

국내 비파괴검사 현황 및 대책

박 일 철 시설안전기술공단 연구개발본부 공학박사/실장
 임 창 덕 시설안전기술공단 연구개발본부 공학박사/부장

1. 개 요

최근 경제성장과 더불어 건설시장의 급속한 양적 팽창은 건설기술의 질적 성장을 저해하고 건설위주의 행정으로 유지관리 분야에 투자를 소홀히 한 결과 크고 작은 건설사고를 발생하게 하는 원인이 되었다.

최근의 이러한 건설사고들은 귀중한 인명, 경제적 손실 뿐만 아니라 사용중인 시설물에 대한 국민의 불안감을 가중시키고 국내건설업체의 국제신용도 하락을 가져와 국내기업의 국제시장 진출에도 많은 제약조건으로 작용하고 있어 건설사고의 재발방지가 그 어느 때보다 절실하다.

이와 같이 시설물의 안전과 체계적인 유지관리의 필요성으로 정부에서는 「시설물의 안전관리에 관한 특별법」을 제정하게 되었으며, 특별법에 따라 진단기술의 연구개발, 과학적인 유지관리 체계구축 및 진단기술자의 교육훈련 등 시설물의 안전문화 정착을 위해 시설안전기술공단이 설립되어 각 분야별로 연구사업 및 기술개발을 추진중에 있다.

현행 정밀안전진단 업무수행은 각 시설물에

대해 크게 외관조사, 정밀조사 및 내하력 평가로 구분되는데, 정밀조사는 각종 비파괴장비를 이용하여 시설물의 결함 및 내구성 조사를 실시하고 정밀조사 결과를 기초로 구조물의 내하력을 산출함으로써 대상 시설물의 안전성 여부를 종합적으로 판정하여 보수·보강 필요성 여부를 판정하는 것이 진단업무의 흐름이다.

따라서 외관조사 및 정밀조사 단계에서 시설물에 대한 철저한 결함여부 조사가 이루어져야 다음 단계인 내하력을 올바르게 평가할 수 있을 것이다.

이미 비파괴검사 분야에 대해 선진외국에서는 1950년대부터 많은 연구가 이루어져 콘크리트구조물에 대한 비파괴검사 기준이 마련되어 있으나 아직까지 국내에는 이에 대한 기준이 없어 대다수의 진단업체가 외국 기준을 그대로 적용하고 있는 실정이다.

따라서 본 원고는 지난 97년 8월 현재 건설교통부에 등록된 143개 진단업체를 대상으로「콘크리트구조물의 비파괴검사 적용기준 및 진단업체의 현안사항」에 대한 설문조사 결과를 소개하고 향후 진단기술의 연구 및 기술개발 방향을

수립하는 데 기초자료로 활용코자 하였다.

2. 설문조사 내용

2.1 조사범위 및 대상

현행 콘크리트구조물에 대한 비파괴검사 방법은 조사항목에 따라 다양한 검사방법이 사용되고 있는 실정이다.

따라서 설문조사의 범위는 현재 진단업체에서 비파괴검사 방법으로 가장 많이 사용하고 있는 반발경도법, 초음파법, 복합법, 철근배근조사, 철근부식조사 및 중성화 깊이측정에 관한 사항을 설문조사 범위로 국한하였다.

조사대상은 설문조사 시점을 기준으로 건설교통부에 안전진단전문업체로 등록된 143개 업체를 대상으로 실시하였다.

표 1. 안전진단 전문기관 지정현황

구분	진 단 분 야										계
	①	②	③	④	①, ③	①, ④	①, ②, ③	①~④	기타		
업체수	25	-	2	74	1	22	3	9	5	143	

1. 교량 및 터널 2. 항만 3. 수리 4. 건축

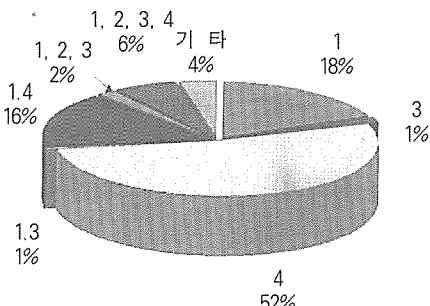


그림 1. 진단분야별 안전진단전문기관 현황

2.2 진단기관 현황 및 조사방법

설문조사 방법은 안전진단전문기관으로 등록된 143개 업체를 대상으로 우편발송 방법을 이용하였으며 대상업체 현황을 나타내면 다음 <표 1>과 같다.

전체 143진단업체 중 건축분야(4)가 전체의 52%로 가장 많았으며 교량 및 터널분야(1)가 18%, 교량 및 터널분야와 건축분야(1, 4)에 등록되어 있는 업체가 16%, 4개 분야 모두에 등록되어 있는 업체가 6% 순으로 나타났다. 각 항목별 설문항수와 설문내용을 나타내면 <표 2>와 같다.

표 2. 설문조사 내용

항목	문항수	설문지 주요 내용
반발경도법	14	• 비파괴검사 적용기준 • 강도추정식의 신뢰도 • 장비의 신뢰도
초음파법	11	
복합법	5	
철근배근상태 조사	7	• 조사결과에 대한 만족도
철근부식 조사	7	• 조사방법
중성화 조사	4	• 현장적용시 문제점 등
합 계	48	

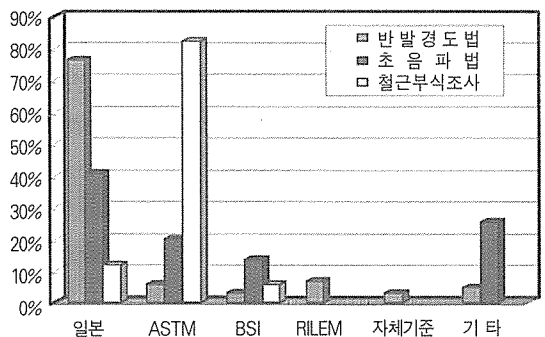


그림 2. 비파괴검사 적용기준

3. 조사결과 분석

우편발송 140개 진단업체 중 설문에 응답한 업체가 91개 업체로 회신율 65%로 나타났다.

본 절에서는 설문조사 내용을 항목별로 분석하여 그 중에서 주요 내용을 중심으로 조사결과를 기술하고자 한다.

3.1 비파괴검사 적용기준

반발경도법, 초음파법 및 철근부식 조사시 적용기준을 분석한 결과 앞(그림 2)와 같다.

반발경도법의 경우 응답업체의 71%가 일본 기준, 7%가 RILEM를 6%가 ASTM 기준을 따르고 있다고 답했다.

또한 초음파법의 경우에는 응답업체의 41%가 일본, 20%가 ASTM 기준을 따르고 있다고 답했다. 철근부식 조사에 있어서는 82%가 ASTM를 따르고 있고 12%가 일본기준을 따르고 있는 것으로 나타났다.

결과적으로 현재 진단업체의 콘크리트에 대한 비파괴검사 적용기준은 반발경도법과 초음파법의 경우 일본기준을, 철근부식 조사에는 ASTM 기준을 적용하고 있음을 알 수 있었다.

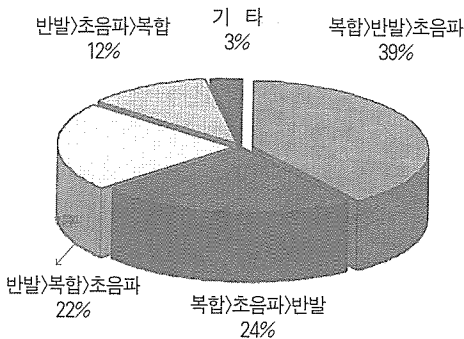


그림 3. 비파괴검사법과 코아강도와의 신뢰성관계

3.2 비파괴검사법과 코아강도와의 신뢰성 관계

반발경도법, 초음파법, 복합법에 의한 콘크리트강도 추정시 코아강도와의 신뢰성에 관한 설문조사결과 <그림 3>과 같이 복합법>반발경도법>초음파법 순으로 신뢰성이 높다고 응답한 업체가 전체 응답업체 중 39%로 가장 많았다.

다음으로 복합법>초음파법>반발경도법이 24%, 반발경도법>복합법>초음파법이 22% 순으로 나타났다.

여기서 알 수 있듯이 신뢰도가 가장 낮은 검사방법으로는 전체 응답업체의 61%가 초음파법이라 답하고 있고 반발경도법이 24%, 복합법은 12%로 나타나 비파괴검사 방법 중 초음파법이 가장 신뢰도가 낮은 것으로 조사되었다.

이러한 이유로는 초음파법에 의한 강도추정시 콘크리트의 불균질성에 의해 음파전달속도의 변화가 크고 음속측정시 골재의 종류, 콘크리트 함수율, 내부 철근 및 콘크리트 온도 등에 따라 음파전달속도가 달라져 신뢰성이 낮게 나타나는 것으로 사료된다.

3.3 반발경도에 대한 통계처리 여부

반발경도를 콘크리트강도로 환산하기 위해 반발경도값에 대한 통계처리 여부를 조사한 결과

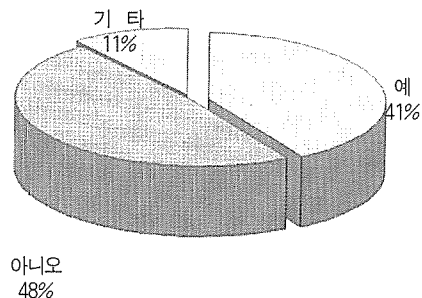


그림 4. 반발경도법에 대한 통계처리 여부

1. 표준편차, 변동계수
2. 콘크리트 요구강도
3. 콘크리트 합격판정계수k

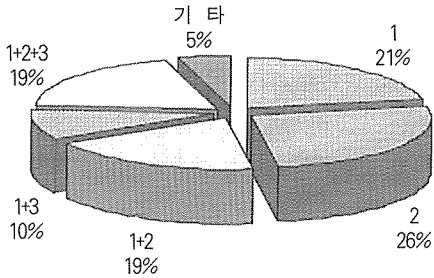


그림 5. 통계처리 방법

〈그림 4〉와 같이 응답업체의 41%가 통계처리를 행하고 있다고 응답했으며 48%가 통계처리를 행하고 있지 않다고 응답했다.

〈그림 5〉는 통계처리를 행하고 있다고 응답한 업체 중 통계처리 방법으로 콘크리트 요구강도 (2)만을 적용하고 있다는 업체가 전체의 26%로 가장 많았으며, 다음으로 표준편차와 변동계수 (1)을 적용한다고 응답한 업체가 21%, (1)+(2) 및 (1)+(2)+(3)을 적용하고 있다고 응답한 업체가 각각 19% 순으로 나타났다. 이와 같은 설문 조사 결과를 분석해 보면 현재 안전진단 업체에서는 반발경도법에 의한 콘크리트강도 추정시 통계처리를 행하지 않거나 통계처리를 행하고 있다고 하더라도 단순히 추정강도와 설계기준강도(fc)의 대소만을 비교하여 강도판정을 행하고 있는 것으로 분석되었다.

3.4 사용장비에 대한 신뢰도

비파괴검사에 의한 콘크리트 강도추정시 사용 장비별 신뢰도 조사결과는 〈그림 6〉과 같이 신뢰도가 80% 이상 이라고 응답한 업체가 강도추

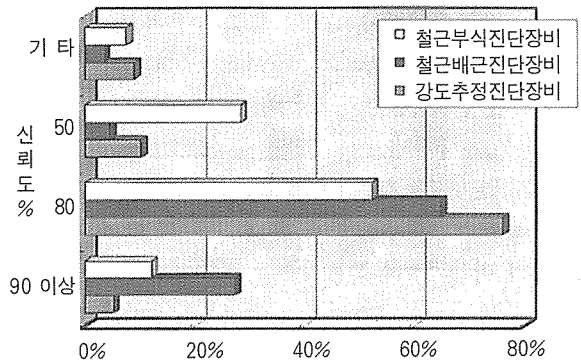


그림 6. 사용장비별 신뢰도 조사결과

1. 일본건축학회식
2. 일본재료학회식
3. 동경도 건축재료 검사소식

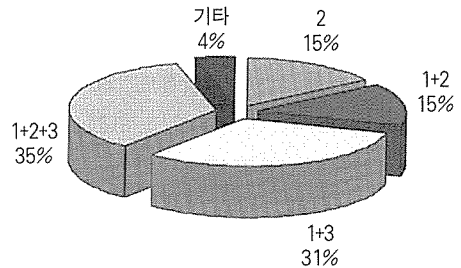


그림 7. 강도추정식 적용 예(반발경도법)

정 진단장비의 경우 81%, 철근배근 진단장비가 92%, 철근부식 진단장비가 64%로 나타나 철근배근 진단장비가 강도추정 및 철근부식 진단장비에 비하여 상대적으로 신뢰성이 좋은 것으로 나타나, 철근배근 진단장비>강도추정 진단장비>철근부식 진단장비 순으로 신뢰도가 높은 것으로 평가되었다.

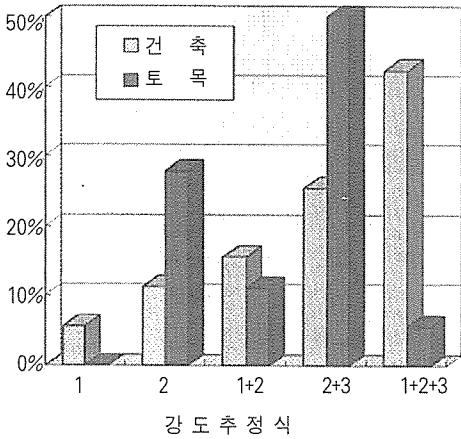


그림 8. 건축, 토목구조물별 적용 강도추정식

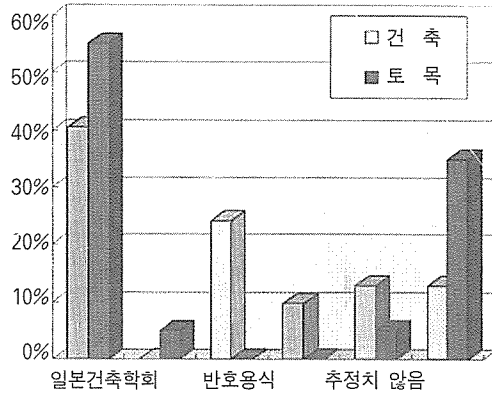


그림 10. 구조물별 적용 강도추정식(초음파법)

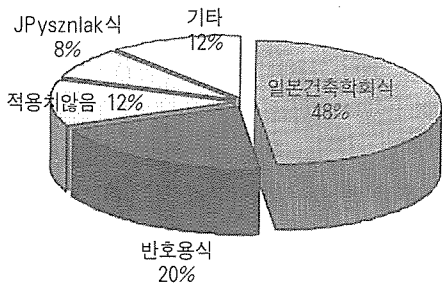


그림 9. 강도추정식 적용 예(초음파법)

3.5 강도추정식 및 부식평가 적용기준

현재 국내의 진단업체들이 반발경도법, 초음파법 및 복합법을 적용해 강도를 추정할 때 주로 어떤 강도추정식을 사용하고 있는지에 대해 조사하였으며 조사결과를 나타내면 다음과 같다.

1) 반발경도법

반발경도법에 의한 강도추정은 대부분의 진단업체들이 일본의 강도추정식 2, 3개를 <그림 7>과 같이 적용하여 각각의 강도를 구한 후 이들

값들을 산술평균하여 강도추정을 하고 있는 것으로 나타났다. 한편 <그림 8>과 같이 건축·토목 구조물별 적용 강도추정식은 건축물의 경우는 (1+2+3)식을 적용한다는 업체가 전체의 42%로 가장 많았고 다음으로 (2+3)식을 적용하는 업체가 25%순으로 조사되었다. 토목구조물의 경우 (2+3)식을 적용하는 업체가 전체의 56%였으며, 일본재료학회식 1개만을 사용하여 강도를 추정하고 있는 업체가 28%로 나타났다.

2) 초음파법

건축분야의 경우 <그림 9>와 같이 주로 건축학회식, 반호용식을 사용하는 경우가 전체의 64%로 나타났다. 반호용식은 우리나라를 지역별(서울·경기, 영남, 호남, 제주)로 구분하여 강도추정식을 구한 것으로 현실적으로 진단업체들이 국내 여건을 고려하여 산출한 식으로 인식하고 건축분야에서 적용하고 있는 것으로 조사되었다. 한편 구조물별 적용강도 추정식은 <그림 10>과 같이 토목분야의 경우는 주로 일본건축학회식(55%)을 적용하고 있었고 일부 업체가 일본재료학회식(5%)을 적용하고 있는 것으로 조사되었다. 그밖에 강도추정식으로 J.Pysz-

niak식 스위스 PROCEQ식, 일본재료학회식 등을 적용하고 있으나 이러한 식들은 일부 업체에서만 적용하고 있는 것으로 분석되었다.

3) 복합법

복합법의 경우에는 <그림 11>과 같이 건축, 토목구조물에 관계없이 일본건축학회식과 릴램식을 적용하고 있다고 응답한 업체가 각각 68%와 28%로 가장 많았고, 기타 스위스 PROCEQ식을 적용하고 있는 것으로 나타났다.

4) 부식평가

철근부식 평가방법으로는 <그림 12>와 같이 전체 응답업체 중 82%가 ASTM 규준을 따르고 있다고 응답했으며, 9%가 일본콘크리트공학회의 규준을 적용하고 있다고 답했다.

3.6 향후 국내 실정에 맞는 강도추정식의 필요성

향후 국내 실정에 맞는 강도추정식의 필요성 여부 조사결과 대부분의 업체들이 필요성을 인식하고 있는 것으로 나타났다.

이는 현재 적용중인 강도추정식들이 외국의 기준으로 국내 여건과는 맞지 않고 실제 코아강도와도 차이를 보이고 있어 국내 실정에 맞는 강도추정식이 필요하다고 응답한 것으로 사료

된다.

3.7 진단업체 현안사항

대형구조물의 붕괴 및 건설재해가 급격히 증가하면서 시설물에 대한 안전진단 수행이 법적으로 의무화 되고 안전진단을 전문으로 하는 진단업체가 생겨나면서 강도평가시 비파괴검사에 대한 시행착오도 없지 않아 발생하고 있다.

진단업무 추진중 발생하는 기술적인 문제점 및 현안사항에 대한 전체적인 의견을 종합해 보면 <표 3>과 같다.

검사방법에 따른 신뢰성 확보와 강도평가시 국내 실정에 적합한 강도추정식이 필요하다는 의견이 무엇보다 시급히 해결되어야 할 것으로 나타났다.

또한 비파괴검사에 대한 국내 기준수립 및 외국 기준적용에 따른 지침이 필요하고 장비개발, 체계적인 기술교육과 관련정보의 공유등 다양한 의견들이 제시되었다.

이러한 사항들은 앞으로 진단업무에 관한 기술개발 및 연구분야를 선정할 때 면밀히 검토하여 시급히 이에 대한 해결방안이 나오도록 진단업무에 종사하는 기술자들이 함께 노력해야 할 것이다.

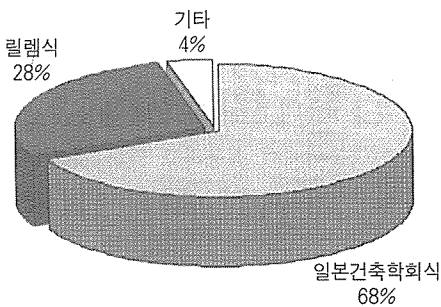


그림 11. 진단업체 강도추정 적용 예(복합법)

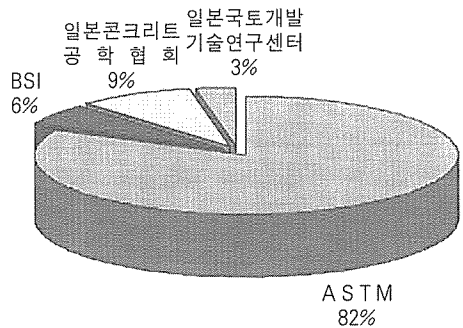


그림 12. 철근부식 평가방법 적용기준

표 3. 안전진단 전문업체 현안사항

종 류	현 안 사 항	개선방향(제안)
반발경도법	• 강도추정식을 획일화 할 경우 여러 요인에 의해 강도평가 곤란	국내 실정에 맞는 강도추정식 산출 및 평가 연구
	• 강도평가는 부등식의 대소판결이 아니라 정규분포곡선상에 따라 평가	
	• 지역별(서울, 대전, 부산, 광주) 도시별로 강도추정식 산정 (학회, 대학, 전문가 참여 필수적)	
	• PC 콘크리트와 같은 고강도콘크리트에 대한 압축강도 적 용시 강도추정이 어려워 별도의 계수 보완 필요	
초음파법	• 마감재가 불가한 경우 이에 따른 보정계수 필요	안전진단 장비의 신뢰성 확보 및 측정 기술의 표준화 연구
	• 콘크리트속의 철근의 영향에 대한 정확한 보정 필요	
	• 온도편차, 습도, 재령에 대한 규정미비	
	• 실제현장의 상황에 따라 변동이 많으며 정확한 실험식 간 구 필요	
	• 고도의 기술이 요구되므로 신뢰성 부족	
	• 매질이 불균질한 교량에서의 초음파법에 의한 강도추정은 신뢰성이 없음	
철근배근조사	• 피복두께조사시 실제와 잘 맞지 않음	측정 기술의 표준화
	• 피복에 대한 규정정립(기초 및 물탱크 내부피복 등)	
	• 보, 기둥의 경우 철근간격이 좁거나 복배근인 경우 철근갯 수 파악 곤란	
철근부식조사	• 전기저항법 조사시 마감층(방수층)에 의해 측정 곤란	철근 부식 측정 기술의 체계화 및 지침(안)
	• 육안점검시 신뢰성은 높으나 철근단면 손실 등이 평가에 적용되지 않아 실용성이 낮음	
중성화	• 중성화 평가기준이 상이하여 표준적용 곤란	



표 3. 안전진단 전문업체 현안사항(계속)

종 류	현 안 사 항	개선방향(제안)
비파괴검사 기 준	• 건축물의 경우 층별, 부재별 강도차이가 심하고 기초구조물의 조사불가로 건물 전체에 대한 안전성 평가가 곤란	비파괴 검사기준(안) 연구
	• 검사기준, 합격기준 및 시험절차가 보다 명확하였으면 함	
	• 콘크리트 품질상태, 구성비율에 따라 기준이 제시되어야 함	
	• 비파괴검사에 대한 국내 기준수립 / 관련 외국기준의 적용에 대한 지침제시 요망	
	• 비파괴검사를 통해 얻어진 불확실한 실측자료들의 신뢰성을 확보할 수 있는 시방서나 매뉴얼 정립필요	
연구개발	• 비파괴검사이시 일률적인 조사개소 및 위치지정은 지향(전문가의 의견에 따라 특정부위를 세밀히 조사)	
	• 강도평가시 관련학회(콘크리트학회, 건축학회, 토목학회) 중심으로 연구	
	• 강도평가와 더불어 품질평가 수준도 동시에 연구	
	• 공단에서 국내 실정에 맞는 강도추정식 및 규준을 연구발표, 기술지도 필요	
	• 콘크리트구조물 열화에 대한 거동 및 파괴모드 정립	
• 보수·보강방법 지침필요		

4. 결 론

현재 콘크리트구조물에 대한 비파괴검사 기준이 마련되어 있지 않은 국내 실정을 감안할 때 진단보고서마다 적용기준이 달라 동일한 검사결과일지라도 적용기준에 따라 평가결과가 달라질 수 있어 일부에서 이에 대한 논란이 제기되고 있다. 따라서 현재로서는 검사방법에 따른 적용 기준을 가능한 구조물별로 통일하여 사용하고 근본적인 문제해결 방법으로는 이 분야에 대한 지속적인 투자와 연구를 수행하여 구조물별로

국내 실정에 적합한 비파괴검사 기준을 마련하는 것이다. 이러한 기술개발의 노력만이 진단업무의 신뢰성을 높이고 진단분야의 국제 경쟁력을 확보할 수 있는 지름길이라 생각한다. 본 설문조사 결과를 바탕으로 향후 비파괴검사 기술이 한차원 높아지는 계기가 되기를 바란다.

본 설문조사에 적극적으로 응해주신 안전진단업체 관계자 여러분께 진심으로 감사드리며, 국내 비파괴검사 현황에 대한 본 자료가 진단관련 기술자들의 업무수행에 작은 도움이 되었으면 한다.