

# 표면도장재를 적용한 콘크리트의 해양 노출 시험

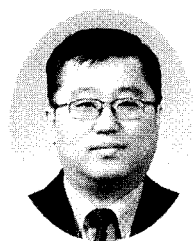
- Field Exposure Test of the Concrete Treated by Protective Surface Coatings in Marine Environment -



정해문\*



유한구\*\*



안태송\*\*\*

## 1. 서론

콘크리트는 거의 반영구적인 재료라고 인식되어져 왔으나, 최근들어 해양 환경, 저설한랭지대, 도심과 같은 열악한 환경속에서 예상보다 빨리 조기열화 되는 현상이 널리 알려지면서 콘크리트 구조물의 구조적 성능뿐만 아니라, 장기적인 내구성에 대한 관심이 높아져 가고 있다. 실제로 여러 선진국에서 염해와 같은 열화환경의 피해를 받은 콘크리트 구조물이 예상공용년수 이전에 철거되거나, 개보수 비용이 초기 건설비용보다 더 많이 드는 예가 적지 않게 보고되면서, 적절한 내구성 유지대책 및 구조물의 장수명화를 위해 많은 연구와 노력이 진행되고 있다.

한국도로공사의 경우, 국내 최대의 교량인 서해대교가 해상환경에 세워져 콘크리트 구조물의 염해대책에 대한 관심이 증대되었다. 서해대교는 국내 최초로 콘크리트 구조물에 대한 내염대책

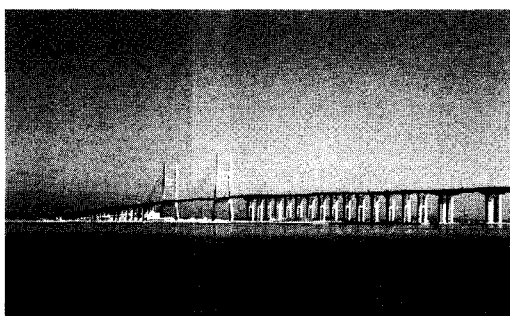


그림 1. 서해대교 전경

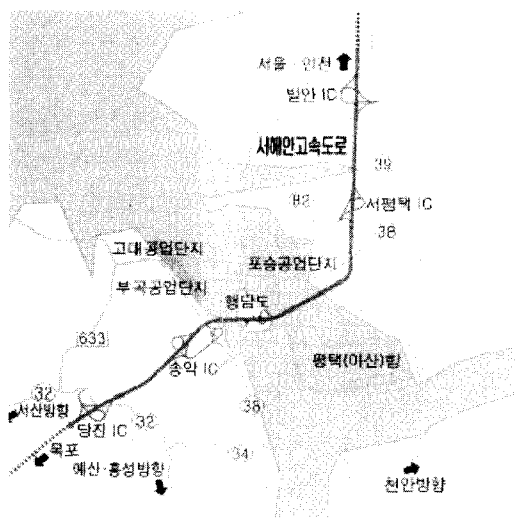


그림 2 서해대교 위치

을 세워 건설되었는데, 재료측면에서 고품질 콘크리트의 시공, 콘크리트 피복두께 증가, 내염 표면도장재로 채택, 에폭시도막철근 사용 등의 내염대책을 선택하여 시공하였다. 한편, 서해대교가 완공 후 유지관리 체제로 넘어가면서 채택한 내염대책의 검증에 위한 장기적인 모니터링이 필요하게 되었다.

실제로 염해에 관한 많은 연구들이 실내에서 단기간의 촉진시험에 의해서 행해져 왔으나, 실내 촉진시험은 실제 해양환경을 정확히 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다. 즉, 염해 환경에서 염분 침투에 의한 철근의 부식은 오랜 시간에 걸쳐 발생하는 현상이므로, 장기적으로 염분 침투 현상 및 철근의 부식특성을 관찰하는 것이 매우 중요하며, 특히 장기적인 옥외 노출시험을 통해 실내 시험과의 상관관계를 확인하여 합리적이고 타당한 내염대책을 수립해야 한다. 선진외국의 경우, 콘크리트의 열화를 일으키는 환경에 콘크리트 시편을 노출시켜 장기적이고 체계적인 추적조사를 통해 과학적이고 합리적인 대책을 강구하고 있으나, 국내에서는 콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관

\* 정희원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원  
 \*\* 정희원, 한국도로공사 대구-포항건설사업소 과장  
 \*\*\* 정희원, 한국도로공사 도로연구소 수석연구원

심이 증대된 것이 얼마 되지 않기 때문에 아직 이와 같은 기초적인 분야에 대한 데이터 축적이 많지 않은 실정이다.

이에 본 연구소에서는 콘크리트 구조물에 대한 내염대책으로 채택되었던, 고품질의 콘크리트 시공, 표면도장재료 시공에 대한 효과를 검증하고, 염해환경 하에서의 합리적인 유리관리 방안을 수립하기 위해, 콘크리트 공시체를 제작하여 서해대교 교각에 2001년 11월에 노출시켰으며, 향후 10년간 장기

간에 걸쳐 추적조사를 행할 예정으로, 본 기사에서 이에 대한 개요를 소개하기로 한다.

## 2. 해양 노출 시험

### 2.1 개요

서해대교는 서해안고속도로에 위치한 교량 총연장 7,310m의 국내 최대의 교량으로(그림 1), 사장교 구간 910m, PSM

교 구간 5,820m, FCM교 구간 500m의 왕복 6차로이며, 경기도 평택시 포승면과 충남 당진군 송악면을 잇는 해상에 건설된 교량이다(그림 2). 자연조건은 조수간만의 차가 9.3m, 최대수심 22m, 유속 2.3m/sec, 최대풍속이 25.7m/sec이다. (그림 3)은 서해대교 교각의 조수 수위 구분을 나타낸 그림으로, 해수환경 조사를 통해 E.L. 6m까지는 간만대, E.L. 6~10m까지는 비포말대, 그 이상은 해상대기부로 구분하였으며, 이 구분에 의해 교각 부위별 각종 내염대책이 세워졌다. 현재 서해대교는 E.L. 6m까지의 간만대 부위는 코팅식 도장재료가, E.L. 6~10m까지는 비포말대 부위는 침투식 방수제가 시공되어 있다.

(표 1)에는 본 해양 노출 시험에 대한 개요를 나타내었다. 서해대교 해상 부위의 교각과 기초판(footing) 부위를 활용하여, 간만대, 비포말대, 해상대기부를 상정하여 콘크리트로 제작한 시험체를 노출시켰으며, 시험체는 도장처리를 하지 않은 기준 공시체를 포함, 8종류의 표면도장재 처리한 시험체를 사용하였다. 노출기간은 10년까지 예정하고 있으며, 각각 1, 3, 5, 10년 경과 후 시험체를 철거하여 실험실적으로 정밀분석할 계획이다.

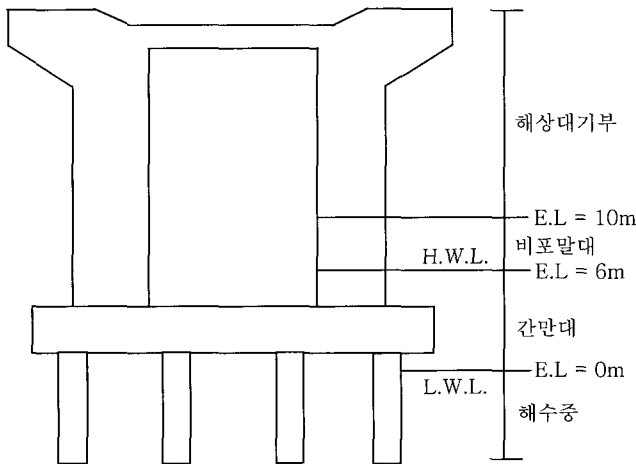


그림 3. 서해대교 해상교각의 조수 수위의 부위별 구분

표 1. 해상 노출 시험 개요

노출 장소	서해대교 교각(pier) 65 ~ 69, 73번의 교각 및 기초판(footing) 활용
노출 부위	서해대교의 조수 수위 모사(간만대, 비포말대, 해상대기부)
콘크리트	240, 350, 450 kgf/cm <sup>2</sup> (1종 시멘트 사용) 및 240 kgf/cm <sup>2</sup> (5종 시멘트 사용) (기존 서해대교 콘크리트 배합과 유사한 배합 선정)
도장재료 처리	무처리, 8종류의 도장재료 처리 (기존 서해대교 도장처리재료를 포함 국내 유통 도장재 선정)
노출 기간	1, 3, 5, 10년
측정	노출기간 경과 후 시편 철수 실험실 정밀 분석
시험 일정	<ul style="list-style-type: none"> <li>거치대 제작 : 2001년 9월 19일 제작 완료</li> <li>거치대 가설 : 2001년 10월 8일 ~ 13일</li> <li>콘크리트 공시체 제작 : 2001년 9월 20일 타설 완료</li> <li>도장재료 도포 : 2001년 10월 22일 ~ 26일</li> <li>시편 거치 : 2001년 10월 29일 ~ 11월 4일</li> <li>초기치 측정 : 2001년 11월 8일 ~ 13일</li> </ul>

표 2 콘크리트 배합

구분	사용 시멘트	G <sub>max</sub> (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	s/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )				타설일
							물	시멘트	잔골재	굵은골재	
450(1종)	1종	19	18	4	35	42	179	511	663	931	2001.9.12
350(1종)	1종	19	18	4	44	46	182	414	774	930	2001.9.12
240(1종)	1종	25	15	4	52	44	186	358	758	988	2001.9.12
240(5종)	5종	25	15	4	52	46	188	320	778	943	2001.9.20

### 2.2 노출 시험 위치

노출시험 공시체는 서해대교 해상구간인 P65번 ~ 69번과 행담도 내에 위치한 P73번 교각에 설치하였다. 73번 교각은 행담도 내에 위치하나, 바다와는 불과 약 10여 미터 떨어진 곳으로 해상대기부를 모사하기 위해 선정하였다. (그림 4)는 서해대교의 노출시험 위치를 나타낸 그림이다.

### 2.3 시험체 제작

#### (1) 콘크리트 공시체

공시체의 크기는 0.15 × 0.15 × 1.2m 와 0.15 × 0.20 × 0.5m의 두가지의 각주형 공시체로 하였고, 공시체 내부에는

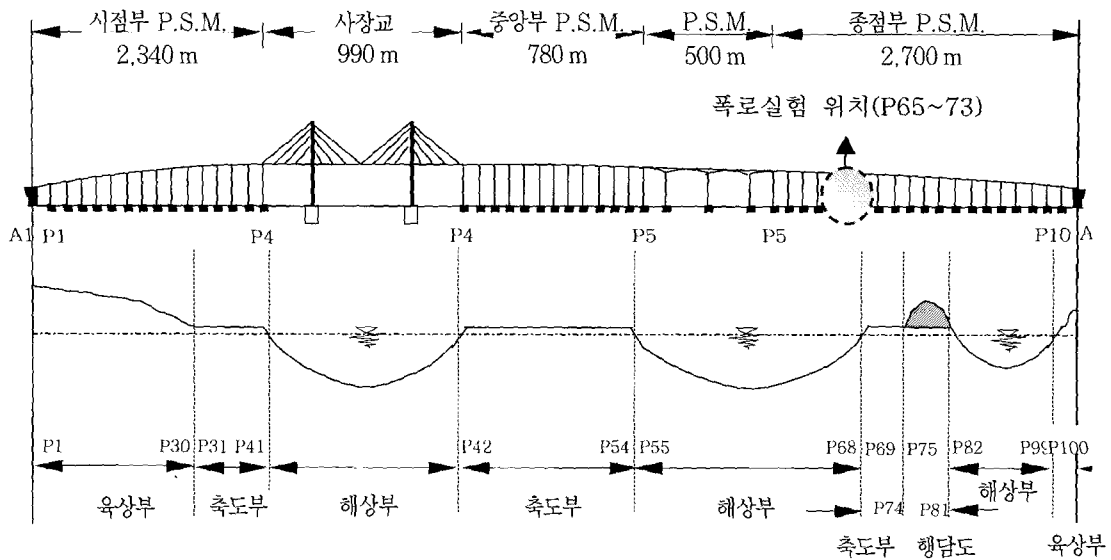


그림 4. 서해대교 육의노출 시험 위치도

장기간의 해양노출 후 철근의 부식 여부를 판단하기 위해 직경 13mm 철근 2본을 순피복이 3cm와 5cm가 되도록 중방향으로 고정시켜 매설시켰다. 0.15 × 0.15 × 1.2m의 공시체는 교각부위에, 0.15 × 0.20 × 0.5m의 공시체는 기초판 부위에 거치하기 위한 공시체이다.

콘크리트의 강도는 실제 서해대교 교각에 사용된  $\sigma_{28} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $350 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $450 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 하였고, 시멘트 종류별 영향을 확인하기 위해 1종인 보통 포틀랜드 시멘트와 5종 내황산염 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 이번 시험에 사용한 콘크리트 배합은 <표 2>에 나타내었다. 콘크리트 타설 후 5일 경과 후에 탈형하여, 재령 28일까지 대기 중에서 양생시켰다. <그림 5>에 콘크리트 공시체를 제작하는 모습을 나타내었다.

(2) 도장처리

도장처리를 하지 않은 기준 시험체(각 시리즈별 2개)와 각각 다른 종류의 표면도장재료 8종의 도장처리를 한 공시체를 제작하였다. 도장처리는 콘크리트 타설방향으로 아랫면을 대상으로 하였다. 도장처리 전에 도장 대상면을 제외한 나머지 5면에 에폭시로 먼저 도포하였고, 그 후 도장대상면에 본 시험에서 정한 도장재료를 도포

하였다. 도장작업은 2001년 10월 22일부터 26일까지 이루어졌는데, 도장재료는 본 연구에서 선정한 8종의 국내 시판 재료로서, 각기 다른 재료성분별로 선택하였으며, 도장설계 및 시공은 제조업자의 추천 사양에 따라 행하였다. 이번 시험에 선정한 도장재료와 도장사양을 <표 3>에 나타내었다. 8종류 중 코팅식 도장재가 6가지

제품, 침투식 도장재가 2가지 제품이었다. <그림 6>에 도장재 시공하는 모습과 도장처리가 완료된 공시체를 나타내었다.

2.4 공시체 거치 작업

(1) 노출 형상

<그림 7>에 해상교각에 설치된 시험체



(a) 콘크리트 타설 광경

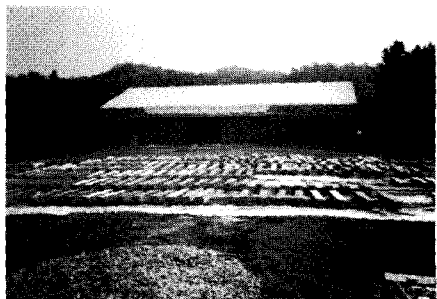


(b) 콘크리트 타설 후 모습

그림 5. 콘크리트 공시체 제작 광경



(a) 도장처리하는 모습



(b) 도장처리 완료된 공시체 모습

그림 6. 도장재 시공

표 3. 본 시험에 사용된 도장재료 및 도장사양

구분	재료 계열	도장사양				도막두께 <sup>주1)</sup> ( $\mu\text{m}$ )
		프라이머	페티	중도	상도	
1	폴리우레탄 (산화알미늄첨가) 서해대교 적용	폴리우레탄	시멘트계	폴리우레탄	폴리우레탄	125
2	아크릴	아크릴, 실레인-실록산	시멘트계	아크릴	아크릴	400
3	아크릴우레탄 (세라믹파우더 첨가)	아크릴우레탄	아크릴우레탄	아크릴우레탄	아크릴우레탄	100
4	아크릴실리콘	에폭시	에폭시	아크릴실리콘	아크릴실리콘	50
5	에폭시	에폭시	에폭시	에폭시	에폭시	250
6	에폭시-불소상도	에폭시	에폭시	에폭시	불소수지	630
7	침투식발수제	-	-	-	-	-
8	침투식발수제	-	-	-	-	4000 <sup>주2)</sup>

※ 주1) 중도와 상도의 도막두께임 주2) 침투깊이

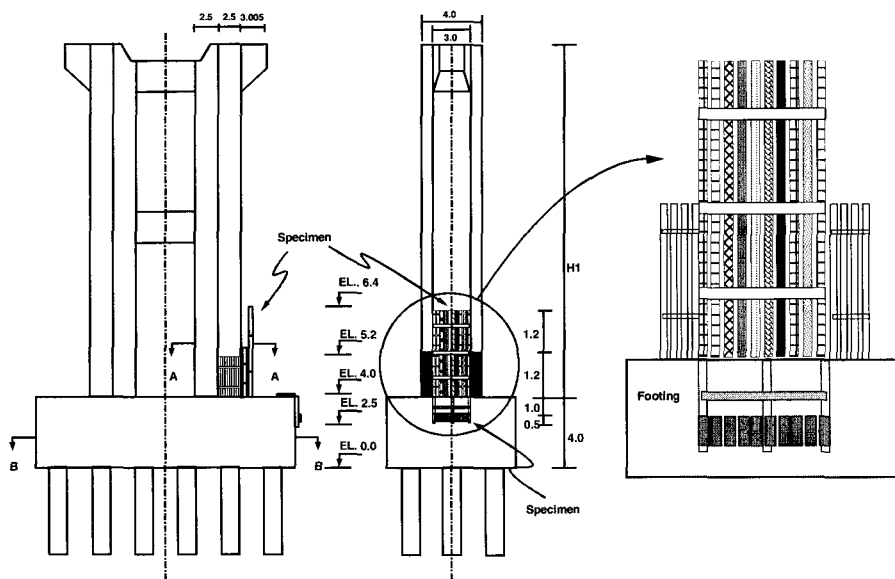


그림 7. 해상교각에 설치한 형상

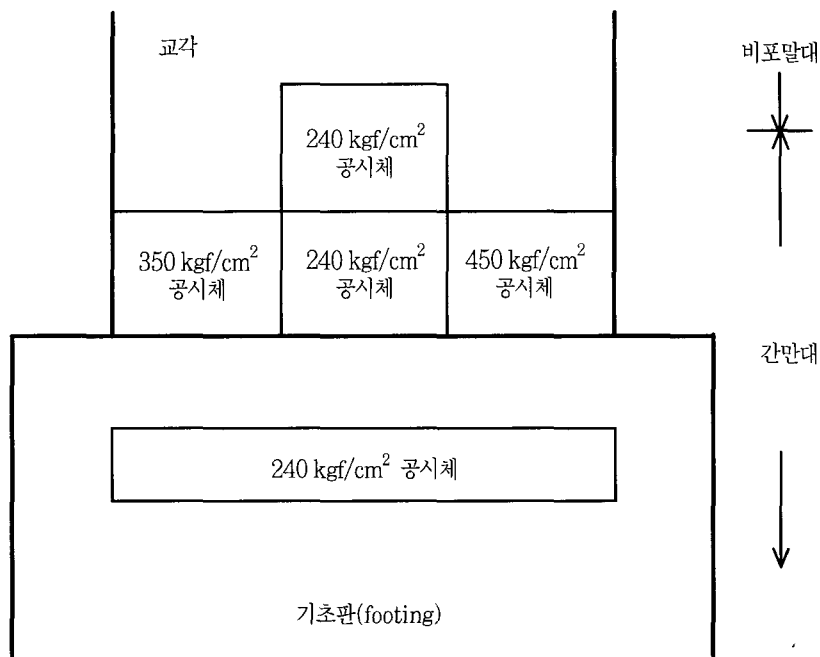


그림 8. 해상교각 부위별 공시체 설치상황

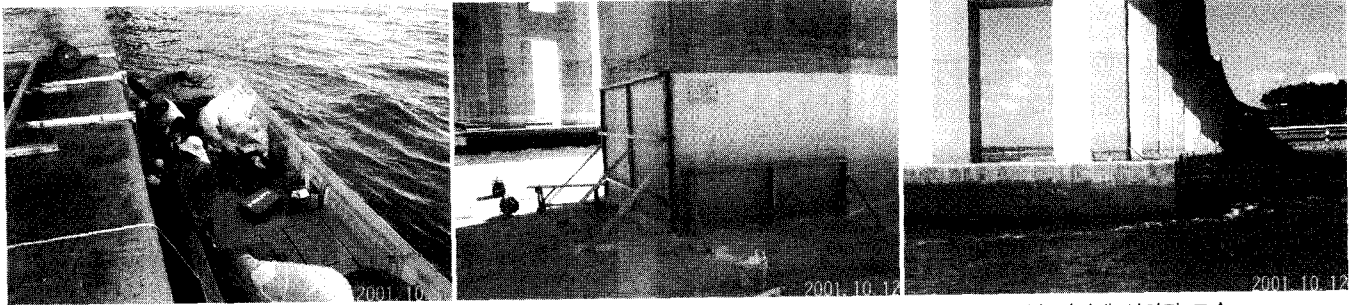
의 노출형상을 나타내었는데, 모든 공시체는 교각과 같은 길이방향으로 설치하였으며, 기초판에 1단, 교각 위에 공시체를 포개어 2단으로 설치하였다. 기초판 부위와 교각의 아래 1단은 모두 간판대, 교각의 2단체는 비포말대에 속한다. 해상교각에서의 해상대기부는 E.L. 10m 이상이므로, 시편 설치가 쉽지 않았으므로, 해당도 내의 육상부이기는 하나, 바다와 바로 접해 있는 P73번 교각에 설치하여 해상대기부로 모사하였다. 서해대교의 경우에는 조수 간만의 차가 커, 간판대에서의 영향이 가장 크리라 예상되므로, 기본적으로 간판대를 중심으로 시험체를 노출시키고자 하였다.

교각별로 설치 시편을 설명하면, <표 4>에 나타난 바와 같이, P65년부터 P68년까지는 각각 노출 후 1, 3, 5, 10년 후 관찰하기 위한 것이고, P69번은 5종 시멘트를 이용한 공시체를 위한 것이며, P73번은 해상대기부를 모사한 것이다. P65년부터 P68년까지는 교각당 50개의 시편이 설치되었는데, 기본적으로 240 kgf/cm<sup>2</sup> 공시체를 노출부위별로 모두 설치하였다. 즉, 간판대 부위인 기초판과 교각 1단, 비포말대 부위인 교각 2단에 각각 10개씩 총 30개를 설치하였다. 그리고 콘크리트 강도별 비교를 위해 간판대 부위인 교각 1단에 350 및 450 kgf/cm<sup>2</sup> 공시체 각각 10개씩 설치하였다. <그림 8>에 교각의 노출부위별 공시체 설치상황을 나타내었다.

한편, 시멘트 종류별 영향을 보기 위한 5종 시멘트로 제조한 공시체를 거치한 P69번의 경우에는 간판대 부위인 교각 1단에 관측 년수별로 40개의 시편을 설치하였다. <표 5>에 각 교각에 설치된 시편의 형상 및 크기에 대한 설명을 나타내었다.

(2) 거치 작업

공시체 거치에 앞서, 공시체를 교각에 고정시킬 스테인레스제 거치대를 미리 제작하여 2001년 10월 8일 ~ 13일에 걸쳐 가설을 완료하였다. <그림 9>는 거치대를 서해대교 교각과 기초판 부위에 가설하는 장면이다.



(a) 기초판 부위 거치대 설치 광경 (b) 교각부의 거치대 설치 광경 (c) 거치대 설치된 모습

그림 9. 시편설치를 위한 스테인레스제 거치대 설치 모습

표 4. 각 교각별 시편설치

교각 번호	설치 시편	시편수 (개)	용도 (관측년수)
65	1종 240 kgf/cm <sup>2</sup> (30개), 350 kgf/cm <sup>2</sup> (10개), 450 kgf/cm <sup>2</sup> (10개)	50	1년
66	1종 240 kgf/cm <sup>2</sup> (30개), 350 kgf/cm <sup>2</sup> (10개), 450 kgf/cm <sup>2</sup> (10개)	50	3년
67	1종 240 kgf/cm <sup>2</sup> (30개), 350 kgf/cm <sup>2</sup> (10개), 450 kgf/cm <sup>2</sup> (10개)	50	5년
68	1종 240 kgf/cm <sup>2</sup> (30개), 350 kgf/cm <sup>2</sup> (10개), 450 kgf/cm <sup>2</sup> (10개)	50	10년
69	5종 240 kgf/cm <sup>2</sup>	40	5종 (1, 3, 5, 10년)
73	1종 240 kgf/cm <sup>2</sup>	40	1, 3, 5, 10년
	계	280	

표 5. 교각에 거치된 시편의 형상 및 크기에 대한 설명

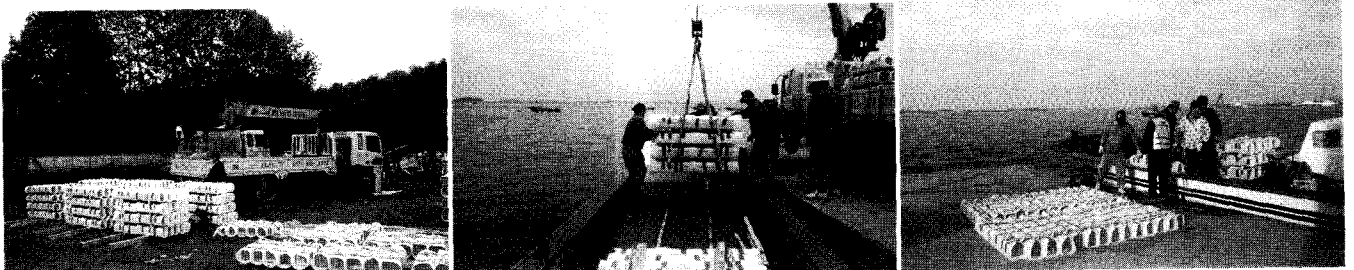
구 분	시편형상 및 크기	수 량	비 고		
P65~68	기초판 부	빔 몰드, 0.15 × 0.20 × 0.5 m	10*	1종, 240 kgf/cm <sup>2</sup>	
	간판대	교각 1단	빔 몰드, 0.15 × 0.15 × 1.2 m	10	1종, 240 kgf/cm <sup>2</sup>
				10	1종, 350 kgf/cm <sup>2</sup> 1종, 450 kgf/cm <sup>2</sup>
	비포말대	교각 2단	빔 몰드, 0.15 × 0.15 × 1.2 m	10	1종, 240 kgf/cm <sup>2</sup>
P69	간판대	교각 1단	빔 몰드, 0.15 × 0.15 × 1.2 m	40	5종, 240 kgf/cm <sup>2</sup>
P73	해상대기부	교각 1단	빔 몰드, 0.15 × 0.15 × 1.2 m	40	1종, 240 kgf/cm <sup>2</sup>

\* 무도장 2개, 도장처리 8개

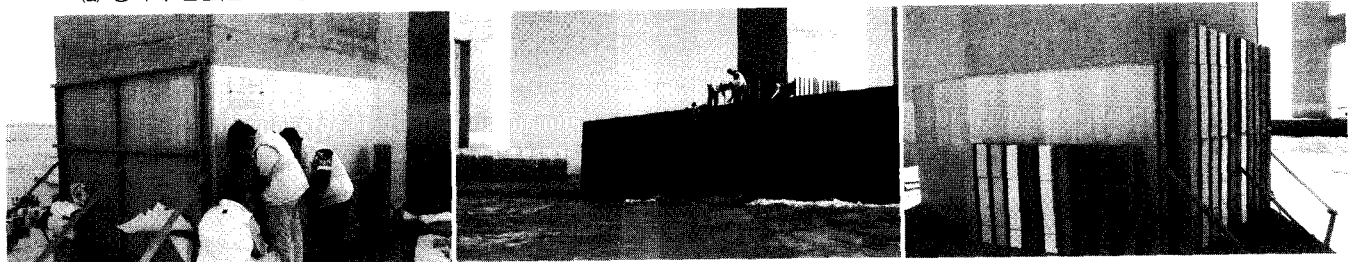
콘크리트 공시체의 설치는 2001년 10월 29일 ~ 11월 4일까지 이루어졌는데, 본 연구소에서 제작한 공시체를 서해대교 인근 충남 당진군 송악면 한진포구까지 운반한 다음, 포구에서 교각까지 배로 옮긴 후, 서해대교 교각에 설치하였다. 공시체의 표면에 도장처리를 행하였으므로, 발포비닐을 이용해 표면을 보호하면서 조심스럽게 운반하여 거치시켰다. <그림 10>은 공시체를 운반하여 교각에 설치하는 모습을 보여주는 것이고, <그림 11>에 공시체가 설치된 전경을 나타내었다.

### 2.5 시험 항목

설치후 향후 10년까지 열화정도를 추적 조사할 예정인데, 염화물 침투정도와, 매



(a) 공시체 운반(연구소 상차작업) (b) 공시체 운반(부두 하차 작업) (c) 교각으로 운반하는 모습



(d) 교각에 설치하는 모습 (e) 기초판에 설치하는 모습 (f) 공시체 설치된 모습

그림 10. 공시체 설치 모습

설한 철근의 부식여부, 중성화진행 여부, 도장재료에 대한 열화정도를 계속 모니터링 할 예정이다. 설치후 1년 경과까지는 매 3개월마다 육안관찰에 의한 열화정도를 조사하고, 1, 3, 5, 10년 경과 후에는 공시체를 회수하여 실험실에서 정밀 조사 분석을 행할 예정이다. 분석할 항목을 <표 6>에 나타내었다.

### 3. 마무리

한국도로공사에서는 서해대교를 비롯한 해상고속도로 교량에 대한 내염대책에 관한 연구, 콘크리트 표면도장재료의 성능평가 및 품질기준 정립을 위한 연구, 내구성을 고려한 콘크리트 구조물의 유지관리 방안에 대한 연구 등 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 일련의 계속적이고 장기적인 연구를 수행 중이며, 여기에는 국내 염해 환경을 비롯한 각종 열화환경에 대한 조사, 분석을 비롯해, 구조물 장수명화 방안, 각종 보수/보강 기술 등에 관한 검토

표 6. 시편에 대한 분석항목

구분	실험 항목	비고
도장재료 성능평가	도막 외관, 색차 변화, 백화, 팽창도, 물투과율, 콘크리트와 부착성	
염분침투량 실험 압축강도 실험	깊이별 염화물량 분석 -	
콘크리트 중성화 실험	1% 페놀프탈레인 용액법에 의한 중성화깊이	
철근부식 실험	자연전위측정, 철근부식상태관찰 부식된 철근의 기계적 성능평가	

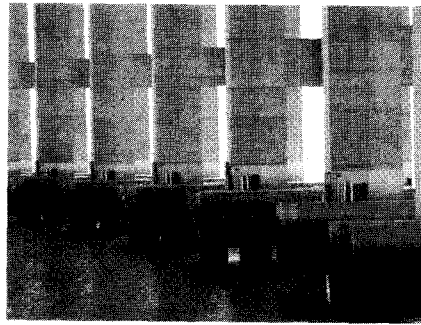


그림 11. 교각에 공시체가 설치된 전경

등이 포함되어 있다.

이와 같은 일련의 연구와 관련해 본 서

해대교 해상육의 노출 시험과 같은 현장시험(field tests)를 통해 신설 콘크리트 구조물을 위한 내구성 대책 및 이미 적용된 대책에 대한 검증, 열화가 우려되는 구조물에 대한 유지관리 방안 수립 등에 유용한 데이터를 확보할 수 있으리라 보여진다. 이러한 데이터 축적을 통해, 단기적으로는 서해대교에서 선정한 내염대책에 대한 검증과 함께, 내염 도장재료에 대한 품질 및 성능 등을 검증할 수 있고, 장기적으로는 해양환경 하에 있는 철근 콘크리트 구조물의 종합적인 내염대책의 수립이 가능하리라 보여진다. □



## 기온과 콘크리트

- 저 자 : 한민철 · 한천구 공저
- 출판일 : 2002년 2월 5일
- 판 형 : A5
- ISBN : 89-7086-435-0

- 출판사 : 도서출판 기문당
- 페이지 : 423쪽
- 정 가 : 15,000원

### ◆ 소개

이 책은 우리나라의 기온 변화와 관련한 기후의 특색을 고찰하고, 국내 실정 및 규정에 적합한 한중 콘크리트, 한랭기 콘크리트 및 서중 콘크리트에 대하여 배합 설계 및 시공품질 관리 등 제반사항을 집중적으로 고찰함으로써 레미콘·건축·토목공사의 품질관리 담당자들에게 기온에 대응하는 콘크리트의 제반 기술을 정리하여 참고자료로 이용할 수 있도록 하였다.