

콘크리트 구조물의 균열측 허용치 규정의 개선방향에 관한 연구

최 윤 호 대통령경호실

〈목 차〉

1. 서론
2. 균열에 영향을 미치는 환경요인
3. 각국의 환경정도 및 균열폭 허용치 규정의 비교 분석
 - 3-1. 각국의 환경정도가 균열에 미치는 정도 비교 분석
 - 3-1-1. 온도의 변화
 - 3-1-2. 건습의 정도 및 반복
 - 3-1-3. 동결융해의 반복(작용)
 - 3-1-4. 가스 및 산의 작용
 - 3-2. 각국의 균열폭 허용치 규정 비교분석
4. 결론

1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 안전사고가 빈번히 발생함에 따라 구조물의 안전성을 증진시키기 위한 보수·보강이 급격히 증가하고 있는 실정이다. 그러나 중요한 것은 콘크리트 구조물의 보수·보강 시기를 적절하게 판단하여 적용하는 것이라고 본다. 즉 보수·보강을 필요로 하지 않는 구조물을 조기에 보수·보강을 실시하여

보수비를 낭비한다든지, 보수·보강을 실시해야 할 구조물인데도 적절한 시기를 놓침으로 인해서 보수·보강의 범위가 확대되거나 아예 구조물을 재건축해야 하는 상황으로 발전함으로써 과도한 경제적 손실을 초래할 수 있기 때문에 보수보강의 적절한 시기를 판단하는 것은 콘크리트 구조물의 보수·보강 적용에 중요한 요인 중의 하나이다.

콘크리트 구조물의 보수·보강을 결정하는 요건 중의 하나가 콘크리트 균열폭과 균열깊이라 할 수 있으며, 선진외국에서는 이러한 균열폭의 허용값을 환경조건에 따라 세분화시켜 균열폭 허용값을 엄격히 규정하여 구조물의 보수·보강 시기를 결정하는 중요한 판단근거로 활용하고 있다.

본 논문에서는 선진외국에서 제시하고 있는 균열폭 허용값과 균열에 영향을 미치는 환경정도를 우리나라의 조건과 상호비교함으로써 우리나라의 균열폭 허용값에 대한 규정의 문제점을 지적하고 앞으로의 개선방향을 제시함으로써 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 보수·보강의 시기를 조금이나마 효율적으로 판단하는데 기여하고자 한다.

2. 균열에 영향을 미치는 환경요인

콘크리트 구조물의 균열발생 원인은 재료에 의한 요인, 시공에 의한 요인, 사용 환경에 따른 요인, 외력·하중에 의한 요인으로 크게 분류할 수 있다. 콘크리트의 품질은 콘크리트가 놓여지는 환경과 외부로부터의 작용 등이 원인이 되는 외적 요인과 콘크리트 자체의 물성변화가 원인이 되는 내적 요인에 의해 점차 열화해 간다. 실제의 콘크리트는 개개로 독립된 요인에 의하여 그 기능이 저하하거나 수개의 요인이 동시에 복합적으로 작용하여 균열발생 등 열화가 진행된다.

본 연구에서는 콘크리트의 사용 환경에 의한 균열발생의 원인에 대해 고찰하고자 한다.

콘크리트 구조물 균열에 영향을 줄 수 있는 요소로는 여러가지 요인이 있겠지만, 특히 환경의 요인에 대해서는 지역별, 상향별로 그 정도

표 2-1. 콘크리트 균열에 영향을 미치는 환경조건

작용의 종류	영향인자	콘크리트의 내구성
기상 작용	온도 및 그 변화	내후성
	건습의 반복	
	동결 융해의 반복 공기중의 탄산가스	중성화
화학 작용	화학약품 (유기, 무기산) 가스	내 화학약품성 내해수성 강제의 부식

표 3-1. 각국 주요도시의 월평균 기온현황

주요도시	월 평균 기온(°C)												평균	비고
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
한국(서울)	-2.2	-1.6	4.9	10.2	18.4	22.3	24.4	26	22	14.5	6.1	1.6	12.2	
미국(뉴욕)	-0.3	0.9	5.8	11.4	17.1	22	24.9	24.2	20.1	14.2	8.7	2.6	12.6	
일본(동경)	5.2	5.6	8.5	14.1	18.6	21.7	25.2	27.1	23.2	17.6	12.6	7.9	15.6	
영국(런던)	3.5	3.8	5.7	8.0	11.3	14.4	16.5	16.1	13.8	10.7	6.4	4.5	9.6	
프랑스(파리)	3.4	4.2	6.6	9.5	13.2	16.4	18.4	18	15.3	11.4	6.7	4.2	10.6	

를 달리하고 있어 중요한 균열영향요소의 변수로 대두되고 있다. 이러한 환경조건을 <표 2-1>에 나타내었다.

3. 각국의 환경정도 및 균열폭 허용치 규정의 비교분석

3-1. 균열에 영향을 미치는 환경조건의 비교 분석

3-1-1. 온도의 변화

콘크리트 구조물에 있어서 기온의 상승과 변화에 따라 콘크리트가 신축팽창을 반복하면 온도균열이 발생하고, 발생된 균열은 계속적으로 진행된다고 한다.

그러므로 온도의 변화 정도에 대한 비교분석은 균열의 발생과 진행에 어느 정도의 영향을 미치는가를 판단할 수 있는 근거 자료라 할 수 있다.

<표 3-1>은 각국 주요도시의 연중 월평균 기온현황을 나타낸 것으로서 연중 월평균 기온차는 우리나라가 28.2°C, 미국이 25.2°C, 일본이 21.9°C, 영국이 13°C, 프랑스 15°C 정도로서 온도의 변화폭이 우리나라가 가장 심함을 알 수 있다. 또한 <그림 3-1>에서 알 수 있듯이 월 온도 변화의 차이 및 변동횟수에 있어 우리나라가 가

표 3-2. 각국 주요도시의 월평균 습도현황

주요도시	월별 상대습도(%)												평균	비고
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
한국(서울)	51	47	54	52	58	75	76	73	66	63	64	59	62	
미국(뉴욕)	62	60	59	55	63	65	64	66	68	66	65	64	63	
일본(동경)	50	52	56	63	66	73	76	73	73	67	61	54	64	
영국(런던)	86	83	80	77	77	76	76	78	81	84	85	86	80	

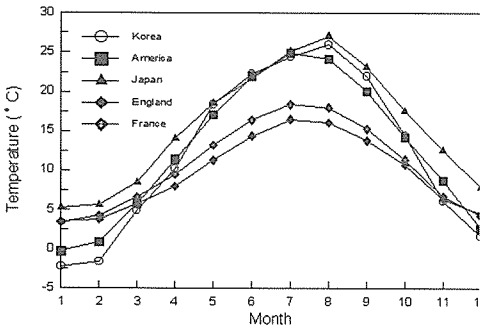


그림 3-1. 각국 주요도시의 월평균 기온변화

장 불안정한 그래프형을 보여 월간 온도변화의 차이나 변화의 정도가 가장 심하며 다음으로 미국, 일본, 프랑스, 영국순으로 나타나고 있어 연중 월평균 기온차와 유사함을 알 수 있다.

따라서 균열에 영향을 미치는 온도 및 그 변화정도면에서 우리나라가 타국에 비하여 상당히 약조건의 환경임을 보이고 있어 콘크리트 구조물 균열에 가장 많은 영향을 미칠 수 있다고 판단된다.

3-1-2. 건습의 정도 및 반복

콘크리트가 습도 등의 기상작용에 의하여 신축, 팽창을 반복하면 건조 수축균열을 일으킨다고 한다. 실외습도의 변화에 의해서 부재양면에 습도차가 생기면 콘크리트 내부 응력이 발생하여 인장축의 표면에 균열이 발생하게 된다.

외부측이 고습이고, 내부측이 건조한 경우의 균열은 구속부재간의 거의 중앙의 고습측에 생기거나 구속부재 인접부의 건조측에 발생된다.

이와 같이 건습의 정도 및 반복은 온도의 변화와 함께 균열에 미치는 영향 요인 중의 중요한 부분을 차지하고 있다고 할 수 있다.

〈표 3-2〉는 각국별 연중 월평균 상대습도를 나타낸 것으로 최고와 최저의 습도차는 우리나라가 29%이고, 미국이 13%, 일본이 26%, 영국이 10%로 나타나 건습의 차이는 우리나라, 일본, 미국, 영국 순으로 나타남을 알 수 있으며 건습의 변화 및 반복의 정도를 알 수 있는 〈그림 3-2〉에서는 우리나라는 상당히 굴곡이 심한 불안정한 형태를 보여 건습의 변화 및 반복이 심한 편이며 그 다음으로 일본이며, 미국과 영국은 안정된 모습을 보이고 있어 건습의 정도 및 반복은

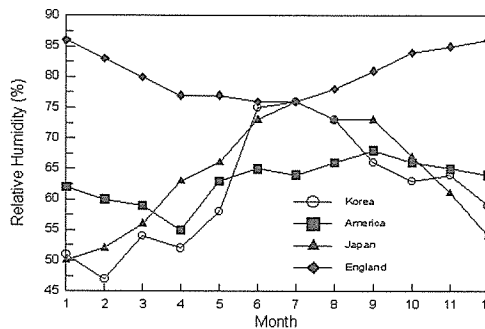


그림 3-2. 각국 주요도시의 월평균 습도변화

〈표 3-2〉와 〈그림 3-2〉에서 분석할 때 우리나라, 일본, 미국, 영국 순으로 그 정도가 심함을 알 수 있어 우리나라가 건설의 정도 및 반복에 의한 균열에 미치는 환경영향면에서도 타국에 비하여 악조건을 갖추고 있음이 입증되었다.

3-1-3. 동결융해의 반복작용

동결융해의 반복은 콘크리트에 균열, 스케일링, 손상 등 동해를 일으켜 미세한 균열의 발생이 지도모양으로 나타나는 pattern crack이나 구조물의 이음새, 단부 혹은 구조균열에 나타난 D 균열, 또 동해의 가장 일반적인 형태인 표면층의 박리(스케일링)으로 나타난다. 이의 환경영향을 요약하기 위해서는 〈표 3-3〉, 〈표 3-4〉에서와 같이 동결의 정도를 나타내는 최저기온 현황, 결빙일수로서 판단가능하므로 그 정도를 쉽게 알 수 있다. 〈표 3-3〉에서 우리나라는 1년의 1/3 이상에 해당되는 128일이 결빙일수이며, 이 중 1월, 2월, 3월, 4월, 10월, 11월, 12월 7개월이 결빙일수를 기록한 월로 나타나 동결융해의 작용이 어느 나라보다 심한 편이라고 할 수 있다.

표 3-3. 우리나라 연중 월 결빙일수 현황

월	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	계
일수(일)	30	27	18	6	-	-	-	-	-	2	15	30	128

표 3-4. 각국 주요도시의 월평균 최저기온 현황

주요도시	월 평균 기온(℃)												평균	비고
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
한국(서울)	-5.6	-5.5	1	5.9	13.3	19.1	21.2	22.9	17.5	10	2.4	-2.5	8.3	
미국(뉴욕)	-3.7	-2.8	1.6	6.6	12.1	17.2	20.2	19.6	15.6	9.8	5.1	-0.7	8.4	
일본(동경)	1.2	1.7	4.4	10	14.8	18.6	22.3	24	20.2	14.2	8.9	3.9	12	
영국(런던)	0.4	0.5	1.5	3.4	6.3	9.3	11.3	10.9	8.8	6.4	2.8	1.3	5.2	
프랑스(파리)	0.9	1.3	2.9	5	8.3	11.2	12.9	12.7	10.6	7.7	3.7	1.7	6.6	

〈표 3-4〉에서 월 최저기온 평균 기록값에서도 결빙기온인 0℃ 이하 기온이 타국에 비해서 많이 나타남으로써 온도, 습도의 조건에 이어 동결융해에 의한 균열의 영향면에서도 가장 불리한 것으로 나타났다.

3-1-4. 가스 및 산의 작용

콘크리트의 화학적인 침식은 황산, 염산, 질산, 탄산 등의 산에 의한 침식작용과 황화수소, 아황산가스, 질소산화물, 불화수소, 염화수소 등의 부식성 가스에 의한 침식으로 크게 구분되며 균열의 원인 제공인 콘크리트의 중성화는 알칼리성을 잃게 되는 것으로서 탄산가스 및 산성의 화학적 물질이 콘크리트에 침입하는 것으로서 산성비와 자동차의 배기가스, 아황산가스가 그 대표적인 예이다.

아래 〈표 3-5〉에서 보듯이 대기중의 환경오염 요인 중 콘크리트의 성질저하를 가져오는 오염 성분이 다소 내포되어 있으므로 이에 대한 비교는 콘크리트구조물에 영향을 주는 환경의 정도를 쉽게 비교할 수 있다고 볼 수 있다.

그 중 하나인 SO₂ 및 NO₂는 우리나라가 타

표 3-5. 콘크리트에 영향을 미치는 각국의 대기오염 현황

항 목	주요 도시	수 치	비 고
SO ₂ (PPM)	한 국(서울)	0.035	
	미 국(뉴욕)	0.0099	
	일 본(동경)	0.0088	
	영 국(런던)	0.010	
	프랑스(파리)	0.011	
NO ₂ (PPM)	한 국(서울)	0.031	
	미 국(뉴욕)	0.019	
	일 본(동경)	0.026	
	영 국(런던)	0.028	
	프랑스(파리)	0.020	
강우산도 (PH)	한 국(서울)	5.3	
	미 국(뉴욕)	4.54	
	일 본(동경)	4.7	
	영 국(런던)	5.34	
	프랑스(파리)	5.01	

국에 비하여 3배 이상 높은 오염수치를 기록하고 있으며 강우산은 타국에 비해서 다소 유리하나 강우산도 PH치도 강우산도의 기준 PH치를 초과하므로 콘크리트 구조물에 치명적인 손상을 일으킬 수 있음을 알 수 있다.

3-2. 각국의 균열폭 허용치 규정 비교 분석

〈표3-6〉에서와 같이 각 나라마다 콘크리트 구조물 균열폭의 허용치를 각각 다르게 제시하고 있다.

이 제시요건은 환경의 조건에 의해서, 또는 구조물의 상황에 의해서, 또 기타 일반조건 등에 의해서 허용 균열폭을 달리 규정하고 있으며, 각 나라마다 같은 조건하에서도 균열 허용폭을 각각 다르게 제시하고 있어 허용폭에 대한 인식의 차이를 보이고 있음을 볼 수 있다.

우리나라의 경우는 조건별로 세분화하여 균열폭 허용치를 규정하지 않고, 옥내·옥외 구조물

인 경우로만 구분하여 규정하고 있어 환경조건에 의한 균열폭 허용치의 적용이 전혀 불가능하고, 또한 환경조건을 무시한 일괄적인 환경조건 적용으로 균열폭 허용치의 정확도면에서 다소 떨어진다고 볼 수 있다.

일본, 미국, 유럽공동체는 대체적으로 세부적인 환경 및 구조물의 상황별로 균열폭 허용치를 규정하고 있어 구조물의 상황별, 환경별로 효율적인 균열폭 허용치 적용이 가능하다고 판단된다.

세부적으로 비교 분석하면 한국은 균열폭 허용치를 대한토목학회 및 건교부에서 옥내의 경우 0.4mm, 옥외 0.3mm~0.33mm로 거의 대동소이한 균열폭을 제시하고 있으며, 일본의 경우는 구조물의 종류별, 힘작용의 상황별, 환경적인 조건별로 세분화하여 허용균열폭을 달리 규정하고 있으며 그 수치는 0.02~0.5mm까지 다양하게 제시하고 있다.

미국은 ACI, 구미 콘크리트 위원회에서 주로 환경의 조건에서 세부적으로 구분하여 균열허용치를 각각 다르게 규정하고 있으며, 그 규정허용폭은 ACI 318-71에서 0.4mm~0.1mm까지로, 구미 콘크리트 위원회에서는 0.1mm~0.3mm로 규정하고 있다.

또한 영국의 경우 콘크리트 구조물의 균열폭 허용값은 일반구조물은 0.3mm이고 심한 침식성 환경조건에서는 주철근의 피복덮개의 0.004배로 규정하고 있다. 유럽공동체에서는 6가지 환경조건과 구조물의 하중 및 노출조건에 따라 0.1mm~0.3mm까지로 대체로 상세히 구분하여 규정하고 있음을 알 수 있다.

환경조건과 구조물의 하중 및 노출조건에 따라 여러 단계로 규정되어 있지만 일반적으로 보통의 기상조건과 일반콘크리트 구조물일 경우에 대해 각국의 균열폭 허용값을 수치로 비교해 보

표 3-6. 각 나라의 균열폭 허용값 현황

국 명	종 류 별	허용균열폭 (mm)	비 고	
한 국	콘크리트표준시방서 └─ 옥내구조물 └─ 옥외구조물	0.4	대한토목학회	
		0.33		
일 본	도로교시방서 및 해설(합성보)	0.02	일본도로협회 문부성	
	항만구조물	0.2		
	원심력 철근 콘크리트 말뚝(pole)	0.25	JISA503p	
	└─ 설계하중시, 설계 및 모멘트 작용시			
	└─ 설계비용, 설계 및 모멘트 개방시	0.25		
	기상조건이 심할 경우	0.2		
	보통의 기상조건	0.3		
실내 등 기상조건의 영향을 거의 받지 않는 경우	0.5			
미 국	ACI 규정	ACI 318-71		
	└─ 건조한 대기중 또는 보호층이 있는 경우		0.4	
	└─ 습한 공기중 · 흠중에 있는 경우		0.3	
	└─ 동결 방지용의 약품에 접하는 경우		0.175	
	└─ 해수, 해수비말에 의해 건설 반복을 받는 경우		0.15	
└─ 수밀한 구조부재	0.1			
영 국	BSI 규정	CP-110 d: 주철근의 피복		
	└─ 일반구조물		0.3	
	└─ 특히 심한 침식성의 환경	0.004d		
프랑스		0.4		
구 소 련	CHh규정	CH π II -B-1-62		
	└─ 비부식성		0.3	
	└─ 약부성성		0.2	
	└─ 중부식성		0.2	
	└─ 강부식성	0.1		
스웨덴	└─ 사하중	0.3	도로규정	
	└─ 사하중+활하중의 0.5배	0.4		
유 럽 공동체	유럽 콘크리트 위원회	CEB-FIP		
	└─ 상당한 침식작용을 받은 구조부재		0.1	
	└─ 보호공이 있는 보통의 구조부재		0.3	└─ 지속하중 및 1년 이상 재하된 변동 하중에 대하여
	└─ 보호공이 없는 보통의 구조부재		0.2	
	└─ 현저하게 노출되어 있는 부재		0.1	└─ 지속 하중과 변동하중의 불리한 조합
	└─ 보호공이 없는 부재		0.3	
└─ 현저하게 노출되어 있는 부재	0.2			

면 한국이 0.33mm~0.4mm, 일본이 0.3mm, 미국이 0.3mm, 유럽공동체 0.3mm로 규정하고 있어 우리나라의 균열폭 허용값이 약간 크게 규정되어 있음을 알 수 있다.

따라서 균열에 영향을 미치는 환경조건면에서 우리나라가 타국보다 훨씬 불리한 조건임에도 불구하고 균열폭 허용값에 대한 규정이 크게 설정되어 있으므로 환경조건별로 세분화하고 균열폭 허용값도 낮추는 방향으로 개선시켜야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

균열에 영향을 미치는 환경조건과 각국별 콘크리트 구조물의 균열폭 허용치 규정을 상호 비교분석한 결과 우리나라의 콘크리트 표준시방서에 규정되어 있는 콘크리트 구조물의 균열폭 허용값은 환경적인 요인을 고려하지 않은 문제점이 있기 때문에 다음과 같은 개선방향을 제시하고자 한다.

1. 콘크리트 구조물의 균열은 구조물이 위치한

환경조건에 따라 균열의 생성과 구조물에 미치는 영향이 다르기 때문에 허용균열폭에 대한 규정도 환경조건에 의해서 세분화하여 각각 다르게 규정되어야 함을 알 수 있다.

2. 우리나라 콘크리트 표준시방서에 있어서 콘크리트 구조물의 허용균열폭에 대한 규정은 옥내·외인 경우만 구분하여 규정하고 있으나 선진외국에서는 구조물이 위치한 지역의 환경조건에 따라 세분화하여 균열의 허용폭을 규정하고 있음을 알 수 있었다.

3. 콘크리트 구조물의 균열에 영향을 주는 환경조건은 우리나라가 선진외국에 비하여 상당히 악조건을 갖추고 있는 것으로 나타났으나 콘크리트 구조물의 균열폭 허용값은 오히려 관대하게 규정하고 있음을 알 수 있다.

4. 우리나라의 환경조건은 지역별로 크게 상이하기 때문에 계절별 환경조건에의 분석을 통하여 지역별로 콘크리트 구조물의 균열폭 허용값을 신축적으로 규정함으로써 콘크리트 구조물의 보수·보강에 있어서 효율적이고 경제적인 적용이 필요할 것으로 사료된다.

형님의 휴가

전방에서 근무하는 형이 휴가를 나왔다가 귀대일이 임박해서 객지 생활 하는 나에게 들었다. 휴가 기간 동안 형은 시골집에서 뭘 하면서 지냈는지 물어 많이 야위었다. 집안이 풍족하다면 별다른 생각이 없겠으나 가난하다 보니 괜히 형이 애처롭고 안타깝게 보인다.

이런 게 내 마음을 억누르는 가운데 오랜만에 형과 함께 저녁을 같이 했다. 하숙집 아주머니의 호의인지 밥상은 맛있게 요리된 불고기와 갖가지 찬으로 가득 차 있었다. 난데없는 진수성찬이 약간은 의아했으나 늘 고생만 하는, 애처롭게 생각되던 형에게 죄책감같은 것을 느끼고 있는 나로서는 형을 잠시나마 즐겁게 해줄 수 있는 게 기뻐다. 이튿날 형은 몸 건강히 맡은 일에 충실하라는 말을 남기고 귀대했다.

그날 저녁, 하숙집 아주머니로부터 어제 저녁 형이 준 돈으로 음식을 차렸고 밀린 하숙비까지 받았다는 얘기를 들었을 때 나는 큰 충격을 받았다. 정말 쥐구멍이라도 있으면 들어가고 싶은 심정뿐이었다.

형은 휴가 동안 일이 바쁜 시골에서 억척스럽게 막일을 하여 얼마간의 돈을 장만한 것이었다. 모 처럼의 귀중한 휴가를 그렇게 보냈구나 하는 생각이 들자 눈에서 번갯불이 번쩍였다.

조희완(군인)