콘크리트 구조물의 건전성 평가 기법 개발

Development of Integrity Evaluation Techniques for Concrete Structures

정 연 주* 김 도 겸** 이 장 화*** 조 명 석**** 송 영 철*****

Jeong, Youn Ju · Kim, Do Gyeum · Lee. Jang Hwa · Cho, Myung Sug · Song, Young Chul

ABSTRACT

Structural integrity in concrete structures are affected by materialistic and environmental factors. Therefore, to develop a objective integrity evaluation method is extremely difficult. In this study, preliminary integrity evaluation method for concrete structures was proposed by conducting by visual and detailed inspection for in-situ conditions based on the weighting factors for structural significance and integrity degrading factors of each element constituting concrete structures.

1. 서론

콘크리트 구조물의 건전성은 건전성 저하요인(또는 손상요인)의 상태에 따라 많은 영향을 받으므로, 이들 건전성 저하요인에 대한 현재 상태평가를 바탕으로 구조물의 건전성을 평가할 수 있다. 본 논문에서는 콘크리트 구조물을 구성하는 각 부재의 구조적 중요도와 건전성 저하요인에 대한 가중치를 설정하고, 건전성 저하요인에 대한 상태평가를 통한 건전성 평가 기법을 개발하였다. 건전성 평가 기법은 부재분류 및 중요도 계수 설정, 건전성 저하요인(손상요인)및 가중치 설정, 상태평가, 건전성 평가의 4개의 항목으로 구성되었다.

2 부재 분류 및 중요도 계수 설정

2.1 부재분류

콘크리트 구조물에 대한 구조 건전성 평가를 위해 각 구조물별 부재 분류를 실시한다. 부재분류는 외관검사와 정밀검사가 가능한 부재를 포함하며, 한 구조물에 대해 부재 수가 너무 많아지지 않도록 유사한 역할을 담당하고 인접한 부재들을 그룹화하여 10~20개의 부재로 설정한다.

2.2 부재 중요도 계수

부재 중요도 계수는 구조물을 구성하는 각 부재의 상대적 중요도를 정량화한 것으로 1~10의 값을 갖는다. 부재 중요도 계수 설정의 기본 원칙은 기초부재, 수직부재, 수평부재, 기타부재로 분류하여 구조적 중요도에 따라 설정한다. 부재 중요도 계수 설정에 대한 세부기준은 다음와 같다. 첫째, 기초부재는 구조물에 작용하는 하중을 암반/지반으로 전달하는 가장 중요한 역할을 담당하므로 부재 중요도 계수를 가장 높은 10으로 설정한다. 둘째, 수직부재는 구조물에 작용하는 하중을 기초부재에 전달하는 중요한 역할을 담당하므로, 각 수직부재의 구조적 중요도에 따라 6~9의 중요도 계수를 부여한다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 연 구 원
** 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원
**** 정회원, 전력연구원 원자력연구실 선임연구원
***** 정회원, 전력연구원 원자력연구실 책임연구원

셋째, 수평부재는 구조물에 작용하는 하중을 수직부재에 전달하는 중요한 역할을 담당하므로, 각 수평부재의 구조적 중요도에 따라 5~8의 중요도 계수를 부여한다. 넷째, 기타부재는 각 부재의 구조적 중요도에 따라 1~6의 중요도 계수를 부여한다.

3. 건전성 저하요인(손상요인) 및 가중치 설정

3.1 건전성 저하요인

건전성 저하요인은 구조물의 건전성에 영향을 미치는 손상요인을 나타내며, 이것은 다시 직접적 건전성 저하요인과 간접적 건전성 저하요인으로 분류하여 설정한다. 이때 직접적 건전성 저하요인은 구조물에 대한 외관검사와 정밀검사에 의해 검사 가능한 8개 요인으로 설정하였으며, 간접적 건전성 저하요인은 구조물의 건전성에 영향을 미치는 사용환경에 관련된 6개 요인으로 구성한다. 직접적 건전성 저하요인과 간접적 건전성 저하요인 분류에 대한 세부사항은 다음과 같다.

- 직접적 건전성 저하요인 : 외관검사(4개 요인) : 균열, 박리/박락, 철근노출/부식, 누수/누유
  정밀검사(4개 요인) : 강도, 염분량, 중성화, 부등침하
- 간접적 건전성 저하요인 : 구조적 요인(3개 요인) : 피로/진동, 긴장력, 피복두께
  재료적 요인(3개 요인) : 기후/온도, 화학물질, 방사능

3.2 건전성 저하요인별 가중치

구조물의 건전성에 영향을 미치는 각 건전성 저하요인의 상대적 중요도에 따라 가중치를 부여하며, 각 부재에 대해 직접적, 간접적 건전성 저하요인에 대한 가중치의 합이 각각 1.0(100%)이 되게 설정한다. 또한 상대적으로 부재에 대한 상태평가 결과가 신뢰성이 높다고 판단되는 항목에 대해 높은 가중치를 부여한다. 즉 각 부재에 대해 검사가 불가능한 정밀검사 항목(강도, 염분량, 중성화, 부등침하)에 대해서는 검사가 가능한 특정 부재의 검사 결과(상태평가)를 확대/적용하지만, 이 경우 검사가 불가능한 정밀검사 항목(강도, 염분량, 중성화, 부등침하)에 대한 가중치는 상대적으로 낮아지고, 검사가 가능한 외관검사 항목(균열, 박리/박락, 철근노출/부식, 누수/누유)의 가중치가 높아지게 설정한다. 건전성 저하요인별 가중치 설정은 표 1. 과 같다.

표 1. 건전성 저하요인별 가중치 설정

구분 / 부재	부재 중요도 계수	직접적 건전성 저하요인									간접적 건전성 저하요인						
		외관검사				정밀검사				손상요인 가중치합	구조적 요인			재료적 요인			손상요인 가중치합
		균열	박리/박락	철근노출/부식	누수/누유	강도	염분량	중성화	부등침하		피로/진동	긴장력	피복두께	기후/온도	화학물질	방사능	
A부재*	9	0.15	0.1	0.15	0.1	0.1	0.15	0.1	0.15	1.0	0.25	0.1	0.15	0.2	0.2	0.1	1.0
B부재**	8	0.18	0.12	0.17	0.13	0.08	0.1	0.07	0.15	1.0	0.25	0.1	0.15	0.2	0.2	0.1	1.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

* 정밀검사 실시 부재

** 정밀검사 미실시 부재

4. 건전성 저하요인에 대한 상태평가

구조물을 구성하는 각 부재의 건전성 평가를 위해 직접적 건전성 저하요인과 간접적 건전성 저하요

인에 대해 각 부재의 상태평가를 실시한다. 직접적 건전성 저하요인에 대한 상태평가는 각 부재에 대한 외관검사, 정밀검사 결과를 바탕으로 실시하고, 간접적 건전성 저하요인에 대한 상태평가는 기타 유지관리 이력 자료나 구조물 또는 부재의 사용환경을 참고로 실시한다. 이때 직접적 건전성 저하요인에서 외관검사 항목(균열, 박리/박락, 철근노출/부식, 누수/누유)은 전체 부재에 대한 상태 평가가 가능하지만, 정밀검사 항목(강도, 염분량, 중성화)은 한 구조물의 특정 부재에 대해서만 평가가 가능하다. 이 경우 같은 구조물에서 정밀검사(강도, 염분량, 중성화) 결과는 거의 동일한 결과를 갖는 것으로 가정하여 정밀검사를 실시하지 않은 부재에 대해서도 동일한 상태 평가 결과를 적용하는 것을 원칙으로 하지만, 정밀검사가 실시되지 않은 부재에서의 상태평가 결과는 정밀검사가 실시된 부재에 비해 신뢰성이 저하되는 것으로 판단하여 정밀검사가 실시되지 않은 부재에 대해서는 3.2. 건전성 저하요인별 가중치 설정에 나타낸 방법으로 건전성 저하요인 가중치를 하향 조절하고, 점검이 실시된 외관검사 항목의 가중치를 상향 조절한다. 각 항목에 대한 상태 평가는 3등급 평가를 실시하는 것을 원칙으로 하고, 이때 각 등급에 대한 세부기준과 벌점 부여는 표 2.~표 3. 과 같다.

표 2. 직접적 건전성 저하요인에 대한 상태평가 등급 기준

구분 / 등급	외관검사				정밀검사			
	균열	박리/박락	철근노출/부식	누수/누유	콘크리트 강도	염분량	중성화	부등침하
A등급(1점) 좋은상태	없 음	없 음	없 음	없 음	110% 이상	표면부: 0.03% 이하 철근부: 0.005% 이하	0.5 이하	1mm 이하
B등급(2점) 보통상태	1~5개	간헐적 가벼움	간헐적 가벼움	간헐적 가벼움	90~110%	표면부: 0.03% 이하 철근부: 0.005~0.03%	0.5~0.8	1~5mm
C등급(4점) 나쁜상태	6개 이상	연속적 심각함	연속적 심각함	연속적 심각함	90% 이하	표면부: 0.03% 이상 철근부: 0.03% 이상	0.8 이상	5mm 이상
등급기준	허용균열폭 0.25mm이상 균열 수	박리/박락 상태	철근노출/부식상태	누수/누유 상태	설계강도	염화물량 표면부 염화물량 철근부 염화물량	a/b의 비 a:중성화깊이 b:피복두께	부 등 침하량

표 3. 간접적 건전성 저하요인에 대한 상태평가 등급 기준

구분 / 등급	구조적 요인			재료적 요인		
	피로/진동	긴 장 력	피복두께	기후/온도	화학물질	방 사 능
A등급(1점) 좋은상태	없음	손실량 10% 이하	5.08 cm 이상 (2.0 inch 이상)	50° 이하	없음	일반관리 구역
B등급(2점) 보통상태	간헐적	손실량 10~20%	1.27~5.08 cm (0.5~2.0 inch)	50°~100°	간헐적 접촉	저방사능 구역
C등급(4점) 나쁜상태	주기적, 연속적	손실량 20% 이상	1.27cm 이하 (0.5 inch 이하)	100° 이상	지속적 접촉	고방사능 구역
등급기준	피로/진동 사용환경	긴장력 손실량	피복두께	기후/온도 변화상태	화학물질 접촉상태	방사능 농도

5. 건전성 평가

건전성 평가는 부재별 건전성평가, 건전성 저하요인별 건전성 평가, 구조물의 건전성 평가의 순으로

실시한다. 이때 각 항목에 대한 건전성 평가는 직접적 건전성 저하요인, 간접적 건전성 저하요인에 대해 독립적으로 실시하고, 필요시 각 건전성의 적절한 조합에 의해 종합적 건전성 평가를 실시할 수 있다. 각 항목별 건전성 평가는 평가된 건전성 지수를 바탕으로 하며, 건전성 지수에 대한 건전성 등급은 다음과 같다.

- 건전성 지수에 대한 건전성 등급 기준
  - A등급 : 좋은상태, 건전성 지수 1.0~1.5
  - B등급 : 보통상태, 건전성 지수 1.5~2.5
  - C등급 : 나쁜상태, 건전성 지수 2.5~4.0

각 건전성 평가 항목에 대한 건전성 지수는 다음과 같은 방법에 의해 평가한다.

- 부재별 건전성 지수 = $\sum_{i=1}^{L}$[(건전성 저하요인 가중치)×(상태평가 등급)]
- 건전성 저하요인의 건전성 지수 = $\sum_{i=1}^{M}$[(건전성 저하요인 가중치)×(상태평가 결과)]/Y
- 구조물 건전성 지수 = $\sum_{i=1}^{N}$[(부재 중요도 계수)×(부재 건전성 지수)]/N
  - M : 구조물을 구성하는 부재 수
    N : 각 부재 중요도 계수 합
    L : 건전성 저하요인 항목 수
    Y : 각 건전성 저하요인별 가중치 합

6. 결론

기존 구조 건전성 평가 기법에 대한 분석을 바탕으로 국내 실정에 적합한 구조 건전성 평가 기법을 개발하였다. 개발된 구조 건전성 평가 기법은 구조물/부재 분류 및 중요도 계수 설정, 건전성 저하요인(손상요인) 분류 및 가중치 설정, 상태평가, 건전성 평가의 순으로 구성되었다. 이때 건전성 저하요인은 구조물에 대한 점검을 통하여 상태평가가 가능한 직접적 건전성 저하요인과 구조물의 사용환경에 관계되는 간접적 저하요인으로 구분하였으며, 건전성 평가는 부재별 건전성 평가, 건전성 저하요인별 건전성 평가, 구조물별 건전성 평가로 구성하였다. 개발된 구조 건전성 평가 기법을 실제 구조물에 적용한 결과 합리적인 결과를 나타내어 콘크리트 구조물의 건전성 평가에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. James R. Clifton(1991), Predicting the Remaining service life of concrete, NISTIR 4712.
2. James R. Clifton(1993), Methods for predicting remaining life of concrete in structures, James Clifton, James Pommersheim, NISTIR 4954.
3. C.J., Hookham(1991), Structural Aging Assessment Methodology for Concrete Structures in Nuclear Power Plant, ORNL/NRC/LTR-90/17.
4. Baltimore Gas & Electric Company(1996), Calvert Cliffs Nuclear Power Plant Integrated Plant Assessment Methodology.
5. J., Carey(1998), Concrete Structures Aging Reference Manual for Nuclear Power Plants, TR-110025.