

국내 토목 구조물의 기술 진단

김 영 의
시설안전기술공단 교량진단본부

Technical Inspection of Infrastructures in Korea

Young Eui Kim
Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation

1. 개요

오늘날의 각종 구조물중 교량 구조물은 수십년동안 발전해온 설계, 시공 및 안전시설에 관한 기술적 발전을 반영하는 대표적인 구조물이라고 생각된다.

최근들어 교통량의 증가, 통과 하중의 중량화 각종 환경변화 및 열화 현상에 의하여 기능이 저하되고 있어, 구조물에 대한 기술진단, 보수·보강 및 유지관리가 사회적 문제로 크게 대두되었고, 모든 시설의 안전에 대한 문제가 앞으로도 더욱 중요한 부분을 차지하게 될 것이다.

선진 외국에서는 모든 시설물의 안전관리(안전진단, 유지관리)에 대한 전문인력이나 예산등 종합적이고 체계적인 시스템으로 운영되고 있으며, 지속적인 연구개발 및 전문인력의 양성, 예산의 확보 등 노력을 아끼지 않고 있는 실정이다.

그러나, 현재 우리 실정은 안전에 대한 대형 사고가 빈번함에도 불구하고 기초 수준에 있으며, 최근에 들어 이에 대한 특별법령의 제정, 전문기관의 설립등 개선대책의 수립과 진단기법 등 연구개발에 박차를 가하고 있으나 추진 정도가 미흡한 것 같다.

최근 우리나라의 재해 발생 현황을 보면 '90년 이전에도 많은 안전사고가 발생하였으며, 특히 '90년 이후만 보더라도 성수대교 붕괴를 비롯하여 행주대

교, 청주 우암 상가아파트와 최근 삼풍백화점 붕괴 등 유난히도 많은 대형의 안전사고가 발생하였고, 이에 대한 대책 마련에 부심하고 있는 실정이다.

우리나라 중요한 기간산업 시설물의 하나인 교량의 현황에 대하여 간단히 언급하여 본다면 그 숫자가 약 16,000여개에 달하며, 이 중 절반 정도가 안전에 문제가 되고 있으며, 전국 교량의 약 10%에 해당하는 1,100여개가 사고 위험이 상존하고 있는 실정으로 보고되고 있으니, 기술진단 및 보수·보강 사후 관리의 중요성에 대하여는 짐작할 수 있을 것이다. 이러한 중요성을 감안하여 볼 때 우리의 실정은 전문인력, 장비, 전문성의 3중고(重苦)의 해결이 어려운 실정이다. 이러한 현실에서 관·산·학·연 등 모든 기술자 및 연구가들이 정보교환, 기술개발로 우리 현실과 현장 구조물에 적합한 기법 개발로 신뢰성 있는 안전도 평가를 할 수 있도록 하여야 할 것이다.

따라서, 모든 구조물의 사용성과 그 기능을 충분히 발휘하기 위해서 정기점검과 노후도에 따른 내구성, 내하력의 안전진단으로 손상상태의 조기발견과 정확한 원인 규명을 통해 보수·보강을 실시하고 종합관리 체계가 도입되어 체계적이고 지속적인 유지관리가 요구된다는 사실은 아무리 강조해서 지나치지 않을 것이다.

2. 기술 진단 현황

우리나라 기술진단의 수준은 전문성, 진단장비, 진단기구, 사후관리 예산 등 선진 외국에 비하여 기술의 전문성, 사회적인 인식이 아주 취약한 상태일 뿐 아니라, 기술개발이나, 재정지원 면에서도 미약한 실정이다.

특히 물리, 금속 분야에 비하여 토목구조물 분야에서는 아주 초보적인 단계에 있다고 볼 수 있겠다.

또한, 토목구조물 안전의 중요성에 대한 인식을 갖게된 것도 불과 몇 년 이전에 불과하며 최근에 와서 성수대교, 삼풍백화점 참사 이후 정부와 국민 모두가 새로운 인식을 갖게 되었다.

그래도 전문성을 갖춘 기관이라고는 정부산하 몇 개의 투자기관과 대기업의 일부 연구소 등에서 장비와 인력을 갖추고 업무를 수행할 수 있을 정도에 불과하다.

또한, 시설물에 대한 설계, 시공, 유지관리가 제분야별로 분리되어 있어 시설물에 대한 특성이나, 종합적인 정보체계가 이루어 지고 있지 않아 효율적인 안전관리가 되고 있지 않은 실정이다.

더욱이 건설기술이나, 과학기술이 취약하여 완벽한 시설물이 탄생 시키기에는 아직도 많은 과제가 있다고 하겠다.

외국에서는 선진기술공법에 의하여 기본계획에서부터 설계, 시공, 감리, 감독, 기술진단, 유지관리 등 종합적인 DB가 구축되어 완벽한 설계와 시공, 과학적이고 효과적인 유지관리가 이루어 지고 있다.

기술진단의 발전 진행과정을 살펴보면 1940년대 초 미국에서는 댐의 성능저하 현상이 발생되어 구조물의 내구성 측면에서의 안전점검을 실시하였으며, 일본과 유럽에서는 비슷한 시기에 내구성과 내하력 측면에서의 비파괴시험에 의한 구조물의 안전도 진단을 실시하였다. 1960년대에는 교량 등 구조물의 붕괴사고 이후 점검 계획이나, 기술지침서, 규정등이 제정되어 현재까지도 과학적인 시스템 개발이 이루어 지고 있는 실정이다.

따라서 각종 구조물에 대한 종합관리 시스템이 체계화되어 정확한 기술진단 결과에 의거 보수·보강, 혹은 재설치 등 과학적인 기술에 근거를 하여 효율적인 유지관리가 행하여 지고 있다.

그러나, 국내에서는 1970년대 후반부터 교량에 대한 기초적이고 부분적인 안전점검을 실시하였으나, 현재에 이르기 까지 기술적인면, 경제적인면 등 안전성에 대한 제반 인식 부족 등 체계적이고 일관성 있게 추진 되어 오지 못한 실정이다.

또한, 학계나 연구계에서도 많은 연구가 진행되고 있긴 하지만 실내 시험에 의한 연구개발에 불과한 프로젝트 수행에 지나지 않았으며, 실제 현장 적용에는 한계가 있다.

따라서 사회적인 여건과 인식이 변화되고 중요성이 제고되고 있는 현실에 국내 진단장비의 개발 보급과 전문기술 인력의 양성이 시급한 상황이다.

이런 취약한 상황에서 현재 토목구조물에 대한 비파괴시험에 의한 콘크리트 구조물의 품질상태를 검사하는 시험법의 종류 및 특성, 결과치의 활용성에 대하여 객관적인 측면에서 간략히 열거하여 보겠다.

비파괴 시험법으로 ○반발경도법 ○초음파탐사법 ○충격파법 ○조합법 ○방사선투과법 ○AE (Accoustic Emissin)법 ○lager holograph법 ○적외선법 ○전자파 레이다법 ○사진촬영법 ○전자유도법 ○자연전위법 ○전자파 레이다 탐사법 및 국부 파괴법의 여러 종류가 있으나, 대부분이 외국의 공법에 의존하고 있으며, 실제 활용성에 대한 신뢰도나 보급 등 실용화에 있어서는 많은 연구 개발이 이루어져야 할 것이다.

3. 기술 진단의 전망과 과제

콘크리트 및 강재구조 등 토목구조물이 설치된지는 100여년 이상이 경과 되었고, 세계 각국에서도 대형사고가 빈번히 발생되고 있을 뿐만 아니라 국내에서도 구조물의 안전사고가 빈번히 발생되고 있어 사고 예방과 대책, 기술진단 기법 및 진단장비의 개발 등 과제가 산적해 있는 실정이다.

특히, 국내의 경우 60년대에서 70년대에 급속한 경제개발, 사회여건의 다변화에 따라 각종 시설물의 건설기술이 미흡하면서 다양하고 급속히 개발되어 시설물의 안전도에 대한 중요성이 크게 대두되고 있다.

'94년도말 교량의 점검 현황에 대해서 간략히 언

급해 보면, 총 11,660개소중 '60년대 이전에 가설된 것이 1,040개, '60년대 2,000개, '70년대 2,700개, '80년대 3,900개, '90년대 이후 2,000개에 달하며, 이중 25%에 해당하는 2,940여개가 노후위험 교량으로서

Table 1. Results of regression analysis for relationship between concrete core compressive strength and rebound number

Structures location		Prediction equations	Derived coefficients			Root mean square error
			a ₀	a ₁	a ₂	
Inland structures		$F_c' = a_0 + a_1 R$	53.330	2.347	-	26.57
		$F_c' = a_0 + a_1 R + a_2 R^2$	-67.652	10.452	-0.130	26.34
		$F_c' = a_0 + a_1(a_2)R$	62.102	2.501	0.994	26.13
Seacoast structures	land side	$F_c' = a_0 + a_1 R$	-21.859	4.490	-	19.30
		$F_c' = a_0 + a_1 R + a_2 R^2$	190.822	-5.546	0.111	24.98
		$F_c' = a_0 + a_1(a_2)R$	26.278	3.513	0.997	24.95
	Sea side	$F_c' = a_0 + a_1 R$	68.275	2.171	-	22.47
		$F_c' = a_0 + a_1 R + a_2 R^2$	51.430	3.201	-0.017	26.27
		$F_c' = a_0 + a_1(a_2)R$	72.871	1.979	1.000	26.31

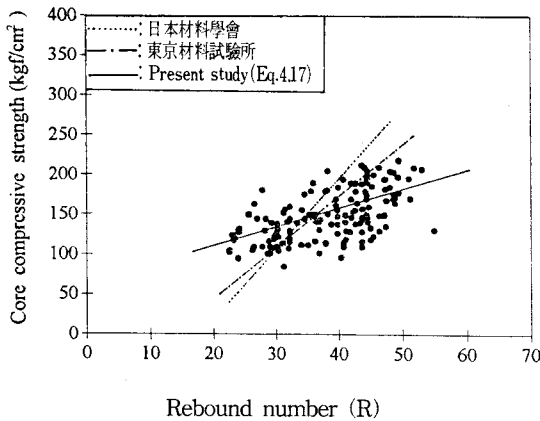


Fig. 1. Relationship between concrete core compressive strength and rebound number of inland structures.

陸地 構造物: $F_c' = 53.33 + 2.347 R$

海岸 構造物

- 육지측: $F_c' = -21.859 + 4.490 R$

- 바다측: $F_c' = 68.275 + 2.171 R$

Table 2. Results of regression analysis for relationship between concrete compressive strength and ultrasonic velocity

Structures location		Prediction equations	Derived coefficients			Root mean square error
			a ₀	a ₁	a ₂	
Inland structures		$F_c' = a_0 + a_1 V_s$	-42.268	0.050	-	22.89
		$F_c' = a_0 + a_1 V_s + a_2 V_s^2$	173.133	-0.081	0.0	22.80
		$F_c' = a_0 V_s^{a_1}$	0.0037	1.289	-	0.166
		$F_c' = a_0 + a_1(a_2) V_s$	-20.662	0.053	0.995	20.36
Seacoast structures	Land side	$F_c' = a_0 + a_1 V_s$	-53.173	0.062	-	19.21
		$F_c' = a_0 + a_1 V_s + a_2 V_s^2$	340.980	-0.170	0.0	24.58
		$F_c' = a_0 V_s^{a_1}$	0.821	0.644	-	0.187
	Sea side	$F_c' = a_0 + a_1(a_2) V_s$	37.686	0.038	0.998	26.79
		$F_c' = a_0 + a_1 V_s$	37.462	0.033	-	25.19
		$F_c' = a_0 + a_1 V_s + a_2 V_s^2$	392.349	-0.179	0.0	28.95
	$F_c' = a_0 V_s^{a_1}$	32.655	0.184	-	0.205	
	$F_c' = a_0 + a_1(a_2) V_s$	118.016	0.005	1.014	29.67	

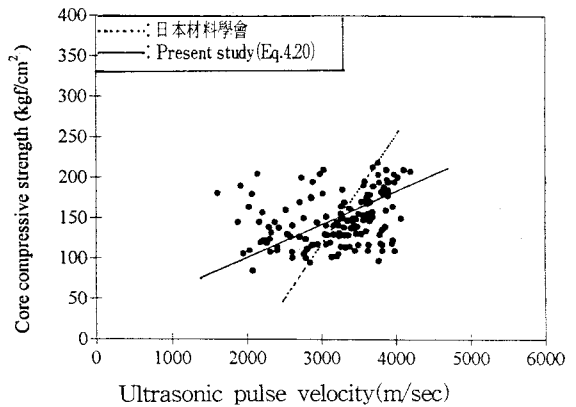


Fig. 2. Relationship between concrete core compressive strength and ultrasonic velocity of inland structures.

陸地 構造物: $F_c' = -42.268 + 0.050 V_s$

海岸 構造物

- 육지측: $F_c' = -53.173 + 0.062 V_s$

- 바다측: $F_c' = 37.462 + 0.033 V_s$

보수·보강 혹은 개축대상 교량으로 되어 있다. 또한 정부의 건설교통부와 내무부 산하 교량관리 인원은 총 2,100여명에 불과한 정도이다.

따라서, 우리 실정에 적합한 안전진단 기술개발, 장비 개발 전문인력 및 종사자의 양적 질적 육성등

Table. 3. Results of regression analysis for relationship between concrete compressive strength and combined tests

Structures location	Prediction equations	Derived coefficients							Root mean square error
		a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	
Inland structures	$F_c' = a_0 + a_1R + a_2V_s$	58.085	1.758	0.005	-	-	-	-	28.10
	$F_c' = a_0 + a_1R + a_2V_s + a_3R^2 + a_4V_s^2$	156.577	4.395	-0.089	-0.037	0.0	-	-	28.71
	$F_c' = a_0 + a_1(a_5)R + a_2V_s + a_3(a_6)R^2 + a_4V_s^2$	207.182	2.978	-0.075	0.012	0.0	0.866	1.008	25.47
Land side Seamast structures	$F_c' = a_0 + a_1R + a_2V_s$	15.736	2.129	0.016	-	-	-	-	24.58
	$F_c' = a_0 + a_1R + a_2V_s + a_3R^2 + a_4V_s^2$	287.754	-2.428	-0.110	0.053	0.0	-	-	23.62
	$F_c' = a_0 + a_1(a_5)R + a_2V_s + a_3(a_6)R^2 + a_4V_s^2$	168.851	1.790	-0.084	0.021	0.0	1.000	0.956	22.60
Sea side structures	$F_c' = a_0 + a_1R + a_2V_s$	89.971	2.309	-0.009	-	-	-	-	25.97
	$F_c' = a_0 + a_1R + a_2V_s + a_3R^2 + a_4V_s^2$	211.036	2.343	-0.091	-0.004	0.0	-	-	26.01
	$F_c' = a_0 + a_1(a_5)R + a_2V_s + a_3(a_6)R^2 + a_4V_s^2$	217.327	1.667	-0.087	0.047	0.0	1.003	0.862	25.20

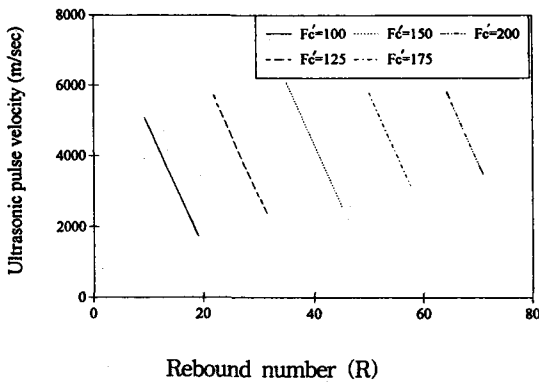


Fig. 3. Relationship between concrete core compressive strength and rebound number and ultrasonic velocity combined tests(inland).

- 陸地 構造物: $F_c' = 58.085 + 1.758R + 0.005 V_s$
 海岸 構造物
 - 육지측: $F_c' = 15.736 + 2.129R + 0.016 V_s$
 - 바다측: $F_c' = 89.971 + 2.309R - 0.009 V_s$

이 시급할 뿐만 아니라, 기본계획의 수립, 설계, 시공, 유지관리 보수·보강공법 개발 등에 이르기까지 과학적인 종합관리 시스템체계가 이루어져야 하겠다.

포괄적인 측면에서 우리나라의 시설물에 대하여 살펴 본다면 16,000여개의 교량, 수만개의 고가교, 터널, 항만시설이며, 수천 Km의 지하철, 철도, 수십만개의 고층건물, 아파트, 댐 등 안전성이 크게 대두될 뿐 아니라, 안전관리, 재해예방 차원에서 안전진단을 실시하여야 한다고 할 때 이에 따른 기술개발, 장비개발, 전문인력 양성 등이 절적, 양적으로 시급한 실정이다.

최근 국내에서 발표된 연구논문 중 “비파괴 시험에 의한 기존 콘크리트 구조물의 품질평가”에 대하여 공학적인 측면에서 기존 구조물에 보다 신뢰성 있고 정확하게 활용하고 개발 발전시키는 계기가 될 수 있을까 하여 간단히 언급하겠다.

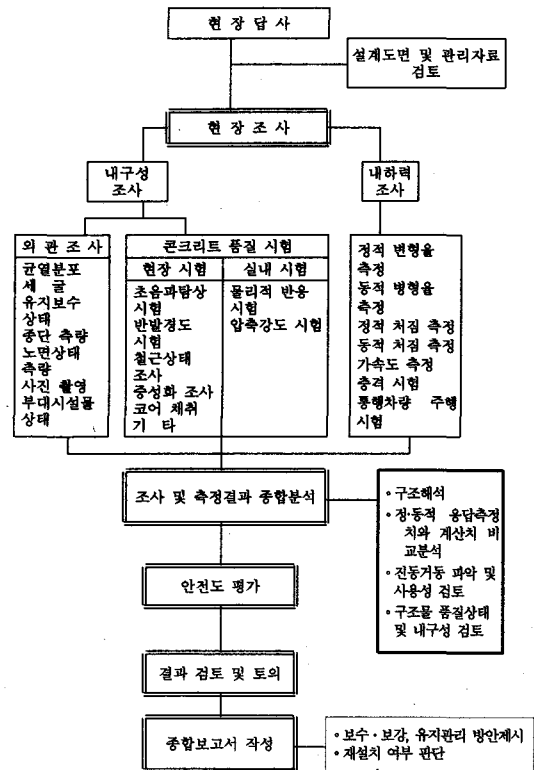


Fig. 4. Flowchart of in-depth inspection

본 연구 논문에서는 1년에서 70년 경과된 약 60여개소의 기존 토목 구조물에서 반발경도, 초음파 속도, 반발경도와 초음파 속도와의 조합과 코어 (core) 압축강도와 상관관계를 정립하여 콘크리트

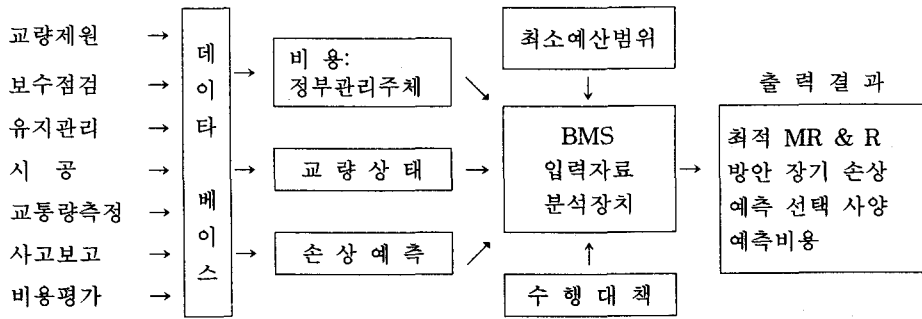


Fig. 5. Outline of database bridge management system.

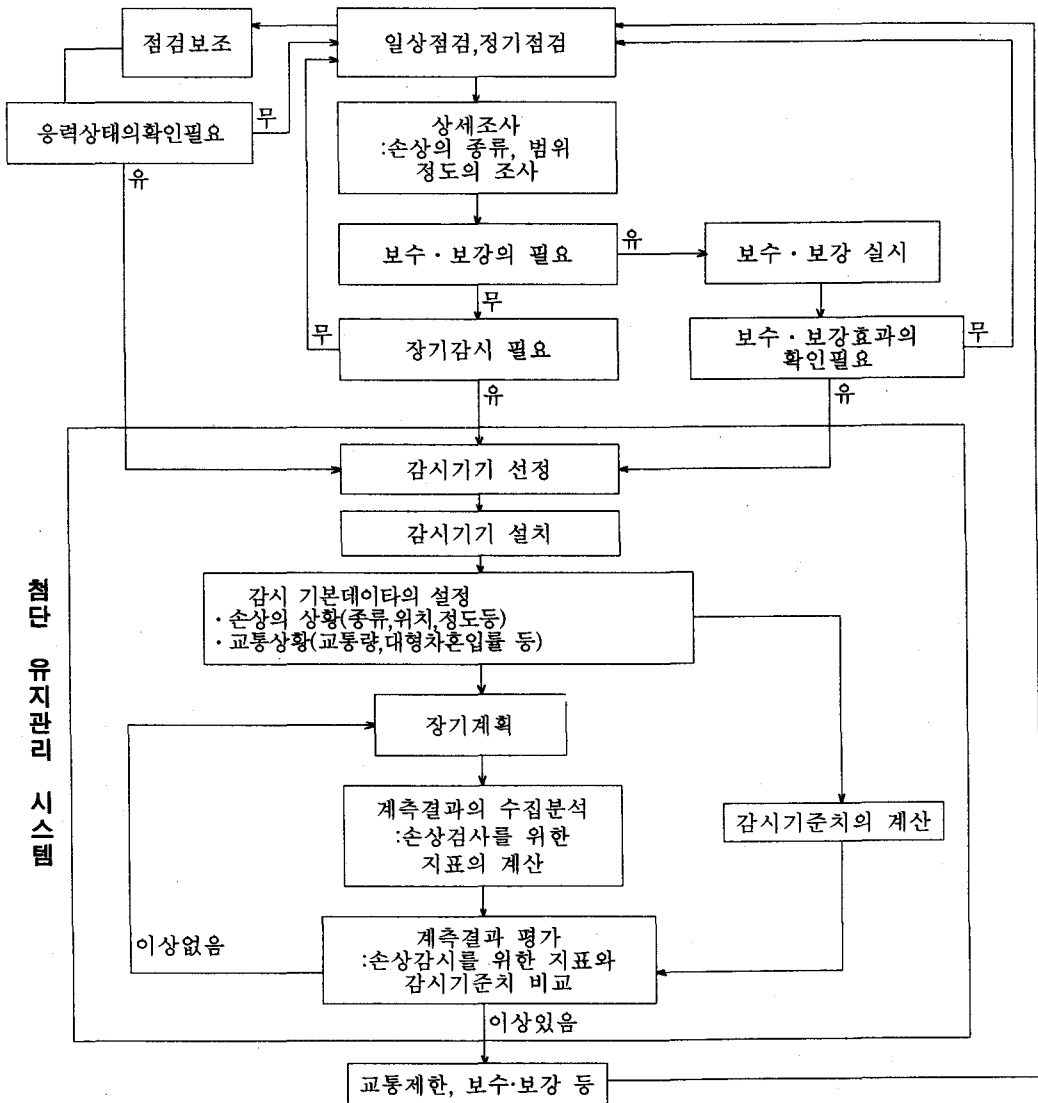


Fig. 6. Advanced maintenance system.

트 품질을 대표하여 압축강도를 비파괴적으로 추정하는 공식이 Table 1, Table 2, Table 3과 같이 발표되어 있다. 따라서 비파괴 시험에 의한 콘크리트의 강도뿐만 아니라 각종 열화현상에 의한 성능저하 원인 및 정도를 비파괴적으로 정확하고 효율적으로 추정할 수 있는 기법 및 장비의 개발 또한 중요하다고 하겠다.

이러한 제반 사항들을 관·산·학·연의 총체적으로 지혜를 모아 국내외적으로 수많은 구조물에 대한 안전관리 측면에서 종합적인 체계구축 및 신기술 개발에 인식을 함께하여야 할 것이다.

Fig. 4, 5, 6은 구조물의 안전진단의 흐름과 유지관리의 체계에 대하여 간단히 언급하였다.

4. 맺음 말

선진국에서는 안전에 대하여 중요성을 인식하고 국가정책사업으로 안전진단 기술개발, 운영 및 제도 정비 등에 심혈을 기울이고 있다.

그러나 국내의 현황은 아직도 일부 기술에만 편중되어 있는 실정으로서, 주요 사회기간 시설물이 파괴될 경우 국민의 생명과 재산에의 위험은 물론, 정상적인 국민 경제에도 막대한 지장을 초래하게 되므로 관·산·학·연에서는 이러한 중요성을 인식하여 시급한 문제점 해결 방법을 연구개발하여 시급히 보급하여야 할 것으로 사료된다.

첫째, 외국의 기술에만 의존하지 않고 기존시설물의 품질상태를 비파괴적으로 정확하게 조사 평가할 수 있는 기법 및 장비의 개발로 현장에서 간편하고 효율적으로 적용할 수 있어야 하겠다.

둘째, 신기술 경쟁력 제고, 기술정보 체계 및 전문가 시스템이 구축되어 21세기에 대처하는 기술력의 확보 및 전문인력 양성

셋째, 관·산·학·연 공동연구개발 체계 확립 및 종합관리를 위한 DB구축으로 구조물의 기술진단 및 안전관리의 정착과 지속적인 연구개발제도 확립으로 안전문화 조기정착이 시급하다.

참고 문헌

1. 건설부, "교량관리 전산화", (1990)
2. 건설부, "교량관리 전산화 조사기입 지침서", (1990)
3. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조물의 비파괴 검사 및 안전진단", 한국콘크리트학회, 제2회 기술강좌, (1993)
4. 한국콘크리트학회, "콘크리트구조물의 진단, 보강 및 유지관리", 한국콘크리트학회, (1995)
5. 건설교통부, "교량관리 체계개선", (1995)
6. 김영의, "비파괴시험에 의한 기존 콘크리트구조물의 압축강도 추정", 충북대학교 박사학위 논문, (1995)
7. Bridge Inspectional Manual-82, "New York State of Department of Transportation", (Aug. 1982)
8. AASHTO, "Manual for Maintenance", Washington, D.C., (1994)
9. ASSHTO, "Manual for Condition Evaluation of Bridges", Washington, D.C., (1994)