

굳지 않은 콘크리트의 물시멘트비 시험방법

Testing Method for Water Cement Ratio of Fresh Concrete



윤기원*



한천구**

1. 서 언

건설공사의 부실시공과 관련한 예방법으로 가장 으뜸이 되는 것은 무엇보다도 콘크리트의 강도조기 추정의 도입이 아닐까 싶다.

그런데 이와 같은 콘크리트 강도의조기추정법은 추정 대상에 따라 단위시멘트량 추정, 단위수량 추정, 물시멘트비 추정 등과 촉진강도 시험법 등으로 분류할 수 있고 방법 및 원리에 따라 표 1과 같이 물리·화학·역학 및 기타로 분류할 수 있다.

따라서 본 고에서는 콘크리트 학회의 콘크리트 강도 조기추정에 관한 특집으로 일련의 내용 중 대상으로는 물시멘트비에 대하여 그 방법은 물리 및 화학적 방법으로 분류하여 국내외의 대표적인 방법만을 소개하고자 한다.

표 1. 콘크리트 강도의 조기추정

| 구분 | 물 리 | 화 학 | 역 학 | 전기·음파·기타 |
|----|----------|-------------|--------------|---------------|
| 종류 | · 씻기 분석법 | · 염산용해열법 | · 온수법 | · 전기저항법 |
| | · RAM | · 역적정법 | · 자비법 | · 초음파 속도법 |
| | · 신탈수법 | · 염광분석법 | · 자열양생법 | · 중성자 활성화 분석법 |
| | · 비중계법 | · 색차법 | · 압력과 열법 | · 복합법 |
| | · 기타 | · pH-Meter법 | · 급결촉진양생법 | · 기타 |
| | | · 산중화법 | · 조기재령강도 시험법 | |
| | | · 기타 | · 기타 | |

2. 물리적 분석법

2.1 씻기분석법

2.1.1 원리

이 시험방법은 1931년 W. M. Dunagan이 연구 발표한 이래 ASTM(현재는 폐지), JIS 및 KS에 규정되어 있는 방법이다.

* 정회원, 주성대학 건설재료공과 전임강사, 공박

** 정회원, 청주대학교 건축공학과 교수, 공박

원리는 기중중량을 알고 있는 균지않은 콘크리트를 5mm 및 0.09mm체로 습식 체가름하는데, 이 과정에서 기중 및 수중 중량의 관계를 도입하여 콘크리트 1m³의 재료배합비를 찾아내는 방법이다. 강도 조기추정은 이와 같은 배합자료로부터 물·시멘트비 등을 구한 다음 미리 마련된 강도와의 상관관계로부터 강도를 조기에 추정한다.

2.1.2 시험방법

1) 시료 채취

씻기분석용 시료의 채취방법은 KS F 2401 혹은 KS F 2425의 규정에 따르며, 시료량은 굵은골재 최대치수가 50mm이하일 때는 약 20 l, 50mm를 초과할 때는 약 35 l로 한다. 채취된 시료에서 씻기분석용으로서 다시 대표적인 시료를 굵은골재 최대치수가 50mm이하일 때는 약 5kg, 50mm를 초과할 때는 약 6kg을 채취한다.

2) 시험방법

준비된 시료의 단위용적무게를 달아 $M_k(\text{kg/m}^3)$ 로 한 다음 5mm체로 굵은골재와 모르터로 분리한다. 채취된 굵은골재를 물로 씻고 표면건조 포화상태로 만들어 무게를 달아 $m_G(\text{kg})$ 로 한다.

또한, 채취한 씻기 분석용 시료를 1g까지 정확히 단 후, 5mm체 위에서 물로 씻으면서 굵은골재와 모르터 시료로 체가름한다. 5mm체에 남은 굵은골재를 표면건조 포화상태로 만들어 무게를 달고 처음의 시료 무게와의 차를 모르터의 무게 $m_m(\text{g})$ 로 한다.

체가름에서 얻어진 모르터 시료를 플라스크에 넣고 용기 안의 물이 2 l 정도 되도록 하여 교반하면서 시료 안의 공기를 완전히 빼내고 수면의 거품을 제거하여 약 10분간 정치한 후 용기에 넣은 채 시료를 물 속에 넣고 물 속에서 시료의 겉보기 무게를 달아 $m_m'(g)$ 로 한다.

물 속에서 겉보기 무게를 측정한 모르터 시료는 0.6mm체 및 0.09mm체 위에서 차례로 물로 씻으면서 체가름한다. 이들 체에 걸린 전체 잔분을 물 속에서의 시료 겉보기 무게를 달아 $m_s'(g)$ 로 한다. 단, 0.09mm체로 씻기 분석하는 경우에는 미리 시료에 충분히 물을 가하고 교반하여 현탁액의 상태로써 체가름하는 것이 편리하다.

3) 결과의 계산

아래의 계산에서 필요한 경우에는 미리 KS F 2511에 따라 잔골재가 0.09mm체를 통과하는 양의 백분율을 구해 두고, 이것을 사용하여 시멘트 및 잔골재의 무게를 보정한다.

(1) 모르터 시료중의 시멘트 무게

$$m_c(g) = (m_m' - m_s') \times \frac{g_c}{g_c - 1} \quad (2.1)$$

(2) 모르터 중의 잔골재(0.09mm체에 걸리는 것) 무게

$$m_s(g) = m_s' \times \frac{g_s}{g_s - 1} \quad (2.2)$$

(3) 모르터 시료중의 물 무게

$$m_w(g) = m_m - (m_c + m_s) \quad (2.3)$$

(4) 단위 굵은골재량

$$W_G(\text{kg/m}^3) = \frac{m_G}{V} \times 1000 \quad (2.4)$$

(5) 단위 모르터량

$$W_M(\text{kg/m}^3) = M_k - W_G \quad (2.5)$$

(6) 단위 시멘트량

$$W_C(\text{kg/m}^3) = W_M \times \frac{m_c}{m_m} \quad (2.6)$$

(7) 단위 잔골재량

$$W_S(\text{kg/m}^3) = W_M \times \frac{m_s}{m_m} \quad (2.7)$$

(8) 단위 수량

$$W_W(\text{kg/m}^3) = W_M \times \frac{m_w}{m_m} \quad (2.8)$$

여기서, g_c : 시멘트의 비중

g_s : 잔골재의 비중

V : 콘크리트 단위 용적무게 시험의 용기내 용적 (l)

위의 결과로부터 강도조기추정은 다음과 같이 한다.

(9) 물시멘트비 혹은 시멘트물비

$$x = \frac{m_w}{m_c}, \quad x' = \frac{m_c}{m_w} \quad (2.9)$$

(10) 강도 조기추정: $F = ax' + b$ (2.10)

여기서, a , b 는 상수로서 사용재료 및 관리기관 등에 의하여 사전에 정해진 값.

2.1.3 특징

씻기분석방법은 시멘트, 잔골재의 비중을 미리 구하여 두면 비교적 짧은 시간에 결과를 쉽게 얻을 수 있는데, 이 시험방법은 기구, 방법 및 원리가 간단하지만 시험에 30~40분이 소요되고, 시험오차가 비교적 크며, 실험은 숙련을 필요로 한다.

특히, 수중중량을 측정하는 경우에는 시료내부의 기포 및 용기바깥에 부착된 기포를 완전히 제거하는 것이 중요하며, 아울러 잔골재의 0.09mm체 통과량 다소에 따라 시멘트 및 잔골재량 추산에 큰 편차가 발생할 수 있다. 또한, 콘크리트의 강도추정단계에서는 시멘트물비만에 의하여 강도가 추정되는 경우가 많으므로 사용 시멘트의 풍화정도에 따른 강도변화, 골재의 입도분포, 조립율, 표면조직 등 강도와 영향이 큰 품질변화요인도 충분히 고려하여야만 양호한 강도의 조기추정이 가능해진다.

2.2 원심탈수법

2.2.1 원리

이 방법의 원리는 원심탈수기를 이용하여 모수전후의 중량차로부터 물의 양을 구한다. 이 탈수물을 특수 천 위에 놓고 물을 부으면서 씻는데, 이것을 탈수하여 탈수전후의 중량차로부터 시멘트량을 구하는 것이다. 강도추정의 원리는 전 씻기분석법과 동일하다.

측정장치는 2종류로 모르타용과 콘크리트용이 있는데, 본 고에서는 콘크리트를 대상으로 시험하는 방

법에 대하여 소개한다.

2.2.2 시험방법

1) 시료채취

콘크리트 시료채취방법은 표준적인 방법(KS F 2401, 2425)에 따르고, 본 시험에 사용할 콘크리트 시료량은 20 l 이상 채취한다.

2) 시험방법

채취한 시료를 잘 혼합하여 대표적인 시료를 1 l 계량용기에 다짐봉, 마감용 주걱 등을 이용하여 콘크리트를 평미레질하여 넣고, 그 무게를 저울로 측정한다. 이 과정을 2회 행하고 그 평균치를 콘크리트 1 l의 무게 M(g)로 한다.

미리 습윤상태의 1호천(물만 투과할 수 있는 망눈 크기)을 3분간 원심탈수기로 탈수시켜 그 무게를 계량하여 둔 다음, 1호천중에 무게 M(g)의 잘 비벼진 콘크리트를 계량하여 넣어 원심탈수기의 버킷내에 설치하고 3분간 원심탈수기로 탈수한 후, 탈수한 시료의 무게를 달아 M₁(g)으로 한다. 칭량된 시료는 2호천(망눈 크기 0.108mm)을 이용하여 물씻기한다.

물로 씻어낸 시료를 1호천으로 옮겨, 천과 함께 원심탈수기의 버킷내에 설치하고 3분간 원심기를 운전하여 탈수한다. 탈수한 천내의 시료무게를 달아 M₂(g)으로 한다.

이상의 전반적인 실험조작을 순서도로 나타내면 그림 1과 같다.

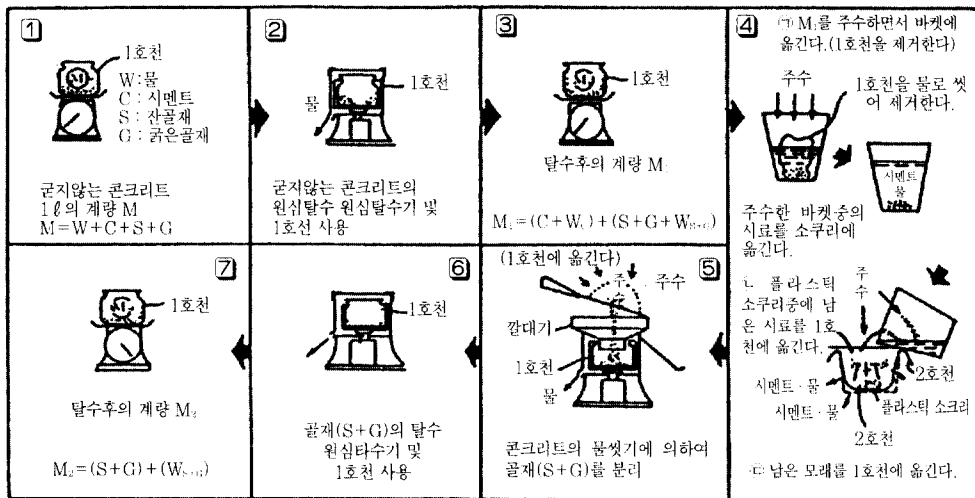


그림 1 원심탈수법 시험 순서도

3) 결과의 계산

원심탈수법의 시험결과는 다음 식으로부터 계산하여 구한다.

- 단위시멘트량

$$C(\text{kg/m}^3) = (1-\alpha)(M_1 - a + M_2) \quad (2.11)$$

- 단위수량

$$W(\text{kg/m}^3) = M - \{C + a \times M_2(1-\beta)\} \quad (2.12)$$

- 물시멘트비

$$x(\%) = W/C \times 100 \quad (2.13)$$

여기서, a : 미립분(泥分) 보정계수

α : 시멘트 부착수율

β : 잔골재 부착수율(a, α, β는 예시실험에 의해 구해둔 값)

이 시험은 3회를 행하여 그 평균치로서 구한다.

2.2.3 특징

원심탈수방법의 특징으로, 모르터 이용방법 및 콘크리트 이용방법에 따라 차이가 있기는 하나 먼저, 시험의 소요시간은 3회 실시하는 것으로 하여, 2인이 대략 30분 정도 소요된다. 또한, 시험은 약간 숙련을 요하고, 정밀도는 물시멘트비로 ±3% 정도이다.

특수천은 10회까지 사용할 수 있다. 또한, 골재중의 미립분(0.108mm 통과분)을 미리 시험해 두고, 이를 보정하여야만 정밀도를 높일 수 있다.

2.3 비중계법

2.3.1 원리

본 실험의 원리는 입자크기에 따른 침하도 차이로 변화하는 혼탁액의 비중을 측정하여, 시멘트량과의 상관성을 분석하고, 기타 방법으로 단위수량 측정방법과 연관시켜 물·시멘트비를 추정하므로써 궁극적으로는 콘크리트의 압축강도를 아직 굳지않은 콘크리트 상태에서 조기에 추정하고자 하는 것이다.

따라서 굳지않은 콘크리트로부터 체가름한 모르터 혹은 일정량의 콘크리트에 대한 혼탁액의 비중과 시멘트량의 관계를 나타내는 검량선을 작성하여 두면, 혼탁액의 비중을 측정하는 것으로부터 모르터중의 시멘트량 또는 콘크리트중의 단위시멘트량이 구하여진다.

물시멘트비는 물량을 모르터의 가열 건조에 의한 전후의 중량차로부터 구하거나, 또는 모르터의 공기

중 중량 및 수중중량을 측정하여 시멘트량을 알고 있고, 시멘트와 잔골재 각각의 비중을 알고 있는 것으로 하여 구하거나, 또는 보오메 비중계의 비중치와 슬럼프치를 복합하여 다중상관 분석으로 구한다.

2.3.2 기존의 방법

강도조기추정법으로는 가장 많이 이용되어지고 있는 방법으로 L. J. Murdock의 발표에 이어 水野, 常山, 柳田, 増田, 일본 시멘트사 연구소, 中森, 杉本 등 다수의 연구가 있었으며, 일본건축학회의 콘크리트 간이시험방법 소위원회에 의해 규정되었는데, 기본적인 원리는 동일하므로 본 고에서는 비중계법의 효시라 할 수 있는 L. J. Murdock의 방법을 요약한다. 또한, 그림 2는 杉本에 의해 제안된 자동 시스템 을 소개한다.

L. J. Murdock은 콘크리트 약 3kg을 0.15mm 체 위에서 물씻기하여 통과한 액을 물로 희석하고 진동시킨 후에 비중을 시간별로 측정한다. 비중계의 비중치 변화에서 진동종료 직후의 혼탁액 비중을 측정

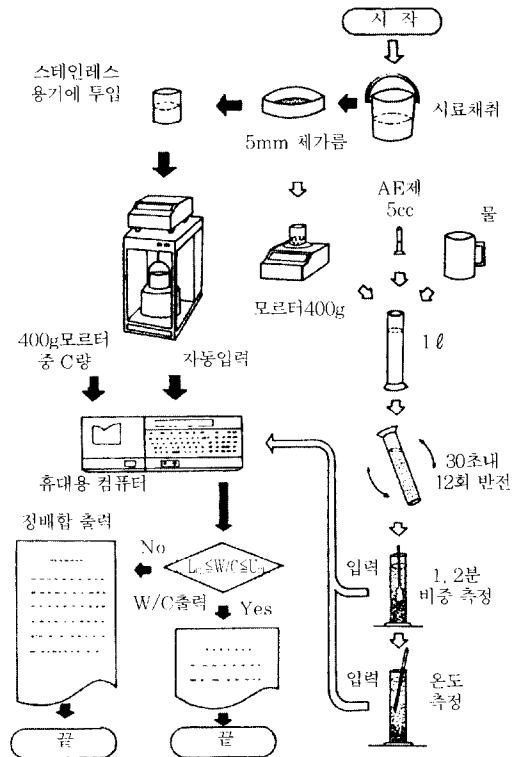


그림 2 杉本에 의한 물시멘트비 자동측정장치

하고 검량선과 대조하여 시멘트량을 구한다. 액중에 포함되어 있는 고형분중에 염산을 가하여 염산에 용해되지 않은 부분을 잔골재의 미립분으로 하고 체에 남은 골재는 모두 건조시켜 중량을 구한다. 콘크리트 중량에서 상기 실험의 골재 및 시멘트량을 뺀 것으로 수량을 구한다.

2.3.3 일본건축학회(콘크리트의 간이시험방법 소위원회)의 방법

1) 시료채취

굳지않은 콘크리트를 균질로 되도록 다시비빔한 다음 약 2l 를 시료로 채취한다.

2) 시험방법

채취한 시료를 5mm체로 습식체가름한 모르터 400g을 용기의 무게와 부피를 알고 있는 500ml 삼각 플라스크에 넣어 시료 $M_w(g)$ 로 한다. 1000ml의 메스실린더를 이용 물 800ml를 계량하여 1l 비이커에 넣는다. 이때 물의 온도는 시료와 혼합할때 현탁액의 온도가 $20 \pm 5^\circ C$ 가 되도록 미리 조정해 둔다.

10ml 메스실린더를 이용하여 시멘트 혼탁용 혼화제 용액(AE감수제 지연형 또는 표준형의 20%용액) 4ml를 물 800ml가 담겨져 있는 비이커에 넣고 잘 혼합하고, 그 일부를 시료가 들어 있는 500ml 삼각 플라스크의 어깨 부근까지 넣고 약 3분간 교반하여 거품을 제거한다. 거품이 제거되면 준비한 물의 일부를 넣어 수면의 높이가 삼각 플라스크의 높이와 정확하게 일치하도록 하여 삼각플라스크내의 시료와 시멘트 혼탁용 혼화제 용액이 넣어진 물과의 합계 무게 W_2 를 저울을 이용하여 0.5g까지 측정한다.

삼각플라스크내의 시료를 1000ml 메스실린더로 옮긴다. 이때, 삼각 플라스크의 내벽면은 준비한 나머지 물로 씻어 1000ml 메스실린더로 옮겨 10회 반전시키므로써 혼탁액화시키고, 수평한 바탕 위에 정치하여 60초 후 혼탁용액의 비중 ρ_{M1} 을 읽고, 온도를 측정한다. 혼탁액의 온도가 $20 \pm 5^\circ C$ 에 들지않는 경우는 메스실린더채로 미지근한 탕 혹은 냉수에 담가 혼탁액의 수온을 $15 \sim 25^\circ C$ 로 한 다음 다시 교반하여 ρ_{M2} 를 측정한다.

이러한 조작을 반복하여 비중 ρ_{M2} 를 측정하고, 평균치를 혼탁액의 비중 ρ_M 으로 한다. ρ_{M1} 과 ρ_{M2} 의 차이가 0.001을 넘는 경우는 혼탁액중의 시멘트가 불균질로

되어있을 우려가 있기 때문에 비중 ρ_{M2} 을 측정하고 세 번의 측정치중 비중이 큰 2회 측정치의 평균을 ρ_M 으로 한다.

3) 결과의 계산

시료중의 시멘트량 $CW(g)$, 물량 $W(g)$ 및 물시멘트비 $x(\%)$ 는 다음 식에 의하여 구한다.

$$M_V = \frac{M_m + W_i - W_z}{\rho_w} \quad (2.14)$$

$$C_w = A(100\rho_M - B) \quad (2.15)$$

$$C_V = \frac{C_w}{\rho_c} \quad (2.16)$$

$$S_V = \frac{M_w - M_V \cdot \rho_w - C_V(\rho_c - 1)}{\rho_s - 1} \quad (2.17)$$

$$W = \{M_c - (C_V + S_V)\} \rho_w$$

$$x = W/C \times 100 \quad (2.18)$$

여기서, M_V : 시료 M_w 의 공기를 몰아낸 용적(ml)

W_i : 500ml 삼각플라스크에 정확하게 물을 채웠을 때의 물의 무게(g)

C_w : 시료 M_w 중에 포함되어 있는 시멘트의 무게(g)

ρ_w : 물의 밀도, 일반적으로는 1.00을 이용하면 좋다.

A, B : 시료중의 시멘트량이 혼탁액 비중에 비례한다고 보지않았을 때의 계수

C_V : 시료중에 포함되어 있는 시멘트의 절대용적(ml)

ρ_c : 시료중에 포함되어 있는 시멘트의 비중. 미리 측정하거나 일반치를 이용한다. 유효숫자 3자리로 한다.

S_V : 시료중에 포함되어 있는 잔골재의 절대용적(ml)

ρ_s : 시료중에 포함되어 있는 잔골재의 표견비중으로 미리 측정해 둔다. 유효숫자 3자리로 한다.

W : 시료중에 포함되어 있는 물의 무게(g)

x : 시료의 물시멘트비(%)

2.3.4 韓의 개량방법

1) 시료 채취

시료채취방법은 KS F 2401에 따라 20l 이상을

채취한다.

2) 시험방법

채취한 시료를 균질로 되도록 다시 비빈한 다음 슬럼프를 측정한다.

콘크리트를 이용하는 비중계법 비중치는 그림 3과 같은 방법으로 실시한다. 즉, 시료채취용기(2l)에 2층으로 나누어 다지고 평활하게 만들어 저울로 무게를 달아 단위용적중량을 산출한다. 한편, 본체 용기속에 4l의 물을 넣은 다음, 채취한 시료를 본체 용기속에 넣는다. 또한, 혼탁액화 시킬 경우 미립자의 혼탁시간을 지속시키기 위하여 분산제(리그닌계)를 10cc 넣어준다. 본체 용기속에 다시 4l의 물(투입한 물의 총량은 8l)을 넣어 10l를 만든 다음 뚜껑으로 수밀하게 밀봉한다.

상기의 조작이 완료된 후 20초 동안에 10회 반전시켜 본체 내부의 콘크리트를 물로 혼탁액화시킨다. 단, 1회 반전이라 함은 360도 회전한 것을 1회로 한다.

반전이 완료된 순간을 기점으로 보오메비중계를 띄우고 1분 경과한 시점에서 비중값을 읽어 그 값을 비중치로 한다.

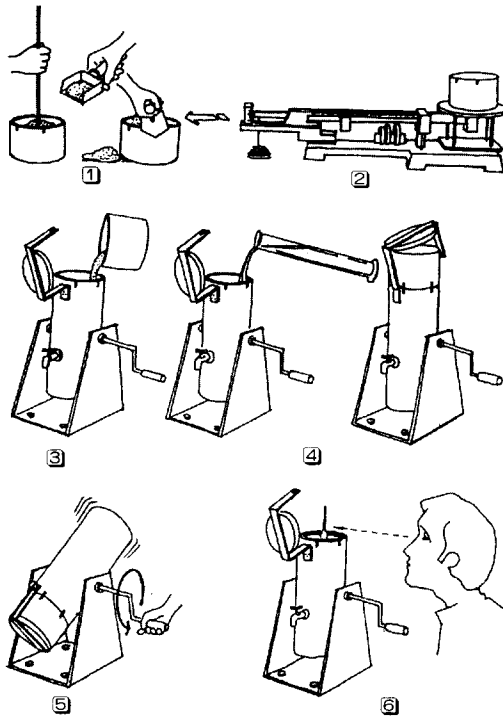


그림 3 韓의 비중계법 비중치 측정방법

3) 결과의 검토 및 응용

韓은 그의 박사학위논문에서 강모래·강자갈(NN), 강모래·부순돌(NC), 부순모래·부순돌(CC)를 대상으로 물시멘트비 40~70%, 슬럼프 8~21cm인 조건에서 슬럼프 및 비중치를 복합하여 물시멘트비의 역수인 시멘트물비(C/W)를 추정하는 회귀식을 통계적인 방법으로 표 2와 같이 제시하고 있다.

또한, 韓 및 尹은 이 방법을 실제로 출하되는 레미콘에 적용하여 양호한 품질관리가 가능할 수 있음을 제안하였다.

표 2 슬럼프 및 비중치를 복합하여 시멘트물비(C/W)를 추정하는 회귀식

| 회귀 계수 | C/W=C+K ₁ G+K ₂ S(G: Gravity, S:cm) | | | | | | |
|----------|-----------------------------------------------------------|----------------|----------------|--------|----------------|---------|---------|
| | C | K ₁ | K ₂ | CR | F-distribution | | |
| | | | | | F ₀ | F(0.05) | F(0.01) |
| 골재 | | | | | | | |
| NN | -37.2585 | 37.5406 | -0.0187 | 0.9716 | 151.76** | 3.55 | 6.01 |
| NC | -38.1815 | 38.2683 | -0.0164 | 0.9780 | 197.86** | 3.55 | 6.01 |
| CC | -57.6082 | 56.0925 | -0.0136 | 0.8686 | 27.66** | 3.55 | 6.01 |
| ALL | -24.5999 | 25.2167 | -9.1686 | 0.7307 | 34.77** | 3.15 | 4.98 |

2.3.5 특징

비중계법의 특징으로, 여러 방법간에 따라 약간의 차이가 있기는 하나 시험의 소요시간은 2인이 대략 30분 이내로 완료될 수 있고, 정밀도도 약 1.5%이내에서 완료될 수 있다.

또한, 본 방법은 혼탁액중의 비중을 측정하는 원리인 만큼 비중치에는 측정방법요인으로 비중계로 비중을 측정하는 시간적 변화에 따라 변화하는데 즉, 시간경과에 따라 비중이 작아지고 액온이 높아지면 비중이 작아지며, 잔·굵은골재중 미립자량으로 특히 No.200체 통과량 및 점토량은 매우 큰 오차의 요인으로 미립자량이 많아지면 비중은 커지게 된다.

또한 기타요인으로 시멘트의 분말도, 혼화재료의 종류 및 사용량, 콘크리트의 혼합시간 등도 영향요인이 될 수 있음에 이들에 대하여 사전에 정보를 얻어 보정해 주게 되면 훨씬 정밀도를 높일 수 있다.

3. 화학적 분석법

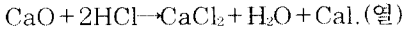
3.1 염산용해열법

3.1.1 원리

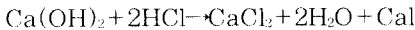
이 시험방법은 굳지않은 콘크리트의 분석에 시멘

트와 염산간의 반응열을 측정하여 강도조기추정에 이용하는 것으로서 용해열법 혹은 염산용해열법이라 불려지고 있다. 즉, 이 방법에서 시멘트의 성분중 염산과 화학반응하여 온도차에 영향을 미칠 수 있는 것은 주로 화학성분중 많은 부분을 차지하는 CaO와 수화반응 과정에서 발생하는 Ca(OH)₂, 풍화과정에서 발생하는 CaCO₃ 및 기타 Ca 화합물로서, 이때 각 Ca 화합물이 염산과 반응하는 경우를 화학식으로 나타내면 다음과 같다.

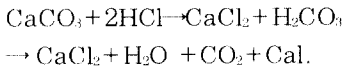
· 미수화상태



· 수화반응된 상태



· 풍화된 상태



화학반응과정에서 발생하는 발열량을 측정하여 온도차로 하고, 이 온도차로부터 채취된 모르터 시료중의 시멘트량을 구한 다음, 모르터 제조에 이용된 재료의 비중 및 채취된 시료의 수중과 공기중의 중량차를 이용하여 수량을 구한 다음 물시멘트비를 추정하는 염산용해열법(JCI 및 일본건축학회 제안법) 및 그 응용으로 동일 모르터 시료의 시멘트 공극비를 측정하고 이것을 지표로 하여 콘크리트의 압축강도를 추정하는 방법(JCI 방법) 등이 있다.

3.1.2 시험방법

1) 시료채취

콘크리트 시료를 5mm체로 습식 체가름한 다음, 약 200ml 시멘트 모르터를 채취한다.

2) 시험방법

스푼을 이용하여 200ml 시료를 500ml 삼각플라스크에 넣고, 시료의 공기중 중량을 측정한다. 미리 준비해 둔 물 800ml의 일부를 삼각플라스크의 어깨부분까지 주수하고, 유리봉으로 3분간 교반하여 시료중의 공기를 몰아낸 후 5분간 정지 후 남은 물을 삼각플라스크의 입구까지 넣는다. 삼각 플라스크에 시료를 넣은 채 금속망에 올려놓은 다음 조용히 침수시키고, 시료의 수중중량을 측정한다.

삼각 플라스크내의 시료를 흔들지 않도록 잘 섞은

다음 단열용기에 넣는다. 이때 삼각 플라스크에 남은 시료는 남은 물 전부로 삼각 플라스크내를 잘 씻어 용기에 넣고 교반하여 이것을 희석시료로 하고 온도를 봉상형 온도계로 측정한다.

단열용기중에 온도를 측정할 1급 염산 500g을 전량 투입하여 재빠르게 뚜껑을 닫은 다음 단열용기를 좌우로 약 30초간 가볍게 흔들어 교반하고 상승된 최고온도를 측정한다. 이상의 전반적인 과정의 모습은 그림 4와 같다.

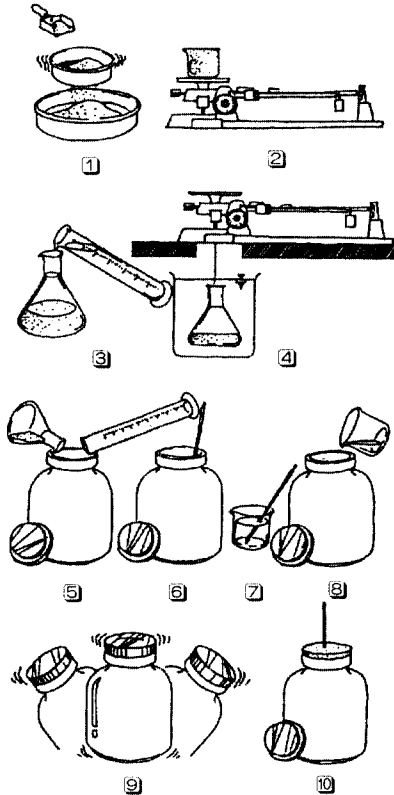


그림 4 염산용해열법 시험과정

3) 결과의 계산

염산용해열법에 의한 시료의 시멘트량, 물량 및 물시멘트비는 다음 식으로부터 구한다.

$$\text{시멘트량} : C(g) = 2.92 \times \Delta T(\text{온도차}) - 33.2 \quad (3.1)$$

이때, 반응전 기준온도의 산출은 다음과 같다. 즉, 각 재료의 열량을 합한 총열량은 반응전 기준온도에 의한 총열량과 같다는 이론식이 성립되는데 이는, 다

음 식으로 표시된다.

$$C_M \cdot W_M \cdot T_M + Q \cdot T_M + C_H \cdot W_H \cdot T_H = T_0 (C_M \cdot W_M + Q + C_H \cdot W_H) \quad (3.2)$$

여기서, C_M : 회석액 비열(cal/g°C),
 W_M : 회석액 중량(g), T_M : 회석액 온도(°C),
 Q : 용기 열용량(cal/°C), C_H : 염산 비열(cal/g°C),
 W_H : 염산 중량(g), T_H : 염산 온도(°C)
 (3.2) 식에서 반응전 기준온도는

$$T_0 = \frac{C_M \cdot W_M \cdot T_M + Q \cdot T_M + C_H \cdot W_H \cdot T_H}{C_M \cdot W_M + Q + C_H \cdot W_H} \quad (3.3)$$

(3.3) 식에 정수($C_M=0.76$, $W_M=1230$, $Q=145$, $C_H=0.57$, $W_H=500$)을 대입하면

$$T_0 = 0.79 \cdot T_M + 0.21 \cdot T_H = 0.80 \cdot T_M + 0.20 \cdot T_H \quad (3.4)$$

따라서 구하고자 하는 온도차는

$$\Delta T = T - T_0 = T - (0.80 \cdot T_M + 0.20 \cdot T_H) \quad (3.5)$$

단, 상기의 식에서 시멘트량과 온도차의 관계는 사용하는 단열케이스의 재질 및 크기에 따라 달라지므로 실무활용시에는 확인해 둘 필요가 있다.

한편, 물량(W(g))은 다음과 같이 구한다. 즉, 실험에 이용되는 시료는 No.4체로 체가름된 시멘트 모르타로서 시멘트, 물, 모래로 되어 있으므로,

$$M = C + S + W \quad (3.6)$$

$$M_w = C_w + S_w \quad (3.7)$$

여기서, M: 모르타 공기중 중량,

C: 시멘트 공기중 중량, S: 모래 공기중 중량,

W: 물 중량, M_w : 모르타 수중 중량,

C_w : 시멘트 수중 중량, S_w : 모래 수중 중량

시멘트와 모래의 비중은 이미 알고 있으므로 시멘트의 수중중량, 모래의 공기중·수중중량은 실험상에서 측정된 값을 참고하여 $P_c = \text{시멘트비중}$,

$P_s = \text{모래비중}$ 이라 하면,

$$C_w = C \times (P_c - 1) / P_c \quad (3.8)$$

$$S = S_w \times P_s / (P_s - 1) \quad (3.9)$$

를 얻을 수 있는데, (3.9) 식을 (3.8) 식에 대입하면,

$$S_w = M_w - C \times (P_c - 1) / P_c \quad (3.10)$$

(3.10) 식을 (3.9) 식에 대입하면

$$S = \{M_w - C \times (P_c - 1) / P_c\} \times P_s / (P_s - 1) \quad (3.11)$$

이상과 같은 식을 (3.6) 식에 적용하면

$$W = M - \{ \{M_w - C \times (P_c - 1) / P_c\} \times P_s / (P_s - 1) + C \} \quad (3.12)$$

와 같게 되는데, 이 식을 이용하여 수량을 산출한다.

결국, 물시멘트비는

$$W/C(\%) = \frac{\text{물량}}{\text{시멘트량}} \times 100 \quad (3.13)$$

3.2 산중화법

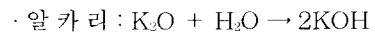
3.2.1 원리

콘크리트는 시멘트의 조성성분에 기인하여 혼합 즉시부터 경화후 풍화될 때까지 알칼리성을 띠게 된다.

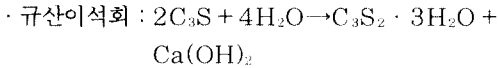
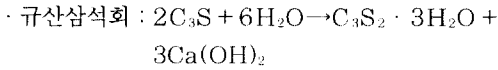
즉, 시멘트의 주성분은 염기성분인 CaO와 산기성분인 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등으로 되어 있으며, 염기와 산기가 소성과정에서 결합하여 조성광물로 되고, 그 외의 미량요소로 결합되지 않고 유리되어 있는 유리석회(Free CaO), 석고성분에서 기인되는 SO₃, 점토에서 기인하는 알카리(K₂O+Na₂O), MgO 및 풍화에 따르는 탄산가스(CO₂), 물(H₂O) 등으로 조성되어 있다.

이상과 같은 시멘트의 조성성분들은 콘크리트를 제조하기 위하여 시멘트에 물을 가함에 따라 유리석회, 알카리, MgO 등은 즉시 수화반응을 일으켜 알칼리성을 띠게 되고, 점차 시간이 경과함에 따라 알루미늄산 3석회(C₃A), 규산 3석회(C₃S), 규산 2석회(C₂S), 알루미늄산철 4석회(C₄AF) 등이 수화반응을 일으키며 콘크리트가 경화하게 되는데, 이 과정에서도 C₃S 및 C₂S는 알칼리성인 수산화 칼슘을 생성하여, 더욱더 콘크리트는 pH 12~14인 알칼리성 물질로 된다. 이와 같은 수화반응에 관한 일련의 화학식은 다음과 같다.

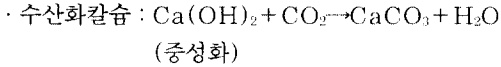
① 가수초기



② 경화과정



③ 풍화과정



본 연구방법의 원리는 상기와 같은 시멘트의 수화 반응 과정에서 발생하는 알칼리 성분을 실험변수에 이용하는 것이다. 즉, 동일 혹은 거의 일정한 성분의 시멘트를 계속 사용하여 콘크리트를 제조하는 경우로 가정하면, 단위시멘트량 혹은 물시멘트비 등 배합변수에 따라 아직 굳지않은 콘크리트 상태에서 달라지게 되는 초기 알칼리도를 pH Meter나 묽은 산으로 측정하므로써 이때 구하여진 알칼리도와 물시멘트비 및 압축강도간의 상관성을 미리 구하여 둔 도표나 회귀식 등을 이용하여 콘크리트의 강도를 조기에 추정하고자 하는 원리인 것이다.

3.2.2 시험방법

본 방법에 대하여는 潘 및 福地 등의 연구가 있는데, 본 고에서는 韓의 연구에 대하여 고찰하도록 한다.

1) 시료채취

시료채취방법은 KS F 2401 및 2425에 따라 20 l 이상을 채취한다.

2) 시험방법

시험방법으로 먼저 韓의 콘크리트 이용 비중계법 측정장치를 이용하여 슬럼프시험부터 혼탁액 제조까지는 전술한 한의 비중계법 시험과 동일하고, 비중계법에 의한 비중치 측정이 완료된 다음(반전완료로부터 5분 경과) 산중화법 실험방법은 다음 그림 5

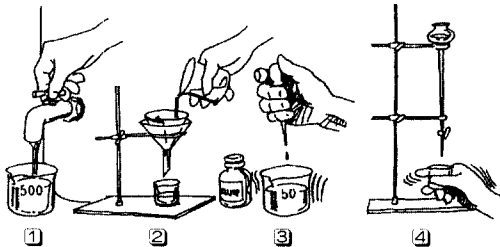


그림 5 산중화법 시험과정

와 같다.

즉, 시험장치의 중앙부에 위치한(혼탁액의 중앙위치) 수도전을 통하여 혼탁액 50cc를 받아 우선 제거하고, 시료 500cc를 채취하고, 채취된 혼탁액 500cc를 여과하여 여과액 50cc를 정확히 채취하여 500cc 비이커에 넣어 5% 페놀프탈레인 알콜용액을 2~3방울 넣어 적색으로 변색시킨다.

스텐드에 뷰렛을 설치하고, 0.1N 염산을 0점까지 맞추어 넣거나 혹은 초기치를 읽어둔다. 500cc 비이커에 페놀프탈레인으로 적변시킨 50cc 시료를 교반하면서 0.1N 염산을 넣어 적색이 없어진 시점의 산중화량을 구한다.

3) 결과의 검토 및 응용

韓은 비중계법의 경우와 마찬가지로 NN, NC, CC를 대상으로 물시멘트비 40~70%, 슬럼프 8~21cm인 조건에서 각 슬럼프별 시멘트물비와 산중화량의 관계를 제시하고 있다.

또한, 비중계법과 동일한 요령으로 슬럼프치와 산중화량의 복합에 의한 시멘트물비를 추정하는 회귀식 및 그래프는 표 3과 같다. 단, 이 경우 조기추정의 상관성은 S커브의 영향으로 다중 상관식의 경우 비중계법보다는 상관성이 약간 저하하고 있음을 알 수 있다.

표 3 슬럼프 및 산중화법을 복합하여 시멘트물비(C/W)를 추정하는 회귀식

| 시간 분 | 회귀 계수 | C/W = C + K ₁ N + K ₂ S (N:cc, S:cm) | | | | | | |
|---------|----------|------------------------------------------------------------|----------------|----------------|--------|----------------|---------|---------|
| | | C | K ₁ | K ₂ | CR | F-distribution | | |
| | | | | | | F ₀ | F(0.05) | F(0.01) |
| 30 | NN | 0.3502 | 0.2705 | -0.0217 | 0.8808 | 31.16** | 3.55 | 6.01 |
| | NC | 0.2730 | 0.2563 | -0.0171 | 0.9446 | 74.68** | 3.55 | 6.01 |
| | CC | 0.3424 | 0.2062 | -0.0097 | 0.9059 | 41.21** | 3.55 | 6.01 |
| | ALL | 0.5666 | 0.2032 | -0.0131 | 0.8360 | 69.63** | 3.15 | 4.98 |
| 60 | NN | 0.6537 | 0.2204 | -0.0199 | 0.8494 | 23.32** | 3.55 | 6.01 |
| | NC | 0.4745 | 0.2260 | -0.0198 | 0.8805 | 31.05** | 3.55 | 6.01 |
| | CC | 0.4205 | 0.1953 | -0.0113 | 0.9078 | 42.18** | 3.55 | 6.01 |
| | ALL | 0.7111 | 0.1819 | -0.0142 | 0.8135 | 58.73** | 3.15 | 4.98 |

3.2.3 특징

본 방법은 콘크리트중의 물시멘트비 등 배합변수에 따라 달라지는 알칼리도를 pH Meter 및 산중화량으로 측정하여 배합조건 및 강도를 조기에 추정하고자 하는 원리의 연구인 것이다. 본 방법의 특징으로 먼저, pH Meter법은 물시멘트비 변화에 따른 알칼리도 변화는 적은 반면 영향인자에 의한 변화폭이 상

대적으로 매우 크고, 또한 물시멘트비 0.45~0.65에는 포물선 변곡점 부분이 되어 강도 조기추정의 응용에는 곤란함이 제기되어 실용화에는 어려움이 있다.

또한 원심 분리법은 원심기 자체가 소형으로, 특히 된비빔 배합의 경우는 많은 양의 유리수를 채취하기에 어려움이 있어 블리딩수 채취 및 일정량의 희석배수로 희석한 용액에서 시료를 채취하는 등 방법적인 변환이 필요하였다. 그러나 많은 양의 물로 희석한 콘크리트의 알칼리도는 배합적인 요인 및 풍화 정도의 요인 등 강도와 비례하여 변화하는 요인도 있지만 강도와 무관한 시멘트의 알칼리도, 사용용수의 수질, 액온 등도 영향인자가 됨에 이들 요인을 보정하기 위한 오차 축소방안도 요구된다.

3.3 기타 화학적인 방법

콘크리트의 배합변수 및 강도를 조기에 추정하기 위한 화학적인 원리의 시도는 오래전부터 많이 있어 왔다. 그러나 대부분 방법은 장비가격의 고가, 조작의 어려움, 정밀도의 저하 등 여러 문제점 등이 내재되어 있어, 적극적인 활용에는 어려움이 있다.

기타의 화학적 방법으로는 Kessy-Vail이 제창한 시멘트 현탁액중의 칼슘이온 농도를 측정하는 염광 분석법, 콘크리트를 카세인과 수산화나트륨의 용액으로 교반하여 상정액의 색차를 측정하는 색차법, 알콜과 비중계에 의한 방법 및 기타가 있으나 대부분 단위 시멘트량 혹은 단위수량을 구하는 것으로서 단독의 방법으로 물시멘트비를 구하는 방법이 아니므로 본 고에서는 생략한다.

4. 결 언

본 고에서는 콘크리트 강도의 조기추정법으로 알려진 방법 중에서 핵심이 될 수 있는 물시멘트비 추정에 대하여 국내외 연구를 물리·화학적 방법으로 구분하여 각각의 원리 및 시험방법 등을 소개하였다. 단, 강도조기추정 방법은 본 고에서 논한 것 이외에도 수많은 방법이 제시되고 있으므로 현실적인 입장에서 특히 유념하여야 할 사항을 요약하고 강조하면 다음과 같다.

1) 콘크리트 강도 조기추정은 가능한 신속하고, 저렴하며, 정밀도가 높은 방법이 채택되어야 한다.

2) 콘크리트 강도 조기추정은 원리가 다양하므로 여러 원인에 의해 편차가 발생하는 점에 대하여도 충분히 숙지하여야 한다.

3) 각 방법마다 제시된 추정식은 현장마다 실제 재료 조건에 맞는 새로운 추정식을 설정하고 이에 따라 관리하여야 한다.

종합적으로 강도 조기추정법은 지속적인 연구발진으로 더욱 새로운 방법, 발전된 장치를 고안하면 콘크리트 강도의 조기추정은 더욱 신속하여지고, 정확하여질 수 있을 것으로 기대되므로 이부분에 대한 관심과 연구가 활발히 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. W. M. Dunagan : A Study of the Analysis of Fresh Concrete, Proc. ASTM, Vol.31, 1931.
2. L. J. Murdock : The Determination of the Proportions of Concrete Cement and Lime Manufacture, Vol.21, No.5, 1948.
3. W. G. Hime, R. A. Willis : A Method for the Determination of the Cement Content of Plastic Concrete, ASTM Bulletin, No.209, 1955.
4. R. T. Kelly, J. W. Vail : Rapid Analysis of Fresh Concrete, Concrete(Part. 1, II), Vol.2, No.4, 5, 1968.
5. JIS A 1112 : まだ固まらないコンクリートの洗い分析試験方法
6. 西澤紀昭 : 콘크리트 분석기RAMによる單位セメント量推定の實用性に關する研究(その1, 2), 日本土木施工誌, Vol.18, No.9, 10, 1977.
7. 常山源太郎, 小澤喬 : 比重計法によるセメント定量, 日本建築學會誌, Vol.68, No.778, 1968.
8. 水野俊一 : まだ固まらないコンクリートの水セメント比の試験方法, 日本土木學會誌, Vol.44, No.10, 1959.
9. 杉本靖彦, 高幣喜文 : 콘크리트早期品質判定裝置の開発と實用化, 日本竹中技術研究報告, No.31, 1984.
10. 日本建築學會 : 콘크리트의早期迅速試驗方法集, 1975.
12. 増田一眞, 小川泰雅, 高村友行 : 現場で簡単にできる生コンの品質判別法, 日本建築技術誌, No.291, 1975.
13. 日本セメント社研究所 : まだ固まらないコンクリート中の單位セメント量の推定, セメント工業, No.137, 1975.
14. 中森惣三郎 : まだ固まらないコンクリートから壓縮強度を推定する方法, 日本土木學會第30會年次學術講演會

- 講演概要集, 1975.
15. KS F 2411 : 굳지않은 콘크리트의 췌기分析 試驗方法
 16. 神田衛 : まだ固まらないコンクリートの水セメント比の測定方法, 日本土木學會論文報告集, No.193, 1971.
 17. 金基鍾 : pH-Meter에 의한 콘크리트 强度早期推定에 관한 實驗研究, 清州大學校 大學院 碩士學位論文, 1983.
 18. 韓千求, 潘好鎔 : pH-Meter에 의한 콘크리트强度의 早期推定에 관한 基礎實驗研究, 清州大學校 産業科學研究, Vol.1, No.1, 1983.
 19. 韓千求, 金武漢 : 콘크리트强度의 早期推定에 관한 基礎研究(시멘트페이스트 및 몰탈의 酸中和方法에 관하여), 大韓建築學會 學術發表論文集, Vol.5, No.1, 1985. .
 20. 吳重植 : 鹽酸溶解熱法에 의한 콘크리트 强度의 早期推定에 관한 研究, 清州大學校 大學院 碩士學位論文, 1987.
 21. 韓千求 : 콘크리트 强度의 早期推定에 관한 研究, 忠南大學校 大學院 博士學位論文, 1988.
 22. 韓千求, 尹起源 : 鹽酸溶解熱法の 콘크리트 强度 早期推定에 의한 레미콘 品質管理의 適用性 研究 - $F_c = 180\text{kg/cm}^2$ 中心으로-, 콘크리트學會 學術發表論文集, Vol.2, No.2, 1990.
 23. 尹起源 : 콘크리트 强度 早期推定法에 의한 레미콘 品質管理 適用性에 관한 實驗的 研究, 清州大學校 大學院 碩士學位論文, 1992. 