

탄산화를 중심으로 한 콘크리트의 복합성능저하

Combined Deterioration of Concrete Durability with Respect to Carbonation



류재석*
Jae-Suk Ryou



김홍삼**
Hong-Sam Kim



이정배***
Jung-Bae Lee

1. 서론

콘크리트는 고알칼리 상태에 있기 때문에 철근주위에 부동태 피막이라 불리는 보호막을 형성시켜 철근의 부식을 억제한다. 그러나 철근표면에 형성된 부동태 피막을 파괴시키는 원인 중에는 크게 두 가지로 대변할 수 있다. 고알칼리성 콘크리트 속에 이산화탄소가 침투하여 탄산화 됨으로써 부동태피막이 파괴되는 경우와 콘크리트 속으로 유해한 이온이 침투하여 부동태피막을 파괴하는 경우이다. 따라서 이 두 가지 원인이 동시에 복합적으로 작용할 경우, 부동태피막의 파괴는 급속히 빨라지게 되어 철근의 부식을 더욱 가속화시키는 것이 주지의 사실이다.

탄산화를 중심으로 한 복합성능저하는 탄산화와 염해, 탄산화와 동결융해 및 탄산화와 알칼리골재반응 등을 들 수 있으며, 이러한 복합성능저하는 우리나라에서도 쉽게 나타날 수 있는 환경을 가지고 있다. 본 고에서는 탄산화를 중심으로 한 복합성능저하에 대하여 메커니즘, 탄산화를 받은 콘크리트의 염분침투 및 동결융해 특성 등에 대하여 지금까지의 연구결과를 소개하고, 앞으로의 연구방향을 제시하고자 한다.

2. 탄산화를 중심으로 하는 콘크리트의 복합성능저하 메커니즘

탄산화를 중심으로 한 콘크리트의 복합성능저하의 상관관계를 <그림 1>에 나타내었다. 탄산화를 중심으로 하는 복합성능저하는 탄산화의 진행이 물리적인 작용이 아닌 화학적 반응에 의한 수화조직이 변화함으로써 공극구조가 치밀해져 물질의 이동에 영향을 미친다.

이 그림에서 알 수 있듯이 탄산화를 중심으로 한 복합성능저

하의 상호간에 미치는 영향에 대하여 살펴보면 다음과 같다⁸⁾.

- (1) 공극량 및 공극구조의 변화: 콘크리트가 탄산화됨으로써 콘크리트의 공극량 및 공극구조가 변화하게 되며, 공극이 밀실화 되어 염분 등 성능저하 물질의 이동성을 저감시킴으로써 성능저하를 억제하는 방향으로 작용하게 된다. 그러나 이러한 조직의 치밀화 및 공극량의 저감은 동결융해 측면에서는 콘크리트의 성능저하를 촉진시키는 원인이 된다.
- (2) 균열의 발생: 탄산화의 진행에 따라 강재의 부식이나 탄산화 수축이 발생하여 콘크리트에 균열이 발생하게 되며, 그로 인해 성능저하 인자의 침투가 용이하여 성능저하의 진행을 촉진시킨다.
- (3) 고정화 능력과 세공용액 이온의 변화: 콘크리트가 탄산화 되면 수화물 중에 함유하고 있는 각종 이온이 세공용액 중에 유리된다. 대표적으로 염화물 이온이나 황산염 이온이 있고, 이러한 이온이 미탄산화 부분에 농축되어 이로 인한 성능저하가 촉진한다.

한편 탄산화를 중심으로 한 복합성능저하의 여러 가지 관계를 <표 1>에 나타내었다⁷⁾.

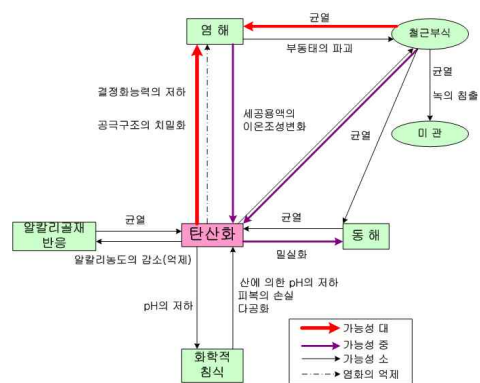


그림 1. 탄산화를 중심으로 한 복합성능저하의 상관관계⁸⁾

* 정희원, 한양대학교 건설환경공학과 교수
jsryou@hanyang.ac.kr

** 정희원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

*** 정희원, 대전대학교 토목환경공학과 박사수료

3. 탄산화를 받은 콘크리트의 염분침투 특성

<그림 2>은 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 제작된 콘크리트를 탄산화 시킨 후 해수에 장기 침지하여 콘크리트 중의 내부 염분의 고정화를 평가한 그림이다. 콘크리트의 염분 침투 기간이 길어짐에 따라 탄산화 깊이를 지나 내부에 염분의 고정화가 크게 일어나는 것을 확인 할 수 있으며, 탄산화의 영향으로 내부의 화학적 반응이 조직을 변화하여 발생하는 현상이다.

<그림 3>은 탄산화깊이에 따른 염분의 침투깊이를 나타낸 것으로 <그림 3>의 경우 탄산화 깊이의 증가에 따라 염분의 침투 깊이는 상대적으로 줄어드는 것을 알 수 있다. 이러한 영향은 표면의 시멘트 수화물인 수산화칼슘이 탄산칼슘으로의 전환 과정에서 조직의 치밀화로 인한 내부의 공극 감소에 따른 염분의 저항성이 나타나는 현상이라 할 수 있다. 특히 물-결합재비가 작은 경우 그 효과를 확연히 알 수 있다⁷⁾.

4. 탄산화를 받은 콘크리트의 동결융해 특성

콘크리트는 경화후부터 바로 CO₂에 접하게 되는 점을 고려하여 탄산화에 대한 성능저하가 가장 먼저 일어나는 것이 예상되고, 다음으로 다른 복합적인 성능저하 인자가 작용하여 콘크리

표 1. 탄산화를 중심으로 한 복합성능저하

복합작용	필요조건	성능저하과정 성능저하기구	성능저하형태 성능저하증상	분류	가능성
염해 동해 ASR 화학적침식	고로슬래그 미분말의 사용	공극구조의 다공화	물질이동 저항성 저하	인과적 복합성능 저하	소
염해 동해 ASR 화학적침식	중성화의 선형	철근부식에 의한 균열	물질이동 저항성 저하		중
염해	염화물 이온 존재 (해사사용 등)	염화물 이온의 유리·농축	부식의 촉진	인과적 복합성능 저하	대
	탄산화의 선형	고정화능력 의 저하	염분 침투의 촉진		소
염해 동해 ASR 화학적침식	탄산화의 선형	탄산칼슘 생성에 의해 공극구조의 치밀화	물질이동 저항성 향상 (성능저하의 억제)	상승적 복합성능 저하	중
용출 화학적 침식	습윤상태	Ca(OH) ₂ 의 용출, pH의 저하	탄산화 촉진		소
동해 ASR 염해	습윤상태	철근 부식에 의한 균열	물질이동 저항성 저하	소	
염해	염화물 이온 존재 (해사사용 등)	공극용액의 조성 변화	탄산화 촉진	중	

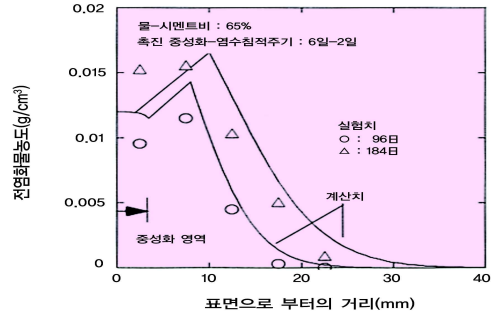


그림 2. 탄산화 깊이와 염분침투⁴⁾

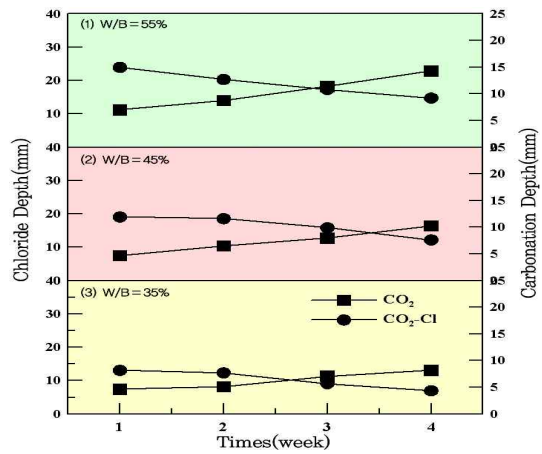


그림 3. 탄산화 깊이와 염분침투 관계

트의 복합적인 성능저하가 진행되게 된다.

<사진 1>은 탄산화를 받은 콘크리트 구조물의 동결융해 작용에 의한 복합성능저하를 받은 콘크리트 교량의 슬래브를 나타낸 것으로 표면의 탄산화 진행으로 인하여 조직이 치밀화되고, 동결융해 작용에 의한 표면의 균열이 증가되어 성능저하가 발생한 것임을 알 수 있다. <그림 4>와 <그림 5>는 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트의 물-결합재비의 차이에 따른 탄산화와 동결융해를 받은 콘크리트의 평가 결과이다.



사진 1. 탄산화와 동결융해의 복합성능저하

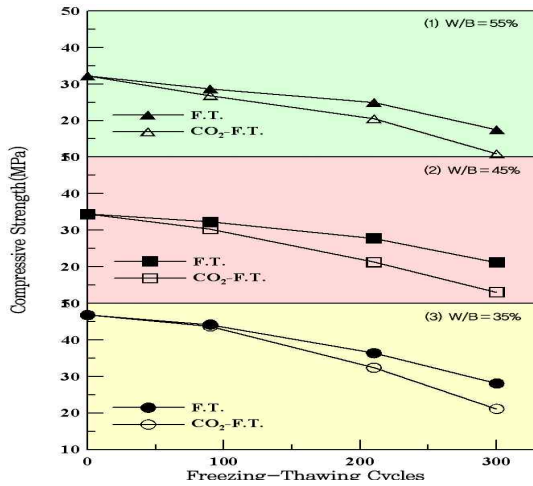


그림 4. 동결-사이클에 따른 압축강도

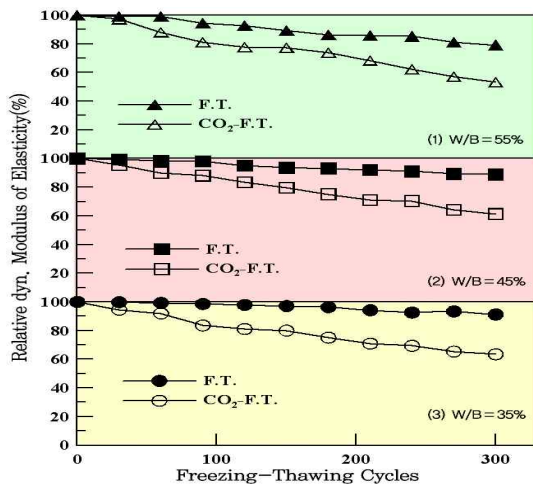


그림 5. 사이클 수에 따른 상대동탄성계수

<그림 4>는 탄산화와 동결융해를 받은 콘크리트의 압축강도 변화를 나타낸 것으로 동결융해 사이클의 증가에 따라 콘크리트의 압축강도가 동결융해작용만을 받은 콘크리트 보다 증가하게 된다. 이는 콘크리트가 동결할 때에 발생하는 내부 수분의 팽창압을 완충작용하는 공극이 탄산화의 진행으로 인해 줄어들어 표면의 균열발생과 함께 내부의 수분이동이 빨라져 나타나는 현상이다. 또한 <그림 5>의 상대 동탄성계수의 변화도 강도의 변화와 같이 탄산화와 동결융해 작용을 받아 콘크리트의 성능저하가 더 크게 일어나는 현상을 볼 수 있다⁵⁾.

즉, 탄산화의 진행은 화학반응에 의하여 조직을 치밀하게 만들고 물질의 이동경로를 저항하게 되는데 동결융해와 같이 내부의 팽창압 증가와 같은 물리적 작용의 경우 완충작용 공간의 부족으로 그 손상이 단독 성능저하보다 크게 나타나는 현상이라 할 수 있다.

5. 맺음말

콘크리트 구조물은 거푸집을 제거하여 대기에 노출되는 순간부터 이산화탄소의 영향으로 탄산화가 진행된다. 콘크리트 탄산화를 중심으로 한 복합성능저하는 주지하는 바와 같이 성능저하의 억제효과와 증진작용을 동시에 일으킨다는 것을 여러 연구결과를 통해 알 수 있었다. 그러나 실제 콘크리트 구조물에서는 탄산화, 염분침투 및 동결융해가 동시에 복합적으로 작용하는 경우 등도 있기 때문에 성능저하의 정도를 평가하기 위해서는 다양한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다. □

참고문헌

- 권영진, 정시영, 김무한, 중성화에 관련하는 복합성능저하 등에 기인한 철근부식이 구조물의 역학적 거동에 미치는 영향(1), 한국구조물진단학회, 2004, Vol. 5, No. 4, pp. 19 ~ 27.
- 김영봉, 조봉석, 김영덕, 나철성, 김규용, 김무한, 염해 및 중성화의 복합성능저하작용에 따른 콘크리트의 내구특성 평가에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표회, 2007, Vol. 27, No. 1, pp. 587 ~ 590.
- 문소현, 소승영, 소양섭, 모르타르 내의 염화물이 중성화에 미치는 영향, 대한건축학회 학술발표논문집, 1995, Vol. 15, No. 2, pp. 749 ~ 752.
- 이창수, 윤인석, 대기환경 변화를 고려한 콘크리트 구조물의 중성화 예측, 콘크리트학회논문집, 2000, Vol. 15, No. 4, pp. 578 ~ 588.
- 박광필, 광물질혼화재를 사용한 콘크리트의 복합열화, 박사학위논문, 대전대학교, 2010.
- 細川 佳史, 山田 一夫, 複合劣化に起因した化學反應によるセメント硬化體の組成變化の熱力學的モデルによる再現, 콘크리트工学年次論文集, 2006, Vol. 28, No. 1, pp. 977 ~ 982.
- 川端 雄一郎, 松下 博通, 藤田 數正, 祝井 健志, 混和材を混入したモルタルの鹽分浸透と中性化の複合劣化に關する檢討, 콘크리트工学年次論文集, 2005, Vol. 27, No. 1, pp. 841 ~ 846.
- 小柳 治ほか, 著しいAAR損傷を生じたRCはりの舉動, 콘크리트工学年次論文報告集, 1993, Vol. 15, No. 1, pp. 947 ~ 952.
- Mehta, P. K., Concrete, Prentice Hall, 1993, pp. 126 ~ 176.
- Young, Mindess, Darwin, Concrete, Pearson Education, 2002, pp. 477 ~ 516.
- Sarja, A. and Vesikari, E, Durability Design of Concrete Structures, E & FN SPON, 1996.

담당 편집위원 :
권기주(한국전력공사) kyeunkjoo@kepco.co.kr