

국내 콘크리트 교량에 적합한 비파괴 시험법 적용에 관한 연구

A Study on the Application of Non-destructive Test for Concrete Bridges in Korea

이 학 은* 윤 영 수* 이 병 철** 김 영 민*** 정 우 용***
Lee, Hak Eun Yoon, Young Soo Lee, Byung Chul Kim, Young Min Jung, Woo Yong

ABSTRACT

Non-destructive field tests of the concrete has achieved increasing acceptance for the evaluation of existing concrete structures. But the application of this test has not still accomplished to guarantee perfectly the durability of the concrete bridges in Korea. As two major testing methods, this paper recommends the proper empirical relationship between the rebound number together with the ultrasonic pulse velocity and the core strength. Also, this paper recommends the relationships as the aging and as the element.

1. 서론

건설문화가 선진화되어감에 따라 안전진단의 중요성이 대두되고 있다. 이러한 안전진단 방법의 일환으로 비파괴 시험은 비록 파괴 시험에 비하여 정확한 결과를 도출할 수는 없을지라도 간단한 사용법과 저렴한 경비로 안전진단에 많이 사용되고 있다. 그러나 비파괴 시험의 기술과 종류가 다양해지고 있음에도 불구하고 각각의 비파괴 시험법의 적용에 있어서 국내 콘크리트 교량에 적합한 기준과 활용방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다.⁽¹⁻¹¹⁾ 본 연구는 다수의 현장시험과 통계적 문헌조사를 바탕으로 국내 콘크리트 교량에 적합한 비파괴 적용방법을 제시하고자 하며 비파괴 시험법에서 가장 많이 사용되는 반발경도법과 초음파속도법에 초점을 맞추고 있다. 비파괴 시험법의 적용방법과 신뢰도에 대하여 논하였으며 특히 반발경도식을 대상 콘크리트 교량의 재령과 교량부위에 따라 구분하여 고찰하였다.

2. 조사대상과 결과

2.1. 현장조사

본 연구에서는 국내 콘크리트 교량의 비파괴 조사의 기준을 분석하기 위하여 영동고속도로상의 4개

*정회원, 고려대학교 토목환경공학과 교수

**한국도로공사 도로연구소 부장

***정회원, 고려대학교 토목환경공학과 대학원

교량에서 동일한 위치의 반발경도, 초음파속도, 코아강도를 측정하였으며 대상교량의 제원은 표1과 같으며 이로부터 얻어진 자료는 표2와 표3과 같다.

표 1 대상교량의 제원

교량이름	위치	설계하중	준공연도	비고
섬강교	영동선 60.7km	DB-18	1971	우회, 이관예정
자산교	영동선 60.6km	DB-18	1971	우회, 이관예정
동화교	영동선 78.3km	DB-18	1971	우회, 용도변경
속사천4교	영동선 151.2km	DB-18	1975	우회, 용도변경

표 2 현장조사결과(1)

교량		반발도 R값	초음파 속도	코아 강도	재령
교량이름	요 소				
속사천 4교	교대	44.1	4.532	456	23
	교대	39.8	4.285	338	
	슬래브	42.1	4.685	418	
	슬래브	46.3	4.573	432	
	슬래브	45	3.606	249	
	슬래브	43.8	4.391	278	
	슬래브	41.1	4.418	352	
	슬래브	46.9	4.382	426	
	슬래브	47.2	4.363	212	
	슬래브	45.8	4.698	372	
동화교	슬래브	40.9	4.260	336	27
	슬래브	39.8	4.200	408	
	슬래브	47.2	4.071	333	
	슬래브	40.1	4.109	347	
	슬래브	43.2	4.580	409	
	슬래브	39.9	4.321	311	
	슬래브	44.4	3.845	321	
	슬래브	45.6	3.723	377	
	슬래브	44.8	3.759	295	
	교대	40.6	4.312	286	
교대	44.6	4.393	279		

표 3 현장조사결과(2)

교량		반발도 R값	초음파 속도	코아 강도	재령
교량이름	요 소				
섬강교	슬래브	39.3	4.574	199	27
	슬래브	31.9	3.8556	177	
	교대	38.1	4.504	256	
	교대	33.2	4.408	230	
	슬래브	41.5	4.924	373	
	슬래브	38.5	4.562	371	
	슬래브	41.7	4.521	316	
	슬래브	40.4	4.424	291	
	슬래브	42.8	4.626	350	
	슬래브	40.6	5.203	313	
자산교	슬래브	37	4.564	306	27
	슬래브	40	4.380	321	
	슬래브	35	4.895	253	
	슬래브	35.2	4.478	278	
	슬래브	39.9	4.430	308	
	슬래브	41.4	4.538	298	
	슬래브	41	4.870	291	
	슬래브	44.3	4.547	317	
	슬래브	39.3	4.608	252	

2.2. 문헌조사

본 연구에서는 국내 콘크리트 교량의 비파괴 조사의 기준을 분석하기 위하여 한국도로공사, 서울시 건설안전관리본부, 시설안전관리본부 등에서 정밀안전진단 보고서의 비파괴 조사의 내용을 검토하였으며 국내 콘크리트 교량에 적합한 비파괴 조사 평가기준을 위한 자료를 정리하였다. 산출된 자료는 반발도와 초음파속도 및 코아강도가 동일한 위치에서 측정된것으로써 모두 50개 교량에 대하여 130여개이다. 대상 교량의 재령은 5년에서 27년까지 다양하게 분포되어 있으며 지리적인 위치도 중부와 남부 지방에 고루 분포되어 있다. 표 3, 표 4, 표 5, 표 6은 문헌조사를 통한 자료를 요약한 것이며,⁽¹²⁾ 자료를 제공해준 기관의 요청에 의해 현시점에서는 교량명을 구체적으로 명시하지 않고 편의상 번호를 붙여 나타내겠다.

표 4 문헌조사결과(1)

교량		반발도 R값	초음파 속도	코아 강도	재 령
교량번호	부 위				
1	슬래브	46	3.766	248	5
	교대	45	3.707	244	
2	슬래브	46	3.814	308	5
	교대	47	3.775	191	
	교각	40	3.716	215	
3	슬래브	51.5	3.795	242	5
	교대	45	3.632	255	
4	슬래브	51	3.842	282.2	5
5	슬래브	55	4.221	365.5	10
	슬래브	55	4.227	359.4	
	교대	57	4.303	335.8	
	교각	51	4.0665	316.7	
6	슬래브	48.2	4.006	299	5
	교대	45.5	3.947	296	
	교각	40.9	3.998	267	
7	슬래브	43	3.764	238	5
	교각	44	3.741	221	
8	슬래브	44	3.384	217	5
	슬래브	46	3.652	155	
	교대	47	3.664	167	
9	슬래브	38	3.446	104	5
	슬래브	46	3.652	155	
	교대	47	3.664	167	
10	슬래브	38	3.446	104	10
	교대	56	4.285	314	
11	교대	48	3.985	239	10
	교각	54	3.873	264	
12	교대	42	4.6	135.7	5
	교각	39.5	4.58	171.7	
	교각	47.9	5.86	163.3	
13	슬래브	45.5	3.858	314	5
	교대	44.5	3.843	393	
14	교대	44.05	4.14	271.3	5
	교각	45.85	4.03	203.3	
15	교대	39.25	3.83	212.7	5
16	교대	53.5	3.81	444	5
17	교대	44.05	4.14	271.3	5
	교각	45.85	4.03	203.3	
18	슬래브	55.5	4.016	439	5
	교대	52.5	3.828	351	
19	교대	40	5.66	203	5
20	교대	44.9	4.99	244	5
	교대	46.7	4.9	265.7	
21	슬래브	51.5	3.904	370	5
	교대	50	3.761	254	
	교대	47	3.741	265	
22	교각	47	4.036	298	5
	교각	44	4.103	382	
	교대	51	3.827	416	

표 5 문헌조사결과(2)

교량		반발도 R값	초음파 속도	코아 강도	재 령
교량번호	부 위				
23	슬래브	54	4.326	340	5
	교대	51	3.888	259	
	교각	49	3.843	263	
24	슬래브	45	3.782	216	5
	슬래브	51.5	3.904	370	
	교대	50	3.761	254	
25	교대	47	3.741	265	10
	슬래브	55.3	4.233	312	
	교대	49	4.02	224	
26	교대	49	3.98	244	10
	슬래브	54.83	4.195	338	
	교대	47.67	4.123	204	
27	교대	48.5	4.15	226	5
	슬래브	42.5	4.2	301	
	슬래브	39	4.304	265	
28	교대	41.5	3.958	365	5
	교대	39	3.957	311	
	슬래브	44	4.125	363	
29	슬래브	43	3.909	372	5
	교각	34.5	3.778	352	
	교각	39.5	3.878	368	
30	교대	47.02	3.79	196.7	5
	교대	48.48	3.59	145	
	교대	44.68	3.76	220	
31	교대	53.1	3.907	176.7	5
	교대	48.23	3.72	223.3	
	교대	46.95	3.49	180	
32	슬래브	49.5	3.766	314	5
	교대	44.5	3.843	393	
33	교대	42	3.846	198	5
	슬래브	52	4.239	391	
34	교대	51.2	3.605	274	11
	교대	52.4	3.799	305	
35	슬래브	33	3.328	213	5
	슬래브	35.5	3.521	257	
	교대	37.5	3.456	206	
	교각	31.5	3.355	170	
36	교대	44	4.041	232	5
	교대	45	4.07	218	
	교각	41	4.122	198	
37	교각	49.5	3.815	347	10
	교대	52	3.813	249	
	교대	57.5	3.881	274	
38	교대	53.5	3.926	375	5
	교대	49.5	3.892	348	
39	교대	52.5	4.275	163	12
	교각	44.5	3.414	228	
40	교각	48	3.84	322	10
	교대	52	3.786	218	
40	교대	40	×	210	10

표 6 문헌조사 결과(3)

교량		반발도 R값	초음파 속도	코아 강도	재 령
교량번호	요소				
41	슬래브	38	3.719	364	5
	교대	50	3.959	305	
42	교대	43.26	3.32	113.3	8
	교대	47.87	4.32	173.3	
43	교대	51.5	4.18	364	5
	교대	49.5	4.033	264	
44	교각	43.67	3.68	318	15
	교대	40.33	3.073	210	
	교대	41.67	3.28	304	
45	교각	42.5	4.006	151	12
	교각	49	4.140	278	
	교각	40	4.208	168	
	교각	33.5	3.092	160	
46	교대	45	3.944	246	10
	교각	48	3.978	218	
	교각	50	3.91	262	

표 7 문헌조사 결과(4)

교량		반발도 R값	초음파 속도	코아 강도	재 령
교량번호	요소				
47	교각	50	3.536	167	12
	교대	43.6	4.476	171	
48	교각	45	4.255	276.7	27
	교각	40.5	3.854	132.9	
	슬래브	55		312.4	
	교대	51.5	4.059	132.7	
49	교각	44.5	3.666	195	17
	슬래브	42	3.569	304	
	슬래브	40.5	3.726	298	
	슬래브	38	3.569	319	
	슬래브	44.5	3.789	387	
	교각	45.5	3.752	194	
50	교대	51.8	3.665	375	12

3. 조사결과의 분석

3.1. 반발경도법

그림 1은 현장조사를 통한 반발도의 분포에 대하여 회귀분석을 행한 것이다. 규준에 맞춰 시험을 행했음에도 불구하고 분산된 형태의 결과가 나타나는 것은 반발경도법이 저장도 확률로서 사용되어져야 바람직하다는 것을 보여준다. 그림 2는 문헌조사를 통하여 회귀분석을 행한 것이며 지난 본 연구자들이 기존에 제안했던 추정식⁽¹¹⁾과 금번 연구의 추정식이 유사함을 알 수 있다. 현장조사에 의한 추정식이 다소 아래쪽에 위치한 것은 현장조사 대상교량의 재령의 차이라고 사료된다. 그림 3은 현장조사와 문헌조사를 통한 자료를 재령에 따라 구분한 것이며 재령이 커질수록 반발강도 추정식은 더 아래쪽에 위치함을 보여준다. 그림 4는 슬래브와 교대 및 교각의 요소에 따라 구분한 것이며 평균강도가 30kg/cm²정도 더 큰 슬래브가 더 위쪽에 위치하였다.

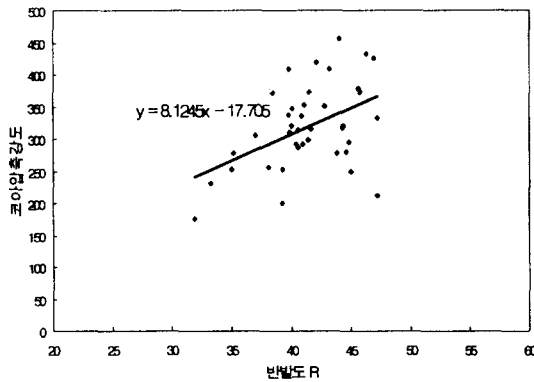


그림 1 반발도 현장조사 결과의 회귀분석

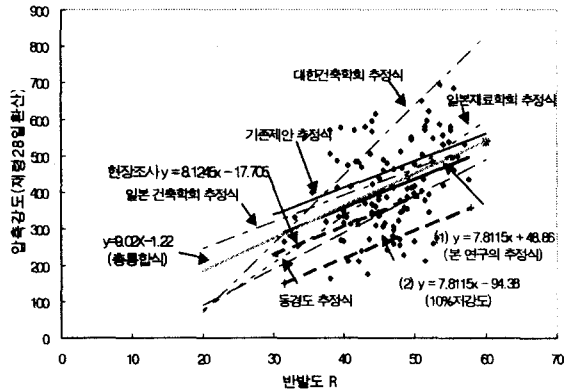


그림 2 반발도 문헌조사 결과의 회귀분석

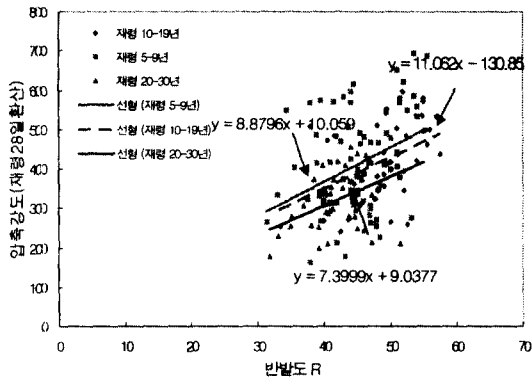


그림 3 반발도 재령별 회귀분석

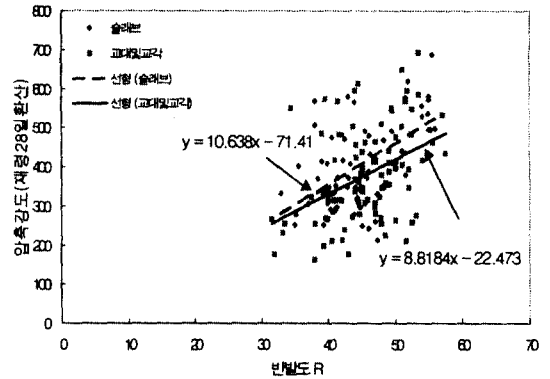


그림 4 반발도 요소별 회귀분석

3.2. 초음파 속도법

그림 5는 현장조사를 통한 초음파속도의 분포에 대하여 회귀분석을 행한 것이다. 규준에 맞춰 시험을 시행했음에도 불구하고 상당히 분산된 형태를 나타내었다. 이는 초음파속도법 역시 단순한 회귀분석보다는 저항도 개념으로 사용되어야함을 보여주고 있다. 그림 6은 문헌조사를 통한 초음파속도의 회귀분석과 다른 추정식의 값들을 비교한 것이다. 그림 6의 그래프 양상이 제각기 다른 이유는 초음파속도법이 현장적용에 있어서 공시체와는 달리 철근의 유무, 상대습도, 빈배합 등의 조건이 불규칙적이기 때문이라 사료된다.

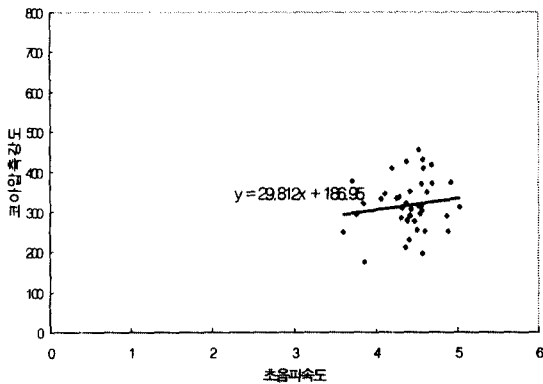


그림 5 초음파속도 현장조사의 회귀분석

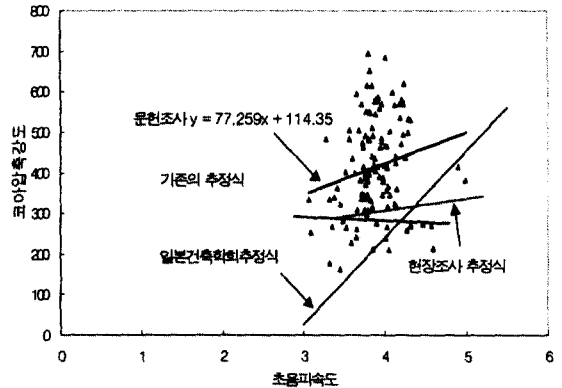


그림 6 초음파속도 문헌조사의 회귀분석

4 결론

본 연구에서는 현장조사와 문헌조사를 통한 54개 교량에서 반발경도식과 초음파속도식에 대한 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 현장조사와 문헌조사를 통하여 반발도와 코아강도값의 관계가 상당히 분산된 것으로서 파악되었으며 이는 반발경도식의 적용은 저항도 확률로서 사용되어야 함을 나타낸다.
- (2) 현장조사와 문헌조사 및 지난 연구과제를 종합한 255개의 자료를 통계분석한 결과 반발경도식은 $y = 9.02R + 1.22$ 로 나타났으며 이는 일본재료학회와 동경도 및 일본건축학회 추정식의 중간쯤에 해당된다.
- (3) 반발경도식의 경우 재령이 증가할수록 반발도에 대한 코아강도값이 아래쪽으로 내려가고 있음을 나타내었다. 이는 재령이 오래될수록 표면반발도에 비해 압축강도값이 점차적으로 떨어지기 때문으로 사료된다.
- (4) 슬래브와 교대 및 교각에 대한 요소별 반발경도식을 비교할 경우 평균 압축강도가 낮은 교대 및 교각의 반발경도식이 아래쪽에 위치하고 있다. 이는 교량의 환경여건이 반발경도값에 변화를 주고 있음을 나타낸다.
- (5) 초음파 속도에 관한 추정식의 경우 현장조사와 문헌조사 및 지난 연구과제와 기존의 추정식이 모두 상이하게 나타나는 것은 초음파 속도법이 현장 교량에 적용하기에는 아직까지 많은 문제점을 가지고 있음을 나타낸다.

참 고 문 헌

1. Properties of Concrete A.M Nevile, 3rd Edition, 1981
2. ACI 214-77, Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Result (Reapproved 1989), p.16
3. In situ/Nondestructive Testing of Concrete, V.M Malhotra Edited. American Concrete Institute, ACI SP-82, 1982
4. 비파괴시험에 의한 기존 콘크리트 구조물의 압축강도 추정, 구봉근/오병환외, 한국콘크리트학회, 콘크리트 학회지, 6권 6호, 1994.12
5. 콘크리트 구조물의 비파괴 검사, 이종득, 도서출판 일광, 1996.5
6. 콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전 진단, 한국 콘크리트 학회, 1994.12
7. 장기재령 아파트 건축물의 실태조사 보고
8. 기존 구조물 콘크리트 강도의 검사 및 평가성, 심중성의, 한국 콘크리트학회, 콘크리트 학회지, 6권2호, 1994.4
9. 콘크리트 비파괴 시험, '97 건설기술 Academy 과정 교재', 삼성물산 건설 부분, 1997
10. 비파괴 시험법의 분류 및 특성, 심중성의, 한국 콘크리트학회, 콘크리트 학회지, 6권2호, 1994.4
11. 현장 비파괴시험 및 사용자 지침서 작성(1차), 고려대학교 공학기술연구소, 1997
12. 97정밀안전진단보고서, 갑천교·회덕JCT2육교, 한국도로공사, 1997.11 의 41권