01

탄산화 평가를 위한 비파괴장비의 응용과 한계

Application and Limitation of NDT Equipment Evaluation for Carbonation Evaluation

권성준 Seung-Jun Kwon
한남대학교 건설시스템공학과
조교수

이학수 Hack-Soo Lee
한남대학교 건설시스템공학과
교수

박상순 Sang-Soon Park
상명대학교 건설시스템공학과
조교수

1. 머리말

콘크리트 구조물은 경제적이고 내구성이 뛰어나 가장 많이 사용되는 건설재료중 하나이다. 우수한 압축강도, 경제성 그리고 성형성(plasticity)을 가지고 있으므로 임의의 형상대로 제조할 수 있다. 그러나 구조성능을 만족한 콘크리트 구조물이라 하더라도 노출환경에 따라 열화과정을 거치게 되고 이에 따른 성능저하가 발생한다. 탄산화란 콘크리트의 특유의 성질인 강알칼리성(pH 12.5 이상)이 이산화탄소의 유입에 따라 점차 중성으로 변하는 현상을 의미한다. 이렇게 pH가 감소되면 매립된 철근에서 부식에 저항하는 강알칼리성이 감소하여 부식이 발생하게 된다. 최근 들어 화석연료의 사용과 인구가 증가하면서 대기 중의 이산화탄소 농도가 증가하고 있고 이러한 환경은 탄산화를 야기하는데, 초기에는 구조물 미관의 저하에서 시작하지만 나중에는 구조적인 안전성 문제로 진전된다. 본 고에서는 탄산화를 평가하는 방법과 관련된 주요 장비들을 다루도록 하며 탄산화 연구 및 비파괴 평가의 한계를 다루어보도록 한다.

2. 탄산화 측정을 위한 비파괴 장비

2.1 탄산화 깊이의 평가

2.1.1 페놀프탈레인 지시약

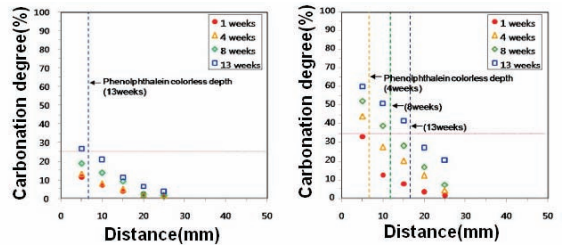
가장 일반적인 탄산화 깊이측정법으로 JIS(A 1152, 1153) 및 KS 규정(KS F 2596)에[1] 명시되어 있다. 그러나 pH 변화에 따른 천이영역이 존재하므로 이 부분에 대한 고려가 필요하다. 탄산화면은 알칼리도가 현저히 낮아지므로 변색이 없으며, 알칼리가 높은 영역에서는 보라색의 변색을 나타낸다.

2.1.2 기타 지시약에 의한 평가

페놀프탈레인이외에도 티몰프탈레인, 니트라민, 트리니트로벤젠 등을 통해서도 산/염기 적정을 수행할 수 있다. 각 시약의 변색범위는 아래의 〈표 1〉에서 나타나있다. 이러한 지시약들은 실내실험에서 정

표 1. 기타 지시약과 변색범위

지시약	변색범위	색의 변화
티몰프탈레인	pH 9.3 ~ 10.5	무색에서 청색
니트라민	pH 11.0 ~ 13.0	무색에서 갈색
트리니트로벤젠	pH 11.5 ~ 14.0	무색에서 갈색



(a) w/c 0.45 (b) w/c 0.55

그림 1. 페놀프탈레인지시약과 탄산화도에 의한 방법 비교[2)]

량분석 등에는 사용되어 지고 있으나 탄산화 깊이 측정용으로는 많이 사용되지 않는다. 한편 탄산화가 시작되는 점을 보통 pH 10.5 ~ 11.0 정도로 하고 있으므로 위의 시약을 사용할 경우 탄산화를 과다예측하기가 쉽다.

2.1.3 탄산화도에 의한 평가

단면을 쪼개어 지시약을 통해 탄산화 깊이를 측정하지 않고 샘플내의 이산화탄소량의 변화를 이용하여 탄산화 깊이를 측정하는 방법이 최근 개발되었다. 이는 Dapkus와 Stankevisius가 경량기포 콘크리트를 대상으로 제안한 방법인데[3)] 그 결과는 〈그림 1〉과 같다.

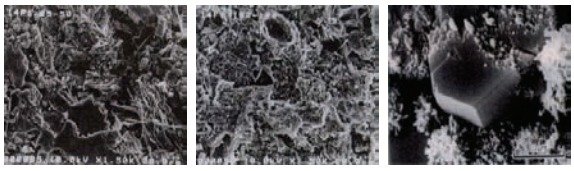
2.2 콘크리트 모재의 수화물 변화 평가

2.2.1 열중량 분석(TG;thermo gravimetry) 및 시차열 분석(DTA;differential thermal analysis)

콘크리트 시료로부터 채취한 시멘트 경화체 부분의 온도를 높이면 먼저 자유수가 증발하고 계속 높이면 시멘트 경화체를 구성하고 있는 물질이 변화한다. 온도와 이와 같은 상태 변화와의 관계는 각각의 물질에서 특유한 고유치이므로 시료를 가열하는 과정에서 내부에 존재하고 있는 수산화칼슘 및 탄산칼슘을 정량할 수 있다[4)].

2.2.2 SEM에 의한 평가

SEM장치는 전자선을 방사하기 위한 결상부와 시료로부터 나오는 전자를 검출하여 현미경상을 만드는 방사부로 나눌 수 있다. 대결정-소결정의 다른점은 있지만 어느 것이나 육각판상으로 생성하므로 크게 확대해서 그 성상을 파악할 수 있다면 수산화칼슘의 존재를 평가할 수 있다〈사진 1〉.



(a) Carbonated Area (b) Non Carbonated Area (c) $Ca(OH)_2$ in Early Aged Cement

사진 1. 탄산화 및 비탄산화 영역에 따른 수산화칼슘 변화성상

2.2.3 편광현미경을 이용한 박편 관찰

콘크리트 표면에 생긴 탄산화의 상태를 편광현미경으로 박편관찰을 하고 탄산화를 받은 층은 크로스 니콜 프리즘 아래에서는 전면적으로 백색 또는 황색을 드러내며, 이 부분이 페놀프탈레인에 따른 탄산화 영역과 잘 일치한다고 알려져 있다[5)].

2.2.4 EPMA(electron probe micro analyzer) 이용

시멘트속의 알칼리 존재와 탄산화를 지배하는 것은 알칼리 이온과 평형을 유지하려는 수산화 이온농도이다. 공존하는 알칼리가 많아질수록 콘크리트 내부에 대한 탄산화 깊이가 증가하며 습윤 상태에서 그 경향이 크다고 알려져 있다. 이런 관점에서 탄산화한 콘크리트 단면의 EPMA를 이용한 면분석을 하여 탄소분포를 조사하면 〈사진 2〉와 같은 결과를 얻을 수 있다.

2.2.5 형광현미경을 이용한 검토

형광수지를 함침한 콘크리트를 사용하여 크기 50×30 mm, 두께 0.020 mm의 박편을 제조하고 형광현미경 관찰로 탄산화층의 상태를 평가할 수 있다. 콘크리트 표면이나 미세한 균열면에 따라 탄산화층, 골재와 시멘트풀의 접착계면, 골재면에 따라 생긴 탄산화층의 상태가 선명하게 관찰된다고 보고되고 있다. 수산화칼슘, 에트린가이트 결정이 밀집하고 골재면에 수직의 미세결정으로 성장한 것과 시멘트풀간의 큰 판상으로 생성한 것을 육안으로 확인할 수 있다〈사진 3〉.

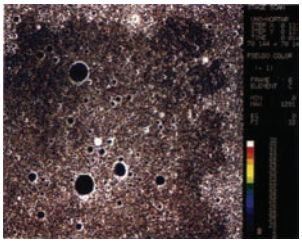


사진 2. EPMA의 면분석에 따른 탄소분석 결과[5)]

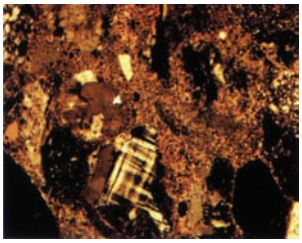


사진 3. 형광현미경을 이용한 탄산화 판단[5)]

2.2.6 EDS(energy dispersive spectroscopy) 분석법

X-ray 에너지는 모든 원자가 각자 다른 값을 가지고 있기 때문에 X-ray 에너지에 의해 모든 원자의 구분이 가능하다고 알려져 있다. EDS는 X축을 X-ray 에너지의 항으로, Y축을 Intensity(a.u)로 나타내는데, 각 peak의 면적을 계산하여 검출된 원소들간의 상대적인 정량법 비교가 가능하다[6].

이외에도 X선 회절법에 의한 방법도 수화물 변화 및 수산화칼슘의 평가에 적용되고 있지만 정량적인 수산화칼슘의 양을 도출하기 어려우므로 참고자료로 사용하는 것이 바람직하다.

3. 맺음말

본 고에서는 탄산화를 평가하고 탄산화 깊이를 조사할 수 있는 여러 가지 방법들을 소개하였다. 탄산화 깊이 평가에서는 페놀프탈레인 지시약이 가장 일반적으로 활용되고 있는데, 이는 현장에서 가장 편하고 비교적 정확하게 pH의 변화를 판단할 수 있기 때문이다. 그러나 이런 방법은 pH 변화의 천이영역을 가지므로 정확한 탄산화 분포를 제공할 수 없다. 또한 소개된 분석 장비들은 수화물 성상을 분석하기 위한 장비이며, 탄산화에 국한된 장비라고는 할 수 없다. 형태학적 분석(morphology analysis)은 정성적인 수화물의 유무를 판단하기는 수월하지만 정량적인 분석에는 한계를 가지고 있다.

탄산화에 대한 정량적인 물리-화학적 모델링, 실태조사에 따른 외부환경의 정량적 분석, 그리고 다양한 장비를 도입한 수화물의 성상변화에 대한 분석이 이루어 질 때 탄산화에 대한 난제들이 하나둘 씩 해결될 것이며, 고내구성 콘크리트를 제조/유지관리 하는데 있어 큰 일익을 담당하리라 생각된다.

담당 편집위원 : 권성준(한남대학교) jjuni98@hannam.ac.kr

참고문헌

1. KS F 2596, Method for Measuring Carbonation Depth of Concrete, 2004.
2. 진주호, 이상헌, 이한승, '탄산화도를 통한 탄산화 진행 평가에 관한 실험적 연구', 한국콘크리트학회 가을 학술대회 논문집, Vol. 21, No. 2, 2009, pp. 275~276.
3. Dapkus, G., Stankevicius, V., "Cellular Concrete Carbonation", Batiment international, Building Research&Practice, Vol. 13, Issue 3, May 1985, pp. 184~187.
4. 권성준, 송하원, 박상순, '수화물 및 공극률 관측 실험을 통한 시멘트모르타르의 탄산화 특성 변화에 대한 연구', 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 19, No. 5, 2007, pp. 613~621.
5. 이종득, 『콘크리트 구조물 열화 내구성 진단』, 일광, 2004.
6. 권성준, 이명훈, 박상순, '해수전착 코팅을 이용한 내부식성 철근의 개발 및 적용성에 대한 연구 (1)-해수전착 코팅시스템 개발', 한국구조물진단유지관리공학회논문집, Vol. 16, No. 5, 2012, pp. 78~87.

권성준 교수는 연세대학교 토목공학과에서 박사학위를 받은 후 미국 University of California, Irvine에서 연구원 과정을 마치고 2011년부터 한남대학교 건설시스템 공학과 조교수로 재직하고 있다. 주된 연구 분야는 공극구조 모델을 기반으로 한 염해 및 탄산화 해석, 투수성 해석, 확률론기반 내구수명 설계 등이며, 현재 우리학회 학회지와 논문집편집위원으로 활동하고 있다.
jjuni98@hannam.ac.kr

이학수 교수는 University of Michigan에서 구조공학으로 박사학위를 받았으며, 현대건설 연구원을 거쳐 현재 한남대학교 건설시스템 공학과 교수로 재직 중이다. RC 구조물의 설계/해석/안전진단이 주된 연구 분야이며, 최근에는 콘크리트 및 시멘트계 건설재료의 재료성능 및 내구성능에 대한 연구를 수행하고 있다.
leehs@hannam.ac.kr

박상순 교수는 연세대학교 토목공학과에서 염해에 노출된 콘크리트에서의 초기균열 및 염화물 이동평가에 관한 연구로 박사학위를 취득하였으며, 비앤티엔지니어링(주)과 한국건설생활환경시험연구원을 거쳐 현재 상명대학교 건설시스템공학과 교수로 재직 중이다. 주로 콘크리트 염해 내구성 평가와 보수보강재료에 관련된 연구를 수행하였으며, 현재는 부식촉진시험과 장기시험의 상관성 분석과 개질유황 혼합 콘크리트에 관한 연구를 수행하고 있다.
parkss87@smu.ac.kr