 안동시료에서는 입자의 유출농도와 가적유출량이 가장 작게 나타났다.

실험결과를 구간에 따른 입자유동방정식 (2), (3), (4)와 비교해보면 입자유동방정식이 흐름에 의해 발생하는 물리적인 입자유동특성을 단계적으로 적절히 반영하고는 있으나 일정 농도구간(Ⅲ)에서 시료에 따라 유출농도가 지

속되는 경우와 짧은 시간에 0으로 수렴되는 현상이 나타나 값을 상수로 보는데 문제가 있다. 또한 실험에 의해 구해야 하는 특성치가 너무 많아 적용하는데 어려움이 있는 것으로 나타났다.

4.2 속도제어 시험결과

속도를 중심으로 입자유출현상을 파악하는 식(5)와 입자유동시험 결과를 비교하기 위해 실시한 시험결과는 그림 7과 같다. 포이동시료의 입자이탈이 발생하기 시작하는 한계속도 및 이탈률의 변화율을 구하기 위해 정상상태에서의 유량을 변화시켜 실시하였으며 속도경사는 일정하게 적용하였다.

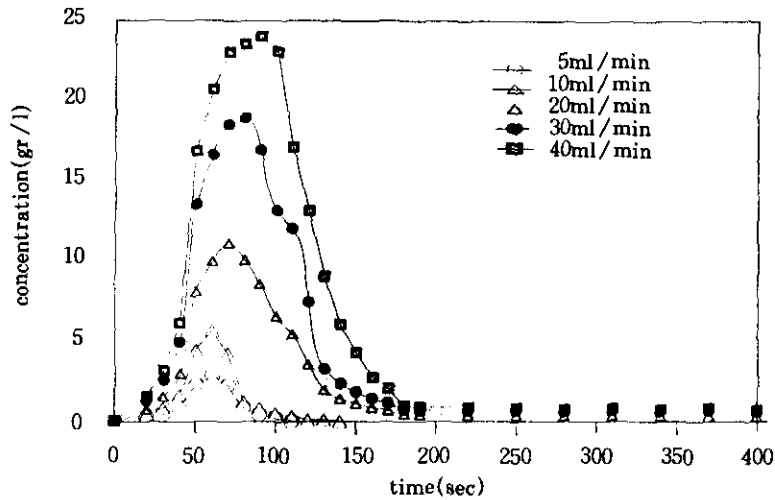


그림 7. 유량에 따른 입자유출농도(포이동)

그림 7에서 보듯이 입자유출농도 곡선이 압력제어방식과 유사하게 나타나 간극속도가 변화되는 구간에서의 입자유출농도를 반드시 고려해야 하는 것으로 나타났다. 즉 정상농도상태에서의 한계속도(V_c)와 이탈률의 변화율(β)만으로는 흐름에 의한 입자유동현상을 적절히 표현할 수 없으므로 시간에 따라 속도가 증가하는 구간에서는 속도경사를 고려해야만 한다. 그러므로 실험결과로부터 한계속도 및 이탈률의 변화율을 구하고 유출농도 증가구간의 가파른 곡선으로부터 속도경사로 인한 영향을 고려

하였다. 이때 속도경사가 입자유출농도에 미치는 영향도 시료마다 다르므로 이를 지반특성치로 보았으며 α 라 정의하였다. α 상수가 입자유동에 미치는 영향은 다음 절에서 제시되는 식(7)에 표시되어 있다. 포이동시료 뿐만아니라 신내동 및 안동시료에 대해서도 속도제어방식에 의한 입자유동시험을 실시하였으며 실험결과는 그림 8 및 표 3에 종합하였다.

속도제어방식에 의한 입자유동시험결과에서 구한 지반특성치도 200번체 통과율, 간극률 그리고 입도분포에 영향을 받는 것으로 나타나 α

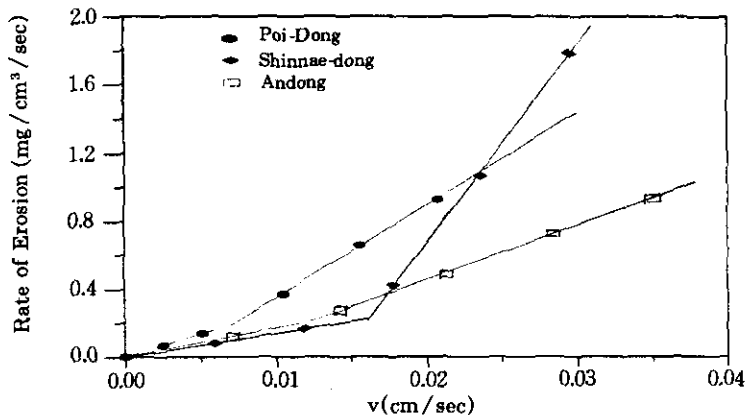


그림 8. 시험시료의 한계속도 및 이탈률의 변화율

표 3. 속도제어방식에 의한 시험결과

특성치 시료	적용유량 (ml/min)	α (sec)	한계유속 (cm/sec)	이탈률의 변화율 (mg/cm ³ ·sec)
포이동	5, 10, 20, 30, 40	0.054	0.0072	50.3
신내동	10, 20, 30, 40, 50	0.082	0.0165	118.5
안 동	10, 20, 30, 40, 50	0.043	0.0130	32.1

값과 이탈률의 변화율은 신내동시료가 가장 크고 한계속도는 세립분 함량이 가장 많은 포이동시료가 가장 작은 값을 보였다.

이와 같은 결과로부터 풍화잔적토의 입자유동특성을 살펴보면 세립분 함량이 많고 입도분포가 불량한 경우에 입자유출현상이 가장 크게 나타나며 간극물이 같은 경우에도 흙모체 내에서의 간극유로의 크기에 따라 입자유출량이 상당히 달라지는 양상을 보이는 것으로 나타났다.

4.3 입자유동방정식 모델링

지반공학의 기본이론으로부터 살펴보면 압력제어방법과 유량제어방법에 의한 입자유동 실험은 근본적인 상관관계를 가지고 있다. 그러므로 시료의 압력을 같게 하는 경우에는 시간에 따른 유출량을 파악하여 고려하고 시료의 유량을 같게 하는 경우에는 압력을 파악하여 고려하면 두 방법에 의한 시험결과는 같다. 그러므로 입자이탈량의 시간변화율을 고려할 수 있고 지반특성치의 적용이 용이한 식(5)로부터 풍화잔적토에 대한 입자유동메카니즘을 수학적으로 모델링하고자 한다. 다만 식(5)는 일정농도 지속구간에서만 적용되는 지배방정식이므로 이를 속도경사발생구간까지 확대하여 모델링하면 다음과 같다. 이때 이탈률의 변화율은 전구간에서 입자유출농도에 영향을 미치고 간극유속은 $V(v/n)$ 를 사용한다.

4.3.1 속도경사발생구간 ($0 < t < t_1$)

시간에 따라 유속이 증가하는 구간이다. 유속의 증가에 따른 가속도가 시료에 가해지면서 간극수의 흐름에 압축력이 발생하여 유출농도

가 급격히 증가하게 된다. 그러므로 이 구역과 같이 유속의 증가가 발생하는 구간에서는 속도와 가속도가 동시에 입자의 유출농도에 영향을 미치게 되지만 가속도의 영향이 지배적이다. 실험결과로부터 파악하면 각각의 시료에 있어서 유출농도에 대한 가속도의 영향은 같지 않으며 입도분포와 세립분함량에 밀접한 관계가 있는 지반특성치인 비례상수(α)로 표현할 수 있다. 따라서, 이 구역에서의 지배방정식은 속도 및 가속도에 의해서 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = \beta \left(\alpha \frac{dV}{dt} - V \right) \quad (7)$$

여기서, $\frac{dV}{dt}$ = 가속도(L/T²), α = 지반상수(T)이다.

4.3.2 급격한 농도 감소 구간 ($t_1 < t < t_2$)

이 단계에서는 속도가 일정해지므로 인해 가속도에 의한 영향이 제거되어 시료로부터 이탈되는 세립자의 양이 급격히 감소하므로 cV항이 지배적인 영향을 나타내는 구간으로 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = -\beta cV \quad (8)$$

4.3.3 일정농도구간 ($t > t_2$)

흐름의 유동능력과 이탈능력이 평형을 이루는 시점에서 입자의 유출농도는 일정하게 된다. 유출농도가 일정하게되는 시간은 지반에 따라 다르고 이 구간에서의 입자유출농도는 세립분함량에 의해 영향을 받는다.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = \beta (V - V_c - cV) \quad (9)$$

상기의 세 구간에 대한 입자유동방정식을 초

기조건과 경계조건을 고려하여 유한차분법을 이용, 시간에 따른 입자유출농도를 계산하였으며 이때 사용된 지반특성치는 표 3과 같다. 그림 9는 포이동시료에 대한 실험결과와 수치해석결과를 도시한 그림으로 수치해석결과가 침

두농도를 약간 작게 나타내고 있지만 실험결과와 상당히 일치하므로 시험에 의해 결정된 지반특성치를 가지고 실제 현장에 적용하는데 있어서 충분한 신뢰성을 확보한 것으로 판단된다.

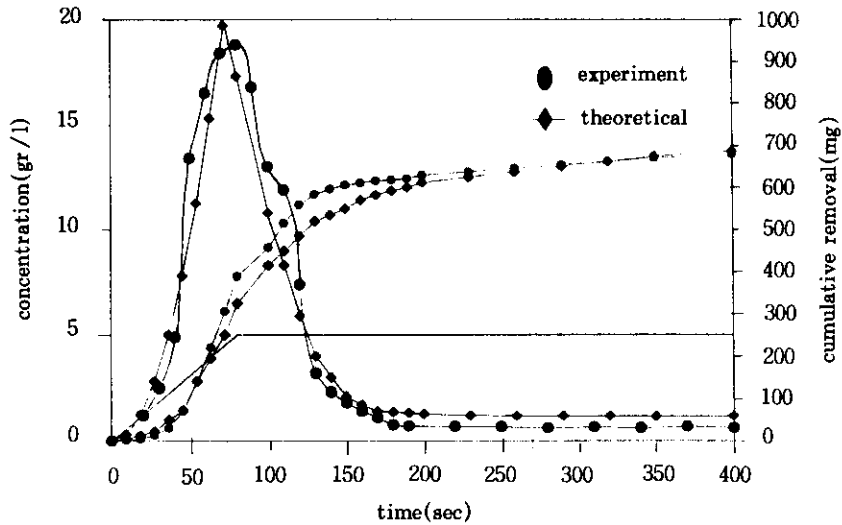


그림 9. 유출농도 및 가적유출량

5. 결 론

본 연구는 우리 나라의 대표적인 잔류토지반인 서울의 포이동, 신내동 및 경북의 안동에서 채취한 풍화잔류토의 입자유동특성을 실험을 통해 파악하였으며 측정된 지반특성치로부터 물리적인 입자유동현상을 모델링하였다. 입자유동실험 및 모델링결과로부터 도출된 결과는 다음과 같다.

- 1) 풍화잔적토의 입자유동현상에 영향을 미치는 인자는 간극률과 세립분 함량 그리고 입도분포로 나타났다.
- 2) 입도분포가 불량한 신내동시료가 침투유출농도 및 가적유출량이 가장 크게 나타났고 유출 농도가 급속히 0으로 수렴하였다. 한계속도는 세립분이 상대적으로 많이 포함된 포이동 시료가 가장 작게 나타났고 일정유출농도가 시간이 지남에 따라

계속되는 양상을 보였다.

- 3) 속도제어방식에 의한 입자유동시험을 실시하여 파악한 지반특성치로부터 흐름에 의한 입자 유출특성을 파악하는 것이 압력제어방식에 비해 간단하고 시료내에서의 물리적현상을 잘 반영하는 것으로 나타났다.
- 4) 실험에서 구한 지반특성치로부터 실제 지반구조물에서의 입자유동현상을 파악할 수 있도록 입자유동현상의 물리적메카니즘을 모델링하고 유한차분법을 이용하여 시간에 따른 입자유출량을 계산하였다.
- 5) 모든 시료에 있어서 상당한 입자이탈이 발생하여 풍화잔적토지반에 설치된 지반구조물에 흐름이 발생하는 경우, 입자유동에 의한 영향을 고려하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 고재신(1997), "용액의 성질에 따른 풍화잔적토의 유동특성에 대한 실험적연구", 고려대학교 석사학위논문, pp.35~43.
2. 김병민(1996), "풍화잔적토의 입자유동에 관한 실험적 연구", 고려대학교 석사학위 논문, pp. 19~29.
3. 김용진(1993), "구성방정식을 이용한 다짐화강토의 공학적 특성", 고려대학교 박사학위 논문.
4. 이승철(1994), "다짐잔적토의 거동 특성 연구 - 서울 포이동 지역 중심", 고려대학교 석사학위 논문.
5. Govindaraju, R.S. (1996), "A Stochastic Analysis for Movement of Fine Particles in Porous Media", ASCE Journal of Hydrologic Engineering, 1(4):161~168.
6. Gruesbeck, C. and Collins, R. E. (1982), "Entrainment and Deposition of Fine Particles in Porous Media", Society of Petroleum Engineers Journal, December 1982, pp. 847~856.
7. Reddi, Lakshmi N. and Mohan, B. (1996), "An Analytical Solution for Filter Clogging by Fines", Paper submitted to ASCE Journal of Geotechnical Engineering submitted on 6 December 1996.
8. Reddi, Lakshmi N. and Govindaraju, R. S. (1995), "Particle Mobilization in Sand-Clay Mixtures and Facilitation of Contaminant Removal-Critical Shear Stress Concept", ASCE Special Technical Publication, No. 46, Vol. 2, pp. 1222~1236.

(접수일자 1997. 8. 30)