

한반도 중부권 지각물질의 구조와 물성연구 : 콘크리트 공시체에 의한 표준시험 규정에 대하여

Structure and physical properties of the earth crustal material in the middle of Korean Peninsula : A study on the prescription of standard test by mortar-bar method

정 지 곤(Jeong, Ji Gon)
유 신 애(Yoo, Shin Ae)

충남대학교
충남대학교

요약/Abstract

광물과 암석으로 구성된 골재와 이를 둘러싼 시멘트 페이스트 사이의 알카리-골재반응이 콘크리트 구조물에 팽창을 일으킨다는 사실은 잘 알려져 있다. 그러한 팽창은 구조물에 심각한 손상을 야기시키기 때문에 많은 나라에서는 구조물에 사용된 동일한 골재와 시멘트로 공시체를 제작하고 실험실에서 이의 팽창 촉진시험을 통하여 팽창률의 상한선을 규정하고 있는데 이는 0.1%이다.

위 시험의 규정은 미국의 경우 ASTM C227과 490에, 우리나라의 경우 한국공업표준협회에서 발간한 KS 핸드북 F2503, F2546 및 L5107에 명시되어 있다. 양자의 내용은 거의 동일하다. 이 규정에 따라 실험용 공시체를 제작하고 팽창정도를 측정하는데 위에 소개한 규정은 현장에서 현실적으로는 적합하겠으나 연구의 목적으로 정밀한 실험을 위해서는 아래와 같은 문제점이 발견된다.

첫째, 골재, 시멘트 및 물의 배합비를 규정함에 있어서 골재를 무게로 표현한 점.

둘째, 팽창률계산에 있어서 분모의 값을 254mm로 고정시킨 점.

셋째, 골재의 종류에 관계없이 공시체의 초기길이 측정시기를 24 ± 2 시간 후로 통일시킨 점.

네째, 골재의 비중측정 방법은 목적에 따라 선택되어야 하나 그 중에서 진비중에 의한 측정이 가장 정밀도가 높다.

It has been well known that the alkali-aggregate reaction between the aggregates and cement paste is one of the reasons of a concrete structure expansion. Because of a serious damage on the concrete structure from the expansion, in many countries, the safety of the materials is checked in laboratory by mortar-bar test and the upper limit of expansion in length is 0.1%.

The prescriptions are presented in the ASTM C227 and 490 of U.S. which has been international currency and in the KS Handbook F2503, F2546 and L5107 of Korea published by Korean Standards

Association. Both of the prescriptions are almost same in their contents. Actually, in the process of preparing and measuring the mortar-bar according to the prescription mentioned above, it seems that there are no problems for its own purpose but a few points are found to be improved upon the methods to increase the accuracy for laboratory work as follows.

1. The prescription of blending ratio(aggregate, cement and water) should be noted by volume not by weight.
2. It is unreasonable to measure the initial length of mortar bars after 24 ± 2 hours at once regardless the kind of aggregates.
3. It may bring about errors in calculating the expansion ratio under the condition of the denominator value fixed as 254mm.
4. The measuring methods of specific gravity are selected according to the purposes but the pure specific gravity displays the highest accuracy among them.

서 언

콘크리트 구조물에서 암석 혹은 광물로 구성된 골재와 이와 접한 시멘트 페이스트 사이에 알카리-골재반응이 일어나 구조물을 팽창시키고 그 결과 콘크리트 구조물에 손상을 야기시키는 하나의 중요한 요인이 되고 있음은 잘 알려진 사실이다(Stanton, 1940 ; Mielenz-Benton, 1947 ; Hadley, 1964 ; Asgeirsson, 1975 ; Concrete Society, 1987 ; 하성호, 김경수의, 1990 ; 하성호-김무환외, 1995).

그러한 이유로 많은 나라에서는 콘크리트 구조물에 사용된 동일한 조건의 재료로 공시체를 만들어 이의 팽창표준시험을 실시함으로써 팽창에 의한 구조물의 손상가능성을 확인한다. 이 시험을 위한 규정으로 미국에서 사용되는 ASTM C227, 490(American Society for Testing and Materials, 1990)이 가장 대표적이며 우리나라에서는 KS 핸드북 F2503, F2546, L5107(한국공업표준협회, 1992)가 있는데 양자의 내용은 거의 동일하다.

공시체의 팽창 표준시험을 하는데 위의 규정들은 현장에서 일반적으로 실시하는 데에는 적합하나 다양한 비중을 갖는 골재들의 팽창정도를 정밀하게 비교하기 위한 실험을 위하여는 부분적으로 개선할 여지가 있어 몇가지 실험을 통하여 이를 지적하고자 한다.

골재의 배합비 문제

알카리-골재반응에 의한 팽창정도를 시험하기 위하여 공시체에 의한 팽창표준시험을 실시한다(ASTM C227-87 C490-89, 1990; KS 핸드북 F2546, L5107, 1992). 이 시험의 근본 목적은 사용된 골재의 적합성 여부를 판단하는 것으로서 팽창률이 최초길이를 기준으로 0.1%가 넘으면 불량한 골재가 된다. 이러한 골재는 골재와 시멘트 페이스트 사이의 계면에서 알카리-골재반응이 정도 이상으로 심하기 때문이며 이를 반응성 골재라고 부른다.

이러한 시험을 위하여 위에 소개한 규정은 알카리-골재 반응에 의한 부피팽창을 제외한 다른 모든 팽창요인을 제거하기 위하여 온도, 습도, 배합비 등을 정해 놓았는데 이를 단계별로 소개하면 다음과 같다.

공시체의 성형단계

온도 : $20-27.5^{\circ}C$

습도 : 50%

배합비 : 골재 675g, 시멘트 300g,
물 105-120(flow value)

골재의 입도 : 4-8#(10%), 8-16#(25%),
16-30#(25%), 30-50#(25%),
50-100#(15%)

공시체 숙성단계 및 팽창률 측정시

온도 : $23 \pm 1.7^{\circ}C$

습도 : 95%

숙성기간 : 24 ± 2 시간

위와 같은 조건으로 공시체를 제작하고(그림 1)

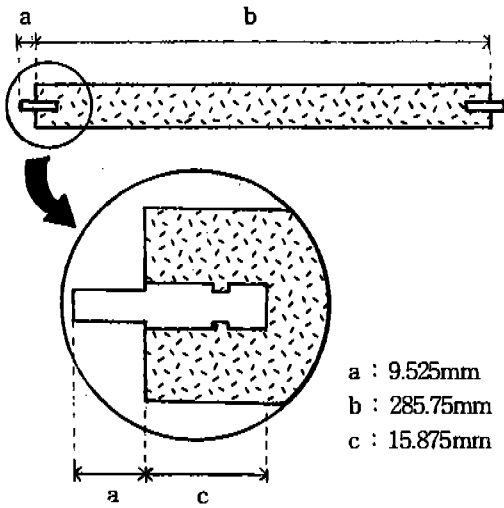


Fig. 1. A section of mortar-bar. The studs are buried at each end of the bar and swelling of it is measured as the length between two studs.

의 반응은 골재와 페이스트 사이의 계면에서 이루어지며 이 반응에 의하여 부피가 팽창되기 때문에 반응조건을 통일시키기 위해서는 반응면적을 통일시킬 필요가 있다. 앞에 소개한 시험규정에 골재의 크기를 입도별로 명시한 것은 반응면적을 일정하게 하기 위한 것으로 해석된다.

이상의 과정에서 문제가 되는 것은 골재의 입도를 통일시키고 사용된 골재의 무게(배합비에서 675g)를 규정한다고 해서 반응면적이 같아질 수는 없다. 그 이유는 배합비에 대한 규정에서 골재의 함량을 무게로 나타냈기 때문이다. 동일한 비중의 골재라면 위와같이 표현해도 무방하나 그렇지 않을 경우 부피에 차이를 가져오기 때문이다.

참고로 공시체 팽창시험을 위해서 사용한 대표적인 암석(23종류)과 조암광물(10종류)의 진비중(표 2 참조) 측정치를 소개하면 다음과 같다(표 1).

표 1은 감람석의 부피를 1로 보았을 때 동일한 무게의 다른 암석과 광물의 부피를 나타낸 것이다. 정장석은 감람석보다 1.33배의 부피비를 보이는데 이

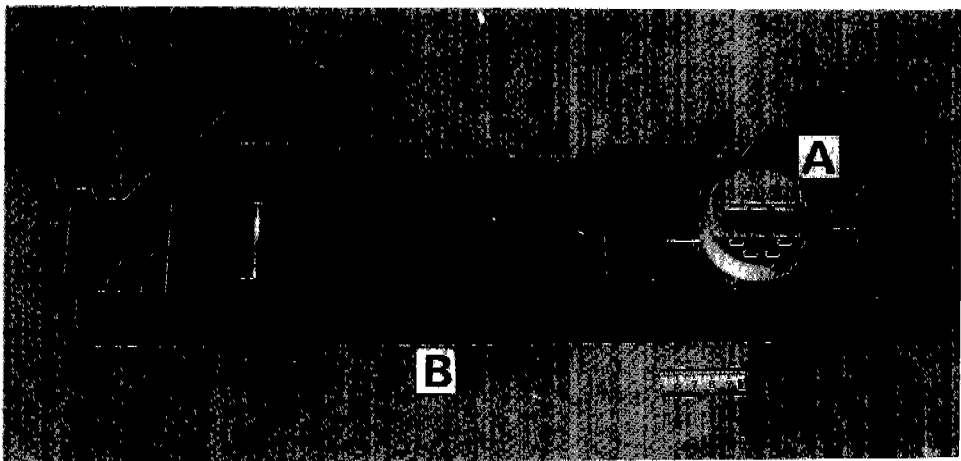


Fig. 2. Dial gauge(A) and its stand(B). Accuracy of the gauge is 0.001mm and the full length of measurement is up to 12mm.

0.002mm의 정밀도를 갖는 원형 길이측정기(dial gauge, 그림 2)로서 팽창정도를 측정한다.

이상 소개한 내용을 검토할 때 이 시험의 변수는 골재의 종류 뿐이다. 따라서 이 시험의 진정한 목적은 골재의 반응정도를 알아보고자 하는 것이며 그 결과를 전체길이의 변화로서 판단하는 것이다. 골재

는 동일한 형태라면 1.33^{2/3}배의 반응면적을 나타낸다. 따라서 동일한 부피의 골재를 동일한 입도로 만들 때에 동일한 반응면적을 기대할 수 있다.

골재의 배합비를 부피로 표현하고 골재의 입도를 통일해도 반응면적이 동일하다고는 볼 수 없다. 왜냐하면 암석이나 광물에 따라서 형성된 미세한 균열

Table 1. Specific gravity and volume ratio of 23 rock and 10 mineral samples.

골재명	S.G.	Vol. ratio	골재명	S.G.	Vol. ratio
rhyolite	2.62	1.26	chert	2.64	1.25
qu-por	2.65	1.25	limestone	2.71	1.22
granite	2.62	1.26	dolostone	2.85	1.16
andesite	2.63	1.26	tuff	2.49	1.33
diorite	2.79	1.19	slate	2.69	1.23
basalt	2.84	1.17	phyllite	2.79	1.19
gabbro	2.97	1.11	schist	2.76	1.20
anorthosite	2.70	1.23	gneiss	2.76	1.20
sandstone	2.68	1.24	marble	2.74	1.21
shale	2.71	1.22	quartzite	2.64	1.25
siltstone	2.71	1.22	mylonite	2.72	1.22
mudstone	2.70	1.23	calcite	2.71	1.22
qu 1	2.65	1.25	biotite	2.91	1.14
qu 2	2.64	1.25	pyroxene	3.18	1.04
orthoclase	2.48	1.33	hb	2.95	1.12
Ca-pl	2.70	1.23	olivine	3.31	1.00
muscovite	2.83	1.17			

qu-por : quartz porphyry qu 1 : crystal quartz
 qu 2 : vein quartz Ca-pl : Ca-plagioclase
 hb : hornblende

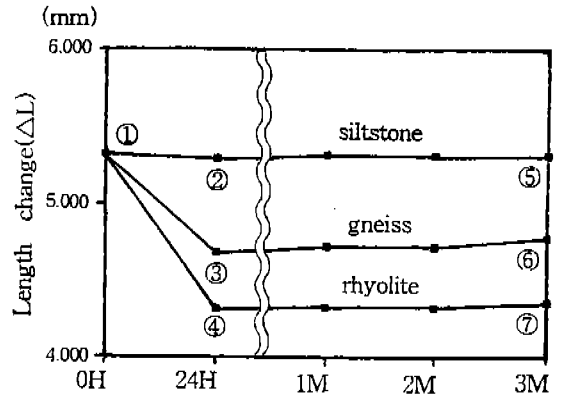
의 정도는 큰 차이를 보이며 이 균열은 모두 반응성 계면으로 작용되기 때문이다. 다시 말해서 동일한 부피에 동일한 형태의 두 골재가 있을 때 균열이 많이 있는 것과 그렇지 않은 것은 전자가 반응면적이 훨씬 더 넓고 반응에 효과적이어서 동일한 조건으로 반응시험을 하였다고 볼 수 없다. 이러한 문제는 앞으로 더 연구되어야 할 것으로 본다.

공시체의 초기길이 측정 시기문제

ASTM C227-87과 KS 핸드북 F2546에 의하면 항온항습기에서 숙성시킨 공시체를 24±2시간에 꺼내어 초기길이를 측정하도록 규정되어 있으며 측정시의 외부조건은 앞에서 설명한 바와 같다.

위의 내용에서 문제가 되는 것은 공시체가 어떤 상태에 있을 때의 길이를 초기길이라고 할 것이냐는 점이다. 일반적으로 페이스트의 숙성단계는 다음과 같이 정의하고 있다(윤재환, 1989).

유동성 페이스트 - 초결 - 종결(비유동성 페이스트) - 경화



① 5.337 ② 5.296 ③ 4.682 ④ 4.308 ⑤ 5.318
 ⑥ 4.768 ⑦ 4.353 (unit : mm)

Fig. 3. The length change of mortar bar at such stages as dormant period (0H) - initial set - final set (24±2H) - hardening(after 24±2H). Note that there is no information about the exact final setting time of the each bar but the shrinking rates of the bars checked at 24 hours are different each other.

얼음을 제외한 대부분의 용융체는 응고시에 부피가 수축됨은 의심의 여지가 없다. 유동성 페이스트 역시 비유동성 페이스트(종결)로 변함에 따라 부피가 수축될 것으로 예상할 수 있으며 이는 다음의 실험으로 증명된다(그림 3).

그림 3은 암석과 광물골재 33개의 시료로 제작한 공시체 중에서 수축과 팽창이 가장 크고, 작은 대표적인 시료 3개(실트스톤, 편마암 및 유문암)를 선정하여 재령에 따라 길이의 수축과 팽창을 표시한 것이다. 유동성 페이스트로 되어 있을 때(0H)의 길이는 α+5.337mm이며 24시간 경과 후의 길이는 유문암의 경우 α+4.308mm가 되는 셈이다. 따라서 이 값의 차이가 변화된 길이를 의미한다. 24시간 후에 측정된 공시체의 길이는 모두 감소하며 그 후 1, 2, 3개월을 경과하면서 서서히 팽창함을 나타낸다. 이 그림이 의미하는 바는 유동성 페이스트로부터 비유동성 페이스트가 됨에 따라 부피가 수축함을 의미하며 그 값도 공시체에 사용된 골재의 종류에 따라 모두 다르다. 그러나 최대 수축된 시점의 재령은 이 실험으로 알 수 없다.

비유동성 페이스트 즉 종결상태로부터 경화상태로

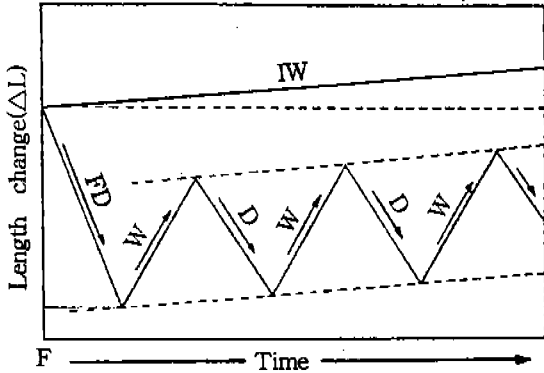


Fig. 4. The length change after final set. The swelling of cement paste is increased continuously under water. The effect of water seems to be same as it of water saturation.

F: final set, IW: in water, W: wet condition, FD: first dry condition, D: dry condition.

의 변화를 그림 4에 나타내었다(윤재환, 1989). 지속적인 팽창을 보이는 것은 수중저장의 것이고 수축과 팽창을 반복하는 것은 대기중에서 습윤상태와 건조상태를 일정하게 교대로 만들어 준 것이다.

본 연구에서 실시한 공시체는 포화상태를 유지시켜 주었기 때문에 직선의 변화에 해당된다.

그림 3과 4로부터 알 수 있는 사실은 시멘트 페이스트는 유동성 상태에서부터 경화상태로 되면서 일단 수축되었다가 팽창한다는 점이다. 이것이 사실일 때 공시체의 초기길이는 수축이 최대로 일어났을 때의 길이를 의미하여야 하며 그 시점이 과연 물리적 특성이 다양한 골재의 종류에 관계없이 24±2시간으로 규정시킬 수 있겠느냐는 의문이 나온다. 그림 3에서 24시간을 전후로 그 전에 이미 더욱 수축해서 24시간 경과시에는 팽창과정에 있을 수도 있고 24시간을 지나 더욱 수축하여 1달 경과 전에 팽창으로 돌아설 수도 있다.

따라서 정밀을 필요로 하는 팽창률의 측정에서는 24시간을 전후로 하여 더욱 세분된 측정시기가 설정되어야 할 것으로 본다.

팽창률 계산에 대한 문제

ASTM C227-87과 KS 핸드북 F2424, F2546에 의하면 공시체의 팽창률은 아래 공식에 따라 계산되

며, 사용된 측정기의 정밀도는 0.002mm이어야 하며 허용길이 팽창량은 0.1% 미만이어야 하나 보고서에는 소숫점 둘째자리까지 나타낸다고 규정되어 있다.

$$\text{팽창률} = (l_{11} - l_{12})/L \times 100$$

l_{11} : 일정시간 경과후 공시체의 길이

l_{12} : 24±2시간 경과후 공시체의 길이

L : 기준길이(254mm로 고정)

이 공식에서 기준길이 254mm는 공시체의 성형을 위하여 만든 틀(그림 5)의 길이(285.75mm)에서 시멘트 페이스트에 묻혀 있는 측정침의 부분 15.875×2mm를 뺀 값이다(그림 1). 동시에 이 길이는 공시체가 유동성 페이스트상태일 때의 것이다. l 의 길이를 그와같이 정한 것은 공시체가 수축 혹은 팽창하여 측정침을 움직이게 한 데에 영향을 주지 않는 부분이기 때문인 것으로 판단된다.

위의 규정대로 시행할 경우 254mm의 공시체는 0.254mm(0.1%)가 팽창 허용한계이다. 만약 공시체의 제작과정에서 최대 ±1mm의 오차가 생긴다면 아래와 같이 팽창률은 계산된다.

$$(0.254 / 255) \times 100 = 0.0996\%$$

$$(0.254 / 253) \times 100 = 0.1004\%$$

따라서 보고서에는 양자 모두 0.100%로, 그리고 팽창률은 0.1%로 기재되기 때문에 팽창률계산에서 분모의 값을 L로 고정시켜도 현장에서 사용하기 위한 본규정의 목적에는 문제가 되지 않는다.

그러나 위에 소개한 팽창률 계산방법은 근소한 차이를 보이는 다양한 골재에 대하여 정밀한 계산을 위해서는 아래와 같은 문제점이 제기된다.

첫째, 팽창률의 정의에 관한 문제. 이 문제는 기준길이(L)를 시멘트가 유동성 페이스트일 때로 할 것이냐 아니면 종결단계(비유동성 페이스트)로 할 것이냐에 관한 것이다. 공시체의 팽창은 알칼리-골재 반응에 의한 것만이 원인이 되어야 한다는 점을 상기할 때 이 반응의 시기는 적어도 종결단계 이후에 일어나며 그림 3과 4에 보인 바와같이 유동성 페이스트로부터 종결단계에 이르는 동안 모든 공시체는 반응과는 관계없이 수축하고 있어 수축하기 전의 길이 즉 유동성 페이스트의 것을 기준길리로 정할 수는 없다. 따라서 기준길이는 공시체가 최대 수축한 시점의 길이가 타당할 것으로 본다.

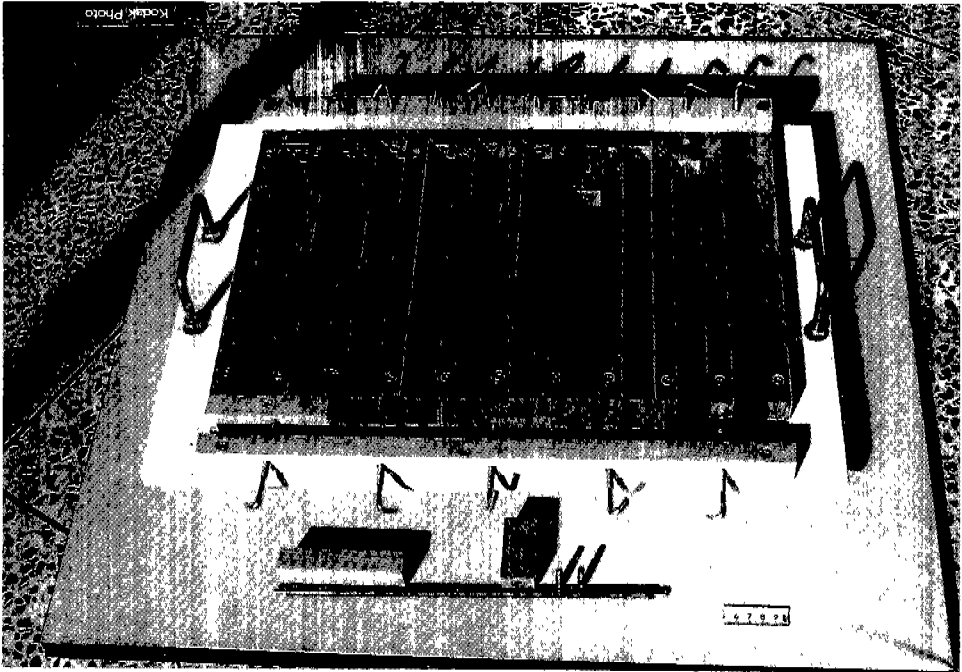


Fig. 5. An example of mould for mortar-bar paste. It is made of wood and 10 mortar bars are settled at once.

둘째, 기준길이를 254mm로 고정시킨 문제. 실험에 의하면(그림 3) 유동성 페이스트로부터 24시간 후 종결단계에 이르는 동안 공시체의 수축정도는 최대 유문암 골재로서 그 값은 1.029mm이고 최소는 실트스톤 골재로서 0.041mm이며 양자의 차이는 0.988mm이다. 이는 유동성 페이스트의 길이와 종결단계의 공시체의 길이와는 1mm이상 차이가 날 수 있다는 사실과 종결단계의 공시체의 길이 역시 다양하다는 사실을 의미한다. 따라서 정밀한 팽창률의 계산을 시도할 때 기준길이를 고정시키면 오차를 야기시킨다.

이와같은 사실을 감안할 때 팽창률의 계산은 개개의 공시체가 최대로 수축할 때의 길이를 기준길이로 설정함이 바람직하다.

골재의 비중측정 문제

KS 핸드북 F2503(한국공업표준협회, 1992), 구조재료실험방법론(김무한, 1993), 건축재료학(김무한·신현식의, 1995)에 골재의 비중측정에 관하여 소개되

어 있다. 이에 의하면 골재와 관련된 비중에는 진비중, 절건비중 및 표건비중이 있는데 흔히 말하는 비중은 진비중(건축재료학, p.124) 및 겉보기비중(KS 핸드북, p.217)과 같은 용어이다.

위에 소개한 3종류의 비중은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{진비중} &= W_1/V_1 \\ \text{절건비중} &= W_1/V_2 \\ \text{표건비중} &= W_2/V_2 \end{aligned}$$

W_1 : 매질의 무게(절건상태)

W_2 : 매질의 무게(표건상태)

V_1 : 매질의 부피(절건상태)

V_2 : 매질의 부피(표건상태)

절건상태 : 완전건조된 상태

표건상태 : 골재의 내부(예, 균열)는 포화상태이나 표면은 건조한 상태

표건상태의 골재를 사용하면 시멘트 페이스트를 만들 때 사용된 물은 조금도 골재 내부로 흡수됨이

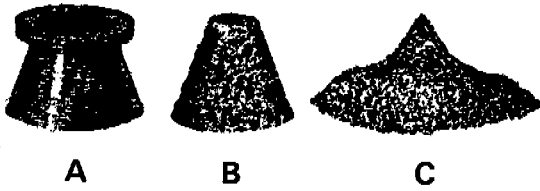


Fig. 6. Flow cone(A), wet condition(B) and saturated surface-dry condition(B) of aggregates.

없이 골재와 시멘트를 혼합하는데 모두 이용된다. 즉 사용한 물의 양이 그대로 배합비가 된다. 반면에 절건상태의 골재를 사용하면 단위수량의 일부가 골재 내부로 흡수되어 표면건조상태보다 물이 더 많이 필요하게 된다.

위에 소개한 문헌에 제시된 골재의 표건상태는 다음과 같이 만든다(그림 6). 우선 골재를 24시간 물속에 넣어 포화시킨 후 이를 서서히 건조시키면서 flow cone(A)에 골재를 넣고 일정하게 다진 다음 cone을 들어 올린다. 그 결과 습윤상태(B)와 높이는 같으나 밑면의 퍼진 정도가 B의 약 2배가 될 때 표건상태가 된다(C).

이상 소개한 절차에 따라 표건상태로 만들 때에 아래와 같이 몇가지 의심스러운 점이 있다.

첫째, 그림 6의 C의 상태가 모든 입자가 과연 표건상태의 정의대로 되어 있는 것인지 확인할 수가 없다.

둘째, cone의 사용과정이나 표건상태의 길이측정(C)에 정밀을 기대할 수 없다.

셋째, 일정한 양의 물에 일정한 크기의 표건상태를 기대하기 어려워 오차가 생기기 쉽다. 참고로 250cc의 모래를 표건상태로 만들 때 물 $\pm 5cc$ 의 오차가 생긴다.

네째, 절건비중과 표건비중의 경우 공기 중에서 표건상태의 골재의 무게를 계량하여야 한다. 확인한 바에 의하면 0.0001g 정확도의 저울을 사용할 때 약 1분에 0.001g씩 수분의 증발에 의하여 무게가 감소되어 계량에 오차를 가져온다.

3가지 측정방법에 의한 비중의 장단점을 요약하면 다음과 같다(표 2).

표를 볼 때 골재, 시멘트 및 물의 배합비를 정하는 데에는 표건비중이나 절건비중이 적합하다. 그러나 진비중인 경우에는 flow test를 통하여 배합비를 결정할 수 있다. 일정한 무게에 대하여 진비중의 값

Table 2. Comparison of the specific gravities(S.G.) obtained by three different methods.

	pure S.G.	saturated surface-dry S.G.	oven-dry S.G.
estimation of combination ratio	very difficult	possible	possible
flow test	need	needless	needless
pure S.G.	1	1 > pure S.G.	1 >> pure S.G.
volume accuracy	increased <-----	-----> increased	

을 1로 하였을 때 표건비중에서 절건비중 쪽으로 갈수록 1보다 더 작은 비중값이 나오는데 그 이유는 균열에 충전되는 물의 양을 표건비중에서는 분모(부피)와 분자(무게)에, 절건비중에서는 분모의 값에만 적용시켜 결과적으로 더 큰 부피의 수치로 계산되기 때문이다. 따라서 3가지 방법에 의한 비중값의 차이는 골재의 균열이 많으면 많을수록 커진다.

그러므로 골재의 비중은 진비중이 참값에 해당되거나 알카리-골재반응의 효과가 반응면적과 밀접한 관련이 있음을 상기할 때 동일한 무게에 대한 골재의 비중에서 절건비중과 같이 부피를 더 크게 계산함은 대부분의 골재에 형성되어 있는 균열에 해당하는 반응면적을 좀더 고려한 결과가 된다. 만약 배합비가 ASTM C227-87과 같이 무게비로 규정된 경우에는 동일한 종류의 골재라 하더라도 더 많은 양을 투입하여야 하나 부피비로 규정된다면 조치는 반대가 된다.

결 언

콘크리트 구조물에서 암석 혹은 광물로 구성된 골재와 이와 접한 시멘트 페이스 사이에 발생하는 알카리-골재 반응에 의한 콘크리트 구조물의 손상피해를 정량화하기 위한 기초적인 연구로 콘크리트 공시체 팽창시험 규정에 관한 실험·실증적 연구 결과 본 규정의 부분적인 문제점 및 개선방안을 다음과 같이 제시한다.

1. 공시체의 배합비에 관한 규정은 중량비뿐만 아니라 용적비에 의한 배합비도 고려되고 제시되어야 한다.
2. 골재의 초기길이 측정시기는 골재의 종류에 따

라 달라야 하고 공시체의 팽창률 계산에서 기준길이는 엄밀한 의미의 초기길이가 되어야 한다.

3. 골재의 비중측정방법은 목적에 따라 달라질 수 있으나 가장 정밀한 값은 진비중 측정으로 얻을 수 있다.

사 사

본 연구는 1994년도 문교부 학술조성연구비(과제 번호 BSRI-94-5418)에 의하여 수행되었음을 밝히며 본 논문을 상세히 읽고 조언을 아끼지 않은 충남대학교 공과대학 건축공학과 김무한 교수에게 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

김무한(1993) : 구조재료시험방법론. 학문사, p112-118.

김무한, 신현식, 김운한(1995) : 건축재료학 4판, p 124-126.

윤재환(1989) : 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트. 세진사, p46-47.

하성호, 김경수, 김무한, 정지곤(1990) : 콘크리트 골재용 각종 암석의 알카리-골재반응에 대한 연구. 한국광물학회지 3-1, 18-33.

하성호, 김무한, 유신애, 정지곤(1995) : 콘크리트 구조물에서 석영, 장석의 알카리-골재반응 연구. KCI논문집 7-1, 164-169.

KS 핸드북 F2503, F2546 및 L5107(1992) 한국공업표준협회. p216-218.

Asgeirsson, H.(1975) : Proceedings of a Symposium on Alkali-Aggregate Reaction, Preventive Measures. Icelandic Building Research Institute, Reykjavik.

ASTM C227 & 490(1990) Annual book of ASTM standards. American Society for Testing and Materials section 4, vol.04.02, p124-128, p246-249.

Concrete Society(1987) : Alkali-silika reaction, Minimising the risk of Damage to concrete. Guidance notes and model specification clausers. Technical Report No. 30.

Hadley, D. W.(1964) : Alkali reactivity of dolomitic carbonate rocks. Highway Res. Record No. 45, 1-20.

Mielenz, R.C., Green, K. T. and Benton, E. J. (1947) : Chemical test for the reactivity of aggregate reaction. Am. Conc. Inst. pr. 44, 193-224.

Stanton, T. E.(1940) : Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. Proc. ASCE 66, 1781-1811.

정지곤, 유신애
 충남대학교 자연과학대학 지질학과
 대전시 유성구 궁동 220번지, 305-764
 T E L : 042) 821-6424
 F A X : 042) 822-9690