

공용중인 교량 바닥판의 내구성에 공극특성이 미치는 영향

Case Study on the Void Characteristics of Concrete Bridge Decks on the Expressway

서진원* 이지영** 김홍삼*** 이병주**** 신도철*****
Suh, Jin Won Rhee, Ji Young Kim, Hong Sam Lee, Byeong Ju Shin, Do Chul

ABSTRACT

Concrete bridge decks, as well as asphalt pavement, are directly exposed to traffic loads and environmental conditions like rain water and deicing chemicals. In this reason, there are often observed the deteriorations of asphalt overlay and of concrete deck under pavement. In this reason, it is important to identify the clear cause of concrete quality from a practical point of view.

Therefore, in this paper it was initiated to ultimately suggest a protocol offering guidance as to assurance the quality control of concrete bridge deck on the part of void characteristics of concrete.

Examinations such as visual inspection, deteriorated depth, and various void characteristic performed from cored specimens of 19 concrete bridge decks of various local conditions on the expressway. This paper discuss that the bridge deck condition analyses from the testing results were compared to a foreign guide line.

요약

교량 바닥판은 공용기간 동안 차량하중 및 외부 열화환경(동결융해, 우수, 용빙제)에 직접적으로 노출되어 있어 교량의 주요 부재 중 가장 많은 결함이 발생하는 부위이다. 따라서, 콘크리트 교량 바닥판의 열화 원인을 분석하고 향후 손상방지 및 품질향상 대책을 수립하고자 고속도로 상에 공용 중인 교량 바닥판 중 19개소에 대해 콘크리트 코어를 채취하고, 콘크리트에 대한 공극특성 분석을 실시하였다. 실험결과, 손상이 발생된 교량 바닥판의 경우, 공기량이 기준치에 미달하거나, 기준치를 만족하는 경우에도 기포간격계수가 외국의 기준에 미치지 못하여 내구성이 저하된 것으로 나타났다.

- * 정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 구조지반연구팀, 책임연구원
- ** 정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 구조지반연구팀, 전임연구원
- *** 정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 도로연구팀, 책임연구원
- **** 정회원, 한국도로공사 도로교통연구원 구조지반연구팀, 책임연구원
- ***** 정회원, 한국건설품질시험원 건재연구팀, 이사

1. 서 론

교량 바닥판은 공용기간 동안 차량하중 및 외부 열화환경(동결융해, 우수, 용빙제)에 직접적으로 노출되어 있어 교량의 주요 부재 중 가장 많은 결함이 발생하는 부위이다. 따라서, 공용중인 교량 바닥판에 대하여 손상원인을 분석하고 향후 손상방지 및 품질향상 대책을 수립하고자 고속도로 상에 공용 중인 교량 바닥판 중 19개소에 대해 콘크리트 코어를 채취하고, 콘크리트에 대한 공극특성과 내구성 관계를 분석하였다.

2. 조사대상

조사대상은 표 1과 같이, 상대적으로 바닥판에 손상이 많이 발생되고 있는 강원 및 충청지역의 교량을 중심으로 실시하였으며, 비교평가를 위해 유사한 시기에 준공한 서울외곽고속도로상의 한 교량도 조사대상에 포함시켰다. 대상 교량에 대한 코어채취는 교통흐름에 지장을 주지 않는 갓길부에서 실시하는 것을 기본으로 하였으며, 코어채취를 시행한 곳은 급속보수재(초속경시멘트)를 사용하여 원상복구하였다.

3. 바닥판의 손상과 공극특성

3.1 콘크리트의 공극특성과 내구성

고속도로 교량 바닥판의 내구성을 확보하기 위한 공극특성과 관련된 규정은 공기량을 4~7%로 하는 것이 유일한 규정이다. 그러나, 미국 ACI Manual에서는 내구적인 콘크리트의 품질 확보를 위한 지침으로 동결융해에 저항성을 확보하기 위한 연행공기특성은 다음과 같이 추천하고 있다.

- ▶ 콘크리트 연행 공기량은 5~7%
- ▶ 기포의 비표면적(Specific Surface)은 600 in^{-1} 이상
- ▶ 기포간격계수는 $0.2\text{mm}(0.008 \text{ in})$ 이하
- ▶ 기포의 빈도(Void frequency) 8 in^{-1} 이상

3.2 손상현황

물성실험을 위한 코어채취 후, 바닥판 상면의 열화깊이를 측정된 결과를 다음 표 2에 나타내었다. 코어는 개소당 12~14개를 채취하였으며, 교량에 따라 모든 개소에서 열화가 발생되지 않은 양호한 교량도 있는 반면, 모든 개소에서 열화가 발생한 곳도 있었다. 열화발생깊이는 최대 82mm까지 나타났다.

3.3 공용중인 바닥판 콘크리트의 공극특성

콘크리트 내부의 연행공기포특성(Air void system)을 분석하기 위하여 ASTM C 457에 따라 실험한 결과를 표 2에 나타내었다. 분석결과, 공기량은 사진 1의 (a)의 예와 같이, 영동선(A,B) 및 중앙선(E,I,K), 그리고 타노선의 일부교량(M,O)은 국내기준을 만족시키지 못하고 있으며, 거의 공기가 연행되지 않은 수준의 콘크리트로 나타났다. 공기량을 만족하는 콘크리트 바닥판에 있어서도, 사진 1의 (b)의 예와 같이, 19개소 중 2개소를 제외한 대부분의 교량에서 기포간격계수가 미국의 ACI Manual 기준을 크게 초과하는 것으로 나타나, 전반적으로 연행공기특성이 좋지 않은 것으로 나타났다.

페트로그래픽 검사에 의한 열화요인들을 조사한 결과 코어의 표면열화원인은 모두 동결융해에 기인한 피로열화로 나타났으며, 사진 2와 같이 일부 교량에서 기포내에 에트란자이트 광물이 생성되었으나 이로 인한 팽창이나, 알칼리-골재반응 등으로 인한 다른 열화요인은 없는 것으로 나타났다.

다시 말하면, 교량 바닥판의 주손상원인은 제설제 사용환경하에서 바닥판 콘크리트 상면이 동결융해 작

용의 반복에 따른 박리 손상이 발생한 것으로 판단된다. 그러므로, 이러한 손상에 대한 저항성을 증진시키기 위해서는 콘크리트의 절대 연행공기량의 관리뿐만이 아니라 연행되는 공기포의 특성, 즉, 기포간격계수를 통한 공기포의 크기와 밀집도에 대해서도 ACI Manual의 기준과 같이 관리할 수 있는 방안의 수립이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결 론

고속도로 상에 공용중인 교량 바닥판의 공극특성과 내구성과의 관계를 규명하고자 코어를 채취하고 분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 공극특성을 살펴본 결과, 19개소 중 3개소는 공기연행이 없는 Non-AE 콘크리트로 나타났으며, 4개소는 AE 콘크리트로 규정하기에는 그 양이 경계치에 근접한 것으로 나타났다.
- 2) 공기량을 만족하는 경우에도 기포간격계수가 미국의 ACI Manual 기준을 크게 초과하는 것으로 나타났다.
- 3) 콘크리트의 열화원인 분석결과, 코어의 표면열화원인은 모두 동결융해에 기인한 것으로 나타났으며, 다른 열화요인은 없는 것으로 나타났다.
- 4) 따라서, 교량 바닥판의 내구성을 확보하기 위해서 양질의 공기연행특성, 즉, 적절한 공기량과 공극간격계수에 대한 기준 마련 및 이에 대한 대책이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. ASTM (2004) Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete, ASTM C 457
2. ACI (1992) Guide to Durable Concrete, ACI 201.2R-92
3. ACI (1991) ACI Manual of Concrete Practice, ACI 212.3R-91
4. Tom Kuennen (2004) Conductive Overlays Charge Transportation Research Board, Concrete Products, http://concreteproducts.com/mag/concrete_conductive_overlays_charge/

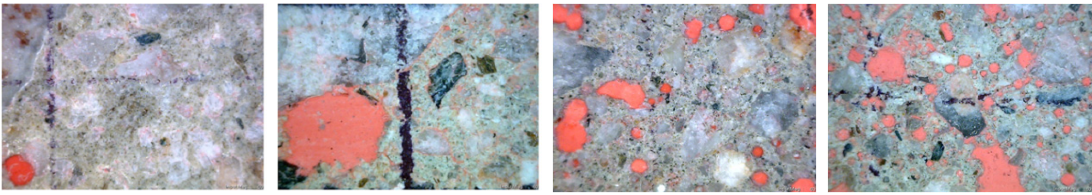
표 1. 조사대상 교량

본부	지역	노선	교명	상부 구조	준공	설계기준강도 (kg/cm ²)	본부	지역	노선	교명	상부 구조	준공	설계기준강도 (kg/cm ²)	
강원	대관령	영동선	A	STB	1999	270	충청	제천	중앙선	K	PSCI	2000	270	
	대관령	영동선	B	PSCB	1999	400		대전	경부선	L	STB	1999	270	
	제천	중앙선	C	STB	2001	270		대전	경부선	M	STB	1999	270	
	제천	중앙선	D	PSCI	2001	270		무주	중부선	N	PSCI	2001	270	
	제천	중앙선	E	PSCI	2001	270		무주	중부선	O	PSCI	2001	270	
	제천	중앙선	F	PSCI	2001	270		무주	중부선	P	PSCB	2000	400	
	제천	중앙선	G	PSCI	2001	270		무주	중부선	Q	PSCI	2000	270	
	제천	중앙선	H	STB	2001	270		영동	경부선	R	STB	2003	270	
	제천	중앙선	I	PSCI	2001	270		경기	시흥	외곽선	S	STB	1999	270
	제천	중앙선	J	PSCI	2000	270								

표 2. 코어분석결과

교명	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
열화발생 비율(%)	92	100	0	0	23	100	67	46	46	85	50	46	46	85	0	21	0	0	54	
열화깊이 (mm)	58~3	82~1	-	-	7~5	30~4	23~16	18~2	28~3	14~1	28~1	10~5	18~2	50~5	-	15~10	-	-	6~1.5	
육안평가	Non or AE	Non or AE	AE	AE	Non-AE	AE	AE	AE	Non-AE	AE	Non or AE	AE	Non-AE	AE	Non or AE	AE	AE	AE	AE	
공기량 (A) (%)	1	3.3	3.0	5.2	5.2	1.9	4.2	4.7	5.0	1.6	4.2	2.7	6.1	1.7	5.0	2.9	5.8	10.0	5.1	5.4
	2	2.6	1.7	6.4	4.7	3.0	3.4	5.7	4.3	2.1	5.8	3.9	5.0	3.2	4.1	4.4	5.1	7.3	6.1	5.0
	평균	3.0	2.4	5.8	5.0	2.5	3.8	5.2	4.7	1.9	5.0	3.3	5.6	2.5	4.6	3.7	5.5	8.7	5.6	5.2
d (mm)	1	1.25	0.72	0.34	0.23	0.50	0.70	0.80	0.37	0.77	0.51	0.63	0.36	1.04	1.30	0.87	0.19	0.15	0.23	0.48
	2	0.97	0.86	0.28	0.39	0.49	0.63	0.64	0.40	0.59	0.31	0.59	0.32	0.61	0.91	0.48	0.21	0.18	0.24	0.49
	평균	1.11	0.79	0.31	0.31	0.50	0.67	0.72	0.39	0.68	0.41	0.61	0.34	0.83	1.11	0.68	0.20	0.17	0.24	0.49
V (in ⁻¹)	1	1.0	1.6	5.0	7.0	1.9	1.9	1.8	4.4	1.0	2.8	1.8	4.9	0.8	1.2	1.4	8.9	13.5	7.2	3.3
	2	1.2	1.0	6.4	3.7	2.6	1.9	2.7	4.1	2.4	5.4	2.5	5.5	2.0	1.3	3.7	7.2	10.4	8.3	2.9
	평균	1.1	1.3	5.7	5.4	2.2	1.9	2.2	4.2	1.7	4.1	2.2	5.2	1.4	1.3	2.6	8.1	12.0	7.7	3.1
S (in ⁻¹)	1	123	220	383	540	397	184	157	350	260	274	273	324	192	98	192	614	543	561	247
	2	181	227	396	312	346	218	185	383	462	376	252	437	251	167	336	558	573	499	227
	평균	152	224	390	426	372	201	171	367	361	325	263	381	222	133	264	586	558	530	237

* 육안평가 : 페트로그래픽 검사, d : 기포간격계수, V : Void Frequency, S : Specific Surface



(a) $F_{ck}=40\text{MPa}$, $A=2.3\%$, $d=0.72\text{mm}$

(b) $F_{ck}=27\text{MPa}$, $A=4.5\%$, $d=1.11\text{mm}$

(c) $F_{ck}=40\text{MPa}$, $A=5.4\%$, $d=0.20\text{mm}$

(d) $F_{ck}=27\text{MPa}$, $A=8.6\%$, $d=0.17\text{mm}$

사진 1. 공극특성 분석결과



(a) H교

(b) J교

(c) S교

사진 2. 기공내의 Ettringite 생성