

칼라투수콘크리트의 잔골재 함유량 추정 연구

Estimation of Fine Aggregate Content in Color Concrete Pavement

조윤호* · 여성훈**

Cho, Yoon Ho · Yeo, Sung Hun

1. 서 론

콘크리트와 같은 비균질성의 혼합물의 경우 골재의 크기 및 입도 분포에 따라 콘크리트의 강도 및 내구성에 많은 영향을 미치게 된다. 특히 투수성을 중요시하는 투수 콘크리트의 경우 골재의 크기와 입도 분포는 중요한 변수중에 하나이다. 즉 잔골재를 많이 사용하면 강도를 향상시킬 수 있으나 투수성이 떨어지고 반대로 잔골재를 적게 사용하면 높은 투수성이 기대되나 발현 강도는 낮게 된다. 따라서 적절한 양의 잔골재의 함유율을 찾는게 중요하다.

일반적으로 육안 관찰을 통하여 투수 콘크리트에 포함되어 있는 골재의 크기 및 입도를 개략적으로 판단할 수 있다. 그러나 정량적이고 정확한 골재 크기 및 입도 파악을 위하여 Image Processing 기법을 비롯한 다양한 방법을 채택하였다. Image Processing 기법은 1960년대부터 사용되어온 방법으로 영상을 컴퓨터를 이용하여 분석하는 방법이다. 본 연구에서는 디지털 카메라를 이용하여 영상을 얻고, 골재와 공극을 구분하는 과정을 거쳐 콘크리트에 포함되어 있는 잔골재 함량을 추정하여 사용된 골재의 입도를 구분하는 기준을 제시하고자 한다.

2. Image Processing을 이용한 입경 및 입도 파악 연구

Image Processing을 이용하여 굵은 골재, 모래와 같은 큰입자의 입경파악에 관한 연구뿐만 아니라 철근 속에 포함되어 있는 구성물과 같은 작은 입자의 입경을 파악하는 연구들이 이루어진바 있다. Wadell(1933), krumbein(1941), Gupta(1985)등에 의하여 굵은 골재의 형태를 파악하는 연구가 초기에 이루어 졌다. 초기에는 영상을 입력하여 수동으로 분석하는 방법이 대부분이었다. 그러나 Jerzy M. Brzezicki(1999)는 3차원 형상을 이용하여 골재의 형태를 파악하는 연구에서 자동적으로 골재의 형태를 인식하고 분석하는 방법을 보여주었다. 골재뿐만 아니라 흙과 같은 물질의 입자 파악에 대한 연구도 이루어졌다. Ali M.(1994)는 흙입자의 형태를 구별하는 기존의 영상 처리 방법을 보다 간단하게 하기 위하여 DGSD(Digital Grain Size Distribution)를 이용하여 쉽게 흙입자의 입도를 규정하는 방법에 대하여 연구한 바 있다. 흙속에 포함되어 있는 공극의 분포를 Image processing을 이용하여 분석

* 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 조교수 · 02-820-5336 (E-mail: yhcho@cau.ac.kr)

** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · 02-816-0251 (E-mail: feelgood77@hanamial.net)



하는 방법은 Bhatia와 Soliman(1990)에 의해 연구되었으며, 흙입자의 표면 형상을 분석하는 연구는 Ghalib(1998)에 의해 이루어졌다. Barcelo, F(1994)는 영상 이미지를 이용하여 철근을 구성하는 미세한 요소의 크기 및 형상을 파악하는 연구를 했었다.

이와 같은 연구를 바탕으로 콘크리트 혼합물에 사용된 골재의 크기 및 입도 분포에 대한 연구를 위하여 육안 관찰 및 영상 처리 기법이 채택되었다.

3. Image Processing

Image Processing란 영상에 담겨있는 정보들을 인간이 이해하기 쉽도록 수집, 획득, 정량화 하는 과정을 통해 자동으로 영상 데이터를 처리하는 기술이다. 일반적으로 디지털 영상 처리는 영상을 카메라나 스캐너를 사용하여 전기적 신호를 통하여 얻은 후, 여러 가지 목적에 따라 컴퓨터 알고리즘을 적용하여 처리하는 과정을 거친다. 기본적으로 Image Processing은 그림 1과 같이 영상 입력, 전처리, 분할, 특징 추출, 분류 및 정량화 등 크게 5단계로 나눌 수 있다.

첫 번째 단계는 디지털 영상을 얻기 위한 영상 자료 획득 단계이다. 영상센서인 비디오나 스캐너가 필요하고 센서 출력신호를 디지털화하는 아날로그-디지털 변환기(A-D CONVERTER)가 필요하다. 디지털 영상이 얻어진 후 두 번째 단계인 영상향상 과정은 명암 대비도(Contrast)를 개선하고, 노이즈를 제거하며 필요한 정보를 얻고자 하는 영역을 분리한다. 세 번째 단계는 영상의 분할이다. 입력 영상을 구성요소나 필요한 부분으로 나누는 것을 뜻한다. 네 번째 단계인 특징 추출이란 영상 분할에서 얻은 정보를 바탕으로 정량적인 특징을 추출하는 것으로서 인식과 해석의 전 단계에서 처리된다. 그리고 분류 및 정량화 단계는 특징을 이용해서 분리된 물체를 주어진 기준에 따라 분류하고 길이와 폭 같은 정량적인 수치를 산출하는 단계이다.

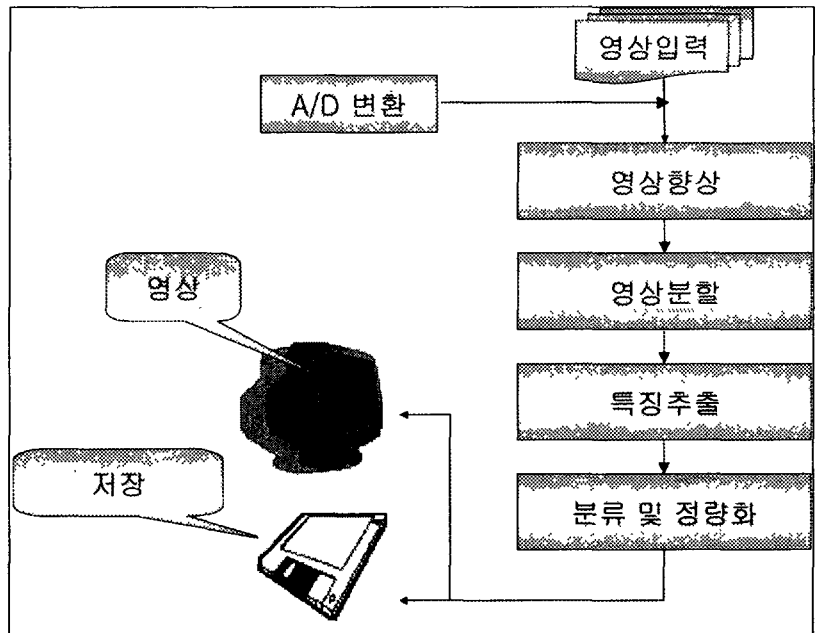


그림 1. 영상처리의 기본적인 처리단계

3.1 센서

Image Processing을 하기 위하여 영상 입력 시스템에 사용되는 센서로는



과거에는 35mm 카메라를 사용하기도 했으나 현재는 CCD카메라 또는 CCD카메라의 한계를 극복하기 위해 레이저 스캔 카메라를 사용하기도 한다. 본 연구에서는 디지털 카메라를 센서로 사용하였다.

3.2 조명

디지털 영상은 센서를 통해 입력되는 $f(x,y)$ 라는 빛의 세기를 나타내는 2차원 함수라고 할 수 있는데, 물체에 투사되는 조명과 물체에서 반사되는 빛의 양의 함수로 나타낼 수 있다. 따라서 피사체 전체에 걸쳐 일정해야 양호한 포장영상을 얻을 수가 있으므로 조명은 영상입력시스템에 있어서 중요한 하부시스템이다. 많은 연구들을 통하여 맑은 날씨의 직사광선보다 구름 낀 날씨의 조명이 보다 좋은 data를 얻을 수 있으며 한 방향의 조명보다 여러 방향의 조명이 양질의 data를 얻는데 효과적임이 입증되었다. 본 연구에서는 구름낀 날씨의 오후의 자연광 상태에서 사진을 찍음으로써 효과적인 Image Processing을 할 수 있는 환경을 만들었다.

4. 평가자의 정의 (Measure of Effectiveness)

본 연구에서 콘크리트 혼합물에 포함된 골재의 입도 및 잔골재의 함유량을 파악하기 위하여 육안 관찰 및 Image Processing 기법중 하나인 문턱치화법과 히스토그램 분석을 사용하였다. 일반적인 육안 관찰을 통하여 콘크리트 혼합물에 포함되어 있는 골재의 크기를 구별하는 것은 가능하다고 판단된다. 그러나 주관적인 판단보다는 보다 객관적인 판단기준을 제시하고자 Image Processing을 이용하기로 하였다. 영상 명도의 히스토그램 분석은 영상 처리중에서 가장 간단하고 유용한 도구 중의 하나로 영상의 명도내용을 통계적으로 요약하여 보여준다. 또한 같은 조건에서 찍은 콘크리트 혼합물 영상의 경우, 공극과 골재사이에는 명도 넓이 차이가 있으며 이를 분석함으로써 콘크리트의 공극 정도를 파악하고 나아가, 골재의 크기 및 입도를 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 히스토그램 분석에서 얻은 문턱치를 이용한 문턱치화방법을 채택하였는데, 이는 획득된 영상을 보다 확실하게 구분하기 위하여 이진화를 행하는 것이다. 영상을 흰색과 검은색만을 사용하여 표현함으로써 콘크리트의 공극과 골재를 구별하고 영상의 밝기값 평균을 이용하여 잔골재의 함유량과의 상관관계가 있음을 규명하였다.

5. 사례 연구 소개

칼라투스 콘크리트 공시체를 제작하여 각각을 육안 관찰한 다음 디지털 카메라를 이용하여 공시체의 영상을 얻고 이를 바탕으로 히스토그램 분석 및 문턱치화등 Image Processing을 이용한 잔골재 함유량 분석을 하였다.

5.1 육안 관찰을 통한 분석

실험을 위하여 표 1 및 그림 2와 같은 입도 분포에 따라 공시체를 제작하였다.

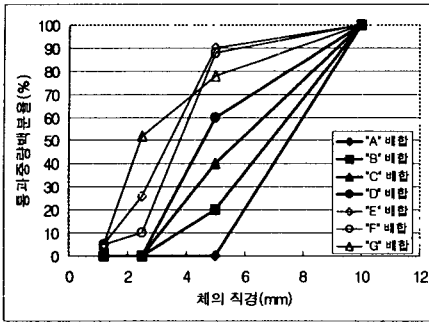
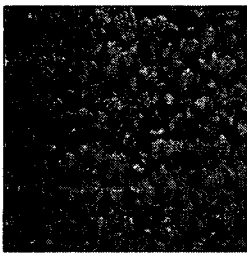


그림 2. 골재의 입도 분포

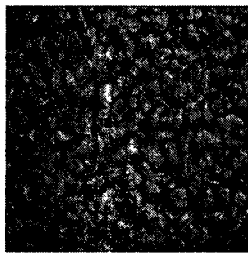
표 1. 공시체 배합 설계

	A 배합	B 배합	C 배합	D 배합	E 배합	F 배합	G 배합	H 배합
Cement(g)	523	523	523	523	523	523	523	590
6mm~10mm 골재(g)	3000	2400	1800	1200	468	468	468	468
2.5~6mm 골재(g)	0	600	1200	1800	1872	2340	2652	2652
잔골재 (모래)	0	0	0	0	780	312	0	0
2.5~5mm 골재율(%)	0	20	40	60	-	-	-	-

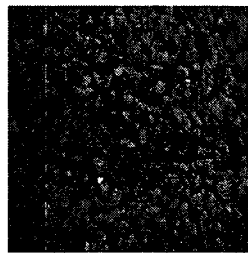
제작된 공시체의 형상은 다음 그림과 같다.



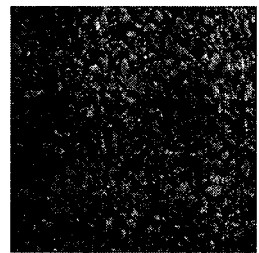
3-"A" 배합



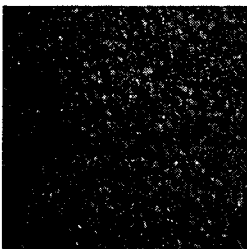
3-"B" 배합



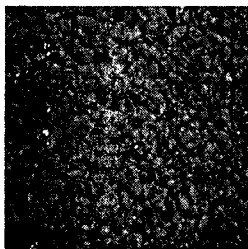
3-"C" 배합



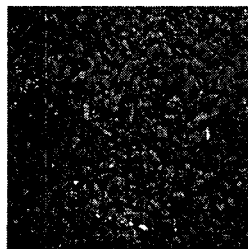
3-"D" 배합



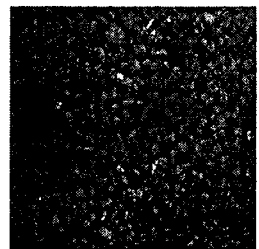
3-"E" 배합



3-"F" 배합



3-"G" 배합



3-"H" 배합

그림 3. 다양한 골재 입도에 따른 공시체의 모습

육안으로 관찰결과 잔골재 즉 2.5mm이하의 골재가 포함되어 있는 공시체와 포함되어 있지 않는 공시체 사이에는 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 즉 잔골재가 많이 포함되어 있는 공시체의 경우에는 작은 공극이 분포함을 알 수 있다. 또한 시멘트양의 변화에 따른 공시체의 외관 형상은 거의 차이가 없으며 10mm 이상의 골재가 일부 포함된 공시체의 경우 잔골재의 함량이 높음에도 불구하고 큰 공극이 보임을 알 수 있다. 따라서 공극의 차이를 살핍으로써 잔골재 함유율을 정의할 수 있을 것으로 판단된다.



5.3 히스토그램 분석

Image Processing에서 히스토그램분석은 영사의 디지털화 점검 및 문턱치화에서의 문턱치를 선택하기 위한 도구로서 사용된다. 히스토그램을 분석한 결과는 다음과 같다.

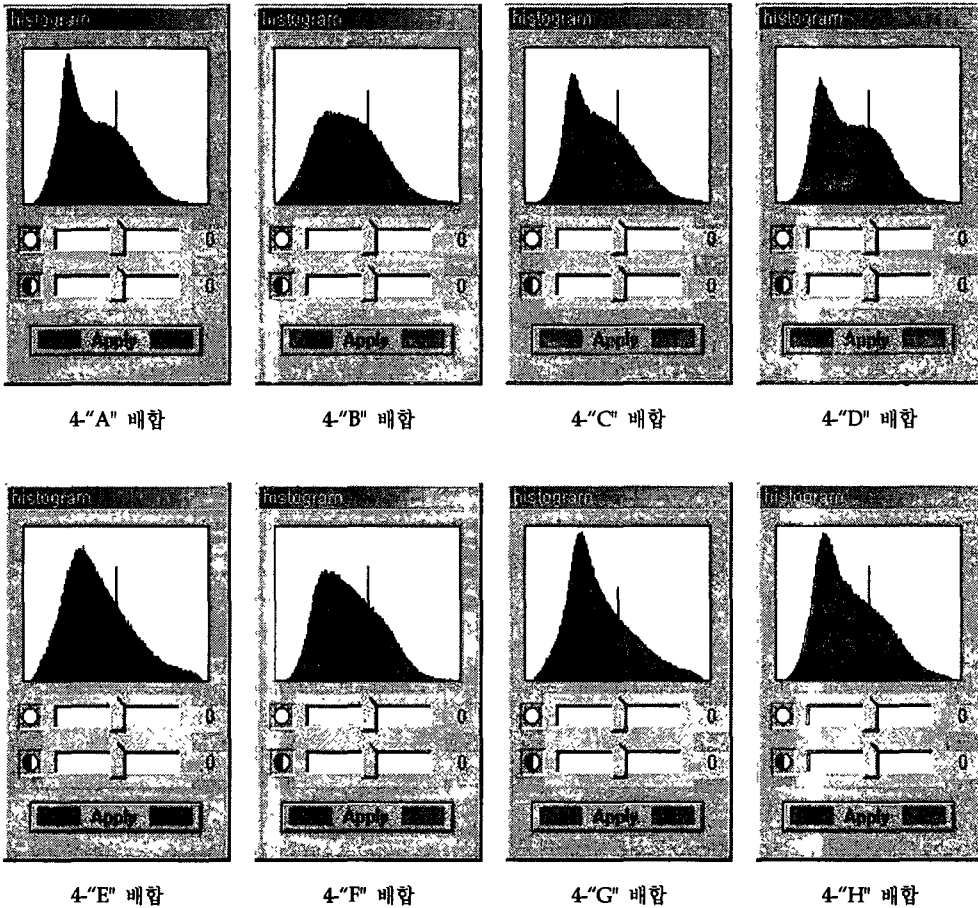


그림 4 공시체 히스토그램 분석 결과

분석결과 일반적으로 모래가 많이 들어가 있는 공시체의 경우 히스토그램이 정규분포적인 형태를 띄고 있으나 잔골재가 들어있지 않고 굵은 골재가 많이 들어있는 공시체일수록 쌍봉형태의 히스토그램 또는 히스토그램의 Peak Point가 넓은 형태를 띄고 있음을 알 수 있다.

"A","B","C","D" 배합의 경우 굵은 골재가 많이 분포되어 있으므로 골재와 공극사이의 명확한 구분이 있으므로 쌍봉형 형태의 히스토그램이 발생하나 "E","F","G"와 같이 잔골재가 많이 포함되어 있는 공시체의 경우 밝은값과 어두운값 사이의 많은 중간값들이 분포하고 있으므로 정규분포 형태의 히스



토그램을 보이고 있다고 판단된다.

5.2 문턱치화를 이용한 밝기값 평균 분석

문턱치화란 영상을 이진화하는 과정을 말한다. 즉 문턱치를 결정하여 문턱치를 경계로 0과 1로 나타내 영상을 보다 분명하게 하는 과정이다. 본 연구에서 디지털 카메라로 찍은 영상을 공극과 골재를 구별할 수 있는 문턱치를 결정하여 문턱치를 경계로 흰색과 검은색으로 나누었을 때 공극의 구별이 확실하며 이런 과정을 통하여 구해진 밝기값 평균이 영상에 나타난 공극과 골재의 비율을 나타내는 지표가 될 것으로 판단된다. 따라서 문턱치화를 통한 밝기값 평균의 결과는 표 2와 같으며 이들 값을 이용하여 5~2.5mm 골재 함유량에 따른 밝기값의 정도를 도식하면 그림 5와 같다.

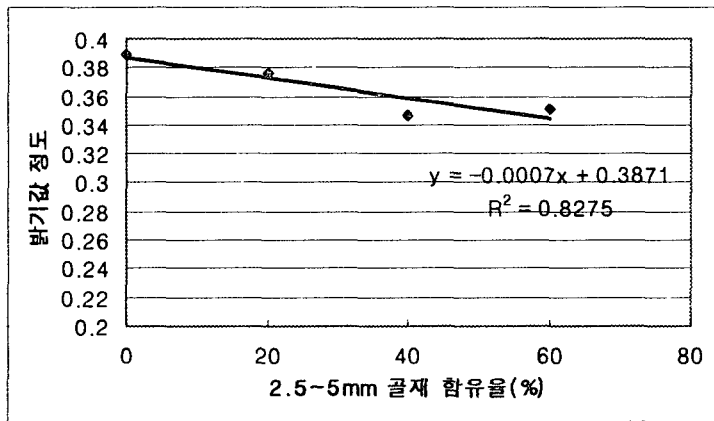


그림 5. 5mm ~2.5mm 골재 함유량에 따른 밝기값 정도

표 2. 실내 공시체의 Image Processing 결과

	A 배합	B 배합	C 배합	D 배합
밝기 평균	3.53×10^{-1}	3.77×10^{-1}	3.20×10^{-1}	3.36×10^{-1}
5mm ~2.5mm 골재율	0%	20%	40%	60%

5. 결론

빛물에 의한 포장 손상을 방지하고, 아름다움을 추구하고자 하는 칼라 투수 콘크리트의 경우 투수성과 강도 발현의 문제로 인하여 잔골재의 함유율은 중요한 변수중의 하나이다. 이러한 잔골재의 함유율을 Image Processing기법을 이용하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 육안 관찰을 통하여 모래가 포함되어 있는 투수콘크리트와 굵은 골재만으로 이루어진 투수콘크



리트의 구별은 가능하였으며 골재의 입경에 따라 다른 공극 분포를 보임을 알 수 있다.

2. Image Processing을 이용한 히스토그램을 분석한 결과 잔골재가 포함되어 있는 공시체와 굵은 골재만으로 이루어진 공시체 사이에는 차이가 발생하였다.
3. 5~2.5mm의 골재 함유율에 따른 밝기값의 정도는 선형적인 관계가 있었으며 Image Processing을 이용하여 칼라 투수 콘크리트의 사진을 통해 투수 콘크리트에 포함되어 있는 5~2.5mm 골재의 함유율을 예측할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

1. S. E. Burns, A. M. Zhang, " Digital Image Analysis to Assess Microbubble Behavior in Porous Media" , Journal of Computing in Civil Engineering, 1999년 1월
2. Ali M. Ghalib, Roman D. Hryciw "Soil Particle Size Distribution by Mosaic Imaging and Watershed Analysis", Journal of Computing in Civil Engineering, 1999년 4월
3. Jerzy M. Brzizecki, Janusz Kasperkiewicz "Automatic Image Analysis in Evaluation of Aggregate Shape" Journal of Computing in Civil Engineering, 1999년 4월
4. 김정용 "포장 균열 인식 알고리즘 개발에 관한 연구", 중앙대학교 석사학위 논문, 2001년