

# 잔입자함유량에 따른 부순모래의 표건 상태 판정에 관한 연구

## Study on the Decision of Saturated Surface Dry of Crushed Stone Sand with Very Fine Sand

이성복\*                  최진만\*                  이도현\*\*                  전용수\*\*\*  
Lee, Sung Bok      Choi, Gin Man      Lee, Do Heon      Jun, Yong Soo

김병환\*\*\*\*                  이현희\*\*\*\*\*                  지남용\*\*\*\*\*  
Kim, Byong Hwan      Lee, Hyun Hee      Jee, Nam Yong

---

### Abstract

This study is aimed for investigating a decision of the saturated surface dry of crushed stone sand and measuring the moisture with increasing percentage of VFS(Very Fine Sand) replacement each crushed stone sand.

The results indicated that moisture of crushed stone sand is generally increased with increasing percentage of VFS replacement and the rate of increase of moisture is about 30% every time that VFS replacement increases 3.5%. Also the saturated surface dry for crushed stone sand is proposed as a point of time where shape of flow-cone first slumps in this paper.

---

### 1. 서 론

골재의 비중 및 흡수율은 표면건조포화상태(이하 표건상태라 함)를 기준으로 결정되며 잔골재의 표건상태는 일반적으로 플로우콘에 의해 판정하도록 되어 있다. 이들 비중 및 흡수율은 골재의 기본적인

- 
- \* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 연구원
  - \*\* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 선임연구원, 공학박사
  - \*\*\* 정회원, 삼표산업(주) 품질관리부 대리
  - \*\*\*\* 정회원, 삼표산업(주) 품질관리부 이사
  - \*\*\*\*\* 두산건설 기술연구소 연구원
  - \*\*\*\*\* 정회원, 한양대 건축공학부 교수, 공학박사

물성을 대표할 뿐만아니라 콘크리트의 배합을 결정하는 중요한 기초자료가 되기 때문에 잔골재의 표건판정은 골재시험에 있어 대단히 중요한 항목이다.

그러나 최근 천연 강모래의 고갈에 따라 대체골재로서 바닷모래, 육지모래 및 부순모래 등 각종 골재의 사용량이 점차 증가되고 있으며, 특히 암석을 분쇄하여 제조된 인공모래인 부순모래는 천연 강모래와는 달리 입형이 거칠고 No. 200번체(75 $\mu$ m)를 통과한 잔입자를 다량 포함하고 있어 플로우콘을 이용하여 기본 물성을 검토할 경우, 모래입자간의 마찰력 및 잔입자 표면에서의 흡착수분 등의 영향으로 인하여 표건상태를 판정하는데 어려움이 있는 것으로 보고되고 있다.

따라서 본 연구는 국내에서 생산되는 부순모래를 대상으로 표건상태 판정방법을 파악하고, 모래종류별 잔입자함유량에 따른 함수율의 변화를 실험적으로 검토하고자 한다.

## 2. 실 험

### 2.1 실험개요

KS F 2504(잔골재의 비중 및 흡수율 시험방법)은 플로우콘에 의한 잔골재의 표건상태 판정방법을 규정하고 있지만, 모래의 무너지는 정도나 형상 등 부분적으로 구체적이지 못하여 시험자간의 오차발생의 원인이 된다. 더욱이 부순모래는 입형이나 잔입자 등으로 플로우콘에 의한 표건판정은 더욱 어려울 것으로 판단된다. 따라서 본 실험에서는 암석종류와 잔입자함유량(이하 잔입자율이라 함)을 주요 실험인자로 설정하여, 우선 암종별 부순모래의 표건상태를 파악하고, 절건법과 S.M.T.(Speedy Moisture Tester)법을 이용하여 잔입자율에 따른 함수율의 변화를 정량적으로 고찰하고자 한다. 이에 따른 실험인자 및 수준은 표 1과 같다.

표 1 실험인자 및 수준

실험인자	수 준	수준수
암석종류	화강암A, 화강암B, 안산암	3
잔입자율(%)	0.0, 3.5, 7.0, 10.5, 14.0	5

### 2.2 사용재료

#### 1) 모 래

본 실험에서는 양주산 화강암, 남양산 화강암 및 금산산 안산암으로 제조된 부순모래 3종과 공주산 강모래를 사용하였으며, KS F 2502~2511의 시험방법에 따라 측정된 모래종류별 물리적 성질은 표 2와 같다.

### 2.3 측정방법

#### 1) 절건법

KS F 2504에 의거(본 연구에서는 절건법이라 함), 시료 100g을 채취하여 이때의 중량을 측정하고 105 $\pm$ 5 $^{\circ}$ C의 건조로에서 24시간 건조시켜 절건상태로 만든후 절건중량을 측정하여 함수율을 구하였다.

표 2 모래의 물리적 성질

골재명	産地	조립율	비 중		흡수율 (%)	단위용 적중량 (kg/m <sup>3</sup> )	씻기 손실률 (%)	실적률 (%)	입형관정 실적률 (%)	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
			절 건	표 건						
강모래	공주	2.75	2.55	2.59	2.24	1586	1.7	62.2	56.5	-
화강암A	양주	2.85	2.60	2.62	0.94	1648	1.3	63.4	52.2	4058
화강암B	남양	2.80	2.63	2.65	0.80	1622	3.0	61.7	51.5	5479
안산암	급산	2.68	2.64	2.67	1.24	1624	3.8	61.5	52.4	2778

주 1) 화강암은 Impact Crusher로, 안산암은 Rod Mill로 파쇄함.

주 2) 비중 및 흡수율은 잔입자를 완전히 제거한 시료를 사용하여 측정함.

### 2) S.M.T. (Speedy Moisture Tester)

S.M.T.는 레미콘공장에서 가장 많이 사용하는 함수율 측정기기로서 건조제(카바이트)를 이용하여 모래의 수분을 증발시키는 원리를 이용한 것이다. 시료 10g정도(1스푼)를 계량한 후 건조제 2스푼과 함께 S.M.T.용기에 넣고 밀봉하여 상하로 용기를 10초간 흔들고 1분동안 정치시킨 후 다시 상하를 뒤집어 10초간 흔들고 30초간 정치시킨 후 용기 밑면에 표기된 함수율의 값을 사용한다.

### 3. 실험결과 및 고찰

플로우콘의 무너지는 형상에 따른 함수율의 변화는 표 3 표건상태에서의 잔입자율에 따른 함수율의 측정결과는 표 4와 같다.

표 3 플로우콘의 형상에 따른 함수율의 변화

	형상 잔입자율	절 건 법					S. M. T.				
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
강모래	-	2.1	1.8	1.2	1.0	0.4	1.6	1.3	1.0	0.8	0.0
	0.0	2.4	1.2	0.8	0.6	0.0	2.0	0.6	0.4	0.0	0.0
화강암A	3.5	1.8	1.5	1.2	1.0	0.0	1.4	0.8	0.3	0.0	0.0
	7.0	2.6	1.8	1.2	0.6	0.0	2.0	1.1	0.7	0.0	0.0
	10.5	2.6	1.5	1.0	0.5	0.0	2.3	1.0	0.4	0.0	0.0
화강암B	0.0	1.9	1.5	0.9	0.8	0.4	1.5	0.9	0.3	0.0	0.0
	3.5	1.7	1.0	1.0	0.8	0.0	1.1	0.5	0.3	0.0	0.0
	7.0	2.5	2.0	1.6	0.8	0.0	1.9	1.2	0.9	0.7	0.0
안산암	10.5	3.0	2.4	1.7	0.8	0.0	2.4	1.7	0.7	0.2	0.0
	0.0	2.0	1.0	0.8	0.5	0.0	1.6	0.8	0.5	0.0	0.0
	3.5	2.1	1.3	1.1	0.8	0.0	1.4	0.9	0.5	0.2	0.0
	7.0	2.5	2.0	1.4	0.7	0.0	2.3	1.5	0.8	0.0	0.0
	10.5	2.6	2.1	1.7	0.8	0.0	2.0	1.2	0.9	0.0	0.0

표 4 잔입자율에 따른 함수율

잔입자율(%)	질건법										S. M. T.										
	0.0		3.5		7.0		10.5		14.0		0.0		3.5		7.0		10.5		14.0		
	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	
강모래	2.24	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
화강암A	0.94	0.07	1.22	0.12	1.70	0.20	2.10	0.18	2.50	0.17	0.32	0.08	0.88	0.11	1.24	0.15	1.56	0.12	1.86	0.15	
화강암B	0.80	0.08	1.46	0.09	1.82	0.09	2.50	0.09	2.76	0.19	0.36	0.09	0.62	0.12	1.07	0.16	1.58	0.11	2.02	0.06	
안산암	1.24	0.14	1.80	0.07	2.00	0.04	2.44	0.12	2.80	0.12	0.94	0.05	1.54	0.06	1.78	0.06	1.86	0.19	2.05	0.06	

주 1) 평균 및 표준편차는 1수준당 10회 측정된 결과임

### 3.1 표건상태 판정을 위한 플로우콘 형상과 함수율의 관계

그림 1~4는 시간경과에 따른 플로우콘의 무너지는 형상과 함수율의 관계를 나타낸 것이다. 그림 1~2에서와 같이 잔입자율 0%와 3.5%의 경우 표건상태인 Ⅱ에서의 무너지는 형상은 암석종류에 관계없이 일정한 것으로 나타났다. 즉 플로우콘의 형상과 함수율간의 큰 차이가 없는 점으로 볼 때 시험방법에 의한 오차발생은 적을 것으로 판단된다. 그러나 잔입자율이 3.5% 이상인 경우에는 그림 3~4에서와 같이 일반적인 판정방법에 의해서는 형상 Ⅱ와 Ⅲ의 경우가 모두 합당하지만, 함수율에서는 평균 0.5%(최대 0.7%)이상으로 큰 차이가 나타나 실제 이들 플로우콘의 형상만으로는 표건상태 판정이 곤란하다는 것을 알 수 있다

따라서 본 실험에서는 잔입자율 3.5%이하일 경우에는 기존의 강모래와 같이 표건상태를 판정하여도 무방하나, 잔입자율 3.5%이상 함유한 경우에는 플로우콘의 형상이 처음으로 무너지는 시점을 표건상태로 볼 때 Ⅱ번째 시점을 정확하게 판정할 수 있도록 주의할 필요가 있다.

### 3.2 잔입자율에 따른 함수율 변화(형상 Ⅱ를 기준)

그림 5~6은 암종별 잔입자율에 따른 함수율의 변화를 나타낸 것으로, 동일하게 형상 Ⅱ에서 표건상태로 판정되었다 할지라도, 암종에 관계없이 잔입자율이 증가할수록 함수율은 증가된 것으로 나타

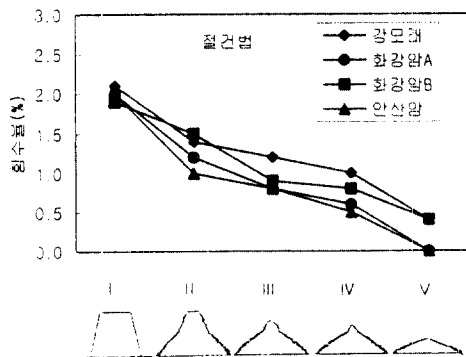


그림 1 플로우콘 형상과 함수율(잔입자율 0%)

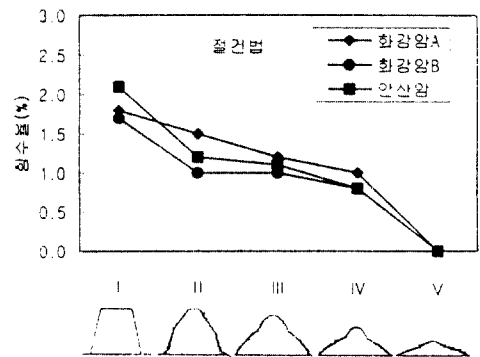


그림 2 플로우콘 형상과 함수율(잔입자율 3.5%)

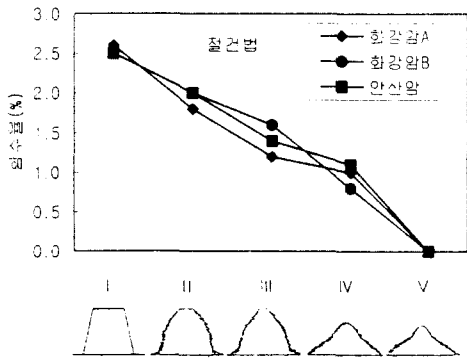


그림 3 플로우콘 형상과 함수율(잔입자율 7%)

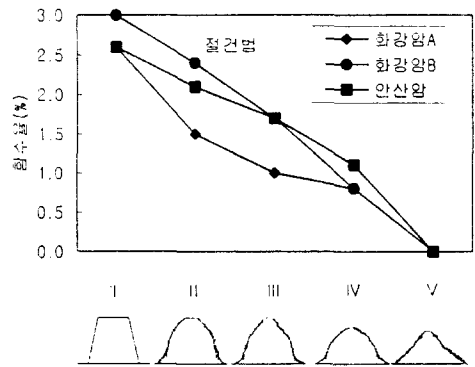


그림 4 플로우콘 형상과 함수율(잔입자율 10.5%)

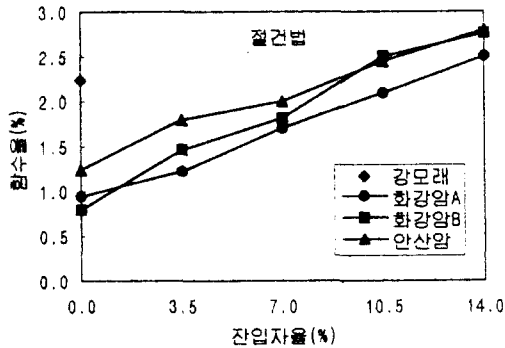


그림 5 암종별 잔입자율과 함수율(절건법)

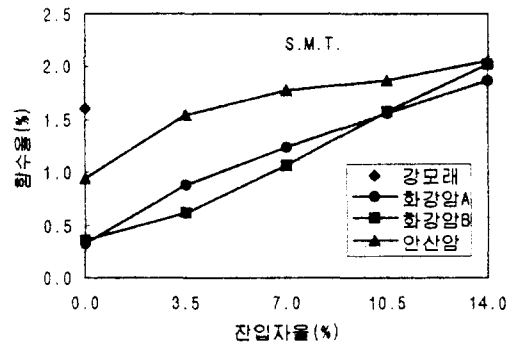


그림 6 암종별 잔입자율과 함수율(S.M.T.)

났다. 또한 절건법으로 측정된 함수율이 S.M.T.법보다 전반적으로 약 0.22~0.75%정도 높게 나타났으며, 이는 S.M.T.법에 이용되는 건조체의 카바이트 성분이 2.5mm이상의 잔골재 내부에 있는 수분을 완전히 증발시키지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

그림 5의 잔입자율 0%의 경우, 강모래의 함수율이 부순모래에 비하여 상당히 큰 것으로 나타났는데, 이는 기존의 자료에서와 같이 부순모래가 강모래보다 조적이 치밀하다는 것을 알 수 있으며, 이러한 결과는 표 2의 비중 및 단위용적중량의 결과에도 영향을 미친다. 또한 잔입자율이 3.5% 증가시마다 전체 암종에 대하여 평균 30% 정도의 함수율이 증가된 것으로 나타났는데, 이는 잔입자율이 증가할수록 모래전체의 비표면적이 증가하여 모래입자간의 흡착수량이 많아지기 때문인 것으로 판단된다. 결국 부순모래의 잔입자가 모래의 함수율에 상당한 영향을 미침을 알 수 있으며, 콘크리트 배합시의 표면수율 결정에 있어 이들 암석종류 및 잔입자함유량을 고려하여 보정합이 바람직할 것으로 생각된다.

### 3.3 절건법과 S.M.T.법의 관계

그림 7~8은 전체암종을 대상으로 한 절건법과 S.M.T.법에 의한 함수율의 관계를 각각 나타낸 것

으로 그 상관성은 매우 높은 것으로 나타났으나, 절건법에 의한 함수율을 기준으로 할때 S.M.T.법은 정확도 측면에서 다소 낮게 나타났다. 그러나 실제 현장에서 시험의 용이성을 고려하여 S.M.T.법을 많이 이용하고 있으므로, 이러한 경우에는 절건법의 결과를 기준으로 하여 잔골재의 함수율을 보정함이 바람직한 것으로 생각된다. 또한 그림 9는 절건법과 S.M.T.법의 상관관계를 나타낸 것으로 두 방법간에는 상관계수가 큰 것으로 나타났으며, 이에 따른 보정식은 다음과 같다.

$$y = 1.012x + 0.5486 \quad (R^2 = 0.8473) \quad (\text{식 } 1)$$

여기서,  $y$ : 절건법에 의한 함수율,  $x$ : S.M.T.에 의한 함수율

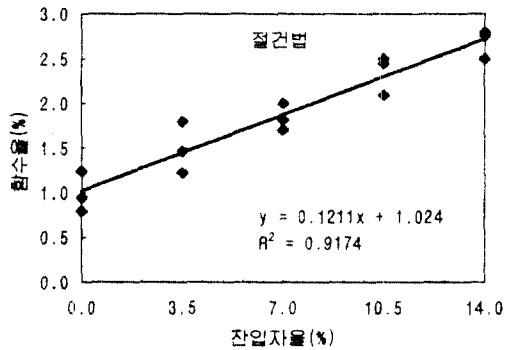


그림 7 잔입자율과 함수율의 관계(절건법)

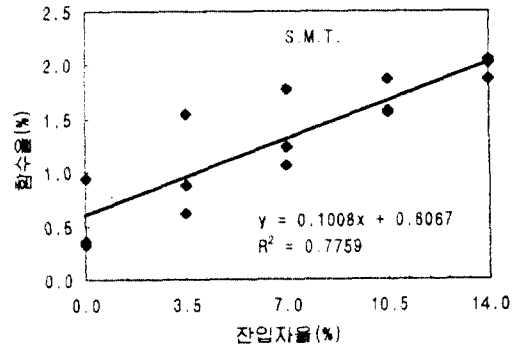


그림 8 잔입자율과 함수율의 관계(S.M.T.)

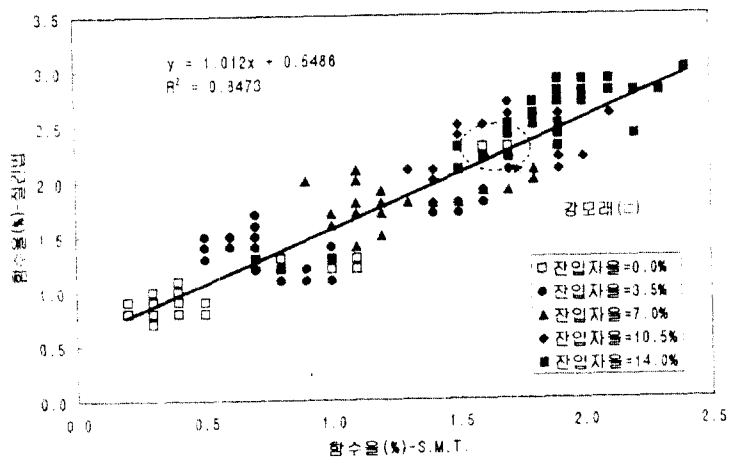


그림 9 절건법과 S.M.T.법의 상관관계

## 4. 결 론

잔입자율에 따른 부순모래의 표건상태 판정 및 함수율을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 잔입자율 3.5%까지는 기존의 강모래와 같이 표건상태를 판정하여도 무방하나, 잔입자율 3.5% 이상 부터는 플로우콘의 형상만으로는 표건상태 판정이 곤란하여 처음 무너지는 시점을 표건상태로 판정하였지만 잔입자함유량에 따른 함수율의 변화가 크게 나타나, 보다 정확한 판정방법에 대한 검토가 요구된다.
- 2) 암석종류에 관계없이 잔입자율이 증가할수록 표건상태에서의 함수율은 증가되었으며, 그 증가율은 잔입자율 3.5% 증가시 약 30%정도 증진된 것으로 나타나, 표면수를 결정시 잔입자함유량을 고려할 필요가 있다.
- 3) 전체암종을 대상으로 한 잔입자율과 함수율의 상관계수( $R^2$ )는 절건법이 0.9174, S.M.T.법이 0.7759로서 절건법이 보다 정확한 것으로 판명되었다.
- 4) 절건법과 S.M.T.법의 상관계수는 0.8473으로서 그 상관성은 매우 높게 나타났으나 실제 현장에서의 S.M.T.법의 이용시에는 절건법을 기준으로 한 잔골재의 함수율 보정이 바람직하며, 제안된 보정식은 다음과 같다.

$$y = 1.012x + 0.5486 \quad (R^2 = 0.8473)$$

## ● 참고 문헌 ●

1. 加賀秀治 外 3人, "遠心力による細骨材の表乾状態調整方法 콘크리트工學年次論文報告集 11-1", 1989.
2. 콘크리트용骨材研究그룹, "콘크리트용細骨材의表乾状態의判整方法에關する研究", 세멘트, 콘크리트 No.517, Mar. 1990.
3. 吉田 乙 外 2人, "碎砂中の微粉量가콘크리트의性質에及ぼす影響", 세멘트技術年報 X X X, 昭51
4. 依田 彰彦 外 1人, "콘크리트의性質에及ぼす砂의含水状態의影響", 콘크리트工學 年次論文報告集 13-1", 1991