

지하철 콘크리트 BOX구조물의 내구성설계에 대한 연구

A Study of Durability Design in the Subway Concrete Box Structure

권영찬¹⁾ 김은겸²⁾
Kwon, Young-Chan Kim, Eun-kyum

ABSTRACT

In the course of studying the design of securing the 100-year-long durability of 100 years the subway structure according to the requested service by the Seoul Metropolitan Subway Construction Headquarters, we analyzed 14 construction sites adopting the durability design in subway line No. 9 and concluded as follows:

1. When comparing with 158, the environment index presented for securing 100-year-long durability of subway structure in subway line No. 9, the index of durability was verified as 159.7~179.8
 2. When examining the increase value of durability index, we verified that the constructors didn't make various choices in method but they employed the uniformly selected system.
 3. Under consideration of the bid form, the construction under bid contract in bulk gave the impacts on the construction cost with attention to selection of the durability index, while the construction under alternative contract in bid adopted uniformly the standard presented by the ordering party.
-

1. 서 론

1.1 들어가는 말

콘크리트 구조물 설계에 있어 내구성 설계에 대한 논의는 1980년도부터 본격적인 논의가 시작되었으나, 우리나라의 경우 1998년도부터 도입하려는 시도와 함께 서울에서 건설한 2기 지하철에서 콘크리트의 균열로 사회적 이슈가 대두됨에 따라 내구연한 100년의 목표를 두고 시행한 내구성 확보를 위한 연구 용역의 결과에 따라 처음으로 내구성 설계를 시행한 바 있다. 이에 따라 본 연구에서는 처음 도입 시행한 내구성 설계의 경향을 분석하고자 한다.

1.2 연구동향

내구성 설계에 관한 연구 동향을 살펴보면 1980년도부터 시작된 일본 건설성의 '건축물의 내구성 향상 기술개발' 연구를 기폭제로 하여, 각 학회를 중심으로 집중적인 연구가 추진되었고 콘크리트표준시방서 설계편(1986)에서 내구설계 개념을 처음으로 도입하였다. 일본 콘크리트공학

1 서울산업대학교 철도대학원 철도건설공학과 석사과정, 서울시 지하철건설본부, 건설4팀장, 정회원

2 서울산업대학교 철도전문대학원 교수, 정회원

협회(1989)에서는 단순한 사용연한의 예측으로부터 벗어나 전반적인 내구성 설계의 형식을 나타낸 내구성 설계의 개념을 제시하였는데, 계획 내용 사용연수와 일반 및 특수 성능저하 외력, 성능저하외력의 등급 및 설계외력의 설정을 통해 공사시방, 재료, 공법의 선정을 통해 시행확오단계들 거쳐 내구설계를 확정시킨다는 내용이었으며, 이를 발전시켜 구체적인 수치제시와 자료 분석에 의한 내구성 설계지침을 일본 콘크리트공학협회(1991)는 콘크리트 구조물의 목표내구연한 동안의 내구성 확보여부를 균열폭, 시공조인트, 거푸집의 종류, 양생기간 등과 같은 기본적인 설계·시공의 내구적인 조건과 함께 중성화 및 염해의 환경조건을 고려하여 평가하도록 되어 있다. 일본 토목학회(1995)는 내구성 설계지침에서 목표로 하는 내구연한 동안 콘크리트 구조물의 내구성을 보증하기 위하여 설계·시공·유지관리에 이르는 내구지수를 정량화된 점수로 환산한 후 구조물에 대해 계산된 내구지수가 목표연한동안 구조물에 작용하는 환경지수보다 크게 설계하도록 하였다. 또한 일본 토목학회(2000)에서는 성능조사형 내구성 설계를 제안하였는데 이는 열화에 대하여 구조물을 대표하는 배합의 특성치와 예측치를 비교하여 내구적 안전과 불안전권을 평가하여 선행적으로 구조물의 성능을 조사하는 형식을 제시하고 있다.

국내에서의 내구성설계에 대한 연구동향으로 권성준(1998)은 일본토목학회의 콘크리트구조물의 내구성 설계지침(안)을 토대로하여 국내 실정에 맞는 내구성능 평가형 설계시스템을 제시한바 있으며, 서울특별시지하철건설본부(1999)는 지하철 구조물에 있어서의 내구성 확보를 위하여 시행한 연구 결과 지하철 환경에서의 환경지수와 구조물의 내구지수를 이용하여 내구연한 100년의 지하철 구조물을 설계하는 시스템을 확립하였고, 서울지하철 9호선 건설공사(노반시설)를 발주(2001)하면서 내구연한 100년의 구조물을 설치하도록 하여 설계를 마치고 공사중에 있으며, 백승우(2002)는 비록 염해의 환경이라는 특정 범위를 설정하였지만 내구성 평가에 있어 신뢰성 이론을 적용한 바 있다.

1.3 연구방법

본 연구는 시행한 지하철구조물 내구성향상을 위한 연구 용역(1999)에 따라 내구연한 100년을 확보하도록 하여 실시된 지하철 9호선의 내구성 설계 결과를 공구별 최종 작성한 실시설계보고서(14개 공구)에 의거 분석 제시하고자 한다.

연구대상은 지하철 9호선 1단계 건설하는 구조물중에서 내구연한 100년을 확보토록한 대상은 개착식 본선과 정기장 구조물에 해당하고, 정기장에 있어서는 콘크리트 표면에 타일이나 물받등 마감을 위한 내장재를 설치하는 만큼 본선과는 다른 환경에 놓이게 되어 본 연구 대상에서는 제외하고, 본선 구간에 국한하여 연구대상으로 하고자 한다.

2. 지하철 구조물의 내구성설계 모델

2.1 시스템 구성

(1) 내구지수와 환경지수의 비교

콘크리트 구조물의 염화정도를 정량적으로 구한 환경지수와 내구적 저항정도를 정량적으로 구한 내구지수의 수치적 비교를 하고 있으며 이는 식(2.1)과 같다.

$$D_T \geq E_T \quad (2.1)$$

여기서, D_T : 구조물의 내구지수

E_T : 구조물의 노출환경을 고려한 환경지수

(2) 환경지수의 평가

환경지수는 사용기간동안의 열화인자에 대한 열화정도들 정량적으로 평가한 것이며 내구 지수와 비교를 통하여 안전, 불안전을 평가하게 된다. 환경지수는 시간과의 밀접한 관계를 가지고 있는 함수로서 식(2.2)와 같이 제시하고 있다. 구조물의 노출환경을 고려하여 열화외력을 정량화한 환경지수로 도출하는 과정은 그림 2.1와 같고, 세부 평가 규정은 부록1과 같다.

$$E_T(t) = (E_0 + \Delta E_T) \cdot \sqrt{\frac{(t-10)}{40}} \quad (2.2)$$

$E_T(t)$ 는 구조물의 환경지수, E_0 는 기본환경지수, ΔE_T 는 특수한 환경을 고려한 환경지수 증분치이다.

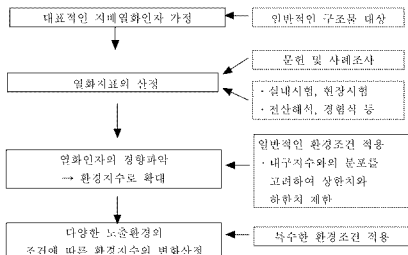


그림 2.1 환경지수의 도출과정

(3) 내구지수의 평가

내구지수의 구성은 영향인자의 선별과 그룹화를 통해서 이루어지고 있으며 각 인자들의 중복이나 누락을 피하고 한 분야로 최대한 내구지수가 집중되는 것을 방지하도록 내구항목에 최대값과 최소값을 규정짓고 있다. 구조물이 가지고 있는 기본내구지수와 재료분야, 설계분야, 시공분야의 3개 분야로 나누어 내구지수 증분치를 나타내어 내구적 저항에 유리하면 +, 불리하면 - 들 가지도록 하였다.

식(2.3)는 내구지수 평가식을, 그림 2.2는 내구지수의 도출과정을, 그리고 표 2.1은 내구지수 증분치의 항목을 나타내고 있으며 세부 평가기준은 부록1과 같다.

$$D_T = D_0 + \sum \Delta D_T \quad (2.3)$$

D_0 는 구조물이 가지고 있는 기본내구지수,

ΔD_T 는 재료, 설계, 시공분야의 내구지수 증분치

표 2.1 내구지수 증분치의 항목

재료 부문		설계 부문		시공 부문	
1	시멘트의 종류	1	설계주임기술자의 수준	1	주임기술자의 수준
2	골재의 흡수율	2	철근의 밀개	2	콘크리트의 반입과정
3	골재의 입도	3	배근의 세부사항	3	운반, 타설, 반입과정
4	혼화제의 종류	4	가의철근비	4	표면마무리와 양생
5	유동성 및 재료분리저항성	5	시공이유	5	철근의 가공
6	물-시멘트비	6	설계도면의 명시여부	6	철근의 조립
7	단위수량	7	온도관리지수	7	거푸집공
8	열화물 함유량	8	허용균열폭	8	동바리공
9	콘크리트 재료의 생산체계	9	거푸집의 종류	9	그라우트공
		10	표면보호제의 종류		

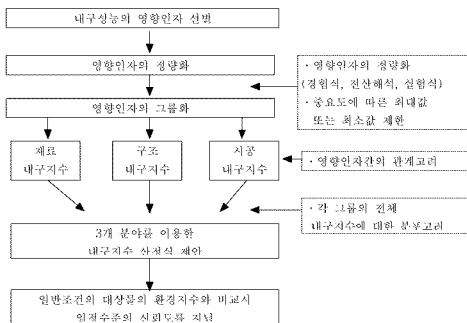


그림 2.2 내구지수의 도출과정

2.2 지하철 9호선의 내구성 설계의 분석

2.2.1 환경지수

(1) 환경지수의 증분치 구성

환경지수는 구조물에 작용하는 외력과 같이 구조물이 놓여지는 환경상태하에서 콘크리트가 열화인자에 의하여 저하되는 내구수명을 정량화한 지수로서, 열화인자로는 중성화, 염해, 동해, 황산염이 주된 구성인자이며, 열화인자에 따른 환경지수 증분치는 표2.2와 같다.

표 2.2 환경지수 증분치의 항목

구 분	기본환경지수		환경지수 증분치			
	50년	100년	중성화	염해	동해	황산염
환경지수	85	120	0~150	0~150	0~60	0~30

(2) 지하철 9호선 구조물 내구설계에 적용된 환경지수

지하철 9호선 내구연한 100년의 구조물을 설계하는데 있어 적용된 환경지수는: 기본환경지수는 120, 환경지수 증분치는 중성화에 의한 영향만을 고려하였으며, 총 제시된 환경지수는 158로 제시되었으며 그 현황은 표 2.3과 같다.

표 2.3 지하철 9호선 적용 환경지수 현황

구 분	계	기본환경지수	환경지수 증분치
		100년	중성화
환경지수	158	120	38

2.2.2 내구지수 설계의 분석

(1) 지하철 구조물에서의 내구지수 구성

내구지수는 구조물에 작용하는 내력과 같이 구조물이 놓여진 환경에서 콘크리트가 저항하는 정도를 정량화한 지수로서, 재료분야, 설계분야, 시공분야로 구분할 수 있으며, 기본내구지수는 30을 부여하며 내구지수의 구성 현황은 표 2.4와 같다.

표 2.4 내구지수 구성 현황

구 분	기본내구지수	분야별 내구지수 범위		
		재료분야	설계분야	시공분야
내구지수	30	-140~106	-127~128	-85~63

(2) 9호선 공구별 내구지수의 총괄

전공구 환경지수 158이상을 확보하고 있으며, 대안입찰로 발주한 7개공구의 경우 내구지수는 165로 동일하며, 원괄입찰공사로 발주한 7개공구의 내구지수는 159.7~179.8로 설계되어 있으며, 그 현황은 표 2.5와 같다.

표 2.5 공구별 내구지수 총괄

공구명	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914
내구지수	159.7	165	165.5	164.5	165	165	160	165	179.8	163	175.8	162.4	165	165

(3) 분야별 내구지수 증분치 분석

1) 재료분야의 내구지수 증분치

재료분야의 내구성 증분치는 9개 항목으로 구성되어 있으며, 표 2.6의 공구별 재료분야 내구성 증분치 현황을 살펴보면 대안입찰 공사로 발주한 7개공구(901공구, 902공구, 905공구, 906공구, 908공구, 913공구, 914공구)는 모두 같은 값을 보이고 있으며, 시멘트의 종류, 골재의 입도, 혼화제의 종류, 단위수량, 염화물함유량, 콘크리트 재료의 생산채계 항목에 있어서는 특정항목에 일부 공구를 제외하고는 전공구가 같은 지수값을 가지고 있다.

3) 시공분야의 내구지수 증분치

시공분야의 내구성 증분치는 8개 항목으로 구성되어 있으며, 표 2.8의 공구별 시공분야 내구성 증분치 현황을 살펴보면 대안입찰 공사로 발주한 7개공구(901공구, 902공구, 905공구, 906공구, 908공구, 913공구, 914공구)는 모두 같은 값의 양상을 보이고 있으며, 콘크리트의 반입과정, 철근의 가공, 철근의 조립, 거푸집공, 동바리공은 특정 공구를 제외하고는 전공구가 같은 지수값을 가지고 있다.

표 2.8 공구별 시공분야 내구성 증분치 현황

공 구 명	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914
계	45	46	40	37	46	46	51	46	45	45	45	67	46	46
1. 주업기술자의 수준 정도	20	20	15	15	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2. 콘크리트의 반입 과정	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3. 운반, 타설, 다짐과정	0	1	0	2	1	1	1	1	5	-5	5	10	1	1
4. 표면마무리와 양생	0	5	0	0	5	5	5	5	0	5	0	7	5	5
5. 철근의 가공	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6. 철근의 조립	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
7. 거푸집공	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	5	5
8. 동바리공	5	0	5	0	0	0	5	0	0	5	0	5	0	0

3. 결론

- (1) 지하철 9호선 구조물에서 내구연한 100년을 확보하기 위하여 제시한 환경지수 158점과 비교하여 본때 내구지수는 159.7~179.8점으로 확보되어 있는 것으로 확인되었다.
- (2) 내구지수의 증분치 결과를 보면 많은 항목에 있어 입찰자가 다양한 선택을 하지 못하고 발주기관에서 정한 것을 획일적으로 선정하는 시스템으로 구성되어 있음을 알 수 있다.
- (3) 입찰형태로 보아 일괄입찰로 발주한 공사가 공사비에 영향을 주는 요소에 대하여 내구지수의 선택에 우위를 기술인 반면 대안입찰로 발주한 공사는 발주기관에서 제시한 기준만을 준수하는 획일적인 선택양상을 보였다.

참고문헌

1. 백승우 (2002년), "임해철 고려한 철근콘크리트구조물의 내구성 평가", 석사학위논문, 연세대학교
2. 권성준 (1998년), "콘크리트 구조물의 내구성능 평가형 설계시스템의 개발", 석사학위논문, 연세대학교
3. 서울특별시 지하철건설본부(1999년), "지하철 구조물 내구성확보를 위한 연구용역", 토목학회
4. 엔크리트構造物の耐久性設計指針(案)(1995년), 日本土木學會, 엔크리트委員會
5. 서울특별시 지하철건설본부(2002년), "지하철 9호선 901~914공구 건설공사 실시계획 보고서"

환경지수 증분치와 내구지수 증분치

1. 환경지수 증분치

(1) 업체에 대한 환경지수 증분치

상태	특 정	목표내구년만에 따른 환경지수 증분치	
		50년	100년
양호	· 해안가의 영향이 없는 지역, 지중 구조물	0	0
보통	· 해안으로부터 100~250m정도의 거리에 있고 습도가 70% 이하, 연평균온도 20℃ 미만	5	8
	· 습도가 70% 이하, 연평균온도 20℃ 이상	10	15
	· 습도가 70% 초과, 연평균온도 20℃ 미만	10	15
	· 습도가 70% 초과, 연평균온도 20℃ 이상	15	23
불량	· 해안으로부터 100m이하의 거리에 있고 습도가 70% 이하, 연평균온도 20℃ 미만	20	30
	· 습도가 70% 이하, 연평균온도 20℃ 이상	25	38
	· 습도가 70% 초과, 연평균온도 20℃ 미만	25	38
	· 습도가 70% 초과, 연평균온도 20℃ 이상	30	45
매우불량	· 간만대, 비말대, 정선부근의 지역에 있고 습도가 70% 이하, 연평균온도 20℃ 미만	40	60
	· 습도가 70% 이하, 연평균온도 20℃ 이상	50	75
	· 습도가 70% 초과, 연평균온도 20℃ 미만	50	75
	· 습도가 70% 초과, 연평균온도 20℃ 이상	60	90
비 고	· 비래입자로부터 차폐물이 없을 경우	5	8
	· 업체의 환경에서 직사광선에 직접적으로 노출이 된다고 판단되는 부재	5	8
	· 표면농축이 심해서 육안으로 뚜렷이 구별될 경우	5	8
· 업체에 대한 최대환경지수 증분치의 제한		70	105

(2) 중성화에 대한 환경지수 증분치

상태	특 정	목표내구년만에 따른 환경지수 증분치	
		50년	100년
양호	· 대기오염이 없다고 판단되고 수증이나 지중에 있는 구조물	0	0
	· 평균 CO ₂ 의 농도가 낮음 : 300ppm 이하	5	8
보통	· 평균 CO ₂ 의 농도가 보통 : 300~650ppm		
	· 습도가 45%미만이거나 85~98%일 때	10	15
	· 습도가 65~84%일 때	15	23
	· 습도가 45~64%일 때	20	30
불량	· 평균 CO ₂ 의 농도가 높음 : 650~1000ppm		
	· 습도가 45%미만이거나 85~98%일 때	25	38
	· 습도가 65~84%일 때	30	45
	· 습도가 45~64%일 때	35	53
매우 불량	· 평균CO ₂ 의 농도가 1000ppm이상		
	· 습도가 45%미만이거나 85~98%일 때	45	68
	· 습도가 65~84%일 때	55	83
	· 습도가 45~64%일 때	65	98
비고	· 강우 및 적사광선의 영향을 직접받는 부채	5	8
	· 연평균온도가 30℃이상인 지역	5	8
· 중성화에 대한 최대환경지수 증분치의 한계		70	105

(3) 동해에 대한 환경지수 증분치의 분류 (-5℃이하인 평균일수를 기준으로)

연간동해일수	목표내구년만에 따른 환경지수 증분치	
	50년	100년
10일 이내	0	0
10 ~ 20일	10	15
20 ~ 40일	20	30
40 ~ 60일	30	45
60일 이상	40	60

(4) 황산염침해에 따른 환경지수의 증분치

황산염 이온에 노출정도	지하수의 황산염 이온 (SO ₄ ²⁻) : (ppm)	목표내구년만에 따른 환경지수 증분치	
		50년	100년
무시해도 좋을 정도	0 ~ 150	0	0
보통 정도	150 ~ 1,500	5	8
심한정도	1,500 ~ 10,000	10	15
매우 심한정도	10,000 이상	20	30

2. 내구지수 증분치의 도출

1) 재료분야

(1) 시멘트의 종류

시멘트의 종류		내구지수 산정
보통시멘트		0
건조수축 및 자기수축이 적은 시멘트		10
혼합시멘트 (31.5도슬래그, 플라이 애쉬)		10
특수시멘트	용도	10
중용열포틀랜드시멘트, 저열	메스콘크리트	
조강포틀랜드시멘트	급속, 한중시공	
저알칼리시멘트	알칼리반응	
내황산염포틀랜드시멘트	황산염침해	

(2) 골재의 흡수율

$$\Delta D_T = 2(2 - A_{21}) + 4(1 - A_{22}) \geq -10$$

여기서 A_{21} 은 잔골재의 흡수율(%), A_{22} 은 굵은골재의 흡수율(%)

골재의 흡수에 대한 내구지수 증분치의 최소값은 -10으로 제한한다.

(3) 골재의 입도

골재의 입도	내구지수 산정
모두 KS F 2502에 근거한 입도분포를 따르고 조립률이 잔골재인 경우는 2.3~3.1을, 굵은골재인 경우는 6~8을 만족할 경우	0
물 중 하나라도 위배시	-5

(4) 혼화제의 종류

혼화제의 종류		내구지수 산정
팽창제를 적절하게 사용했을 경우		10
실리카흄·건조수축 저감제를 소요목적에 맞도록 적절하게 사용했을 경우		10
동결융해 작용이 현저한 경우	공기연행제 사용시	0
	공기연행제 미사용시	-15

(5) 유동성 및 재료분리저항성

영향인자	내구지수 산정
D_{11} -부재의 최소치수 (최소값은 0.5m) D_{12} - 1회 타설높이 (최대치는 $\sqrt{10}$ m) D_{13} 는 단면의 변단면유무 B_{10} 은 슬립프치 (최대치 30cm) B_{12} 는 재료분리저항성 재료분리저항제를 충분히 사용한 경우 0 보통의 경우 0.06사용	유동성형 $\Delta D_T = 2(B_{10}-10) + B_{11}(1 - B_{10}/30) \leq 30$ $B_{11} = (10 - 8/D_{11}) + (5 - D_{12}^2) + D_{13}$ D_{13} : 윗면보다 아랫면이 커서 다짐이 불리하 다고 예상되는 단면 -5, 그렇지 않은 경우 0
	재료분리저항성형 $\Delta D_T = 5 - B_{12}(B_{10})^2 \geq -25$
유동성형의 최대값은 30으로, 재료분리저항성의 최소값은 -25로 제한하며 유동성 및 재료 분리저항성의 최대값과 최소값은 각각 35와 -30으로 제한한다.	

(6) 물-시멘트비

$\Delta D_T = 55 - B_2$: B_2 는 물시멘트비(%) 물-시멘트비에 대한 최대값과 최소값은 각각 20과 -15로 제한한다.
--

(7) 단위수량

영향인자	내구지수 산정
단위수량 : B_3 (kg/m^3)	160kg 미만일때 $0.5(160 - B_3)$
	160kg 이상일때 $1.0(160 - B_3) (\leq 0)$ 단 최대값과 최소값은 10, -25로 제한한다.

(8) 염화물 함유량

$\Delta D_T = 5 - 0.5(10 \cdot B_4)^2$: B_4 : 염화물 함유량(kg/m^3) 염화물 함유량에 대한 최대값과 최소값은 각각 5, -30으로 제한한다.

(9) 콘크리트 재료의 생산체계

항 목	내구지수 산정
제조장장이 KS표시 허가장장이 아닌 경우	-10
일반적인 경우	0
자동계량기폭장치가 설치되어 있는 경우	4
믹서의 성능이 양호한 믹서를 사용하고 있는 경우	2
지붕등이 있는 양호한 저장시설이 확보되어 있는 경우	2
잔골재의 표면수량관리 $\pm 0.5\%$	4
잔골재의 표면수량관리 $\pm 1.0\%$	2
믹서내에서 충분히 반죽절기가 관리되고 있는 경우	4

2) 설계분야

(1) 설계주임기술자의 수준

$$\Delta D_T = A_{12} - 7$$

A_{12} 는 설계주임기술자의 경험년수, 자격소지여부에 따라 2혹은 0으로 나누어 합산, 설계주임기술자의 수준에 대한 최대값과 최소값은 각각 6, -2로 제한한다.

(2) 철근의 덮개

$$\Delta D_T = 7.5 \cdot (D_2 - 5), \quad : D_2 \text{은 철근의 덮개(cm)}$$

철근의 덮개에 대한 최대값과 최소값은 각각 30, -30으로 제한한다.

(3) 배근의 세부사항

배근의 세부사항

$$\Delta D_T = 15(1 - \sqrt{2D_{30}/D_{31}})$$

D_{30} 은 철근의 단수, D_{31} 은 철근의 순간격/굽은골재의 최대치수 진동기가 닿지 않는 길이

$$\Delta D_T = 0.5(10 - D_{32})$$

D_{32} 는 진동기가 기타설된 콘크리트에 닿지 않는 길이(cm)

배근에 세부사항에 대한 최대값과 최소값은 15, -25로 진동기가 닿지 않는 길이의 최대값과 최소값은 0, -10으로 제한한다.

(4) 가외철근비 (주철근이외의 철근비)

$$\Delta D_T = 25D_4 \leq 10 \quad D_4 \text{는 해당단면적의 가외철근비(\%)}$$

가외철근비에 대한 최대값과 최소값은 10, 0으로 제한한다.

(5) 시공이음

시공방법	내구지수 산정
수평이음	-10E ₃
연직시공	-20E ₃
역방향 치기	-25E ₃
신·구콘크리트의 처리방법(E ₃)	샌드블라스트 또는 치평후 고압공기 또는 물로 세척한 경우 - 0.3
	응결자연재 살포 후 고압수 또는 고압공기로 표면을 세척한 경우 - 0.5
	단순히 고압수, 고압공기로 표면을 세척한 경우 - 0.7
	무처리(처리하지 않고 시공이음을 한 경우) - 1.0

(6) 설계도면의 명시여부

항 목	내구지수 산정
닫개가 불명확하게 그려짐	-5
시공이음부가 정확히 명시되지 않은 경우	-25
복잡한 구조물의 절근배근도가 동일한 또는 연속된 도면에 명시되지 않은 경우	-5

(7) 온도균열지수

$$\Delta D_T = 20(1 - 1/C_1)$$

C₁: 공인된 수화열 프로그램이나 시방서에서의 간아식으로 구한 온도균열지수
온도균열지수에 대한 최대값과 최소값은 10, -20으로 제한한다.

(8) 허용균열폭

$$\Delta D_T = 10(C_2^2 - 7C_2 + 6).$$

C₂: 균열폭/허용균열폭의 비 - 콘크리트 표준시방서의 식이나 공인된 프로그램을
이용한 균열폭과 콘크리트 표준시방서에 의한 허용균열폭의 비
허용균열폭에 대한 최대값과 최소값은 30, 0으로 제한한다.

(9) 거푸집의 종류

거푸집의 종류	내구지수 산정
부수거푸집의 사용	10
강재 및 특수거푸집	5
프리캐스트 배설거푸집	5
부재형상에 맞추어 특별하게 제작된 거푸집	5
보통의 목재거푸집	0

(10) 표면보호재의 종류

항 목	내구지수 산정
표면에 석재부착 또는 타일부착	20
내구성이 확인된 수지도장	15
표면에 플라스틱 부착	10
폴리머시멘트 마감·수지함침 마무리	5
특수마무리, 특수콘크리트사용	5

3) 시공분야

(1) 주입기술자의 수준정도

항 목	내구지수 산정
1 등급 : 품질시험기술사	20
2 등급 : 시공기술사	15
3 등급 : 기사 1급	5
4 등급 : 기사 2급	-10

(2) 콘크리트의 반입과정

항 목	내구지수 산정
반입장소에 원정기술자를 상주시키지 않는 경우	-5
배치플랜트의 재료계량기록에 의한 배합현황을 현장 도착 즉시 확인하는 경우	5

(3) 운반, 타설, 다짐과정

항 목	내구지수 산정	
타설장소에 원정기술자를 상주시키지 않는 경우	-5	
콘크리트의 자유낙하 높이 $\Delta D_T = 2(1.5 - E_{33})$ (0 ~ -5) E_{33} 은 자유낙하 높이(m)		
최대타설속도 $\Delta D_T = (20 - E_{31})$ (10 ~ -10) E_{31} 은 최대타설속도(m^3/h)		
다짐	내부진동기에 의해 다지지 않은 경우	-25
	공장에서 거푸집 진동기	10
	현장에서 거푸집 진동기 병용	5
	내부진동기	0
자유낙하 높이에 대한 내구지수의 최대값과 최소값은 0, -5로, 최대타설속도에 대한 최대값과 최소값은 10, -10으로 제한한다.		

(4) 표면마무리와 양생

외박양생제의 사용		5
보통의 습윤양생관리		0
다지기(땀핑)를 하지 않을 때	표면적이 넓은 슬래브	-15
	기둥, 보	-5
시멘트의 종류	내구지수의 산정	
보통시멘트 조강시멘트 고로, 플라이애시시멘트	$E_{42} \leq 5$:	$-8 \leq 2(E_{42}-5) \leq 0$
	$E_{42} > 5$:	$(E_{42}-5) \leq 3$
	$E_{42} \leq 3$:	$-6 \leq 3(E_{42}-3) \leq 0$
	$E_{42} > 3$:	$1.5(E_{42}-3) \leq 3$
	$E_{42} \leq 7$:	$-10 \leq 2(E_{42}-7) \leq 0$
	$E_{42} > 7$:	$(E_{42}-7) \leq 3$
	E_{42} : 양생일수	
양생을 안함(겨울)		-20
양생을 안함(여름)		-15
보통시멘트에 대한 내구지수의 최대값과 최소값은 3 -8로, 조강시멘트에 대해서는 3, -6으로, 고로, 플라이애시 시멘트에 대해서는 3, -10으로 제한한다.		

(5) 철근의 가공

항 목	내구지수 산정
원치수의 정규제품을 사용하는 경우 혹은 가공형상을 확인하는 작업을 행한 경우	5
그렇지 않은 경우	0

(6) 철근의 조립

항 목		내구지수 산정
간격제의 종류	세라믹제·모르타제	0
	플라스타제	-5
	강 제	-10
간격제의 수	수평철근에 $4\text{개}/\text{m}^2$ 이상 사용하지 않는 경우	-10
	연직철근에 $2\text{개}/\text{m}^2$ 이상 사용하지 않는 경우	
결속선 처리	결속선 자체에 대한 녹방지처리	5
	결속선을 덮개의 반대방향으로 구부림	5

(7) 거푸집공

항 목		내구지수 산정
녹방지한 인서트의 사용		5
거푸집 조립용 금속부분(강봉)이 덮개콘크리트에 남아있는 경우		-10
거푸집 조립용 금속부분(강봉)을 제거하고 채움제사용	무수축모르터, 프리캐스트 콘크리트 모르터 플라스틱	5 0 -5

(8) 동바리공

항 목	내구지수 산정
공장 또는 제작장에서 반착사용되는 동바리	5
상기이외의 강재동바리	0
목재동바리	-5

(9) 그라우트공

항 목		내구지수 산정
시공경험자격의 유무(기사가 있는 경우)		4 또는 -5
채움콘크리트의 품질	보통콘크리트의 사용 팽창콘크리트의 사용	-5 0
팽창그라우트(non bleeding type)		5
그라우트 시공시 기록정리 및 체크리스트 의 유무		0 또는 -5

지하철9호선 구조물 건설 현황

공구명	구 간	연장(m)	구조물 형태				비고
			본 선		정 거 장		
			개 착	터 닐	개 착	터 닐	
계		27,483	13,411	10,018	3,854	200	
901	김포기지~ 김포공항 계류장	3,285.5	2,676	444.5	165		대안
902	김포공항 계류장~ 공항시장 입구	875	735	140			대안
903	공항시장 입구~ 마곡지구	1,630.5	729	571.5	330		TK
904	마곡지구~ 가양동 제일제당앞	1,950	1,620		330		TK
905	가양동 제일제당앞~ 강서소방서	1,540	1,301	74	165		대안
906	강서소방서~ 목2동(도시가스)	1,820	483	1,007	330		대안
907	목2동(도시가스)~ 양평동(양평교)	2,080	1,750		330		TK
908	양평동(양평교)~ 당산동(삼성아파트앞)	1,350	1,020		330		대안
909	당산동(삼성아파트앞)~ 여의도 KBS별관	2,660	260	2,070	330		TK
910	여의도 KBS별관~ 사육신공원	2,100	1,293	477	330		TK
911	사육신공원~ 국립묘지	2,540	253	1,957	330		TK
912	국립묘지~ 반포초등학교	1,720	259	1,131	330		TK
913	반포초등학교~ 고숙버스터미널	1,780	626	782	172	200	대안
914	고숙버스터미널~ 삼성호텔	2,152	406	1,364	382		대안