

장기 재령 콘크리트 구조물의 탄산화 현상 조사

A Research on the Carbonization Status of Aged Concrete Structures

김 광 기* 박 승 진** 김 우 재*** 조 영 길**** 송 병 창***** 정 상 진*****
Kim,Kwang-Ki Park, Seung-Jin Kim,Woo-Jae Cho, Young-Kil Song, Byung-Chang Jung, Sang-Jin

Abstract

Although there has been an upcoming recognition in the repairing reinforcement and remodeling of currently existing buildings with a regard to economic and resource saving effects of buildings roughly exposed to the open air for a long-term period, followed by a number of problems with the construction business operations that support economy-oriented projects within the limits of their short-term period durability, it is true that reasonable decisions of concrete performance are insufficient owing to the lack of proper history management for those existing buildings.

This research attempted to comparatively analyze the compression strength together with investigation of carbonization depth and alkali concentration according to the passage of years on the subjects of aged buildings, and to provide basic data for remodeling and/or reconstruction of future construction structures by indirectly estimating durability lifetime expectancy according to carbonization phenomenon.

1. 서론

콘크리트의 탄산화 현상은 구조물 전체에 철근부식 인자로서 장기간 영향을 미치게 되고 경과연수가 증가할수록 2차적인 열화를 가속화시키게 되어 건축물의 재활용을 위한 보수·보강이 필요하게 되며, 노후화된 콘크리트의 탄산화 현상 진행을 억제 또는 예방하기 위한 방안이 필요하게 된다.

탄산화된 콘크리트에 적용 가능한 알칼리회복제는 소실된 알칼리를 환원시키는 재료로서 기존 연구 보고에 의하면 열화된 콘크리트의 탄산화 성능향상 메카니즘에 관하여 콘크리트 조직내 침투 깊이로써 인식되어지고 있다. 그러나 일반적인(경과연수 20~30년)탄산화 깊이의 경우 약 15~30mm 정도의 탄산화 깊이를 보이고, 이러한 탄산화 현상은 경과연수와 비례하여 더욱 깊어질 것을 예상한다면 기존

-
- * 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사과정
 - ** 정회원, 롯데건설기술연구소, 선임연구원
 - *** 정회원, 포스코 건설기술연구소,공학박사
 - **** 정회원, 롯데건설, 건축팀 차장
 - ***** 정회원, 아키벤 대표이사, 공학박사
 - ***** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

보고에 의한 알칼리회복제의 침투깊이를 통한 성능향상을 설명하기엔 부족함이 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 알칼리회복제 회복상태를 조사하기 위한 장기재령(약 60년 이상) 콘크리트 (Slab)를 대상으로 탄산화 현상 진행에 따른 콘크리트의 품질을 조사하였다.

<표 2.> 콘크리트 성능조사 계획

구분	평가		대상 부재 위치
	시험방법	시편	
탄산화 깊이	알콜용액법	표면 파취 및 코어 시험체 합렬	기존 콘크리트
			Slab t = 150mm
			지붕층 Y6Y7-X1X2
			6층 Y2Y3-X7X8
			5층 Y6Y7-X5X6
4층 Y5Y6-X4X5			
2층 Y2Y3-X6X7			
1층 Y1Y2-X6X7			
pH	알칼리 용출 실험	0 - 15mm 15 - 30mm	전층 탄산화 측정 개소와 동일

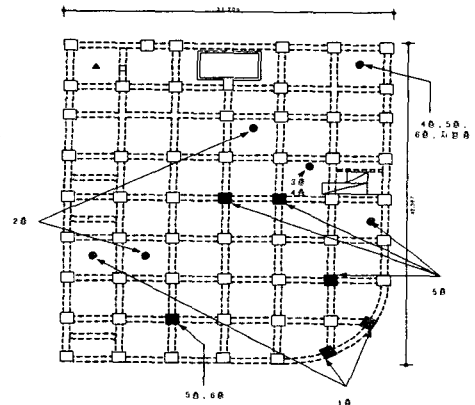
<표 3.> 건축 구조물의 개요

구분	내용
위치	서울시 000 동
용도	판매시설
규모	지하 1층, 지상 6층
구조형식	철근콘크리트 라멘조, 일부 철골조

2. 콘크리트 성능조사 계획 및 내용

대상 구조물은 지하 1층, 지상 6층 철근콘크리트 라멘조 형식으로서 약 60여년이 경과된 건축구조물로서 외관 조사(육안)를 통하여 각 층 보, 특히 슬래브 부위에서 철근 노출에 따른 부식, 균열, 박리 등의 열화 현상을 확인할 수 있었으며, 회반죽으로 마감되어 있는 것을 알 수 있었다.

또한, 연도추정미상의 국부적인 화재로 인한 슬래브 열화가 심한 부위가 2~5층 사이의 동일한 위치에서 조사되었다. 외관조사를 참고로 하여 콘크리트의 성능을 육내 Slab의 마감 두께를 제외한 콘크리트 탄산화 깊이와 함께 알칼리농도를 조사하였다.



[그림 1.] 탄산화 현상 조사위치도

3. 콘크리트 성능조사 결과

<표 2.> 콘크리트 부재의 탄산화 깊이

구분	Slab (t : 150mm)			압축강도 (MPa)
	피복두께 (mm)	탄산화 깊이 (mm)		
		적색경계	선홍색경계	
지붕층	-	34	23	27.4
6층	30	35	23	20.8
5층	25	30	22	18.3
4층	35(22)	28(50)	19(26)	18.8(19.7)
3층	(15)	(35)	(20)	(19.3)
2층	-	80(42.5)	64(29.5)	11.27(17.9)
1층	20	27.5	22.5	18.9

※ () 화재 부위에 대한 측정값

3.1 탄산화 깊이의 측정

슬래브 탄산화 정도는 표 2와 같이 슬래브 상부는 무근 콘크리트 타설 또는 마감 재료 등에 의하여 구조체의 탄산화가 진행되고 있지 않으며, 슬래브 하부는 마감의 상태에 따라 전체적으로 근소한 차이가 있지만, 대부분 철근 위치까지 탄산화가 진행된 것을 알 수 있었다. 또한, 외관조사시 화재로 인하여 표면 열화가 심한 부위는 그렇지 않은 부분과 비교하여 약 10~15mm 정도 탄산화가 더 진행된 것으로 판단되었다.

이는 일반적으로 400~500℃ 정도로 가열되면 수산화칼슘의 탈수 반응으로 인한 알칼리성의 손실과 피복두께의 차이에 기인한 것으로 판단된다.

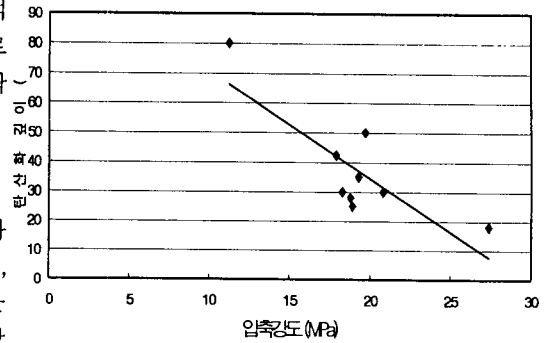
또한, 측정된 탄산화 깊이가 압축강도와 다소 차이점을 보이는 것은 구조물의 마감상태의 차이, 시

공당시 손비빔에 의한 콘크리트의 타설 추정, 점차적인 보수공사로 인한 콘크리트 표면 변화 등의 차이로 판단되나 비교적 압축강도가 클수록 탄산화 깊이가 작게 나타나는 것으로 조사되었다.

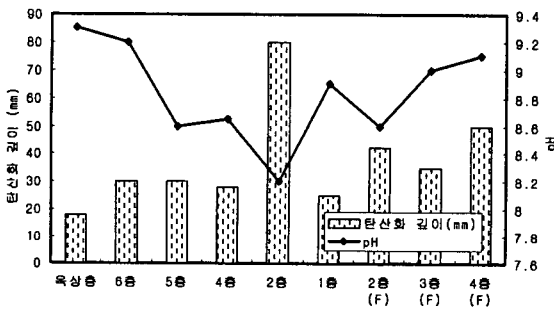
3.2 알칼리농도의 저하

콘크리트내 존재하는 알칼리 농도를 측정한 결과 압축강도와 반비례 관계를 갖는 것으로 조사되었으며, 표면에서 깊이에 따라 알칼리 농도가 변화되는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 시험체의 알칼리 농도는 압축강도가 낮고 탄산화 깊이가 클수록 알칼리농도가 표면부(0~10mm)에서 상당히 낮은 값을 나타내고 있었으며, 화재의 영향을 받은 부분의 경우 그렇지 않은 부분과 비교하여 상대적으로 낮지 않은 압축강도를 보임으로써 알칼리농도를 유지하고 있는 것으로 판단되었다.

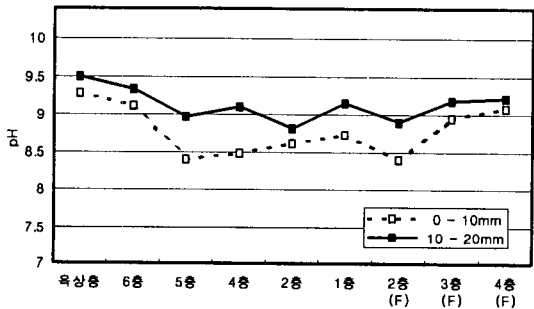
따라서, 대상 구조물의 경우 전체적으로 콘크리트에서의 중성화 영역인 10 이하를 나타내고 있어 탄산화 현상으로 인한 2차적인 열화에 대하여 예방이 필요할 것으로 판단된다.



[그림 4.] 압축강도와 탄산화 깊이의 관계



[그림 3.] 탄산화 깊이와 알칼리농도와의 관계



[그림 4.] 깊이별 알칼리 농도

4. 탄산화 현상에 의한 내구연수

콘크리트의 탄산화 깊이 측정을 페놀프탈레인용액을 분무한 후 대기 상태에 일정시간 방치하여 살펴보면 착색부분의 경계가 불선명하고, 붉은 착색부분과 무착색 부분의 사이에 얇은 선홍색의 부분이 조사되었다.

즉, 페놀프탈레인용액을 활용한 판별법이 pH가 페놀프탈레인의 변색범위 위에 있어 중성 부분을 판정하는 것이 아니라 콘크리트중의 수산화칼슘이 탄산칼슘으로 되었는가를 구별하는 것이라는 기존 문헌에 의한다면 이러한 혼재된 부분에서도 수산화칼슘이 존재하는 것으로 구분할 수 있으며, 본 실험에서도 표면에서 깊어질수록 알칼리 농도가 향상된 것을 확인할 수 있었다.

따라서, 성능저하 측면에서 탄산화 깊이 측정(페놀프탈레인 용액)은 이러한 불명확한 정색 경계에 대하여 주의할 필요가 있을 것으로 사료되며, (식 1)을 통하여 콘크리트 피복두께(실측치+20mm - 일본건축학회의 철근콘크리트조 구조물의 내구성 진단·조사 기준의 옥내 기준 참고)를 기준으로 향후 콘크리트의 탄산화 깊이를 조사하여 그 결과를 <표 4>에 나타내었다.

$$C = A\sqrt{t} \text{ ----- (식 1)}$$

여기서, C : 측정된 탄산화 평균깊이,
A : 속도 계수, t : 재령(약 60년 기준)

<표 3.> 향후 경과연수에 따른 탄산화깊이

5. 결론

지금까지 일반 환경에 장기간 폭로된 건축구조물의 구조체 콘크리트(옥내 Slab)를 중심으로 탄산화 현상의 진행 상황과 콘크리트의 품질을 조사하여 알칼리회복제의 적용 가능 여부를 확인한 조사하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

구 분	속도계수 (mm)		피복두께 (mm)		추정깊이 (mm)			
	적색 경계	선홍색 경계	실측 치	보정치 +20	적색경계		선홍색 경계	
					연수	깊이	연수	깊이
옥상	A=4.38	A=2.97	-	-	-	-	-	-
6층	A=4.5	A=2.9	30	50	10	49	40	41
5층	A=3.8	A=2.84	25	45	9	41	40	40
4층	A=3.6(6.4)	A=2.4(3.3)	35(22)	55(42)	40	51	40(20)	37(40.7)
3층	(A=4.5)	(A=2.5)	(15)	(35)	불가		(25)	(32.5)
2층	A=10.3(5.4)	A=8.2(3.8)	-	-	-	-	-	-
1층	A=3.5	A=2.9	(20)	(40)	10	38.5	40	40

※ () 화재 부위에 대한 측정값

1) 일반 환경하에서 장기간 폭로된 건축구조물의 탄산화 현상은 시공 당시 구조체 콘크리트 물리·역학적 성질과 밀접한관계를 유지하고 있으며, 탄산화 깊이는 압축강도와 반비례, 알칼리농도와 비례 관계를 나타내고 있었다.

2) 콘크리트구조물의 탄산화 깊이를 페놀프탈레인 용액 분무에 의하여 측정시 알칼리 또는 중성의 상태가 혼재되는 부분이 발생하였으며, 본 연구에서는 이 부분이 알칼리를 갖고 있는 것으로 확인됨으로써 내구수명 연장을 위한 공법 적용시 변수로 적용될 가능성이 있으므로 착색 경계에 대한 명확한 이해가 필요할 것으로 조사되었다.

3) 대상 콘크리트구조물의 경우 철근부식이 이루어졌다고 단언할 수는 없지만, 탄산화 깊이가 실측 치 피복두께를 상회하고 알칼리농도 또한 중성의 상태에 있어 구조물의 유지관리 차원에서 콘크리트의 알칼리회복에 관련된 보수가 이루어져야 할 것으로 조사되었다.

본 연구를 통하여 콘크리트의 열화 증상(탄산화 정도)을, 장기간 폭로로 인하여 약 30~80mm 이상 탄산화가 진행된 것으로 판단되어 알칼리회복제를 적용하기에 무리가 없을 것으로 확인됨으로써 향후 알칼리회복제를 대상으로 건축 재료적 측면에서 열화된 콘크리트 성능변화와 함께 그 특성을 조사하여 향후 콘크리트구조물의 재활용을 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

참고문헌

1. 정상진 외, "건축재료학", 보성각, 1999
2. 정광량, "콘크리트구조물의 내구성 진단과 평가방법", 콘크리트학회지, 제 6권 2호, 1999. 4
3. 서재용, "노후 공동주택의 재건축과 리모델링 결정방법에 관한 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 19권 1호, 2003. 1
4. 日本建築學會, "鐵筋コンクリート造 建築物의 耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説", 1997. 1