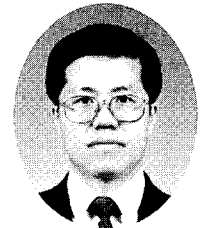


콘크리트 구조물 내구성 설계의 고려 요인 - Major Points for Durability Design of Concrete Structures -



이장화*

1. 콘크리트 구조물의 내구수명

콘크리트 구조물의 내구성은 구조물을 얼마나 오랫동안 안전하게 사용할 수 있는지를, 즉 사용수명과 직접적으로 연결된다. 구조물의 수명(耐用年數로 표현하기도 함)을 정량적으로 산정하기는 대단히 어려운 문제이다. 구조물의 수명에 대해서는 경제적 수명, 사회적(기능적) 수명, 물리적 수명의 개념이 있으며 기술적인 측면에서의 수명을 거론할 경우에는 대부분 물리적 수명을 의미하게 된다. 법적으로는 감가상각이나 상환기간 또는 소득세법과 관련된 경제적 수명을 의미하게 된다. 경제적 수명의 개념에서 일본의 법률(日本大藏省令 第15號(昭和 58年 4月 1日))에 규정된 것 중 철근 콘크리트 구조물로서 건축물의 수명과 토목 구조물의 수명을 요약하여 기술하면 <표 1> 및 <표 2>와 같다¹⁾.

<표 1>과 <표 2>의 내용을 요약하면 철근 콘크리트 구조물의 수명은 일반적인 건물의 경우 60~65년, 교량의 경우 50년, 터널의 경우 60년이다.

위에서 제시된 철근 콘크리트 건물(사무소)의 법적(경제적) 수명은 철근 콘크리트 구조물의 피복두께를 내화(耐火) 측면에서 3cm로 했을 때 피복 콘크리트가 중성화되는 데 65년이 걸린다는 중성화 수명설에 근거한 것이다. 즉 철근 콘크리트 구조물이 설계대로 시공되고 특별히 수명을 저하시키는 열화 요인이 없

고 하더라도 궁극적으로는 피복 콘크리트의 중성화로 인해 수명이 종료됨을 의미한다.

표 1. 건축물의 수명

용도	구조	철골 철근 콘크리트 구조 및 철근 콘크리트 구조
사무소, 미술관 등 점포, 주택, 기숙사, 숙박업소, 학교, 체육관		65
		60
극장, 연수장, 영화관, 무용장		50
병원		47
발전소, 변전소, 송수신소, 정차장, 차고, 격납고 등		45
공장 (작업장을 포함한) 창고	염소, 염산, 황산, 질산 등의 현저한 부식성을 가지는 액체 또는 기체의 영향을 직접, 전면적으로 받는 것 및 냉동 창고	26
	염, 초석, 기타의 현저한 용해성을 갖는 고체를 상시 저장하는 것, 현저한 증기의 영향을 직접 전면적으로 받는 것	35
기타	창고사업 의 창고	23 ~ 35
	기타	45

표 2. 토목 구조물의 수명

구조 또는 용도	세분		내용연수
철도(업)용 또는 케도(업)용	교량	철근 콘크리트 구조	50
	터널	철근 콘크리트 구조	60

* 정회원, 한국건설기술연구원 기획조정실 실장

위에서 기술한 경제적인 수명은 피복 콘크리트가 중성화되는 데 소요되는 기간에 근거한 것으로서 결국에는 기술적 측면의 수명으로서 내구수명을 의미하게 된다. 물론 콘크리트 구조물이 중성화만으로 열화되어 수명이 종료되는 것은 아니며 여러 가지 내구성 요인의 영향에 따라 수명을 달리하게 된다.

2. 콘크리트 구조물의 열화 요인

철근 콘크리트 구조물을 구성하는 부재는 구조 역학적으로 안전한 상태이고 특수한 열화 요인이 없는 일반 대기 환경 하에서도 대기 중의 이산화탄소에 의해 콘크리트가 중성화된다. 피복 콘크리트가 중성화되면 콘크리트내의 철근에 부식이 야기되어 균열, 탈락, 박리 등이 나타나게 되며 결국에는 구조역학적인 성능 저하를 초래하게 되고 구조물의 안전성이 저하된다.

〈그림 1〉은 지난 약 10년간 발간된 400여 종의 자료를 통해 철근 콘크리트 구조물의 물리·화학적 열화 메커니즘별 영향을 분석한 것이다.²⁾ 이들 자료는 국내의 구조물에 대한 자료는 아니지만 콘크리트 구조물의 공통적인 특성과 우리나라에서 그동안 콘크리트 구조물을 설계·시공하고 유지관리하면서 사용해 온 과정을 고려해 볼 때 〈그림 1〉의 열화 메커니즘별 영향이 국내의 상황과 유사한 경향을 나타낼 것으로 판단된다.

〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 물리·화학적으로 철근 콘크리트 구조물의 수명에 영향을 미치는 요인은 대체로 온도 변화, 계절 변화, 동결 융해, 강우·습도, 대기 조건, 흙의 화학 물질 농도 등 환경적인 것으로서 중성화(carbonation), 염화물 침해(chloride attack), 철근 부식(corrosion), 동결융해, 황산 침해(sulphate attack), 알칼리-골재 반응(alkali-aggregate reaction) 등의 순으로 나타나고 있다. 이러한 요인을 큰 범주에서 보면 화학적 요인(chemical effects)이 전체의 54%를 차지하고 있다. 이와 같이 대부분의 콘크리트 구조물 열화는 여러 가지 열화 요인 중 두세 가지 열화 요인이 복합적으로 서서히 작용하며 시공 후 사용 기간이 경과함에 따라 심해진다.

우리나라의 경우에도 주요 열화 요인은 유사할 것으로 판단되며 설계·시공 환경, 지역적 환경, 기후 및 계절적 환경 등의 요인을 고려할 때 중성화, 염화물 침해, 철근 부식 및 동결 융해에 따른 수축 팽창의 4가지를 대표적인 열화 요인으로 설정할 수 있다.

〈그림 2〉는 〈그림 1〉의 자료 중에서 설계상의 오류 요인과 콘크리트의 압축강도 요인을 제외한 상태에서 콘크리트내의 시멘트 페이스트의 미세 구조(cement paste microstructure) 및 거시적 환경(macro-environment)과 관련하여 내구성에 영향을 미치는 시공 및 환경상의 요인에 대한 것이다.²⁾

〈그림 2〉에서의 각 요인은 대부분 물과의 직접·간접적인 관련이 크다고 볼 수 있으며 결과적으로는 콘크리트의 침투성(permeability)과 강도가 품질의 지배적인 인자가 되어 시간이 경과함에 따라 내구성을 좌우하게 된다. 우리나라의 일반 구조물에 있어서는 아래의 그림 상에 나타난 자료에 비해 물의 영향이나 배합 설계의 영향이 다소 클 가능성은 있지만 품질관리 체계나 설계·시공 절차를 고려할 때 〈그림 2〉의 분석 결과를 벗어나지 않을 것으로 판단된다.

〈그림 2〉의 내용과 위에서 기술한 사항들을 종합 분석하여 콘크리트의 열화 요인과 열화 메커니즘에 대해 요약하면 아래와 같다.

- ① 철근 콘크리트의 열화 메커니즘과 열화의 정도는 구조물이 처하는 주변 환경, 페이스트의 미세 구조 및 콘크리트의 압축 강도에 좌우된다.
- ② 주변 환경적 요인은 계절적인 온도 변화, 반복적인 동결 융해에 따른 수축 팽창, 강우 및 상대습도의 변화, 땅속에 있는 열화 물질의 침투, 지하수 및 대기 조건 등이다.
- ③ 콘크리트를 조기에 열화시키는 가장 중요한 인자는 수분의 침투이다. 따라서 콘크리트의 투수성은 거시적 측면에서 콘크리트 내구성의 척도로 사용될 수 있다.
- ④ 콘크리트의 화학적 열화는 콘크리트의 공극 구조에 상당한 영향을 받는다.

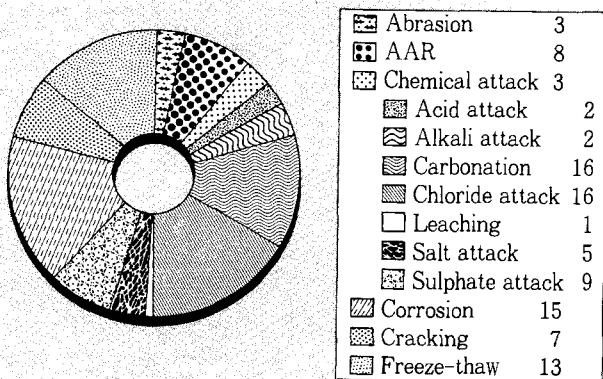


그림 1. 내구성에 영향을 미치는 열화 메커니즘별 기여도(단위: %)

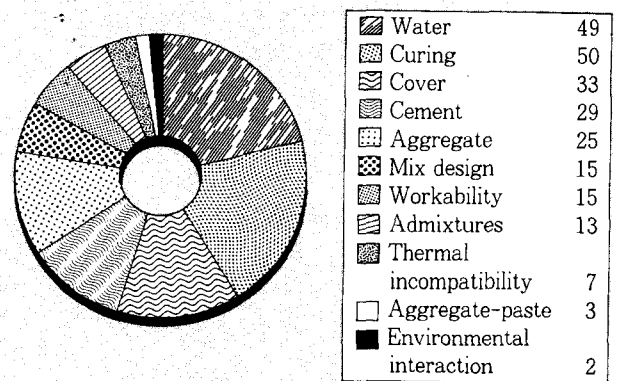


그림 2. 내구성에 영향을 미치는 시공 및 환경상의 요인(단위: 개)

⑤ 따라서 콘크리트의 투수성과 압축강도는 콘크리트의 품질을 나타내는 대표적인 인자로서 콘크리트의 내구성을 평가하는 기본적인 척도로 설정할 수 있다.

3. 철근 콘크리트 구조물의 내구수명 구성

철근 콘크리트 구조물의 내구수명을 구성하는 요인에 대해 검토하기 위하여 구조물의 수명 구성 요인을 설계, 시공, 사용 및 유지관리 측면에서 아래 <그림 3>과 같이 설정하여 구성한다. 즉, 철근 콘크리트 구조물의 수명은 구조물의 설계 및 시공에 의해 수명이 결정되고 사용 환경하의 열화 요인에 의해 수명이 저하되며 효율적인 유지관리에 의해 수명을 연장할 수 있다.

<그림 3>의 개념을 간략히 기술하면 구조물은 수명 결정 요인 즉, 설계 시공에 의해 균열, 투수·투기성 및 강도가 결정되어 구조물 품질에 따라 일정한 수명(품질상 수명)이 주어지게 된다. 그러나 구조물의 품질에 따라 수명이 주어지더라도 아무런 변화 없이 그 수명을 다하게 되는 것은 아니다. 즉, 구조물이 처해 있는 주변 환경, 지역적인 자연 환경 및 사용(가동) 환경에 따라 여러 가지 열화 요인이 작용하여 서서히 내구수명이 저하되며 그 수명이 초기에 주어진 품질상의 수명보다도 짧아지게 된다. 이러한 열화 요인에 따른 수명 저하를 최소화시키고 초기에 주어진 수명 상태를 회복하기 위하여 유지관리를 통한 보수 및 보강을 하게 되며 유지관리를 효율적으로 실시하여 적기에 적절한 방법으로 보수 및 보강을 함으로서 수명 연장이 가능하게 된다.

4. 콘크리트 구조물의 내구성 영향 요인

<그림 3>에서 수명 구성 요인을 설정하였는데 구조물의 내구성 영향 요인이란 위의 수명 구성 요인 전체를 의미한다. 이러한 내구성 영향 요인은 구조물에 따라서 동일한 비율 혹은 일정한 정도로 작용하는 것이 아니라 천차만별로 또한 복합적으로 작용하게 된다. 즉, 품질에 따라서 수명이 다르게 결정될 것이며 구조물이 처하는 지역적 환경, 자연 환경 및 사용 환경에 따라 내구수명이 저하되는 메커니즘이 다르게 될 것이다. 즉 모든 구조물은 각기 수명을 지배하는 요인이 다르게 되어 수명 저하 과정이 달라지고 최종 수명도 달라지게 된다.

위의 결정 요인 중 재료적 문제 및 시공 과정에서 발생하는 일부 균열은 구조 건전성 측면에서 초기에는 문제되지 않을 수 있지만 장기적으로 열화 요인이 작용하게 되면 구조물의 내구수명에 영향을 미치게 된다. 그리고 균열을 제외한 각종 품질 상태는 압축강도, 투수성 및 투기성으로 표현할 수 있으며 통상 외관상으로 나타나지는 않지만 구조물의 내구성 및 수명에 중요한 영향을 미치는 요인이 피복 두께이다. 이들 결정 요인 중 유지관리 과정에서 관리 및 보수·보강이 가능한 것은 균열과 투수·투기성이며 피복 두께는 특별한 경우를 제외하고는 유지관리 대상이 되지 않는 것이 대부분이다.

구조물의 내구수명에 영향을 미치는 요인은 <그림 3>에서와 같이 대단히 많다. 그리고 대부분의 구조물에는 이들 요인 중 몇 가지 혹은 여러 가지 요인이 복합적으로 작용하게 된다. 우리나라의 경우 대부분의 구조물이 처하게 되는 지역적 환경, 자연 환

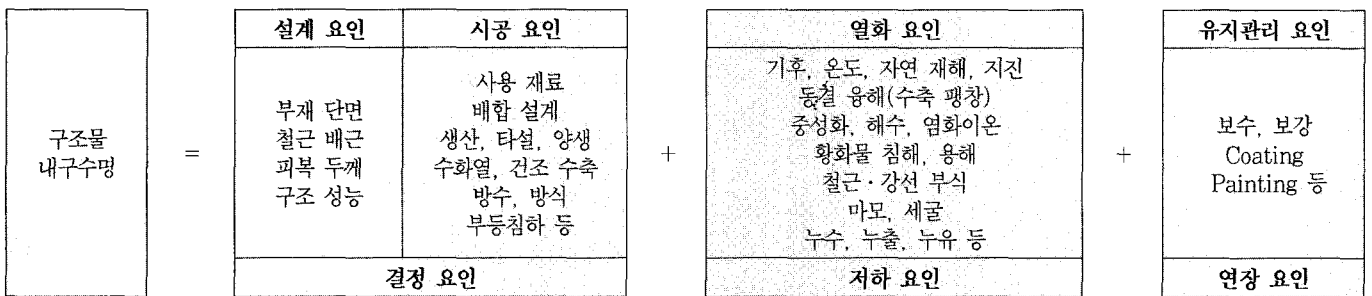


그림 3. 철근 콘크리트 구조물의 내구수명 구성

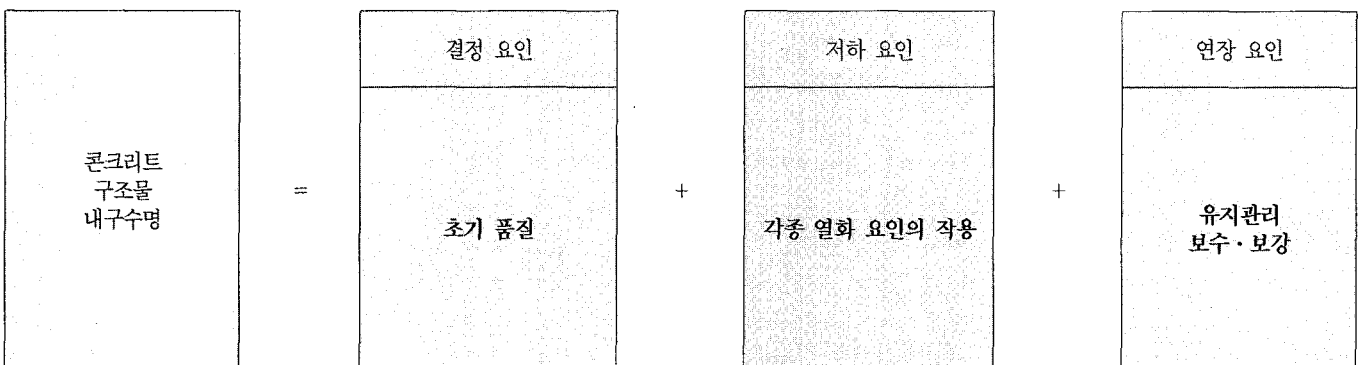


그림 4. 콘크리트 구조물의 내구수명 영향 요인

경 및 사용 환경 측면에서 볼 때 <그림 3>의 열화 요인 중 대표적으로 중성화 및 염해를 들 수 있고 열화를 가속시키는 요인으로서 동결 융해에 따른 수축 팽창이 항시 작용한다고 볼 수 있다. 위에서의 같이 콘크리트 구조물의 설계·시공 환경, 지역적 환경, 자연 환경 및 사용 환경을 종합 분석한 결과 구조물의 내구수명에 영향을 미치는 요인은 결정 요인과 지하 요인 그리고 유지관리를 통해 이들의 수명 저하 작용을 관리·억제하여 수명을 연장시키는 연장 요인 등 3대 요인으로 정의할 수 있으며 <그림 4>와 같이 요약할 수 있다.

<그림 4>에서 내구성 영향 요인 중 결정 요인과 지하 요인의 영향을 최소화시키는 행위가 내구성을 향상시키기 위한 설계, 즉 내구성 설계이며 이러한 내구성 설계를 통해 초기 품질을 극대화시키고 각종 열화 요인의 작용을 최소화시킴으로써 목표로 하는 최장의 내구수명을 확보해야 할 것이다. □

참고문헌

1. 福島敏夫, 鐵筋コンクリート造建築物の壽命, 技報堂出版, 1990.
2. P.A.M.Basheer, S.E.Chidiac and A.E.Long, Predictive models for deterioration of concrete structures, Construction and Building Materials, Vol. 10, NO. 1, 1996, pp.27~37.
3. James R. Clifton, Predicting the remaining service life of concrete, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, 1991. 11.
4. R.F. Baker, Initiation period, in corrosion of steel in concrete, RILEM Report, 1988, pp.22~55.
5. R. Shuman, V.V. Rogers, and R.A. Shaw, The Barrier code for predicting long-term concrete performance, Waste Management 89, University of Arizona, 1989.
6. 日本建築學會, 建築物の耐久計劃に關する考へ方, 1988.

해외 건설 주요 수주 공사 (2001. 11. 30 현재)

(단위 : 백만 달러)

국 가	업체	공사명	금액
계		65건	3,421
U.A.E.	두산중공업	후자이라 담수 발전 공사	802
이 란	엘지건설	Assaluyeh 발전 시설 및 관련 설비 설치	405
쿠웨이트	SK건설	MAA 정유공장 화재 복구 공사	289
나이지리아	대우건설	코손채널가스처리 플랜트 시설 공사	238
홍 콩	현대건설	New Kowloon 주거단지 개발 공사	209
리비아	대우건설	벵가지 신규 종합병원 공사(II)	143
일 본	삼성물산	록봉기 3초메계획 건축 공사	98
인 도	삼성물산	델리 지하철 공사 MC1B	98
"	엘지건설	제3고속도로(IV-B) 공사	49
"	쌍용건설	제3고속도로(IV-D) 공사	47
"	엘지건설	아메다바드-바도다라 고속도로 공사	38
베트남	삼성ENG	푸미 비료 프로젝트	69
인 니	현대건설	수반 가스 처리 공사	66
싱가포르	현대건설	골든힐 파크 콘도미니엄 공사	50
스리랑카	코오롱건설	골 광역상수도 공사	34
기 타		30건	786