콘크리트의 사용연한에 따른 중성화의 진행에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on the Progress of Concrete Carbonation According to the Service Life

이 준 구* · 박 광 수 · 신 수 균 · 김 관 호 · 박 미 현(농기공)
Lee, Joon Gu · Park, Kwang Soo · Shin, Su Gyun · Kim, Kwan Ho · Park, Mi Hyun

Abstract

This study was performed to find out variation of carbonation progress of agricultural hydraulic concrete structures along the used years with using Thermo Gravimetric analysis/Differential Thermal Analysis(TG/DTA) and Indicator(phenolphthalein). In this study some conclusions such as follows were derived. Firstly, The result that the age of structures and the content of $Ca(OH)_2$ and $CaCO_3$ in concrete have proportional relationships was found in the method of TG/DTA. This relational functions could be used to estimate remain lifetime of structures, obtaining the limits of the content of $CaCO_3$ in concrete which reinforcement corrosion could be occurred with breaking protection cover of alkalinity. Second, if the result of strength, voids, permeability characteristics could be combined with this relational function this may be able to be used as a new more accurate assessment technique for the quality of concrete than current usual methods. Third, environmental affect could be more superintendent for concrete carbonation than the age of agricultural hydration structures. Forth, It is difficult to estimate the used year of agricultural hydraulic concrete structures with the carbonation depth measured by indicator method. Finally, the accuracy of this relational function could be decided to be upgraded with continue analysis for more structures.

I. 서 론

콘크리트 구조물은 목적에 의해 축조되고 그 기능을 수행하는 동안 많은 환경적 영향에 의해 열화되어간다. 열화된 정도를 측정하기 위해 다양한 분석기법과 장비를 동원하여 구조물진단을 실시하고 개보수 등의 적절한 조치를 취하게 된다. 콘크리트 구조물의 대표적인 열화로서는 동결융해작용에 의한 동해, 대기중의 이산화탄소와 습기에 의한 중성화, 해수, 해풍에 의한 염해, 반응성 골재에 의한 알칼리골재반응, 황산염 등 유해화학약품에 의한 부식 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 농업수리구조물 중 수원공인 저수지의 여수토 방수로의 사용연한에 따른 콘크리트의 중성화 진행에 관한 분석을 수행하였다. 콘크리트의 중성화진행정도를 측정하기 위해 시차열중량분석(TG/DTA)과 지시약(페놀프탈레인)을 통한 깊이 측정을 병행하였다. 콘크리트의 중성화진행정도에 의해 사용연한을 예측하는 추정식[1]들이 많이 연구되고 있고, 岸谷[1]은 콘크리트의 중성화깊이는 사용연한의 제곱근에 비례한다고 하였다. 이들 연구는 실내에서 실시한 자연폭로실험과 비교적 사용환경의 변화가 적은 실내구조물이나 건축물을 대상으로 분석한 결과이다. 상시 물이나 습한 배면토에 접하고 있는 농업용 수리구조물의 중성화는 준공연도에 따라 어떻게 변하고 있는지를 시차열중량분석과 지시약을 이용한 중성화 깊이 측정을 통해 실험적으로 규명코자 하였다.

2001년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2001년 10월 12일)

1.1 문헌연구

1.1.1 콘크리트의 탄산화(중성화)

상온에서 안정한 암석인 석회석($CaCO_3$)을 소성하여 이산화탄소를 유리시켜 만든 시멘트 수화물이 콘크리트표면에서 내부로 통하는 모관공극을 통해 침투한 공기중의 이산화탄소(공기 중 0.035%차지)를 흡수하여 안정한 탄산칼슘($CaCO_3$)으로 돌아가는 현상을 탄산화라고 정의하고 있으며[3], 철근콘크리트에서는 원래 알칼리성(pH 12)인 콘크리트가 부동태피막(pH 11.0이상에서 유지)을 형성하여 방청보호역할을 하는데, 점차 콘크리트의 탄산화 작용에 의해 알칼리성을 잃고 피막이 파괴되어 철근이 부식되는 단계에 이르기도 한다. 한편 경우에 따라서 탄산화가 이로운 점도 있다. 즉, 제품화 콘크리트에서는 의도적인 탄산화에 의해 콘크리트 강도, 경도, 치수안정성(투수계수 증가)을 향상시킬 수 있다.

공기 중에 이산화탄소와 수화된 포틀랜드 시멘트의 탄산화 반응속도에 영향을 미치는 인자에는 상대습도, 온도, 콘크리트 투수성, CO_2 농도 등이 있으며, 일반적으로 상대습도 50~75%일 때 탄산화 속도가 빨리 진행되는 것으로 보고 되고 있다[5]. 25% 이하의 상대습도에서 탄산화의 발생정도는 매우 미약하고, 75% 이상일 때에는 공극의 수분이 CO_2의 침투를 억제하게 된다. 즉, 콘크리트 내부는 습하고 표면이 건조해졌을 때 탄산화의 진행이 빠르다고 볼 수 있다.

탄산화 과정을 시멘트의 생성에서부터 이론적 화학반응식의 도움을 빌어 설명하면 Fig 1.1과 같다. (식1.1, 1.2)는 실제의 콘크리트 구조물에서 발생한 것을 확인할 수 있으나, (식1.3, 1.4)는 실제 콘크리트 구조물에서나 실험적으로도 거의 확인되지 않은 반응이나 이해를 돕기 위해 도시하였다.

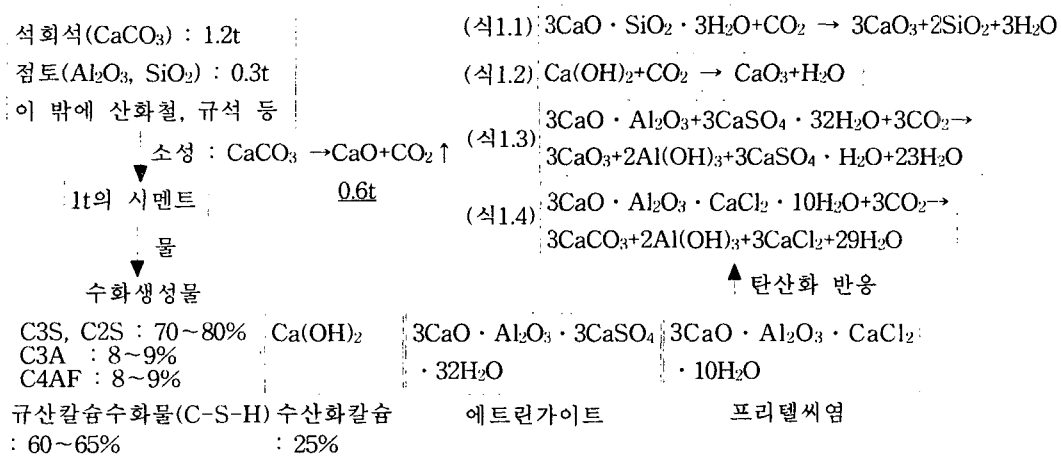

Fig 1.1 The Flowchart of Chemical Reaction from Cement Manufacture, Hydration to Carbonation

1.1.2 탄산화에 대한 시험 및 평가방법

콘크리트의 탄산화 깊이를 측정하는 방법은 지시약에 의한 측정법, 시차열중량분석법(TG/DTA), X선회절분석법, 현미경분석법, 화학적 분석법, 적외선흡수스펙트럼분석법 등이 있다. 본 고에서는 첫 번째와 두 번째 방법을 간략히 요약하였다.

(1) 지시약에 의한 방법

탄산화 깊이를 측정하는 가장 간단한 방법으로 99%의 알콜에 1%의 페놀프탈레인을 용해한 지시약을 콘크리트에 분무하면 중성화된 부분은 무색, 중성화되지 않은 부분 즉, 알칼리성을

갖는 부분은 적색으로 변화되어 콘크리트표면에서 중성화된 부분까지의 깊이를 측정할 수 있는 방법이다.

(2) 시차열중량분석에 의한 방법

시멘트 화학에서 사용되는 방법으로서 가열 또는 냉각하는 과정에서 결정구조가 변화할 때에 흡수 또는 방출하는 에너지를 열량으로 변환하는 열변화를 통해 결합수와 흡착수 등의 이탈과정의 열변화를 측정하는 방법으로, 온도변화에 따라서 일어나는 반응이 흡열인가 발열인가를 조사하는 시차열분석(DTA : Differential Thermal Analysis), 열변화에 의한 중량변화를 측정하는 열중량분석(TG : Thermo Gravimetric analysis)을 동시에 실시한다.

시멘트 수화물의 온도를 높이면 100℃부근에서 자유수의 탈수, 100~300℃부근에서 모노설페이트(mono-sulfate) 등의 탈수, 400~500℃에서 수산화칼슘의 탈수, 650~900℃에서 탄산칼슘의 탈탄산이 발생한다. 물론 시멘트 수화물의 조성은 복잡해서, 반드시 이러한 반응들만이 일어나는 것은 아니지만, 이들 반응이 지배적이므로, 시멘트 수화물에 열을 가하여 400~500℃에서 수산화칼슘의 탈수와 650~900℃에서 탄산칼슘의 탈탄산 시의 중량변화를 측정함으로서 $Ca(OH)_2$와 $CaCO_3$의 정량적인 측정이 가능하다.

II. 본 론

농업수리 구조물의 사용연한에 따른 콘크리트의 중성화진행을 분석하기 위해 다음과 같은 장점을 갖은 저수지를 선정하였다. 오래 전에 시공된 구조물에서 최근 몇 해 전까지 시공된 구조물이 고루 분포해 있어 사용연한별 조사대상선택이 용이하고, 중요한 구조물이기 때문에 용배수로와 같은 구조물에 비하여 비교적 시공당시에 품질관리가 잘 되어 사용연한별 품질 변화가 적으며, 구조물이 대형이어서 코어채취를 위한 작업공간이 확보될 수 있을 뿐만 아니라 자료관리가 철저하여 사용 중의 개보수 이력자료와 시공당시의 품질자료를 쉽게 구할 수 있는 점이 장점이다. 분석대상 구조물의 사용연한이 11년~36년에 걸쳐 총 59개 구조물을 대상으로 하였다.

2.1 실험방법

2.1.1 시차열중량분석(TG/DTA)

조사대상 구조물에서 채취한 콘크리트 코어의 표면 20mm를 절단하여 압축강도 시험기로 조분쇄 후 막자사발에서 잘게 부수어 150㎛체(No.100)로 선별작업을 하였다. 선별된 분말은 시멘트 페이스트와 미량의 골재성분이 함유되어있을 것이다. 분말시료에서 시차열중량분석(TG/DTA)을 통해 수산화나트륨과 탄산칼슘의 함량을 중량비로 산출해내어 사용연한에 따른 함량변화를 분석하였다.

2.1.2 지시약을 이용한 중성화 깊이 측정

콘크리트 품질이 낮고 사용연한 많이 경과한 구조물에서 채취한 콘크리트 코어일수록 코어채취일의 경과에 따라 절단면에서부터 중성화되어가기 쉽다. 따라서 할렬인장시험법과 같은 방법을 택하여 코어의 중심부를 절개한 후 콘크리트 절개면에 페놀프탈레인용액을 충분히 분무하였다. 중성화가 진행된 부분은 콘크리트의 색이 변하지 않았으며 아직 알칼리성인 부분은 적색으로 변화하였다. 버니어캘리퍼스를 이용하여 중성화된 부분의 깊이를 최대깊이, 최소깊이, 평균깊이로 나누어 측정하였다. 사용연한에 따른 콘크리트 중성화진행을 분석하였다.

2.2 결과분석 및 고찰

2.2.1 시차열중량분석(TG/DTA)

시차열중량분석은 Fig 2.3에 도시한 예와 같으며, 대상구조물의 콘크리트 표면부에 함유된 수산화나트륨과 탄산칼슘의 분석결과를 구조물의 사용연한 5년 단위로 그룹화하여 각 그룹의 평균값을 사용연한에 따라 Fig 2.1, 2.2와 같이 나타내었다. 그 결과 수산화나트륨은 사용연한이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 탄산칼슘은 증가하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 사용연한이 36년 된 구조물 그룹에서는 오히려 26년 된 구조물 그룹에 비하여 수산화칼슘은 크게 나타나고, 탄산칼슘은 작게 나타나고 있음을 관찰할 수 있었으며 이는 26년 전에 시공된 구조물들이 오히려 36년 된 구조물에 비하여 중성화가 많이 진행되었음을 알 수 있었다. 사용연한과 수산화칼슘과의 상관관계(식 2.1)와 사용연한과 탄산칼슘과의 상관관계(식 2.2)를 얻을 수 있었으며, 콘크리트 부동태 피막이 손상되는 콘크리트의 탄산칼슘의 함량 임계치를 측정하면 이 식을 통해 잔존수명을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 역학적 특성과 콘크리트 공극량 및 투수계수 등을 종합하면 콘크리트의 현재 품질을 보다 정밀하게 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

$Y=-0.235X+9.9563 (R^2=0.654)$ ---------- (식 2.1)

$Y=0.5434X+4.5765 (R^2=0.679)$ ---------- (식 2.2)

여기서, X : 사용연한(연), Y는 수산화칼슘, 탄산칼슘 함량(중량비)

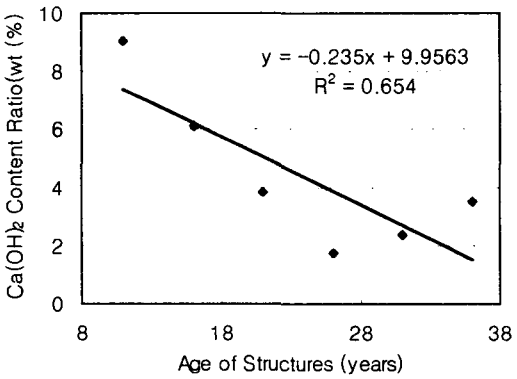

Fig. 2.1 The Variation of $Ca(OH)_2$ Content in Concrete According to Age of Structures (TG/DTA)

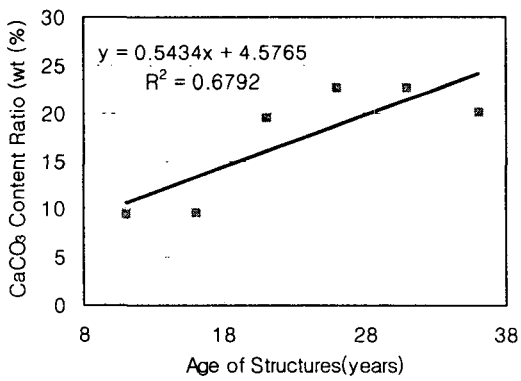

Fig. 2.2 The Variation of $CaCO_3$ Content in Concrete According to Age of Structures (TG/DTA)

Table 2.1 The Variation of $CaCO_3$ and $Ca(OH)_2$ Content in the Surface of Concrete Structures along the Age of them

준공연도(사용연한)	$CaCO_3$ wt. (%)	$Ca(OH)_2$ wt. (%)	대상구조물 수(지구)
'62~'64(36)	20.05	3.50	2
'66~'69(31)	22.65	2.35	12
'70~'74(26)	22.73	1.74	17
'75~'78(21)	19.52	3.83	17
'82~'84(16)	9.67	6.14	2
'85~'88(11)	9.46	9.04	9

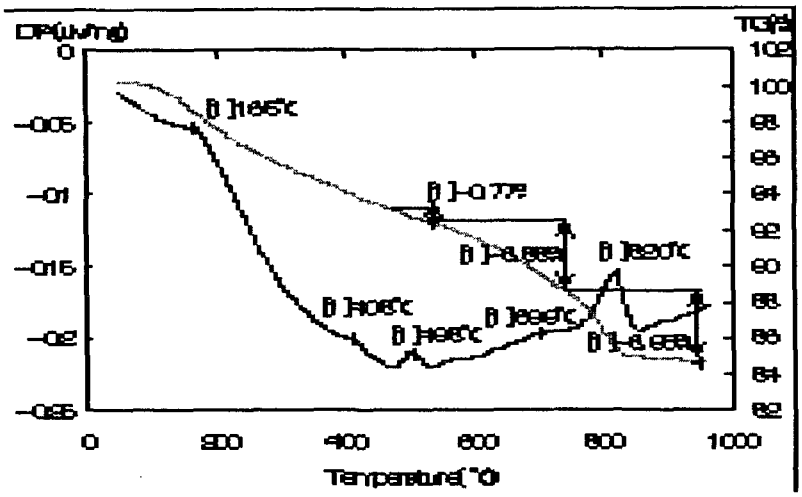

Fig. 2.3 The results of TG/DTA Process at one of the specimens(경기 안성 노곡저수지 '68)

2.1.2 지시약을 이용한 중성화 측정

조사대상 구조물당 2개의 콘크리트 코어에서 측정한 중성화 깊이의 평균값을 사용연한별로 도시한 결과 사용연한에 따른 경향을 찾아보기 어려웠으며, 조사대상 구조물의 설치환경적 측면을 분석한 결과 수중에 잠기는 시간이 많은 콘크리트 구조물에서는 중성화가 적게 진행되었음을 관찰할 수 있었으며, 지시약을 이용하여 측정한 중성화깊이를 통해 사용연한의 예측은 수리구조물에서는 다소 어려운 것으로 판단되었다.

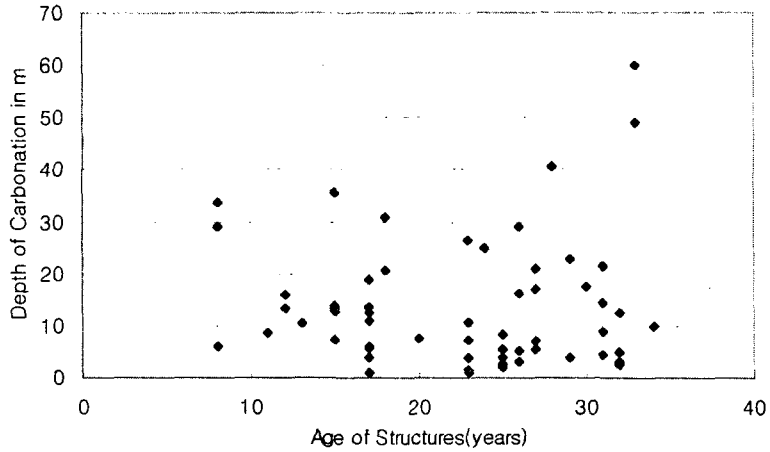

Fig. 2.4 Depth of Carbonation vs. Age of Structure

III. 결 론

농업수리구조물의 사용연한에 따른 중성화의 진행을 실험적으로 분석한 결과 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

1) 시차열중량분석법을 통해 탄산칼슘과 수산화칼슘의 함량비와 사용연한이 비례관계에 있음을 규명하고, 이 관계식을 통해 부동태 피막이 파괴되는 콘크리트의 임계 탄산칼슘함량을 분석

하여 잔존내구연한을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 또한, 역학적 특성과 콘크리트 공극량 및 투수계수 등을 종합하면 콘크리트의 현재 품질을 보다 정확하게 평가할 수 있는 분석기법으로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

3) 농업수리구조물 중 준공 된지 26년 된 콘크리트구조물 그룹이 36년 된 그룹보다 중성화가 더 진행되어있음을 관찰하고 사용연한보다 콘크리트의 품질과 사용환경적 요인이 더 지배적일 수 있음을 관찰할 수 있었다.

4) 농업수리구조물에서 페놀프탈레인용액을 이용하여 측정한 중성화깊이를 통해 사용연한을 예측하는 것은 어려울 것으로 판단되었다.

5) 조사대상구조물의 수를 늘려 관계식의 신뢰성을 보다 향상시켜야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1) 岸谷孝一等, 1986 "中性化(コンクリート構造物 の耐久性シリス)", 技報堂

2) Nevile, 1981, "Properties of Concrete", Pitman, Toronto, p391~395

3) 이종득 감수, 1996, "콘크리트 구조물의 조기열화내구성 진단", p.120~138

4) 박기근, 1995, "콘크리트의 내구성과 중성화", 콘크리트학회지 제7권 2호

5) 연구소위원회 발표집, 2000, "콘크리트 내구성 설계 및 수명평가" 한국콘크리트학회

6) 김영의, 1998, "콘크리트의 강도, 중성화, 화재손상부 비파괴검사 방법" 콘크리트학회지, 제10권 2호.

7) The Canadian Housing Information Centre, 1993 "Concrete Carbonation in Canadian Buildings", Research Highlights