

# 포장계도를 위한 프리팩트 콘크리트의 내구특성

## The Durability of Pre-packed Concrete for Paved Track

김성환\*                      김성권\*\*                      윤경구\*\*\*                      이일화\*\*\*\*  
Kim, Seong-Hwan      Kim, Seong-Kwon      Yun, Kyung-Ku      Lee, Il-Hwa

---

### ABSTRACT

It had been already studied up on the strength characteristic of pre-packed concrete for paved track. the results also were represented. However, the study on estimation of durability about pre-packed concrete for paved track is in lack. Durability index could be estimated conducting such items as resistance of freezing-thawing, resistance of corrosion by acid, chloride and water flowing, electric current and reinforcing bar, environmental effects.

Accordingly, in this study, durability index of pre-packed concrete for paved track is estimated though the various experiments which are resistance of chloride ion penetration and chemicals, absorption ratio of concrete, dry-shrinkage. Based on the results of various tests, they showed that the durability index of pre-packed concrete for paved track is excellent.

---

### 1. 서론

차량의 고속화, 고밀화 및 계도 구성품의 노후화로 인하여 지속적으로 증가되는 인력과 비용을 절감하는 목적으로 계도 생력화를 도입하여 기존 도상 자갈의 유지보수 비용 절감에도 중점을 두고 있다. 계도 생력화의 일환으로 기존의 도상 자갈 방식이 아닌 프리팩트 콘크리트를 활용하는 차원에서 기존 도상 자갈의 최적입도 및 열차하중 지지특성, 도상 자갈의 재활용성 등 다양한 측면으로 접근하여 프리팩트 콘크리트의 강도발현 특성에 관한 결과가 제시되었다. 그러나 이러한 포장계도용 프리팩트 콘크리트의 강도 발현 특성만을 이용하여 현장에 적용한다는 것은 다소 문제점을 안고 있다.

포장계도용 프리팩트 콘크리트를 현장에 적용하기 위해서는 내구성이 가장 주요하게 작용한다. 콘크리트의 내구성은 구조물의 공용기간 동안 성능저하외력에 대하여 저항하도록 요구되는 역학적 및 기능적인 성능을 보유할 수 있는 능력으로 주요한 콘크리트의 성질이다. 이러한 프리팩트 콘크리트의 특성을 파악하기 위하여 본 논문에서는 염소이온 침투 저항성 실험, 콘크리트의 화학저항성, 콘크리트의 흡수율, 건조수축 실험을 통하여 포장계도를 위한 프리팩트 콘크리트의 내구성을 평가하고자 하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 시험체 제작

---

\* 동명기술공단 차장, 공학박사, 정회원  
\*\* 강원대학교 토목공학과 박사과정, 공학석사, 정회원  
\*\*\* 강원대학교 토목공학과 부교수, 공학석사, 정회원  
\*\*\*\* 철도기술연구원 선임연구원, 공학박사, 정회원

포장케도를 위한 초속경 콘크리트의 경우 골재온도, 배합온도가 중요하므로, 먼저 준비된 골재와 시멘트를 상온 11℃에서 3일 동안 보관하여 시험에 사용되는 재료가 10℃이하가 되지 않도록 하였다. 프리팩트 콘크리트 시험체를 만들기 위하여 굵은 골재를 비세척, 수세척, 공기세척 하였다.

수세척 굵은골재는 #4체에 담아 굵은 골재 표면에 묻어 있는 석분을 물로 세척한 후 상온에서 24시간 건조하였고, 공기세척 굵은 골재는 경남 포항에서 처리된 골재를 이용하여 <그림 1>에서 <그림 4>와 같이 시험체를 제작하였다. 주입 모르타르의 배합은 첨가제 A, B를 24%의 배합수에 20초간 프리 믹싱한 후 <그림 2>와 같이 모르타르에 첨가하여 90초 동안 핸드 믹서를 이용하여 본 믹싱을 하였다. 주입 모르타르를 <그림 3>과 같이 미리 준비된 공시체에 주입하여 시험체를 제작한 후 <그림 4>와 같이 온도 20℃, 습도 60%의 양생실에서 2시간, 1일, 7일, 28일 양생하였다.

## 2.2 염소이온 투과 저항성 시험

<표 1>은 ASTM에서 규정하고 있는 통과전하량에 따른 콘크리트 염소이온 투과 저항성을 나타낸 것으로, 제시된 콘크리트의 염화물 투수성에 근거하여 기초배합 실험결과 산정된 통과전하량을 염소이온 투과성과 비교·고찰하여 프리팩트 콘크리트의 투수특성을 평가하고자 하였다. <그림 5>는 본 실험에 사용된 장비를 나타낸 것이다.

총 3개의 시편에 대하여 상면과 하면을 5cm로 절단하여 시험을 수행하였으며, 2개의 시편은 7일 양생 후 시험을 실시하였고, 1개의 시편은 28일 양생 후 시험을 수행하였다.



<그림 1> 프리팩트 시험체 준비



<그림 2> 핸드 믹서를 이용한 모르타르 배합



<그림 3> 주입모르타르 주입



<그림 4> 프리팩트 콘크리트 양생

<표 1> 전하량에 따른 염소이온 침투성

통과 전하량(C)	염소이온 침투성
>4000	높음
2000~4000	보통
1000~2000	낮음
100~1000	매우 낮음
<100	무시할 만함



<그림 5> 염소이온 침투 저항성 시험

### 2.3 화학저항성 시험

화학저항성 시험은 28일 동안 건조양생 된 공시체를 2% 염산, 5% 황산, 4% 염화칼슘 용액에 침적하여 28일 후의 화학적 침적 상태를 비교 분석하였다.

내약품성 실험은 ASTM C 267 규정에 준하여 15×30cm의 원형 공시체를 제작하여 7일 동안 기건 양생 (20℃, 60%RH)을 실시한다. 그 후 2% 염산, 5% 황산 및 4% 염화칼슘의 수용액을 시험 용액으로 28일 동안 수용액에 침적하여 내약품성 시험을 수행하였다. 시험액의 양은 공시체 1개에 대해 2.4 l로, 2%염산 및 5%유산의 수용액에 대해서는 3일에 한번 씩 교환하였으며, 28일간 침적 후 시험액에서 공시체를 꺼내어 침식되고 약화한 부분을 수돗물로 세정하여 제거한 후 천으로 닦은 다음 중량 변화율을 구하였다.

### 2.4 콘크리트 흡수율 시험

콘크리트의 흡수율은 콘크리트의 동결융해 저항성과 밀접한 관계를 가지고 있다. 흡수율이 높은 콘크리트는 동해의 영향을 받기 쉬우며, 동해를 받는 경우 콘크리트는 열화하여 내구성의 저하를 수반한다. 내구성의 저하는 콘크리트 구조물의 장기적인 성능 발현에 문제를 야기 시킨다. 따라서 KS F 2503 따라 콘크리트 흡수율 시험을 수행하였다.

### 2.5 콘크리트 건조수축 시험

#### (1) 간이수화열 실험

간이 수화열 시험편은 지름10cm, 높이 20cm의 공시체에 써머커플(thermocouple)을 매립하여 온도가 측정될 수 있도록 시편 준비를 하였고, 자기수축시험편 내부에서 형성되는 온도변화와의 비교를 목적으로 자기수축시험편 내부에도 온도센서를 매립하여 실험을 실시하였다. 매립부위의 온도계이지는 정확도를 기하기 위해 납땜 용접처리 하였다.

콘크리트에서 초기균열을 일으키는 중요한 인자 중 하나는 콘크리트 내부의 초기온도로 알려져 있다. 따라서 콘크리트의 초기균열에 관한 연구에서 가장 기본이 되는 요소는 초기 온도변화를 분석하는 것이라 할 수 있다. 본 실험에서는 간이 수화열 실험을 통하여 초기온도를 획득하였고, 콘크리트 타설 직후 시편에 써머커플을 매립하여 초기 24시간 동안 5분 간격으로, 나머지 24시간은 매 30분 간격으로 측정하였으며 균열발생과의 비교를 위하여 구속건조수축 실험에서와 동일한 기간동안 동일간격으로 시편 온도를 측정하였다.

#### (2) 자기수축 실험

자기수축 실험은 0.001mm의 민감도 가진 10mm LVDT를 사용하여 시편의 길이변화를 측정하는 방법

으로 일본의 Ohama 교수가 고안한 실험방법을 채택하였다. 이 실험법의 장점은 콘크리트 타설 후 10mm LVDT를 통해 획득된 길이변화량이 데이터 로거(Data Logger)를 통하여 직접적으로 획득할 수 있다. 더불어 콘크리트 시편과 폴리에틸렌 형틀과의 분리를 위하여 형틀 내부를 테프론 쉬트로 일차처리 하고, 폴리머 콘크리트용 박리제로 이차처리한 후 콘크리트 타설이 이루어지기 때문에, 형틀바닥과 옆면으로부터의 마찰의 영향을 최소화할 수 있어 상당히 정밀한 데이터를 획득할 수 있다. 즉, 기계적인 오차를 제외한 타 조건에 의해 발생하는 오차를 제외한다면 오차발생요인이 거의 없는 실험방법이라 할 수 있다. 실험에 사용된 선형 빔 시편의 규격은 <그림 8>에 나타난 바와 같이 팽창을 평가할 수 있는 내부 스티로폼 치수를 포함한 크기로 70mm×70mm×320mm 제작하였다.

자기수축 실험에서 얻어진 재료의 수축 결과는 수축재료 모델 개발에 필수적으로 요구되는 자료이고, 동시에 보수재료 설계시 반영되는 중요한 데이터이다. 본 연구는 초기 수축으로 인한 재료의 특성 평가와 기초자료 확보에 초점을 맞추어 데이터를 획득하였다.

본 실험은 외부로의 수분증발 및 공급을 억제하기위하여 은박 쉬트로 1차 처리하였고, 폴리에틸렌 비닐로 이차 처리하였다. 관입저항방법을 이용한 주입 모르타르의 응결실험을 실시하였고, 초결 발생 시기부터 자기수축을 측정하였다. 실험 데이터는 24시간동안 측정하였으며, 데이터의 빈도수는 처음 24시간은 5분 간격으로 측정하였다. <그림 6>은 항온항습실(20℃, 60%RH)에서 주입 모르타르의 초기 자기수축을 측정하는 실험전경을 나타내는 사진이다.

### (3) 콘크리트 응결실험

콘크리트 응결실험은 KS F 2436방법인 “관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결 시간 시험방법”에 준하여 실시하였다. 본 실험 방법은 KS F 2421 방법에 따라 굳지 않은 콘크리트의 대표시료를 채취한 후, 4.75mm 크기의 체를 사용하여 습윤 체가름 방법으로 모르타르 시료를 채취하여 저항침의 압력을 체크하여 응결시간을 알아내는 실험법이다.

저항침의 압력 측정방법은 모르타르 경화에 따라, 적당한 치수의 침을 관입 저항기구에 붙여, 침의 지지면을 모르타르 표면에 접촉시킨다. 그리고 천천히 균등하게 기구를 아래쪽으로 연직력을 작용시켜, 침을 모르타르 안으로 25±2mm의 깊이까지 관입시킨다. 25mm의 깊이까지 관입하는데 소요되는 시간은 약 10±2초로 하며, 처음 시멘트와 물을 접촉시킨 후의 경과 시간을 기록하여 응결시간을 측정하게 된다. <그림 7>은 응결시험 전경을 나타내는 사진이다.

## 2.6 화상분석

화상 분석 시험 장치는 크게 전처리 과정에 필요한 장치와 후처리 장치 2가지로 구분된다. 전처리 장비로는, 콘크리트 시편 표면을 관찰할 수 있는 현미경, 콘크리트 시편을 촬영할 수 있는 CCD 카메라나 디지털 카메라와 같이 화상을 입력하는 구성장치로 구성된다. 후처리 장비로는, 촬영된 화상을 하나하나의 픽셀로 분할하여 분석을 할 수 있는 컴퓨터와 분석 Program 분석으로 구분할 수 있다.

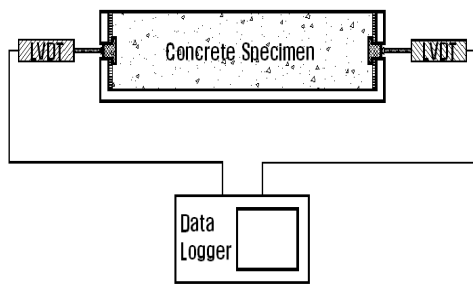
본 연구에서 사용된 화상 분석 시험 장치는 실체 현미경(국내 D사), 디지털 카메라(N사), 컴퓨터와 시편의 상하좌우 이동이 가능한 받침대로 전 처리 장비를 구성하였으며, 화상 분석 프로그램(국내 O사)을 사용하여 분석을 실시하였다.



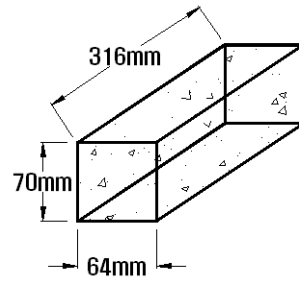
<그림 6> 주입모르타르의 자기수축 시험



<그림 7> 주입모르타르의 관입저항 시험



a. Configuration for Autogenous-shrinkage test



b. Specimen Geometry

<그림 8> 자기 수축 시험 모식도 및 시험체

본 연구에서는 20× 배율로 콘크리트 시편을 관찰하였다. 이 경우, 1화면을 프로그램 상에 입력하면 2560×1704 pixels을 가진 화상으로 컴퓨터에 인식되며, 이는 9.275mm×6.173mm의 약 57.25mm<sup>2</sup>의 면적을 나타낸다. 이 배율에서 1 pixel의 크기는 3.6μm로 인식된다. 본 연구에서는 미세 공극 구조의 분석 범위를 10μm ~ 10<sup>4</sup>μm로 정하였으므로 측정 범위에서 벗어나지 않고 타당한 것으로 판단된다. 다음의 <그림 9>는 이러한 화상분석 장치의 그림이다.

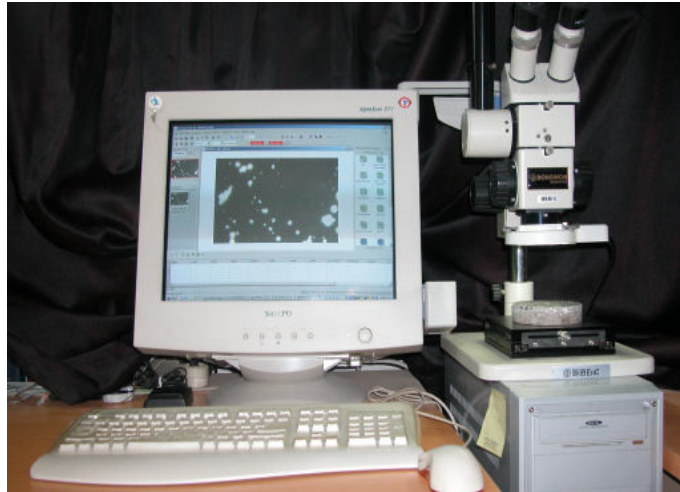
### 3. 실험결과

#### 3.1 염소이온 투과시험

<그림 10>은 염소이온 침투 저항성 시험 결과는 나타낸 그래프이다. 총 3개의 시편에 대하여 상면과 하면을 5cm 절단하여 시험을 수행하였다. 2개의 시편은 7일 양생후 시험을 실시하였고, 1개의 시편은 28일 양생후 시험을 수행하였다.

시험편 #1의 상면의 경우 통과전하량이 840.2 C이 측정되었고, 하면은 433.4 C이 측정되었다. 또한 시험편 #2 상면은 444.91C, 하면은 490.60C, 시험편 #3의 상면은 413.74C, 하면은 471.14C이 측정되었다. 모든 시험편의 결과가 100~1000C 사이의 결과를 보임으로써 투수특성이 매우 낮음을 알 수 있었다. 또한, 양생기간이 7일 결과와 28일 결과를 비교하였을 때 그 결과 값이 거의 유사함을 알 수 있었다. 양생기간이 7일 이후 증가하더라도 투수특성은 거의 변하지 않는 것을 알 수 있었다.





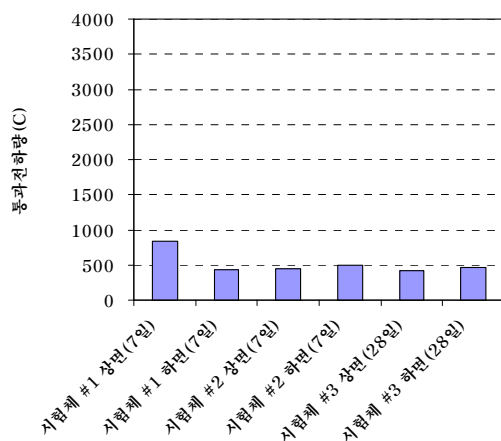
<그림 9> 화상분석 장치

### 3.2 콘크리트 흡수율 시험

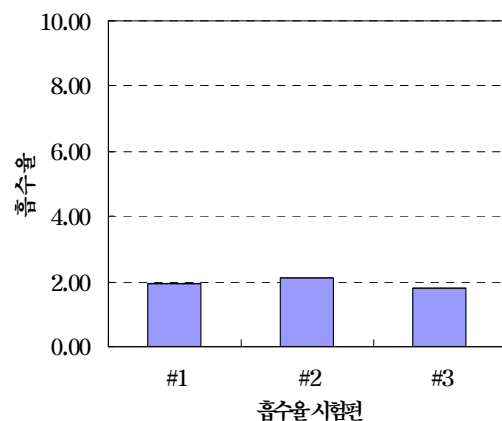
<그림 11>은 프리팩트 콘크리트의 흡수율 시험 결과를 나타낸 그림이다. 시험편 #1은 1.95를 나타내었으며 시험편 #2는 2.10, 시험편 #3은 1.79를 나타내었다. 프리팩트 콘크리트의 평균적인 흡수율은 1.95로 측정되었다.

### 3.3 건조수축 시험

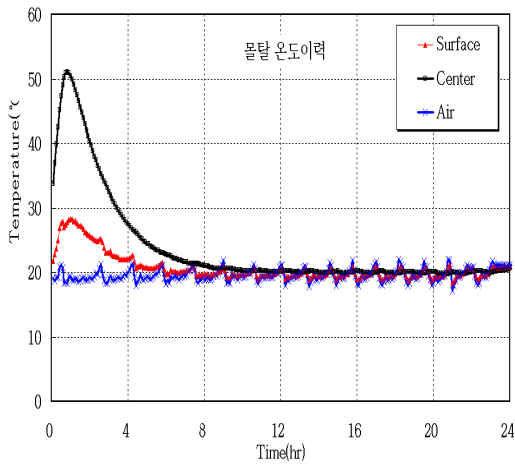
<그림 12>는 프리팩트 콘크리트의 자기수축 시험 결과와 모르타르의 온도 이력 결과를 나타낸 그래프이다. 온도 이력은 총 24시간 측정되었으며 주입 모르타르 중앙부에서 초기 1.5시간에서 최대 50℃까지 온도가 상승하는 경향을 보여 주었으며 그 후 서서히 온도가 감소하는 경향을 보여주었다. 주입 모르타르의 특성상 1.5시간 내에 거의 모든 수화작용에 의해 발열하는 초속경성의 일반적인 특징을 보여주었다. <그림 13>은 주입 모르타르 자기수축 결과를 나타낸 그래프이다. 초기 1.5시간에 75 $\mu$ m까지 급격하게 팽창하였고, 그 후 -130 $\mu$ m에 수축 수렴하여 시간이 증가하여도 자기 수축량은 변화하지 않는 경향을 보여주었다.



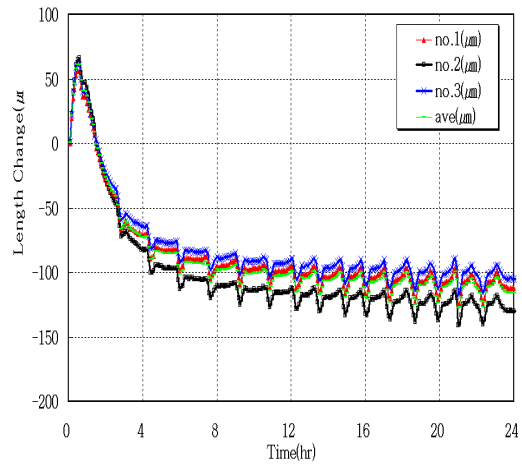
<그림 10> 프리팩트 콘크리트의 열소이온 침투 저항성



<그림 11> 프리팩트 콘크리트의 흡수율



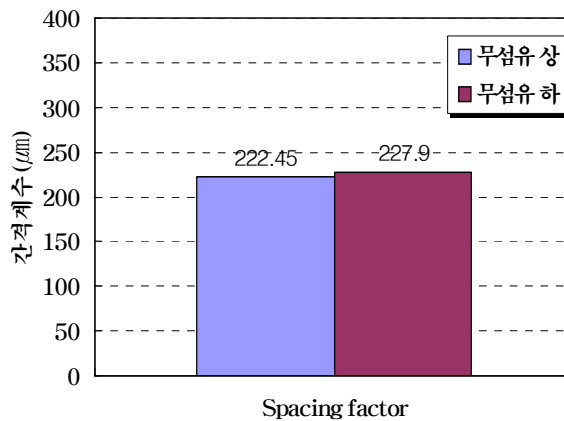
<그림 12> 주입 모르타르의 온도 이력



<그림 13> 주입 모르타르의 자기수축 특성

### 3.4 화상분석

<그림 14>는 프리팩트 콘크리트의 상면과 하면을 5cm로 절단하여 화상분석한 결과이다. 상면의 경우 222.45 $\mu\text{m}$ 로 측정되었고, 하면의 경우 227.9 $\mu\text{m}$ 로 측정되었다. Powers에 의하면 간격계수가 0.25mm 이하일 때 동결융해에 대한 저항성이 발휘된다고 제안하였다. 따라서 모든 시험체가 기준치인 0.25mm 이하의 값을 보임으로써 동결융해에 대해 안전할 것으로 판단된다.



<그림 14> 프리팩트 콘크리트의 간격계수

### 4. 결론

- 1) 프리팩트 콘크리트의 염소이온 투과 저항성 시험 결과 100~1000C 사이의 결과를 보임으로써 투수특성이 매우 낮음으로 판정되었다. 또한 양생기간이 7일 결과와 28일 결과를 비교하였을 때 그 결과 값이 거의 유사하여 양생기간이 증가하더라도 투수특성은 거의 변하지 않는 것을 알 수 있었다.
- 2) 황산 5%에 의한 프리팩트 콘크리트 시험편의 중량변화율 6일에 0.24%, 9일에 0.48%, 12일에 0.68%의 중량 감소 변화율을 보여 주었으며, 염산2%에 프리팩트 콘크리트 시험편에서는 3일 평균 0.32%, 6일 0.46%, 9일 0.83%, 12일 1.13%의 중량 감소 변화율을 보여 주었다. 또한 염화칼슘에 의한 프리팩트 콘

크리트 시험편의 중량변화율은 3일 0.80%, 6일 0.99%, 9일 1.13%, 12일 1.34%의 중량 증가 변화를 보여 주었다.

3) 주입모르타르의 건조수축은 초기 1.5시간에  $75\mu\text{m}$  까지 급격하게 팽창하였고, 그 후  $-130\mu\text{m}$ 에 수축 수렴하는 경향을 보여 주었다.

4) 프리팩트 콘크리트의 상면과 하면을 5cm 절단하여 화상분석한 결과이다. 상면의 경우  $222.45\mu\text{m}$ , 하면의 경우  $227.9\mu\text{m}$ 로 측정되어 기준인 0.25mm 이하를 만족하여 동결융해 저항성이 있는 콘크리트 구조체임을 확인할 수 있었다.

## 5. 참고문헌

1. 권혁찬 (2004), “화상분석법을 통한 경화 콘크리트의 내부 공극 구조 분석”, 강원대학교, 석사학위 논문.
2. 김생빈 (1992), “고강도콘크리트의 동결융해저항에 미치는 기포조직의 영향”, 콘크리트학회지 제4권 1호, pp.89 ~ 95.
3. Davis, R. E.(1960), "Prepacked Method of Concrete Repair", Journal of ACI, p.p 155~172
4. Power, T. C.(1949), "The Air Requirement of Frost Resistant Concrete", Proc. Highw. Res. Bd., 29, 184 ~ 202
5. Power, T. C.(1954), "Permeability of Portland Cement Paste", Proc. am. Concr.Inst., 51, No. 3, 285-298
6. Powers T. C. [1954], "Void Spacing as a Basis for Producing Air-Entrained Concrete" Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association, Vol. 50, pp.741.
7. Richard Pleau, Michel Pigeon, Jean-Luc Laurencot [2001], "Some findings on the usefulness of image analysis for determining the characteristics of the air-void system on hardened concrete", Cement & Concrete Composites 23, pp.237 ~ 246.