

초기양생조건이 피로를 받은 모르터의 세공구조와 중성화의 변화에 미치는 영향

Effect of Curing Condition in Early Age on Variation of Pore Structure and Carbonation of Fatigued Mortar

전진환* 田中 享二** 남재현***
Jeon, Jin-hwan Tanaka Kyoji Nam, Jae-hyun

ABSTRACT

This paper was studied to effects of fatigue by low flexural load on micro structures and carbonation of mortar. Mortar specimens cured at various conditions were first subjected to bending repeated loads, and it was made clear that insufficient cure reduced fatigue resistance of them. Next, fatigue tests that the stress levels are lower than the ones of fatigue rupture were carried out. The effect of curing conditions in early age on carbonation was furthermore studied using the scale, and it was made clear that insufficient cure is also susceptible to carbonation of them. Finally, the reason for rapid carbonation of fatigued mortars insufficiently cured was discussed from the view point of changes in pore structure of them.

1. 서론

피로에 대한 기존의 연구 대부분이 주로 피로파괴에 대한 역학적 피로한계의 규명에 대하여 연구되어져 왔다. 그러나, 실제 구조물은 역학적으로 충분한 여유를 가지도록 설계되고 있고, 피로를 받을 경우에도 역학적 파괴를 일으킬 정도의 큰 하중보다는 저응력 수준에서의 피로를 받는 경우가 대부분이다. 그러나, 이러한 구조적인 손상을 입지 않을 정도의 하중범위에서도 장기간에 걸쳐 지속적인 피로하중을 받게 되면 콘크리트의 미세한 구조수준에서의 손상이 발생하여 결국 파괴에 이르게 된다. 따라서, 이렇게 축적된 피로의 손상에 대한 정도를 파악하기 위해 피로를 받은 재료의 물성변화를 검토할 필요성이 있다고 사료된다. 이와 관련하여 초기재령에서 충분한 양생을 행한 경우에 피로를 받게 되면 피로를 받지 않은 건전한 시험체보다 재료의 내부조직이 변화하게 되어 손상을 받기 쉽게 된다는 것과 이러한 변화에 의해 중성화와 같은 내구성의 저하를 가져올 수 있다는 것을 일련의 연구를 통해 검토한 바 있다¹⁾. 그러나, 실제 건설현장의 경우 시공기간과 시공환경 등의 제약에 의해 충분한 양생

* 정회원, 동경공업대학 대학원 박사과정

** 동경공업대학 교수, 공학박사

*** 정회원, 대전대학교 건축공학과 교수, 공학박사

을 행하지 못하고 있는 실정을 감안하여 볼 때, 초기 재령에서 충분한 양생을 행하지 못한 경우에 피로를 받을 경우 그 손상의 정도가 높아지리라 생각된다.

따라서, 본 연구는 피로파괴를 일으키지 않는 범위에서의 피로축척에 따른 내구성의 저하에 대하여 피로를 주기 전 초기양생조건이 어떤 영향을 미치는가를 검토하였다. 우선, 초기양생 조건이 서로 다른 모르터 시험체를 이용하여 소정의 하중수준에서 피로파괴까지의 반복횟수를 파악하여 피로파괴 곡선을 구하였다. 또한, 피로파괴를 일으키지 않는 범위에서의 피로시험을 행한 후, 피로에 따른 시험체 내부의 세공구조의 변화와 이에 따른 중성화속도의 변화에 관하여 파악·검토하였다.

2. 실험개요

2.1 배합 및 양생조건

본 실험에서 사용한 모르터의 배합은 표 1에 나타낸 바와 같이 물시멘트비 60%로 정하고, 10×10×40cm의 각주형 시험체를 제작하였다. 양생방법은 탈형 후, 4수준의 양생을 행하였다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 건설현장의 조건을 고려하여 수중 1일, 봉함 7일, 수중 1개월과 수중 3개월 동안 양생을 행한 후, 온도 20℃, 상대습도 60%에서 1개월 간 기건양생을 시켰다. 그런 다음 각 양생조건별 휨 강도시험 및 피로시험을 하였다.

2.2 휨 강도시험

소정의 양생기간 후 피로시험의 하중수준을 결정하기 위해 JIS A 1106의 3등분점 재하법에 의해 정적 휨 강도시험을 행하였다. 휨 강도 시험결과 수중 1일 후 기건양생의 시험체는 4.03N/mm², 봉함양생 후 기건양생의 시험체는 4.36N/mm², 수중양생 1개월 후 기건양생 1개월의 시험체는 5.11N/mm², 수중양생 3개월 후 기건양생 1개월의 시험체는 6.14N/mm²의 결과를 얻었다.

3. 파괴까지의 피로시험

3.1 실험개요

피로하중수준과 반복횟수와의 관계를 파악하기 위해 3등분점 재하법으로 피로파괴시험을 행하였다. 하중수준은 정적 휨 강도에 대하여 80, 70, 60%의 3 수준으로 정하고, 유압제어형 피로시험기를 사용하여 주파수 10Hz로 실험을 행하였다. 피로 실험장치를 사진1에 나타냈다.

3.2 피로파괴 시험결과

표1. 모르터의 배합 및 물성

Specimen	W/C %	C:S	Unit weight, kg/m ³			Slump (Flow)	Air %
			W	C	S		
Mortar	60	1:3.7	250	417	1544	21.0	4.5

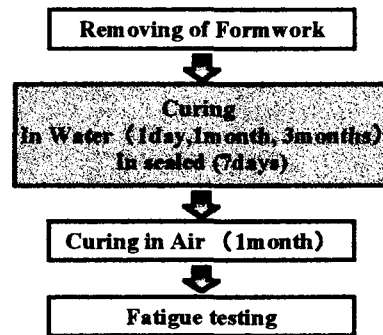


그림1 시험체의 양생조건 및 과정

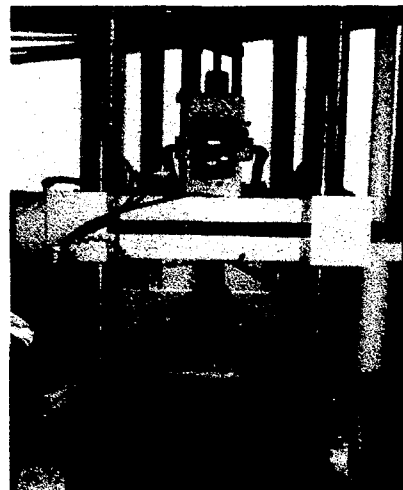


사진1 피로시험장치

피로파괴 실험결과 하중수준이 감소함에 따라 피로파괴까지의 반복횟수는 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 피로파괴 실험결과를 기존 피로연구에서 사용하고 있는 지수관계 수식을 이용한 곡선 식을 다음 (1)식과 같이 제안 가능했다.

$$\sigma/f = 1 - a(\log N)^b \quad (1)$$

여기서, σ :힘응력(N/mm), f :최대 힘응력(N/mm), N :반복횟수, a, b :계수.
이 식을 이용하여 각 초기양생조건에 적용한 결과를 그림2에 나타내었다.

표2. 하중수준과 반복횟수의 조건

Stress level σ/f	Number of cycle ($\times 10^6$)		
	10^3	10^5	10^7
0.2	○	○	○
0.5	○	○	○
0.8	○	-	-

3.3 피로조건 설정

피로파괴가 일어나지 않는 범위에서의 피로손상의 정도를 파악하기 위해 표2에 나타낸 바와 같이 피로시험을 행하였다. 3등분 힘재하시험에 의해 부하응력 수준을 정적 힘강도에 대하여 0.2, 0.5, 0.8의 3단계로 정하였고 반복횟수는 1000회, 10만회, 1000만회까지의 범위를 정하였다. 소정의 실험 후 각 시험체에 대하여 세공구조의 분포 및 축진 중성화 시험을 행하였다.

4. 피로를 받은 시험체의 세공구조변화 및 중성화시험

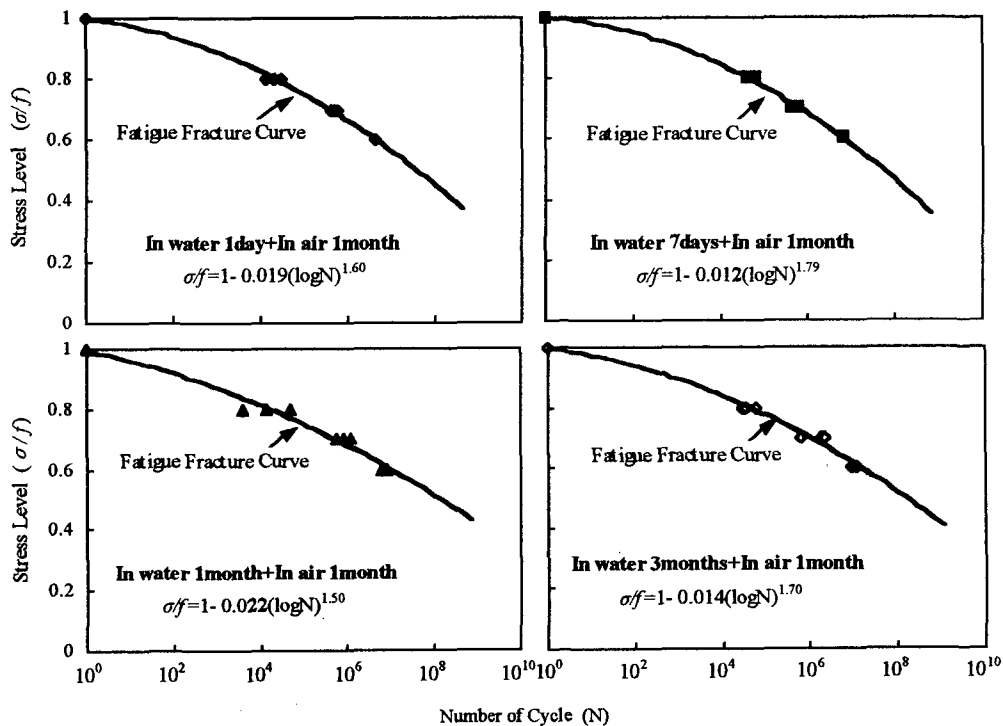


그림2 피로파괴곡선 및 제안식

4.1 세공구조의 측정 및 결과

피로가 시험체의 내부조직 변화에 미치는 영향을 파악하기 위해, 각 양생조건별 소정의 피로시험을 행한 후 세공구조의 분포를 측정하였다. 세공구조를 위한 시료의 채취는 그림3과 같이 소정의 피로를 받은 시험체에서 최대 인장응력을 받았다고 생각되어지는 시험체의 하부 표면으로부터 5~15mm 부분의 사이에서 시료를 채취했다. 또한, 피로를 받지 않은 건전한 시험체로부터 시료를 채취하였다. 시료채취 부분 중 표면부를 제외한 후 세공구조를 측정하였다.

세공구조 측정은 수은 압입식 포로시미터를 사용하여 모세관보다 작은 영역 0.003~0.01 μm , 모세관영역 0.01~10 μm , 모세관보다 큰 영역 10~400 μm 의 세공직경으로 구분하여 고찰하였다. 세공구조의 결과를 그림4에 나타내었다. 그림4에서 알 수 있듯이

각각 양생조건별 피로를 받은 시험체가 건전한 시험체에 비해 세공량이 증가한 경향을 보였다. 특히, 피로에 의해 투수 및 투기성과 밀접한 관련이 있는 세공직경 0.01~10 μm 의 세공량이 증가한다는 것을 알 수 있었다.

양생조건에 따른 영향을 보면, 양생이 불충분할수록 전체 세공용적이 크게 증가한 것으로 나타났고, 모세관영역의 용적도 크게 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 충분한 양생이 이루어질수록 모세관영역의 세공량은 감소하고 모세관영역보다 작은 영역의 세공량이 증가함으로써 조직이 치밀해지는 것을 알 수 있었다.

4.2 증성화시험 및 결과

각 양생조건별 피로가 증성화속도의 진행에 미치는 영향을 조사할 목적으로 그

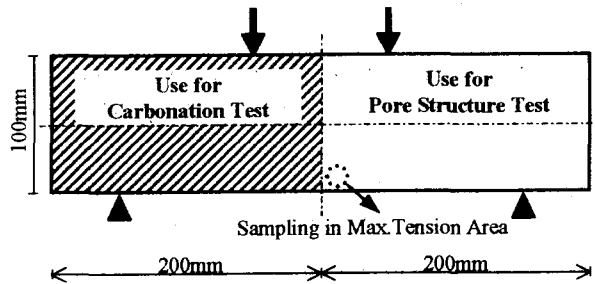


그림3 세공구조 및 증성화시험을 위한 시료채취위치

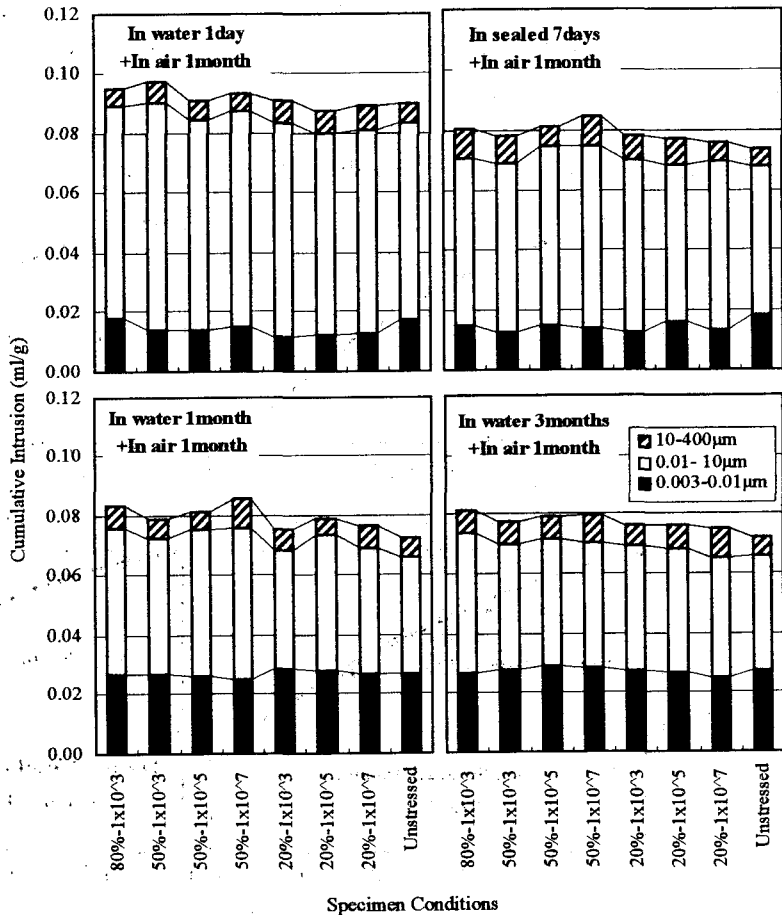


그림4 각 양생조건별 세공구조 분포의 결과

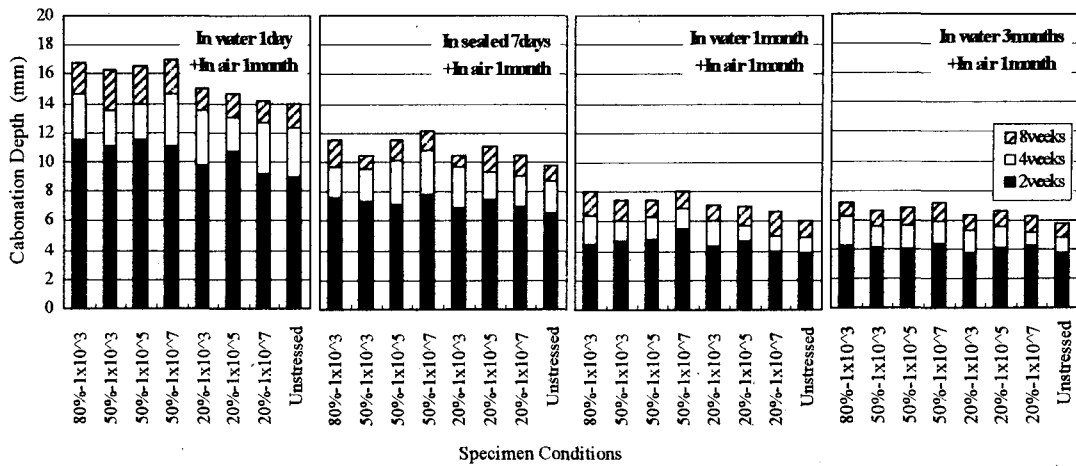


그림5 각 양생조건별 중성화시험 결과

림3에 나타난 소정의 피로를 받은 시험체에서 최대 인장응력을 받았다고 생각되어지는 부분의 중성화깊이를 측정하였다. 측진 중성화시험(탄산가스농도10%, 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 5\%$)을 2개월간 행한후, 중성화 깊이를 페놀프탈레인법에 의해 측정하였다.

중성화시험 결과를 그림 5에 나타내었다. 피로를 받지 않은 건전한 시험체와 비교해보면 피로를 받은 시험체가 중성화 속도가 증가하는 경향을 보이고 있다. 중성화측진 시간과 중성화 깊이와의 관계를 정량적으로 평가하기 위해 재령 2.4. 8주의 측정결과를 이용하여 중성화 속도 계수를 구하였다.

4.3 세공구조와 중성화의 관계

내구성의 관점에서 볼 경우 중성화가 어떤 세공영역의 영향을 강하게 받고 있는지를 검토하였다.

각 세공용적 구간별 세공량과 중성화 속도와의 관계를 그림6에 나타내었다. 세공용적별로 보면 모세관 영역의 세공량과 중성화속도와의 상관관계가 상당히 높게 나타나 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다. 그러므로, 불충분한 양생 및 피로의 영향에 의한 중성화의 상승은 모세관 영역에서의 공극 증가에 기인한다고 사료된다.

모세관보다 작은 영역에서는 상관관계가 부(-)

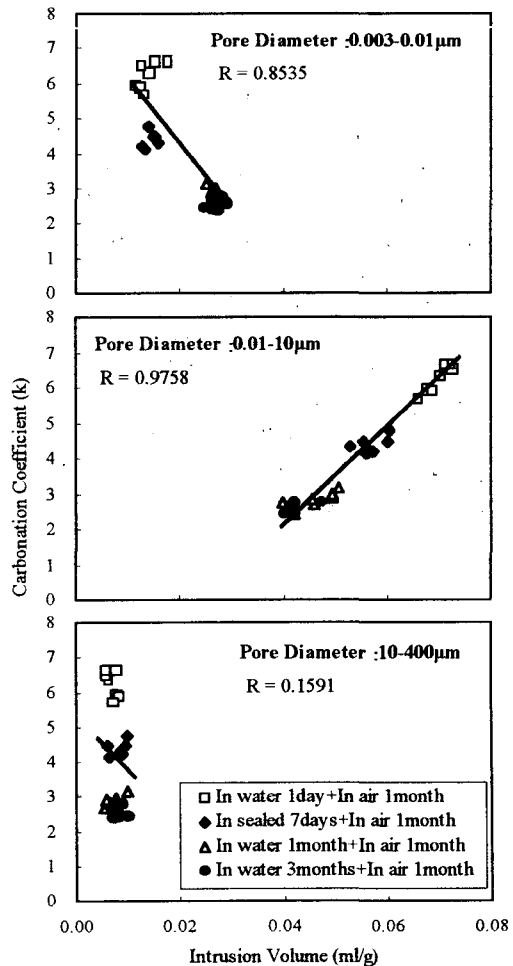


그림6 세공량과 중성화속도 계수와의 관계

로 나타나고 있는데 이것은 양생이 충분해짐에 따라 조직이 치밀화되어 중성화 진행이 저하하는 것으로 생각된다. 또한 모세관보다 큰 영역에 관해서는 세공량과 중성화와의 관계가 거의 없는데, 이 영역의 세공은 중성화에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는, 내구성측면에서 초기양생조건에 따라 피로가 미치는 영향을 조사한 것으로 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 초기양생조건에 따라 피로에 대한 영향이 현저하게 나타났는데, 초기양생이 충분하지 않을수록 피로의 영향이 큰 것으로 나타났다.

(2) 피로를 받을수록 모세관영역의 세공량(0.01~10 μ m영역)이 변화하고, 중성화 속도도 증가하는 것을 알았다. 그러므로, 모세관영역에서의 변화가 내구성에 미치는 영향이 크다고 사료된다.

참고문헌

1. 田中享二、全振煥、名和豊春、橋田 浩：繰り返し曲げ荷重を受けたコンクリートとモルタルの細孔構造の變化と中性化、日本建築學會構造系論文集、2000. 12、No.538、pp.15-19.
2. T.C. Hsu: Fatigue of Plain Concrete; J. of ACI, July-August, Vol.55, No.11, pp.292-304, 1981
3. Kesler C.E.:Effect of Speed of Testing on Flexural Strength of Plain Concrete; HRB Proceedings, Vol.32, pp.251-258, 1953
4. Hsu,Thomas. T. C., "Fatigue of Plain Concrete" ACI, *Proceedings* Vol.78, No.4, July. August pp. 292-305. 1981.
5. 坂田憲次、木山英郎、西林新藏：統計的處理によるコンクリートの疲勞壽命に関する研究、土木學會誌、第198號、pp.107-114, 1972
6. 小柳 拾、西谷幸男、六郷惠哲、日下部史明：載荷履歴を受けたコンクリートの組織變化について；セメント技術年報、X XⅦ、pp.207-210, 1976
7. 福島敏夫、友澤史紀：コンクリートの中性化深さの物理的意味について、セメント・コンクリート論文集、No.43 (1989) .