

고내구성 해양 콘크리트의 표면 마감성 개선 사례

Field Application on the Surface Finishability Improvement of High Durability Concrete



정기성*
Gi-Sung Jung



유재강**
Jae-Kang Yoo



박상준***
Sang-Joon Park



김영진****
Young-Jin Kim



임현철*****
Hyun-Chil Lim

1. 서론

일반적으로 콘크리트의 유동특성은 주로 슬럼프나 슬럼프 플로우 시험에 대응하는 항복 값과 재료분리저항성에 대응하는 소성점도를 이용하여 평가하게 된다. 즉, 다량의 결합재와 고성능 감수제를 사용하게 되는 고성능 콘크리트의 경우 겉보기 항복 값은 적게 되나, 상대적으로 소성점도가 매우 크게 되는 특성을 가지고 있어, 갇힌 공기(entrapped air) 등의 영향으로 콘크리트의 노출면이 불량하게 되는 문제점을 갖고 있다. 이는 특별한 마감이 고려되지 않은 콘크리트 구조물에 있어 미관상 측면뿐만 아니라 내구성 측면에서도 매우 중요한 관리항목이라 할 수 있다. 따라서 본고에서는 부산~거제간 연결도로 민자 투자 사업에 적용된 고내구성 해양콘크리트를 대상으로 거푸집 및 박리제 종류, 다짐장비 및 방법 등이 콘크리트 구조물의 표면기포 저감특성에 미치는 영향에 대하여 검토하였는데, 그 결과를 소개하고자 한다.

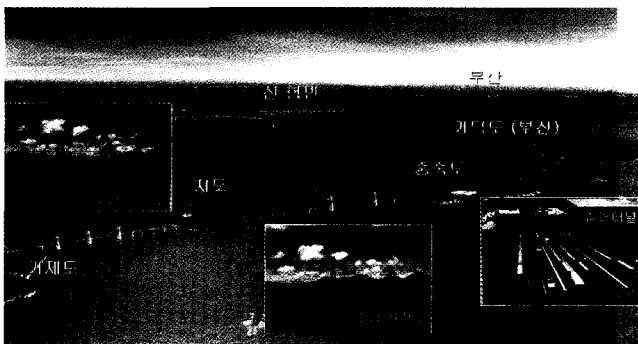


그림 1. 거가대교 현장 조감도

* 정회원, 대우건설 GK PC제작현장 과장
c011066@dwconst.co.kr

** 정회원, (주)대우건설기술연구원 건축연구팀 선임연구원

*** 정회원, (주)대우건설기술연구원 건축연구팀 선임연구원

**** 정회원, (주)대우건설기술연구원 토목연구팀 수석연구원

***** 정회원, (주)대우건설 GK PC제작현장 소장

2. 공사개요

본 사업은 경남 거제도와 부산 가덕도를 연결하는 부산~거제간 연결도로(그림 1 참조) 민자 투자사업(이하 GK project로 칭함)으로서 총 연장 8.2km, 왕복 4차선 도로로 계획된 3주탑 사장교와 2주탑 사장교를 포함하여 총 8개의 교량과 3.7km의 침매터널로 계획되어 있다. 총 사업비는 1조 4천억 규모로서 중앙정부와 경상남도/부산광역시에서 4,473억원, 대우건설을 주관사로 한 민간기업에서 9,996억원을 유치하여 BTO (build, transfer and operate) 방식으로 운영하게 된다.

3. 콘크리트의 내구성 설계^{3,6,8)}

Duracrete에서 제안하고 있는 내구성 설계의 기본 목표는 염소이온 침투 및 탄산화 등을 고려하는 열화 메커니즘에 대하여 납득할만한 수준의 안전도를 확보하는데 있으며, 목표내구수명 동안 구조물의 각종 열화요인에 충분히 저항할 수 있는 재료, 배합 및 구조상세를 선정하고, 적용하는 것이다.

즉, 설계의 첫 번째 단계는 목표내구수명을 정하는 것이다. (그림 2)는 사용수명(service life)동안에 발생 가능한 열화현상을 나타낸 것으로서, 일반적으로 ①~② 단계의 기간이 구조물의 사용성을 확보할 수 있는 것으로 평가하고 있다. 일례로 염소이온의 경우는 철근이 부식되어 콘크리트에 발생하게 되는 균열의 허용 균열폭이 0.3mm에 도달하는 시간까지를 내구수명으로 보는 것이다.

두 번째는 환경하중분석 및 해당 열화 메커니즘을 정량화 하는 단계로서 이를 위해서는 시간에 따른 열화과정과 사용재료의 저항특성에 대한 수학적 모델링이 적용된다.

마지막으로 기존 구조설계에 이용되고 있는 신뢰성 이론을 적용하여 사용수명 동안에 발생하는 각 열화현상의 발생확률을 산정하는 단계로 진행된다.

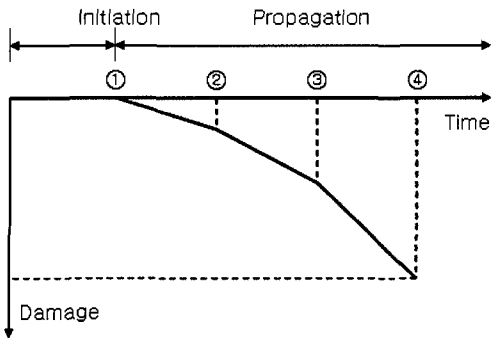


그림 2. 콘크리트 구조물의 열화 과정 개념도
① Depassivation, ② Spalling, ③ Cracking, ④ Collapse

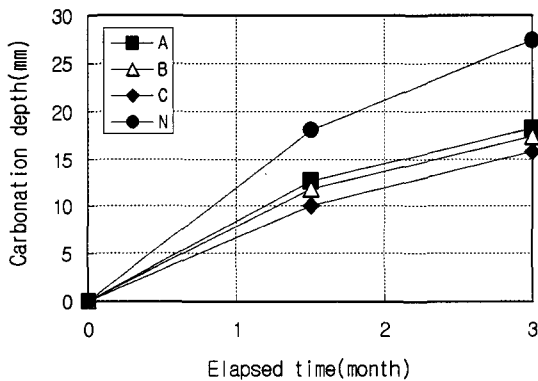


그림 3. 촉진탄산화 시험결과¹⁾

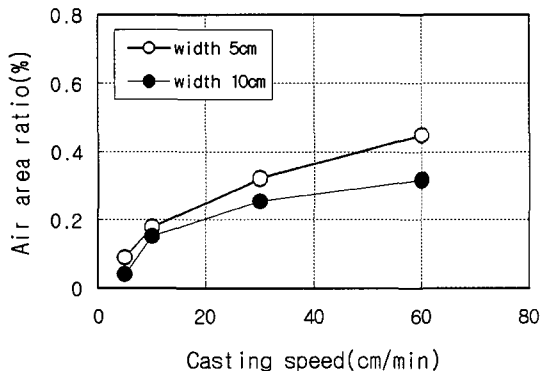


그림 4. 타설속도와 기포면적률간의 상호관계²⁾

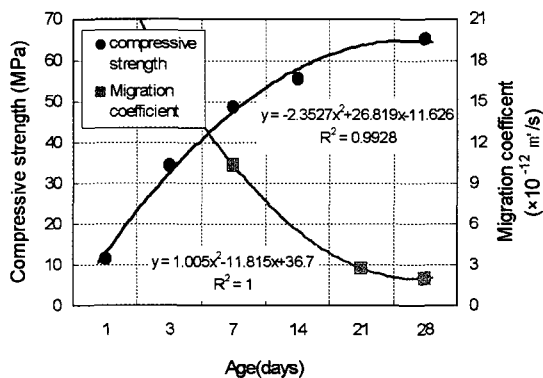


그림 5. 압축강도 및 염화물 확산특성²⁾

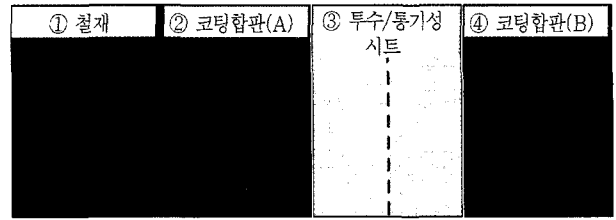


그림 6. 콘크리트의 표면개선효과 검토를 위한 거푸집 종류

표 1. 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	S/A (%)	단위재료량 (kg/m ³)						
		W	C	FA	SF	S	G	SP
32.5	41.0	137	325	84	13	712	1081	6.75

4. 표면 마감성 개선방안 검토결과

일반적으로 콘크리트의 표면에 발생하는 기포는 구조물의 외관을 손상시킬 뿐만 아니라 표면이 포러스 한 상태로 되어 표층부의 강도가 저하하고, 아울러 염화물 저항성이라든지, 탄산화 같은 내구성 측면에서의 성능도 현저히 저하된다고 보고되고 있다(〈그림 3〉 참조, N : 표면기포, A 와 B 와 C : 투수·흡수거푸집 적용). 더욱이, 고품질의 고강도·고유동·고내구 성능을 발휘하면서 높은 점성을 갖는 고성능 콘크리트의 경우 〈그림 4〉에서와 같이 구조물의 단면이 적고, 타설속도가 빠를수록 기포발생이 크게 증가하는 것으로 보고되고 있어, 이를 저감할 수 있는 노력이 요구되고 있다. 따라서 GK project에서는 특기시방서⁴⁾ 내용으로 콘크리트의 표면결함에 대하여 아래와 같이 관리하도록 정하고 있다.

- 콘크리트 표면의 눈으로 확인할 수 있는 기포의 최대 허용 크기는 10 mm이다.
- 1m²의 콘크리트에 5 mm~10 mm 크기의 기포는 50개 이하이어야 하며, 0.01 m²의 범위에서는 그와 같은 기포가 10개를 초과해서는 안 된다.
- 색깔 및 외관은 보이는 면에서 균질하여야 한다.

표면 마감성 개선을 목적으로 적용한 콘크리트의 배합사항은 아래 〈표 1〉과 같고, 이에 따른 압축강도와 염화물 확산특성⁷⁾은 〈그림 5〉와 같다.

4.1 거푸집 종류에 따른 특성

거푸집 재질에 따른 콘크리트 표면 개선효과를 검토하기 위하여 〈그림 6〉과 같이 1.2 m × 1.2 m × 1.2 m 크기의 모의 부재를 대상으로 4면이 각각 상이한 재질을 갖는 거푸집을

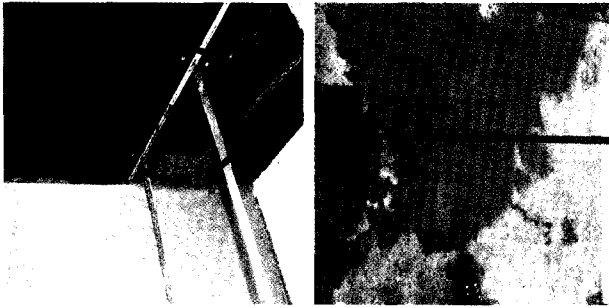
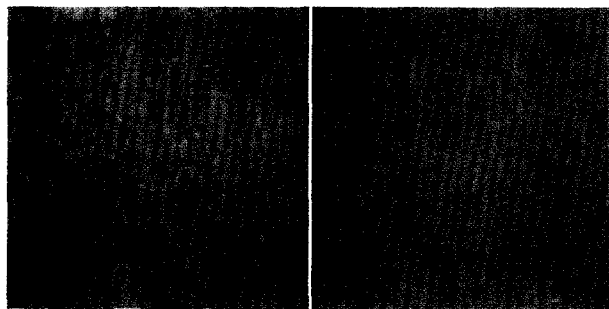


그림 7. 거푸집 표면 다짐용 도구

제작하였다. 여기서, 거푸집 종류로 코팅합판의 경우는 2 case 에 대하여 검토하였는데, ④번 코팅합판 (B)에 대해서는 일반적으로 적용하는 다짐장비 외에 <그림 7>과 같은 다짐도구를 현장에서 제작하여 거푸집 표면에 추가적으로 적용하였다.

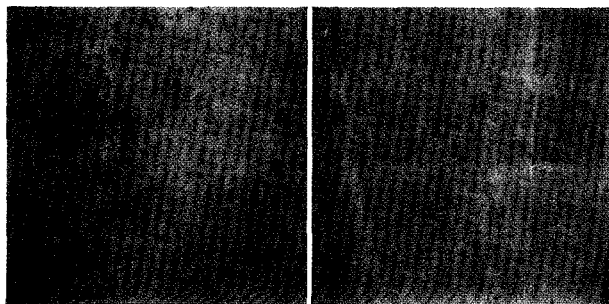
<그림 8>은 거푸집 종류에 따른 고내구성 콘크리트의 표면마감성상을 상호 비교하여 나타낸 것이다. 즉, 가장 일반적인 거푸집 재질이라 할 수 있는 철재와 코팅합판(A)의 경우는 기존 고강도·고유동 콘크리트⁵⁾ 수준의 불량한 표면성상을 나타내고 있는 반면, 상대적으로 코팅합판(A)이 접하는 부분에 대하여 <그림 7>에서와 같은 판상의 다짐도구를 현장에서 임의 제작하여 적용한 코팅합판(B)의 경우가 가장 양호한 표면성상을 나타내는 것으로 평가되었으며, 그 다음이 투수·투기성 시트를 적용한 경우인 것으로 나타났다.

이는 각각 투수·투기성 시트의 흡수특성과 현장에서 제작한



(a) 철재

(b) 코팅합판(A)



(c) 투수·투기성 시트

(d) 코팅합판(B)

그림 8. 거푸집 종류에 따른 표면개선 방안 검토결과

다짐도구의 다짐효과 등에 기인한 결과로 분석된다.

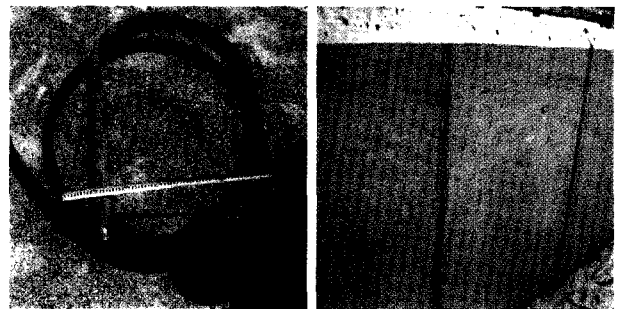
4.2 다짐장비 및 방법에 따른 특성

다짐장비에 따른 콘크리트 표면 개선효과를 검토할 목적으로 <그림 9>와 같이 $\phi 45$ mm의 소형 다짐기와 $\phi 65$ mm, 그리고 고주파 다짐기 등 3 종류에 대하여 검토하였으며, 다짐방법은 200 mm간격으로 동일하게 적용하였다.

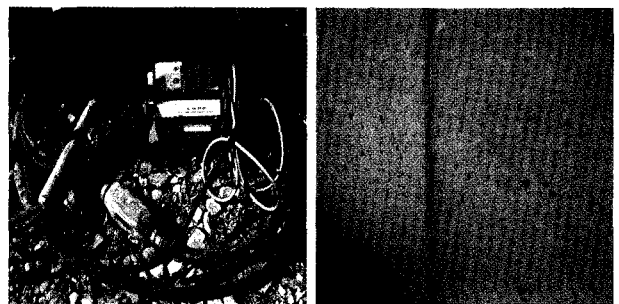
검토결과, 다짐장비의 종류에 따른 콘크리트 표면 개선효과가 현저한 것으로 나타났는데, 세부적으로는 직경이 큰 $\phi 65$ mm 바이브레이터가 가장 효과적이고, 그 다음이 고주파 다짐기 그리고, $\phi 45$ mm 다짐기 순인 것으로 나타났다. 이는 다짐장비의 성능 및 현장 운용의 용이성 등이 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 분석되는데, 즉 다짐장비의 기본 성능도 중요하지만 작업원의 숙련도에 따라 적절히 운용할 수 있는 장비선택이 우선 되어야 한다는 것이다.



(a) $\phi 45$ mm 다짐장비

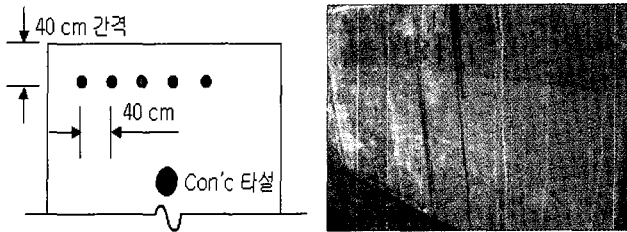


(b) $\phi 65$ mm 다짐장비

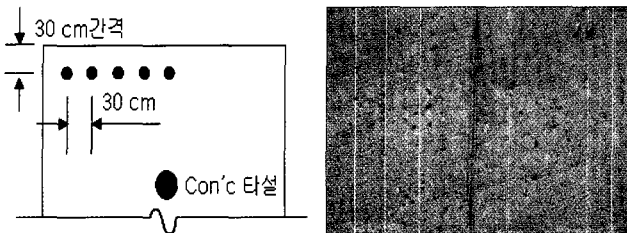


(c) 고주파 다짐장비

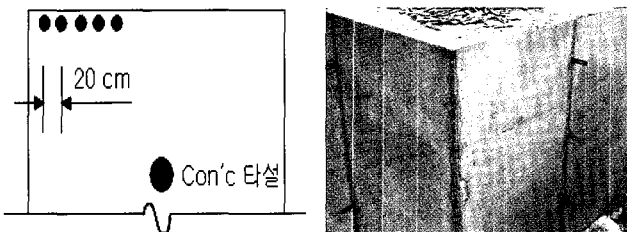
그림 9. 다짐장비 종류에 따른 표면개선 방안 검토결과



(a) 400 mm 간격으로 거푸집에 이격 다짐



(b) 300 mm 간격으로 거푸집에 이격 다짐



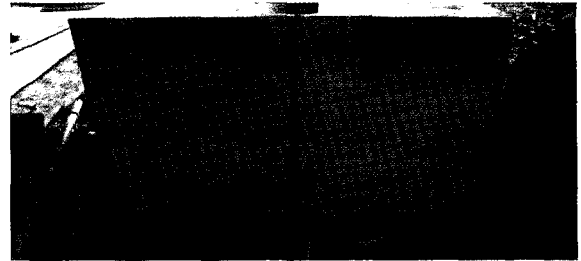
(c) $\phi 200$ mm 간격으로 거푸집에 밀착 다짐

그림 10. 다짐방법에 따른 표면개선 특성

〈그림 10〉은 $\phi 65$ mm 다짐장비만을 사용하여 다짐방법에 따른 콘크리트 표면 개선효과를 나타낸 것이다. 즉, 다짐간격을 400 mm와 300 mm로 한 경우 그리고, 200 mm로 시공하면서 최종적으로 거푸집 면에 밀착시켜 다진 경우 등으로 구분하여 표면 개선효과에 대하여 검토하였다.

검토결과, 다짐 간격을 200 mm로 시공하면서 거푸집 면에 밀착시켜 다진 경우가 콘크리트 표면의 갇힌 공기 저감에 다소 효율적인 것으로 나타났다. 즉, 콘크리트 표면을 개선하기 위해서는 콘크리트의 균질성을 저하시키지 않는 범위 내에서 가능한 좁은 간격으로 거푸집과 밀착시켜 다짐하는 것이 효과적인 것으로 평가되었다.

한편, 박리제 종류에 따른 특성에 있어서는 주목할 만한 수준의 표면개선효과는 없는 것으로 나타났다(그림 11 참조). 이상을 종합하여 고성능 콘크리트의 표면마감성상을 개선할 수 있는 방안을 정리하면 〈표 2〉와 같다. 즉, 기존 시공법을 적용한 구조물과 본고에서 도출한 개선방안을 비교한 결과, 본 프로젝트의 관리규준을 충분히 만족하는 것으로 평가되었는데, 세부적으로 기존 시공법의 경우는 10 mm 이상 크기의 기포가 $7EA/m^2$, 5~10 mm 크기의 기포가 $93EA/m^2$ 인 것으로 나타난 반면, 금회의 개선방안을 적용한 경우에 있어서는 5~10 mm 크



(a) 유성 박리제



(b) 수성 박리제

그림 11. 박리제 종류에 따른 표면개선 특성

기의 기포 $4EA/m^2$ 만이 발생함으로써 우수한 표면개선효과가 있는 것으로 평가되었다.

그러나 본고의 경우 GK project에 적용하고 있는 고내구성 콘크리트와 구조물에 한정하여 검토한 결과이기 때문에 향후, 이를 현저히 개선하기 위해서는 대상구조물의 특성 및 현장여건을 고려한 종합적인 검토가 요구되는데, 그 내용⁵⁾을 정리하면 다음과 같다.

- 표면마감개선을 위한 최적의 마감시기와 응결시간과의 상호관계
- 정밀한 표면마감이 요구되는 구조물의 경우 마감의 방법 및 재료 또는 구조물의 형상이 경사면을 갖는 경우에 대한 검토
- 표면기포저감용 혼화제 또는 박리제

표 2. 콘크리트 표면 개선방안 검토 결과

방안	방법	평가결과		
		Excellent	Ordinary	Poor
거푸집	철판		○	
	코팅합판		○	
	투수·통기성 시트		○	
다짐 장비	코팅합판 + 판형 다짐도구	○		
	$\phi 45$ mm 바이브레이터		○	
	$\phi 65$ mm 바이브레이터	○		
다짐 방법	고주파 바이브레이터		○	
	40 cm 간격 + 이격 다짐			○
	30 cm 간격 + 이격 다짐			○
박리제	20 cm + 거푸집 밀착다짐	○		
	유성		○	
	수성		○	

- 타설속도와 슬럼프 플로와의 상호관계
- 마감표면의 정량적 평가방법

5. 맺음말

경남 거제도와 부산 가덕도를 연결하는 부산~거제간 연결도로 민자 투자 사업은 총 연장 8.2km, 왕복 4차선도로로 계획된 3주탑 사장교와 2주탑 사장교를 포함하여 총 8개의 교량(4.5km)과 침매터널(3.7km)로 계획되어 있으며, 총 1조 4천억 규모의 공사비를 투입하고, BOT 방식으로 운영하는 것으로 계획되어 있다. 즉, 본 사업에는 국내최초의 침매터널, 2, 3주탑 사장교의 부양시스템(floating system), 그리고 LRFD(load resistance factor design) 설계방식, Duracrete 등 각종 첨단 건설기술이 적용되고 있는데, 특히 Duracrete 모델로 설계된 100년 내구수명의 고내구성 콘크리트의 경우는 배합사항으로 낮은 물-결합재비를 바탕으로 최소의 단위수량과 결합재량을 채택하고 있기 때문에 강도개념으로 설계된 일반 콘크리트와는 달리 높은 점성을 갖는 고성능 콘크리트 수준의 유동특성 나타내고 있어 콘크리트 노출면이 다소 불량하게 되는 특징을 갖고 있었다.

따라서 본고에서는 실제 구조물 적용에 앞서 거푸집 및 박리제 종류 그리고, 다짐장비 및 방법 등이 구조물의 표면기포 저감특성에 미치는 영향에 대하여 검토하였는데 그 결과, 거푸집은 일반 코팅합판을 사용하고, 여기에 $\phi 65$ mm의 다짐장비와 판형 다짐도구를 적용하여 콘크리트의 균질성을 저하시키지 않는 범위 내에서 가능한 거푸집과 밀착시켜 다짐하는 것이 가장 효과적인 것으로 평가되었다. 즉, 금회의 개선방안을 적용한 경우 기존 시공법에서 나타난 표면기포를 효과적으로 개선할 수

있었다. 그러나 금회에 검토한 개선방안의 경우는 부산~거제간 연결도로 민자 투자 사업에 적용하고 있는 고내구성 콘크리트와 구조물만을 대상으로 하고 있기 때문에 향후, 이를 범용화 하기 위해서는 콘크리트의 최적 마감시기와 응결시간간의 상호관계, 타설속도와 슬럼프 플로와의 상호관계, 그리고 마감표면의 정량적 평가방법 등에 대한 종합적인 검토가 필요할 것으로 판단된다. □

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 진단 및 유지관리, 기문당, 2003.
2. 유재강, 김영진, 정기성, 임현철, "해양콘크리트의 품질관리방안 및 마감 개선에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표논문집, 제 18권 1호, 2006년 5월, pp.614~617.
3. 박상준, 김영진, 임현철, 장현갑, "부산~거제간 연결도로 사업에 적용한 100년 수명 고내구성 콘크리트", 콘크리트학회지, 제17권 6호, 2005년 11월, pp. 62~71.
4. GK 해상도로주식회사, 부산~거제간 연결도로 민자 투자 사업 실시계획 공사시방서 4단계, GK 해상도로주식회사, 2005, pp. I~44.
5. 日本土木學會, 高流動コンクリートに関する技術の現状と課題, 技術シリーズ, 1997, pp.197~198.
6. CEB-FIP, Duracrete Final Technical Report-Probabilistic Performance based Durability Design of Concrete Structures(Brite-EuRam Programme, project BE 96-3942), The European Union-Brite EuRam III, May 2000, pp.29~35.
7. NT BUILD 492, Concrete, Mortar and Cement-Based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments, Nordtest, 1999, pp.1~8.
8. Øresundsbro Konsortiet Vester SØgade 10, The Øresund Technical Publications, Øresundsbro Konsortiet, May 2001, pp.58~73.

도서소개



콘크리트 구조물 유지관리

저 자 : 이진용, 박윤제 / 출판사 : 구미서관
 발행일 : 2006년 07월 25일
 총쪽수 : 234 쪽 (판형 : B5)
 ISBN : 89-8225-558-3
 정 가 : 15,000원

이 책은 콘크리트 구조물의 노후화로 인해서 장기적인 내구성 저하로 나타나는 열화현상을 중심으로 콘크리트 구조물의 열화현상 및 정도를 파악하는 방법을 구분하였으며, 비파괴 시험 및 파괴시험을 통해서 구조물의 파손정도에 등급을 부여하는 방법을 정리하였다. 또한 현재 국내에서 많이 사용하고 있는 건설신기술을 소개하고 일부 사례를 제시해 현장에 근무하는 실무자들의 지침서로 유용할 것이다.