

실험적 연구에 의한 현행 모르타르봉 시험법 (ASTM C227-90)의 검토 Discussion on the Current Mortar-bar Method (ASTM C227-90) by Experimental Study

정 지 곤 (Jeong, Ji-Gon)
이 동 영 (Lee, Dong-Yong)
유 신 애 (Yoo, Shin-Ae)
황 형 중 (Hwang, Hyung-Joong)

충남대학교 자연과학대학 지질학과
한국자원연구소 지질연구부
충남대학교 대학원 지질학과
충남대학교 대학원 지질학과

요약/Abstract

현행 ASTM C227-90은 모르타르봉 시험법에 대한 규정인데 동 규정에 의하면 시험용 모르타르봉의 제작에 골재와 시멘트를 각각 675g과 300g을 쓰도록 무게비로 제시하고 있으며 제작된 모르타르봉의 초기길이 측정시기는 24 ± 2 시간으로 규정되어 있다. 또한 모르타르봉의 팽창원인을 알카리-골재반응에 두고 있다. ASTM C490-93a는 모르타르봉의 제작방법과 팽창률 계산방법이 소개되어 있는데 규정에 의하면 계산공식의 분모 G값(유효표점거리)을 10" 혹은 250mm로 고정시키고 있다. 본 연구는 위에 소개한 내용에 대한 실험적 연구를 통하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

첫째, 모르타르봉의 팽창은 알카리-골재반응만에 의한 것이 아니고 그 외 간극수와 젤수의 복합적인 작용에 의한 것이므로 ASTM C227-90의 내용을 일부 수정할 필요가 있다.

둘째, 골재에 의한 모르타르봉의 팽창원인 즉 알카리-골재반응과 간극수에 의한 팽창량을 알기 위하여는 골재와 시멘트의 배합비를 무게비 대신에 부피비로 제시함이 바람직 하다.

셋째, ASTM C227-90과 C490-93a에서 제시한 모르타르봉의 초기길이 측정시기와 팽창률 계산방법은 더욱 정밀한 계산결과를 얻기 위하여 부분적인 수정이 필요하다.

The current ASTM C227-90 is a prescription on the mortar-bar method. This recommends that mortar-bars should be made using a mixing ratio by weight of 675 grams aggregate to 300 grams cement, and their initial lengths should be measured in 24 ± 2 hours. This method emphasizes that the prepare sample mortar-bars and calculate expansion rates of them. This method requires constant G values (effective gauge lengths) of denominator in the calculation formula, which are fixed either at 10

inches or 250mm. This study, based on experimental approaches, reexamines the suggestions made by those two prescriptions above and important results are summarized in the following.

1. Not only alkali-aggregate reaction but also interaction of interstitial and gel water are responsible for expansion of mortar-bars. This requires partial modification of the current ASTM C227-90.
2. A mixing ratio by volume rather than by weight of aggregate to cement is recommendable for measuring the amount of expansion resulting from alkali-aggregate reaction and from interstitial water.
3. The method of when to measure initial lengths and how to calculate expansion rate suggested by ASTM C227-90 and C490-93a should partly be modified for more accurate results.

서론

ASTM C227-90(Annual book of ASTM standards, 1995)은 모르타르봉시험에 대한 규정인데 한국산업규격(KS) F2546, L5107(한국표준협회, 1993)의 내용과 거의 동일하다. 이 규정의 내용은 구조물에 사용된 콘크리트와 동일한 골재를 써서 정해진 조건으로 모르타르봉을 제작하여 이의 알카리-골재반응에 의한 팽창정도를 측정함으로써 사용된 골재와 시멘트 조합의 적합성 여부를 판단하는데 목적을 둔다.

ASTM C227-90에서 제시한 모르타르봉시험에 있어서 골재의 배합비, 초기길이 측정시기, 팽창률 계산방법 등에 다소 문제점이 발견됨은 이미 보고된 바 있으나(정지곤, 유신애, 1995) 본 연구에서는 몇가지 실험을 통하여 위에 소개한 문제점을 더욱 명확하게 검토하였다.

위에 소개한 논문에서도 밝힌 바와같이 ASTM의 동 규정은 현실적으로는 사용목적에 적합한 방법임은 명백하나 다양한 비중과 물리적 특성을 갖는 골재들에 의한 팽창정도를 정밀하게 측정하는데는 개선할 점이 있는 것 또한 사실이다.

골재의 배합비 문제

배합비에 대한 ASTM의 규정은 골재의 종류와 무관하게 골재 675g, 시멘트 300g 그리고 물은 105~120(flow치)으로 되어 있다. 만약 필요한 배치가 이 보다 많거나 적으면 위의 비례대로 양을 가감시키는 것으로 해석된다. 본 시험과 관련된 그 밖의 규정은 골재의 입도를 통일시켰으며, 모르타르봉의 성형단계, 숙성단계 및 팽창률 측정시의 온

도와 습도를 각각 명시하였다.

이상의 규정을 검토할 때 본 시험의 변수는 골재의 종류뿐이며 골재의 입도를 통일시킨 것은 반응면적을 포함하여 팽창의 물리적 조건을 같게 하자는데 그 취지를 둔 것으로 판단된다. 골재의 입도를 통일시킨 점은 중요한 의미를 갖는다. 왜냐하면 본 규정의 원래 목적대로 알카리-골재반응의 정도를 모르타르봉의 팽창된 길이로 판단하는 만큼 팽창의 조건을 같게하기 위하여는 반응면적을 통일시켜야 함이 필수적이다.

그러나 본 규정의 내용만으로는 반응면적을 정확하게 통일시킬 수가 없다. 그 이유는 배합비가 무게비로 규정되어 있기 때문이다. 자연산 암석과 광물이 모두 골재로 사용된다면 대전지역에서 흔히 골재로 사용되는 석영반암(비중 2.65)과 비교적 비중이 높은 감람석(비중 3.31)을 들다 675g을 취했을 때 부피는 전자가 후자보다 25%가 크다. 이는 반응면적은 동일하여야 한다는 원칙에 맞지 않는다.

이상 설명한 내용을 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 하였다.

[실험 1] 비중을 달리한 골재에 대한 실험
골재 : 현무암(비중 2.84), 이암(비중 2.70),
안산암(비중 2.63)

기간 : 3개월
알카리도 : 3.0%

비중이 서로 다른 3종의 골재를 선정하였으며 3개월간의 팽창측진실험을 위하여 알카리도를 3.0%로 높은 점 외에는 배합비를 포함하여 모두 ASTM C227-90의 규정에 따랐다. 실험 1의 목적은 비중이 다른 골재를 동일한 무게로 써서 모르타르봉을 제작할때 이의 상대적인 팽창정도를 파악하는 것이다.

[실험 2] 동일한 골재에 함량을 달리한 실험

골재 : 맥석영(비중 2.64)과 섬록암(비중 2.79)

기간 : 3개월

알카리도 : 3.0%

실험조건은 실험 1과 동일하다. 단 본 실험에서는 석영골재를 이용하여 모르타르봉을 2개 제작하였는데 골재의 함량(무게)을 약 20% 달리하였다. 섬록암골재의 경우는 3개의 모르타르봉을 제작하고 골재의 함량(무게)을 각각 10%, 20% 달리하였다. 한 종류의 골재의 배합비를 무게비(ASTM의 규정)로 정한 경우와 부피비로 정한 경우 결국 양자의 차이는 골재의 함량이기 때문에 위와 같이 골재의 함량을 달리하였을 때의 상대적인 팽창정도를 확인하는 것이 실험 2의 목적이다.

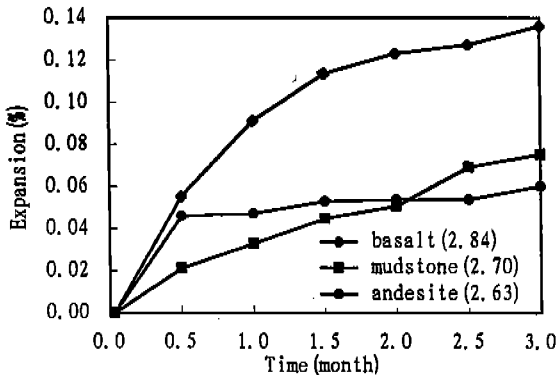


Fig. 1. Comparative expansion rate of mortar-bars checked for 3 months. The weight of aggregate in each mortar-bar is same.

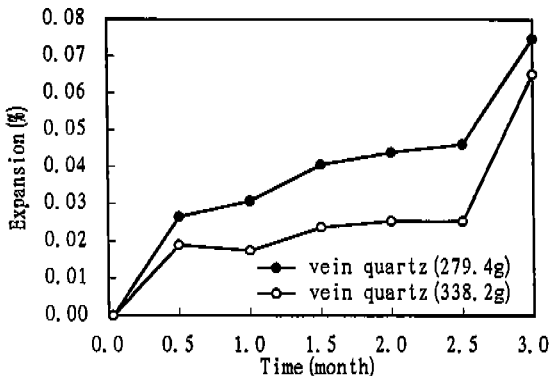


Fig. 2. Comparative expansion rate of mortar-bars checked for 3 months. Quartz aggregate is used for both but the weight of it is different from each other.

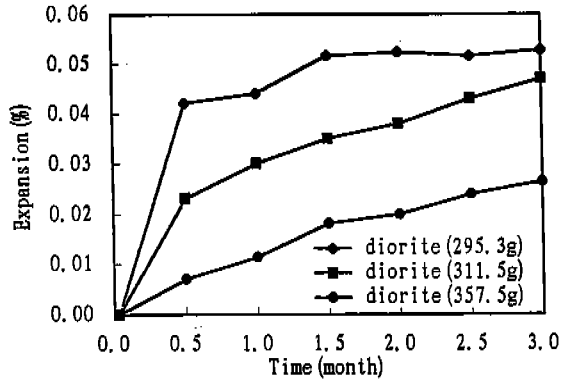


Fig. 3. It is the same experiment as shown in fig.2. All of aggregates used here are diorite.

실험 1의 결과는 그림 1에, 실험 2의 결과는 그림 2와 3에 각각 나타내었다. 그림의 세로에는 팽창률을, 가로에는 양생기간을 나타내었다.

그림 1의 결과는 현무암, 이암 및 안산암골재를 각각 쓴 모르타르봉의 팽창률(%)이 각각 0.136, 0.076, 0.060이 나옴으로서 동일한 무게의 골재를 사용한 경우 비중이 큰 골재의 것이 가장 팽창률이 높고 낮은 비중의 것은 낮은 팽창률을 보인다.

그림 2와 3의 결과는 공통적으로 골재의 함량이 적은 모르타르봉일수록 팽창률이 높다. 맥석영의 경우 골재 338.24g을 사용한 것의 팽창률(%)은 0.065이며 이보다 약 20% 골재를 적게 쓴 것은 0.075이다. 섬록암골재의 모르타르봉은 골재 357.45g을 쓴 것의 팽창률(%)은 0.026, 이보다 10%, 20% 적게 쓴 것의 팽창률(%)은 각각 0.047과 0.053이다.

초기길이 측정시기 문제

모르타르봉의 초기길이 측정시기에 대한 ASTM C 227-90의 내용은 항온항습기에서 숙성시킨 모르타르봉을 24±2시간에 탈형하며 이 때 측정된 길이를 초기길이로 간주하고 있다. 본 규정에는 그러한 측정시기를 정한 이유에 대하여는 언급하지 않았다. 또한 초기길이를 측정하는 목적은 장차 6개월 혹은 12개월 동안 정기적으로 팽창량을 측정할 때 변화량을 알기 위한 가장 초기의 기준값을 정하기 위한 것으로 알고 있다. 이러한 목적이 사실이라면 골재

의 종류에 관계없이 모든 모르타르봉이 24±2시간 대에 가장 수축된 상태이어야 바람직한 결론이 되며 ASTM은 위 시간대에 대해 그런 상태가 됨을 암시하고 있다.

이를 검증하기 위하여는 배치의 성형 후 24±2시간이 경과되었을 때 모르타르봉의 상태를 검토할 필요가 있다. 이를 위하여 성형후 7시간만에 탈형하여 36시간까지 모르타르봉의 길이변화를 측정한 결과를 가지고 검토하고자 한다(그림 4). 사용된 골재는 백석영이다. 잘 알려져 있는 바와같이 시멘트의 수화과정은 유동성 시멘트풀(IS까지) - 초결(IS) - 종결(FS)을 거치며 종결 이후는 경화단계(HP기간)가 된다.

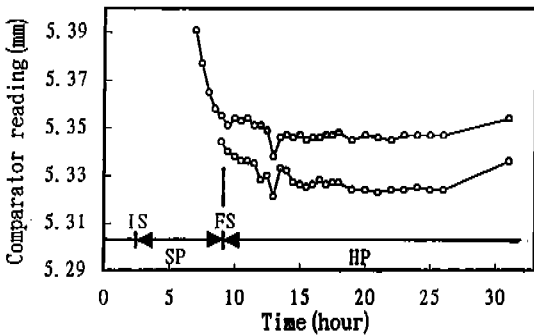


Fig. 4. The length change of initial shrinkage period of mortar-bar consisted of vein quartz aggregate. IS : Initial setting FS : final setting SP : setting period HP : hardening period

모르타르봉의 탈형후 그림 4에서 보인 시간대에서의 길이변화는 급격한 수축(FS까지) - 완만한 수축 - 완만한 팽창으로 이어지는데 수축의 원인은 시멘트의 수화에 있고 팽창의 원인은 수화생성물(겔) 사이에 흡수된 겔수에 의한 것이다(Locher와 Richartz, 197 5). 시멘트풀이 수화반응을 일으키면 전체부피의 11%가 감소된다(윤재환, 1989). 따라서 수축과 팽창은 수화작용과 겔의 흡수작용 중 강도가 더 큰 것에 좌우된다고 볼 수 있다. 급격한 수축은 종결단계에서 끝나며 그 후 완만한 수축으로 이어지다가 완만한 팽창으로 전이되는데 양자의 분기점이 모르타르봉의 최대수축시기 및 길이가 될 것으로 보인다. ASTM에서는 이 시점을 24±2시간

으로 간주하고 있으나 골재의 종류나 물/시멘트비에 따라 그 시점은 반드시 일치하지 않을 것으로 보고 다음과 같은 실험을 실시하였다.

[실험 3] 모르타르봉의 최대수축시기에 대한 실험
골재 : 암석(이암, 실트암, 응회암, 화강암, 반려암, 현무암, 편마암, 천매암)
광물(정장석, 방해석, 백석영)

골재의 선정은 입도, 엽리, 공극, 쪼개짐, 흡수율 등 물리적 특성이 다양한 점을 고려하였다.

기간 : 흐름시험이 끝나는 시점으로 부터 7~44 시간

ASTM의 규정 24±2시간은 성형 이후의 경과시간을 말하나 본 연구에서는 흐름시험이 끝나고 이를 성형틀에 넣을 때까지 10분~15분의 시간차가 있기 때문에 이 오차를 줄이기 위하여 후자의 시점

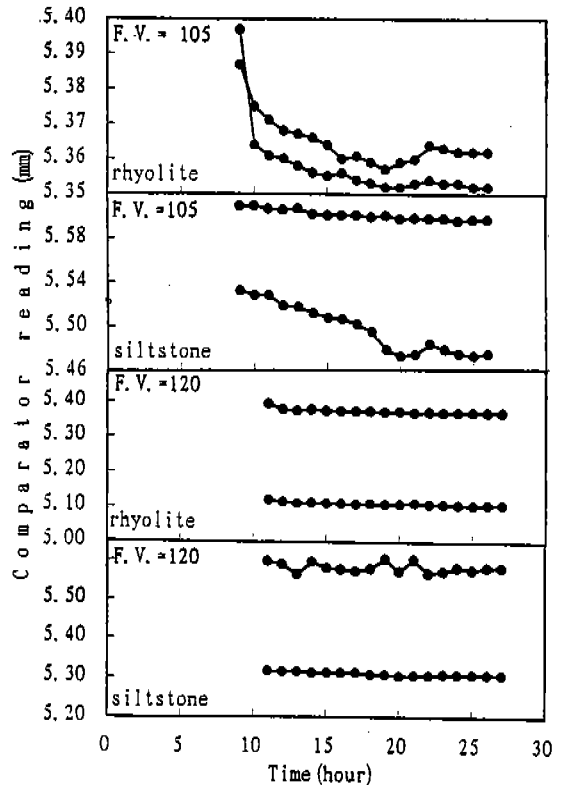


Fig. 5. Determination of the initial shrinkage pattern for the two different flow values. Aggregates consist of rhyolite and siltstone.

실험적 연구에 의한 현행 모르타르봉 시험법 (ASTM C227-90)의 검토

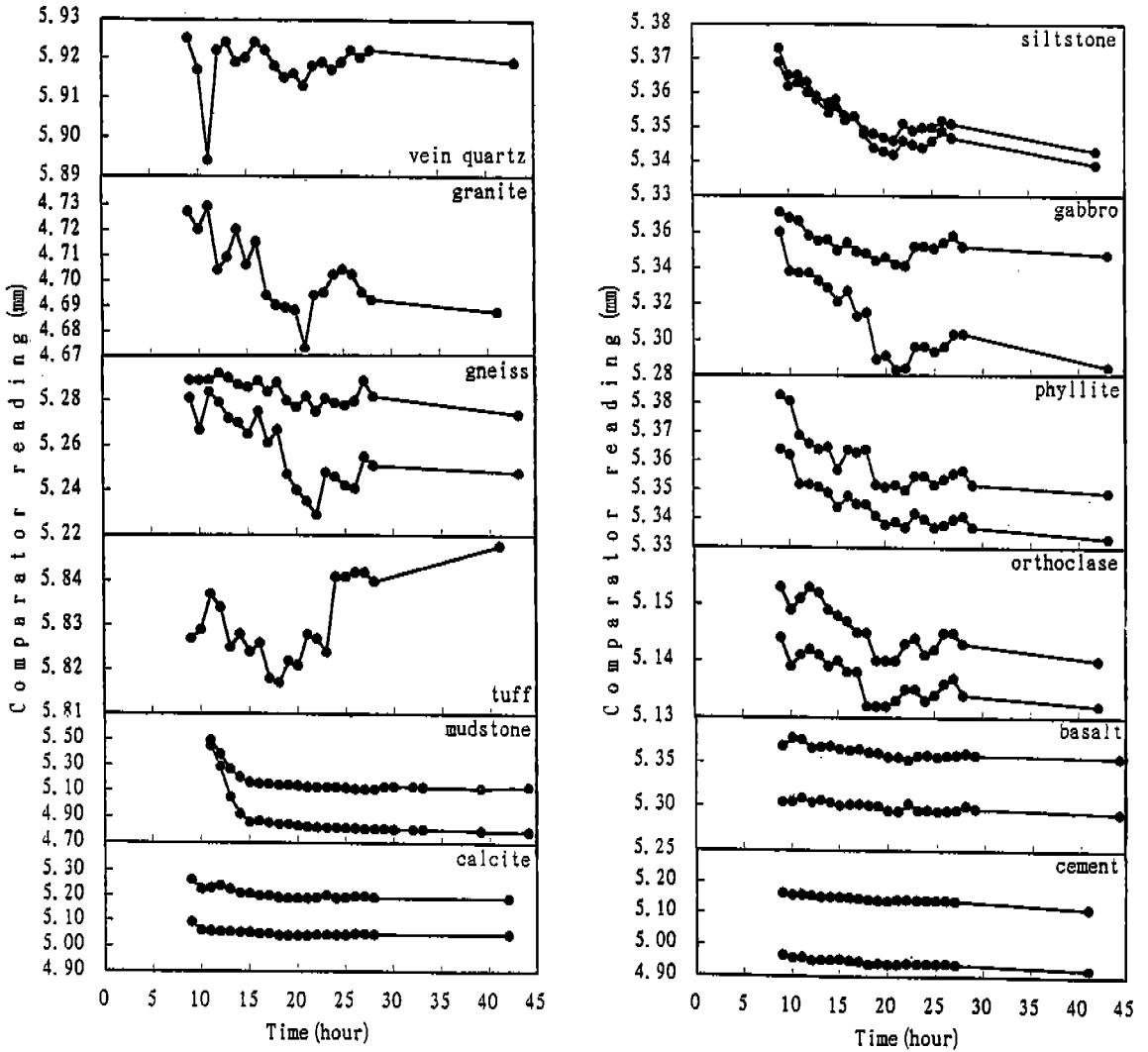


Fig. 6. Determination of the maximum initial shrinkage and the point of time. All of the batches have same flow value of 112.5 and the aggregate of each mortar-bar is shown in the figure.

으로 시간을 정하였다.

알카리도 : 1.2%

flow치 : 112.5

실험 3을 실시하기 전에 이 실험을 위한 예비실험을 하였는데 그 목적은 초기 탈형에 의한 모르타르봉의 파손 여부와 flow치에 의한 영향을 확인하기 위함이다. 후자에 의한 영향을 확인하기 위하여 ASTM에서 규정한 최저 flow치(105)와 최대 flow

치(120)로 각각 모르타르봉을 제작하였다. 예비실험에는 흡수성이 미약한 유문암과 대단히 높은 실트암을 선정하였다.

예비실험의 결과로서 위에 소개한 실험기간(7~44시간)을 정하였으며 flow치에 의한 영향(그림 5)은 최저 및 최고 flow치에 따라 모르타르봉의 길이 변화의 양상에 확실한 차이를 나타내기 때문에 이의 영향을 배제하기 위하여 본 실험에서는 양자의

평균값인 112.5로서 모든 배치를 만들었다.

실험 3에 의한 결과는 그림 6에 나타내었다.

그림 6에서 동일한 골재로 제작된 2개의 몰탈바의 최초 측정길이가 실트암과 이암을 제외하고는 대부분 일치하지 않는데 이 길이차는 모르타르봉 제작물의 길이차로 부터 연유된 것이다. 그러나 모르타르봉 별로 초기수축길이를 기준으로 팽창률을 계산하면 이의 문제는 해소된다. 그림의 세로에 표시된 숫자는 길이비교측정치이다. 초기최대 수축길이와 수축시점에 대한 실험결과는 아래와 같이 요약된다.

첫째, 24±2시간을 최대수축시점으로 간주할 수 있는 것. 이암, 방해석, 현무암이 이에 속한다. 모르타르봉의 길이변화 양상은 10~15시간까지 일단 수축된 이후에 거의 변화가 없는 것이 공통점이다.

둘째, 24±2시간 전에 최대수축을 보이는 것. 반려암, 맥석영, 응회암, 실트암, 화강암, 천매암, 편마암, 정장석이 이에 속한다. 최대수축시점은 11시간(맥석영)으로 부터 21시간(반려암, 실트암, 화강암) 사이에 고루 분포되어 있다. 이들의 길이변화 양상은 일단 급격한 수축 이후 완만한 수축과 팽창으로 이어지는데 그 사이에서도 소폭으로 수축과 팽창을 번갈아 일으킨다. 이와같은 양상의 모르타르봉 중에는 24±2시간에 최대수축을 나타내는 것은 본 연구에 사용된 골재 중에는 없다.

셋째, 24±2시간 이후에도 계속 수축되는 것. 반려암, 실트암, 천매암이 이에 속한다. 반려암과 실트암 골재의 경우는 21시간을 전후하여 최대수축길이를 보이다가 27~28시간까지 팽창되며 43시간에 측정된 길이는 다시 수축된 양상을 보인다. 천매암 골재의 경우는 소폭의 수축과 팽창에 의한 하향곡선을 그리다가 43시간에 측정된 값 역시 더욱 수축된 결과를 보인다. 28시간 이후 43시간 사이는 모르타르봉의 길이를 측정할 바 없다.

이 밖에 골재없이 시멘트풀만에 의한 모르타르봉은 측정을 시작한 7시간 이후 거의 길이변화를 보이지 않는다. 앞에 소개한 첫번째 특징에서와 마찬가지로 시멘트풀은 다른 어떤 골재의 모르타르봉보다 가장 먼저 수축이 시작되었을 것으로 보이며 7시간 이후에는 수화작용과 겔수의 작용이 균형을 이룬 상태가 된 것으로 본다.

팽창률 계산에 대한 문제

ASTM C490-93a(Annual book of ASTM standards, 1995)에 의하면 모르타르봉의 팽창률 계산은 아래의 공식에 따라 0.001%까지 계산하되 보고서에는 0.01%까지 표기하며 길이비교측정기의 정밀도는 0.002mm 이내이어야 된다.

$$L = (L_x - L_i) \times 100 / G \quad \dots\dots (1)$$

$$L = (L_x - L'_i) \times 100 / G' \quad \dots\dots (2)$$

L : 기간 x에서의 팽창률

L_x : 기간 x에서의 길이비교측정치

L_i : 초기길이의 길이비교측정치 (ASTM C 227-90에서 정한 시기의 측정 값)

L'_i : 초기 최대수축길이의 길이비교측정치(본 연구에서 정한 시기의 측정 값)

G : 10" 혹은 250mm로 고정 (ASTM C 490-93a에서 정한 유효표점거리)

G' : L'_i의 값을 보일 때의 모르타르봉의 유효표점거리(본 연구에서 정한 거리)

ASTM에 의한 공식(1)에서 문제가 되는 것은 L_i와 G값인데 전자는 앞에서 이미 논한바 있다. G값에서 10"를 SI단위로 전환한 254mm 대신에 250mm로 규정한 이유는 처음부터 그 값으로 모르타르봉을 제작함으로써 계산의 복잡성을 배제시키는 목적이외에 다른 의미는 없는 것으로 보인다. 유효표점거리 G는 정의에 의하면 모르타르봉의 길이(11.25")에서 양 끝에 있는 측정침이 묻힌 부분의 길이의 합(1.25")을 뺀 것이다. 동시에 이 길이는 모르타르봉 제작물의 설계(ASTM C490-93a)에 나온 값으로서 유동성 시멘트풀일 때의 길이를 의미한다.

앞에서 설명한 바와같이 모든 모르타르봉은 종결 및 경화단계에 이르러 수축하게 되는데 팽창률 계산에 있어서 수축하기 전의 유효표점거리 G값을 분모로 쓸 것이냐 아니면 최대수축시점의 유효표점거리 G'를 분모로 쓸 것이냐 하는 문제가 있다. G'를 공식 1의 분모로 씀이 타당한 이유는 정지곤·유신애(1995)의 논문에 상세히 설명되어 있으므로 생략하고 여기에서는 앞에 소개한 실험에서 24±2시간에 최대수축길이를 나타내지 않는 모르타르봉의 실험결과만을 이용하여 본 연구에서 제안한 공

식 2에 적용한 값과 기존의 공식 1에 적용한 값의 차이를 소개한다(표1). 계산에 필요한 값 L_i , L_i' 및 G' 는 그림 6에서 구하였는데 L_i 는 정확히 24시간 경과후 측정된 값으로 동일하였다. L_x 는 6개월 동안 팽창실험한 모르타르봉의 팽창실험(유신애, 1997)을 이용하여 두 공식에 동일하게 적용하였으며 공식 1과 2에 의하여 계산된 팽창률을 각각 L_1 과 L_2 로 나타내었다.

표 1을 검토하면 L_i 와 L_i' 그리고 G 와 G' 의 차이에 따라 팽창률은 0.001~0.012%까지 변한다. 앞에

Table 1. Comparison of the expansion rates (L_1 , L_2) calculated by the equations 1 and 2 respectively.

A	L_x (mm)	L_i (mm)	L_1 (%)	L_i' (mm)	G' (mm)	L_2 (%)	L_1-L_2 (%)
1	6.476	5.912	0.222	5.889	254.445	0.231	-0.009
2	5.375	5.141	0.092	5.140	253.696	0.093	-0.001
3	4.786	4.702	0.033	4.673	253.229	0.045	-0.012
4	5.290	5.226	0.025	5.213	253.769	0.030	-0.005
5	5.396	5.344	0.020	5.342	253.898	0.021	-0.001
6	5.964	5.841	0.048	5.817	253.373	0.058	-0.010
7	5.500	5.355	0.057	5.349	253.905	0.059	-0.002
8	5.337	5.216	0.048	5.199	253.755	0.054	-0.006

L_x : data from Yoo, Shin-Ae(1997) A:aggregate
1.vein quartz 2.orthoclase 3.granite 4.gabbro 5.sil-tstone 6.tuff 7.phyllite 8.gneiss
The abbreviations except L_1 and L_2 are same as shown in the explanation of equation 1.

서 소개한 ASTM의 규정을 상기할 때 L_1 과 L_2 값의 차이는 간과할 만한 값은 아닌 것으로 생각된다. 두 팽창률의 차이는 실제로 유효표점거리 보다는 모르 타르봉의 초기길이의 차이에 기인되고 있다.

고 찰

1. 골재의 배합비 문제

실험 1과 2는 공통적으로 골재의 부피함량을 달리한 실험인데 이는 골재의 배합비를 무게비로 고정시킨 경우 필연적으로 직면하는 문제이기 때문이다. 두 실험의 결과는 모두 상대적으로 골재가 적게 함유된 모르타르봉이 높은 팽창률을 보인다. 바

꾸어 말하면 비중이 큰 광물일 수록, 큰 팽창률을 보인 셈인데 비중이 크면 골재의 무게를 통일시킨 경우 부피로 환산한 골재의 함량이 적어진다. 따라서 반응면적도 작아지기 때문에 팽창률도 낮아야 되는데 결과는 반대이다.

이와같은 결과는 모르타르봉을 팽창시킨 요인이 알칼리-골재반응 뿐만은 아님을 의미하며 이를 설명하기 위하여 모르타르봉을 팽창시키는 요인을 검토할 필요가 있다.

1) 알칼리-골재반응과 모르타르봉의 팽창

이 반응이 모르타르봉의 팽창의 원인이 됨은 잘 알려진 사실이나 이 반응만이 팽창의 원인인가를 확인하기 위하여 9가지 조암광물에 대한 반응정도와 팽창축진실험에 의한 팽창률(유신애, 1997)을 비교하였다(표 2). 반응정도는 6개월간 온도 38℃, 알칼리도 3.0%의 수용액에 수중 저장시킨 젤렛을 박편으로 만들어 편광현미경 아래에서 관찰하고 골재 입자 전체에 대한 반응부분을 모달(modal)분석에 의한 백분률로 나타내었다.

Table 2. Comparison of the alkali-aggregate reaction with the expansion of mortar-bar.

Aggregate	Reaction (%)	Expansion (%)	Note
orthoclase	75.00	0.086	
Ca-plagioclase	72.36	0.101	★
vein quartz	67.85	0.173	★
crystal quartz	55.12	0.143	★
hornblende	47.69	0.112	★
pyroxene	44.25	0.079	
calcite	37.12	0.053	
olivine	26.78	0.066	
biotite	16.58	0.178	★
muscovite	10.00	0.215	★

★ : Expansion > 0.1%. Data from Yoo, Shin-Ae (1997)

비교란의 별표는 모르타르봉의 팽창률이 0.1% 이상되는 것을 표시하였는데 반응면적의 정도와 별표의 위치는 일치하지 않음을 알 수 있다. 운모류

는 실험에 사용된 골재 중에서 가장 낮은 반응에 가장 높은 팽창률을 보이는데 이 결과는 그림 7로서 잘 설명된다. 따라서 이 표가 의미하는 바는 알카리-골재반응 이외에 팽창에 관여된 다른 요인이 있음을 말한다.

2) 골재자체의 물리적 특성과 모르타르봉의 팽창 물리적 특성은 주로 미세한 총리면, 엽리, 벽개, 공극 등을 말하는데 이런 곳에 물이 침투하여 골재 자체를 물리적으로 팽창시킬 수 있다. 이를 확인하기 위하여 암석골재 8개와 광물골재 4개를 1cm×1cm×3cm 크기의 압편으로 만들어 100℃에서 14일 동안 건조시켜 절건상태로 만든 후 50℃의 수중에서 17일 동안 포화시켜 이의 팽창률을 측정하였다(그림 7). 압편의 제작은 가능한 구조적 약선과 직각이 되도록 절단하였다.

그림에서 보는 바와같이 광물압편의 경우 벽개와 같은 결정구조에 따라(예 : 흑운모, 백운모), 암석 압편의 경우 총리나 엽리의 발달정도에 따라(예 : 점판암, 천매암, 세일 등) 물리적 팽창률에 큰 차이를 보인다. 본 실험은 압편이 실제 골재로 쓰일 때의 팽창률을 실험한 것은 아니기 때문에 모르타르봉 내에서 압편의 팽창에 대한 정확한 효과는 알 수 없으나 이 현상 역시 모르타르봉의 팽창에 관여할 것임은 명백하다.

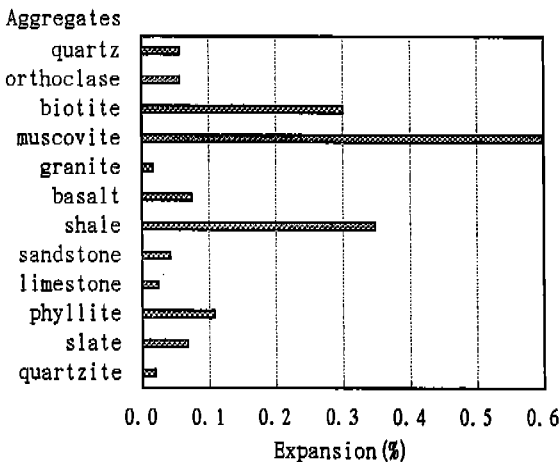


Fig. 7. Physical expansion rates of rock and mineral samples under wet condition.

미세한 젤입자 사이에 충전되어 젤의 부피를 증대시키는 물을 젤수(gel water)라고 정의되어 있다. 그러나 앞에 소개한 물은 젤수와는 성격이 다르기 때문에 이를 간극수(interstitial water)로 정의하고자 한다. 간극수는 모세관수(capillary water)와는 달리 콘크리트의 팽창에 관여된다.

3) 시멘트풀의 팽창

시멘트풀의 팽창에 의하여 결과적으로 모르타르봉이 팽창된은 앞의 실험 중에서 동일한 골재의 양을 달리하여 제작한 모르타르봉의 팽창률실험에서 확인한 바 있다. 즉 골재의 양이 적을 수록, 다시 말해서 시멘트풀의 양이 많을 수록 팽창률이 큰 결과를 보였다. 이는 알카리-골재반응이 팽창반응일 경우 반응에 의한 팽창보다 시멘트풀에 의한 팽창 효과가 더 컸음을 의미한다.

시멘트풀에 관여한 물은 수화물(젤)을 형성시킨 화학적 결합수와 젤의 입자 사이를 충전한 젤수로 나눌 수 있으며 전자는 수축을, 후자는 팽창을 야기시키나 결과적으로 팽창의 효과가 더 큼을 알 수 있다.

이상 설명한 바와같이 골재의 배합비를 무게비로 하는 경우 알카리-골재반응과는 전혀 무관한 요인에 의한 반응결과가 나왔다. 그 이유는 골재에 따라 반응면적이 다르기 때문에 다른 요인이 팽창에 더 큰 영향을 주었기 때문이다. 만약 골재의 배합비를 부피비로 한다면 골재의 비중에 관계없이, 다시 말해서 골재의 종류에 관계없이 반응면적과 시멘트의 함량이 통일되기 때문에 골재자체와 관련된 팽창요인 즉 알카리-골재반응과 간극수에 의한 팽창을 골재의 종류에 따라 비교할 수 있게된다. 간극수에 의한 팽창은 엄밀히 말해 알카리-골재반응과는 다르나 적어도 이 방법이 ASTM C227-90의 취지에 더 부합된다.

2 초기길이 측정시기와 팽창률 계산에 대한 문제

측정된 초기길이는 팽창률 계산에 반영된다. 따라서 초기길이 측정시기에 대한 문제는 팽창률 계산에 대한 정밀도를 어디에 두느냐에 따라 좌우될 것으로 보인다. ASTM의 규정대로 측정시기를 24 ± 2시간에 측정하여 팽창률을 구할 수도 있고 더욱

정밀한 팽창률을 알기 위하여는 모르타르봉 별로 최대 수축된 시점을 찾아 그 때의 값으로 계산할 수도 있다. 팽창률 계산방법에 있어서도 위와 동일한 맥락에서 생각할 수 있다. 표 1에서 소개한 오차의 범위는 큰 문제가 되지 않는다면 목적에 따라서 ASTM에 따라 시행할 수 있다.

팽창률계산에서 납득이 되지 않는 점은 공식의 분모값을 10" 혹은 250mm(유효표점거리)로 고정할 점이다. 이 값은 모르타르봉을 제작하기 위한 틀의 길이로서 모르타르봉이 유통성시멘트풀일 때의 길이이다. 이 길이는 장차 틀림없이 수축되어 짧아질 것이기 때문이다. 일반적으로 팽창률은 가장 수축된 길이를 기준으로 그로부터 팽창된 값을 백분율로 표시할 것으로 생각된다. 유효표점거리를 기준으로 계산한 이유는 실무상 필요에 의한 것으로 본다. 즉, 콘크리트 구조물에서 올 수 있는 어떤 특수성이 개재되어 있는 것으로 생각할 수도 있으나 본 연구와 같이 정확성을 필요로 하는 용도로는 적합하지 않은 것으로 본다.

결 언

1. ASTM C227-90에서 설명한 모르타르봉의 팽창 원인은 알카리-골재반응에 의한 것만이 아니기 때문에 수정이 필요하다. 알카리-골재반응에 의한 팽창량만을 알기 위하여는 그러한 실험으로 가능하지 않다.
2. 알카리-골재반응과 간극수에 의한 팽창량의 합을 알기 위하여는 골재와 시멘트의 배합비를 부피비로 제시하면 가능하다.
3. ASTM C227-90과 ASTM C490-93a에서 제시한 모르타르봉의 초기길이 측정시기와 팽창률 계산 방법은 더욱 정밀한 계산결과를 얻기 위하여 부분적인 수정이 필요하다.

사 사

본 연구는 1996년도 문교부 학술조성연구비(과제 번호 BSRI-96-5418)에 의하여 수행되었음을 밝힌다.

참 고 문 헌

- 정지곤·유신애, 1995, 한반도 중부권 지각물질의 구조와 물성연구 : 콘크리트 공시체에 의한 표준 시험 규정에 대하여, 대한지질공학회지, 5(2), p. 193-200.
- 유신애, 1997, 조암광물 골재를 사용한 몰탈바의 팽창률 해석, '97 충남대학교 대학원 논문집.
- 윤재환, 1989, 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, 세진사, p.84.
- 한국산업규격(KS) L5107, 1981, 한국공업규격집, 한국공업표준협회.
- 한국산업규격(KS) F2546, 1982, 한국공업규격집, 한국공업표준협회.
- ASTM C227-90, 1995, Annual book of ASTM standards, American Society for Testing and Materials, section 4, vol. 04. 02. p.129-133.
- ASTM C490-93a, 1995, Annual book of ASTM standards, American Society for Testing and Materials, section 4, vol. 04. 02. p.249- 253.
- Locher, F. W. and Richartz, W., 1975, Portland cement paste and concrete. p.54.

정지곤, 유신애, 황형중
 충남대학교 자연과학대학 지질학과
 대전광역시 유성구 궁동 220
 TEL : (042) 821-6424
 FAX : (042) 822-9690

이동영
 한국자원연구소 지질연구부
 대전광역시 유성구 가동동 30
 TEL : (042) 868-3055