

# 일제시대 건설된 해양 콘크리트구조물의 물성 평가(영도대교)

박동천\* · † 안재철

\* 한국해양대학교 해양공간건축학과 부교수, † 동아대학교 건축공학과 연구원

## The Property Evaluation of the Marine Concrete Structure Constructed in the Period of Japanese Occupancy (YoungDo Bridge)

Dong-Cheon. Park\* · † Jae-Cheol Ahn

\* Division of Architecture and Ocean Space, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

† The Department of Architectural Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

**요 약** : 영도대교는 부산 최초의 연륙교로서 1934년 준공된 이후, 수차례의 보수보강 공사를 거쳤으며 2011년 이후 현재까지 확장 복원을 위하여 철거공사를 실시하고 있다. 본 조사연구의 목적은 영도대교 건설 당시의 교량 기술 및 재료적 특성 분석 함으로써 근대 구조에 사용된 콘크리트의 당시 재료적 특성을 파악하고 근대 교량문화유산의 보존 및 활용을 위한 기초적 자료를 구축하는 데 있다. 일련의 실험을 통하여 콘크리트 구성재료는 시멘트 : 세골재 : 굵은골재 비율이 부위에 따라 1 : 2 : 4 또는 1 : 3 : 6 인 것으로 밝혀졌고, 압축강도는 50~55MPa, 탄성계수는 25~35GPa의 범위로 나타났다. 역학적 물성의 편차가 10%이하인 점을 미뤄봐서 당시의 품질관리가 비교적 우수했던 것을 알 수 있었다. 중성화 깊이는 높은 상대습도로 상당히 낮은 값을 나타내었고, 염소이온 확산계수는  $1.052e-12(m^2/s)$ 로서 현대 콘크리트와 비교하면 물시멘트비 35%에 상응하는 것으로 밝혀졌다.

**핵심용어** : 영도대교, 배합성분 분석, 압축강도, 탄산화시험, 염소이온 확산계수

**Abstract** : YoungDo bridge is the first suspension bridge in Busan which experienced several times repair and reinforcement after completion in 1934. The bridge is under demolition for extension and restoration work since 2011. The purpose of this research is to establish data base about modern concrete. The mix design of the concrete is like that cement : fine aggregate : coarse aggregate = 1 : 2 : 4 or 1 : 3 : 6 by the parts. The compressive strength is in the ranges from 50 to 55 MPa and the elastic modulus is in the ranges from 25 to 35 GPa. From the fact that the deviation is less than 10 %, considerably high quality control was conducted in those days. The carbonation depth is 5.92 cm at the bridge post and 14.3 cm at the machine room. That is why ocean environment keeps the high humidity. The diffusion coefficient of chloride ion through the pores in concrete is  $1.052e-12 m^2/s$  from the regression analysis using the experiment data. The water cement ration is estimated at approximately 35 % in case if the concrete using ordinary Portland cement.

**Key words** : Youngdo bridge, mix design analysis, compressive strength, carbonation test, chloride ion diffusion coefficient

### 1. 서론

부산광역시 중구 중앙동에서 영도구 대평동을 잇는 부산 최초의 연륙교(連陸橋)인 영도대교(舊영도다리)는 일제 강점기 일제의 대륙 침략을 위한 보급 및 수송로 구축의 일환으로 건설되었으며, 한국전쟁을 거쳐 피난민의 이산과 실향의 역사와 애환이 서린 공간으로서 문화유산의 가치를 가진다.

1934년 11월 23일 준공된 이후, 1935년에는 다리 위에 전차궤도(電車軌道)를 설치하여 전차를 운행하기도 하였으며, 1분 30초~4분에 걸쳐 다리의 한쪽을 들어 올려 선박을 지나가게 하는 광경을 하루 6회씩 연출하며 부산의 명물이 되었다. 그러나 1966년 9월 영도구의 인구증가에 따른 교통량의 증가로 도개를 중단하고 전차궤도도 철거되었다.

이러한 영도대교는 지난 70여년간 사용된 후 유지관리 비용의 증대 및 기능성(교통)과 안전성의 문제로 2011년 4월 현재 교각부를 제외한 대부분의 구조체가 철거되고, 확장 복원 공사가 진행 중이다.

본 연구에서는 동양 최초, 국내 유일의 단엽식(單葉式, 一葉式) 도개교(跳開橋)로서 근대 기술사적 가치가 있는 영도대교를 철거 및 복원함에 있어, 당시 사용된 재료 및 구조적 특성을 파악하여 기록화 자료로 남기는데 목적이 있다. 이러한 연구는 향후 문화유산의 보존과 재생이라는 새로운 해법을 찾아가는 자료로서 활용하는데 그 목적을 두고 있다.

\* 정희원, dcpark@hhu.ac.kr 051)410-4587

† 교신저자 : 정희원, jcan222@nate.com 051)201-2778

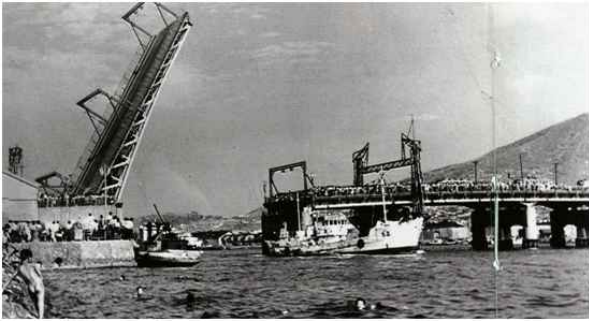


Fig. 1 YoungDon bascule bridge(Kim, 2008)

Table 1 YoungDo bridge data

Structure type	Steel truss structure (bascule bridge)
Length	Length : 214.63m, width : 18m
Space	3,948.2m <sup>2</sup> (bascule bridge:1,044.4m <sup>2</sup> , fixation bridge:2,903.8m <sup>2</sup> )
Bascule bridge	Length : 31.3m, width : 18.0m
Fixation bridge	Length : 153.0m, width : 18.0m
Bascule open angle	80°
Bridge post structure	Round sheet pile, Reinforced Concrete structure

본 조사 연구의 목적 및 범위는 다음과 같다.

- 영도대교 당시 건축재료 제조기술을 기술사적 측면에서 고찰함으로써, 국내에 존재하는 근대 구조물의 당시 재료적 특성에 관한 분석
- 80년 가까이 경과된 콘크리트 구조물의 열화 및 노후화의 물리, 화학적 원인 분석을 통해, 대한민국 문화유산의 보존 및 후세대 계승을 위한 과학적 자료 제시
- 실제 영도대교에서 채취한 재료를 대상으로 물리, 화학적 시험을 수행함으로써, 대한민국 문화유산의 재료적 특성의 기록화
- 상기 문헌 조사 및 과학적 분석 자료를 토대로 근대 교량문화유산의 보존 및 활용을 위한 기초적 자료로서 활용

## 2. 영도대교의 제원 및 보수보강 이력

영도대교의 제원 및 주요 보수보강 내용을 나타내면 Table 1과 Table 2와 같다. 영도대교는 교각부와 교량슬래브, 그리고 기계실 등의 부속시설에 철근콘크리트 구조가 적용되었으며, 1997년대에 들어 상부 슬래브 부분의 콘크리트 보수 및 재타설이 수차례 이루어졌다.

Table 2 Major repair and reinforcement

time	Major repair and reinforcement
1934	Construction completion
1964	Bascule slab change
1970	Concrete bascule slab change to steel
1993, 1995	Emergency repair of slab
1994	Truss reinforcement
1996	crack repair of slab using epoxy and steel plate reinforcement (S2,S5)
1997	S1~S8 : slab (G3~G4) steel plate reinforcement, concrete cast S6~S8: slab (G1~G2) steel plate reinforcement, concrete cast S1,S3,S4: slab (G1~G2) steel plate reinforcement

## 3. 콘크리트의 재료적 특성분석

### 3.1 콘크리트 시료의 채취

영도대교에 사용된 콘크리트의 물성을 평가하기 위하여 시료를 채취한 위치는 Fig. 2, Fig. 3과 같다. 시료를 채취한 부위의 기호도 동시에 나타내었다.

교각과 기계실은 1934년 건설 당시의 강자갈 콘크리트이며, 바닥판 콘크리트의 경우, 차도부분의 상판 슬래브는 모두 1997년에서 1998년에 이루어진 강판보강으로 재타설된 쇠석 골재 콘크리트이다.

### 3.2 실험 및 분석방법

#### 1) 코어의 파괴시험법을 통한 강도 평가

콘크리트 코어시료의 채취는 KSF2422(ASTM C 42, JIS A 1107)의 「콘크리트에서 절취한 코어 및 보의 강도시험방법」에 의하면 코어시료의 직경은 일반적으로 굵은골재 최대치수(Gmax)의 3배 이상, 어떤 경우라도 2배 이상으로 하여야 하며, 시료의 높이는 직경의 2배가 되도록 채취하여야 한다 라고 규정되어 있다.

코어채취시 철근탐지기를 이용하여 철근의 위치를 확인한 후 철근이 위치하지 않다고 판정되는 위치를 중심으로 코어를 채취하였다. KCI에 의하면 드릴링 속도와 방향 등에 의하여 코어 공시체의 강도가 저하하므로(KCI, 2001) 코어의 3개 평균강도가 공칭강도의 85 % 이상이고, 그 중 75 % 이하인 강도가 없을 경우 그 콘크리트는 적합한 것으로 간주하였다.

콘크리트의 압축강도는 KS L 2405 「콘크리트의 압축강도시험방법」에 따랐으며, 시료채취와 절단의 과정에서 생기는 시험체의 높이와 직경비에 따라 Table 3에 나타난 바와 같이 KS F 2422에 준하여 보정하였다.

압축강도 및 탄성계수 측정을 위한 코어 시험체 사진을

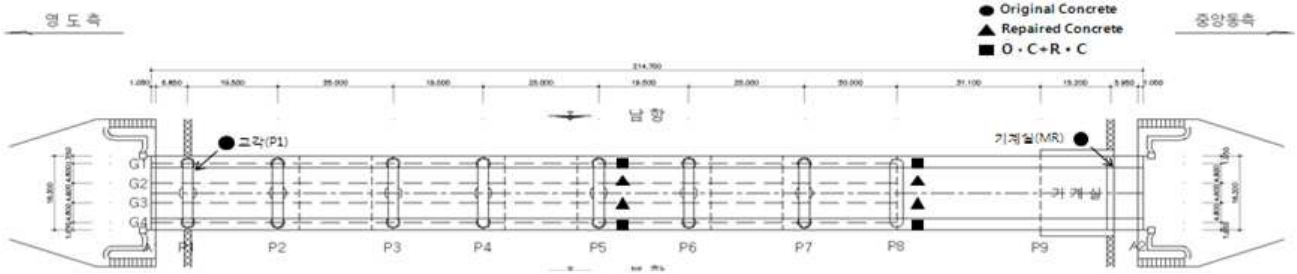


Fig. 2 Concrete specimens coring position (floor plan)

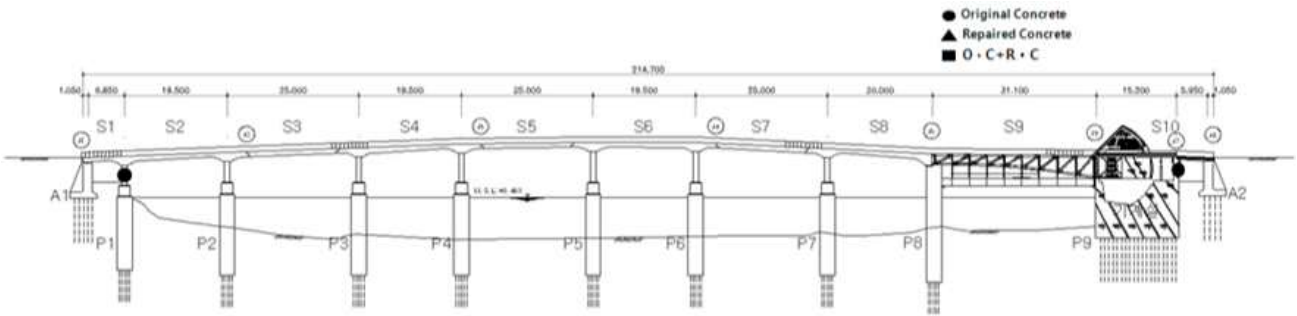


Fig. 3 Concrete specimens coring position (elevation)

Table 3 Modification factor for compressive strength according to specimens length (KS F 2422)

Height/diameter ratio(h/d)	Modification factor	note
2.00	1.00	Linear interpolation
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.89	

Fig. 4에 나타내었다.

2) 콘크리트 배합비 분석

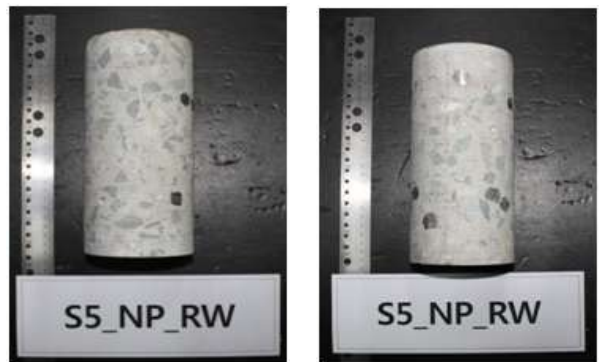
경화된 콘크리트의 배합비 분석을 위하여 KS F 2416 「경화된 콘크리트의 시멘트 함유량 시험방법」에 준하여 시멘트 및 잔골재와 굵은골재 배합비를 산출하였다. 시멘트와 골재의 함유량은 염산용액에 의한 분리법으로 정량화 하였다.

물시멘트비의 경우, 콘크리트 물성에 가장 큰 영향을 미치는 인자이나, 당시 물시멘트비에 대한 규정이 전무하여 콘크리트 타설시마다 상이할 경우 추정오차가 클 것으로 판단되며, 현재 사용되고 있는 일본 시멘트협회법의 예측방법도 오차가 큰 것으로 나타나 본 연구에서는 논외로 하였다.

3) 콘크리트 구조물의 내구성 평가

① 탄산화 깊이 평가

채취된 콘크리트 시험체는 표면을 충분히 물로 씻고, 천 등으로 표건상태 정도까지 닦은 후, 비닐봉투로 밀봉 저장하였



S5\_NP\_RW S5\_NP\_RW  
Fig. 4 Core specimen for compressive test

다. 코어 공시체는 KS F 2423 「콘크리트 인장강도 시험방법」에 준하여 할렬하고 중성화는 할렬면을 측정대상 쪽으로 하였다. 이때 코어채취면을 대상으로 하여 중성화(탄산화)를 측정하는 것은 코어 비트의 마찰에 의한 조성변화, 커팅시의 수분에 의한 영향 등이 문제시될 수 있으므로 피하였다.

중성화 깊이를 측정하기 위하여 사용하는 시약은 페놀프탈레인 1% 용액을 사용하였다.

② 염소이온 확산특성 평가

콘크리트 속 염화물 분석은 KS F 2713에 준하여 실시하였다. 추출된 염화물은 산 가용성 염화물로서 전 염화물에 해당된다. 염화물 이온의 정량적 산출은 전위차 적정법 이용하였다. 식(1)은 깊이별 염화물이온량과 경과된 시간을 이용하여 확산계수 산출에 사용된 식이다.

$$Cl = (C_0 - C_{init}) \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t}} \right) \right\} + C_{init} \quad (1)$$

여기서  $Cl$ : 철근위차에서 염화물이온량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_0$ : 콘크리트 표면의 염화물 이온량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_{init}$ : 콘크리트 속의 초기 염화물 이온량 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\operatorname{erf}$ : 오차함수

$x$ : 철근위차의 콘크리트 표면에서의 깊이 (cm)

$D$ : 콘크리트 재료, 배합, 시공상태 및 함수상태에 따라 정해지는 콘크리트의 염화물 이온 확산계수 ( $\text{mm}^2/\text{년}$ )

$t$ : 재령 (년)

#### 4) 시멘트 화학성분 추정을 위한 X선 회절 분석

X선 회절 분석은 동( $\text{Cu}$ ) $\alpha$ 를 사용하고, 관전압 40kV, 관전류 20 mA, scanning속도 6 °/min, scanning각도(2 $\theta$ )를 5°에서 40°까지 조사하였다. 이 결과를 바탕으로 ASTM의 JCPDS 카드와 비교, 분석하였다.

### 4. 콘크리트 재료적 특성 분석결과

#### 4.1 콘크리트의 배합비

콘크리트는 각종 재료를 일정 혼입율에 따라 혼합하여 제조

되는 재료이다. 이러한 재료의 혼입율을 배합이라 하며, 배합을 결정하지 않고서는 콘크리트를 만들 수 없으므로, 콘크리트의 배합에 대한 생각은 콘크리트가 처음 만들어질 때부터 시작되어졌을 것이다.

1918년 아브람스(Duff A. Abrams)의 "Design of Concrete Mixes"에 의해(KCI, 2002) 물시멘트비 이론이 정립되어 설계 기준강도에 준한 성능설계가 이루어지기 이전의 일제강점기 일본과 한국의 콘크리트는 건축용으로 시멘트, 잔골재, 굵은골재의 비율을 1:2:4, 토목용으로 1:3:6의 경험적으로 정해진 배합이 주로 사용되었다(Han, 2011). 단위시멘트량이 높은 1:2:4 배합의 콘크리트가 높은 강도를 발현하게 되나, 이러한 경험적인 배합은 콘크리트의 강도와와의 관계가 명확하지 않으므로 얻어진 콘크리트의 강도는 당연히 불안정하였다.

당시의 도면 기록에 의하면 Fig. 5과 같이 영도대교의 경우, 기계실 벽체와 높은 재료분리 저항성을 필요로 하는 기계실 기초하부~해저면의 수중콘크리트에는 1:2:4 배합의 콘크리트가 사용되어졌으며, 옹벽과 기계실 기초콘크리트는 1:3:6 배합의 콘크리트가 사용되어졌다. 또한, 석축부 뒷채움재 콘크리트는 1:3:6의 콘크리트가 사용되었다. 이는, 1929년에 일본건축학회의 "철근콘크리트 표준시방서" 및 1931년에 토목학회의 "철근콘크리트 표준시방서"에서 소요강도에 의한 배합설계 규정이 제정되고 있었으나(Kaga, 1983), 설계가 완성되고 시공회사가 선정된 1931년 12월 이전에는 아직 용적비에 의한 배합이 이루어졌음을 알 수 있다.

Table 4는 콘크리트 배합비 분석 결과이다. 영도대교 기계실의 콘크리트(MR)의 실제 배합비 분석 결과 1:2.71:5.21로 나타났다. 이는 채취된 시료가 기계실벽체의 하부였기 때문에

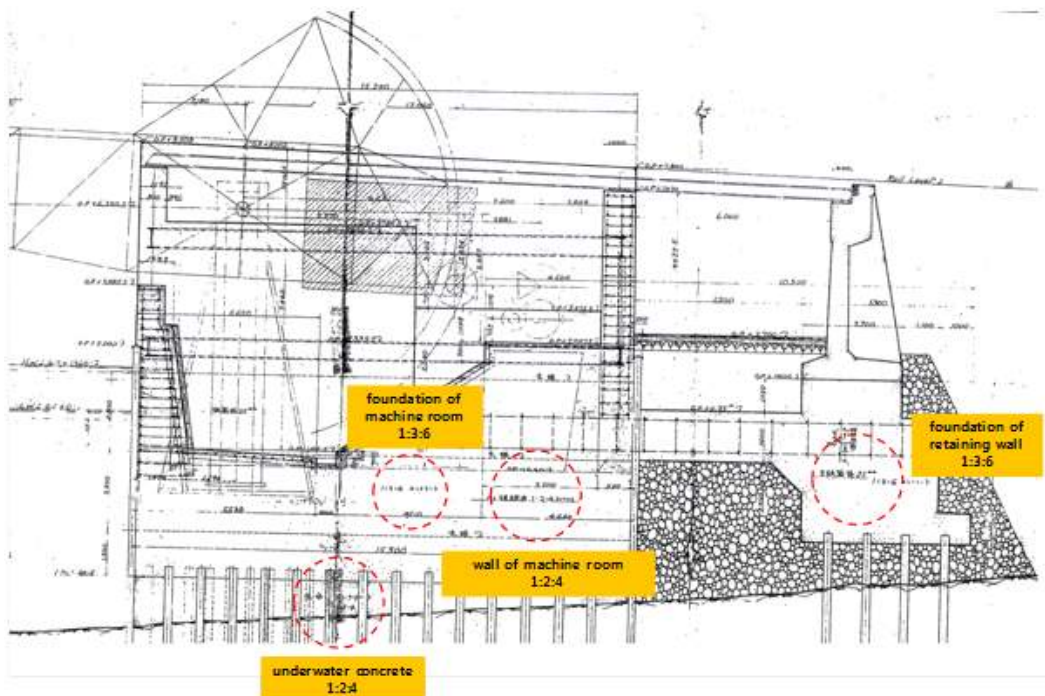


Fig. 5 Concrete mix design of bridge machine room

Table 4 Concrete mix design

Sym bol	Concrete unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	ce ment	Fine aggre gate	Coarse aggre gate	Maximum size of Coarse aggregate (mm)
MR	2,462	1	2.71	5.21	40
S1	2,416	1	2.49	6.5	20
S2	2,479	1	2.28	6.62	20

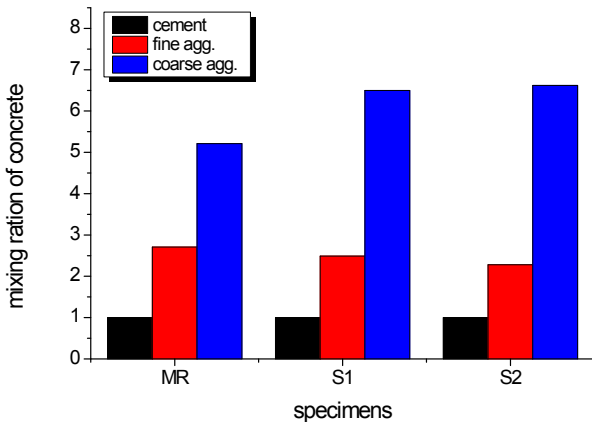


Fig. 6 Analysis result of concrete mix design

골재에 따른 재료분리로 인하여 시멘트 페이스트에 비하여 골재량이 다소 높았던 것으로 판단되며, 이를 감안하더라도 당시 품질관리가 비교적 우수했음을 알 수 있다. 또한 영도대교 슬래브의 콘크리트(S1, S2)에서도 굵은골재의 비율이 다소 높게 측정되었다. 비교적 재료분리 없이 고른 배합비가 나오는 것으로 미뤄봐서 상당히 우수한 현장 품질관리가 이루어졌음을 알 수 있었다.

#### 4.2 영도대교 콘크리트의 강도 특성

Fig. 7과 같이 영도대교 건설시 사용되었던 원콘크리트 P1(교각)과 MR(기계실), SW(슬래브 보도부)는 모두 압축강도 50~55 MPa의 범위로 하중조건 및 부위가 상이함에도 불구하고 10 %내에서 균일한 강도를 나타내었다. 그러나 1:2:4의 배합을 사용하였을 것으로 판단되는 기계실의 경우가 다소 높게 나타났다.

이는 당시 체적비에 의한 배합에 의존하였으며 물시멘트비 이론이 적용되기 이전이기 때문에 배합의 성능설계가 불가능하였으며, 구조체 종류에 관계없이 일정 강도기준 이상의 콘크리트를 동일하게 사용하였기 때문으로 분석된다. 그러나 80여년이 경과한 현재에 있어서도 고강도콘크리트 영역의 높은 강도를 발현한 점을 고려할 때 당시 현장배합 콘크리트의 품질이 우수하였음을 알 수 있다. 그 결과 1997~1998년에 이루어진 슬래브 보강 콘크리트(RW)와도 유사한 강도를 나타낸

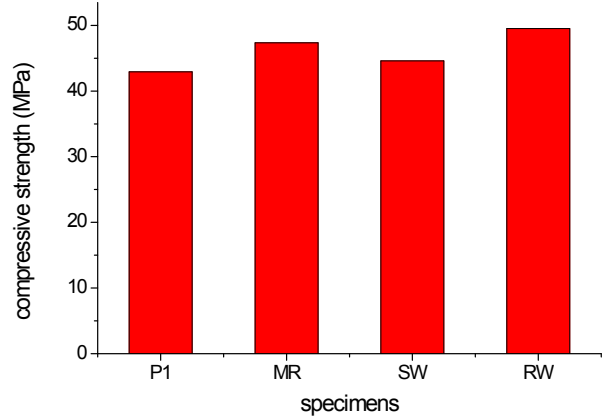


Fig. 7 Compressive strength

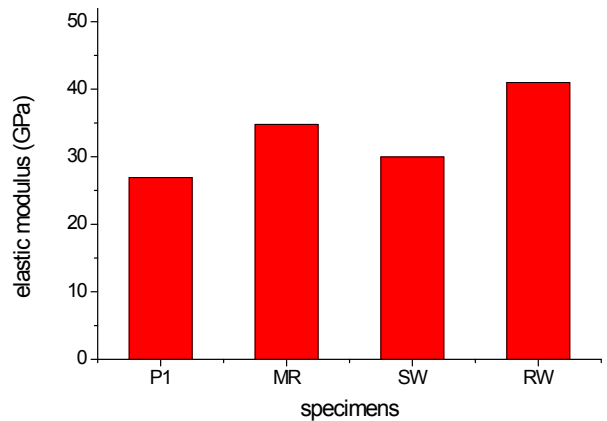


Fig. 8 Elastic modulus

다. 또한 당시 낮은 소성온도로 인한 C<sub>2</sub>S(벨라이트) 성분으로 인하여 장기강도가 높게 발현되었던 것도 높은 압축강도의 이유 중 하나로 분석된다(Han, 2011). 또 소요 품질을 확보하기 위하여 된비빔 상태의 콘크리트를 달고 등으로 두들겨(타설) 밀실한 구조체로 완성시켰으며, 시공 후 풀이나 가마니 등으로 덮어 물을 뿌려주는 전통기법 또한 높은 압축강도 발현에 크게 기여한 것으로 생각된다.

탄성계수는 보강콘크리트인 RW에서 약 40 GPa로 가장 높게 나왔으며, 원콘크리트에서는 25~35 GPa로 다소 낮게 측정되었다. 원콘크리트에서는 압축강도 실험결과와 같이, 1:2:4의 배합을 사용하였을 것으로 판단되는 기계실의 경우가 다소 높게 나타났다.

#### 4.3 영도대교 콘크리트의 내구성

콘크리트의 내구성이란 동해, 중성화, 알칼리골재반응, 염해, 화학적 침식 등과 같이 자연조건하의 환경에 대한 저항성으로 콘크리트가 얼마나 오랫동안 견딜 수 있는가 하는 것이다. 즉, 환경문제의 변화조건을 옛날이나 지금이나 동일하다고 가정하면 내구성은 콘크리트 조직의 문제가 되는데, 그렇게 되면 제일 중요한 것은 우선 모세관 공극의 크기로서 시멘트의 품

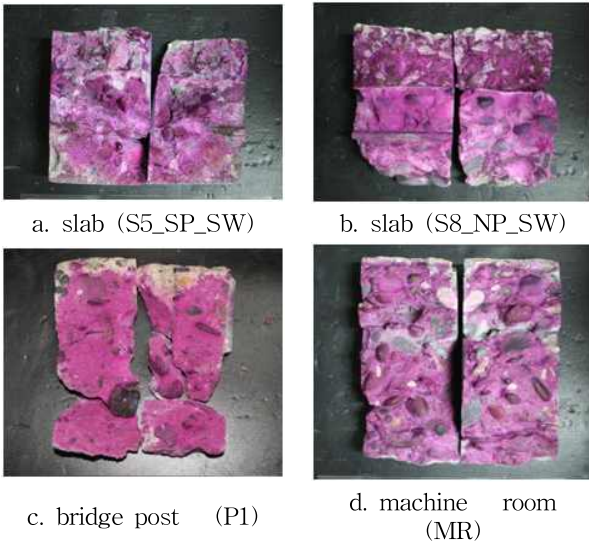


Fig. 9 Concrete carbonation

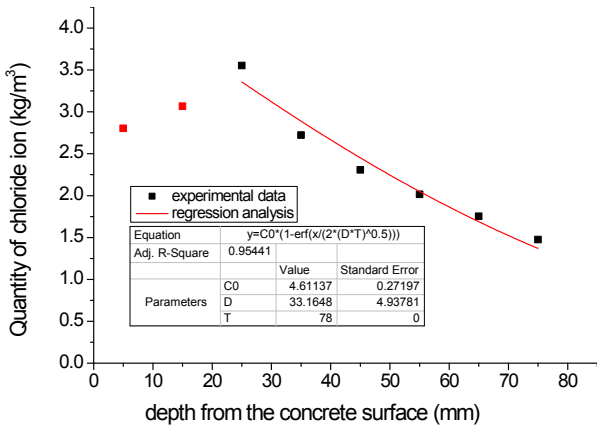


Fig. 10 Regression analysis for chloride ion diffusion coefficient using the experimental data

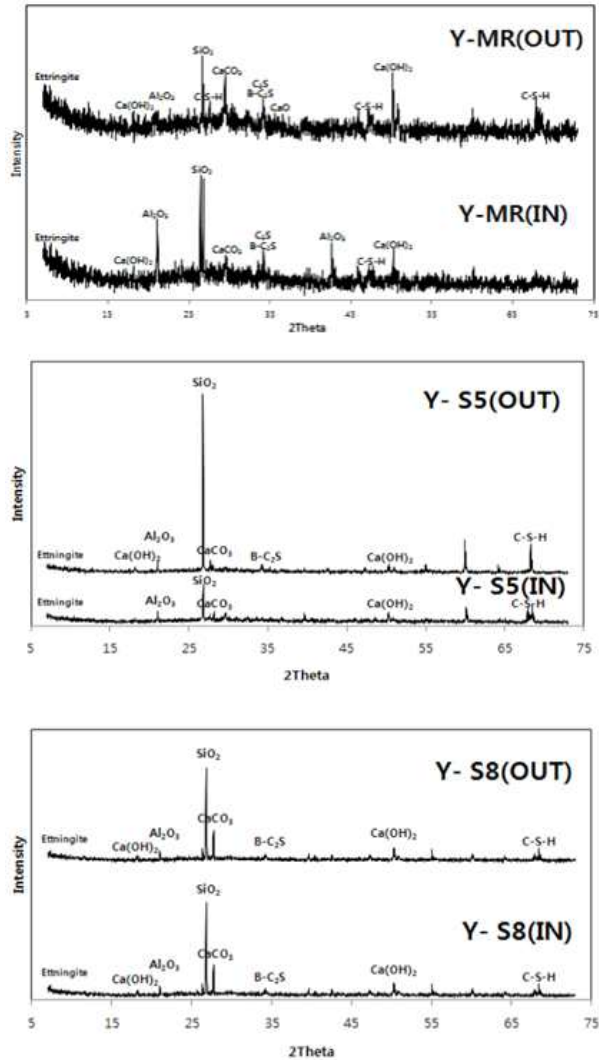


Fig. 11 XRD analysis result of concrete

질 등을 생각하게 된다.

1) 콘크리트 중성화

Fig. 9은 영도대교 콘크리트의 중성화 측정 결과를 나타낸 것이다. 영도대교의 슬래브측 중성화 깊이는 상부의 아스팔트 층으로 인하여 거의 중성화가 진행되지 않은 것으로 나타났다. 그리고 교각부는 5.92 cm, 기계실은 14.3 cm의 중성화가 진행된 것으로 나타났다. 일반적으로 콘크리트의 중성화가 10년에 약 1 cm 진행되는 것과 비교해 볼 때, 약 80년이 경과했음에도 불구하고 중성화 진행속도가 느린 것을 알 수 있다. 이는 해양환경에서 비교적 상대습도가 높아 이산화탄소 확산계수가 현저히 낮아 나타난 결과라 사료된다.

2) 염소이온 확산특성 평가

Fig. 10은 교각에서 채취한 콘크리트 시험체의 깊이별 염소

이온 농도와 그 데이터를 기준으로 회귀분석하여 확산계수를 도출한 결과를 동시에 나타내었다. 콘크리트의 재령을 78년으로 하였다. 표면부로부터 처음 두개의 낮은 값을 나타내는 데이터는 외부환경, 특히 강우에 의해 유실된 값으로 간주하고 회귀분석에서 제외하였다. 영도대교에 사용된 콘크리트의 확산계수는 33.165 mm<sup>2</sup>/year로 나타났다. 단위를 변경하면 1.052e-12 m<sup>2</sup>/s으로서 이 값은 식(2)에 근거하여 현대의 보통 포틀랜드 시멘트 예측값으로 환산할 경우 W/C = 35 %(염소이온 확산계수 1.10521e-12 m<sup>2</sup>/s)에 상응하는 것으로 추정된다. 식(2)는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트의 확산계수와 물시멘트비의 상관관계를 나타낸 것이다(AIJ, 2004).

$$\log D = -3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5 \quad (2)$$

여기서  $D$  : 콘크리트 염소이온 확산계수(cm<sup>2</sup>/y),

$W/C$  : 물시멘트비

#### 4.4 시멘트 화학성분 분석

Fig. 11은 당시 영도대교 콘크리트 미분말의 XRD분석 결과를 나타낸 것이다.

기계실(MR)의 경우, 내부(MR(IN))에서는 시멘트 수화물인 강한 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>) 피크와 함께 비정질인 C-S-H가 약한 피크를 이루고 있으며, 골재 성분인 SiO<sub>2</sub> 피크가 강한 것을 알 수 있다. 또한, 미수화 시멘트 및 유리석회(free-CaO)로 인한 C<sub>3</sub>S와 C<sub>2</sub>S와 같은 시멘트 구성 화합물 및 CaO 피크가 다수 발견되었다. 이에 비하여 콘크리트 표면부(MR(OUT))에서는 중성화로 인하여 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>) 피크가 점차 감소하면서 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>) 피크가 강하게 나타나는 것을 알 수 있다. 78년이 경과한 콘크리트 내부에서도 미수화시멘트 성분이 관찰되는 것을 알 수 있었으며 이러한 현상은 슬래브 부 콘크리트(S5, S8)에서도 유사한 경향을 나타내었다.

### 5. 결 론

부산광역시에 소재하는 영도대교는 부산 최초의 연륙교로서 1934년에 준공되었으나 수차례의 보수보강을 받았고 2011년부터는 확장 복원공사가 진행 중이다. 이에 본 조사연구에서는 근대 콘크리트 구조물의 재료적 특성을 기록화하여 향후 문화유산의 재건의 기초자료로 활용하는데 목적을 두었다. 본 연구의 결과는 아래와 같다.

1. 콘크리트 배합비는 교량의 부위에 따라 1:2:4~1:3:6의 배합이었으며, 아브람스의 물시멘트비 배합이론의 이전이라 경험적 중량배합이 이뤄졌던 것으로 밝혀졌다. 배합의 품질관리는 상당히 높은 수준으로 이뤄졌던 것으로 평가된다.
2. 압축강도는 50~55 MPa, 탄성계수는 25~35 GPa의 범위였다.
3. 해안의 높은 상대습도 특성상 탄산화 깊이는 내륙의 경우보다 상당히 얇았으며, 염소이온 확산계수는 1.052e-12 m<sup>2</sup>/s의 값을 나타내었다.
4. XRD분석결과 C<sub>3</sub>S와 C<sub>2</sub>S 및 CaO피크가 다수 발견되는 것으로 미뤄봐 78년이 지난 현재에도 미수화 시멘트 성분이 존재하는 것으로 사료되었다.

### 후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.

(No.NRF-2011-0014286)

### 참 고 문 헌

- [1] AIJ(Architectural Institute of Japan)(2004), Recommendation for Durability Design and Construction Practice of Reinforced Concrete, pp. 75-76.
- [2] Han C. G.(2011), "Concrete bridge built in Japanese colonial era is ...", Magazine of the Korea Concrete Institute, Vol. 3, No. 2, pp. 10-11.
- [3] Kaga H.(1983), "Historical discussion about quality control of concrete", Journal of Japan Concrete Institute, Vol. 21, No. 7-1, pp. 12-19.
- [4] KCI (Korea Concrete Institute) (2001), "The non-destructive testing methods and safety diagnosis for concrete structures", Korea Concrete Institute, pp. 205-207.
- [5] KCI(Korea Concrete Institute)(2002), Korea Concrete-Changes and direction of technology development in concrete material, Ki Moon Dang, pp. 10-11.
- [6] Kim K. S.(2008), A results report on field measurement survey at Youngdo-Bridge, Dong-A University Research Foundation for Industry-Academy Cooperation, p. 34.

원고접수일 : 2013년 02월 27일

심사완료일 : 2013년 04월 13일

원고채택일 : 2013년 04월 16일