

# 전기저항 및 유전율을 이용한 모래의 함수율 측정에 관한 연구

The Study on Evaluation of percentage of water content using electric resistivity and dielectric constant

김화중\*  
W.J.Kim

박정민\*\*  
J.M.Park

김태곤\*\*\*  
T.G.Kim

최신호\*\*\*  
S.H.Choi

이승조\*\*\*  
S.J.Lee

## Abstract

Evaluating the moisture content for sand is useful for quality control of concrete. If water content of evaluate instantly and apply for mix proportion sand of concrete, in mixing proportion of concrete, it can makes to improve of concrete quality.

In this study, the evaluating method for moisture content of sand, using the electric velocity and dielectric constant was proposed as a study of quality control of concrete.

The obtained results are summarized as follow.

- ① The resistance ratio was decreased as the increase of moisture content
- ② The dielectric constant was decreased as the sand of the moisture content increase.

## 1. 서 론

최근 도시 구조물의 양적 증가와 더불어 콘크리트의 수요가 증가함으로써, 콘크리트의 주요 인자인 시멘트, 자갈, 모래등에 대한 품질관리가 제대로 이루어지지 않고있는 실정이다. 현재 레미콘 제조 과정에서 모래의 함수율은 어떤 정량적인 방법에 의한 평가가 이루어 지지 않는 현실이며, 대부분의 레미콘 회사에서는 경험치에 의존한 배합 설계를 한다고 할 수 있다.

따라서 본연구에서는 함수율 측정을 위한 방

법으로써 전기저항법과 유전율을 이용한 방법을 제안하였다. 콘크리트의 배합설계시 신속히 적용할 수 있도록 하여 콘크리트의 성능을 높이고 현장에서의 정확한 콘크리트 배합을 할 수 있도록 하는데 그 연구의 목적이 있다

정확하고 신뢰성 높은 콘크리트를 생산하기 위해서는 모래의 함수율을 정확히 측정할 수 있어야 할 것으로 사료되며 특히, 레미콘 회사나 현장에서의 콘크리트 배합시 모래의 함수율을 측정하기 위해서는 간편하게 빨리 측정할 수 있어야만 콘크리트 배합 설계에 적용이 가능하리라 사료되며, 따라서 본 연구에서는 콘크리트 배합시 즉시로 모래의 함수율을 측정할 수 있도록 하여 양질의 콘크리트를 생산할 수

\* 경북대학교 건축공학과 부교수 공학박사

\*\* 경북대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\* 경북대학교 건축공학과 석사과정

있도록 하기 위한 연구로서 모래의 함수상태와 전기 저항을 및 유전율의 관계를 살펴보고 그 적용성을 검토하였다.

## 2. 실험개요 및 방법

본 연구에서는 모래의 함수율을 측정하기 위해서 전기 저항법에 의한 전기 저항율을 측정하여 모래의 함수율과 전기 저항율과의 관계를 파악함과 동시에 유전율과 모래의 함수율 관계를 고찰하고자 하였다. 모래의 함수율을 측정하기 위한 방법으로 먼저 모래를 절건상태로 건조시킨 다음 모래에 다양하게 물을 첨가하여 다양한 함수율을 가진 모래(표준사)를 만든 다음 모래의 함수율별로 전기저항율과 유전율을 측정하여 모래의 함수율과 전기저항율 및 유전율을 비교하여 모래의 함수율을 측정할 수 있는 회귀식을 제안하였다. 동시에 전기저항을 측정시 다양한 표준저항체를 내장시켜서 측정해 보고 전압도 5V와 10V를 이용하여 실험을 행하였다.

## 3. 실험 계획

### 3-1 실험 기기의 개요

#### 3-1-1 전기저항에 의한 모래의 함수율 측정

본 실험에서 사용한 기기의 구성 회로는 그림-1.에 나타내었고 사진-1.에 그 측정기기를 나타내었다. 실험모듈의 크기는 8cm×8cm×25cm의 아크릴 박스로써 양단자에 스테인레스판을 부착하였다. 실험에 있어서 peak detector 앞단에서 교류 전압을 측정하여 그 측정전압과 표준저항(1.2Ω, 2.1Ω, 3.4Ω, 4.9Ω, 6.9Ω)의 관계로부터 물시멘트의 저항을 산출해서 이 물시멘트비의 저항값에다가 측정 모듈의 크기(면적 및 길이)를 곱하여 저항율을 얻어내는 방법을 사용하였다. 따라서, 저항율은 식-1에 나타내는 식을 사용하여 평가하는 것으로 하였다.

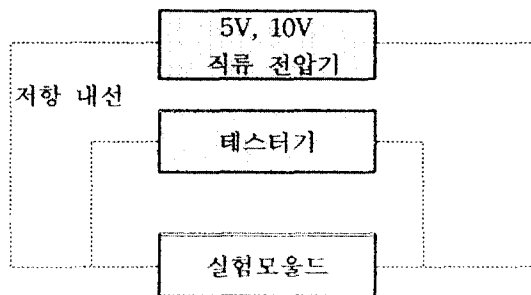


그림-1. 기기의 구성 회로

$\rho$  (저항율)의 계산법

$$R_s = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad R_s = \frac{V_0}{V_s - V_0} \cdot R_0$$

$$\therefore \rho = \frac{V_0}{V_s - V_0} \cdot R_0 \cdot \frac{S}{L} \text{ (식-1)}$$

여기서  $\rho$ :저항율  $R_s$ :저항  
 $R_0$ :저항체  $L$ :길이(cm)  $S$ :단면적( $\text{cm}^2$ )  
 $V_s$ :초기 전압차  
 $V_0$ :Box 양단의 전압차

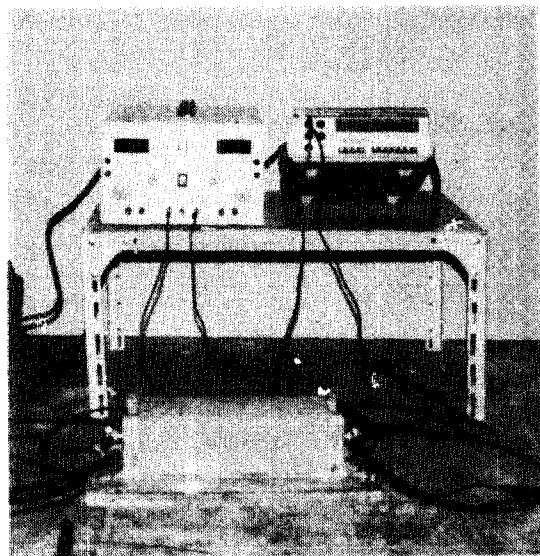


사진-1. 전기 저항율 측정기기

### 3-1-2. 유전율에 의한 모래의 함수율 측정

유전율 측정기와 실험장면을 사진-2에 나타내었고, 유전율을 구하는 계산방법은 식-2와 같다.

$$E_i = \frac{CL}{E_0 A} = C \times 2.26 \times 10^{12} \text{ (식-2)}$$

여기서  $E_i$ : 유전상수     $C$ : 전기용량(pF)  
 $L$ : 길이(cm)     $A$ : 면적( $\text{cm}^2$ )  
 $E_0$ : 진공에서의 유전상수( $8.854 \times 10^{-14}$ )

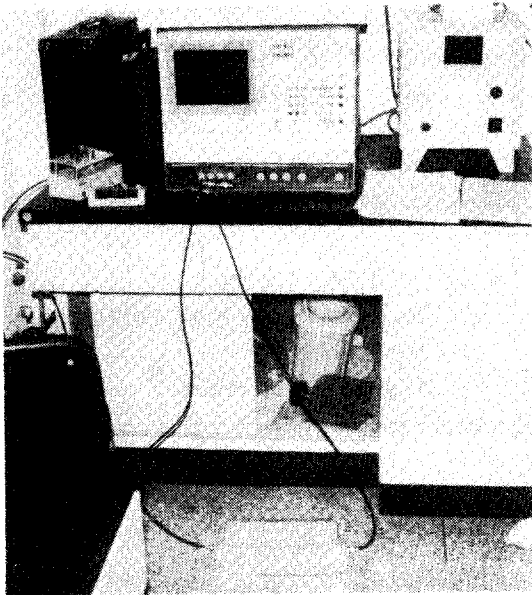


사진-2 유전율 측정기기

### 3-2 실험인자 및 수준

본 연구는 전기 저항 및 유전율에 대한 모래의 함수율 측정을 위한 것으로 본 실험에서 사용한 모래는 표준사를 사용하였으며 이에 대한 실험인자 및 수준을 표-2에 나타냈다.

<표-2. 실험인자 및 수준>

실험 인자	수준
저항( $\Omega$ )	1.2, 2.1, 3.4, 4.9, 6.9
전압(V)	5, 10
물:모래(%)	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 15, 20

## 4. 실험 결과

### 4-1 전기 저항율에 의한 함수율 측정 결과

본 실험의 결과는 표-3에 전압 5V일 때의 초기 저항에 대해 각각의 저항을 측정결과를 함수율의 변화에 대한 전기 저항율의 관계로 그 결과를 나타내었고 표-4.에서는 전압 10V인 경우에 대해서 전기 저항율과 함수율의 관계 실험 결과를 나타내었다. 절건상태의 모래는 다른 값에 비해 거의 무한대에 가까운 값으로 나타났다. 표-3, 표-4와 같이 함수율의 값이 높아질수록 저항율의 값이 점차적으로 감소하는 경향을 띄었다. 그리고, 일반적으로 2%를 기점으로 하여 모든 표준 저항체의 증·감소 경향을 알 수 있으며 특히, 전압의 변화에 관계없이 표준 저항체 4.9 $\Omega$ 을 사용하였을 경우 현저한 감소 경향을 보였다.

<표-3. 전기 저항율의 측정 결과>

전기 저항율 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	표준저항 ( $\Omega$ )				
	전압 5V				
	1.2	2.1	3.4	4.9	6.9
0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
1	156306	136765	147617	212741	179738
2	39071	54697	55345	53171	52846
3	31258	34186	34058	30382	30976
4	26048	27348	29517	29000	29942
5	22326	24863	26043	25518	28070
6	19535	17091	14277	15944	19105
7	15629	17091	18445	18760	18706
8	14996	16973	18445	18225	18094
9	14208	16911	17027	17718	17605
15	10417	10936	11960	11807	12127
20	7813	8041	8509	8730	9155

〈표-4. 전기 저항율의 측정 결과〉

전기 저항율 ( $\Omega \cdot \text{cm}$ )	표준저항 ( $\Omega$ )				
	전압 10V				
	1.2	2.1	3.4	4.9	6.9
0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
1	61148	267561	10826	312079	159772
2	43786	41260	45701	46346	44052
3	33940	35635	37624	36677	36577
4	30584	21412	25490	23560	24079
5	21816	23237	23383	23974	23718
6	17976	17825	18819	18076	18483
7	15268	16189	16632	16397	17370
(%) 8	14807	15916	16059	15852	16527
9	13348	15493	14932	15667	16645
15	7826	9710	10414	10207	10557
20	6781	6932	7450	7365	7516

4-2. 유전율을 이용한 함수율 측정 결과

본 절에서는 표준사에 대한 유전율 측정 결과를 표-5에 나타내었다.

〈표-5. 유전율 측정 결과〉

함수율(%)	C	$E_t$
0	1.65	3.73
1	2.5	5.65
2	2.6	5.87
4	3.0	6.78
5	3.3	7.45
7.5	3.8	8.58
10	4.4	9.94
20	5.5	12.42
30	7.4	16.72
40	9.8	22.14

5. 고찰

5-1. 함수율의 변화에 따른 전기 저항율

그림-2는 모래의 함수율과 전기 저항율에

대한 관계를 나타낸 것이다. 그림-2에서 알수 있는 바와 같이 표준저항체의 크기에 관계없이 그 감소 경향을 살펴보면 대체적으로 함수율 2%이내의 범위에서는 그 감소 경향이 급격히 일어나고 있으며 2% 이후부터는 감소경향이 완만하게 나타나고 있는데 이는 함수율이 증가할수록 모래의 함수율이 포화 상태로 됨으로서 전기 저항에 큰 영향을 미치지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

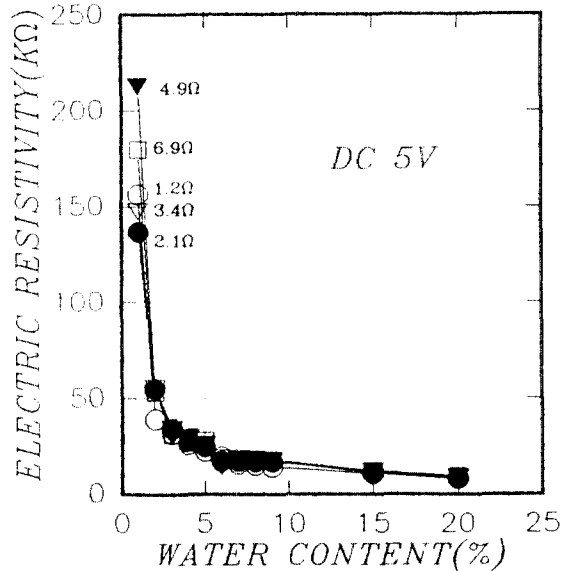


그림-2 함수율과 전기 저항율의 관계

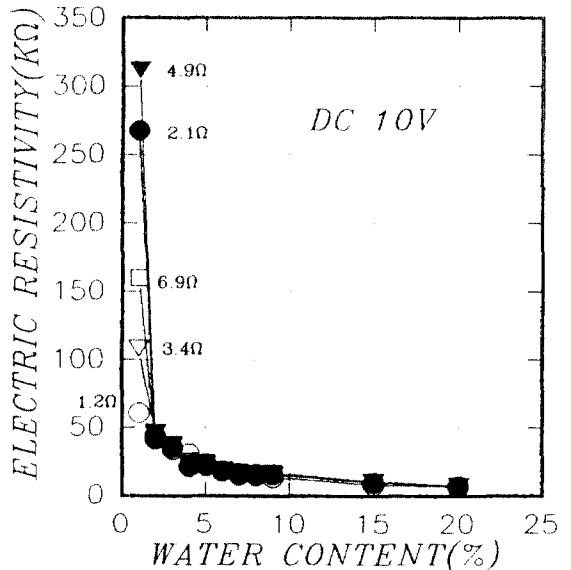


그림-3. 함수율과 전기 저항율의 관계

5-2. 함수율의 변화에 따른 유전율

### 5-2. 함수율의 변화에 따른 유전율

실험결과치 및 그림-4를 살펴보면, 모래의 함수율이 증가할 수 록 유전율의 값도 증가함을 알 수 있다.

이에, 함수율과 유전율과의 관계는 정비례하며, 모래의 함수율 측정에 있어서 유전율 시험이 유용함을 알 수 있다.

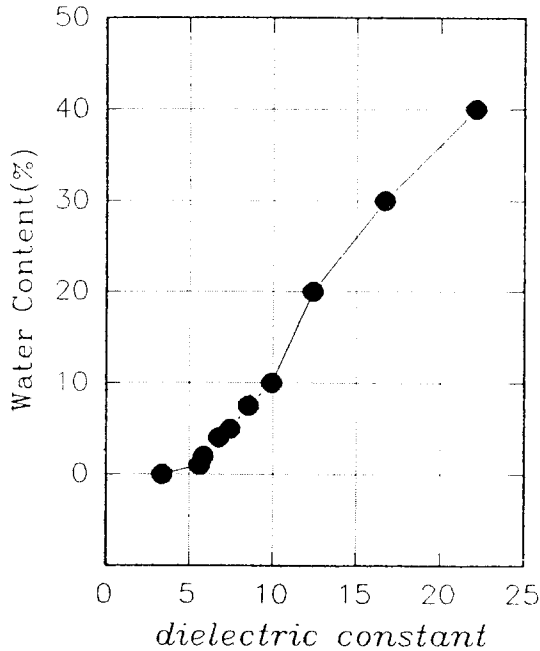


그림-4. 함수율의 변화에 따른 유전율값

### 5-3. 회귀분석

5-3-1. 전기 저항율과 함수율과의 상관관계를 다음식으로 제안하였다.

( $R_0 = 1.2\Omega$  사용시)

$$R = \frac{142423.125}{x^2} + 12483.636$$

여기서, R: 전기저항율 (cm)  
X: 함수율 (%)

( $R_0 = 2.1\Omega$  사용시)

$$R = \frac{123772.929}{x^2} + 15769.108$$

( $R_0 = 3.4\Omega$  사용시)

$$R = \frac{134026.625}{x^2} + 15812.883$$

( $R_0 = 4.9\Omega$  사용시)

$$R = \frac{198381.547}{x^2} + 12287.286$$

( $R_0 = 6.9\Omega$  사용시)

$$R = \frac{164642.219}{x^2} + 14700.897$$

### 4-3-2. 유전율과 함수율과의 상관관계

$$y = 2.353x - 11.323$$

여기서 y : 함수율

x : 유전율

## 6. 결 론

이상의 실험결과에 대한 연구 결과를 간략히 요약하면 다음과 같다.

- 1) 함수율의 변화에 따른 전기 저항율을 측정 한 결과 저항율의 값이 감소하는 경향을 나타냈으며, 표준 저항체 4.9Ω을 사용하였을 경

우 현저 하였다.

2) 모래의 함수율과 전기 저항율의 관계는 0~2%의 범위에서 급격한 감소 경향을 보이며, 5%이상의 범위에서는 아주 작은 감소 경향을 보이는 양상을 알 수 있다.

3) 모래의 함수율이 증가할 수록 유전율의 값도 증가 하며, 함수율과 유전율의 관계는 정비례의 관계에 있다.

추후 연구과제로서 본 실험의 결과 표준사의 함수율에 대한 전기저항율 및 유전율은 밀접한 관계에 있다고 사료되며 보다 많은 실험을 통하여 현장에서의 조건을 충분히 고려한다면 적용성이 충분히 있다고 사료된다.

## 7. 참고 문헌

1. 山田和夫 외 2인, 콘크리트의傳達關數に及ぼす各種要因の影響, セ技年報, 昭和 63年, pp 259-262
2. 콘크리트強度即時判定方法の實用化に関する研究, 日本土木學會論文集, 第266號, 1977年 10月, pp 123-134
3. 水口裕之 외 1인, 細骨材粒度とフレッシュモルタルの性質との關係, セ技年報, 昭和 63年, pp 138-141
4. 鄭日榮 외 2인, 제12장 骨材, 螢雪出版社, pp 145-185
5. 高橋昭二, 第4章 抵抗の種類から使わ方まで, 電氣學入門講座, 電波新聞社, pp 42-55
6. 森田司郎 외 2인: “第5章 建築材料·施工” 麗島出版社, pp 76-84