

한국콘크리트학회 제 규격

---

Chapter 08

**KCI-RM**

**1 적용범위**

이 표준은 레미콘 타설 현장에서 굳지 않은 콘크리트의 단위수량을 정전용량법, 단위용적질량법(에어미터법), 고주파가열법, (가칭)마이크로파법 등을 이용하여 신속하게 측정할 수 있는 시험 방법에 대하여 규정한다.

**2 인용표준**

다음의 인용표준은 전체 또는 부분적으로 이 표준의 적용을 위해 필수적이다. 발행연도가 표기된 인용표준은 인용된 판만을 적용한다. 발행연도가 표기되지 않은 인용표준은 최신판(모든 추록을 포함)을 적용한다.

KS A 0001	표준의 서식과 작성방법
KS A 5101-1	시험용 체-제1부: 금속망 체
KS F 2401	굳지 않은 콘크리트의 시료 채취 방법
KS F 2409	굳지 않은 콘크리트의 단위용적 질량 및 공기량 시험 방법(질량방법)
KS F 2421	압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법
KS F 2503	굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법
KS F 2504	잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법
KS L 5110	시멘트의 비중 시험 방법
KS M 0009	화학제품의 감량 및 찌꺼기의 측정 방법

**3 시험용 측정기기**

시험에 사용되는 측정기기 및 시험기구는 다음과 같은 성능 이상의 것을 사용한다. 또한, 공인시험기관으로부터 교정된 것을 사용하고<sup>1)2)</sup>, 사전에 품질관리자에게 승인을 얻어야 한다.

**3.1 정전용량법**

고주파 유전율 방식을 이용하여 단위 수량을 측정하며, 다음 사항을 만족하여야 한다.

- a) 사용되는 고주파 주파수는 50 MHz로 정전 용량 및 전기저항의 측정이 가능하여야 한다.
- b) 적정 수준의 검량선이 입력되어 있어야 하며, 사용 재료의 품질 변동에 따른 검량선 변경이 가능하여야 한다.

1) 단위수량 측정 시험기기에 대한 공인시험기관이 없는 경우 부속서에 따라 검교정을 수행하고 결과를 품질관리자에게 제출하여야 한다.

2) 단위수량 시험 시 측정기기의 입력 및 출력 값이 조작되지 않도록 조치하여야 한다.

- c) 측정에 사용되는 측정 용기의 내부 용적은 300 cc 이상이어야 한다.
- d) 모르타르를 사용하여 측정하는 경우, 사용하는 체 진동기의 가속도 진동량은  $18 \text{ m/s}^2$  이상, 속도 진동량은  $35 \text{ mm/s}$  이상, 변위 진동량은  $0.27 \text{ mm}$  이상이어야 한다.

### 3.2 단위용적질량법(에어미터법)

단위 용적 질량의 변화를 이용하여 단위 수량을 측정하며, 다음 사항을 만족하여야 한다.

- a) 단위 수량과 공기량 측정 시 주수법이 가능하여야 하며 측정 용기의 용적은 7ℓ로 한다.
- b) 뚜껑의 상부에는 용기의 약 5%의 내용량을 가진 공기실을 가지고 있어야 한다.
- c) 공기실 내의 고압 공기를 용기에 분출할 수 있는 작동 밸브를 가지며, 작동 밸브는 공기실에 물이 침입하지 않는 구조로 되어야 한다.
- d) 측정 용기와 뚜껑을 조립하였을 때 100 kPa의 압력에도 공기 및 물이 새지 않는 구조이어야 한다.
- e) 압력계의 용량은 100 kPa에서 1,00 kPa 정도의 감도인 것으로 한다.

### 3.3 고주파가열법

고주파가열장치(전자레인지)를 이용하여 가열건조 전후의 질량차를 통해 단위 수량을 측정하며 다음 사항을 만족하여야 한다.

- a) 고주파가열장치는 고주파의 정격출력이 1,700 W 이상이어야 한다.
- b) 내부 챔버의 크기는 시료 용기의 크기( $230 \pm 30 \text{ mm}$ )를 고려하여 가로  $300 \times$  세로  $300 \times$  높이  $150 \text{ mm}$  이상이어야 한다.
- c) 고주파 정격출력 1,700 W로 15분 이상 연속 가열 시에도 성능에 문제가 없어야 한다.
- d) 스크리닝(wet-screening)에 사용하는 체 진동기는 3.1절 d)에서 규정하는 동등 성능 이상의 것을 사용한다.
- e) 시료 용기의 크기는  $230 \pm 30 \text{ mm}$ 이며, 재질은 알루미늄이나 도가니로 고주파 정격출력 1,700 W로 15분 이상 연속 가열 시에도 성능에 문제가 없어야 한다.
- f) 고주파가열장치의 국부적 온도상승에 따른 파손을 보호하기 위해 사용하는 스페이서는 가로  $20 \times$  세로  $20 \times$  길이  $100 \text{ mm}$ 의 형태로 고주파 정격출력 1,700 W로 15분 이상 연속 가열 시에도 성능에 문제가 없는 재질(내화벽돌 등)이어야 한다.

### 3.4 마이크로파법

콘크리트에 투과되는 마이크로파가 물분자에 의해 진폭감쇠, 주파수 변동, 시간차가 발생하는 원리를 이용하여 단위수량을 측정하며, 다음 사항을 만족하여야 한다.

- a) 마이크로파가 발신 및 수신되는 프로브는 세라믹 재질이어야 하며, 굳지 않은 콘크리트에 반복삽입에 충분한 마모저항성을 확보하여 성능에 문제가 없어야 한다.
- b) 사용되는 마이크로파의 주파수는 600 MHz~1.2 GHz의 극초단파(UHF)로 한다.
- c) 마이크로파가 침투되는 깊이는 프로브 표면으로부터  $30 \text{ mm}$  이상이어야 한다.
- d) 측정에 사용되는 시료 용기는 무주수법 공기량 측정기<sup>3)</sup>로 한다.

3) KS F 2421 (압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법)에 따른다.

## 4 단위 수량 측정 횟수

단위 수량 측정은 콘크리트 120 m<sup>3</sup>마다 콘크리트 타설 직전 1회 이상 측정하며, 필요에 따라 품질관리자와 협의하여 측정 횟수를 조정할 수 있다. 단, 120 m<sup>3</sup> 이하로 콘크리트를 타설하는 경우에는 콘크리트 타설 직전 1회 측정하는 것으로 한다.

## 5 시험 방법

### 5.1 정전용량법

정전용량법을 이용한 콘크리트의 단위 수량은 다음과 같이 측정한다.

#### 5.1.1 기본 데이터 입력

- a) 콘크리트의 시방배합, 결합재의 밀도, 잔골재의 밀도 및 흡수율, 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 등을 입력한다.
- b) 공기량은 KS F 2421에 따라 측정한 공기량을 입력한다.
- c) 뚜껑을 포함한 시료가 들어있지 않은 상태의 측정 용기의 질량을 1g 단위로 측정하여 입력한다.

#### 5.1.2 시료 준비

- a) 콘크리트의 시료 채취는 KS F 2401에 따르며, 채취량은 5 L로 한다.
- b) 채취한 콘크리트 시료를 KS A 5101-1에서 규정하고 있는 4.75 mm체로 스크리닝(wet screening)하여 굵은 골재를 분리한 모르타르를 채취한다. 일반강도 콘크리트의 경우 손에 의한 체가름 및 기계식 체진동기의 활용 모두 가능하지만, 고강도 및 고유동 콘크리트와 같이 점성이 높은 경우에는 체진동기를 사용한다. 스크리닝은 체 상부에 굵은 골재만 남을 때까지 충분히 하며 시간은 2분을 초과하지 않도록 한다.
- c) 스크리닝하여 채취한 시료를 측정 용기에 2회에 나누어 충전하고 다짐봉으로 15회씩 다짐한 후 상면을 평활하게 고른 후 전극 접점부와 외부에 묻은 이물질을 마른 천으로 깨끗이 제거한다.

#### 5.1.3 단위 수량 측정

- a) 기본 데이터가 정확히 입력되었는지를 확인하고 준비된 시료(시료+용기)의 질량을 1g 단위로 측정하여 그 값을 입력한다.
- b) 측정기기의 영점 조정 후 시료가 담긴 측정 용기를 단위 수량 측정기기에 연결하여 단위 수량을 측정한다. 단위 수량 측정은 동일 시료에 대해 3회 반복 측정한 후, 그 평균값을 콘크리트의 단위 수량 값으로 한다.

### 5.2 단위용적질량법(에어미터법)

에어미터법을 이용한 콘크리트의 단위 수량은 다음과 같이 측정한다.

### 5.2.1 기본 데이터 입력

- a) 콘크리트의 시방배합, 결합재의 밀도, 잔골재 및 굵은 골재의 밀도, 시멘트 습윤밀도<sup>4)</sup> 등을 입력한다.
- b) KS F 2421에 따라 측정한 골재 수정계수를 입력한다.

### 5.2.2 시료 준비

- a) 콘크리트의 시료 채취는 KS F 2401에 따르며, 채취량은 25 L로 한다.
- b) 채취한 콘크리트 시료를 측정 용기에 3회에 나누어 충전하고 다짐봉으로 각 층에 25회씩 균등하게 다진다. 다짐 구멍이 없어지고 콘크리트의 표면에 큰 거품이 보이지 않도록 용기의 옆면을 4면에 걸쳐 3회씩 고무망치로 골고루 두드린다.

### 5.2.3 단위 수량 측정

- a) 용기에 뚜껑을 장착한 후, 시료+용기+뚜껑의 질량을 1g 단위로 측정하여 그 값을 입력한다.
- b) 주수구와 에어밸브를 개방하고 주수구를 통하여 물을 주수한다. 용기에 묻어 있는 물과 이물질을 제거한 후 시료+용기+뚜껑+물의 질량을 1g 단위로 측정하여 그 값을 입력한다.
- c) 압력펌프를 이용하여 측정 용기에 압력을 가한 후 초기압력을 결정한다.
- d) 주밸브를 열고 공기압이 평형을 이루도록 고무망치로 용기의 옆면을 4면에 걸쳐 3회씩 고무망치로 골고루 두드린다. 공기압이 평형되었을 때의 평형 공기압을 측정하여 입력한다.
- e) 이상의 데이터가 정확히 입력되었는지 확인한 후 단위 수량을 측정한다. 단위 수량 측정은 동일 시료에 대해 3회 반복 측정한 후, 그 평균값을 콘크리트의 단위 수량 값으로 한다.

## 5.3 고주파가열법

고주파가열법을 이용한 콘크리트의 단위 수량은 다음과 같이 측정한다.

### 5.3.1 사용 재료의 기본 물성 측정

- a) 잔골재 흡수율 사용 잔골재의 흡수율을 KS F 2504에 따라 측정한다.
- b) 혼화제의 고형분을 레미콘 제조에 사용되는 혼화제의 고형분을 KS M 0009에 따라 측정한다.

### 5.3.2 시료 준비

- a) 콘크리트의 시료 채취는 KS F 2401에 따르며, 채취량은 5 kg으로 한다.
- b) 채취한 콘크리트 시료를 3회에 나누어 KS A 5101-1에서 규정하고 있는 4.75 mm체로 스크리닝(wet screening)하여 굵은 골재를 분리한 모르타르를 채취한다. 일반강도 및 고강도 콘크리트 모두 3.3절 d)에서 규정하고 있는 기계식 체진동기를 사용하며, 스크리닝하는 동안 헤라를 이용하여 일정한 압력으로 체 상부에 굵은 골재만 남을 때까지 고른다. 스크리닝 시간은 30초로 한다.
- c) 시료 용기를 고주파 가열장치에 넣고 30초간 정격출력 1,700 W로 가열한 후 꺼내어 시료 용기의 질량을 0.1 g 단위로 측정한다.
- d) 스크리닝하여 채취한 시료 중 400±1 g을 3.3절 e)에서 규정하는 시료 용기에 넣고, 시료 용기 밑면을

4) KS L 5110 따른다. 단, 광유 대신 상수도물을 사용하여 측정한다.

손으로 두드려 공기포를 제거하고 시료가 균일한 두께가 되도록 한다. 시료 개수는 2개로 하며, 건조 전 시료의 질량을 0.1 g 단위로 측정한다.

- e) 고주파가열장치 내의 스페이서 위에 시료 용기를 올려놓고 6분 동안 시료를 건조한 후, 꺼내어 건조 후 (시료 용기 + 시료) 질량을 0.1 g 단위로 측정한다. 건조 후 시료의 질량은 다음 식에 따라 계산한다.

$$M_2 = M_2' - M_0$$

여기서,  $M_0$ : 시료 용기의 질량 (g)

$M_2$ : 건조 후 시료의 질량 (g)

$M_2'$ : 건조 후 시료와 시료 용기의 질량 (g)

### 5.3.3 단위 수량 계산

단위 수량은 다음 식에 따라 계산하고, 측정값의 자릿수 및 수치 뱃음은 KS A001에 따른다. 단, 소수점 이하는 생략한다.

- a) 잔골재의 흡수분 보정: 다음 식에 따라 잔골재의 흡수분을 보정한다.

$$C_s = \left( \frac{Q_s}{100 + Q_s} \right) S \frac{M_1}{(W + C + S)}$$

여기서,  $C_s$ : 잔골재의 흡수분 보정량 (g)

$Q_s$ : 잔골재의 흡수율 (%)

$W$ : 배합상의 단위 수량 ( $\text{kg/m}^3$ )

$C$ : 배합상의 단위 시멘트양 ( $\text{kg/m}^3$ )

$S$ : 배합상의 단위 잔골재양 ( $\text{kg/m}^3$ )

$M_1$ : 건조 전 시료의 질량 (g)

- b) 혼화제의 고형분 보정: 다음 식에 따라 레미콘 제조에 사용한 혼화제의 고형분을 보정한다.

$$C_{ad} = AD \frac{P}{100} \frac{M_1}{(W + C + S)}$$

여기서,  $C_{ad}$ : 고형분의 보정량 (g)

$AD$ : 배합상 혼화제의 단위량 ( $\text{kg/m}^3$ )

$P$ : 혼화제 중의 고형분율 (%)

- c) 단위 수량 계산: 다음 식에 따라 단위 수량을 계산한다.

$$W_e = \{(M_1 - M_2) - C_s + C_{ad}\} \frac{(W + C + S)}{M_1}$$

여기서,  $W_e$ : 추정 단위수량 ( $\text{kg/m}^3$ )

$M_2$ : 건조 후 시료의 질량 (g)

## 5.4 마이크로파법

마이크로파법을 이용한 콘크리트의 단위수량은 다음과 같이 측정한다.

### 5.4.1 기본 데이터 입력

- a) 단위수량 측정기기에서 콘크리트에 사용된 재료의 입도(fine/normal/coarse)를 선택한다.

Fine	Normal	Coarse
굵은골재가 적은 경우 굵은골재 비율이 낮아, 잔골재와 바인더의 비율이 높아지는 경우	일반 콘크리트	고강도 콘크리트 1. 굵은 골재 비율이 높은 경우 2. 단위수량 160L/m³ 이하로 고성능 감수제가 사용된 경우

- b) 단위수량 측정기기에 콘크리트에 사용된 골재의 흡수율의 2/3에 해당하는 값을 입력한다.<sup>5)</sup>

### 5.4.2 기본 데이터 입력시료 준비<sup>6)</sup>

- a) 콘크리트의 시료 채취는 KS F 2401에 따르며, 채취량은 20 l 이상으로 한다.  
b) 채취한 콘크리트 시료를 측정 용기에 3회에 나누어 충전하고 다짐봉으로 각 층에 25회씩 균등하게 다진 후 고무망치로 용기의 옆면을 4면에 걸쳐 3회씩 골고루 두드린다.  
c) 상부면은 곧은자로 여분의 시료를 깎아서 평탄하게 한다.

### 5.4.3 기본 데이터 입력단위수량 측정

- a) 준비된 시료의 단위 용적 질량을 다음 식으로 구한 후, 단위수량 측정기기에 입력한다.

$$M = \frac{W}{V}$$

여기서,  $M$ : 콘크리트 시료의 단위 용적 질량 (kg/m³)

$W$ : 용기 중의 시료의 질량 (kg)

$V$ : 용기의 용적 (m³)

- b) 용기 가장자리에서 중심부로 프로브 측정면이 향하도록 프로브를 충분히 삽입하고, 프로브 위로 30mm 이상의 콘크리트의 두께가 확보되도록 한다.  
c) 삽입된 프로브 위치에 가까운 용기 옆면을 고무망치로 4-8회<sup>7)</sup> 두드려서 프로브 측정면에 콘크리트가 밀실하게 다져지도록 한다.  
d) 이상의 과정이 정확히 실행되었는지 확인한 후 시료의 단위수량을 1회 측정한다.

5) 마이크로파법은 사용되는 전자기파의 투과특성으로 인해 골재가 흡수한 수분의 약 66.6 %까지 측정되며, 단위수량에서는 골재가 흡수한 물량은 제외하여야 한다. 일반적인 콘크리트에서는 보통 약 -10 kg/m³가 되므로, 정확한 흡수율을 산정할 수 없는 경우, -10을 입력하는 것을 권장한다.

6) 7 L 용기에 밀실하게 채워넣은 시료를 준비하는 과정으로, KS F 2421 에 따라 공기량을 측정하기 위해 준비된 시료를 공기량 시험 직전 혹은 직후에 그대로 사용한다.

7) 측정 프로브면 전방에 시료가 밀실하게 채워지도록 한다.

- e) 프로브 측정부에 묻은 콘크리트를 제거하고, 동일시료에 대해 각각 다른 위치<sup>8)</sup>에 삽입하여 5회 반복 측정 후, 그 평균값을 콘크리트 단위수량 값으로 한다.

## 6 검사

굳지 않은 콘크리트의 단위 수량은 5절에 따라 시험하며 제시하는 시방배합표 단위 수량과 5.3.3절 c)에 따라 계산된 단위 수량과의 차를 기록한다. 단위 수량 측정값은 동일 시료에 대해 2회 반복 측정한 데이터의 평균값을 원칙으로 하나 콜드조인트, 시공조인트, 경시변화로 인한 시공성 결여 등 현장여건을 고려할 필요성이 있는 경우에는 품질관리자의 판단하에 측정 횟수를 줄일 수 있다.

## 7 보고

보고는 다음 사항을 기록한다.

- a) 측정일자, 온도 및 습도
- b) 시방배합표
- c) 단위 수량 측정 방법(정전용량법, 단위용적질량법(에어미터법), 고주파가열법)
- d) 측정 단위 수량값
- e) 측정 소요시간

---

8) 프로브를 용기 가장자리에서 70~90° 간격으로 돌아가며 삽입하여 측정한다. 이때 프로브의 측정면은 항상 용기의 중심부를 향하도록 한다.

## 부속서 1: 레미콘 단위수량 신속측정 시험 절차

### 1.1 정전용량법(Capacitance Method)

#### 1.1.1 측정원리

- 물질 중에 함유된 수분량 증가에 따라 저항은 감소되지만 전하를 축적하는 능력의 정도인 정전용량(capacity)은 거의 직선적으로 증가한다.

굳지 않은 콘크리트 시료에 고주파 전압을 걸었을 때 유전율이 다른 재료에 비하여 매우 높은 물의 양에 따라 정전용량이 선형적으로 변화되는 원리를 이용한다. 전자기파 센싱 기술을 이용해 유전율을 구한 후, 물의 양과 정전용량 및 전기저항 사이의 관계를 나타내는 검량선으로부터 시료 함수비를 추정하는 방식과 검량선에 의한 수분 측정값에 검합수, 웨트스크리닝 오차, 골재 흡수율 등의 세부보정을 통한 방식으로 콘크리트 단위수량을 추정한다.

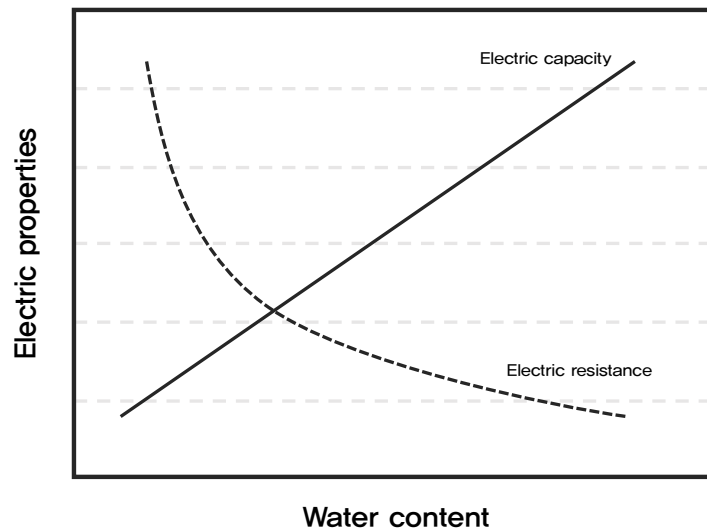


그림 1. 수량과 전기특성의 관계

굵은골재 혼입정도에 따라 오차발생이 크기 때문에 습식 체가름한 일정 부피의 모르타르 중에 포함된 물의 양을 측정하며, 이 값은 골재중에 포함된 함수량(흡수량)을 포함하므로 이를 보정하여 입력된 시방 배합 및 공기량 시험결과로부터 단위수량을 추정한다.

굳지 않은 콘크리트 시료를 체가름하는 경우 굵은골재에 수분이 부착되기 때문에 체가름 방법의 종류(진동기, 수동식 등)에 따라 모르타르 중에 포함된 물의 측정결과가 달라질 수 있으므로 데이터의 입력 시 주의를 요한다.

모르타르 중에 포함된 물의 양을 측정하므로 현장 배합시 골재의 입도보정 데이터도 측정 결과의 오차를 최소화하기 위하여 매우 중요한 데이터가 된다.

분체량, 혼화제량 등의 시방배합과 흡수율 데이터가 필요하나, 전체적인 계산식에 관여하지 않고, 보정값 산출에만 관여하고 고주파가열법, 단위용적질량법 대비 입력데이터 오차에 의한 영향은 상대적으로 적다.

전자기파로 측정하는 방법으로 1회 측정 용량이 매우 적어 3회 이상 측정을 통한 평균 도출이 필수적이

며, 시험에 필요로 하는 측정장비 및 공구의 종류가 많고 세심한 작업을 요구하여 실험실 외의 환경에서의 측정이 다소 어렵다.

표 3. 정전용량법의 단위수량 추정식

단위수량 추정식		
$W = (W_1 + W_{ws}) - (W_{bw} + W_s + W_g)$ <p>여기서, <math>W</math> : 추정 단위수량 (<math>\text{kg/m}^3</math>), <math>W_1</math> : 단위수량 측정값 (<math>\text{kg/m}^3</math>)  <math>W_{ws}</math> : 웨스크리닝 보정수량 (<math>\text{kg/m}^3</math>), <math>W_{bw}</math> : 결합수 보정수량 (<math>\text{kg/m}^3</math>)  <math>W_s</math> : 잔골재 흡수량 (<math>\text{kg/m}^3</math>), <math>W_g</math> : 굵은골재 흡수량 (<math>\text{kg/m}^3</math>)</p>		
웨스크리닝 보정수량 산정식	결합수 보정수량 산정식	골재 흡수율 보정값 산정식
$W_{ws} = (\beta/100)G$ <p>여기서, <math>\beta</math> : 웨스크리닝 오차 보정계수<sup>1)</sup>(%)  <math>G</math> : 굵은골재량 (<math>\text{kg/m}^3</math>)</p>	$W_{bw} = (a/100)/B$ <p>여기서, <math>a</math> : 결합수 보정계수<sup>2)</sup>(%)  <math>B</math> : 결합재(C+FA+BFS+AD)(<math>\text{kg/m}^3</math>)</p>	$W_s = Q/(100 + Q)S,$ $W_g = P/(100 + P)G$ <p>여기서, <math>Q</math> : 잔골재 흡수율 (%)  <math>S</math> : 잔골재량 (<math>\text{kg/m}^3</math>)  <math>P</math> : 굵은골재 흡수율 (%)  <math>G</math> : 굵은골재량 (<math>\text{kg/m}^3</math>)</p>

<sup>1)</sup> 굵은골재 표면에 부착하는 수분의 보정 수량

<sup>2)</sup> 시료중의 수분이 시멘트와 결합해 잃은 수량

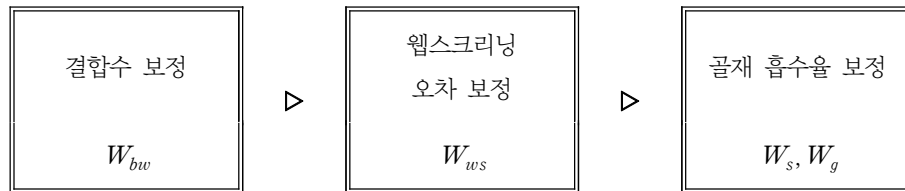


그림 2. 정전용량법의 단위수량 측정 과정

표 4. 결합수 보정계수

물시멘트비 (%)	결합수 보정계수(+) %		
	다짐 시간(분)		
	1~44	45~74	75~104
75.0~62.1	1.246	1.254	1.309
62.0~57.1	1.251	1.305	1.323
57.0~52.1	1.282	1.320	1.328
52.0~47.1	1.355	1.345	1.346
47.0~42.1	1.357	1.482	1.468
42.0~34.1	1.487	1.484	1.473
34.0~27.1	0.848	0.820	0.846
27.0~22.1	0.868	0.866	0.905
22.0~10.0	1.030	1.056	1.044

표 5. 웨스크리닝 보정계수

굵은골재 종류	웨스크리닝 보정계수	참고
쇄석	(+) 1.26 %	굵은골재의 쇄석 사용율 100% 만의 경우에 적용
하천 굵은 골재	(+) 0.40 %	하천 굵은골재의 사용율 100% 만의 경우에 적용

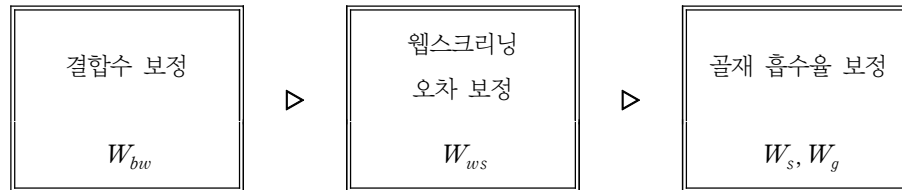


그림 2. 정전용량법의 단위수량 측정 과정

### 1.1.2 정전용량법 시험 절차도

- 정전용량법을 이용한 콘크리트의 단위수량은 다음과 같이 측정한다.

표 6. 정전용량법 시험 절차



### 1.1.3 주의사항

- 1) 시료의 기울기를 최소화하기 위해 표면이 단단하고 평활한 위치에 측정장치를 설치하여야 한다.
- 2) 고주파 전압을 사용하므로 측정치에 영향을 주는 금속제, 휴대폰 등은 20 cm 이상 이격시킨다.
- 3) 전극부에 시료 잔여물 등이 남아 있으면 측정오차가 발생되므로 이물질 제거해야한다.

## 1.2 단위용적질량법(에어미터법)(Specific Weight Method)

### 1.2.1 측정원리

- 물의 밀도는 약 1.0으로서 시멘트, 골재 등과 같은 다른 재료에 비하여 낮고 배치플랜트에서 계량오차가 거의 없기 때문에 이론 단위용적질량과 비교한 실측 단위용적질량이 낮은 경우 밀도가 낮은 물의 양이 증가한 것으로 판정할 수 있는 원리를 이용한다. 시방배합의 단위용적질량과 측정시료의 단위용적질량의 차이를 통한 추정식을 도출하여 단위수량을 추정한다.

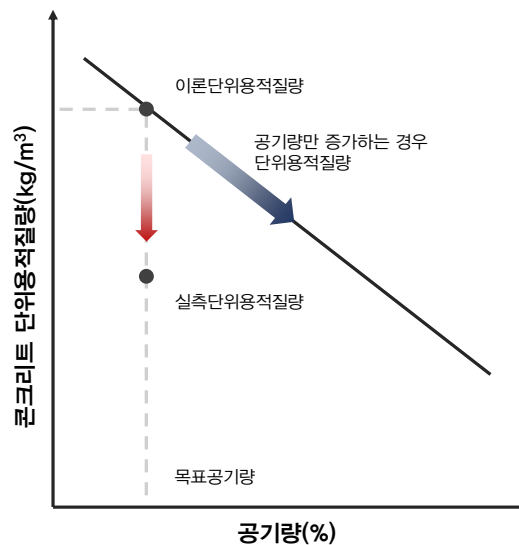


그림 3. 공기량과 단위용적질량과의 관계

목표 공기량보다 증가한 경우 그림과 같은 증가된 공기량만큼 (반)비례하여 단위용적질량 감소가 발생되지만 물의 양이 증가한 경우에는 단위용적질량의 급격한 감소가 발생된다.

이론 단위용적질량을 기준으로 단위수량을 추정하기 때문에 시방배합 설정 시 잔량처리등을 위하여 1 m<sup>3</sup> 이상 배합설계 하는 경우에는 추정결과에 큰 오차를 발생시키며, 실측 단위용적질량은 단위수량 추정결과에 큰 영향을 미치기 때문에 오차 최소화를 위하여 주의 깊게 측정되어야 한다.

혼합시멘트의 혼합률을 정확히 알고 있다면 각 재료의 양을 구분하여 입력하거나 혼합시멘트의 습윤밀도를 측정하여 입력하여야 한다.

- 1) 시멘트 종류별 습윤밀도의 대략값은 다음과 같으나 원칙적으로 시험에 의하여 결정
- 2) 습윤밀도 시험은 KS L 5110과 동일한 방법으로 광유 대신 물을 사용하여 시멘트의 밀도를 측정

표 7. 시멘트 종류에 따른 습윤 밀도

시멘트 종류	습윤 밀도
보통포틀랜드시멘트	3.22
플라이애시 시멘트 (20%)	3.03
고로슬래그 시멘트 (2중)	3.10
조강포틀랜드시멘트	3.22

표 8. 단위용적질량법의 단위수량 추정식

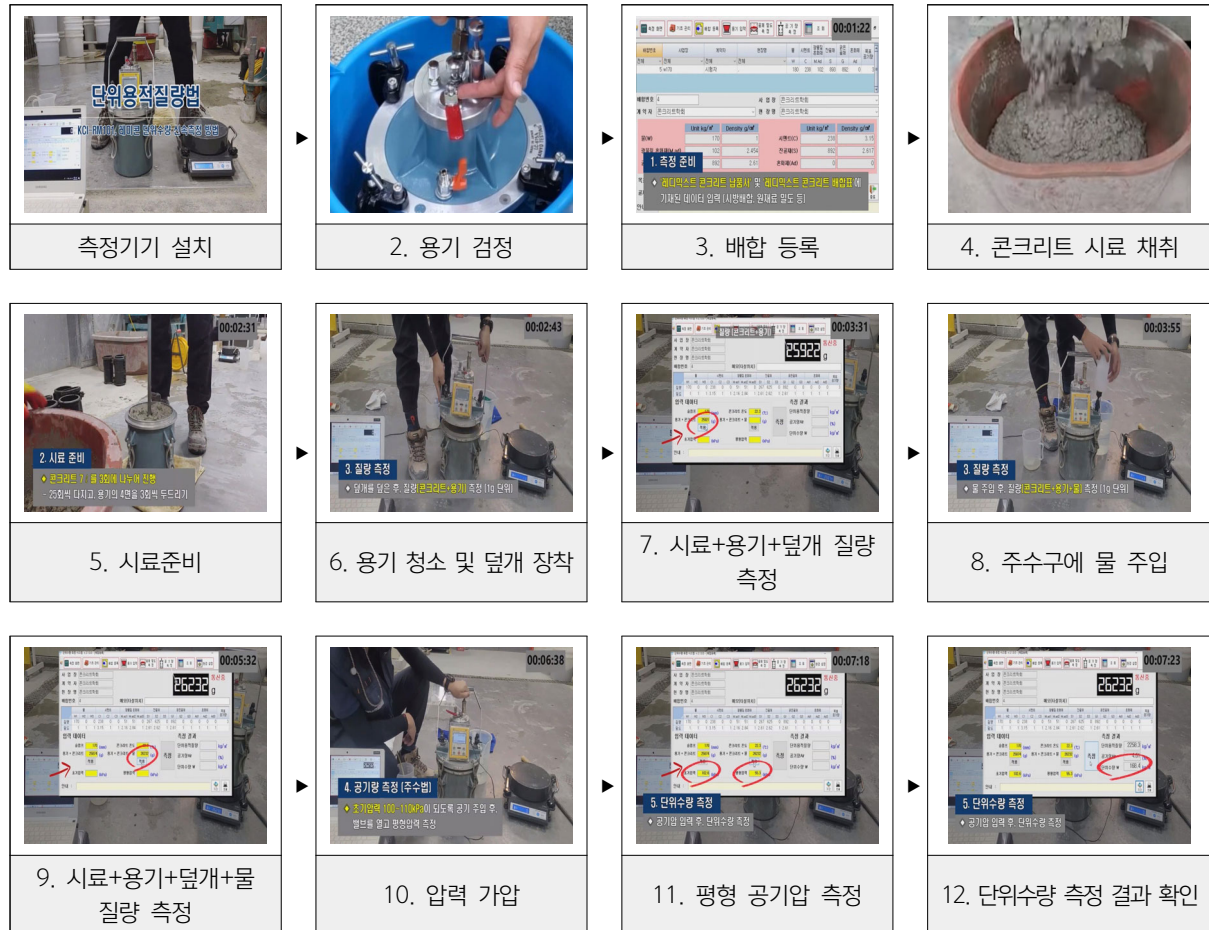
Air-meter법으로 얻는 단위용적질량
$\gamma_c = \frac{M_c + W'}{1 - (A + \alpha) \cdot 0.01 + W' \cdot 0.001}$
가수량 추정식
$W' = \frac{\gamma_c(1 - (A + \alpha) \cdot 0.01) - \gamma_{c0}}{1 - \gamma_c \cdot 0.001}$
단위수량 추정식
$W = W_1 + W' = W_1 + \frac{\gamma_c(1 - (A + \delta) \cdot 0.01) - \gamma_{c0}}{1 - \gamma_c \cdot 0.001}$
<p>여기서, <math>W</math> : 추정 단위수량 (kg/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>\gamma_{c0}</math> : 시방배합의 단위용적질량(공기량 등 보정 전)(kg/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>A</math> : 시방배합상의 공기량 (%)</p> <p><math>\delta</math> : 시멘트 입자에 물이 스며들어 부피가 감소된 비율<sup>1)</sup> (%)</p> <p><math>\gamma_c</math> : 에어메터법으로 얻은 단위용적질량 (kg/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>W_1</math> : 배합표상의 단위수량 (kg/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>W'</math> : 가수량 (kg/m<sup>3</sup>)</p>

1) 단위시멘트량 100kg/m<sup>3</sup> 당 0.1% 부피 감소

### 1.2.2 단위용적질량법 시험 절차도

- 단위용적질량법을 이용한 콘크리트의 단위수량은 다음과 같이 측정한다.

표 9. 단위용적질량법 시험절차



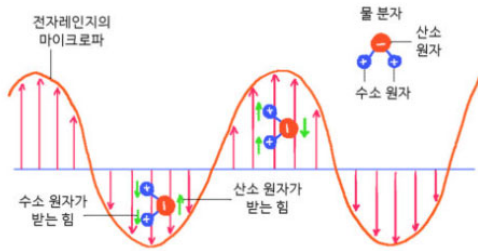
### 1.2.3 주의사항

- 1) 시료의 기울기를 최소화하기 위해 표면이 단단하고 평활한 위치에 측정장치를 설치하여야 한다.
- 2) 주수구를 깔대기 등을 이용하여 자연 낙하방식으로 물을 주수한다.
- 3) 주수된 물이 기포없이 충분히 배출되는 것을 확인 후 주수를 멈춘다.
- 4) 주수 전·후 질량 측정 전 공기량 시험기 외부의 이물질을 완벽히 제거한다.

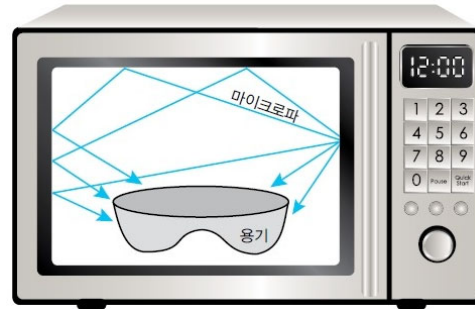
### 1.3 고주파가열법(Microwave Oven Drying Method)

#### 1.3.1 측정원리

- 콘크리트로부터 습식 체가름(wet screening)한 모르타르를 마이크로웨이브 오븐을 이용하여 가열 건조시켜 증발되는 수분량으로부터 콘크리트 단위수량을 추정하는 원리이다.



a) 마이크로파에 의한 분자 운동



b) 마이크로파의 전파

그림 4. 마이크로파 원리

굳지 않은 콘크리트 시료를 체가름하는 경우 굽은골재에 수분이 부착되기 때문에 체가름 방법의 종류에 따라 모르타르 중에 포함된 물의 측정 결과가 달라질 수 있으므로 주의를 요한다. 건조 전·후 질량의 차이와 잔골재 및 혼화제에 포함된 고형분을 보정하는 식을 활용하며, 시방배합이 부정확할 경우 오차 유발의 가능성이 있다.

표 10. 고주파가열법의 단위수량 추정식

건조 후 시료의 질량 계산식
$M_2 = M'_2 - M_0$ <p>여기서, <math>M_2</math> : 건조 후 시료의 질량 (g)  <math>M'_2</math> : 건조 후 시료와 시료 용기의 질량 (g)  <math>M_0</math> : 시료 용기의 질량 (g)</p>
잔골재의 흡수분 보정식
$C_S = \left( \frac{Q_S}{100 + Q_S} \right) S \frac{M_1}{(W + C + S)}$ <p>여기서, <math>C_S</math> : 잔골재의 흡수분 보정량 (g)  <math>Q_S</math> : 잔골재의 흡수율 (%)  <math>W</math> : 배합상의 단위 수량 (<math>\text{kg/m}^3</math>)  <math>C</math> : 배합상의 단위 시멘트양 (<math>\text{kg/m}^3</math>)  <math>S</math> : 배합상의 단위 잔골재양 (<math>\text{kg/m}^3</math>)  <math>M_1</math> : 건조 전 시료의 질량 (g)</p>

혼화제의 고품분 보정식

$$C_{ad} = AD \frac{P}{100} \frac{M_1}{(W + C + S)}$$

$C_{ad}$  : 고품분의 보정량 (g)

$AD$  : 배합상 혼화제의 단위량 ( $\text{kg/m}^3$ )

$P$  : 혼화제 중의 고품분율 (%)

단위수량 추정식

$$W_e = (M_1 - M_2) - C_s + C_{ad} \frac{(W + C + S)}{M_1}$$

$W_e$  : 추정 단위수량 ( $\text{kg/m}^3$ )

### 1.3.2 고주파가열법 시험 절차도

- 고주파가열법을 이용한 콘크리트의 단위수량은 다음과 같이 측정한다.

표 11. 고주파가열법 시험절차



### 1.3.3 주의사항

- 1) 고주파가열장치 내부의 이물질을 반드시 제거하여야 한다.
- 3) 시험전 시료 용기는 표면이 건조해야 하며 이물질을 반드시 제거하여야 한다.

## 1.4 마이크로파법(Microwave Method ; TDR)

### 1.4.1 측정원리

- 굳지 않은 콘크리트에 마이크로파를 투과시킨 후, 물 분자에 의해 흡수되어 마이크로파가 감쇄되는 원리를 이용한다. 매질 내 수분 변화에 따른 유전율 변화를 반사파의 세기에 따라 회로 내에 걸리는 전압차 또는 전류의 세기차를 시간차(time difference, frequency count)로 변환하여 콘크리트의 단위 수량을 측정한다. 또한, 매질에 삽입한 탐침에 신호를 보내어 신호가 반향 되어 돌아오는 시간으로 매질의 유전상수(비유전율)를 측정하고, 그 유전상수로부터 수분 함량을 추정한다.

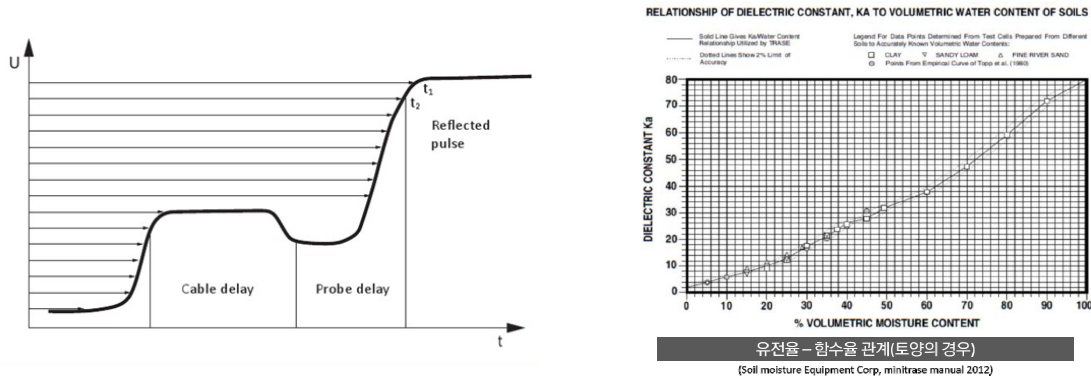


그림 5. 마이크로파법의 원리

모르타르가 아닌 콘크리트 시료를 통한 측정이 가능하고 프로브를 삽입하게 개발되어 별도의 시료 제작이 필요하지 않아 시험방법 중 측정시간이 가장 짧다. 다른 방식의 단위수량 측정방법들에 비해 무게와 부피가 작고 취급이 간편하다. 전기적 방법 특성상 1회 측정 반경이 적어 5회 이상 측정을 통한 측정 평균 도출이 필요하다.

표 12. 마이크로파법의 단위수량 추정식

단위수량 추정식
$W = W_1 - W_{agg} - W_{ad},$ $W_1 = \theta \cdot \gamma_c / 100$ <p>여기서, <math>W</math> : 추정 단위수량 (kg/m<sup>3</sup>), <math>\theta</math> : 콘크리트 함수율 (%)</p> <p><math>\gamma_c</math> : 콘크리트 단위용적질량 (kg/m<sup>3</sup>)</p> <p><math>W_{agg}</math> : 골재에 흡수된 물의 양 (kg/m<sup>3</sup>)(배합비와 골재 종류에 따라 다름)</p> <p><math>W_{ad}</math> : 화학혼화제에 포함된 물의 양 (kg/m<sup>3</sup>)</p>

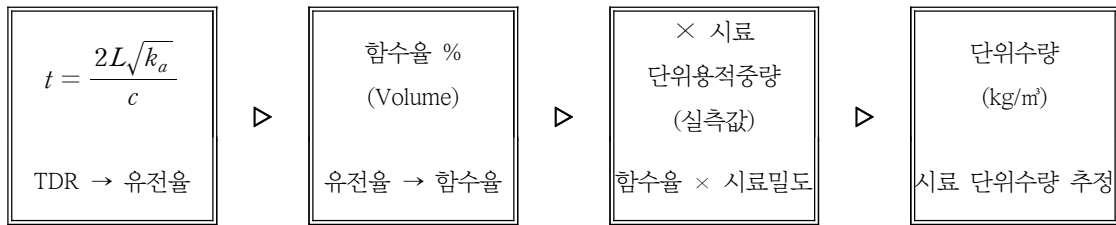


그림 7. 마이크로파법의 단위수량 측정 과정

#### 1.4.2 마이크로파법 시험 절차도

표 13. 마이크로파법 시험절차



#### 1.4.3 주의사항

- 1) 시료의 기울기를 최소화하기 위해 표면이 단단하고 평활한 위치 설치하여야 한다.
- 2) 사용시료를 대상으로 시험을 통해 구한 단위용적질량을 시험에 적용한다.
- 3) 단위용적질량 시험에 사용하는 용기의 정확한 실제 용적을 파악한다.
- 4) 재료분리가 발생한 콘크리트의 경우 측정값의 오차가 발생할 수 있다.

## 부속서 2: 레미콘 단위수량 신속측정 장치의 검교정

### 2.1 장치의 검교정

- 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 시험을 위해 한국콘크리트학회 제규격(KCI-RM101)에 규정되어 있는 시험방법에 사용되는 모든 기기는 사용전 검·교정을 실시하여 신뢰성을 확인한 후 측정에 사용하여야 한다.
- KCI RM-101에 명시되지 않은 측정기기를 사용하고자 하는 경우에는, 해당 기기에 대한 특별한 조사 연구를 통한 검증을 수행하고 근거를 명시하여야 한다.

#### 2.1.1 정전용량법(Capacitance Method)

본 측정기기는 본체, 저울, 공기량 측정기에 대하여 검·교정이 이루어져야 한다.

##### ① 본체에 대한 검정

- 표준 임피던스 분석기를 이용하여 50 MHz에서 임피던스값이  $2.14 \pm 0.3$  임이 확인된 터미널 블록(dummy, Hi-3)을 본체에 접촉하여 측정된 값이  $100 \pm 0.5$  임을 확인하는 절차로 검교정이 진행된다.
- 제조사에서 제시한 검교정 방법으로서 임피던스 측정에 사용된 표준장비는 Agilent사의 4294A를 사용하며, 터미널 블록의 고정장치는 GHI-002로 제시하고 있으므로 이에 대하여 확인한다.

##### ② 저울의 검정

- 비자동저울의 기술기준(산업통상자원부 고시 제2018-110호)에 규정된 저울의 검정법에 따라 검정한다.

##### ③ 공기량 측정기에 대한 검정

- KS F 2421에 규정된 압력계에 의한 공기량 검정법에 따라 검정한다.

#### 2.1.2 단위용적질량법(에어미터법)(Specific Weight Method)

본 측정기기는 시료용기용적, 저울, 공기량 측정기에 대하여 검·교정이 이루어져야 한다.

##### ① 시료용기용적

- 용기의 용적은 덮개를 체결한 상태에서 물의 질량으로 평가하며, 검교정 성적서에 표시되어야 한다.

##### ② 저울의 검정

- 비자동저울의 기술기준(산업통상자원부 고시 제2018-110호)에 규정된 저울의 검정법에 따라 실시한다.

##### ③ 공기량 측정기에 대한 검정

- KS F 2421에 규정된 압력계에 의한 공기량 검정법에 따라 실시한다.

### 2.1.3 고주파가열법(Microwave Oven Drying Method)

본 측정기기는 고주파가열장치, 저울에 대하여 검·교정이 이루어져야 한다.

#### ① 고주파가열장치에 대한 검정

- KS C IEC 60705 가정용 전자레인지 성능측정방법에 따라 실시한다.
- 유리 용기에 담긴 물 부하를 사용하여 측정을 실시한다. 물 온도를 처음에는 주위 온도보다 낮게 하였다가, 전자레인지에서 가열하여 대략 주위 온도까지 상승시키는 시험을 통해 고주파가열장치의 출력을 확인하는 절차로 검·교정이 진행된다.
- 불규산 유리 재질의 원통형 용기를 사용한다. (두께 : 최대 3 mm, 바깥지름 : 약 190 mm 높이 : 약 90 mm) 전자레인지와 빈 용기의 온도는 주위 온도로 한다. 시험에는 초기 온도가  $(10 \pm 1) ^\circ\text{C}$ 인 물을 사용한다. 물 온도는 물을 용기에 붓기 직전에 측정한다.  $(1,000 \pm 5)$  g의 물을 용기에 넣고, 그 실제 질량을 구한다. 용기를 전자레인지 내부 중심부의 스페이서(내화벽돌) 위에 놓는다. 전자레인지를 동작시키고, 물 온도가  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 에 도달하는 데 걸리는 시간을 측정한다. 종료 후 60초 이내에 최종 물 온도를 측정한다.
- 온도를 측정하기 전에 물을 교반하도록 하며, 교반 및 측정 장치는 열용량이 가급적 낮은 것을 이용한다.
- 다음 식으로부터 고주파가열장치의 출력성능이 1,700 watt 이상인지 확인한다

$$P = \frac{4.187 \cdot m_w (T_2 - T_1) + 0.55 \cdot m_c (T_2 - T_0)}{t}$$

여기서,  $P$  : 마이크로파 출력 (watt)

$m_w$  : 물의 질량 (g)

$m_c$  : 용기의 질량 (g)

$T_0$  : 주위 온도 ( $^\circ\text{C}$ )

$T_1$  : 물의 초기 온도 ( $^\circ\text{C}$ )

$T_2$  : 물의 최종 온도 ( $^\circ\text{C}$ )

$t$  : 마그네트론 예열 시간을 제외한 가열 시간 (초)

#### ② 저울의 검정

- 비자동저울의 기술기준(산업통상자원부 고시 제2018-110호)에 규정된 저울의 검정법에 따라 실시한다.

## 2.14 마이크로파법(Microwave Method ; TDR)

본 측정기기는 본체, 저울, 공기량 측정기에 대하여 검·교정이 이루어져야 한다.

### ① 본체에 대한 검정

A법. 2종류 매질을 이용한 검정법

- 상온환경에서 유전율이 일정한 매질을 측정기기가 측정했을 때, 정해진 결과값(Tp)을 출력하는지를 확인하는 절차로 검·교정이 진행된다.
- 매질은 이소프로필알코올과 지르코니아 비드를 이용하여 1,000 mL 플라스틱 비커에 채우고 시험기로 측정했을 때의 Tp(pseudo transit time)값이 각각  $(650 \pm 10)$  ps 와  $(350 \pm 5)$  ps 임을 확인하는 절차로 검·교정이 진행된다.

구분	이소프로필알코올 (IPA : Isopropyl Alcohol)	지르코니아 비드 (Yttria Stabilized Zirconium Bead)
Tp (pseudo transit time, ps)	$650 \pm 10$	$350 \pm 5$
매질의 종류	액체	0.5 mm 고체 비드 (구형)
매질의 온도	$24.5 \pm 1$ °C	상온조건
CAS No.	67-63-0	1314-23-4
비고	순도 99.9 %	이트리아 안정화 지르코니아

B법. 표준사를 이용한 검정법

- 검정 시료를 통해 유전율이 일정한 매질을 측정기기가 측정했을 때의 정확도를 확인하는 절차로 검·교정이 진행된다.
- 계측기기 성능검사 기준에 관한 규정 제 21조(함수비센서)의 의거하여 실시한다.
- 단위수량만을 계측하는 센서와 단위수량과 온도를 동시에 측정하는 경우 다음 방법을 이용해 정확도를 확인할 수 있다.
- 검정 시료는 공기량 시험 용기를 사용한 7 L 용적에 주문진 표준사를 이용하여 제작한다.
- 주문진 표준사의 체적 함수비를 10 %, 20 %, 30 %, 40 %로 각각 제작하고, 최소 30분 이후 측정한다.
- 온도설정은 온도챔버에 센서를 넣은 후 -10 °C 내지 60 °C까지 10 °C 단위로 온도를 증감한다. 온도 측정은 전용측정 장비를 사용하여 데이터를 측정한다.
- 측정범위는 토양수분 0 % M.C.(Moisture Content, 함수비) 내지 40 % M.C., 온도 -10 °C 내지 60 °C이어야 한다.
- 분해능은 토양수분  $\pm 0.5$  % 이하, 온도 0.1 °C 이하이어야 한다.
- 정확도는 토양수분 3.0 % FS 이하, 온도 0.5 °C 이하 이어야 한다.

### ② 저울의 검정

- 비자동저울의 기술기준(산업통상자원부 고시 제2018-110호)에 규정된 저울의 검정법에 따라 실시한다.

### ③ 공기량 측정기에 대한 검정

- KS F 2421에 규정된 압력계에 의한 공기량 검정법에 따라 실시한다.