

## 굳지 않은 콘크리트의 단위시멘트량 시험방법

### Testing Methods for Cement Content of Fresh Concrete



박유신\*



김영근\*\*

#### 1. 머리말

지속적인 산업 발전과 주택 보급율의 확대로 말미암아 건축 구조물의 축조는 꾸준히 증가되어가는 추세에 있으며, 건설분야에서의 콘크리트는 보편적인 구조재료로서 폭넓게 여러 분야에서 사용되고 있다. 따라서 콘크리트의 성능개선과 안정적인 품질확보를 위해 원재료 및 혼화재료에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며, 최근에는 고강도성, 고내구성, 고유동성의 3박자를 갖춘 콘크리트로서 고성능콘크리트의 개발 및 성능개선에 까지 기술수준이 발전되고 있는 실정이다.

콘크리트에서 품질관리를 위하여 요구되는 제반 성질과 그 시험 방법은 크게 강도특성과 역학적 특성으로 나눌 수 있다. 강도특성은 압축강도, 인장강도, 휨강도 시험을 통하여 얻어지고 역학적 특성은 응력-

변형도 관계, 탄성계수, 포아송비, 크리프 특성, 건조수축, 열팽창계수 등 다양한 콘크리트의 성질을 포함한다. 하지만 콘크리트의 여러 가지 특성 중에서 가장 중요하게 고려되고 있는 것은 강도이다. 구조물에 있어서 콘크리트의 강도는 그 구조물의 안정성을 평가하는 기본적인 요소로서 콘크리트가 소정의 강도를 확보하고 균질성을 추정할 수 있는 가장 기본적인 기준이 되기 때문이다.

콘크리트의 품질은 일반적으로 압축강도로 나타내며, 시공시 현장에서 채취한 공시체를 28일간 양생하여 압축강도 시험을 실시함으로써 품질을 평가하고 구조적인 안전성에 대한 기본재료의 물성을 대신하고 있다. 그러나 압축강도를 측정하기 위한 시험기간이 한달이나 소요되어 현장에서 재료의 품질을 인정하고 다음 공정으로 이어지는 시간적인 손실이 막대하기 때문에 건설현장에서 이러한 강도평가의 문제

\* 정회원, 한국건설자재시험연구원 연구원

\*\* 정회원, 한국건설자재시험연구원 수석연구원, 공박

점이 지적되면서 굳지 않은 상태에서 콘크리트의 신속한 강도 평가에 관한 요구가 급증하고 있다. 뿐만 아니라 각종 건설공사가 기계화, 고층화, 대형화 되어가고 콘크리트의 고성능화가 진행되는 최근의 추세에 비추어 볼 때 콘크리트의 품질검사 및 판정방법의 개선은 시급한 문제라 할 수 있다.

콘크리트 제조 후, 수시간 또는 1~2일 이내에 신뢰성 있는 강도의 평가가 이루어진다면 공사중의 이상을 빨리 발견할 수 있으며, 다음 공정으로의 빠른 이행이 가능해지며 시험결과를 신속하게 콘크리트의 제조에 반영할 수 있고, 결과적으로 품질관리나 검사에 유연하게 대처할 수 있을 것이다.

따라서 본고에서는 콘크리트의 강도를 굳지 않은 상태에서 신속하고 신뢰성있게 판정할 수 있는 방법에 관한 각국의 현황을 파악하고 간접적인 조기강도 추정법인 단위시멘트량 측정방법에 대한 개략적인 소개에 대해서 알아보하고자 한다.

## 2. 조기 강도 평가법

### 2.1 개요

굳지 않은 콘크리트 품질을 조기에 판정하는 방법은 그림 1에서 나타난 것과 같이 많은 연구자에 의해 각종의 시험방법이 제안되고 있다. 이러한 제안을 기초로 하여 일본 콘크리트 공학협회(JCI)는 "콘크리트 품질의 조기판정 지침"(1985)를 또한 일본건축학회(AIJ)는 "콘크리트의 조기신속시험방법"(1985)을 선택하여 간행하고 있다.

이것에 게재되고 있는 시험방법을 대별하면 다음의 2가지로 볼 수 있다.

(1) 경화 후의 콘크리트 품질에 영향을 미치는 프레쉬콘크리트의 특성값을 분석시험에 의해 판정하는 방법

(2) 경화축진 양생에 의해 콘크리트 또는 모르타르의 조기강도로부터 소정 재령의 강도를 추정하는 방법

(1)에 의한 판정방법을 간접적인 방법이라 하며, (2)의 방법을 직접적인 방법이라 분류할 수 있다. 간접적인 방법으로는 단위시멘트량, 단위수량 및 물시멘트비 등을 측정하여 콘크리트의 품질을 판정하거나 28일 강도를 추정하는 것이며, 직접적인 방법은 높은 온도에서 콘크리트나 체가름한 모르타르를 일정 시간 동안 축진양생을 통해 조기에 강도를 발현한 것과 28일 강도와와의 비교·분석을 통하여 품질을 판정하거나 강도를 추정하는 방법이다.

굳지 않은 콘크리트의 대표적인 분석값에서는 단위시멘트량, 단위수량, 물시멘트비(W/C)가 있고, 시료채취 후 1시간 이내에서 결과가 판명한다. 경화축진 양생을 하는 방법은 양생조건 외에는 표준양생한 압축강도 시험과 시험조건이 동일하지만, 결과의 판명에서는 1.5시간~2일이 요구된다.

콘크리트의 조기강도 추정을 위해서는 강도판정에

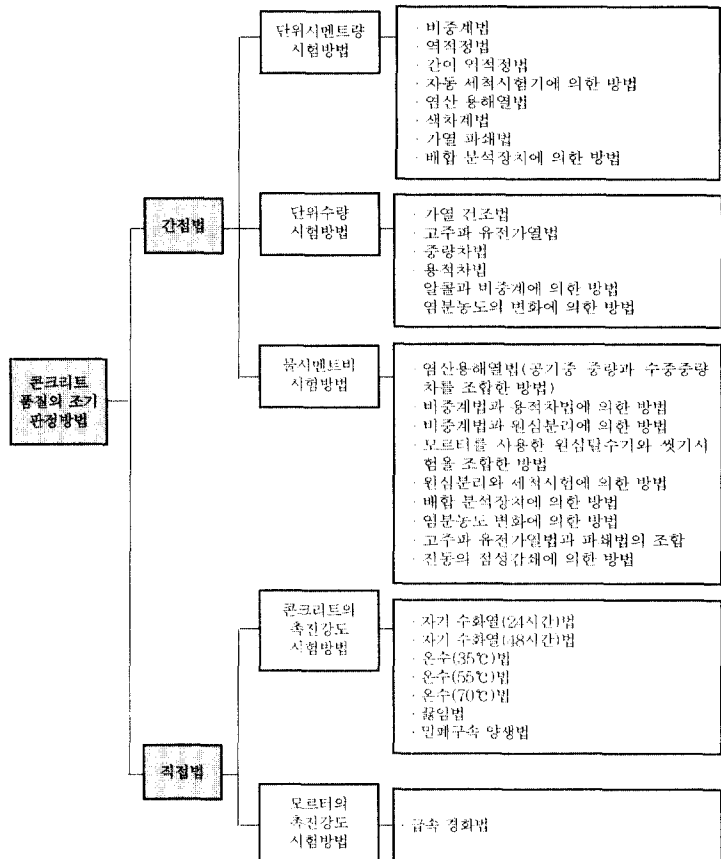


그림 1 콘크리트의 강도의 조기판정 시험방법의 분류

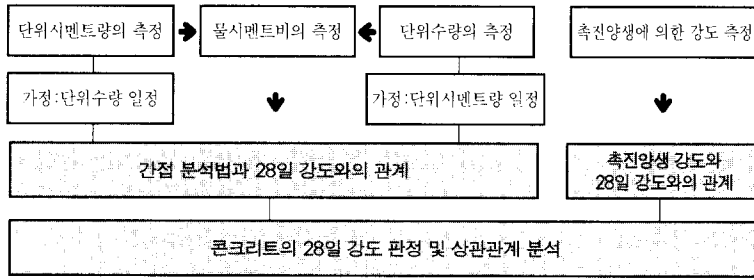


그림 2 콘크리트 강도의 조기판정 방법과 28일 강도와와의 관계

영향을 미치는 요인들을 분석하여 상관관계의 도출을 하는 것이 중요하다. 다음 그림 2.는 굳지 않은 콘크리트와 축진양생에 의한 조기강도 추정법을 상호 비교·검토하여 28일 강도와와의 사이에 관계를 추정하는 방법을 도식화한 것이다.

## 2.2 국내·외 연구동향

콘크리트 품질을 타설 직후 굳지 않은 상태에서 파악하고자 한 것은 매우 오래 전부터 연구되어왔으며, 콘크리트의 사용이 기하급수적으로 늘어가고 안전성 검증 및 공기 지연 등의 문제점을 해결하기 위하여 콘크리트의 조기강도 판정에 대한 필요성은 날이 증대되어 왔다. 현재 콘크리트를 조기에 판정하는 방법은 전술한 바와 같이 분석에 의한 간접법과 축진양생에 의한 직접법이 사용되고 있다.

조기강도 판정을 콘크리트에 최초로 도입한 것은 1931년 W.M.Dunagan은 썬트분석법이며, 미국 시험방법 규격인 ASTM에 규격화되었으나 시험이 복잡하고 추정오차가 커서 곧 폐지되었고, 현재 국내 및 일본에서는 간편하고 오차를 최소화할 수 있는 방법으로 개선시켜 KS 및 JIS 규격으로 사용하고 있다.

L.J.Murdock은 1948년 비중계를 이용한 단위시멘트량 측정방법을 발표하였고, 1959년 일본에서는 이 방법에 관한 연구를 계속하여 일본의 표준시험방법으로 발전시켰다.

W.G.Hime은 원심 및 중액분리에 의한 물시멘트비 측정방법을 발표하였으나 실용화되지는 못하였다. D.C.Covault는 1962년 중성자 활성화 분석에 의한 Ca량의 측정으로 시멘트량을 추정하는 방법을 제안하였으며, R.T.Kelly는 1968년 염광도계를 이용한 시멘트량 측정방법을 처음으로 발표하였다.

또한 일본에서는 神田衛는 1972년 염산반응열 측정에 의한 시멘트량 측정과 공기중 및 수중의 중량차에 의한 단위수량의 측정을 통하여 물시멘트비를 추정하는 방법을 제안하였고, 1974년 村田二郎 등은 NaCl용액 농도차에 의한 단위수량 추정법을 조합시킨 물시멘트비 측정의 자동화에 관한 연구를 발표하였다.

또한 캐나다, 미국, 영국 등을 중심으로 축진양생에 의한 강도 조기판정에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이에 따른 규격화가 이루어지고 있다. 일본에서도 축진양생에 의한 조기강도 판정에 관한 다수의 연구가 이루어지고 있으며, 최근에는 몇시간 만에 급결시킨 공시체로부터 28일 표준양생강도를 판정하는 방법이 발표되기에 이르렀다.

국내에서도 1980년대부터 관심을 갖기 시작하여 PH-Meter법에 의한 조기강도의 추정, 산중화 방법에 의한 조기강도의 추정 등이 소개되었으나 실효를 거두지 못하였다. 1980년대 말에는 축진양생이나 물리·화학적인 방법을 이용한 강도 조기판정법 및 보다 적극적인 복합법에 관한 연구논문들이 발표되었다. 1990년대 들어서면서 레미콘의 강도를 조기에 판정하기 위하여 방사성 동위원소, 비중계법, 급속경화법 등을 이용하는 방법을 실험적으로 도출하였고, 온수법에 의한 콘크리트의 조기강도 추정법에 관한 연구도 진행되었다.

현재의 조기강도 판정은 콘크리트의 품질을 28일 강도로 예측하는 것으로 사용되어졌지만, 앞으로는 레미콘 및 현장 배치 플랜트 그리고 긴급공사에서의 콘크리트 품질의 검증, 거푸집 제거시기의 판정, P.C.에서의 강제 삽입시기의 결정 등 보다 넓은 분야에서 다양하고 신속하게 사용되어질 수 있을 것이라 기대해 본다.

## 3. 단위시멘트량에 의한 품질 평가법

### 3.1 개요

굳지 않은 콘크리트에서의 단위시멘트량, 물시멘트비 등은 경화 후 콘크리트의 역학적 특성을 좌우하

는 매우 중요한 요소이므로 이들 값을 조기에 판정하는 것은 매우 유용할 것이다. 이 중 콘크리트에서 단위시멘트량을 측정하는 방법은 채취한 시료를 혼탁 용액화하여 혼탁액의 비중을 구하므로써 단위시멘트량을 추정하는 비중계법과 시멘트의 특정 성분이 염산과 반응하면서 발생하는 반응열을 측정하는 염산 용해열법 그리고 세척 시험기나 배합 분석장치에 의한 성분 분석법 등이 있다.

그러나 분석법인 단위시멘트량 측정방법의 결과로 강도를 직접 추정하는 데에는 복합재료인 콘크리트

표 1 굳지 않은 콘크리트의 단위시멘트량 시험방법의 원리 및 특징

시험방법	원리	특성	제안자
염산 용해방법	염산을 콘크리트로부터 제거한 모르타르에 사용할 때의 용해열 측정	석회 조성물이 응집되어 있으면 불가능하고 열은 단열용기에서 측정	K.KANDA
역적정법	콘크리트로부터 걸러진 모르타르의 시멘트량에 비례하는 것에 상대적 인 염산에 따른 시멘트의 수산화나트륨 적정량	예비실험으로 결정하며 보정곡선이 필요하며, 석회 조성물이 있으면 불가능하며, 간단한 장치에 의해 $\pm 2\%$ 범위내에서 30분내 분석	Y.KASAI & I.MATSUI
간이 역적정법	상기의 방법이지만 측정 장치에 의한 시멘트량을 간단하게 검사	콘크리트로부터 도르티를 취하여, 비교시는 5%의 정밀도로 15분간 수행된 색변화로 분석	M.MORI & S.YASU
자동 세척 시험기에 의한 방법	Sodium Gluconate는 $\text{CaCO}_3$ 에 영향이 없지만 시멘트만 용해시키며 혼탁물의 칼레이트 화합물을 검출	콘크리트 시료를 포함한 조각이나 응집제인 석회석인 경우에 실험을 실시	K.KATO
비중계법	모르타르 현탁액과 부가된 물의 비중은 굳지 않은 콘크리트로부터 걸러진 인 모르타르의 시멘트량과 비례	측정된 예비실험은 보정곡선이 필요하며, 미분 말첨가시에는 불가능함. 간단한 장치에 의해 $\pm 5\%$ 의 정밀도로 15분간 수행	K.SHINA
색차계법	부가된 물에 따른 굳지 않은 콘크리트 시료를 색채화하여 색차를 시멘트량의 보정곡선과 비교	실험은 간단하지만 고가 장비 필요	M.NARAGAWA I.MICHA & T.KEMU
가열 과채법	굳지 않은 콘크리트로부터 모르타르 시료를 가열한 후 과채하여, 88 $\mu\text{m}$ 체를 통과하는 량을 시멘트 조성물로 추정	실험장비와 방법이 간단	S.TSUNODA & T.AKASHI
배합 분석 장치에 의한 방법	새척된 슬러리 내의 시멘트 조성에 대한 시멘트량의 계산	콘크리트의 직접 측정 가능하며, 계산을 위한 계수가 사전에 결정됨. $\pm 2\%$ 의 정밀도로 15분간 수행	I.TANAHASHI

에서는 골재간의 부착강도, 골재의 품질, 물시멘트비 등의 많은 요인의 영향을 받기 때문에 다소 무리가 있으며, 따라서 콘크리트의 배합비를 확인함으로써 배합설계의 수정 및 보완에 의한 품질성능 향상이 있을 수 있다.

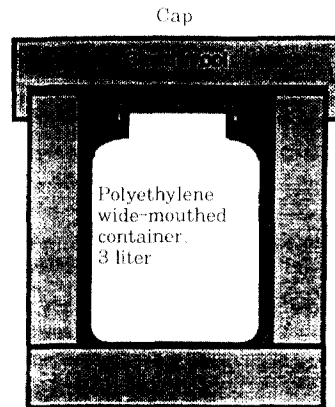
다음 표 1은 굳지 않은 콘크리트에서의 단위시멘트량 시험방법을 정리한 것이며, 단위시멘트량에서의 조기강도 시험법의 평가를 표 2에 나타내었다.

표 2 조기강도 판정법 중 단위시멘트량 시험방법의 평가

시험 방법	가격	도구시간	강도측정	정밀도	가 격	규격	
염산 용해열법	△	◎	△	◎	모르타르	JCI-1, AIJ	
역적정법	◎	◎	◎	◎	모르타르	JCI-10, AIJ	
간이 역적정법	◎	◎	◎	△	모르타르	JCI-11, AIJ	
자동 세척 시험기에 의한 방법	◎	△	△	◎	모르타르		
비중계법	◎	◎	◎	△	모르타르·콘크리트	JCI-13, AIJ	
색차계법	×	◎	◎	△	콘크리트		
가열 과채법	△	△	◎	△	모르타르		
배합 분석 장치에 의한 방법	×	△	◎	◎	콘크리트		
비교	◎	저렴	짧다	용이	높다	-	-
	△	보통	보통	보통	보통	-	-
	×	고가	길다	곤란	낮다	-	-

### 3.2 염산 용해열법

염산에 의해 시멘트가 용해되는 반응열에 기초를 두는 시험방법으로서 용해열법 또는 산 용해열법이라고 부른다. 이 시험방법은 Wet-Screen된 모르타르 내의 단위시멘트량을 구하는 것으로 단열용기를 사



Cylindrical Can of Galvanized Iron Sheet, 20 $\phi$ -30cm

그림 3 염산 용해열법용 단열 용기

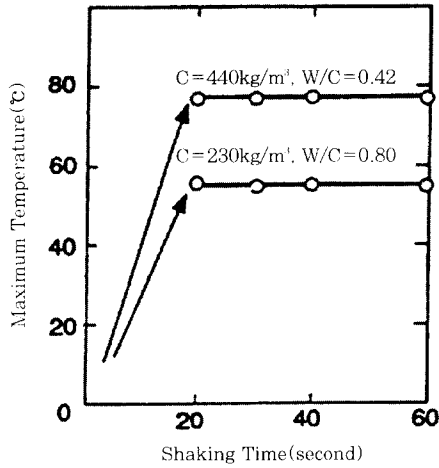


그림 4 진동수와 최고온도와의 관계

용해서 모르터 시료를 일정량의 물로 얇게 한 회석액에 염산을 가하여 반응열의 발생에 의해 시멘트량을 추정하는 원리이다.

소요시간은 약 30분이 걸리며 단위시멘트량 시험방법 중 높은 신뢰도를 보이고 있다. 그러나 잔골재에 석회석이나 조개껍질이 함유된 경우에는 원칙적으로 적용이 불가능하다.

다음 그림 3과 그림 4는 단열용기 및 진동수와 최고온도와의 관계를 나타낸 것이다.

### 3.3 역적정법

이 시험방법은 굳지 않은 콘크리트를 제거한 모르터에 물을 가하여 회석한 다음 일정량의 염산으로 시멘트를 용해시킨 후, 페놀프탈레인 지시약을 넣고 수산화나트륨 용액으로 역적정하는 방법이다.

이 방법은 보통, 조강, 초조강, 중용열 포틀랜드 시멘트 등에서 동일하게 적용되나, 골재 중에 석회석이나 조개껍질이 함유된 경우는 적용하지 않는다.

다음 그림 5는 역적정법의 시험순서에 대하여 나타낸 것이며, 그림 6은 단위시멘트량과 적정에 필요한 수산화나트륨의 양과의 관계를 나타낸 것이다.

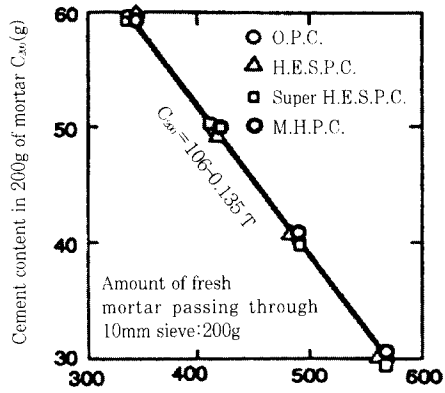


그림 6 200g 모르터 C<sub>200</sub>와 3N 수산화나트륨 T와의 관계

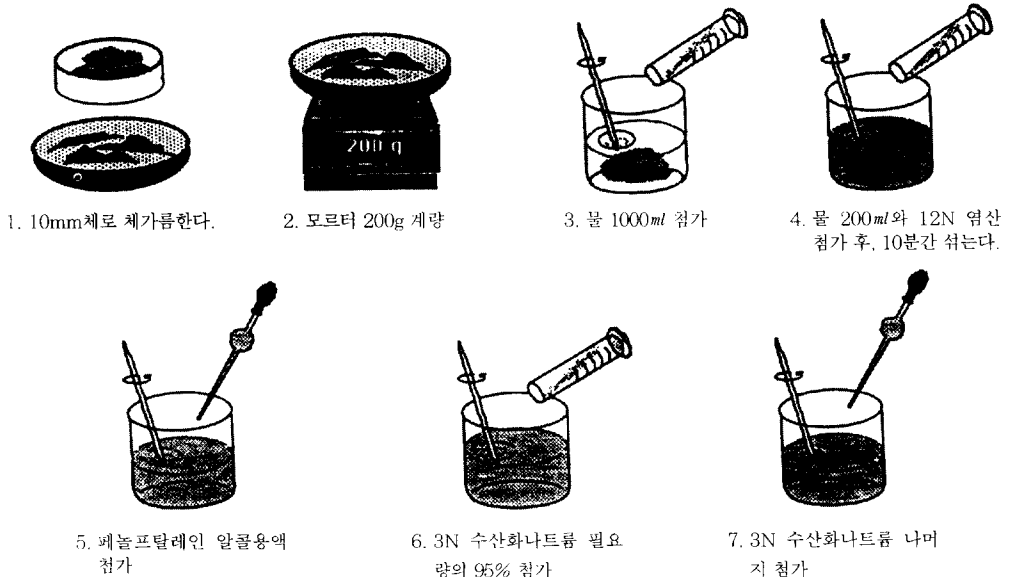


그림 5 역적정법 시험방법 순서

### 3.4 간이 역적정법

간이 역적정법은 역적정법을 응용한 것이다. 역적정법은 콘크리트에서 채가름한 모르터 중의 시멘트를 염산에서 용해한 후, 수산화나트륨 용액을 이용하여 역적정하고, 적정량보다 시멘트량을 구하는 것에 대해, 간이 역적정법은 동일하게 채취한 모르터를 염산에 용해한 후, 사전에 설정한 량의 수산화나트륨 용액을 한번에 투입하고 중화하는 가부에 따라 시멘트량을 판정하는 시험법이다.

보통 간이 역적정법은 현장에서 판정하기 위하여 규정된 것이며, 시험에서 사용하는 수산화나트륨량은 예비시험에서 실시한 적정량의 95% 신뢰구간의 상한값으로 한다. 이 때문에 올바른 배합의 콘크리트에 대비해 오판정을 하는 확률(생산자 위험율)이 1회의 시험에 대해 2.5%가 되며, 현장시험에서는 생산자 위험율을 저감하기 위해, 시험을 2회 반복 실시하는 것이 좋으며, 2회 연속 중화하지 않은 콘크리트는 충분히 높은 확률(99.9%)로 계획배합의 시멘트량보다 부족하다고 말할 수 있다.

다음 그림 7은 간이 역적정법의 시험용기의 예이다.

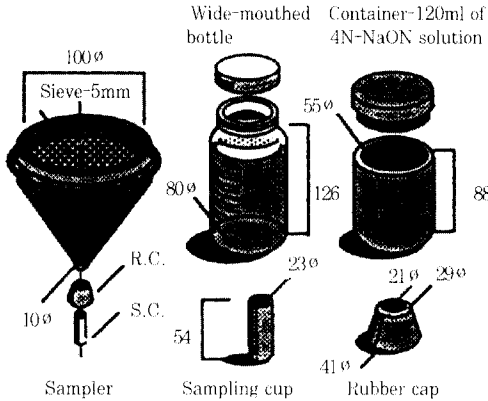


그림 7 간이 역적정법에 의한 단위시멘트량 시험방법 측정용 기구

### 3.5 자동 세척시험기에 의한 방법

이 방법은 굳지 않은 콘크리트를 물로 씻어서 5mm 및 0.15mm체에 남는 골재량을 구하고, 통과된 량에서 시멘트량을 구하며, 수중중량 및 공기중중량에서 수량을 구하는 등콘크리트 중의 각 재료량을 분석하는 방법이다.

이 방법은 소요시간이 30~40분 정도이고, 골재중 미세립분이 시멘트의 일부로 측정되며, 시멘트량 및 수량을 간접적으로 구하기 때문에 시험오차가 큰 단점을 갖는다.

KS F 2411(굳지 않은 콘크리트의 씻기 분석 시험방법)에 규격이 제정되어 있으며, 영국에서 개발된 자동 씻기 분석기인 RAM(Rapid Analysis Machine)에 의해 시멘트와 미세립자 중에서 단위시멘트량을 구하는 방법이 있다.

RAM에 의한 씻기 분석법은 5분 정도의 소요시간으로 분석을 할 수 있는 장점이 있으나 장치가 크고 고가인 단점을 갖고 있다.

### 3.6 비중계법

이 방법은 프레쉬콘크리트의 단위시멘트량을 콘크리트에서 Wet-Screening한 모르터 시료로부터 판정하기 위한 것으로서, 이 경우 Wet-Screening 모르터 시료중의 시멘트량은 콘크리트 중의 시멘트량과 동일한 것을 전제로 하고 있다.

굳지 않은 콘크리트에서 채가름한 모르터를 일정한 물로 희석해서 현탁액으로 만든 후, 비중을 구해 모르터나 콘크리트의 단위시멘트량을 조기에 구하는 방법으로 종류에 L.J.Murdock 방법, 水野 방법, 常山 방법, 柳田 방법, 増田 방법 등이 있다.

비중계법에 의한 경우 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말 등의 혼화재를 첨가한 콘크리트에 대해서는 미분말 혼화재가 현탁상태로 되기 쉽게 하고, 현탁액의 비중으로부터 시멘트량을 측정하는 경우 오차를 발생하기 쉬운 원리 때문에 적용 불가하다. 또한, 판정시험에 대해서는 실제로 타설하는 콘크리트와 동일한 재료를 이용하고, 현탁액의 비중과 시멘트량의 관계를 구하는 것이 필요하다.

단위시멘트량이 파악되는 것으로부터, 단위수량의 판정결과와 병용하는 것으로서 W/C가 구하여진다. 시험은 혼자서 하는 것이 가능하고, 시험에 필요한 시간은 대체로 10분이다. 시험용 기구는 비중계 이외에는 특별한 기구를 필요로 하지 않는다.

## 4. 맺음말

굳지 않은 콘크리트의 조기강도 판정방법은 전술

한 바와 같이 다양한 방법으로 발전되어 왔다. 또한 앞으로도 건설현장에서의 효과적인 품질관리를 위하여 조기 판정법에 대한 연구는 끊임없이 계속되리라 본다.

해외의 여러 가지 분석법의 경우 새로운 기계설비 및 시험방법의 개발로 활발한 연구를 보이고 있으나, 국내의 콘크리트 조기강도 판정방법에 대한 연구는 아직 미비한 실정으로 초보적인 단계에 불과하다. 특히, 최근에 와서 콘크리트의 급속한 성능개선 및 여러 가지 콘크리트의 품질 개선 및 지속적인 공법발전에 따른 사용재료의 변화, 혼화재료의 사용 등 꾸준한 발전을 보이는 반면, 시험·측정방법은 제대로 대처하지 못하고 있다.

따라서 콘크리트의 발전에 발맞추어 보다 빠르고 정확하며 효율적인 콘크리트의 품질 판정법의 연구와 새로운 시험장비의 개발로 인하여 실질적으로 건설현장에서의 적용이 가능한 경제적인 판정방법의 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. 콘크리트工學協會, 콘크리트品質의早期判定指針, 1985.5
2. 日本建築學會, 콘크리트의早期迅速試驗方法, 1985.5
3. 笠井芳夫, 早期迅速判定試驗方法의總動的な動向, 月刊生 콘크리트 Vol.7 No.11, 1988.11
4. 神田 衛, 振動を利用してまだ固まらない 콘크리트의水セメント比を檢出する方法, 콘크리트工學 Vol.19 No.8, 1981.8
5. 콘크리트品質의早期判定研究委員會, 콘크리트品質의早期判定に關する報告, 日本 콘크리트工學 Vol.17 No.4, 1979.
6. 上野裕康, 荒川直樹, 콘크리트의檢査方法に關する試驗調査報告書(1), 土木研究所資料 第 817號, 1973.3
7. R.T.Kelly, J.W.Vail, Rapid Analysis of Fresh Concrete, Concrete April, May, 1968.
8. Central Research Institute of the All Japan Ready-Mixed Concrete Association, A Study on the comparisons of test methods of accelerated strength test for concrete, 1990.
9. K.W.Nasser, A New Method and Apparatus for Accelerated Strength Testing of Concrete, Accelerated Strength Testing, ACI, 1978.
10. 김동원, 비중계법에 의한 콘크리트 강도의 조기판정에 관한 연구, 연세대학교 산업대학원 석사학위논문, 1992.12.
11. 성정화, 급속경화법에 의한 콘크리트 강도의 조기판정에 관한 연구, 연세대학교 산업대학원 석사학위논문, 1993.12.
12. 안치호, 역적정법에 의한 콘크리트 강도의 조기추정에 관한 연구, 청주대학교 산업경영대학원 석사학위논문, 1990.6.
13. 한친구, 콘크리트 강도의 조기추정에 관한 연구, 충남대학교 대학원 박사학위논문, 1988.12.
14. 한국레미콘공업협회(편), 콘크리트의 조기강도 추정, 1994.12.
15. 국립건설시험소, 콘크리트 강도 조기판정방법 조사, 1993.12. 