

# 굳지않은 모르타르의 레올로지 성질에 미치는 간극수압의 영향

## Influence of Pore Water Pressure on Rheological Properties of Fresh Mortar

이 건 철\* 이 세 현\*\* 한 천 구\*\*\*  
Lee, Gun-Cheol Lee, Sea-Hyun Han, Cheon-Goo

### ABSTRACT

In this study, the rheological properties of fresh concrete of fresh mortar and concrete were investigated experimentally by shear box test. The pore water pressure in fresh mortar was measured as an influence factor of shear deformation of fresh mortar. As the result, it was clarified that the rheological properties is affected by the pore water pressure in fresh mortar and, the correcting method of shear stress in case of shear box test was obtained

### 1. 서 론

굳지않은 콘크리트의 각종성상을 레올로지적 입장에서 정량화 하는 것은 현재와 같은 경험적인 재료성질의 파악이 아닌 보다 이론적이고 합리적인 재료 및 시공관리를 실현하기 위한 필수 불가결한 과제이다.

지금까지 레올로지 이론을 도입한 굳지않은 콘크리트의 유동성상의 정량화에 관한 연구는 대부분 균질점소성체를 가정한 빙엄모델(Bingham model)이 이용되어져 왔다. 그러나, 사실 굳지않은 콘크리트는 시멘트 페이스트 이외에도 잔골재, 굵은골재를 다량 포함한 고농도 서스펜션(Suspension)으로서 그 유동거동은 매우 복잡하며, 전단변형 저항성에 관해서도 빙엄모델과는 전혀 다른 성상을 나타내 등 굳지않은 콘크리트의 유동거동을 빙엄유체로 가정함에는 많은 문제점이 남아 있다.

한편, 필자는 유동상태에 있는 굳지않은 콘크리트의 고체입자간의 접촉에 기인한 전단변형시의 서스펜션(Suspension) 변형 메커니즘을 관찰하기 위하여 포화상태의 모래를 시료한 레올로지 시험을 실시, 서스펜션상이 전단변형을 할 경우 내포하는 고체입자의 다이레이턴시(Dilatancy)에 의해 전단변형의 증가에 따라 전단응력이 현저하게 증가하는 현상을 관찰하였는데, 이와 같은 현상은 서스펜션상에 존재하는 간극수압의 변화에 의한 영향으로 굳지않은 콘크리트도 동일한 현상이 발생할 것으로 판단 된다.

따라서, 본 연구에서는 유동상태의 굳지않은 시멘트 모르타르의 전단변형 저항성에 미치는 간극수압의 영향을 파악하기 위하여 레올로지 시험으로서 전단박스시험을 실시하였다.

### 2. 고농도 서스펜션의 전단변형 메커니즘

그림 1은 굳지않은 콘크리트와 같은 고농도 서스펜션의 다이레이턴시(Dilatancy)에 의한 내부응력변

\* 정희원, 한국건설기술연구원, 건축도시연구부 연구원, 공학박사

\*\* 정희원, 한국건설기술연구원, 건축도시연구부 수석연구원, 공학박사

\*\*\* 정희원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

화를 개념적으로 나타낸 것이다.

다이레이턴시는 분립체가 외력에 의해 전단변형이 가해졌을 경우 시료의 체적변화를 수반하는 성질로서, 분립체 구성요소인 각각의 입자의 인터록킹현상에 의해 발생한다. 이와같이 분립체에서 특징적으로 나타나는 다이레이턴시현상은 분립체의 간극이 액체로 채워진 서스펜션 정상일 경우 더욱 복잡한 거동을 하게 되는데, 서스펜션 시료에 강제변형이 가해지면 그림 1같이 입자간의 접촉에 의해 정

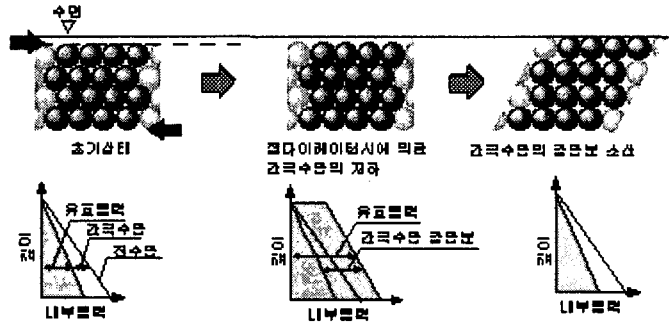


그림 1. 서스펜션의 변형 메카니즘

다이레이턴시(Positive dilatancy)가 발생하여 체적이 팽창함과 동시에 유효응력(Effective stress)이 증가한다. 이때, 간극수가 입자간의 간극을 통해서 확대하는 간극에 유입되어야 하지만 물의 점성 때문에 순간적으로 간극에 유입되는 것은 불가능하다. 또한, 물은 압력에 의해 체적이 변화하지 않기 때문에 간극이 증가하여 힘을 가하면 간극수압은 급격히 감소한다. 이 경우 상호관계는 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있는데, 간극수압의 감소분 만큼 유효응력이 증가하고, 전단저항이 증가하게 된다.

이와 같이, 서스펜션의 변형저항성을 정립할 경우 상호관계는 다음 식(1) 과 같이 나타낼 수 있고, 이의 변형저항성을 측정하기 위해서는 간극수압의 측정 및 식(1)의 전응력에 해당되는 파라메타의 측정이 필요하다.

$$p = \sigma - u \quad (1)$$

여기서,  $p$ : 유효응력,  $\sigma$ : 전응력,  $u$ : 간극수압

### 3. 실험개요

#### 3.1 전단변형 저항성 측정

굳지않은 모르타르의 전단변형 저항성을 측정하기 위하여 시료의 전단응력, 전단변형 및 전단변형속도의 관계를 직접 측정 가능한 연직형 단순 전단박스 시험장치를 이용하였다. 본 연구에서 이용한 전단박스 시험장치의 전단박스용기 치수는 100×100×100mm 이고, 전단방향은 연직으로서 이때의 최대 전단변형은 1.8까지 가능하다. 전단변형속도는 굳지않은 콘크리트의 유동속도를 상정하여 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0/s의 6수준으로 하고, 측정의 순번이 측정결과에 영향을 미치지 않도록 각 전단변형속도를 랜덤의 순번으로 측정하였다. 각 전단변형속도별

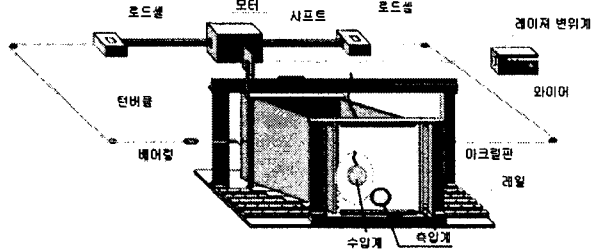


그림 2. 전단박스 시험장치

표 1. 모르타르 배합

No.	W/C (%)	Vs (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	단위질량(kg/cm <sup>3</sup> )		
			W	C	S
1	40	0.50	273	683	1,320
2		0.55	245	613	1,452
3		0.60	217	544	1,584

로 3~5왕복시켜 반복 전단 변형시 측정되는 전단응력의 평균치를 이용하였다.

또한, 시료 하부중앙에  $\phi 10 \times 5 \text{mm}$ 의 간극수압계를 매립하여 간극수압을 측정하였고, 전응력을 알기 위하여 시료용기 전측면 아크릴판에  $\phi 25 \text{mm}$ 의 토압계를 설치하여 토압을 측정하였다. 여기서, 간극수압 및 토압계의 영점은 시료충전후 정지상태를 기준으로 하였다.

### 3.2 사용재료

본 실험에 이용한 시료의 배합은 표 1과 같다. 물시멘트비는 40% 1수준, 잔골재 단위용적은 0.50, 0.55, 0.60 $\text{m}^3/\text{m}^3$ 의 3수준으로 하여 전단변형거동 특성을 측정하였다.

시멘트는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 시멘트 강도 시험용 표준사(절건밀도 2.64 $\text{g}/\text{cm}^3$ , 실적을 66.7%)를 사용하였다.

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 전단박스시험결과

그림 3은 전단시험 측정시간과 전단응력, 간극수압 및 측압의 측정결과와 일례를 나타낸 것이다.

먼저, 전단변형과 간극수압의 관계는 그림 3(a) 및 (b)에서 알 수 있듯이 전단변형의 진행에 따라 간극수압의 감소와 동시에 전단응력이 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 앞서 설명한 바와 같이 고체 입자의 다이레이턴시에 기인한 것으로 체적팽창에 의한 간극수압의 저하와 이에 따른 전단응력 증가현상으로 분석된다.

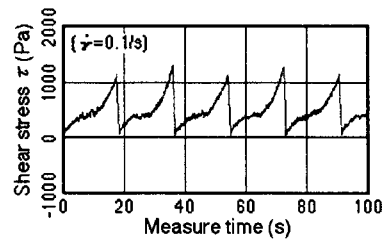
또한, 전응력으로서 측압의 측정결과는 그림 3(c)에서 알 수 있듯이 전단변형이 최대일 때 측압이 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 이에대한 원인은 명확하지는 않으나 전단박스 시험시 대각선 방향으로 시료의 압축력이 발생하기 때문으로 사료된다.

### 4.2 전단변형 저항성

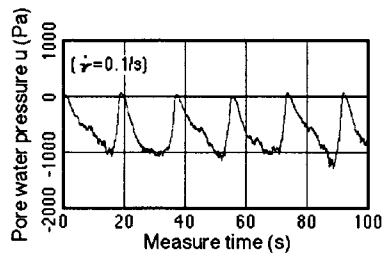
그림 4는 각 측정치와 전단변형율과의 관계를 나타낸 것이다. 단, 본 그래프는 그림 3에서와 같이 수회의 강제 반복전단에 의해 얻어진 데이터를 평균하여 나타낸 것으로서, 그림 중에는 전단변형속도가 0.1/s 및 1.0/s의 결과만을 나타낸 것이다.

그림 4(b)의 간극수압은 전단변형율의 증가에 따라 거의 선형적인 감소경향을 나타내고 있는데, 이는 잔골재의 단위용적이 증가할수록 변화량이 점차 커지는 것으로 나타났다. 한편, No.3시료의 경우 전단변형율이 1.5이상의 영역에서 간극수압이 감소에서 증가로 전환되는 경향을 나타내고 있는데, 이것은 측압 증가에 의한 영향으로 시료 중에 매립되어 있는 간극수압계가 외력이 가해진 것이 의한 것으로 판단된다.

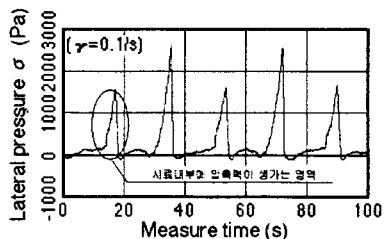
또한, 그림 4(c)의 측압의 측정결과는 전단변형율이 1.2이하의 영역에서는 거의 일정한 값을 나타내고 있는 반면, 1.2을 초과할 경우 급격히 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한 잔골재의 단위용적이 증가할수록 간극수압 경우와 같이 변화량이 증가하는 것으로 나타났다.



(a) 전단응력



(b) 간극수압



(c) 전응력

그림 3. 전단박스 시험결과

이것은 전단응력 측정 결과가 간극수압 및 측압의 측정결과가 복합되어 나타난 결과로 사료된다.

여기서, 간극수압의 변화는 그림(b)에 나타낸 것처럼 실측에 의해서 얻어진 결과이기 때문에 만약, 측압이 변동하지 않아도 정다레이턴시에 의해 전단변형율의 증가와 함께 전단응력이 증가하는 성질이 있는 것은 명확하다. 그러나, 시료의 구속력인 측압의 변화는 전단박스시험장치 고유의 시료변형상태의 결과로 판단되기 때문에 정확한 레올로지 성질을 평가하기 위해서는 측압의 영향을 제외할 필요가 있다.

### 5. 결론

고농도 서스펜션의 레올로지적 성질을 파악하기 위해 굳지않은 모르타르를 이용하여 전단박스 시험을 실시한 결과, 굳지않은 모르타르는 다이레이턴시현상에 의해 전단변형율이 증가할수록 간극수압은 저하하고 전단응력은 증가하는 것으로 나타나, 간극수압이 굳지않은 모르타르에 미치는 영향을 확인 할 수 있었다.

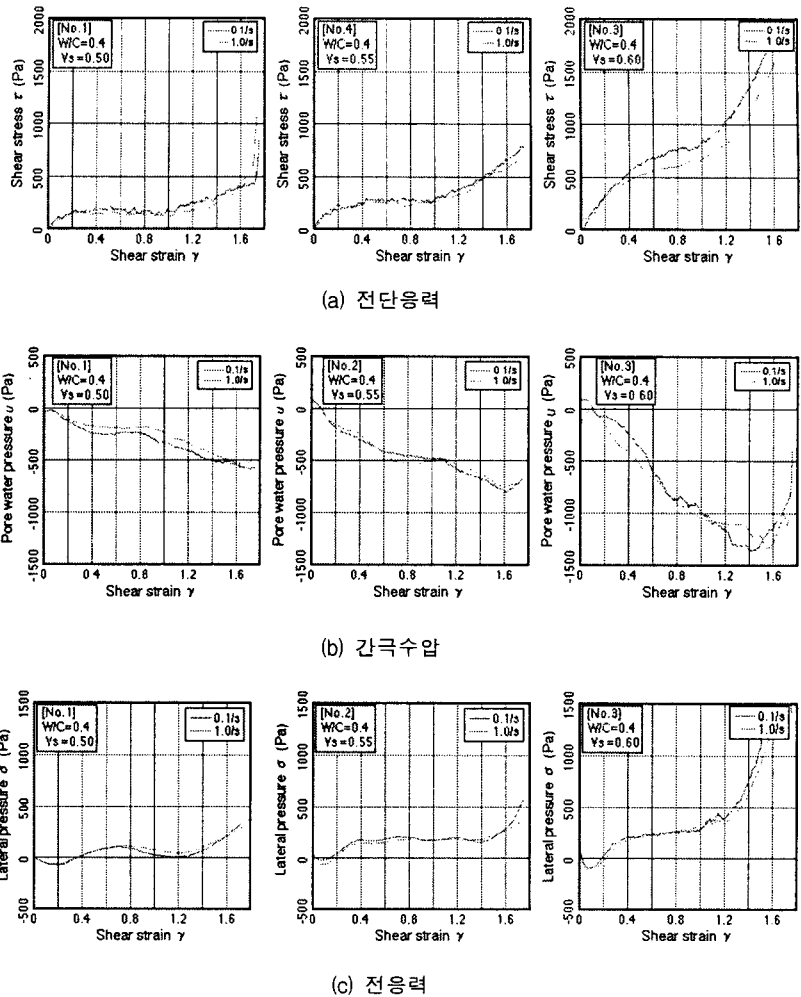


그림 4. 전단응력에 미치는 간극수압의 영향

### 참고문헌

1. 田村二郎: 最新コンクリート技術選書
2. 竹内十三男・越川茂雄・伊藤義也: フレッシュコンクリート三軸圧縮試験方法に関する研究、フレッシュコンクリートの物性とその施工への適用に関するシンポジウム論文集, 土木学会, pp.1~6, 1986, 3
3. 李建哲, 谷川恭雄, 森博嗣, 黒川善幸, 三島直生: フレッシュコンクリートのレオロジー性質に及ぼす間隙水圧の影響に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.588, pp.134~141, 2005. 2.