

RC 지하구조물의 내구성설계 개선에 관한 연구

A Study on the Improvement of Durability Design of Underground RC Structures

임 정 순* / 방 윤 석**
Im, Jung Soon / Bahng, Yun Suk

Abstract

The research was performed to review the design factors which affect the durability of structures. For the study, domestic and foreign literature review were performed on various design criteria. Based on Korean standard specifications, the results showed that the durability of structure as the diameter of reinforcing steel bar becomes smaller and the distance between reinforcing bar is closer than the normal gap. The results were also presented that the minimum required bar cover is 6.6cm to obtain the durability index value. In addition, the maximum limited bar cover was 12cm considering the durability index and the change of increasing value of durability index. In case that there is no specified regulation for the bar cover thickness change, the durability life by neutralization is proportional to the thickness of bar cover.

key words : bar cover, durability index, increasing value of durability index, durability life

요 지

본 연구에서는 구조물의 내구성 설계 시에 영향을 미치는 설계인자들에 대한 고찰을 하고, 내구성 설계에 사용되고 있는 기준에 대한 국내외 문헌연구를 수행하였으며, 국내기준을 가지고 지하 구조물 단면을 대상으로 내구성 설계를 수행하였다. 국내 지하구조물의 내구성설계 지침에 따른 결과는 사용 철근의 직경을 작게 하고 간격을 좁힐수록 구조물의 내구성에 유리한 것으로 나타났으며, 환경지수 제한치를 상회하는 내구지수를 가지기 위해서는 최소한 6.6cm의 피복을 가져야 하며, 내구지수와 내구지수 충분치 변화의 최대 철근피복은 12cm인 것으로 나타났다. 별도의 제한규정이 없는 경우, 철근피복의 최소치와 최대치 사이에서 중성화로 인한 내구연한은 철근피복에 비례하였다.

핵심용어 : 철근피복, 내구지수, 내구지수 충분치, 내구연한

1. 서 론

지하구조물은 사회적, 경제적인 영향이 매우커서 내구성이 우수한 구조물로 건설되어야 한다. 시공된 지 20년 이상의 지하 구조물에 균열이 다수 발생하여

누수로 인한 내구성의 문제가 사회 문제화가 되어 왔으나 아직 이 내구성에 대한 문제점의 해결책이 정립되지 않아 현재 건설되고 있는 신설 지하 구조물에도 기존 지하 구조물에서 나타나는 문제와 유사한 문제가 계속 발생되고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여, 본 연구에서는 내구성 설계에 사용되고 있는

* 정희원 · 경기대학교 토목환경공학부 교수 · 공학박사 (E-mail : jsim@kyonggi.ac.kr)

** 정희원 · 경기대학교 토목환경공학부 토목공학과 박사과정

기준에 대한 문헌적인 연구를 수행하여 특성과 장단점을 분석한 후, 현재 국내에서 사용되고 있는 내구성 설계기준을 이용하여 실제 지하 구조물의 내구설계를 수행하였다. 대상 구조물은 지하구조물을 대상으로 하였고 각 설계인자별로 내구성에 미치는 영향을 분석하여 내구성에 가장 많은 영향을 미치는 설계인자인 철근피복과 배근세부사항인 철근직경, 철근간격별로 분석하여 구조물의 내구성을 향상 시킬 수 있는 방안을 찾고자 하였다.

2. 문헌적 연구

2.1 지하 구조물의 내구성 설계지침

콘크리트 구조물의 내구성에 대한 검토는 식(1)과 같이 내구연한 내에서 부재 각 부분에서의 내수지수 D_T 가 환경지수 E_T 이상인 것을 검토함으로써 확인한다.

$$D_T > E_T \quad (1)$$

2.1.1 환경지수

환경지수는 표준 환경지수와 환경지수 증분치의 합으로 나타나는데 이는 다음 식(2)와 같다.

$$E_T = E_S + \sum \Delta E_T \quad (2)$$

E_S 는 표준 환경지수, ΔE_T 는 환경지수 증분치

표 1. 목표 내구 연 한에 따른 표준 환경지수

분 류	목표 내구연한	
	50년	100년
표준 환경지수	85	128

환경지수의 증분치는 염해, 중성화, 동해, 황산염침해 등 4가지 부문에 따라 정의된다.

2.1.2 내구지수

내구지수는 기본 내구지수와 내구지수 증분치의 합으로 나타나는데 이는 다음 식(3)과 같다.

$$D_T = D_0 + \sum \Delta D_T \quad (3)$$

D_0 는 기본 내구지수(30), ΔD_T 는 내구지수 증분치

기본 내구지수 D_0 는 구조물이 기본적으로 지니고

있는 내구적 저항치를 정량적으로 평가한 것으로 30으로 한다. 기본내구지수외에 재료, 설계, 시공의 각 분야에서 내구성에 미치는 정도를 정량적으로 증감하는 것으로 재료분야에서 9개, 설계분야에서 10개, 시공분야에서 9개의 항으로 구성되어 있다.

재료분야의 내구지수 증분치로는 시멘트의 종류, 골재의 흡입률, 골재의 입도, 혼화제의 종류, 유동성 및 재료분리저항성, 물-시멘트비, 단위 수량, 염화물 함유량, 콘크리트 재료의 생산체계에 따른 각각의 내구지수 증분치들이 정해져 있다.

시공분야의 내구지수 증분치는 주임기술자의 수준 정도, 콘크리트의 반입과정, 운반·타설·다짐과정, 표면 마무리와 양생, 철근의 가공, 철근의 조립, 거푸집공, 동바리공, 그라우팅공 등에 따라 정하여 진다.

마지막으로 본 연구에서 주안점으로 삼고 있는 설계분야의 내구 인자들에 대해서 살펴보면, 설계주임 기술자에 따른 내구지수 증분치는 $\Delta DT = A12 - 7$, $A12$ 는 설계주임 기술자의 경험년수, 자격소지여부에 따라 2혹은 0으로 합산, 설계주임 기술자의 수준에 대한 최대값과 최소값은 각각 6, -2로 제한한다. 설계 인자중에서 내구지수에 가장 큰 영향을 주는 철근의 피복에 대한 증분치는 $\Delta DT = 7.5 \cdot (D2 - 5)$, $D2$ 는 철근의 피복(cm), 철근의 피복에 대한 최대값과 최소값은 각각 30, -30으로 제한하며 배근세부사항인 철근의 단수, 철근의 순간격, 허용균열폭 등이 있으며 이외에도 내구지수의 증분치는 가외철근비, 시공이음, 설계도면의 명시여부, 온도균열지수, 거푸집 종류, 표면보호재의 종류 등으로 분류된다.

3. 내구설계방안에 따른 내구성설계

3.1 대상 구조물에 대한 개요

지하구조물 단면을 대상으로 구조물의 내구설계를 앞장에서 언급한 각각의 내구설계방안으로 내구성 설계를 수행하였다. 대상구조물의 형상은 다음 그림 1과 같다.

대상구조물의 설계조건은 다음과 같다.

1. 지반조건

- 토 피 : $H=9.000m$
- 지하수위 : $H=8.000m$ (G.L -1.00m)
- 지 지 층 : 풍화토 ($K_{vo}=390kN/m^2$)

2. 사용재료

- ▶ 콘크리트
- 설계강도 : $f_{ck} = 27 MPa$

- 단위중량 : $\gamma_c = 25\text{kN/m}^3$
- 탄성계수 : $E_c = 4,500\sqrt{f_{ck}} = 24,600 \text{ MPa}$
- ▶ 철근
- 항복강도 : $f_y = 400\text{MPa}$
- 탄성계수 : $E_s = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$

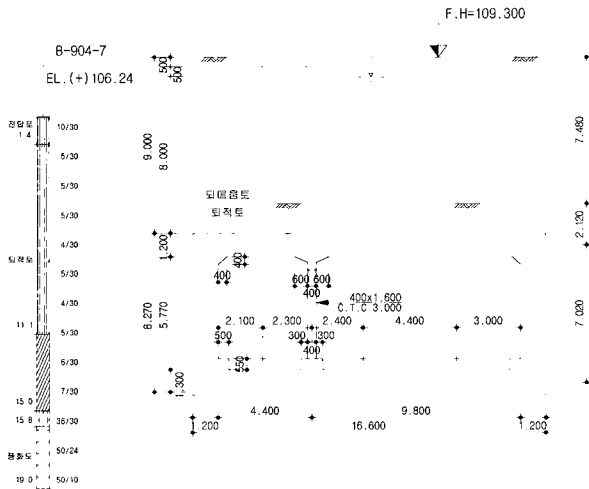


그림 1. 대상구조물의 형상

3.2 내구성설계

위 설계조건에 대한 구조물에 대하여 단면의 안전성에 대해서 검토한 후, 대상구조물의 내구성에 대한 검토를 수행하였다. 내구성에 대한 인자들 중에서 재료나 시공분야에 대한 내구인자들은 그 값을 변화시키지 않고 실제 경제적이면서 내구성을 증진시키는데 기여도를 높일수 있는 설계에 관련된 인자들인 철근콘크리트

의 철근피복과 사용된 주철근의 직경과 간격 등을 변화시켜 각각의 설계 내구 인자들이 구조물의 내구성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 구조물에 가장 큰 영향을 미치는 내구인자를 찾아보았다.

3.2.1 지하구조물 내구성 설계지침

표 2와 같이 설계분야의 내구성 인자들 중에서 철근의 피복과 배근세부사항 중 철근의 직경과 간격 등의 변수를 변화시켜가면서 내구성의 변화를 살펴보았다.

대상 구조물의 상부슬래브와 하부슬래브의 내구지수를 철근피복의 변화에 따른 결과는 표 3과 같다.

표 3에서 보면 구조물의 주철근의 직경과 간격은 구조물 단면의 안전율이 같도록 하여 안전율이 같은 경우 구조물의 내구성에 어떠한 영향을 미치는 지를 검토하였다. 각 구조물별 주철근 직경과 간격은 D32-8EA+D25-4EA, D29-10EA+D22-5EA, D25-9.5EA+D22-9.5EA이며, 내구성 설계 결과를 도식적으로 나타내면 다음과 같다.

그림 2의 결과를 보면 사용 주철근의 제원을 직경 32mm이고 간격을 125mm로 한 경우에는 환경지수제한치인 158을 상회하는 내구지수를 가지기 위해서는 최소한 7.3cm이상의 피복을 가져야 한다는 결과를 나타내고 있다. 한편, 사용 주철근의 제원을 직경 29mm이고 간격을 100mm로 한 경우에는 환경지수제한치인 158을 상회하는 내구지수를 가지기 위해서는 최소한 6.9cm이상의 피복을 가져야 하고, 직경 25mm이고 간격을 105mm로 한 경우에는 환경지수제한치인 158을 상회하는 내구지수를 가지기 위해서는 최소한 6.6cm이상

표 2. 설계분야의 내구지수 증분치

구분	적용 내용	내구지수
1. 철근의 피복	· 6.5cm에서 18cm까지 변화	var.
2. 배근 세부사항	· 철근단수 : 2단 · 순 간격 수 : 배근 간격 100 or 125 · 굵은 골재 최대치수 : 25mm	var.
3. 허용 균열 폭	· 철근피복에 따라 변화	var.

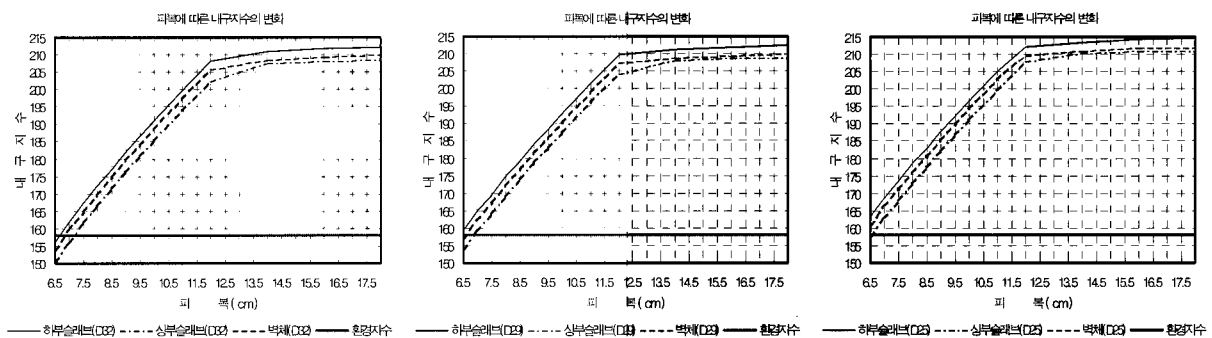


그림 2. 부재별 철근피복에 따른 내구지수의변화

표 3. 콘크리트 피복에 따른 내구지수 변화

구 분	피 복	구조물 안전율			내 구 지 수		
		하부슬래브	상부슬래브	벽체	하부슬래브	상부슬래브	벽체
A : 주철근을 D32로 125간격으로 배치	6.50	1.415	1.298	1.951	156.315	150.195	153.746
	7.00	1.409	1.292	1.943	161.953	155.932	159.481
	7.50	1.403	1.286	1.935	167.290	161.354	164.709
	8.00	1.396	1.279	1.927	171.689	165.671	169.185
	8.50	1.390	1.273	1.919	177.141	171.348	174.549
	9.00	1.384	1.267	1.912	181.916	176.028	179.397
	9.50	1.378	1.261	1.904	186.566	180.737	183.966
	10.00	1.371	1.254	1.896	190.975	185.202	188.440
	11.00	1.359	1.242	1.880	199.714	193.912	197.165
	12.00	1.347	1.229	1.865	208.220	202.396	205.661
	14.00	1.322	1.204	1.833	211.069	207.463	208.490
	16.00	1.297	1.179	1.802	211.803	208.180	209.374
	18.00	1.272	1.154	1.771	212.287	208.511	209.972
B : 주철근을 D29로 100간격으로 배치	6.50	1.413	1.296	1.949	159.355	153.679	156.781
	7.00	1.407	1.290	1.941	165.972	158.974	162.108
	7.50	1.404	1.284	1.934	169.649	164.082	167.068
	8.00	1.394	1.278	1.926	174.747	169.061	172.070
	8.50	1.388	1.272	1.918	179.293	173.816	176.703
	9.00	1.382	1.265	1.910	184.078	178.491	181.404
	9.50	1.376	1.259	1.902	188.506	182.962	185.906
	10.00	1.370	1.253	1.894	192.780	187.267	190.109
	11.00	1.357	1.240	1.879	201.499	195.934	198.828
	12.00	1.345	1.225	1.863	209.758	204.253	207.090
	14.00	1.320	1.203	1.832	211.352	208.015	208.777
	16.00	1.295	1.178	1.801	212.032	208.636	209.527
	18.00	1.270	1.153	1.769	212.405	208.894	209.951
C : 주철근을 D25로 105간격으로 배치	6.50	1.415	1.296	1.938	163.312	157.524	160.698
	7.00	1.409	1.290	1.930	168.589	162.869	166.073
	7.50	1.403	1.283	1.922	173.633	167.792	171.015
	8.00	1.396	1.277	1.914	178.494	172.716	175.960
	8.50	1.390	1.271	1.906	183.113	177.384	180.495
	9.00	1.384	1.264	1.898	187.801	182.129	185.103
	9.50	1.377	1.253	1.890	192.296	186.668	189.672
	10.00	1.371	1.252	1.882	196.709	190.988	194.016
	11.00	1.358	1.239	1.866	205.150	199.506	202.586
	12.00	1.346	1.226	1.851	212.356	207.905	209.783
	14.00	1.320	1.201	1.819	213.585	210.187	211.092
	16.00	1.295	1.175	1.787	214.281	210.829	211.847
	18.00	1.270	1.150	1.756	214.669	211.107	211.892

의 피복을 가져야 한다는 결과를 볼 수 있다. 또한 어느경우에도 피복이 12cm를 넘는 경우에는 내구지수 증가그래프가 완만하여 설계시 피복을 12cm이상 배치하는 것은 내구성 설계에 별의미가 없음을 알 수 있다. 따라서 주철근의 직경을 작게 하고 간격을 좁힐수록 구조물의 내구성에 유리하다는 사실을 알 수 있다.

그림 3은 구조물의 철근피복에 따른 내구지수 증분치의 변화를 도식적으로 보여주고 있다. 주철근 직경의 차이에 따라 내구지수 증분치의 변화에 미세한 차

이는 있으나, 피복이 7cm에서 12cm까지 증가함에 따라 내구지수 증가량은 서서히 감소하나, 피복이 12cm를 넘어 그 이상이 되면 증가량이 현저히 감소한다는 사실을 알 수 있다. 결과적으로 내구지수와 내구지수 증분치 변화의 한계 철근피복은 12cm이내일 경우에 경제성과 내구성에서 유리함을 알 수 있다.

그림 4는 RC 구조물의 부재에 따라 주철근의 직경과 간격을 조정하였을 경우의 결과를 나타내었다. 하부슬래브는 내구지수의 증가량이 5, 상부 슬래브는 내

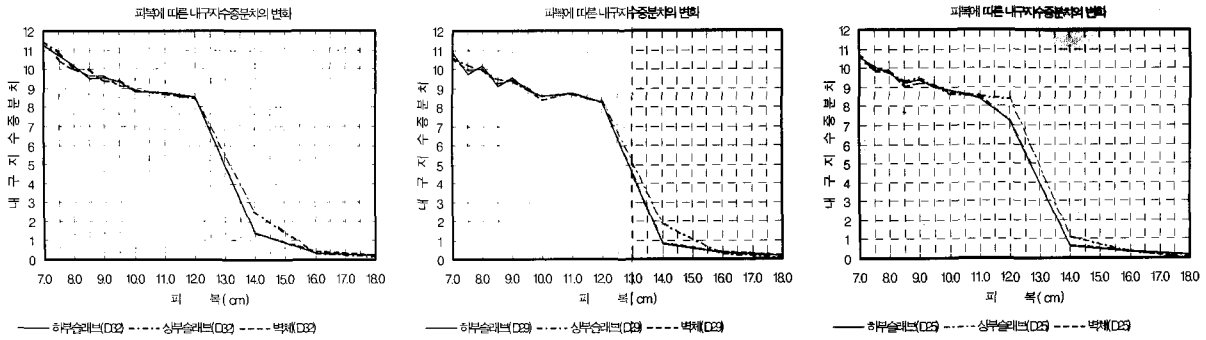


그림 3. 부재별 철근피복에 따른 내구지수 증분치의 변화

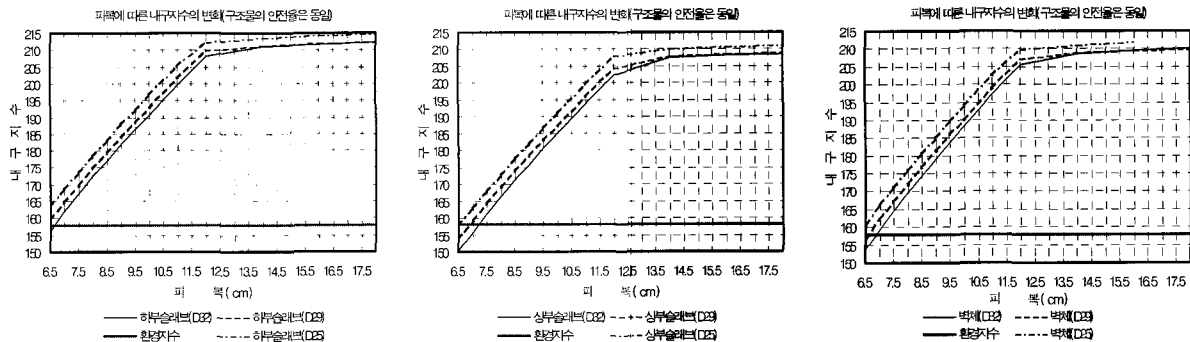


그림 4. 부재별 철근직경에 따른 내구지수의 변화

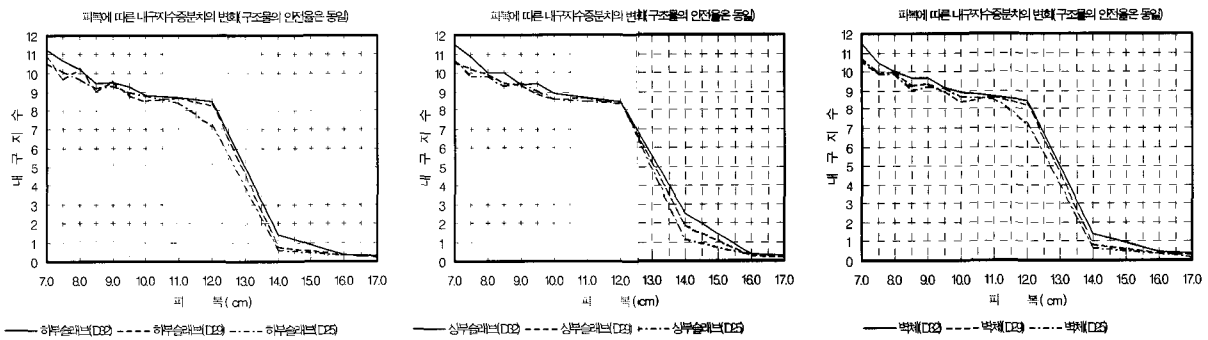


그림 5. 부재별 철근직경에 따른 내구지수 증분치의 변화

구지수 증가량이 6, 벽체는 내구지수 증가량이 4.5 정도로 나타났다. 모든 부재에서 주철근 직경을 작게 하고 간격을 좁힐 경우 내구지수가 4.5~6.0 정도 상승하는 결과를 나타내고 있다. 이 결과로 미루어 보아 구조물의 내구지수를 향상시키기 위해서는 가능한 주철근을 작은 직경의 철근을 사용하고 철근간격은 조밀하게 배치해야 한다는 사실을 알 수 있었다.

그림 5는 각 부재별 피복에 따른 내구지수 증분치의 변화를 나타내고 있다. 하부슬래브와 상부슬래브의 각 구조물의 증분치의 변화는 주철근 직경이 작고 간격이 좁을수록 증분치의 변화량이 좀 더 완만하다는

것을 알 수 있다.

5. 결론

1. 지하 구조물의 내구설계 지침에 따른 내구성 변화를 살펴보면 주철근 직경을 작게 하고 간격을 좁힐수록 구조물의 내구성에 유리하다. 또한, 목표내구연한 100년일 경우 내구지수가 158을 상회하는 내구지수를 가지기 위해서는 최소한 6.6cm이상의 피복을 가져야 하며, 내구지수와 내구지수 증분치의 변화의 한계 피복은 12cm인

것으로 나타났다.

2. 부재별 철근피복에 따른 내구지수 증분치를 살펴보면 피복이 7cm에서 12cm까지 증가함에 따라 내구지수 증분치가 서서히 감소함을 알 수 있고 12cm이상일 경우에는 내구지수 증분치가 현저히 감소함을 알 수 있다. 이는 피복이 7cm에서 12cm이내에 배치할때 가장 경제적인 내구성이 확보되어 내구성 설계 개선에 도움이 될것으로 판단된다.
3. 부재별 주철근 직경과 간격에 따른 내구성 변화를 살펴보면, 주철근 직경을 작게 하고 간격을 좁힐수록 내구지수가 4.5 ~ 6.0 정도 상승하는 결과를 나타냈다. 내구지수를 향상시키기 위해서는 가능한 주철근을 작은 직경의 철근을 사용하고 철근의 간격은 조밀하게 배치해야 한다는 사실을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- 건설교통부 (2002) 지하철 구조물의 재료, 설계, 시공 통합시스템 구축에 관한 연구II. 한국건설기술연구원.
- 서울시 지하철 건설 본부 (1998.7) 서울 지하철 9호선 내구성 설계(안).
- 서울시 지하철 건설 본부 (1999) 지하철 구조물 내구성 확보를 위한 설계, 시공 및 유지관리지침(안).
- 일본 토목학회 (2001) 일본 콘크리트 표준시방서. 일본 토목학회.
- 한국콘크리트학회 (2001) 콘크리트 염해 및 탄산화로 인한 내구성 저하 방지대책 연구.
- 한국콘크리트학회 (2003) 콘크리트 구조설계기준 해설. 한국콘크리트학회.
- 한국콘크리트학회 (2003) 콘크리트 표준시방서. 한국콘크리트학회.

◎ 논문접수일 : 2007년 07월 02일

◎ 심사의뢰일 : 2007년 07월 03일

◎ 심사완료일 : 2007년 08월 01일