

뢰스-고토양 퇴적물의 전처리 과정에 따른 입도분석 결과 비교

윤순옥* · 박충선** · 황상일***

Comparisons of Grain Size Analysis Results by Different Pretreatments Procedures in Loess-paleosol Sediments

Soon-Ock Yoon* · Chung-Sun Park** · Sangill Hwang***

요약 : 퇴적물이나 토양의 입도분석은 가장 중요하고 기초적인 지구과학적 연구방법 중 하나이다. 본 연구는 뽀스-고토양 퇴적물을 대상으로 10가지 전처리 과정에 따른 입도분석 결과의 차이를 비교하였다. 퇴적물의 분산에 있어 확산제의 효과가 가장 크지만, 확산제와 염산의 처리 순서에 따라 큰 차이를 보인다. 이는 염산의 염소 이온과 확산제의 나트륨 이온 사이의 정전기적 인력으로 인해, 나트륨 이온이 효과적으로 퇴적물의 칼슘 이온을 치환하지 못하기 때문으로 생각된다. 또한 과산화수소와 염산은 끓는 물보다는 효과적이지만 퇴적물의 분산에 큰 영향을 미치지 않는다. 따라서 연구 목적 및 시료 특성에 맞는 적절한 방법을 선정해야 신뢰할 수 있는 입도분석 결과를 얻을 수 있을 것이다.

주요어 : 입도, 입도분석, 전처리, 뽀스, 레이저 회절 입도분석기

Abstract : Grain size analysis of sediments and soils has been regarded as a one of the most important analytical methods in Earth Sciences. The results of grain size analysis by 10 different pretreatment procedures in loess-paleosol sediments are compared in the study. In spite of the most powerful effectiveness of dispersant(sodium hexametaphosphate) on the dispersions of sediments, the effects show large differences by its treatment orders with HCl. It may result from that Na⁺ ions in the dispersant may not be able to effectively substitute Ca²⁺ ions in the sediments due to the electrostatic forces between Na⁺ and Cl⁻ ions in the dispersant and HCl, respectively. Although H₂O₂ and HCl are more effective in dispersion than hot water, they do not affect greatly the dispersions. Therefore, the reliable results of grain size analysis can be obtained by selecting the adequate pretreatment procedures most suitable for the purposes of researches and characteristics of sediments.

Key Words : grain size, grain size analysis, pretreatment, loess, laser diffraction grain size analyzer

이 연구는 기상청 기후변화 감시·예측 및 국가정책지원 강화사업(RACS 2009-3002)의 지원으로 수행되었음.

* 경희대학교 지리학과 및 기초과학연구소 교수(Professor, Department of Geography and Research Institute for Basic Sciences, Kyung Hee University), soyoon@khu.ac.kr

** 경희대학교 지리학과 박사과정(Ph. D. Candidate, Department of Geography, Kyung Hee University), pcus96@hanmail.net

*** 경북대학교 지리학과 부교수(Associate Professor, Department of Geography, Kyungpook National University), hwangsi@knu.ac.kr

1. 서론

입도분석은 시료에서 개별 입자의 크기 분포를 측정하는 것으로(Gee and Bauder, 1986), 지형학, 퇴적학 또는 지질학과 같이 퇴적물 또는 토양을 다루는 지구 과학 분야에서는 매우 중요한 분석방법 가운데 하나이다. 퇴적물의 입도분석을 통해 퇴적 당시의 환경, 퇴적물을 이동시킨 기구의 시·공간적 변화, 퇴적 이후에 있었던 환경변화 등 다양한 정보를 추출해 낼 수 있다. 특히 뫼스(loess) 연구에서 입도분석 결과는 대자율(magnetic susceptibility)과 함께 가장 중요한 고기후 대리자(paleoclimatic proxy)로 여겨지고 있으며, 퇴적물의 이동경로, 기원지, 과거 대기 순환 등에 대한 다양한 정보를 제공한다(An *et al.*, 1991; Porter and An, 1995).

전통적으로 조립 입자의 입도분석은 표준체를 이용해 왔으며, 세립 입자는 “스토크의 법칙(Stoke's Law)”을 이용한 침강법(sedimentation method) 또는 피펫법(pipette method) 등이 이용되어 왔다(Gee and Bauder, 1986; Chough *et al.*, 1995). 최근에는 레이저 또는 X선을 이용한 다양한 입도 분석기기가 발명되어, 분석 과정의 편리성, 높은 해상도의 입도 자료 획득 그리고 분석 시간의 단축과 같은 장점(Beuselinck *et al.*, 1998)으로 인해 널리 활용되고 있다. 또한 외국뿐만 아니라 국내에서도 직접적인 디지털 이미지 촬영과 이의 처리를 통해 조립 입자에 대한 입도분석 방법도 고안되어 이미 여러 분야에서 활용되고 있다(Chang and Park, 2001; Hwang *et al.*, 2005; Buscombe, 2008).

다양한 입도분석 방법이 개발되면서 분석 방법에 따른 결과의 차이에 대한 논의도 상당히 많이 이루어져 있다(Beuselinck *et al.*, 1998; Konert and Vandenberghe, 1997). 전통적인 방법과 레이저 입도 분석기를 이용하여 얻은 결과를 비교한 연구가 많은데, 분석에 사용된 시료에 따라 차이를 보이지만 대체로 조립 입자보다는 세립 입자에서 그 차이가 크며, 측정 방법의 특성,¹⁾ 입자의 형태, 광물 조성 등의 차이에 기인한다고 보고되고 있다(Beuselinck *et al.*, 1998; Konert and Vandenberghe, 1997; Blott and Pye,

2006; Loizeau *et al.*, 1994).

퇴적물 특히 풍성 퇴적물에서는 최소 확산 방법으로 이루어진 입도분석이 퇴적물의 운반 특성을 보다 정확하게 설명한다는 의견도 있지만(Mason *et al.*, 2003; McTainsh *et al.*, 1997), 대부분의 경우 적절한 전처리 과정은 신뢰성 높은 자료를 획득하는데 반드시 필요하다고 인식되고 있다. 연구자에 따라 화학 약품의 양, 농도, 반응시간 그리고 반응온도 등에 차이가 있으나, 일반적인 전처리 과정은 “수분 제거를 위한 건조 → 유기물 제거를 위한 과산화수소(H₂O₂) 처리 → 탄산염 또는 철산화물 등을 제거하기 위한 염산(HCl) 처리 → 중화 → 퇴적물을 분산시키기 위한 확산제 첨가” 등을 거친다.

토양내 유기물은 토양입자를 고결시키는 매개체로 작용할 뿐 아니라, 광물 입자와 레이저 회절 경향이 달라 제거되지 않고 분석된다면 광물 입자만으로 분석된 것과 다른 결과가 도출될 수 있다. 그리고 퇴적 이후 토양형성작용 또는 풍화작용 등에 의해 집적되는 2차 탄산염, 철산화물 및 망간 결핵(nodule)은 산을 통해 적절하게 제거되어야 한다. 확산제 가운데에는 나트륨 헥사메타인산염(sodium hexametaphosphate, (NaPO₃)₆)이 많이 사용되는데, 결합력이 약한 나트륨 이온(Na⁺)이 보다 결합력이 강한 칼슘 이온(Ca²⁺)을 치환하면서 광물 입자를 분산시킨다(Lu and An, 1998). 또한, 초음파를 사용하여 분산효과를 높이기도 한다. 이렇게 다양한 전처리 과정이 있지만, 정작 그 결과의 차이에 대한 논의는 거의 없으며, 일부 약품의 효과만이 단편적으로 알려져 있을 뿐이다.

Chae(1979)는 규산나트륨(Na₂SiO₂·9H₂O), 수산화나트륨(NaOH), 과산화수소(H₂O₂), 나트륨 헥사메타인산염 등의 확산제 가운데 나트륨 헥사메타인산염의 분산효과가 가장 크다고 하였다. Nelsen(1983)은 세립질이 많은 시료를 4%의 나트륨 헥사메타인산염 용액 처리, 초음파 처리, 흔들기, 휘젓기 등 4가지 전처리 방법과 처리시간에 따른 변화를 조사하였다. 그 가운데 휘젓기와 초음파 처리는 시료와 무관하게 일정한 시간 내에 최종 입도분포에 도달하였으나, 용액 처리 및 흔들기 방법은 이에 도달하는데 필요한 시간이 시료마다 달랐다. Beuselinck *et al.*(1998)은 미량의 유기물 포함

2. 연구방법

토양(0.1~0.4%)을 15% 과산화수소로 유기물을 제거한 후, 각각 체-침강법(sieve-pipette)과 레이저 입도분석기(Coulter LS-100)로 분석하여 큰 차이가 없다고 하였다. Lu and An(1998)은 20개의 퇴스-고토양 시료를 대상으로 과산화수소, 염산, 확산제 등의 약품 및 초음파를 이용하여 총 6개의 서로 다른 전처리 과정을 거쳐 분석한 결과, 1일 동안 증류수에 담가두었다가 초음파로 10분 동안 처리한 시료가 가장 세립질이라고 보고하였다.

본 연구에서는 상술한 연구 성과들을 검토하여 10가지 전처리 방법을 추출하고, 각 방법으로 이루어진 입도분석 결과들을 비교하였다. 특히, 연구에 사용된 퇴스-고토양 퇴적물은 대부분이 세립질 실트와 점토 크기의 입자로 구성되어 있어, 전처리 과정에 따른 분산의 영향에 민감할 것으로 생각된다. 이 경우 동일 시료라 하더라도 각 전처리 과정에 쓰일 부시료를 나누는 과정에서 시료 사이에 미세한 차이가 발생할 수 있다. 시료마다 절대적인 입도분석의 결과가 존재하는 것이 아니기 때문에, 전처리 과정에 따른 상대적인 차이를 상호 비교하였다. 또한 전처리에 따른 연구 결과를 적용하여 퇴스-고토양 퇴적물에 유용한 입도분석 전처리 과정을 검토하였으며 기원지를 규명하는 문제도 논의하였다.

본 연구에 사용된 시료는 대천(시료명 DCSD; Yoon *et al.*, 2007), 부안(시료명 BUPS; Park *et al.*, 2007), 봉동(시료명 BDSJ; Hwang *et al.*, 2009) 지역에서 채취한 퇴스-고토양 퇴적물 20개로, 기존 연구와 동일한 시료이다. 따라서 기존 연구에서 부여한 시료명(지역 및 깊이)을 본 입도분석 시료에도 그대로 적용하였다.

입도분석의 전처리에 따른 분산 효과를 알아보기 위해 총 10가지의 전처리 과정이 선정되었다(Table 1). 퇴스-고토양 시료는 초기에 덩어리 상태로 채취되었으므로 아무런 전처리 과정을 거치지 않고서는 입도분석이 불가능하다. 따라서 먼저 전처리 방법 P1로 처리하기 위해, 끓는 물(증류수)을 시료가 잠길 정도까지 부은 상태에서 손으로 흔들어 퇴적물을 어느 정도 분산시킨 후 입도분석을 실시하였다. 그리고 끓는 물의 영향을 배제하기 위해 모든 전처리 과정에 P1의 과정을 넣었다. 유기물 함량은 시료마다 다르고, 함량 정도를 정확하게 알 수 없으므로, 과산화수소가 퇴적물과 반응하는 정도를 살피면서 조금씩 첨가하는 방법으로 유기물을 제거하였다. 시료마다 다르지만 첨가된 과산화수소(H₂O₂)의 양은 대략 30~50ml이다. 염산(HCl)과 확산제(나트륨 헥사메타인산염)는 각각 약 50ml를 첨가하였으며, 모든 반응은 약 24시간 동안 상온에서 이루어졌다.

Table 1. Detailed pretreatment procedures. 전처리 과정.

No.	Pretreatment procedures
P1	hot water
P2	hot water + drying + 30% H ₂ O ₂
P3	hot water + drying + 10% HCl
P4	hot water + drying + 0.4% (NaPO ₃) ₆
P5	hot water + drying + 30% H ₂ O ₂ + 10% HCl
P6	hot water + drying + 30% H ₂ O ₂ + 0.4% (NaPO ₃) ₆
P7	hot water + drying + 10% HCl + 0.4% (NaPO ₃) ₆
P8	hot water + drying + 30% H ₂ O ₂ + 10% HCl + 0.4% (NaPO ₃) ₆
P9	hot water + drying + 30% H ₂ O ₂ + 0.4% (NaPO ₃) ₆ + 10% HCl
P10	hot water + drying + 30% H ₂ O ₂ + 10% HCl + decanting supernatant + 0.4% (NaPO ₃) ₆

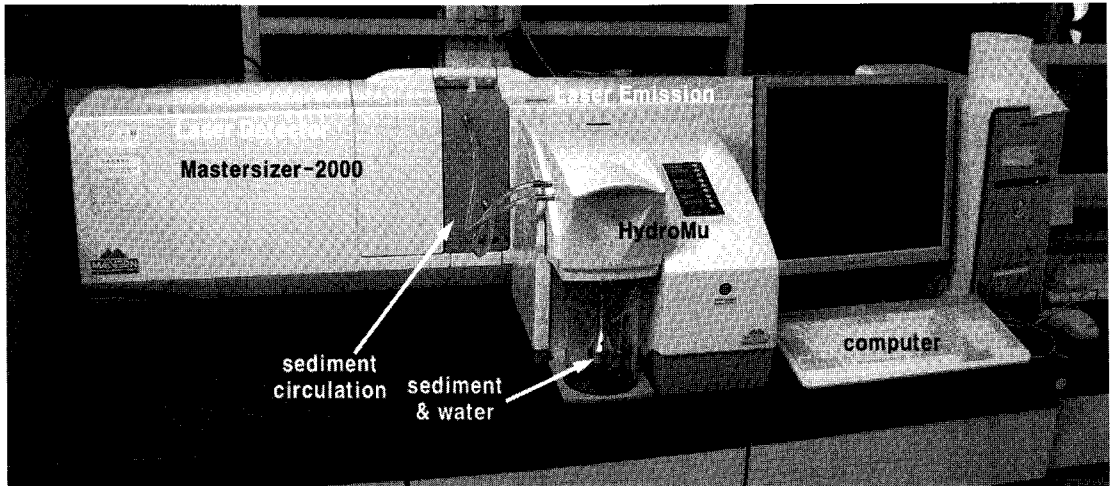


Figure 1. Photography of Mastersizer-2000 and HydroMu. Mastersizer-2000과 HydroMu의 모습.

본 연구에 사용된 입도 분석기는 Malvern Instruments의 Laser Particle Size Analyzer Mastersizer-2000 (Figure 1)으로, 측정범위는 $0.02 \sim 2,000 \mu\text{m}$ 이며, 측정된 결과는 부피비(%)로 총 100개의 입도 등급으로 표현할 수 있다. Mastersizer-2000은 레이저 회절 자료를 입도 자료로 변환시 Mie 이론을 이용하나, 사용자 설정에 따라 Fraunhofer 이론에 기초한 변환도 가능하다. Mie 이론은 퇴적물과 함께 분석시 퇴적물을 순환시키는 유체(보통 증류수)에 의해서도 레이저 회절이 일어난다고 가정하나, Fraunhofer 이론의 경우 레이저 회절은 퇴적물에 의해서만 발생한다고 가정한다(De Boer *et al.*, 1987). Mastersizer-2000은 분산 장비인 HydroMu와 2개의 튜브로 연결되어 있다. HydroMu에는 내장형 교반기 및 시료 재순환 펌프가 부착되어 있어, 물과 함께 비이커에 담긴 시료를 순환시켜 준다. 일정량의 시료를 넣어, 퇴적물을 순환시키면, 연결된 튜브를 통해 퇴적물이 이동하게 되는데, Figure 1의 회색(sediment circulation) 부분 안에는 특수 코팅된 유리 소재의 window cell이 부착되어 순환하는 퇴적물에 오른쪽(laser emission) 부분에서 왼쪽(laser detector) 부분으로 레이저가 투과하게 되고 오른쪽에 설치된 감지기를 통해 회절된 레이저 강도를 측정하여 입도 자료로 변환시킨다. 레이저 광원은 적색광원과 청색광원 2개를 사용한다(Malvern Korea

homepage). 한번 넣은 시료의 입도분석은 사용자의 설정에 따라 최대 99회까지 분석횟수를 조절할 수 있다. 본 연구에서는 한번 넣은 시료가 총 10번 분석이 되도록 설정하였으며, 동일 시료를 총 3번 분석하였다. 따라서 특정 전처리 방법으로 처리된 시료당 총 30개의 입도분석 결과를 확보하여 통계처리하였다. 또한 HydroMu에는 초음파 프로브가 부착되어 있어 분석 전 또는 분석하는 동안 초음파로 퇴적물을 분산시킬 수 있으나, 본 연구에서는 초음파의 영향을 배제하기 위해 초음파를 사용하지 않았다.

퇴적물의 분산 정도를 파악하기 위해 입도분석을 통해 얻은 자료를 기초로, Folk and Ward(1957)의 방식에 따라 평균 입경, 중앙값과 함께 모래($>63 \mu\text{m}$), 조립 실트($63 \sim 16 \mu\text{m}$), 세립 실트($16 \sim 4 \mu\text{m}$), 점토($<4 \mu\text{m}$)의 비율을 산출하였다. 그리고 특정 약품의 사용 전(x축)과 후(y축)의 변화를 살펴보기 위하여, 그래프에서 변화경향을 파악하였다.

특정 약품 처리 전후의 변화를 파악하기 위해, 각 입경별 비율 및 중앙값이 특정 약품 처리후 증가한 자료의 개수와 비율($y > x$ 인 경우)을 산출하였다. 그리고 두 변수간의 관계를 파악하는데 있어서 입도분석 자체가 일정 정도의 오차를 포함하고 있으므로 이를 최소화하기 위해 축소 주축 회귀(Reduced Major Axis Regression, 이하 RMA) 분석을 실시하였다. RMA는

변수 자료의 산포로 인한 오차를 최소화하기 때문에 일반적인 회귀 분석보다 오차를 포함하고 있는 자료 분석에 더 적합하다(Beuselinck *et al.*, 1998). RMA 분석시, 선형 모델을 가정하여 회귀식의 기울기, y절편, 상관관계(R^2) 등을 계산하였다. 또한 임계치와 한계치도 함께 산출하였는데, 임계치는 양 변수 사이에 구해진 RMA식이 x축과 만나는 지점의 x값(% 또는 μm)이며, 한계치는 RMA식과 직선 $y=x$ 가 서로 만나는 지점의 x값(% 또는 μm)이다. 계산상 음이나 100 이상의 임계치 또는 한계치가 산출되기도 하나, x, y가 모두 비율 또는 크기를 나타내므로 이러한 값들은 모두 제외시켰다.

특정 약품 처리 전후의 관계를 파악하기 위한 RMA 분석 결과, 기울기와 y절편에 따라 총 5가지 경우의 직선을 산정할 수 있다(Figure 2). 우선 RMA식이 직선

$y=x$ 와 동일하다면 이는 처리 전후에 아무런 변화가 없음을 의미한다. 그러나 이러한 결과는 실제로 산출될 수 없으나, 기울기가 1에 그리고 y절편이 0에 가까울수록 약품 처리 전후의 변화가 적다고 볼 수 있다. 기울기와 y절편이 각각 1과 0보다 큰 경우(Figure 2에서 식(a)), 한계치와 임계치는 존재하지 않으며, RMA식이 항상 직선 $y=x$ 보다 크기 때문에 약품 처리 이후 해당 크기의 입자 비율 또는 중앙값이 증가하였음을 의미한다. 반대로 기울기와 y절편이 각각 1과 0보다 작은 경우(Figure 2에서 식(d)), 임계치는 존재하나(Figure 2에서는 40) 한계치는 존재하지 않으며 RMA식이 항상 직선 $y=x$ 보다 작기 때문에 약품 처리 이후 해당 크기의 입자 비율 또는 중앙값이 감소하였음을 의미한다. 따라서 이러한 경우에는 약품 처리 전후의 변화 양상을 쉽게 파악할 수 있다.

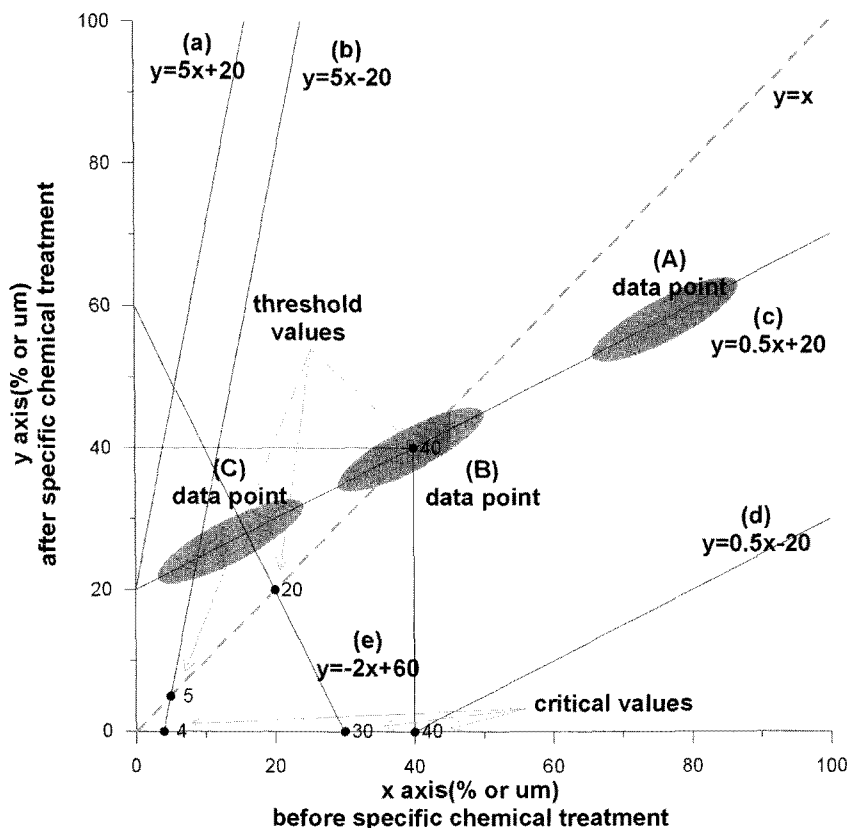


Figure 2. Examples of RMA results. RMA 결과 예시.

기울기가 1보다 작고, y절편이 0보다 큰 경우(Figure 2에서 식(c)), 임계치와 한계치의 존재여부는 RMA식의 계수에 따라 달라진다. 또한 약품 처리 이후의 변화 양상은 자료점의 위치에 따라 달라지는데, Figure 2에서 자료점(A)는 RMA식이 직선 $y=x$ 보다 작은 지역에 위치하고 있어 약품 처리 이후 비율 또는 중앙값이 감소하였음을 의미하나, 자료점(C)는 직선 $y=x$ 보다 큰 지역에 위치하고 있어, 비율 또는 중앙값이 증가하였음을 의미한다. 그러나 자료점(B)와 같이 한계치와 자료점이 겹쳐서 분포하고 있을 경우 해당 크기의 입자 비율 또는 중앙값이 증가 또는 감소하였는지 판단하기 쉽지 않다. Figure 2에서 식(b)는 기울기가 1보다 크고 y절편이 0보다 작은 경우로 식(c)와 반대의 상황이다. 또한 음의 기울기(Figure 2에서 식(e))가 나타나기도 하였는데 이때는 매우 큰 변화가 일어나 쉽게 약품 처리 전후의 변화 양상을 파악할 수 있다.

3. 입도분석 결과

Figure 3은 10가지 전처리 방법을 거쳐 입도분석된 20개 시료의 평균 입경을 나타낸 것이다. 우선 P1 전처리 과정으로 분석된 경우, 시료에 관계없이 매우 큰 편차의 평균 입경 변화를 보인다. 예를 들어, BDSJ270의 경우 $4\sim 225\mu\text{m}$ 의 평균 입경을 보이며, DCSD70의 최대 평균 입경은 약 $430\mu\text{m}$ 에 이른다. 또한 평균 입경의 표준편차 역시 최소 약 $29\mu\text{m}$ (BUPS240), 최대 약 $97\mu\text{m}$ (DCSD110)의 값을 보여 차이가 매우 크다. 이는 끓는 물로는 시료를 충분히 분산시킬 수 없고, 오히려 분석을 위해 비커에 놓인 초기 시료의 덩어리 상태가 시료의 분산에 더 큰 영향을 미친 것으로 보인다. 덩어리가 클수록 분산이 불량하여 보다 조립질로 측정되었다. 아울러 입도 분석기에서 분석되는 동안 강제로 순환되기 때문에 급격하게 입도가 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 끓는 물에 의한 전처리 방법은 분산의 효과가 거의 없는 것으로 판단된다.

대천지역 시료 가운데 DCSD200과 부안(BUPS)지역의 대부분 시료는 다른 시료들에 비해 모든 전처리 과

정에서 평균 입경 변화가 상대적으로 크다. 예를 들어, 비교적 편차가 작은 DCSD110의 결과 중 P4로 전처리한 평균 입경의 표준편차는 약 $0.22\mu\text{m}$ 인 반면, BUPS270에서는 약 $15.7\mu\text{m}$ 이다. 특정 전처리 방법이 아니라 모든 전처리 방법에서 편차가 크다는 것은 결국 시료 자체의 분급이 불량함을 의미하며, 이는 조립질이 시료에 소량 포함되어 있기 때문으로 생각된다.

시료에 따라 약간 차이가 있으나, 대체로 P4, P6 그리고 P9의 전처리 방법으로 분석된 시료가 평균 입경이 가장 작고, 편차도 다른 전처리 방법에 비해 작다. 예를 들어, DCSD110의 경우, 전처리 방법 P4, P6 그리고 P9로 분석된 시료의 평균 입경은 각각 $6.87\sim 7.85\mu\text{m}$, $7.19\sim 8.70\mu\text{m}$, $7.35\sim 11.45\mu\text{m}$ 이며, 평균 입경의 표준편차는 각각 약 $0.22\mu\text{m}$, $0.38\mu\text{m}$, $0.91\mu\text{m}$ 이다. 한편 동일 시료를 전처리 방법 P2로 분석하였을 때에는 평균 입경과 평균 입경의 표준편차가 각각 $83\sim 108\mu\text{m}$, $7.03\mu\text{m}$ 로 나타났다. 따라서 평균 입경이 작다는 것은 시료가 효과적으로 분산된 상태에서 입도분석이 이루어졌음을 의미하며, 평균 입경의 표준편차가 다른 전처리 방법에 의한 것보다 작다는 것 역시 분산이 잘 일어나 유사한 크기를 갖는 입자로 분산되었기 때문이다.

전처리 방법 P10으로 처리되어 분석된 BDSJ150과 같이, 일부 시료에서 30개의 평균 입경 중 일부가 매우 크게 측정되었다. 이러한 현상은 교반기에 부착된 프로펠러가 회전하면서 발생한 거품이 튜브를 통해 이동되어 직접 측정된 경우이다. 이러한 거품의 크기는 보통 수백 μm 로 측정되기 때문에, 각 측정 결과의 입도 분포 곡선을 통해 쉽게 확인 가능하다. 또한 이러한 거품은 초음파를 사용하면 적게 발생하나, 본 연구에서는 초음파를 사용하지 않아 일부 시료의 분석과정에서 시료와 함께 측정되었다.

1) 과산화수소의 영향

과산화수소가 퇴적물의 분산에 미치는 영향을 알아보기 위해, 모래, 조립 실트, 세립 실트, 점토 등 각 입경별 비율과 중앙값의 RMA 분석 결과를 그래프와 표로 제시하였다(Figure 4, Table 2). 각 입경별 크기 비율의 변화는 해당 입경에 특정 약품이 미치는 영향을

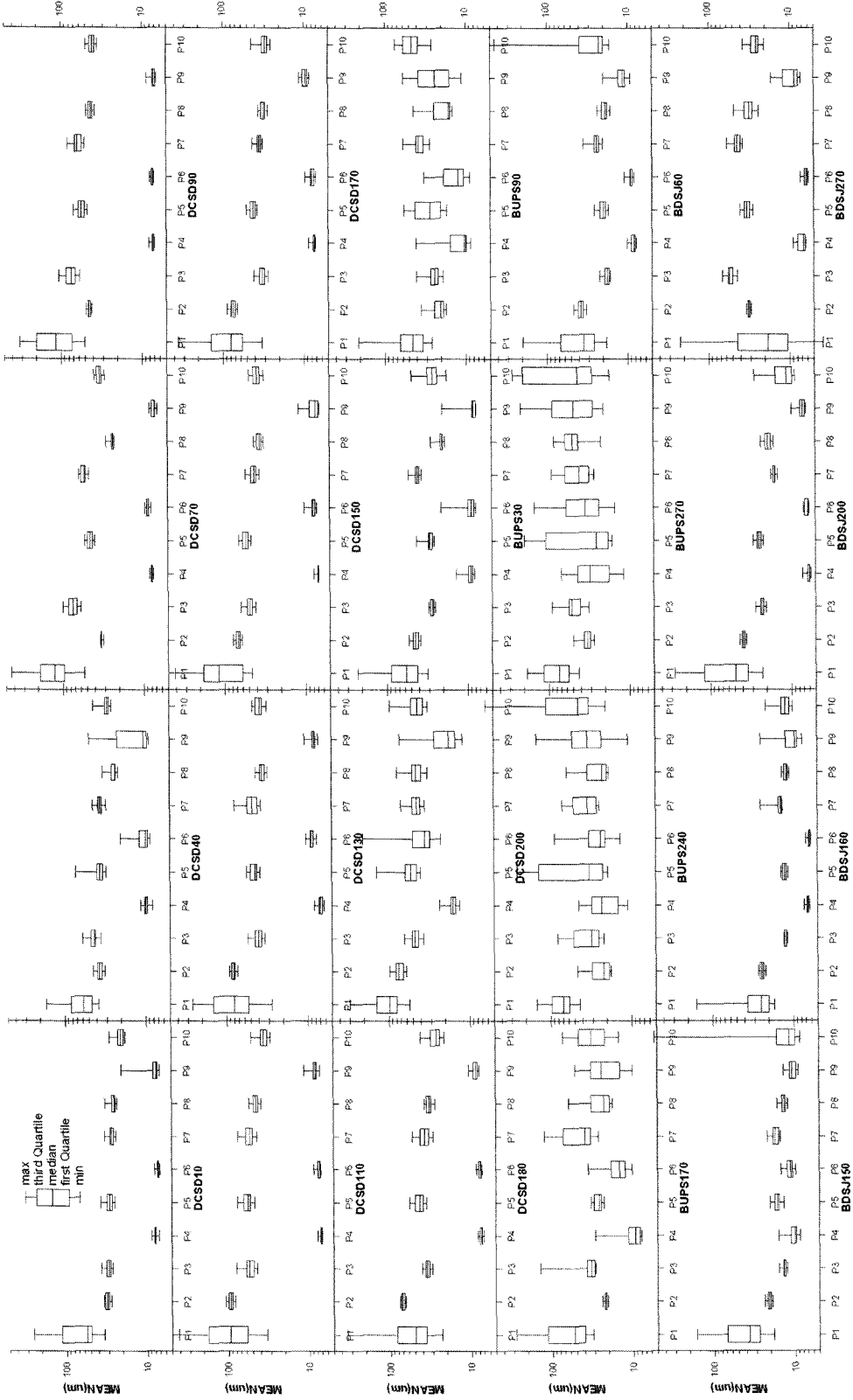


Figure 3. Comparison of mean values of loess-paleosol samples. 피스-고토양 시료의 평균 입경 비교.

살펴볼 수 있으며, 중앙값의 변화는 시료의 전반적인 분산 경향을 파악할 수 있다. 또한 입경별 비율은 0~100%의 범위 안에서 변화하지만, 중앙값은 수 μm 에서 수백 μm 까지 변화할 수 있으므로 변화의 폭이 상대적으로 더 크다.

Figure 4의 입경별 비율에서 RMA식의 기울기는 0.937~1.391의 범위이며, y절편은 -11.804~3.666이

다. 상관관계는 0.040~0.816으로, 상대적으로 세립 싨트와 점토 입자는 높은 상관관계를 보이는 반면, 조립 싨트에서는 비교적 낮고, 모래에서는 중간 정도의 상관관계를 보인다.

염산과 과산화수소를 사용하였을 경우(P3→P5; Figure 4(a)~(d)), 기울기는 0.9378~1.068, y절편은 0.1658~3.666으로 Figure 4에 나타낸 다른 경우에 비

Table 2. Results of RMA calculations. RMA 계산 결과.

No.	RMA equation	R ²	Threshold value (% or μm)	Critical value (% or μm)	No.	RMA equation	R ²	Threshold value (% or μm)	Critical value (% or μm)
4(a)	$y=0.942x+3.666$	0.515	63.21	-	6(a)	$y=-0.7866x+48.483$	0.031	27.14	61.64
4(b)	$y=0.9481x+0.2568$	0.066	4.95	-	6(b)	$y=0.5202x+9.614$	0.000	20.04	-
4(c)	$y=0.9378x+0.1658$	0.816	2.67	-	6(c)	$y=-0.9469x+45.556$	0.001	23.40	48.11
4(d)	$y=1.068x+0.2845$	0.754	-	-	6(d)	$y=-1.138x+39.864$	0.028	18.65	35.03
4(e)*	$y=2.51x-58.434$	0.028	38.70	23.28	6(e)*	$y=1.227x-53.347$	0.000	235.01	43.48
4(f)	$y=1.391x-1.502$	0.680	3.84	1.08	6(f)	$y=0.8904x+3.862$	0.713	35.24	-
4(g)	$y=1.12x-3.231$	0.319	26.93	2.88	6(g)	$y=0.8868x+5.435$	0.495	48.01	-
4(h)	$y=1.31x-11.804$	0.696	38.08	9.01	6(h)	$y=0.8591x+1.948$	0.810	13.83	-
4(i)	$y=1.119x-4.763$	0.782	40.03	4.26	6(i)	$y=0.8136x+1.215$	0.792	6.52	-
4(j)*	$y=5.631x-42.999$	0.209	9.29	7.64	6(j)*	$y=0.7849x+8.643$	0.595	40.18	-
4(k)	$y=0.8396x-0.1383$	0.427	-	0.16	6(k)	$y=0.7936x+0.1944$	0.563	0.94	-
4(l)	$y=1.114x-4.013$	0.040	35.20	3.60	6(l)	$y=1.042x+1.776$	0.234	-	-
4(m)	$y=0.974x+2.98$	0.698	-	-	6(m)	$y=0.8923x+4.729$	0.840	43.91	-
4(n)	$y=1.211x+1.451$	0.742	-	-	6(n)	$y=0.923x+2.66$	0.832	34.55	-
4(o)*	$y=0.733x+1.943$	0.464	7.28	-	6(o)*	$y=0.2292x+21.672$	0.085	37.60	-
5(a)	$y=0.8656x-0.165$	0.346	-	0.19	7(a)	$y=1.227x-21.648$	0.002	95.37	17.64
5(b)	$y=0.7047x+10.341$	0.232	35.02	-	7(b)	$y=0.8108x-3.48$	0.264	-	4.29
5(c)	$y=1.191x+1.368$	0.533	-	-	7(c)	$y=0.838x+13.055$	0.012	80.59	-
5(d)	$y=0.9733x+1.354$	0.666	50.71	-	7(d)	$y=-1.296x+45.175$	0.054	19.68	34.86
5(e)*	$y=2.266x-73.91$	0.012	58.38	32.62	7(e)*	$y=4.368x-126.62$	0.005	37.60	28.99
5(f)	$y=-1.447x+52.232$	0.000	21.35	36.10	7(f)	$y=1.302x-5.931$	0.202	19.64	4.56
5(g)	$y=1.42x-1.408$	0.020	3.35	0.99	7(g)	$y=1.655x-27.27$	0.437	41.63	16.48
5(h)	$y=1.51x-33.006$	0.059	64.72	21.86	7(h)	$y=1.145x-2.791$	0.574	19.25	2.44
5(i)	$y=0.7291x-11.912$	0.004	-	16.34	7(i)	$y=1.35x-4.152$	0.610	11.86	3.08
5(j)*	$y=-3.251x+76.675$	0.001	18.04	23.59	7(j)*	$y=10.718x-296.79$	0.001	30.54	27.69
5(k)	$y=0.8733x+19.134$	0.031	-	-					
5(l)	$y=1.412x-1.02$	0.457	2.48	0.72					
5(m)	$y=1.123x-15.918$	0.096	-	14.17					
5(n)	$y=0.7894x-9.219$	0.000	-	11.68					
5(o)*	$y=0.4232x+27.308$	0.031	47.34	-					

Note: The number of each result indicates the number in Figure 4, 5, 6 and 7, and the symbol * indicates median(μm) and the others are percentages(%) of size fractions.

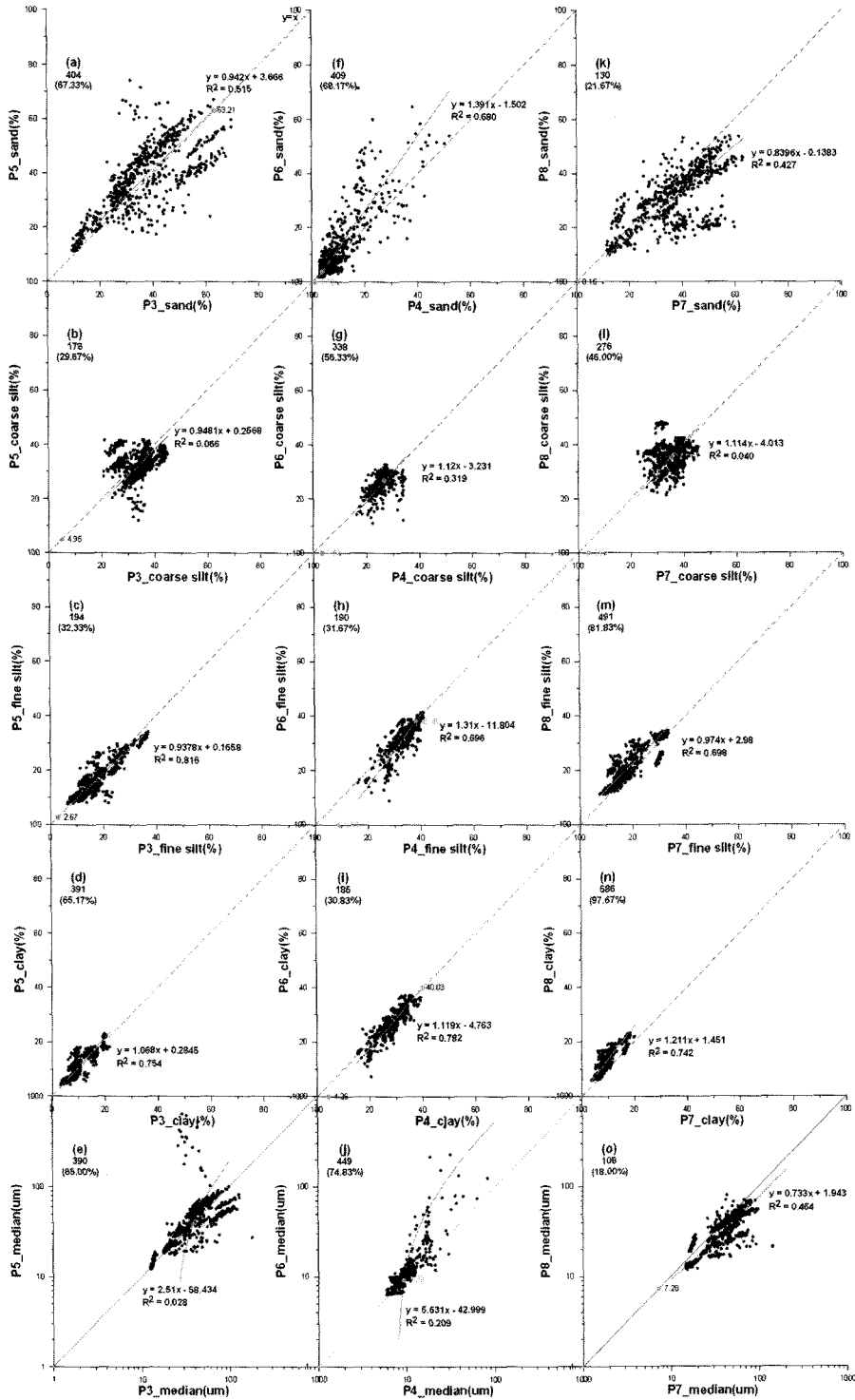


Figure 4. Comparisons of effects by H₂O₂ on dispersion of loess-paleosol samples. The threshold and critical values are presented in each graph as gray dots with labels. The number and percentage in upper left corner indicate the number of data “y>x” and its percentage. 뫼스-고토양 시료에 대한 과산화수소의 분산 효과 비교.

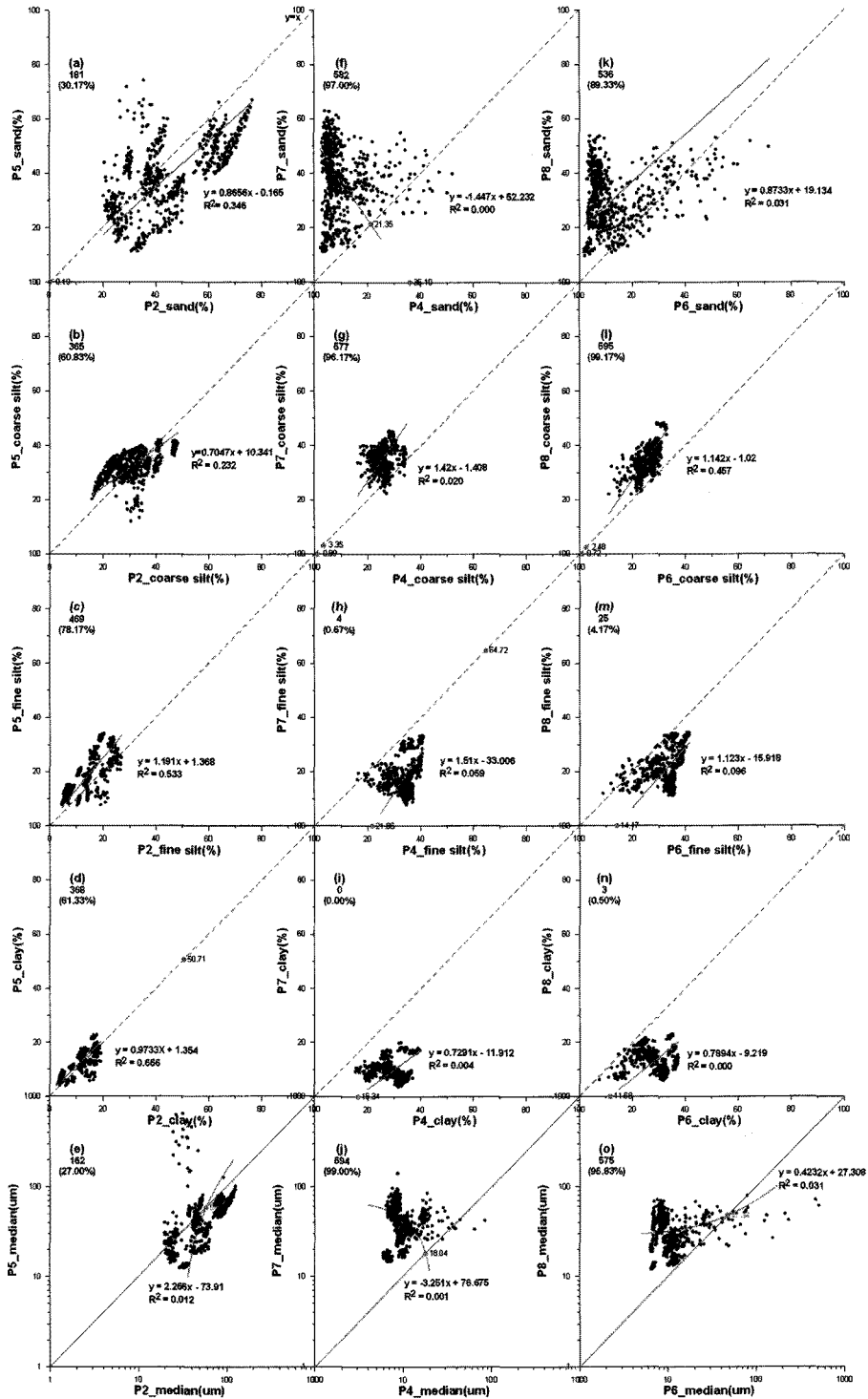


Figure 5. Comparisons of effects by HCl on dispersion of loess-paleosol samples. The threshold and critical values are presented in each graph as gray dots with labels. The number and percentage in upper left corner indicate the number of data "y>x" and its percentage. 퇴적-고토양 시료에 대한 염산의 분산 효과 비교.

해 상대적으로 변화 폭이 작다. 확산제와 과산화수소를 사용하였을 경우에는(P4→P6; Figure 4(f)~(i)), 기울기는 모두 1보다 크고 y절편은 모두 0보다 작으며, 다른 경우와 비교할 때 상대적으로 변화폭이 크다. 염산, 확산제와 과산화수소를 동시에 사용하였을 경우(P7→P8; Figure 4(k)~(n))는 염산과 과산화수소를 사용하였을 때와 변동폭이 거의 유사한 것을 확인할 수 있다. 이러한 변화 양상은 염산과 과산화수소만 사용하였을 경우 그리고 염산, 확산제와 과산화수소를 동시에 사용하였을 경우, 사용하기 전에 비해 상대적으로 변화가 적게 일어났음을 의미하며, 확산제와 과산화수소를 사용하였을 경우에는 상대적으로 변화가 크게 일어났음을 의미한다.

Figure 4(d)와 (n)에서 RMA식의 기울기와 y절편이 각각 1과 0보다 크다. 이는 과산화수소를 사용한 후, 점토의 비율이 증가하였음을 의미한다. 이와는 대조적으로 Figure 4(k)의 경우, RMA식의 기울기와 y절편이 각각 1과 0보다 작다. 이는 과산화수소를 사용한 후 모래의 비율이 감소하였음을 의미한다. 따라서 이 두 경우는 점토 비율이 증가하고, 모래 비율이 감소되었으므로 어느 정도 분산이 일어났다고 볼 수 있다. 그러나 Figure 4(g)와 같이, 한계치가 자료점의 중앙부에 위치하는 경우 과산화수소를 사용하기 전과 후의 변화를 파악하기 쉽지 않다.

중앙값은 상당히 큰 변화를 보인다(Figure 4(e), (j), (o)). 기울기와 y절편은 각각 0.733~5.631과 -58.434~1.943의 범위에 있는 것으로 나타났다. 상관관계는 최대 약 0.464로 입경별 비율에 비해 매우 낮다. 특히, Figure 4(e)와 (j)에서 한계치가 모두 자료점의 중앙부에 위치하고 있어 변화를 파악하기 쉽지 않지만, Figure 4(o)에서는 한계치가 자료점의 하단부에 위치하여, 약품 처리 이후 중앙값이 감소한 것을 확인할 수 있다.

이상의 내용을 정리하면, 전체적으로 퇴적물의 분산에 미치는 과산화수소의 영향은 미약하다고 판단된다. 그러나 확산제와 과산화수소를 사용하였을 경우, 확산제만 사용했을 때보다 퇴적물이 미약하게 뭉치는 현상을 확인할 수 있다.

2) 염산의 영향

Figure 5는 시료의 분산에 미치는 염산의 영향을 보여주는데(Table 2 참조), 일부는 앞의 과산화수소의 효과(Figure 4)와 유사하지만 매우 다른 경우도 있다. 과산화수소와 염산을 사용하였을 때(P2→P5; Figure 5(a)~(d))는 RMA식의 기울기와 y절편은 각각 0.7047~1.191, -0.165~10.341로서, 과산화수소의 영향에 비해 약간 범위가 넓지만 거의 유사하다. 상관관계도 전체적으로 약간 낮지만 조립 실트에서 가장 낮고 세립 실트와 점토에서 높아서 매우 유사한 것을 알 수 있다. 그러나 확산제와 염산을 사용하였을 경우(P4→P7; Figure 5(f)~(i))와 과산화수소, 확산제와 염산을 동시에 사용하였을 경우(P6→P8; Figure 5(k)~(n))에는 Figure 5(l)를 제외하면 모두 상관관계 0.1 이하로 아무런 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 또한 Figure 5(f)에서는 음의 기울기(-1.447)가 산출되기도 하였다.

이 두 가지 경우에서 염산을 사용하기 전과 후의 변화가 매우 크다는 사실은 주목할 만하다. 예를 들어, 확산제와 염산을 사용하였을 경우, 모래 크기의 입자에서는 전체 600개의 자료 중 97%인 582개의 자료가 증가하였으며, 점토 입자에서는 모든 자료가 감소하였다. 또한 과산화수소, 확산제와 염산을 사용하였을 경우, 점토 크기의 입자는 단 3개(0.50%)의 자료만이 증가한 것으로 나타났다. 또한 두 경우 모두에서 염산을 사용한 후 모래와 조립 실트는 증가, 세립 실트와 점토는 감소하였다. 이러한 경향은 염산에 의해 퇴적물이 뭉치면서 조립화 경향이 나타난 것으로 생각된다. 중앙값의 변화 역시 과산화수소와 염산을 사용하였을 경우(Figure 5(e)), 앞서 언급한 과산화수소의 효과와 유사한 변화 양상을 보인다. 반면, 확산제와 염산을 사용하였을 경우(Figure 5(j)) 그리고 과산화수소, 확산제와 염산을 동시에 사용하였을 경우(Figure 5(o)), 염산 사용 전, 후의 변화가 상당히 크게 일어났으며, 두 경우 모두에서 중앙값이 증가하였다.

이상의 내용을 정리하면, 염산은 과산화수소와 함께 사용하였을 때에는 퇴적물의 분산에 큰 영향을 미치지 않는데 반해, 확산제와 사용하였을 경우에는 퇴적물을 분산시키기 보다는 오히려 퇴적물을 뭉치게 하는 역할

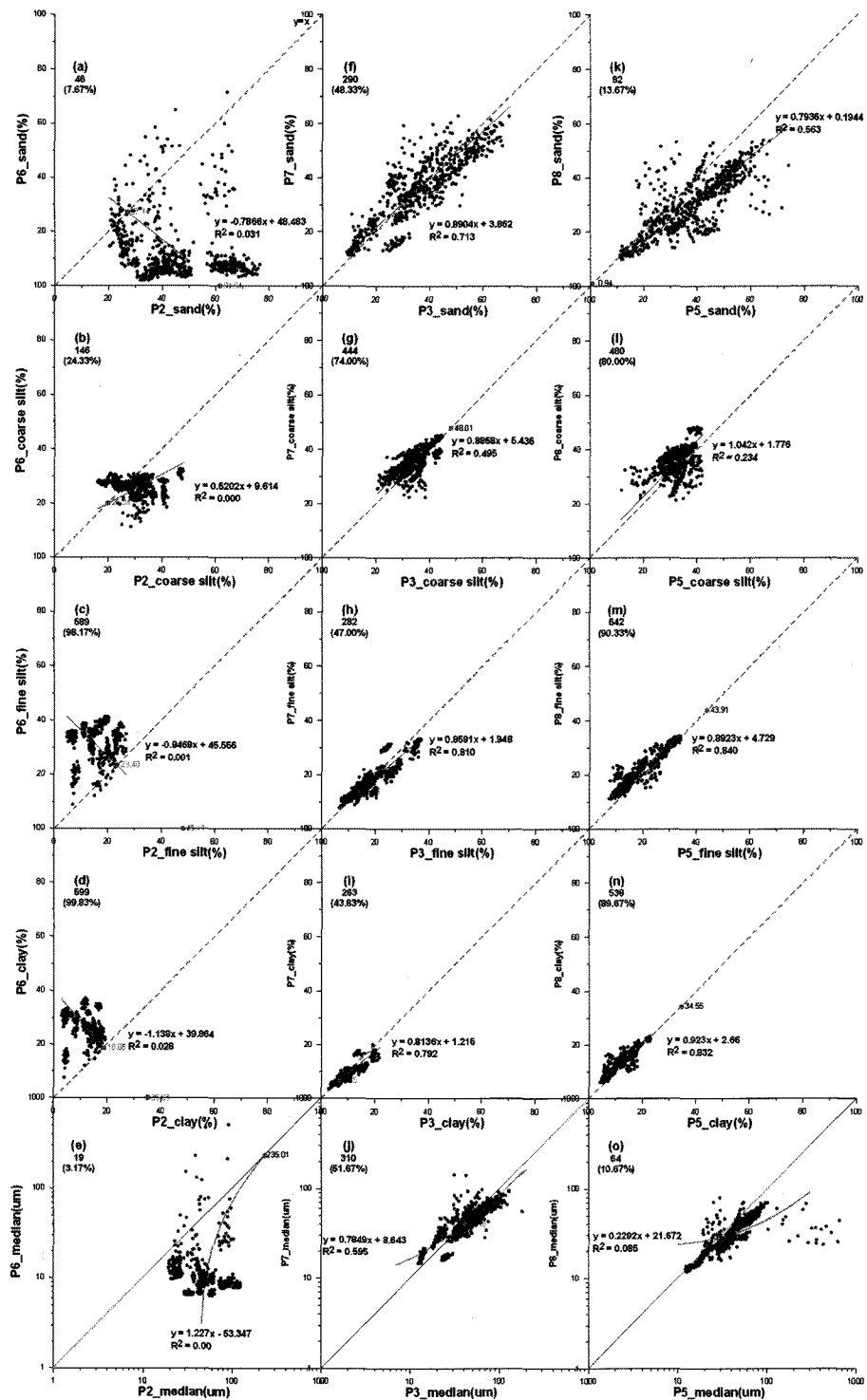


Figure 6. Comparisons of effects by dispersant on dispersion of loess-paleosol samples. The threshold and critical values are presented in each graph as gray dots with labels. The number and percentage in upper left corner indicate the number of data "y>x" and its percentage. 퇴사-고토양 시료에 대한 확산제의 분산 효과 비교.

을 한다.

3) 확산제의 영향

Figure 6은 확산제가 퇴적물의 분산에 미치는 영향을 나타낸 것이다(Table 2 참조). 이 가운데 과산화수소에 확산제를 사용하였을 경우(P2→P6; Figure 6(a)~(d))는 앞서 언급한 염산을 사용하였을 경우(Figure 5(f)~(o))와 유사하게 매우 큰 변화 양상을 보인다. 조립 실트를 제외한 다른 입자 크기별 비율에서는 음의 기울기를 보이며 y절편도 최대 약 48,483로 매우 큰 값을 보인다. 상관관계 역시 최대 0.031로 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 그러나 앞에서 언급한 경우와 대조적으로 모래와 조립 실트의 비율은 크게 감소한 반면, 세립 실트와 점토 크기의 입자는 크게 증가한 것을 확인할 수 있으며, 중앙값(Figure 6(e)) 역시 크게 감소하였다. 따라서 이는 확산제로 인해 분산이 매우 크게 일어났음을 의미한다.

그러나 염산과 확산제를 사용하였을 경우(P3→P7; Figure 6(f)~(i))에는 과산화수소의 효과(Figure 4)와 유사한 양상을 보인다. RMA식의 기울기는 0.8136~0.8904의 범위이며, y절편은 1.215~5.435의 범위이다. 상관관계는 세립 실트와 점토에서는 높은 반면 조립 실트에서는 비교적 낮은 상관관계를 보이며, 과산화수소의 경우와 거의 유사한 정도의 상관관계를 보인다. 그러나 한계치가 자료점과 겹치거나 자료점의 부근에 분포하고 있어 확산제 처리 전후의 변화 양상을 판단하기 쉽지 않다.

과산화수소, 염산과 확산제를 사용하였을 경우(P5→P8; Figure 6(k)~(n))에는 한계치가 자료점과 상당히 떨어져 분포하고 있어 변화 양상을 쉽게 확인할 수 있다. RMA식의 기울기는 0.7936~1.042이며, y절편은 0.1944~4.729이며, 상관관계는 세립 실트와 점토는 각각 0.840과 0.832로 비교적 높은 반면 조립 실트는 0.234로 매우 약하다. 모래의 경우 0.563으로 중간 정도의 상관관계를 보인다. 특히 조립 실트의 경우(Figure 6(l)), 기울기와 y절편이 각각 1과 0보다 큰 값을 보여 확산제 처리 이후 조립 실트의 비율이 증가한 것을 확인할 수 있다. 또한 모래의 비율은 대체로 감소

한 반면 세립 실트와 점토는 증가하였다.

확산제로 인한 중앙값의 변화(Figure 6(e), (j), (o))는 앞서 언급하였듯이, 과산화수소와 확산제를 사용하였을 경우는 급격하게 감소한 것을 쉽게 확인할 수 있는데 반해, 다른 두 가지 경우에는 한계치가 자료점과 겹쳐서 분포하고 있어 확산제 처리 전후의 변화 양상을 파악하기 쉽지 않지만, 전체적인 비율 변화의 측면에서 보면, 염산과 확산제를 사용하였을 경우에는 거의 변화가 없으며, 과산화수소, 염산과 확산제를 사용하였을 경우에는 중앙값이 약간 감소한 것으로 보인다.

이상의 내용을 정리하면, 확산제와 과산화수소를 사용할 경우, 과산화수소만을 사용했을 때보다 퇴적물이 크게 분산되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 확산제는 크게 퇴적물의 분산에 영향을 미치지만, 염산과 동시에 사용할 경우 이러한 효과가 반감된다.

4) 약품 처리 순서와 희석의 영향

입도분석의 전처리 과정에 있어 약품 처리의 순서와 염산의 희석에 따른 효과를 알아보기 위해 전처리 과정 P8을 수정하여 입도분석 전처리를 실시하였다. 전처리 과정 P9는 과산화수소 처리 이후 확산제를 첨가하여 분산시킨 이후에 염산을 첨가하였으며, 전처리 과정 P10은 과산화수소와 염산 처리 이후, 증류수를 부은 다음 약 48시간 동안 퇴적물을 침강시킨 후 상등액만 제거하는 과정(2회)을 통해 염산을 희석시킨 후 확산제를 첨가하여 퇴적물을 분산시켜 입도분석을 행하였다(Table 1 참조). Figure 7과 Table 2에 나타난 결과에 의하면, 순서를 변화시켰을 경우(P8→P9; Figure 7(a)~(d)), 기울기는 -1.296~1.227의 범위인 것으로 나타났으며, y절편은 -21.648~45.175의 범위에 있다. 상관관계는 전체적으로 매우 낮아 최대 약 0.264를 보인다. 또한 점토 크기의 입자에서는 음의 기울기가 산출되었다. 전체적으로 상관관계가 낮고, 음의 기울기를 보이는 것은 앞서 언급한 바와 같이 급격한 변화가 일어났음을 의미하며, 모래와 조립 실트의 비율은 감소하고, 세립 실트와 점토의 비율은 증가하였다. 따라서 염산과 확산제의 처리 순서를 바꾸어 전

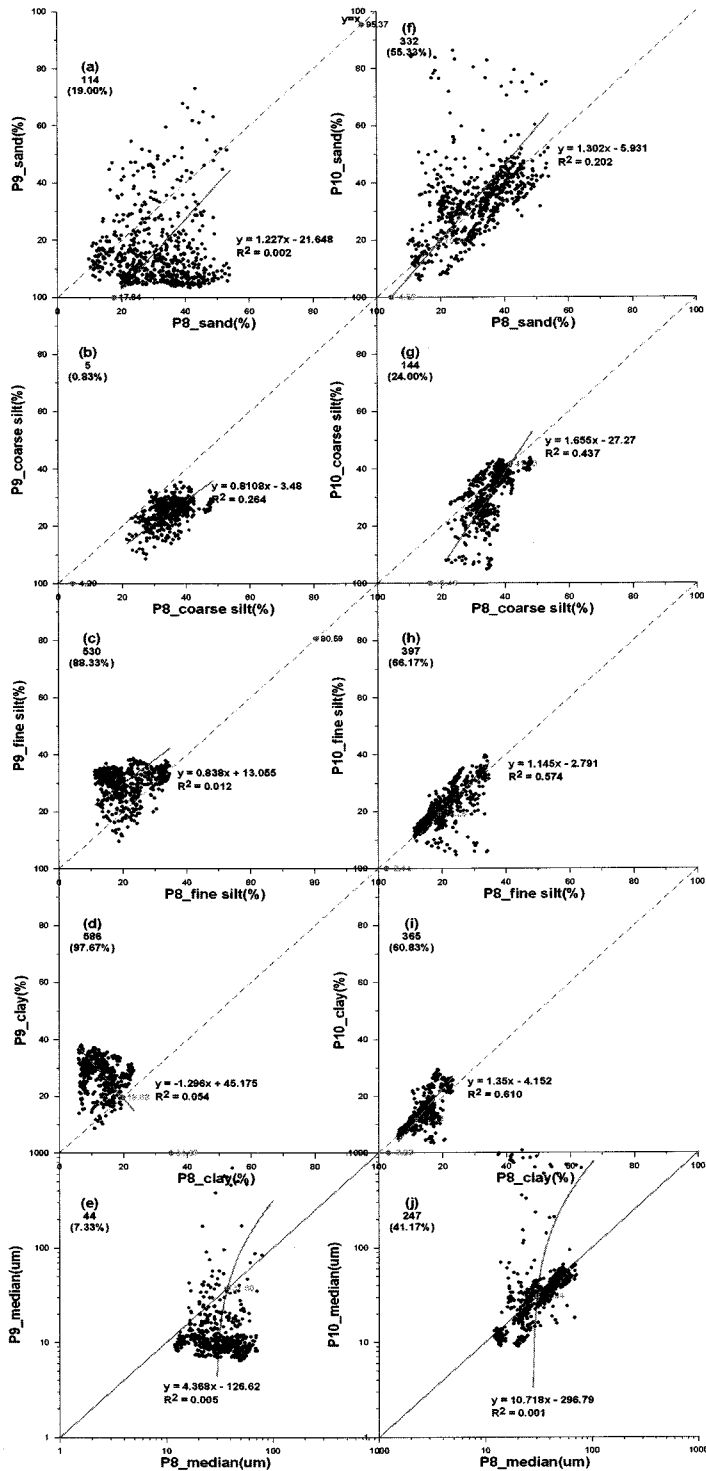


Figure 7. Comparisons of effects by order and dilution on dispersion of loess-paleosol samples. The threshold and critical values are presented in each graph as gray dots with labels. The number and percentage in upper left corner indicate the number of data “y>x” and its percentage. 리스-고토양 시료에 대한 순서와 희석의 분산 효과 비교.

처리한 시료는 충분한 분산이 일어났음을 확인할 수 있다. 중앙값(Figure 7(e)) 역시 약 0.005의 낮은 상관관계를 보이며, 분석된 자료 중 단 44개(7.33%)만이 순서를 바꾸기 이후 중앙값이 증가한 것으로 나타나, 전체적으로 분산이 일어났음을 확인할 수 있다.

염산의 희석에 따른 영향(P8→P10; Figure 7(f)~(j))은 순서의 영향과는 다른 양상을 보인다. 기울기는 1.145~1.655로 모두 1보다 크며, y절편은 -27.27~-2.791로 모두 0보다 작다. 상관관계는 0.202~0.610으로 모래에서 가장 낮은 상관관계를 보이며 입도가 작아질수록 상관관계가 커지는 경향을 보인다. 또한 모두 임계치와 한계치가 존재하나, 한계치가 모두 자료점과 겹치거나 자료점 부근에 분포하고 있어, 희석에 따른 영향을 판단하기는 쉽지 않다. 그러나 비율로 판단하면 조립 실트는 희석 이후 약간 감소하였으나 다

른 입자 크기별 비율은 큰 변화가 없다. 중앙값 변화(Figure 7(j))에서 RMA식의 기울기는 10.718, y절편은 -296.79이며, 희석 전후의 상관관계는 없는 것으로 나타났다($R^2=0.001$). 중앙값 역시 한계치가 자료점과 겹쳐 분포하고 있어 희석에 따른 분산의 효과를 파악하기 쉽지 않다.

이상의 내용을 정리하면, 염산과 확산제의 처리 순서를 바꾸기 전후의 변화는 상당히 크게 일어났으며, 퇴적물이 효과적으로 분산된 것을 확인할 수 있다. 그러나 2회에 걸친 염산의 희석과정은 퇴적물의 분산에 큰 영향을 미치지 못했다.

Table 3. Results of increase or decrease after specific chemical treatments.
특정 약품 처리후의 증가 또는 감소의 결과.

Figure 4	P3 → P5	P4 → P6	P7 → P8
sand	+	+	-
coarse silt	-	△	△
fine silt	-	-	+
clay	+	-	+
median	△	△	-
Figure 5	P2 → P5	P4 → P7	P6 → P8
sand	-	++	++
coarse silt	△	++	++
fine silt	+	-	-
clay	+	-	-
median	△	++	++
Figure 6	P2 → P6	P3 → P7	P5 → P8
sand	--	△	-
coarse silt	--	+	+
fine silt	++	△	+
clay	++	-	+
median	--	△	-
Figure 7	P8 → P9	P8 → P10	
sand	--	+	
coarse silt	--	-	
fine silt	++	△	
clay	++	△	
median	--	△	

4. 토론

입도분석에서 분산은 멍쳐 있는 광물 입자를 분리시켜 개별 입자로 만드는 과정이다. 일련의 과정을 통해 분산된 시료는 그렇지 않은 시료에 비해 조립 입자의 비율은 감소하는 반면, 세립 입자의 비율은 증가한다. 또한 분산된 시료의 평균 입경과 중앙값 역시 감소할 것이다. 다만 평균 입경은 중앙값에 비해 이러한 변화에 민감하지 않을 수 있다. 즉 특정 크기의 입자가 증가 또는 감소하더라도 상대적으로 다른 크기의 입자가 감소 또는 증가하면 평균 입경은 큰 변화를 보이지 않을 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 분산의 효과는 조립 입자 비율의 감소, 세립 입자 비율의 증가 그리고 중앙값의 감소로 정의한다. 그러나 이러한 설명 역시 각 입자 크기별 비율의 합이 100%로 고정되어 있기 때문에 어느 정도 한계를 내포하고 있다. 조립 실트의 상관관계가 다른 입자 크기별 비율에 낮게 나타난 것도 이러한 영향 때문으로 생각된다. 즉 각 입자별 비율의 합은 100%로, 실제 조립 실트 비율의 변화는 없더라도 다른 입자 크기별 비율의 변화로 인해 상대적으로 변화할 수 있다. 따라서 조립 실트의 변화는 다른 입자의 변화 경향과는 다른 결과가 산출될 수도 있을 것으로 생각된다.

특정 약품 처리 전후의 비율(각 그림의 좌측 상단에 위치한 비율)과 RMA식, 상관관계, 한계치, 임계치 등을 종합하여, 퇴적물을 특정 약품으로 처리한 후의 증가 또는 감소를 파악하여 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 증가는 ‘+’로, 감소는 ‘-’로 표기하였으며, 확연하게 드러나는 변화가 있을 경우 ‘++’ 또는 ‘--’로 표기하였다. ‘△’는 한계치가 자료점과 겹쳐 분포하는 경우와 같이 처리 전후의 변화를 파악하기 어려운 경우이다. 비율과 RMA 관계식에 의한 증감 여부는 일치하나, ‘△’로 표기된 부분에서만 일치하지 않는 것으로 나타났다.

분산이 일어났다면 앞서 언급하였듯이 모래와 조립 실트의 비율과 중앙값은 감소(-)하며, 세립 실트와 점토의 비율은 증가(+)하게 된다. 만일 반대의 경우라면, 모래와 조립 실트 그리고 중앙값은 증가(+)를, 세립 실

트와 점토는 감소(-)하게 된다. Table 3에서 이렇게 분산이 일어난 경우는 P2→P6과 P8→P9의 경우이며, 반대의 경우는 P4→P7과 P6→P8의 경우이다. 조립 실트가 예외적인 변화를 보이고 분산의 효과가 확연하지는 않지만 P5→P8 역시 분산이 일어난 경우이다. P2→P5 역시 분산이 미약하게 일어났다.

퇴적물이 약품 처리 이후 멍쳐진 P4→P7과 P6→P8은 모두 염산으로 처리한 경우이다. 그러나 과산화수소와 염산으로 처리한 P2→P5에서는 분산이 약간 이루어졌으며, 멍치는 현상은 일어나지 않았다. 이렇게 볼 때, 멍치는 현상은 염산과 확산제로 인해 발생한 것으로 보인다. 그러나 과산화수소와 확산제를 사용한 P2→P6에서는 분산이 효과적으로 일어났으나, 염산과 확산제를 동시에 사용한 경우(P3→P7)에는 분산이 일어나지 않았으며, 모든 약품을 사용하였을 경우(P5→P8)에는 약한 분산만이 이루어졌다. 따라서 염산과 확산제를 동시에 사용하였을 경우에 분산의 효과가 반감되는 것으로 보이며, P8→P9에서도 확인 가능하듯이 염산이 있는 용액에 확산제를 첨가하면 확산제의 효과가 반감되는 것을 확인할 수 있다. 또한 과산화수소와 확산제를 사용하였을 경우(P4→P6)에도 퇴적물이 정도는 미약하지만 멍치는 현상이 일어났다.

이와 같은 확산제의 효과에 대해 Lu and An(1998)은 화학 약품을 많이 첨가하면 할수록 용액 내에 보다 많은 이온이 존재하기 때문에 확산제의 효과가 반감된다고 하였다. 따라서 P4→P6에서, 확산제 처리 이후 미약하게 퇴적물이 멍치는 현상은 과산화수소의 이온으로 인해 확산제가 효과적으로 작용하지 못하기 때문인 것으로 생각할 수도 있다. 그러나 이들의 주장대로라면 염산과 확산제의 순서만 바꾼 P8과 P9가 유사한 결과를 보여야 하지만, 염산과 확산제의 처리 순서를 바꾸었을 때 분산이 뚜렷하게 일어났음을 알 수 있다.

과산화수소는 반응 후 물 분자(H₂O)와 산소 이온(O²⁻)으로 분리되어 용액 내에 존재하며, 염산은 대부분 수소 이온(H⁺)과 염소 이온(Cl⁻)로 이루어져 있는데, 대부분의 경우 희석액을 사용하기 때문에 이들 이온과 더불어 물 분자까지 존재한다. 확산제인 나트륨헥사메타인산염은 고체 분말 형태로, 물에 녹여 사용하기 때문에 이 용액에는 물 분자와 함께 나트륨 이온

(Na⁺)과 인산 이온(PO₃)으로 존재한다. 염산이 존재하는 용액에 확산제 용액을 첨가할 경우, 나트륨 이온이 염소 이온과의 정전기적 인력(electrostatic force)으로 인해, 칼슘 이온을 효과적으로 치환하지 못하는 것으로 보인다. 또한 과산화수소로 처리된 용액에 확산제를 첨가할 경우 퇴적물이 미약하게 뭉치는 것을 확인할 수 있는데, 이 역시 산소 이온과 나트륨 이온과의 정전기적 인력으로 나트륨 이온이 효과적으로 작용하지 못하기 때문으로 생각된다. 그러나 산소 이온은 대부분의 용액에 존재하고 있기 때문에 확산제의 효과에 어느 정도 영향을 미치고 있으므로, 과산화수소로 처리한 후 확산제를 첨가할 경우, 염산 처리후 확산제를 첨가할 때보다 퇴적물이 덜 뭉치는 것으로 보인다. 반면 염소 이온은 흔히 존재하는 이온이 아니며 염산 첨가시 많은 양의 염소 이온이 용액에 유입되기 때문에 퇴적물의 분산에 큰 영향을 미친다고 볼 수 있다. 전처리 방법 P9와 같이 확산제를 첨가한 후 염산으로 처리할 경우에는 이미 나트륨 이온과 칼슘 이온이 치환되었기 때문에 나트륨 이온과 염소 이온과의 정전기적 인력이 크게 작용하지 못하여, 퇴적물의 분산이 잘 일어나는 것이다.

전처리 과정 P10의 경우, 본 연구에서는 염산을 단 2회 희석하여 확산제를 첨가하는 방식으로 진행하였다. 반응이 이루어지는 비커 내에서 완전한 혼합이 이루어졌다면, 2회의 희석은 10%의 염산을 약 0.4%로 희석시켜 주었다. 이와 같이 희석이 반복적으로 충분히 이루어진다면 다른 분석 결과를 얻을 수도 있을 것으

로 기대된다.

한국에서 이루어진 뽀스 연구는 Park(1985)을 시작으로 현재까지 대략 20여 편의 연구 성과가 발표되었다. 그 중 기원지에 관한 논의가 활발한데, 대개 중국 뽀스고원 및 그 주변지역 기원(원거리 기원; Yoon *et al.*, 2007; Park *et al.*, 2007; Hwang *et al.*, 2009; Shin *et al.*, 2004)을 주장하지만, 한강, 임진강 또는 인접 범람원 기원(근거리 기원; Oh and Kim, 1994; Kim, 2007)을 언급한 예도 있다. 희토류 원소(Rare Earth Elements; Park *et al.*, 2007; Hwang *et al.*, 2009) 및 석영 입자의 산소 동위원소(Lee and Yi, 2002)와 같은 지구화학적 방법을 이용하여 기원지를 해석하려는 시도가 있어 왔으나, 한국 뽀스의 기원지 해석에 있어 일정 부분 입도분석 결과에 의존하고 있는 것도 사실이다. 즉 뽀스 물질이 인접한 범람원과 같이 근거리에서 기원하였다면 중국 뽀스고원보다 조립의 특성을 보이며, 원거리에서 기원하였다면 중국 뽀스고원보다 세립의 특성을 보인다는 것이다. 그러나 전처리 과정을 고려하지 않은 입도분석 결과의 비교는 기원지 해석에 논란만 가중시킬 뿐이다. 이러한 내용을 확인하기 위해 Figure 8에 중국 뽀스고원에서 지난 최종 간빙기(MIS 5)에 형성된 고토양층인 S1(Yang and Ding, 2008)과 대전지역 뽀스-고토양 연속층에서 동일한 시기로 편년된 S1의 시료(Yoon *et al.*, 2007; DCSD70, DCSD90)의 입도분석 결과 중 중앙값을 상호 비교하였다. 중국 뽀스고원의 시료는 총 45개 지점에서 채취된 시료로, 과산화수소나 염산으로 처리하지 않고,

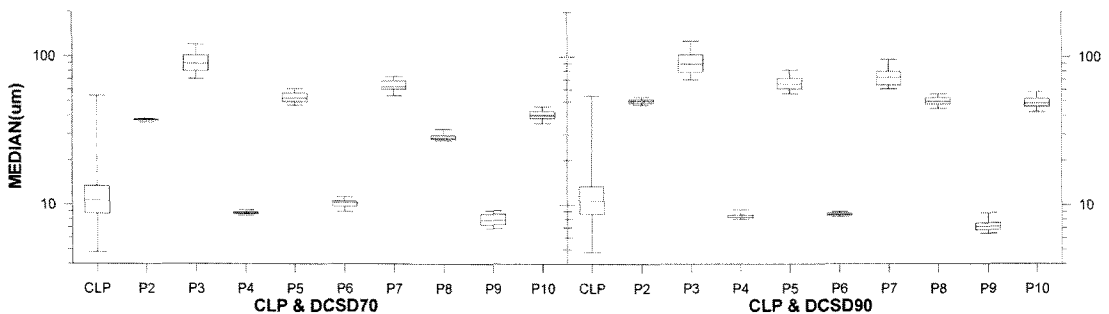


Figure 8. Comparisons of S1 samples in the Chinese Loess Plateau(Yang and Ding, 2008) and Daecheon area. 중국 뽀스고원과 대전지역 S1 시료의 비교.

20%의 확산제(나트륨 헥사메타인산염)를 첨가한 후 초음파 처리만을 거쳐 레이저 회절 입도분석기를 통해 분석되었다. Figure 8에 나타낸 값은 각 지점별 중앙값의 평균값이다.

중국 퇴스고원에서 MIS 5에 형성된 고토양층의 중앙값은 4~50 μm 로, 대부분 6~20 μm 범위에 있다. 초음파의 영향을 배제한다면 이보다 약간 더 조립일 것이다. 대천 지역 두 시료의 중앙값은 유사한 전처리 방법인 P4로 분석되었을 때에는 각각 8.4~9.2 μm , 8.0~9.2 μm 로 중국 퇴스고원에 비해 세립의 특성을 보인다. 전처리 과정 P4와 유사한 중앙값을 보이는 전처리 과정 P6과 P9의 경우에는 각각 9.0~11.3 μm , 8.3~9.0 μm 그리고 7.0~9.2 μm , 6.4~8.8 μm 로, 역시 중국 퇴스고원보다 세립의 특성을 보인다. 그러나 전처리 방법 P8로 분석되었을 때에는 중앙값이 각각 27~33 μm , 45~56 μm 로 전체적으로 중국 퇴스고원보다 조립의 특성을 보인다. 만일 대천지역 퇴스-고토양 연속층을 전처리 방법 P6으로 분석하였다면 중국 퇴스고원보다 세립의 특성을, P8로 분석하였다면 조립의 특성을 보여, 결국 전처리 방법 P6으로 분석되었을 때에는 원거리 기원, P8로 분석되었을 때에는 근거리 기원으로 해석할 수 있다. 동일한 시료에도 불구하고 이렇게 큰 차이가 입도분석의 전처리 과정에 따라 발생할 수 있다. 따라서 입도분석 전처리 과정을 고려하지 않고 입도분석 결과만을 비교할 경우 위에서와 같이 기원지 해석에 있어 오류를 범할 수 있다.

5. 결론

퇴적물이나 토양의 입도분석은 가장 중요하고 기초적인 연구방법 중 하나이다. 본 연구를 통해 전처리 방법이 입도분석 결과에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 또한 입도분석의 방법에 있어서도 큰 차이가 있음이 선행연구를 통해 밝혀진 상태이다. 따라서 입도분석 결과를 비교할 경우, 이러한 전처리 방법과 분석 방법까지 고려되어야 할 것이다. 본 연구에서는 주로 실트와 점토 크기의 입자로 이루어진 퇴스-고토

양 시료를 대상으로 전처리 방법을 달리한 시료를 레이저 회절 입도분석기로 분석을 하여 전처리 과정에 따른 입도분석 결과를 비교하였다.

퇴스-고토양 시료에서 끓는 물은 퇴적물의 분산에 별다른 영향을 미치지 않으며, 오히려 분석을 위한 시료의 상태가 더 큰 영향을 미친다. 또한 과산화수소와 염산은 끓는 물보다는 퇴적물을 잘 분산시키지만 퇴적물의 분산에 큰 영향을 미치지 않으며, 확산제가 가장 큰 효과가 있다. 이는 한반도 퇴스-고토양은 유기물 함량이 매우 적고, 망간결핵 이외에 염산으로 녹일 물질이 거의 없기 때문으로 생각된다. 퇴적물의 분산에 있어 확산제의 효과가 가장 크지만, 확산제와 염산의 처리 순서에 따라 큰 차이를 보인다. 이는 염산의 염소 이온과 확산제의 나트륨 이온 사이의 정전기적 인력으로 인해, 나트륨 이온이 효과적으로 칼슘 이온을 치환하지 못하기 때문으로 생각된다. 입도분석의 전처리 과정에서 다양한 방법이 사용되고 있지만, 연구 목적 및 시료 특성에 맞는 적절한 방법을 선정하고 방법상의 특성을 확인한 후 입도분석을 실시해야 신뢰성 높은 입도분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

사사

본 논문에 건설적인 조언을 해주신 심사자께 진심으로 감사드립니다. 또한 화학반응의 이해에 도움을 주신 삼괴고등학교 최주희 선생님, 퇴스 시료 채취를 도와준 삼괴고등학교 오일환 선생님 그리고 입도분석을 도와준 경희대학교 대학원 지리학과 강창혁군에게도 깊은 감사를 드립니다.

주

- 1) 엄밀하게 말하자면 피펫법은 일정한 가정에 입자의 침강 속도를 측정하는 것이며, 레이저 회절 입도분석기는 입자의 회절 경향을 측정하는 분석기기이다. 입자의 침강속도와 레이저 회절 경향 모두가 입자의 크기와 관련이 있지만, 입자의 침강속도와 레이저 회절 경향을 직접 비교할 경우 오차가 발생할 수 있다.

참고문헌

- An, Z. S., Kukla G. J., Porter, S. C., and Xiao, J. L., 1991, Magnetic susceptibility evidence of monsoon variation on the Loess Plateau of central China during the last 130,000 years, *Quaternary Research*, 36, 29-36.
- Beuselinck, L., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G., and Froyen, L., 1998, Grain-size analysis by laser diffractometry: Comparison with the sieve-pipette method, *Catena*, 32, 193-208.
- Blott, S. J. and Pye, K., 2006, Particle size distribution analysis of sand-sized particles by laser diffraction: An experimental investigation of instrument sensitivity and the effects of particle shape, *Sedimentology*, 53, 671-685.
- Buscombe, D., 2008, Estimation of grain-size distributions and associated parameters from digital images of sediment, *Sedimentary Geology*, 210, 1-10.
- Chae, K. I., 1979, The effect of dispersing agents on grain size analysis of soil(1), *Journal of Sangju National University*, 18, 135-141 (in Korean).
- Chang, Y. S. and Park, H. D., 2001, Image analysis method for the color and texture information of rock, *Journal of the Korean Society for Geosystem Engineering*, 38(5), 352-363 (in Korean).
- Chough, S. K., Rhee, C. W., Sohn, Y. K., and Hwang, I. G., 1995, *Sedimentology*, Woosung, Seoul (조성권 · 이철우 · 손영관 · 황인걸, 1995, 퇴적학, 우성, 서울).
- De Boer, G. B. J., de Weerd, C., Thoenes, D., and Goossens, H. W. J., 1987, Laser diffraction spectrometry: Fraunhofer diffraction versus Mie scattering, *Particle & Particle Systems Characterization*, 4, 14-19.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957, Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W., 1986, Particle-size analysis, in Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods(second edition)*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, 383-411.
- Hwang, S. I., Park, C. S., and Yoon, S. O., 2009, Weathering properties and provenance of loess-paleosol sequencen deposited in river terrace in the Bongdong area, Wangju-gun, Jeonbuk Province, *Journal of the Korean Geographical Society*, 44(4), 463-480 (in Korean).
- Hwang, T. J., Jin, C. S., Min, T. K., and Kim, C. Y., 2005, Particle size distribution analysis for granular material using digital image processing, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 25(4C), 259-266 (in Korean).
- Kim, Y. R., 2007, Properties of local loess of small basin in Charyong Ranges-Iljuk, Anseong City, Central Korea, *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 14(2), 67-81 (in Korean).
- Konert, M. and Vandenberghe, J., 1997, Comparison of laser grain-size analysis with pipette and sieve analysis: A solution for the underestimation of the clay fraction, *Sedimentology*, 44, 523-535.
- Lee, Y. I. and Yi, S. B., 2002, Characteristics of Pyeongchang-ri paleolithic-site paleosols, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea: Implication for archaeological application, *Journal of the Geological Society Korea*, 38(4), 417-489 (in Korean).
- Loizeau, J. L., Arbouille, D., Santiago, S., and Vernet, J. P., 1994, Evaluation of a wide range laser diffraction grain size analyser for use with sediments, *Sedimentology*, 41, 353-361.
- Lu, H. and An, Z., 1998, Pretreated methods on loess-palaeosol samples granulometry, *Chinese Science Bulletin*, 43, 237-240.
- Mason, J. A., Jacobs, P. M., Greene, R. S. B., and Nettleton, W. D., 2003, Sedimentary aggregates in the Peoria Loess of Nebraska, USA, *Catena*, 53, 377-397.
- McTainsh, G. H., Nickling, W. G., and Lynch, A. W.,

- 1997, Dust deposition and particle size in Mali, West Africa, *Catena*, 29, 307-322.
- Nelsen, T. A., 1983, Time- and method-dependent size distributions of fine-grained sediments, *Sedimentology*, 30, 249-259.
- Oh, K. S. and Kim, N. S., 1994, Origin and post-depositional deformation of the superficial formations covering basalt plateau in Chungok area, *The Korean Journal of Quaternary Research*, 8(1), 43-68 (in Korean).
- Park, C. S., Yoon, S. O., and Hwang, S. I., 2007, Properties and provenance of loess-paleosol sequence at the Daebo Granite area of Buan, Jeonbuk Province, South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 42(6), 898-913 (in Korean).
- Park, D. W., 1985, A study on the loessial red yellow soil of Hwangsan, Kimje County and Gangok, Chunguep County of the south western coastal area of Korea - With special reference to the possibility of loess deposition, *Geography*, 32, 1-10 (in Korean).
- Porter, S. C. and An, Z. S., 1995, Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation, *Nature*, 375, 305-308.
- Shin, J. B., Yu, K. M., Naruse, T., and Hayashida, A., 2004, Study on loess-paleosol stratigraphy of Quaternary unconsolidated sediments at E55S20-IV pit of Chongokni Paleolithic site, *Journal of the Geological Society Korea*, 40(4), 369-381 (in Korean).
- Yang, S. and Ding, Z., 2008, Advance-retreat history of the East-Asian summer monsoon rainfall belt over northern China during the last two glacial-interglacial cycles, *Earth and Planetary Science Letters*, 274, 499-510.
- Yoon, S. O., Park, C. S., Hwang, S. I., and Naruse, T., 2007, Weathering characteristics of loess-paleosol sequence at the Daechon area, South Korea, *Journal of the Geological Society of Korea*, 43(3), 281-296 (in Korean).
- <http://www.malvern.co.kr/>
- 교신: 황상일, 702-701, 대구광역시 북구 산격동 경북대학교 사회과학대학 지리학과(이메일: hwangsi@knu.ac.kr, 전화: 053-950-5230, 팩스: 053-950-6227)
- Correspondence: Sangill Hwang, Department of Geography, College of Social Science, Kyungpook National University, Sangyeok-dong, Buk-gu, Daegu, 702-701, Korea (e-mail: hwangsi@knu.ac.kr, phone: +82-53-950-5230, fax: +82-53-950-6227)
- 최초투고일 2010. 10. 3
수정일 2010. 10. 15
최종접수일 2010. 10. 16