

디지털 이미지 처리 기법을 이용한 골재입자의 형상 분류

Particle Shape Evaluation of Aggregate using Digital Image Process

황택진* · 조재윤** · 이관호*** · 송용선****

Hwang, Taik-Jean · Cho, Jae-Yoon · Lee, Kwan-Ho · Song, Young-Sun

Abstract

The purpose of this research is particle shape evaluation of granular soil and aggregate using Digital Image Process(DIP). DIP is very useful to measure the roughness and particle shape of aggregates. Couple of aggregates, like standard sand, two different crushed stones, and two different marine aggregates, have been employed. Shape factor of two different marine aggregates is ranged 0.35 to 0.54. Crushed stone I is that of 0.74 which is highly flat, but standard sand is elongated shape. Especially, two marine aggregate showed a big difference of width and length which meant a long shape. There is any significant difference of elongation ratio and flakiness for each aggregate with different measuring system, like direct measurement of vernier calipers and DIP method. Within the limited test results, DIP is one of useful to get the particle shape of aggregate with limitation of measuring errors and to apply the particle distribution curve.

Key words : Digital Image Process, Aggregate, Particle shape, elongation ratio, flakiness ratio

요 지

본 논문에서는 체분석이 불가능한 일반토사 및 조립토 입자의 입도분포 특성을 디지털 이미지 처리기법을 적용하여 분석하는 방법을 제안하였다. 디지털 이미지 처리 기법은 골재의 표면거칠기 및 형상계수 등의 정량적인 분석에 적합한 것이다. 연구에 사용된 골재입자는 주문진 표준사, 해양골재 2종, 쇠석골재 2종 등이 이용되었다. 해변자갈 I, II의 형상계수는 0.35~0.54, 쇠석 I 은 0.74의 범위로 박편 형태의 편평상으로 나타나는데 비해 주문진 표준사의 입자의 모양은 세장형으로 나타났다. 특히 해변 자갈 II는 해변자갈 I 과 달리 모든 시료보다 세장비가 작으므로 장축과 중축의 차이가 크고, 긴 입자의 형상특성을 보여주고 있다. 체가름 시험 및 실측을 통해 결정된 골재의 세장비 및 편평비와 디지털 이미지 처리 기법을 이용해 결정된 골재의 세장비 편평비는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 실측시 발생할 수 있는 오차를 최소화할 수 있는 방법으로 골재의 입도곡선 작성등에 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어 : 디지털이미지처리기법, 골재, 입자형상, 세장비, 편평비

1. 서 론

모래입자는 대부분 물리적인 풍화에 의해 형성된 부스러진 암석 입자로 구성되어 있거나 또는 화학적 풍화에 의해 남은 암석 부스러기로 구성되어 있다. 입자는 일반적으로 둥근 모양이다. 점토는 실트질 점토나 점토 및 실트로 구성되어 있으며 암석이나 흙의 화학적 풍화작용에 의해 생성되는 점토 입자는 얇은 조각 모양을 띠고 있다. 흙의 물리적 특성은 다양한 형태의 입도 분포, 밀도, 간극속의 물과 공기뿐 아니라 입자의 형상에 의해 그 특성이 변화한다. 특히 조립토에 있어서는 입자의 형상이 밀도, 투수성, 전단강도, 압축성 등 공학적 거동에 매우 큰 영향을 미친다. 하지만 매우 다양하고

불규칙한 표면을 갖는 입자의 형상은 측정하기가 어려워 이를 정량화하기 위한 연구가 미흡하며, 조립토의 형상 분석을 위한 기존의 표준 차트를 이용 시 관찰자의 주관 및 낮은 분별력에 의해 제한되어 있는 실정이다(이중익, 2003). 일반적인 입자의 형상 분류를 위한 측정법은 표준 입자의 모양과 실제의 입자를 비교하는 기존의 표준 차트를 이용하여 분류하는 것이다. 그러나 다양하고 불규칙한 표면을 갖는 입자의 형상을 정밀하게 측정하거나 이를 정량화하기 어렵다. 디지털 이미지 처리 기법(DIP; Digital Image Processing)에 의한 사용 재료입자의 형상 계수 등의 정량적인 형상 특성 분석은 이러한 문제를 해결하는데 적절한 방법이다(황택진, 2007). 입자 모양의 분석 및 정량화를 위해서는 디지털 이미지 처리

*부산광역시 도시개발실장 (E-mail:tajhwang@korea.kr)

**동의과학대 건설정보과 교수

***정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수 (교신저자)

****정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수

기법(DIP, Digital Image Processing)에 의한 시료의 이미지 분석 방법을 적용하였다. 본 논문에서는 체분석이 불가능한 일반토사 및 조립토 입자의 입도분포 특성을 디지털 이미지 처리기법을 적용하여 분석하는 방법을 제안하였다. 4종류의 형상 특성을 가진 시료를 디지털 이미지 처리 기법을 이용해 골재 입자의 형상 특성을 체분석 결과와 비교·분석하였다.

2. 이미지처리기법에 의한 입자의 형상 분류

2.1 이미지처리기법 개요

이미지처리기법에 대한 연구는 1950년대부터 영상처리 이론 개발과 군사적 목적으로 연구가 시작되었으며, 1970년대에 이르러 2차원 영상처리의 범용장치가 출현하였고 실세계 물체 인식, 장면해석, 공업용 가전제품 응용에 관한 연구가 시작되었으며 반도체 제조공정의 자동화를 중심으로 기술의 실용화가 되었다. 이와 같이 1980년대까지 영상 처리의 실용화를 거쳐, 비로소 1990년대에 영상 처리의 표준화가 진행되기 시작하였고, PC를 기반으로 한 다양한 응용 소프트웨어와 멀티미디어 및 네트워크 응용 시스템이 개발되어 현재는 여러 분야에서 폭넓게 이용되고 있다. 최근 이미지처리 기술은 의학, 생물학, 지리학, 재료공학 등 수많은 연구 분야에 광범위하게 적용되고 있다. 이러한 시스템은 토목공학 분야에서 콘크리트 미세구조, 도로포장의 균열, 구조물의 변위 등의 연구에 적용되어 왔으며, 실제 적용된 사례도 보고되고 있다. 지반공학 분야에서도 디지털 이미지 분석 기술은 흙의 거동을 정량화하거나 지반 내 물질의 이동 경로를 추정하는데 이용되고 있다. 예를 들어, 지반내의 오염물질의 이동경로나, 입자의 이동경로 등과 같이 지반내의 특정대상의 움직임을 추정하는데 사용되고 있다. 또한, 조립토의 입경, 형상, 간극, 입도분포 분석 연구에 이미지를 획득하여 분석함으로써 흙의 물리적 특성을 정량화하는데 사용되고 있다. 그러나 입자의 입경 및 입도분포, 형상 등의 분석에 있어 이미지처리기법은 단지 입자의 2차원 투영면이 측정분석되어진다. 3차원인 입자의 두께를 측정하기 위해서는 Mora와 Kwan(2000)의 2차원 투영면에서 평균두께 산정 방법을 적용한다(황택진, 2007).

2.2 이미지 분석 시스템

이미지 분석 시스템이란 특정 대상의 이미지를 획득하여, 컴퓨터를 이용하여 연속적인 데이터를 얻는 장치 및 일련의 과정을 말한다. 이미지 분석 시스템의 기본 데이터 획득은 광학현미경(microscope), 비디오 카메라(video camera), 스캐너(scanner) 등과 같은 장치로 대상 시료의 이미지를 획득하는 것으로부터 시작한다. 전체적인 시스템의 과정은 다음의 5가지 단계로 대별된다(민덕기, 이완진 2004).

이미지 획득(Image capture)은 대상 시료의 이미지를 획득함으로써 개개의 디지털 형식으로 이미지를 코드화하는 것을 말한다.

이미지 코드화(Image coding)는 이미지 습득에서 생성된 이미지를 컴퓨터에 저장하는 것을 말한다. 즉, 컴퓨터에 대상 이미지의 데이터를 픽셀 단위로 하여 좌표값, 명암정도, 밝기

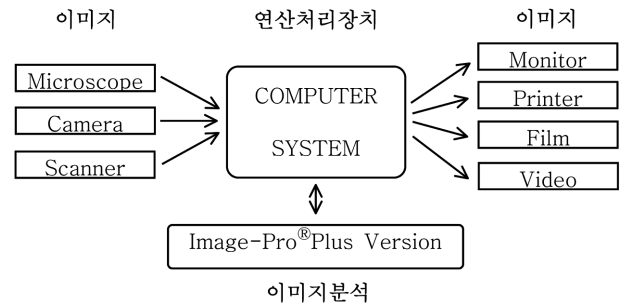


그림 1. 이미지 분석 시스템(황택진, 2007)

등의 변수를 각각의 픽셀에 부여함으로써 전체 이미지를 구성하는 것이다.

이미지 재구성(Image reconstruction)은 생성된 이미지를 목적에 부합하도록 재구성하는 과정을 말하며, 대부분의 경우에는 필요하지 않는 과정이다. 특히, 이미지 획득의 과정이 충분한 정밀도로 수행되었다면 이 과정은 제외된다.

이미지 수정·개량(Image enhancement)은 중첩된 이미지의 삭제 혹은 분할, 해석에 필요하지 않는 이미지 부분의 삭제, 잡음 제거 등과 같이 목적에 부합하는 이미지를 구하는 과정이다.

이미지 분석(Image analysis)은 위에서 기술한 단계를 거쳐 얻어진 이미지로부터 실제 연구에 필요한 변수들을 컴퓨터에 입력되어져 있는 프로그램을 사용하여 구하는 방법이다.

이미지를 처리하여 분석하는 과정은 이미지 획득, 이미지 코드화, 이미지 재구성, 이미지 수정, 그리고 이미지 분석의 단계로 생각할 수 있으며, 이러한 목적을 달성하기 위해 그림 1과 같은 이미지 입출력장치, 연산처리장치, 이미지분석장치 등이 하나의 시스템으로 구성된다.

3. 입자의 형상 분류

3.1 입자 형상 분류

입자의 형상은 모암과 운반에 대한 역사가 간직되어 있다. 입자의 형상은 매우 복잡한 성질로서 정밀하게 기술하기가 쉽지 않다. 일반적으로 입자의 형상은 표면구조(surface texture), 원마도(roundness), 구형도(sphericity)와 형태(shape)로 분석된다.

입자의 표면구조는 규모가 너무 작아서 입자 전체의 모양에 영향을 주지 않는다.(Vallejo & Zhou 1995) 입자 표면에 있는 구멍, 굽힌 자국, 미세한 모양, 패각상의 형태와 같은 다양한 세부적인 관찰을 묘사하는데 사용된다. 표면구조는 원마도, 구형도, 입자형태보다 쉽게 바뀌기 때문에 최후의 환경에서의 흔적을 보존할 가능성이 크다. 석영은 물리·화학적 안정성 때문에 각 환경에서 생성되는 표면구조의 특징들을 가장 잘 기록할 조성광물이다. 따라서 석영입자에 붙어 있는 여러 가지 물질들을 제거한 뒤 전자주사현미경(SEM)으로 관찰하고 표면구조 특징들의 상대적 빈도를 측정하여 해석하게 된다.

원마도는 입자의 크기, 물리적인 특성 및 마모되는 기간과

관계가 있다. 입자의 크기와 물리적인 특성이 비슷한 경우에는 마모되는 기간과 관계가 있는데, 일반적으로 먼 거리를 운반되어 온 입자일수록 원마도는 높다. 원마도는 입자의 투영된 평면에서 모서리들의 내접원의 평균반경과 최대 내접원의 반경의 비로 측정하여 각형(0~0.15), 아각형(0.15~0.25), 아원형(0.25~0.40), 원형(0.40~0.60), 완전형(0.60~1.00)의 다섯 등급으로 구분되어 있다. 시각적인 판단에 의한 정밀도는 매우 낮고, 다른 관찰자에 의한 전체적인 원마도의 분류는 매우 다양하게 평가되며 심지어 정밀도도 매우 낮다. 그러나 직접적인 측정은 많은 시간을 소모하며 정확하지 않다.

입자의 형상이 구형에 얼마나 가까운가를 나타내는 정도로서 입자의 장축, 중축과 단축의 상대적 길이로 측정한다. 구형도는 입자의 표면적(S)과 그 입자와 같은 체적을 갖는 구의 표면적(s)과의 비 s/S 로 나타낸다. 완전한 구는 구형도가 1.0인데, 입자의 구형도는 항상 1보다 작다. 입자는 불규칙한 표면을 갖고 있어 표면적을 측정하기가 매우 어려워 자갈에 외접하는 구의 직경(D)과 입자와 같은 체적을 갖는 구의 직경(d_v)의 비 d_v/D 로서 구형도를 계산한다. 주로 구형도는 일련의 구형도상과 육안으로 비교함으로써 주관적으로 측정된다.

입자의 크기는 직경으로 표현하며, 장축, 중축과 단축의 세 방향의 직경을 측정한다. 이와 같이 직경의 측정으로 3차원적인 모양을 나타내는 입자의 형태는 장축, 중축과 단축의 길이의 비로 나타낸다.

3.2 입자 형상 분류 방법

현재, 일반적인 입자의 형상분류를 위한 측정법은 표준입자의 모양과 실제의 입자를 비교, 즉 기존의 표준차트인 원마도를 평가하기 위한 Krumbein(1991) chart와 구형도(sphericity)를 평가하기 위한 Rittenhouse chart를 이용하여 분류하는 것이다. 그러나 위의 두 표준차트를 이용하여 입자의 형상을 분석 시에는 관찰자의 주관 및 낮은 분별력에 의해 제한되어 있는 실정이다. 입자의 형태는 매우 복잡한 성질로서 정밀하게 기술하기가 쉽지 않고, 매우 다양하고 불규칙한 표면을 갖는 입자의 형상은 측정하기가 어려워 이를 정량화하기가 어렵다는 것은 잘 알려진 사실이다.

입자의 원마도는 입자의 투영된 평면에서 모서리들의 내접원의 평균반경과 최대 내접원의 반경의 비로 측정한다. Krumbein chart는 입자의 모서리가 마모된 정도를 정량적으로 0.1~0.9의 범위로 표현한 것으로서, 입자의 모서리가 매우 거친 정도를 0.1, 완전히 마모되어 입자의 표면 거칠기 정도가 매끈한 정도를 0.9로 나타내었다.

입자의 구형도는 입자의 표면적(S)과 그 입자와 같은 체적을 갖는 구의 표면적(s)과의 비 s/S 로 나타낸다. Rittenhouse chart는 입자의 형상이 구에 가까워지는 정도를 표현한 것으로서, 매우 불규칙한 형태를 0.45, 구에 가까운 형태를 0.97로 나타내었고, 입자의 형태가 이상적인 완전한 구형일 경우 1로 나타내고 있다.

3.3 입자 형태의 분류

입자의 형태는 입자의 장축(a), 중축(b)과 단축(c)의 길이의

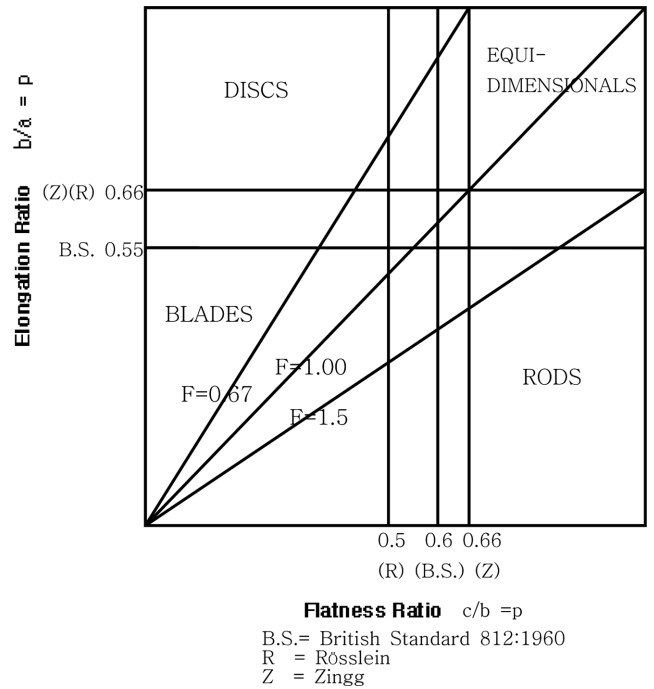


그림 2. 입자 형태의 분류

비로 나타내는데, 그림 2에서와 같이 중축에 대한 장축의 비로 입자의 신장율을 나타내는 elongation ratio $q=b/a$, 단축에 대한 중축의 비로 입자의 편평도를 나타내는 flakiness ratio $p=c/b$ 는 3차원의 형태로 입자를 표현하기 어렵기 때문에 q 에 대한 p , 즉 형상계수(Shape factor) $F=p/q$ 를 이용하였다. 형상계수가 1보다 큰 것은 편장의 형태이고 1보다 작은 것은 편구의 형태이다. 영국BS표준(1989)에서는 박편(flaky) 형태도 긴형태도 아닌 등입방형(equidimensionals), 박편이나 긴형태도 아닌 횡판형(disc), 긴형태이나 박편형이 아닌 장주형(rods), 긴형태이나 박편형인 입판형(blades)으로 나누었으며, elongation ratio와 flakiness ratio가 2/3보다 큰 경우를 등입방형, elongation ratio가 2/3보다 크고 flakiness ratio가 2/3보다 작은 경우를 횡판형, elongation ratio가 2/3보다 작고 flakiness ratio가 2/3보다 큰 경우를 장주형, 그리고 elongation ratio와 flakiness ratio가 2/3보다 작은 경우를 입판형으로 나타낸다. Lee & Chod(1993)는 이를 세분하여 9개의 형태로 분류하였다.

4. 실험 재료

4.1 실험재료 종류

조립토의 거칠기 및 입자 형상특성을 분석하고, DIP 입도 분석의 결과와 체분석을 비교하기 위한 시료를 선정·채취하였다. 울산광역시 정자해변의 형상이 다른 해변자갈 2 종류, 콘크리트 배합에 사용되는 쇄석 2 종류 등 4 종류의 형상이 다른 시료를 사용하였다. 또한 채가름이 불가능한 시료로써, 해양 현장에서 많이 사용하는 아모르와 댐 현장에서 사용하는 필터용 시료에 대해, 채가름이 아닌 직접 DIP기법을 사용함으로써 암석시료에 대한 본 연구의 적용성을 검증하고자

하였다. 각 시료의 형태는 해변자갈은 얇거나 두꺼운 평판의 모양을 가지고 있다. 해변자갈II는 해변자갈I과 비슷한 형상 분포를 가지고 있으며, 쇄석I은 해변자갈II보다 조금 더 두꺼운 평판에 가까운 형상을 가지고 있으며, 쇄석II는 넓은 형상 분포를 보이나 다른 시료에 비해 구에 가까운 형상을 가진 것으로 판단된다.

4.2 실험재료의 기본 특성

체분석 방법은 입자의 크기가 비교적 큰 조립질 시료의 입도분포 분석을 파악하는 가장 일반적인 방법으로써, 기본적으로 입자를 체 눈의 크기 별로 나누어 입도분포를 파악하는 방법이다. 각 체에 잔류하는 입자의 양으로써 입도분포를 분석하는 체분석은 KS-F 2309에서 시료의 최대 입경에 따라 실험 시 사용하는 시료의 최소 중량(g)을 표 1과 같이 규정하고 있으며, 입도분포 결과는 가로축을 log scale의 입경(mm)으로 세로축을 누가 통과 백분율(%)로 나타내어 입도분

표 1. 체분석 시 최소 시료 중량(KS F 2309)

입자의 최대 치수	시료의 최소 중량 (g)
NO. 10	200
NO. 4	500
19 mm	1500
25 mm	2000
40 mm이상	2500

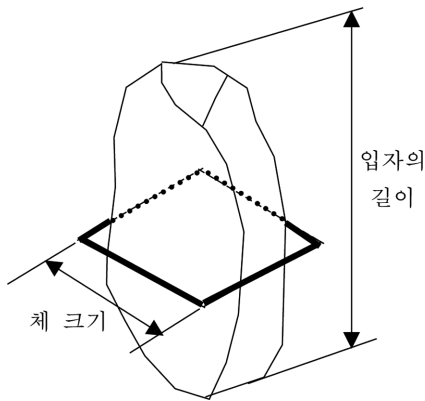


그림 3. 세장형 입자의 체 통과

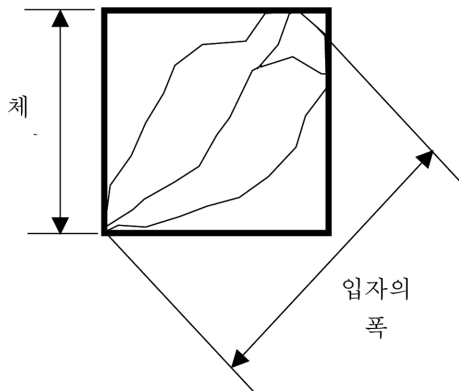


그림 4. 박편형 입자의 체 통과

포 곡선을 나타낸다. 체 분석에 의한 입도분포를 분석하기 위해서는 입자의 형상에 따라 다음의 두 가지 경우를 고려해야 한다. 첫째, 실제 체 분석에서는 체 눈금보다 큰 길이를 가진 입자가 체를 통과할 수 있다. 그림 3과 같은 세장형의 입자는 길이가 체 눈금보다 크어도 불구하고 폭과 두께가 체 눈금보다 작으면 그림과 같이 아무런 문제없이 체를 통과하게 된다. 둘째, 입자의 형상이 매우 얇은 박편의 모양일 경우 그림 4와 같이 체 눈금보다는 입자의 길이와 두께가 크어도 불구하고 입자의 폭이 체의 대각선 길이 보다 작을 때 역시 체를 통과한다. 이와 같이 체 분석에 의한 입자의 입경 정의는 정사각형 체 눈금의 변의 크기로 정의된다.

울산광역시 정자해변의 형상이 다른 해변자갈 2종류를 실험에 사용하였다. 그림 5에 나타난 것과 같이, 해변자갈I은 19 mm~26.5 mm 사이의 입자가 대부분 분포하고 있으며, 87.29% 이었다. 해변자갈II 역시 19 mm~26.5 mm 사이의 입자가 대부분 분포하고 있으며, 90.20%이었다. 다른 두 종류의 시료는 콘크리트 배합에 사용되는 쇄석 2종류를 채취하여 체분석을 수행하였다. 쇄석자갈I의 입경은 19 mm의 누적 통과율 13.47%, 25.4 mm의 누적 통과율 77.71%의 분포를 대부분 차지하고 있으며, 쇄석자갈II의 경우는 각각 49.53%, 43.18%로써 나타났다. 표 2는 각각 해변자갈I, 해변자갈II 및 쇄석자갈I, 쇄석자갈II의 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_c) 및 입도 분포 특성 결과를 정리한 것이다. 각각의 시료의 균등계수(C_u)는 1~3의 값을 가지고 있으며, 곡률계수(C_c)는 1 이하로 나타났다. 특히 해변자갈의 경우는 마모가 많이 발생되어 있는 상태이다.

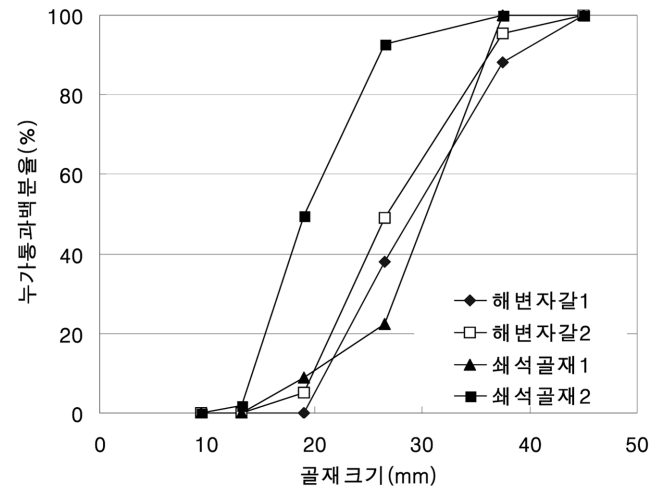


그림 5. 실험재료의 체분석 결과

표 2. 체분석된 시험시료의 입도분포 특성

	통일분류	#4 통과량 (%)	19 mm 통과량 (%)	C_u	C_c
해변자갈 I	GP	0	1.8	1.44	0.94
해변자갈 II	GP	0	7.2	1.45	0.95
쇄석자갈 I	GP	1.7	9.0	2.13	1.06
쇄석자갈 II	GP	2.6	49.2	3.19	1.03

5. 실험 결과 분석

5.1 시험시료의 입자형상 특성

주문진 표준사는 #40체에 남은 시료의 형상계수를 산출하여 입자의 모양을 정량화 및 분석을 하였다. 주문진 표준사의 형상계수는 세장비를 나타내는 세장비는 0.76, 입자의 모양이 구형에 가까워지는 정도를 나타내는 구형비는 0.79로써 구형에 가장 가까운 형태를 가지고 있다. 형상계수는 1.16으로 산출되었으며, 해변자갈I,II는 0.35~0.54, 쇄석I은 0.74의 범위로 박편 형태의 편평상으로 나타나는데 비해 주문진 표준사의 입자의 모양은 세장형으로 나타났다. 표 3과 같이 해변자갈I, II는 거의 유사한 형상 특성을 가지고 있는 것으로 보여 진다. 세장비는 0.66~0.86의 크기 범위를 나타내며, 주문진 표준사, 쇄석, 필터, 호박돌 등의 시료와 비슷한 세장비의 형상 특성을 가지는 입자 형태를 보인다. 특히 해변자갈II는 해변자갈I과 달리 모든 시료보다 세장비가 작으므로 장축과 중축의 차이가 크고, 긴 입자의 형상특성을 보여주고 있다. 편평비는 모든 시료 중 가장 작은 크기인 0.30~0.36의 값을 보여 모든 시료 중 가장 얇은 편평상의 형태를 가지고 있으며, 1 이상이면 세장형 그리고 1 이하이면 편평상을 나타내는 형상인지는 모든 시료 중에서 가장 작은 0.35~0.54의 크기를 가지므로 역시 입자는 얇은 편평상의 형상을 보여주고 있다.

1에 가까울수록 구형을 나타내는 계수인 구형비는 0.54~0.61의 크기를 보이며 입자의 형상은 타원의 편평상을 보여준다. 결국 해변자갈I, II는 표 3에 의하면 편평비 값이 거의 0.3 정도의 값을 나타내므로 이것은 입자의 형태가 거의 Plate 및 Thick Plate의 형태 사이에 존재하는 형상특성을 가지고 있다는 것이며, 특히 해변자갈II는 해변자갈I과 비슷한 형상적 분포를 보이나 그에 비해 약간 타원형의 형태를 가진 시료로 판단된다.

쇄석I, II는 서로 매우 다른 형상 특성을 가지고 있다. 세장비는 0.63~0.79의 크기 범위를 나타내며, 쇄석II보다 쇄석I의 세장비가 매우 작으므로 장축보다 중축이 훨씬 작고, 긴 형태의 입자 형상특성을 지니고 있다. 편평비는 0.47~0.83으로 두 시료의 차이가 매우 크므로 완전히 다른 편평도를 가지고 있다. 다시 말해서 쇄석I은 약간 두꺼운 편평상을 나타내며, 쇄석II는 모든 시료 중에서 가장 큰 편평비를 가지고 있으며, 거의 구형의 형상 특성을 나타내고 있다.

형상인지는 0.74~1.04의 크기로써 서로 매우 다른 형상 특성을 보여주며, 쇄석I의 경우는 1보다 작은 편평상의 특성을 보여준다. 쇄석II는 형상인자가 1.04의 크기를 가짐으로써 세장형의 범위를 나타내지만, 이 경우는 구형비가 0.79의 큰 값을 보여주므로, 거의 구형의 형상 특성을 보여 준다. 쇄석I의 구형비는 0.57의 크기를 가지며, 구형과는 형상이 다른 약간 두꺼운 편평상의 형상 특성을 나타낸다. 결국 쇄석I과 쇄석II는 서로 다른 형상 특성을 가지고 있으며, 특히 쇄석I은 편평비, 즉 C/B의 비가 0.47로써, 쇄석II보다는 훨씬 작은 값을 보여주지만 해변자갈보다는 크므로, Plate 형인 해변자갈보다 더욱 두꺼운 Thick Plate에 가까운 형상을 가지고 있다. 쇄석II는 비교적 넓은 형상분포를 가지고 있으나 해변자갈, 쇄석I의 편평상에 비해 구형에 매우 가까운 형상특성을 지니고 있다.

쇄석II의 형상계수는 편평비는 0.83, 구형비는 0.79로써, 거의 구에 가까우므로 본 연구에서 사용하고 있는 입경을 완전한 구로 가정한 등가직경 이론의 적용이 가장 적합한 시료인 것으로 판단된다.

DIP입도분석 적용성의 검증용인 호박돌, 필터의 세장비는 0.72~0.80의 크기 범위를 나타내며, 세장비가 비교적 크므로 장축과 중축의 차이가 작은 등근 형태의 입자 형상특성을 지니고 있다. 편평비는 0.75~0.76으로 쇄석II보다는 작지만 다른 모든 시료보다는 크므로, 입자의 두께가 두꺼운 등근 형상 특성을 나타내고 있다. 쇄석II와 유사하게 형상인자가 거의 1이며, 구형비가 0.73~0.78의 큰 값을 보여주므로 거의 구형의 형상 특성을 보여 준다.

5.2 실측과 DIP에 의한 세장비

2차원 투영면인 압축용 주문진표준사와 해변자갈, 쇄석, 암석시료 등의 실험 대상 시료의 이미지로부터 산출된 DIP에 의한 장축과 중축의 측정 결과를 검증하기 위하여 실측과 DIP에 의한 중축에 대한 장축의 비로 나타내는 세장비를 비교하였다. 형상이 등입방형, 황판형, 장주형, 입판형의 4가지 유형인 실험 시료의 입자를 무작위로 일정량을 채취하였고 실측과 DIP를 적용하여 입자의 장축과 단축을 측정하였다. 실측은 버니어 캘리퍼스(vernier calipers)를 이용하여 장축, 중축과 단축의 세 방향의 직경을 측정하였다.

그림 6은 실측과 DIP에 의한 중축에 대한 장축의 비를 나타내는 세장비를 비교한 결과이다. 1:1 상관 직선에 대하여

표 3. 각 시료별 형상계수

구분	Elongation Ratio	Flakiness Ratio	Shape Factor	Sphericity Ratio
주문진표준사	0.76	0.60	1.16	0.79
해변자갈 I	0.86	0.30	0.35	0.61
해변자갈 II	0.66	0.36	0.54	0.54
쇄석 I	0.63	0.47	0.74	0.57
쇄석 II	0.79	0.83	1.04	0.79
필터	0.80	0.75	0.94	0.78
호박돌	0.72	0.76	1.05	0.73

6. 결 론

본 연구에서 디지털 이미지 분석법을 이용하여 해변자갈 및 쇄석, 필터재료, 호박돌에 대하여 입자 형상특성의 분석과 정량화를 수행하였다. 제한된 시험결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 해변자갈I, II의 형상계수는 0.35~0.54, 쇄석I은 0.74의 범위로 박편 형태의 편평상으로 나타나는데 비해 주문진 표 준사의 입자의 모양은 세장형으로 나타났다. 특히 해변자갈II는 해변자갈I과 달리 모든 시료보다 세장비가 작으므로 장축과 중축의 차이가 크고, 긴 입자의 형상특성을 보여주고 있다.

2) 해변자갈I, II는 편평비 값이 거의 0.3 정도의 값을 나타내므로 이것은 입자의 형태가 거의 Plate 및 Thick Plate의 형태 사이에 존재하는 형상특성을 가지고 있다는 것이며, 특히 해변자갈II는 해변자갈I과 비슷한 형상적 분포를 보이는데 비해 약간 타원형의 형태를 가진 시료로 판단된다.

3) 2차원 투영면인 압축용 주문진표준사와 해변자갈, 쇄석, 암석시료 등의 실험 대상 시료의 이미지로부터 산출된 DIP에 의한 장축과 중축의 측정 결과를 검증하기 위하여 실측과 DIP에 의한 중축에 대한 장축의 비로 나타내는 세장비를 비교하였다. 형상이 등입방형, 황판형, 장주형, 입판형의 4가지 유형인 실험 시료의 입자를 무작위로 일정량을 채취하였고 실측과 DIP를 적용하여 입자의 장축과 단축을 측정하였다. 1:1 상관 직선에 대하여 입자의 형태분류에 의한 등입방형, 황판형, 입판형의 형태에서 거의 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 DIP 기술은 매우 다양하고 불규칙한 표면을 갖는 입자의 형상 분석 시에 만족스럽게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

4) 편평비에 종속된 매개변수인 λ 를 검증하기 위하여 실측과 DIP에 의한 편평비를 비교하였다. 실측과 DIP에 의한 편평비를 분석한 결과, 1:1 상관 직선에 대하여 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났으며, DIP에 의한 편평비를 입자 형태의 분류에 따라 산술 평균하여 실측의 편평비와 비교한 결과 97.5%의 높은 상관도를 나타내었다. 따라서 DIP 기술을 이용한 입자의 정량적인 형상 분석 시 Mora와 Kwan(2000)의 평균두께 산정 방법의 적용으로 실측 시 입자의 단축과 매우 일치하는 2차원 투영면인 입자의 이미지로부터 단축을 산출할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2009년 건설교통부 지역기술혁신사업 “친환경 연안역 개발 기술” 연구지원에 의해 수행되었고, 이에 감사드립니다.

참고문헌

민덕기, 이완진 (2004) 풍화잔류토에 대한 체 분석시험 규정에 관한 연구. **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제3C

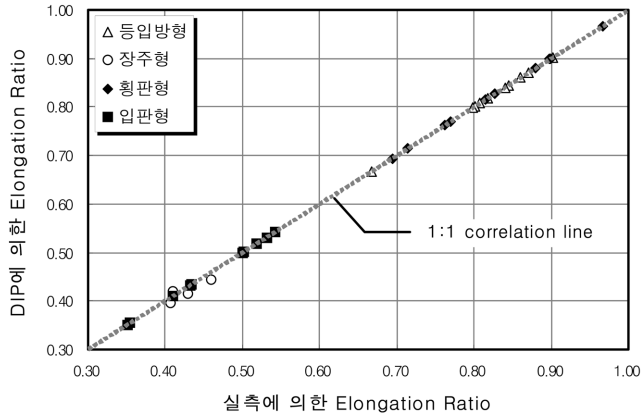


그림 6. 실측과 DIP에 의한 세장비 비교

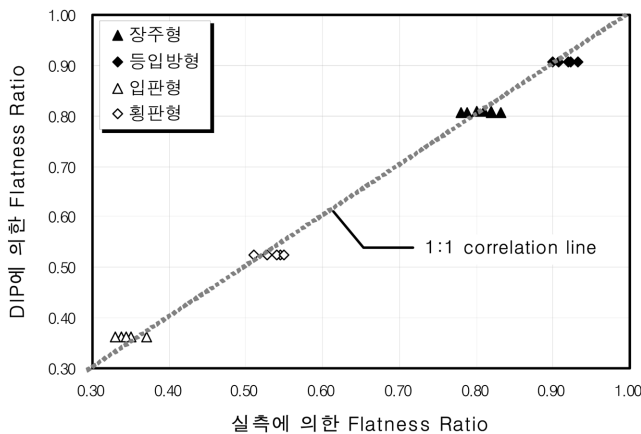


그림 7. 실측과 DIP에 의한 편평비 비교

입자의 형태분류에 의한 등입방형, 황판형, 입판형의 형태에서 거의 일치하는 것으로 나타났고, 장주형은 버니어 캘리퍼스(vernier calipers)에 의한 입자의 크기를 실측 시 발생하는 개인적 오차로 인한 DIP에 의한 세장비와 아주 미소한 차이가 있었다. 따라서 DIP 기술은 매우 다양하고 불규칙한 표면을 갖는 입자의 형상 분석 시에 만족스럽게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

5.3 실측과 DIP에 의한 편평비

그림 7은 편평비에 종속된 매개변수인 λ 를 검증하기 위하여 실측과 DIP에 의한 편평비를 비교한 결과이다. 형상이 등입방형, 황판형, 장주형, 입판형의 4가지 유형인 실험 시료의 입자를 무작위로 각기 일정량을 채취하여 실험을 하였다. 실측은 버니어 캘리퍼스(vernier calipers)를 사용하여 입자의 중축과 단축을 측정하였다. 실측과 DIP에 의한 편평비를 분석한 결과, 1:1 상관 직선에 대하여 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났으며, DIP에 의한 편평비를 입자 형태의 분류에 따라 산술 평균하여 실측의 편평비와 비교한 결과 97.5%의 높은 상관도를 나타내었다. 따라서 DIP 기술을 이용한 입자의 정량적인 형상 분석 시 Mora와 Kwan(2000)의 평균두께 산정 방법의 적용으로 실측 시 입자의 단축과 매우 일치하는 2차원 투영면인 입자의 이미지로부터 단축을 산출할 수 있을 것으로 판단된다.

호, pp. 167-175.

이종익 (2003) 디지털 이미지 처리를 이용한 조립토의 형상 특성 분석, 석사학위논문, 울산대학교.

황택진 (2007) 디지털 이미지 처리기법을 이용한 대골재의 입도분포 분석에 관한 연구, 박사학위논문, 부산대학교.

Bernhardt, C. (1994) *Particle Size Analysis; Classification And Sedimentation Methods*. Chapter 7, Champman & Hall, pp 197-239.

BS(British Standards Institution) (1989) *Methods for determination of particle shape: flakiness index*. BS 812:105.1.

Krumbein, W.C. (1991) *Measurement of geological significance of shape and roundness of sedimentary particles*. *Sediment Petrol* II, pp. 64-72.

Lee, H. and E. Chod (1993) Survey of image processing applications in civil engineering. *EF/NSF conference on Digital Image Proceeding : Technique and Applications in Civil Engineering*, ASCE, Hawaii, March, pp. 203-210.

Mora, C.F., Kwan, A.K. (2000) Sphericity, shape factor, and convexity measurement of coarse aggregate for concrete using digital image processing, pergamon. *cement and concrete research*, Vol. 30, pp. 351-358.

Vallejo, L.E. and Zhou, Y. (1995) The relationship between the fractal dimension and krumbein's roundness number. *Soils And Foundations*, Vol. 35, No. 1, pp. 163-167.

◎ 논문접수일 : 09년 05월 29일
 ◎ 심사의뢰일 : 09년 06월 01일
 ◎ 심사완료일 : 09년 06월 25일