

## 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 시험방법

### Testing Method for Water Content of Fresh Concrete



정재동\*

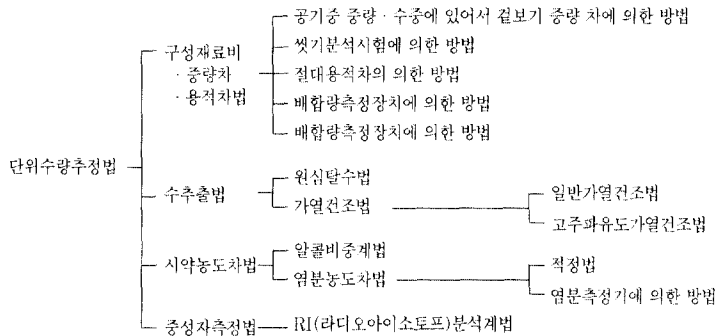
#### 1. 머리말

본 시험방법은 콘크리트제조시 및 공사현장에 있어서 프레쉬콘크리트중의 단위수량을 단시간에 그리고 간편하게 측정하기위해 제안된 것들이며, 콘크리

트 제조공장에 있어서의 혼합수(단위수량이나 골재 표면수량 등의 콘크리트중의 총수량)의 관리나 공사 현장에서의 수입검사시의 품질체크 등을 하는 경우에 적용할 수 있다.

굳지 않은 콘크리트중의 단위수량을 추정하는 방

표 1 각종 플레쉬 콘크리트중의 단위수량 추정방법



\* 정희원, 대구대학교 건축공학과 교수

법으로서는 표 1과 같이 시험에 의해 시료에 포함되어 있는 수량을 직접 추출하여 간단한 보정을 하여 구하는 방법(수분추출법, 水抽出法)과 시료 중에 시약을 투입하여 그 농도의 변화량으로부터 구하는 방법(농도차법, 濃度差法) 및 중성자수분계를 이용한 방법 등이 있다. 이 밖에도 단위시멘트량이나 물시멘트비 등 단위수량이외의 콘크리트 구성요인의 시험에 의한 정량(定量)이나, 콘크리트 시료의 수중에 있어서의 겔보기 중량, 공기중 중량 및 절대용적의 차의 결과로부터 계산에 의해 구하는 방법이 있다.

여기에서는 굳지 않은 콘크리트 중에 포함된 단위 수량을 시험하는 방법에 대해 요약 정리한다.

## 2. 시료의 공기중 중량, 수중에 있어서의 겔보기 중량차 및 절대용적의 차에 의한 방법

이 시험방법은 원칙적으로 콘크리트를 웨트스크리닝(wet screening, 굳지 않은 콘크리트를 체가름하여 굵은골재를 걸러내어 모르타르를 채취하는 방법)하여 얻어지는 모르타르를 시료로 하여 수량을 모르타르양과 시멘트양으로부터 계산에 의해 추정하는 방법이다. 따라서, 수량을 추정하기 위해서는 미리 모르타르중의 시멘트량을 시험에 의해 구해 둘 필요가 있다. 또한, 여기서 얻어진 수량은 모르타르 시료 중의 수량이기 때문에 콘크리트 단위량으로의 환산이 필요하다(특히, 굵은골재량과 모르타르양의 비율 추정이 필요).

### 2.1 콘크리트의 공기중 중량과 수중에서의 겔보기 중량차에 의한 방법<sup>1)~7)</sup>

이 방법은 주로 경화전 콘크리트의 물시멘트비를 추정하기 위한 염산용해열법의 일부로서 사용되어지고 있다. 콘크리트로부터 웨트스크리닝한 모르타르(200ml)를 시료로하여 이것을 삼각플라스크에 넣고 그 공기중 중량(삼각플라스크를 포함한 중량)을 구한다. 여기에 삼각플라스크의 목 밑부분까지 물을 넣고 교반 시키면서 모르타르내부의 공기를 완전히 추출한 뒤, 완전히 물을 채우고 수중에 있어서의 겔보기 중량(삼각플라스크를 포함한 중량)을 구해준다. 이상의 결과와는 별도로 구해둔 시멘트량과 미리 알고있는 시멘트 및 잔골재의 비중으로부터 다음식에

의해 시료중의 수량을 구할 수가 있다.

$$\begin{aligned} \text{수량} = & \text{시료의 공기중 중량} - (\text{시료의 수중} \\ & \text{에서의 겔보기 중량} - \text{시멘트량} \\ & \times \frac{\text{시멘트의 비중} - 1}{\text{시멘트의 비중}}) \\ & \times \frac{\text{잔골재의 비중}}{\text{잔골재의 비중} - 1} + \text{시멘트량} \end{aligned} \quad (1)$$

염산용해열법에서는 시멘트량을 일정량의 물로 희석한 시료(가수량이 전부 800ml가 되도록, 수중에 있어서의 겔보기 중량을 구한 시료를 한번 더 희석하여)에 농도, 온도, 중량(500g)을 미리 알고 있는 염산을 투입하여, 염산과 시멘트와의 반응에 의해 발생하는 염산의 용해열을 측정하여 주어진 관계식을 이용하여 구하도록 되어 있다.

$$\begin{aligned} \text{시멘트의 양(g)} = & 2.92 \times \text{온도차} - 33.2 \\ \text{온도차(}^\circ\text{C)} = & \text{최적온도} - (0.8 \times \text{희석액의 온도} \\ & + 0.2 \times \text{염산의 온도}) \end{aligned} \quad (2)$$

단, 사용하는 단일케이스의 재질과 형상은 규정된 것을 사용한다.

### 2.2 절대용적의 차에 의한 방법<sup>8)~12)</sup>

이 방법은 주로 굳지 않은 콘크리트의 물시멘트비를 추정하기 위한 비중계법의 일부로 사용되고 있다. 기본적으로는 공기중 중량, 수중에 있어서의 겔보기 중량차와 동일하다.

먼저 시멘트량을 구하고, 모르타르의 절대용적을 물로 치환하여 무게를 단 후, 시멘트의 절대용적을 빼고, 잔골재의 절대용적을 구한 뒤, 수량을 계산으로부터 추정한다. 그리고 별도로 일정용기를 준비하여 이것에 물을 가득 채웠을 때의 중량을 구해준다. 이 용기에 콘크리트로부터 웨트스크리닝한 일정량의 모르타르시료(400g)를 넣어 모르타르중의 공기를 모두 추출하면서 용기에 가득 물을 넣고 그 중량을 구한다. 이상의 결과와 물의 비중으로부터 모르타르시료의 절대용적이 얻어진다.

이것과 별도로 구한 시멘트의 절대용적, 시멘트와 잔골재의 비중 및 물의 밀도로부터 잔골재의 절대용적을 계산에 의해 구한다. 얻어진 각 재료의 절대용적과 모르타르의 절대용적으로부터 시료중의 수량이 다음 식으로부터 구해진다.

$$\text{수량} = (\text{모르타르 시료 절대용적} - (\text{시멘트 절대용적} + \text{잔골재 절대용적})) \times \text{물의 밀도} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{모르타르시료의 절대용적} = \\ \frac{\text{모르타르시료의 중량} + \text{물만을 넣은 일정용기} \\ \text{의 중량} - \text{시료와 물을 넣은 일정용기의 중량}}{\text{물의 밀도}} \end{aligned} \quad (4)$$

비중계법에서 시멘트량은 모르타르시료를 일정한 물로 희석한 현탁액의 비중을 비중계(비중부표, 比重浮漂)를 이용하여 측정함으로써 다음식으로부터 구해진다.

$$\text{시멘트량} = A(1000 \times \text{비중계 읽은 값} - \text{실험정수}) \quad (5)$$

잔골재의 절대용적은 다음 식으로부터 계산에 의해 구해진다.

$$\text{잔골재의 절대용적} = \frac{\text{시료질량} - \text{시료절대용적} \times \text{물의 밀도} - \text{시멘트절대용적}(\text{시멘트비중} - 1)}{\text{물의 밀도}} \quad (6)$$

이 방법에서는 시멘트, 모래, 자갈의 사용량 및 각의 비중을 미리 알고 있을 필요가 있고, 특히 시멘트량의 측정방법에 따라서는 추정치의 오차가 크게 날 수 있으므로 주의가 필요하다. 공기중 중량, 수중에 있어서의 겉보기 중량차에 의한 방법으로 인해 오차가 큰 것으로 되어 있다.

### 3. 가열건조법

이 방법은 콘크리트 혹은 모르타르시료를 직접 가열함으로써 수분을 증발시켜 가열건조전후의 중량차로서 수분을 구하는 방법이다. 가열건조방법에는 여러 가지가 있지만 일반적으로는 가열기를 사용한 가열건조법과 고주파유도가열기(전자렌지)를 사용한 가열건조법의 두 종류로 대별된다(표 1 참조).

#### 3.1 일반가열건조법<sup>13)~16)</sup>

(저울의 용량에 따라 200, 500, 1000g, 콘크리트의 경우 4~5kg의 시료가 필요)

일반적으로는 콘크리트를 5mm의 체로 웨트 스크리닝하여 얻어지는 모르타르를 시료로 하지만 열원 이 큰 용량의 가열기(혹은 흑연등의 특수한 축열체를

사용하여 급속건조시키는 방법도 있다)를 사용하면 콘크리트 그 자체를 시료로 할 수도 있다.

시료를 모르타르로 하는 경우에는 정확히 모르타르시료의 무게를 단 후 이것을 적당한 가열건조기에 넣어 중량이 일정하게 될 때까지 건조시킨다. 이 방법에 의해 얻어지는 가열전후의 중량차는 증발한 전수량이며 잔골재중의 수량(흡수량)도 포함되어 있으므로 중량차로부터 시료중의 잔골재의 흡수량을 뺀 후 시료중의 유효수량으로 한다.

시료중의 잔골재의 양은 다음식에 의해 구한다.

$$\begin{aligned} \text{시료중의 잔골재량} = \frac{\text{콘크리트 } 1\text{m}^3\text{중의 잔골재의 건조중량}}{\text{콘크리트 } 1\text{m}^3\text{중의 모르타르량}} \\ \times \text{모르타르시료의 량} \end{aligned} \quad (7)$$

한편, 계획배합에서 콘크리트 1m<sup>3</sup>중의 모르타르량을 산출하고, 이것과 시료의 중량에 대한 유효수량의 비에서 다음식을 이용하여 콘크리트 1m<sup>3</sup>중의 단위수량을 추정한다.

$$\begin{aligned} \text{단위수량} = a \times (\text{콘크리트 } 1\text{m}^3\text{중의 모르타르량} \times \\ \frac{\text{시료중의 유효수량}}{\text{재료의 중량}}) \end{aligned} \quad (8)$$

여기에서 a는 동일재료를 사용하여, 여러종류의 배합으로 예비실험(위의 방법에 의함)으로부터 구한, 추정단위 수량과 계획배합의 단위수량과의 비를 평균치로 하고, 이 계수를 사용하여 웨트 스크리닝하여 얻어진 모르타르와, 콘크리트중에 있는 모르타르와의 차이와의 보정을 한다.

콘크리트를 시료로 하는 경우에는 모르타르로부터 콘크리트에의 환산은 하지 않아도 되지만 골재흡수량의 보정은 굵은골재, 잔골재의 골재 전량에 대해서 할 필요가 있다.

그러나 모르타르의 시료에 의한 방법에 비해 시료량이 많고, 시료 채취시의 조작단계에서 망체나 굵은 골재에 부착하는 수분에 의한 오차가 없으므로 일반적으로 정도가 높다.

본 방법은 조작 및 기구가 극히 간편하고 직접 수량을 추정할 수 있다. 그러나 건조중 표면이 굳어져서 그 후의 건조속도를 저하시킴으로 이것을 부수면서 균일하게 건조시키는 조작이 필요하고, 건조시간이 시료량에 따라 달라지기 때문에 일회의 시험에 필

요로 되는 시간을 (일정량이 되는시간)정하기가 힘들다.(시료의 상태나 량 및 건조조건에의해 약 40~70 분) 또한 가열에 의해 수분의 일부가 반응하여 단위수량의 추정치의 1~3%정도의 오차가 생길 염려가 있으므로 주의가 필요하다.

### 3.2 고주파유도 가열건조법<sup>17)~19)</sup>

이 시험방법은 콘크리트의 제조공장 및 공사현장에 있어서 굳지 않은 콘크리트로부터 웨트스크리닝한 모르타르를 고주파가열장치를 이용하여 가열건조하여 그 건조량으로부터 콘크리트의 단위수량을 신속히 추정하는 경우에 적용되는 방법이다.

이 방법은 콘크리트의 단위수량을, 일반적으로 전자렌지라고도 불리는 가열장치로서 고주파유도 가열기를 사용하기 때문에 급속건조가 가능하고, 시험시간을 단축시킬 수 있다.

시험방법은 기본적으로는 일반적인 가열건조법의 웨트스크리닝에 의해 얻어진 모르타르를 시료로 하는 경우와 동일하다. 이 방법에서 일정용량의 가열기로 일정 시간 가열한 시료의 증발수율은 거의 일정하게 되므로, 완전히 수분을 증발시키지 않고도 시료중의 수량을 추정할 수 있는 방법도 제안되고 있다.

전자렌지법에서는 전자렌지의 용량과 시료량의 관계로부터 건조시간이나 건조의 정도가 변화하는 것을 충분히 고려할 필요가 있다.

또한, 이 시험방법에 의하면 유효수량에 대하여 95%의 신뢰도로서 ±8kg의 정도로서 단위수량을 측

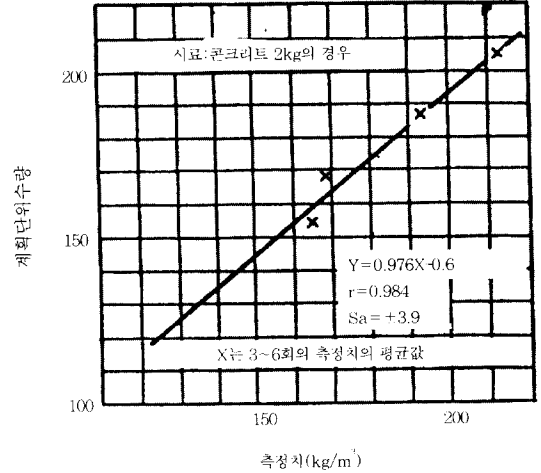
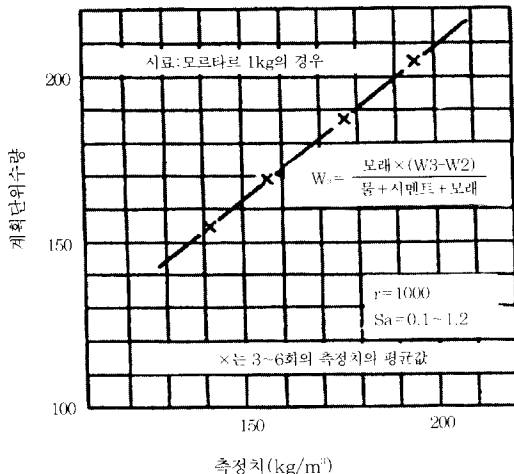


그림 1 고주파유도 가열건조법의 시험오차 및 변동의 비교<sup>19)</sup>

정할 수 있다고 한다(그림 1, 2의 시험오차 및 측정정도 참조).

## 4. 시약농도차법

이 방법은 일정량의 콘크리트시료(혹은 웨트스크리닝하여 얻어진 모르타르 시료)에 농도를 미리 알고 있는 시약을 정량 투입하여 시약과 혼합된 시료중의 수분의 농도를 계량하여 투입전의 시약의 농도가 시료중의 수분에 의한 희석정도를 측정함으로써 시료중의 수분량을 추정하는 방법이다. 시약의 종류와 농도측정방법으로부터 현재 알콜 비중계법과 염분농도차법이 있다.(표 2 참조)

### 4.1 알콜 비중계법<sup>20)~21)</sup>

중량을 정확히 측정한 콘크리트시료에 농도를 미리 알고 있는 에틸알콜(특급시약)을 정량(400g) 투입하여 충분히 흔들어 혼합한 후 일정시간 정치한 시료로부터 상등액을 채취하여 이것을 여과하여 얻어지는 에틸알콜-물혼합액의 비중을 표준비중계(JIS B 7525의 알콜비중계)를 이용하여 측정한다.

이 비중으로부터 화학편람등에 제안되어 있는 에틸알콜의 비중과 농도와의 대응표를 사용하여 에틸알콜-물 혼합액의 농도를 환산하고 농도저하를 일으킨 양에 상당하는 희석수량을 구하여 시료중의 수량을 얻게 된다.

표 2 단위수량 추정에 필요한 조건

| 종 류            | 필 요 조 건  | 단 위 수 량 추 정 법  |  |
|----------------|--|--|--|
| 가열건조법          | <ul style="list-style-type: none"> <li>*잔·굵은골재의 흡수율</li> <li>*시료중에 포함된 잔골재의 절건 중량(배합표에서)</li> <li>*콘크리트 1m<sup>3</sup>중의 모르타르량(배합표에서)</li> <li>*동일재료를 사용하여, 모르타르시료중의 유효수율 구하고, 단위수량과 유효수율의 관계를 알기 위한 예비시험(*가열에 의한 시멘트의 수화수의 량)</li> </ul>  | 문헌(67)의 방법<br>$W_w = (W_2 - W_1) - (W_1 \cdot q) / 100$<br>$W = \alpha \cdot [M_2 \times W_w / (W_2 - W_1)]$<br>문헌(68)의 방법<br>$W_w = W_2 - W_1 - (W_1 \cdot q + W_1 \cdot p) / 100$<br>$W = W_w \cdot [M_2 / (W_2 - W_1)]$ | $W_w$ : 시료중의 수량<br>$W$ : 용기와 혼합스분의 중량<br>$W_2$ : 건조전의 시료, 용기와 혼합스분의 합계 중량<br>$W_1$ : 건조후의 시료, 용기와 혼합스분의 합계 중량<br>$W_w$ : 시료중의 잔골재의 중량<br>$M_2$ : 계획배합표에서 구해지는 모르타르량  |
| 알콜 비중계법        | <ul style="list-style-type: none"> <li>*잔·굵은골재의 흡수율</li> <li>*시료중에 포함된 잔·굵은골재의 건조중량(배합표에서)</li> <li>*에틸알콜의 단위용적중량(JIS A 1116에 의한)</li> <li>*수분회수율(에틸알콜에 시멘트의 일부가 용해하는 것에 대한 보정 계수로서 에틸알콜의 농도에 의해 변화한다고 가정)</li> <li>*시약의 에틸알콜농도</li> </ul> | $W_w = [400(100 - b) / b] \cdot \delta - (W_1 \cdot q + W_g \cdot p) / 100$<br>$W = (W_w / (W_2 - W_1)) \cdot W_2$   | $W_w$ : 시료중의 굵은골재의 중량<br>$p$ : 굵은골재의 흡수율<br>$q$ : 잔골재의 흡수율<br>$\alpha$ : 예비시험에서 구한 계수에서 웨트스크리닝한 모르타르를 시료로 한 경우의 단위수량의 변동을 보정한 계수<br>$W$ : 추정단위수량<br>$b$ : 시료에 혼합한 후의 에틸알콜의 농도<br>$\delta$ : 100/(수분회수율)<br>$W_1$ : 콘크리트의 단위용적중량<br>$A_1$ : 시료여과액의 초기농도(굴절계 눈금값)<br>$A$ : 시약염수혼합후의 여과액의 농도<br>$C_w$ : 시료중의 시멘트량<br>$\beta$ : 시멘트량에 대한 시멘트의 흡수량의 비<br>$\gamma$ : 골재흡수량의 농도에의 영향량<br>$V$ : 시료용기의 용적 |
| 염수 농도차법 (굴절계법) | <ul style="list-style-type: none"> <li>*잔·굵은골재의 흡수율</li> <li>*시멘트량(배합표 혹은 비중계법에 의한)</li> <li>*시멘트의 흡착수량(관정치 0.0528×시멘트량)</li> <li>*골재흡수율의 농도영향량(가정치 0.7×골재흡수량)</li> <li>*시약염수의 농도</li> <li>*시료용기의 용적(2l)</li> </ul>                        | $W_w = [3(100 - A_w)(25 - A) / (A - A_w) + \beta \cdot C_w - \gamma \cdot (W_1 \cdot q + W_g \cdot p) / 100]$<br>$W = W_w \cdot (1000 / V)$  | $W_w$ : 콘크리트의 단위용적중량<br>$A_1$ : 시료여과액의 초기농도(굴절계 눈금값)<br>$A$ : 시약염수혼합후의 여과액의 농도<br>$C_w$ : 시료중의 시멘트량<br>$\beta$ : 시멘트량에 대한 시멘트의 흡수량의 비<br>$\gamma$ : 골재흡수량의 농도에의 영향량<br>$V$ : 시료용기의 용적  |

이것을 콘크리트의 단위수량으로 환산하고, 골재 흡수량을 뺀 후(에틸알콜은 골재중의 물과 함께 혼합됨으로 얻어진 시료중의 수량에는 골재의 흡수량도 포함되어 있다) 단위수량을 구한다.

또한, 회석수량으로부터 시료중의 수량을 구하는 경우 시멘트성분의 일부가 에틸알콜 물 혼합액에 용해됨으로 얻어진 회석수의 중량을 저감시키는 보정(수분회수율의 보정)을 할 필요가 있다.

이 방법은 콘크리트 시료에 일정농도의 에틸알콜을 섞는 것 뿐이므로 조작은 아주 간단하지만 에틸알콜의 농도와 비중과의 대응표가 필요한 것과 미리 에틸알콜농도와 에틸알콜에 용해되는 시멘트량의 관계를 수분회수율로서 가정해 둘 필요가 있다. 또한, 상등액의 여과중에 에틸알콜이 증발하기 쉽고, 실험중의 온도변동에 의해 비중계의 값이 불안정하게 되는 등의 오차가 생기기 쉬우므로 주의가 필요하다.

#### 4.2 염분농도차법<sup>22)~29)</sup>

염분의 농도차를 측정하는 방법에는 간이염분계

법, 굴절계법, 적정분석법등의 여러 종류가 있다. 다음은 염분농도 측정용 굴절계를 사용한 방법의 개요이다.

본 시험방법은 일정량의 콘크리트를 시료로하여 여기에 일정농도의 염수를 시약으로 투입하여 시약의 농도변화(염분농도계측용 굴절계를 사용)로부터 단위수량을 추정하는 것이며, 추정정도의 향상을 위해 동일 시료를 사용하여 비중계법에 의해 시료중의 분체량(시멘트, 골재세립분, 혼화재 등의 분체량의 총량)을 추정 가능하도록 되어 있다.

일정용량의 용기에 콘크리트시료 2l를 JIS A 1132에 정해진 방법으로 채취하여 시료채취직후의 불리딩수로부터 여과액 한두 방울을 추출하여 염분농도 굴절계(측정농도범위 0~28%, 최소측정농도 0.1%)로 시료의 염분농도의 초기치를 구해야된다.

시료가 들어있는 용기에 부가용기를 부착시켜 일정농도의 NaCl수용액(농도25%수용액)을 정량(300g)을 투입하여 윗 덮개를 닫고 콘크리트시료중의 물과 시약이 균일하게 섞인 혼탁액의 상등수에서

여과액 한두 방울을 추출하여 초기치와 동일하게 그 농도를 구하고, 초기치와 그 차를 콘크리트 1m<sup>3</sup>에 상당하는 값으로 환산하여 시멘트의 부착수량 및 골재 흡수량의 보정을 함으로서 단위수량을 구한다.

본 방법은 시약을 시료에 혼합하는 조작뿐이므로 추정이 단시간에 끝나고 농도측정에 필요한 추출액이 극히 소량이므로 동일 콘크리트 시료로서 그 밖의 구성재료의 양을 직접 측정할 수가 있는 것이 특징이다.

단, 염분농도를 측정하기 위해 사용하는 골절계의 값을 읽을 때 그 값이 온도 영향을 받기 쉽다는 것과

콘크리트를 시료로 하기 때문에 시료 채취시에 구성재료(특히 굵은골재)의 편차가 발생할 염려가 있는 것 및 시료중의 공기량의 변화가 단위량 추정시의 오차에 영향을 미칠 수 있으므로 주의가 필요하다.

이 방법에 의하면 프레쉬콘크리트 구성재료추정결과와 계획배합과의 오차는 작고, 시험방법으로서 높은 정도를 기대할 수 있다. 또한 그림2 와 그림3에 나타난 바와 같이 현장 시험결과에서도 계획배합에 대해서 2.5% 이하(단위수량 185kg/m<sup>3</sup>에 대해 4.5kg/m<sup>3</sup> 이하)로 나타나고 있다.

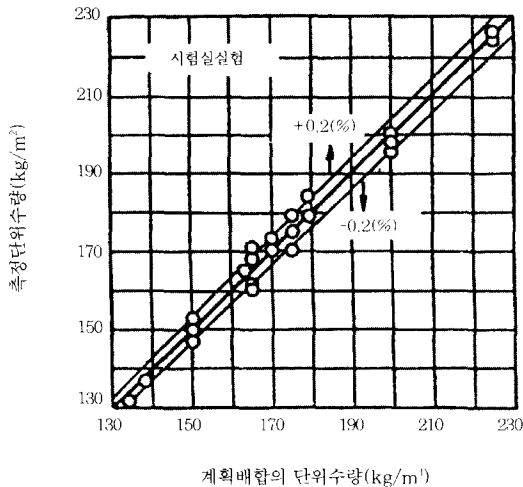


그림 2 실험실시험에서의 추정단위수량(염분농도차법)

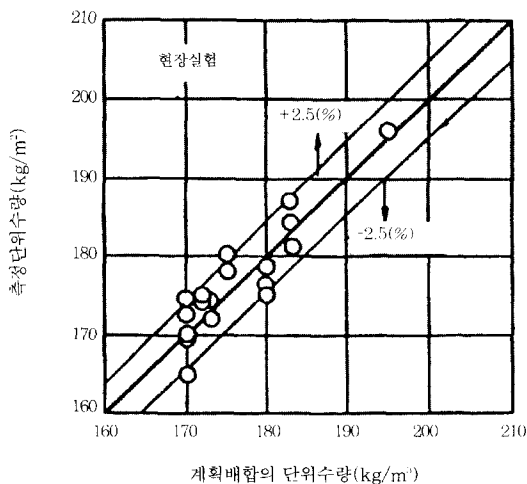


그림 3 현장시험에 있어서의 추정단위수량(염분농도차법)

### 5. 중성자측정법<sup>30)~31)</sup>

이 방법은 흙의 함수량 및 밀도를 측정하는 경우에 이용되는 라디오아이소토프수분계(RI수분계)를 사용하여 콘크리트 중의 수분량을 추정하는 방법이다.

중성자선원(中性子線源)으로부터 방사된 속중성자(速中性子)의 수소원자핵(水素原子核)과의 충돌에 의한 속도의 감쇄가 다른 원소의 원자핵과의 충돌시보다도 큰 것을 이용하여 속중성자를 콘크리트시료에 방사하여 투과시켜 물의 수소원자핵과의 충돌에 의해 발생하는 속도의 감쇄율로부터 콘크리트시료중의 수량을 구한다.

시험장치는 선원(<sup>252</sup>C, (반감기 2.65년 선원강도 100 $\mu$ Ci))과 검출기 및 표시기, 시료용기(공기량 측정용기를 대응)로 구성되어, 굳지 않은 콘크리트의 단위수량 시험용으로 고안된 것이 있다. 측정된 속중성자의 감쇄율로부터 교정식에 의해 수량을 환산한다.

검출되는 수분은 콘크리트중의 전수량이므로 골재 흡수량(기열건조기에 의한), 시멘트중에 포함되어지는 수분(강열감량 시험에 의한)의 보정이 필요하다.

### 참고 문헌

- 1) 神田, "굳지 않은 콘크리트의 물시멘트비의 측정방법", 시멘트콘크리트 No.300, 1972.2
- 2) 神田, "굳지 않은 콘크리트의 물시멘트비의 측정방법", 토목학회 논문보고집 No.193, 1971.9
- 3) 국토개발기술센터, "철근콘크리트구조물의 내구성향상 기술-철근콘크리트건축물의 시공품질관리지침·동해설", 1986.6
- 4) 일본콘크리트공학회, "JCI-SF1 굳지 않은 콘크리트

- 의 물시멘트비의 측정방법-염산용해열법”, 콘크리트품질의 조기판정지침, 1985.3
- 5) 일본건축학회, “굳지 않은 콘크리트의 물시멘트비의 시험방법(염산용해열법)(안)”, 콘크리트의 조기신속시험방법집, 1985.5
  - 6) 神田, “굳지 않은 콘크리트로부터 압축강도를 추정하는 방법”, 시멘트콘크리트 No.315, 1973.5
  - 7) 神田, 石渡, “콘크리트 강도의 조기추정에 관한 연구”, 토목학회 논문보고집 제209호, 1973.1
  - 8) 일본콘크리트공학협회, “JCI-SE13 굳지 않은 콘크리트의 물시멘트비의 측정방법-비중계법”, 1985.3
  - 9) 일본건축학회, “굳지 않은 콘크리트의 물시멘트비의 시험방법(비중계법)(안)”, 콘크리트의 조기신속시험방법집, 1985.5
  - 10) 일본콘크리트공학협회, “콘크리트품질의 조기판정에 관한 심포지움발표논문집”, 1979.2
  - 11) L.J. Murdock, Cement and Lime Manufacture No.5, 1948.9
  - 12) 水野, “콘크리트의 품질을 관리하는 방법에 대해서”, 토목학회제13회연차강연개요, 1958
  - 13) 일본건축학회, “굳지 않은 콘크리트의 단위수량 시험방법(가열건조법)(안)”, 콘크리트의 조기신속시험방법집, 1985.5
  - 14) 국토개발기술센터, 총프로시-2, “레디믹스트콘크리트 수입시의 단위수량관리시험방법(안)”, 철근콘크리트구조물의 내구성향상 기술-철근콘크리트건축물의 시공품질관리지침·동해설, 1986.6
  - 15) 豊福, 吉岡, “프레쉬콘크리트의 단위수량 조기신속시험방법에 관한 연구”, 콘크리트공학연차논문집 Vol.11, No.1, 1989.7
  - 16) 豊福, 増田, 吉岡, “신속시험법, RI법 및 자동계량기록치에 의한 단위수량의 조기신속시험방법에 관한 연구”, 콘크리트공학논문집 Vol.1, No.1, 1990.1
  - 17) 角田, 明石, “고주파가열에 의한 물시멘트비 측정방법, 콘크리트품질의 조기판정에 심포지움 논문집”, 일본콘크리트공학협회, pp21-24, 1979.2
  - 18) 棚野 외, “고주파가열장치를 사용한 프레쉬콘크리트의 단위수량 간이시험방법에 관한 연구”, 일본건축학회구조계논문보고집, 1988.10
  - 19) 棚野 외, “고주파가열장치를 사용한 프레쉬콘크리트의 단위수량 간이신속시험방법의 개발”, 일본건축학회구조계논문보고집 제400호, 1989.6
  - 20) 中島 외, “굳지 않은 콘크리트(모르타르, 페이스트)중의 수분량의 신속분석방법”, 콘크리트품질의 조기판정에 심포지움 논문집, 일본콘크리트공학협회, pp49-52, 1979.2
  - 21) 일본건축학회, “굳지 않은 콘크리트의 단위수량 시험방법(알콜과 비중계에 의한 방법)(안)”, 콘크리트의 조기신속시험방법집, 1985.5
  - 22) 清水 외, “프레쉬콘크리트중의 수량추정을 위한 간이 시험방법에 관한 연구(1, 2)”, 일본건축학회대회학술강연개요집, 1986-1989.
  - 23) 清水 외, “염분농도굴절계에 의한 프레쉬콘크리트중의 단위수량 측정방법”, 일본비파괴검사협회 009특별연구위원회자료, 1990.2
  - 24) 清水, “단위수량추정에 대해서” 월간생콘크리트(특집 = 조기신속판정과 품질보증) Vol.7, 1988.11
  - 25) 鹽川, 清水 외, “농도차·비중계법에 의한 프레쉬콘크리트의 구성재료의 추정”, 일본건축학회대회학술강연개요집, 1990.10
  - 26) 今本, 清水 외, “고강도콘크리트의 품질과 시공성에 관한 실험적연구(2)”, 일본건축학회대회학술강연개요집, 1990.10
  - 27) ASTM C 1079-87 “Standard Test Methods for Determining the Water Content of Freshly Mixed Concrete”, Annual Book of ASTM standards Vol. 04, 02
  - 28) R. Williamson, “Methods for determining the water and cement content of fresh concrete”, Materiaux et Constructions Vol. 18, No. 106.
  - 29) 久保田 외, “프레쉬콘크리트의 단위수량시험방법의 연구(1, 2)”, 일본건축학회대회학술강연개요집, 1989
  - 30) 豊福, 増田, 吉岡, “신속시험법, RI법 및 자동계량기록치에 의한 단위수량의 조기신속시험방법에 관한 연구”, 콘크리트공학논문집 Vol.1, No.1, 1990.1
  - 31) 豊福, 高橋, 吉岡, “라디오아이소토프에 의한 프레쉬콘크리트의 품질판정방법에 관한 연구”, 콘크리트공학연차논문보고집, Vol.10, No.2, 1988.6