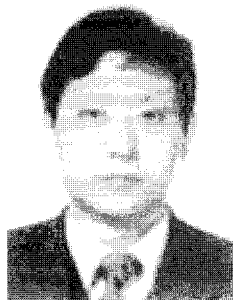


교량 상판 하부 안전점검 로봇개발

-건교부 연구과제명교량 외관조사 자동화 시스템 실용화 연구-

남순성, 이제이텍 대표



1. 개요

본 시스템은 육안 검사시 많은 비용과 위험성을 수반하는 교량 상판 하부의 외관조사 방법을 개선하기 위하여 개발되었으며 상하/좌우 위치제어가 가능한 카메라를 유/무선 탐사로봇에 장착하고 탐사로봇을 교량하부에 설치된 강선 또는 레일을 따라 원하는 위치로 제어하고 유/무선으로 실시간 모니터링을 수행함으로써 교량 상판 하부 외관조사를 자동으로 수행하는 구조로 되어 있다.

1.1 개발 배경

도로를 통과하는 차량하중 및 통행량의 증가로 인해 발생하는 하중효과는 교량에 급격한 손상을 유발시키기 때문에 교량의 유지관리 측면에서 심각한 문제로 대두되고 있어서 준공 단계부터 구조물의 유지관리에 대하여 관심을 기울이지 않으면 공용기간 중 만족할 만한 기능의 유지 및 확보는 불가능하다. 또한, 공용 중에 균열이나 변형 등과 같은 열화손상을 조기에 발견하여 기능상의 장애나 사고를 미연에 방지하기 위해서는 정기적인 점검을 통하여 유지관리를 실시해야 한다. 그러나, 지금까지 건설기술 개발은 설계 및 시공기술의 개발에 역점을 두어왔기 때문에 기존 구조물의 유지관리에 대한 관심도가 상대적으로 낮아 이에 대한 기술개발이 설계 및 시공기술에 비하여 낙후된 실정이며, 강구조물 뿐만 아니라 내구성이 반영구적인 콘크리트 구조물에서도 다양한 열화손상 요인에 의해서 각종 구조성능 저하 현상들이 빈번히 발생하고 있어 이에 대한 대책으로 구조물 유지관리에 대한 새로운 인식의 전환이 절실히 요구되고 있다. 따라서, 교량의 유지관리 업무를 경제적으로 수행하기 위해서는 유지관리의 과학화와 체계화가 중요하며, 현재 발달하고 있는 컴퓨터, 측정 계측장비, 구조 안전성 평가기법, 보수 보강공법 등을 바

탕으로 하여 향후에는 하나의 의사결정과 정에서 해결할 수 있는 합리적인 유지관리체계의 도입 및 운영이 불가피하다고 판단된다.

본 연구는 현재 굴절차 또는 점검차에 직접 교량진단 기술자가 탑승하여 육안에 의해 점검하는 시스템을 작은 카메라가 부착된 로봇으로 대체함으로써 점검인력 및 안전성을 대폭 개선하는 한편, 점검차에 따라 주관적인 결과가 나오는 것을 정량적인 자료를 제공하여 정확하고 안정적이며 경제적인 점검을 하기위한 것이다. 또한 장비가 소규모화 되므로 점검차로 인한 교통통제의 필요성을 제거하는 부수적인 효과도 기대하고 있다.

1.2 국내외 기술동향

1.2.1 국내 기술동향

국내에서는 1991~1995년 사이에 삼풍백화점, 청주 우암상가아파트, 성수대교, 팔당대교, 행주대교, 창선대교, 대구지하철 및 아현동 폭발사고 등의 연쇄적인 대형사고 이후 시설물 안전관리에 관한 특별법이 제정되면서 시설물의 유지관리에 관한 관심이 고조되었다.

교량 유지관리를 위하여 국내에서는 한국도로공사와 한국건설기술연구원이 공동으로 1987~1989년까지 3년에 걸쳐 처음으로 교량 유지관리 시스템을 개발하였으나, 전산시스템이 너무 급속하게 발전하고, 별도의 전담팀이 가동되지 못한 이유로 제대로 활성화되지 못했다. 그 이후에 이러한 시스템 개발의 경험을 살려 한국건설기술연구원이 건설교통부의 지원 아래 1990~1995년까지 KOBMS라는 시스템을 개발 완료하여 각 지방국토관리청에 보급하여 시험운용 중에 있으며, 현재 3개년에 걸쳐서 성능개선 작업이 이루어지고 있다. KOBMS의 주요 모듈로는 일반국도상의 교량 약 2,700개의 자료 데이터베이스, 보수 보강 공법 데이터베이스, 교량현황조사 발간 프로그램 모듈, 계산

내하력 산정프로그램, 의사결정 시스템 등으로 구성되어 있다.

또한, 최근 들어 교통량의 급속한 증가와 사회발전에 따른 산업물량 및 여객의 원활한 수송을 위해 교량의 건설이 증가하고 있으며, 세계적으로도 이러한 필요에 의해 연육교와 같은 장대교량의 건설이 크게 증가하고 있다. 현재 국내 최장 사장교인 서해대교, 세계 최초의 3차원 자정식 현수교인 영종대교와 국내에서 가장 긴 타정식 현수교인 광안대교가 완공 후 개통되었다. 이와 같은 특수교량의 거동 파악 및 적절한 유지관리를 위하여 자동화 계측을 수행하는 등 교량에 따라 적절한 형태의 BMS(Bridge Management System)를 구축, 운영하고 있으며, 시행이 계획 중인 교량에 대해서도 BMS의 구축을 계획하고 있다.

반면, 교량의 유지관리 및 점검을 위하여 근간이 되는 교량외관 조사의 경우 검사장비의 부족과 검사결과의 비정량화로 인하여 현재까지도 인력에 의한 수동적 측정이 이루어지고 있다. 이와 같이 육안 점검을 하는 경우, 위험하고 접근성이 떨어짐에 따라 객관적인 데이터를 얻을 수 없고, 이에 따라 교량 결함 자료 데이터베이스를 구축하는 데에도 문제가 되고 있는 실정이다.

1.2.2 국외 기술동향

미국 내에서는 교량 유지관리를 고려하기 위한 여러 의문들이 일찍이 포장분야에서 제기되었다. 그리고 이에 대한 반응들은 포장유지관리시스템(PMS, Pavement Management System)으로의 발전을 가져왔다. PMS의 유사한 기술을 받아들이며, 경제, 공학, 시스템 엔지니어링, 계획기술, 교량의 자원에 대한 유지관리의 최적화를 포함하여 1989~1995년 미연방도로국, 캘리포니아 외 5개 주, Cambridge Systematics 등의 민간개발업체가 합동으로 교량 유지관리 시스템인

PONTIS를 개발하였다. PONTIS는 교량의 최상의 상태 유지, 교량 이용자들의 불편에 따른 지연 경비의 최소화, 장기적인 교량 유지관리 비용의 최소화, 주요 구조부재들의 점검과 보수필요도 정리 등을 목적으로 하고 있다.

캐나다에서는 미국과 마찬가지로 각 주 별로 독특한 특색을 갖고 교량에 대한 유지관리가 진행되고 있다. 온타리오주는 구조물의 안전을 보장하고 유지관리 및 보강의 우선 순위를 결정하며, 이러한 활동에 대한 예산을 최적으로 편성하기 위한 논리적인 의사결정을 수행할 수 있는 교량유지관리 시스템을 개발, 사용 중에 있다.

덴마크는 오랜 기간 동안 교량의 노후화에 따른 대비 및 점검을 수행해 오면서, 공학적인 판단이 보다 중요한 교량유지관리의 요소로 인식되어 왔으며, 이에 대한 정기적인 점검 등을 통한 보수 및 보강이 비교적 체계적으로 수행되어 왔다. DANBRO로 불리는 PC 중심의 EDP 시스템은 덴마크의 도로 및 철도교의 관리를 위한 수단으로 1987년 이래 개발되어 왔다. DANBRO는 크게 교량대상 모듈, 일상점검 모듈, 유지관리 모듈, 가격 목록 모듈, 우선 순위들의 최적화, 예산 및 회계 모듈, 장기예산 모듈 및 사진 및 도면에 대한 데이터베이스 등으로 구성되어 있다.

상기에서 본 바와 같이 각 나라마다 교량 유지관리를 위하여 각 교량의 특성에 적합한 교량 유지관리 시스템을 개발, 운영하고 있다. 교량 유지관리 시스템은 크게 교량의 결함 상태 파악, 보수 보강의 우선 순위 확정, 보수 보강시 소요되는 예산 결정 등을 자동화함으로써 교량 유지관리의 효율화를 도모하고 있다. 그러나, 교량의 결함 상태 파악의 기본이 되는 외관조사는 현재 육안조사로 대체하고 있는 실정이다.

현재 대표적인 화상 계측 시스템으로는 포장 유지관리 시스템의 일환으로 개발 및 상용화된 ARAN(Automatic Road Analyzer) 및 터널 라이닝 조사를 할 수 있는 TS 360 등이 있다. ARAN의 조사기능에는 포장 균열 길이 및 폭, 러팅(rutting) 깊이 및 평탄성(International Roughness Index; IRI) 등의 노면 상태 조사 기능, 조사 구간의 전경을 비디오로 기록하고 이를 이용하여 도로 시설물 관리 자료를 재편집할 수 있는 기능(Surveyor), 위성 측위 시스템을 이용하여 기록되는 모든 데이터의 절대 위치 좌표를 획득할 수 있는 기능(GPS system), 관성 항법 장치(Gyro System)를 이용하여 도로 기하 구조를 조사할 수 있는 기능이 있으며, 이 모든 기능들이 차량 내부에 하나의 시스템으로 탑재되어 있기 때문에 포장 유지관리를 위해 육안으로 검사하는 것을 비디오 이미지의 통계적 분석을 통하여 경제적으로 수행하고 있고, 국내에도 한국도로공사 및 한국건설기술연구원에서 보유, 운영하고 있다.

TS 360은 스위스 Amberg Measuring Technique에서 개발한 것으로 터널 내에 설치된 모든 설비에 대한 설비배치도를 만들 수 있고, 가시영상과 적외선 열화상을 기록하며, 누수, 균열 및 공극 등의 결함지도를 작성하여 결함의 진행상태를 주기적으로 검사할 수 있다.

1.3 향후 전망

교량 구조물의 경우 검사 부위가 넓고 접근성 및 안전성이 떨어지는 부위가 많다. 이러한 구조물의 특성은 육안 검사자의 행동양식에 많은 영향을 주며, 이로 인해 검사의 오류 및 누락 가능성이 매우 높다. 이러한 문제점 해결과 육안 검사자의 안전성 보장을 위하여 구조물 시각검사의 기계화 요구가 증대된다. 본 연구는 상기와 같은 문제점을 극복하기 위함이고, 대

부분의 교량에 적용 가능하며 특히 다음과 같은 교량에 적용하면 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 전망된다.

- 고속철도 교량, 영종대교와 같은 연육교, 도심지 주간선도로 교량 및 철도교 등과 같은 운행차량이 빈번하거나 운행을 중단할 수 없는 교량
- PS 콘크리트 교량, 대하천 횡단교량, 해상 횡단 교량과 같은 장대 및 광폭 교량
- 산악지방 통과 교량, 고속철도 교량, 해상 및 수상 교량과 같은 점검 작업원 접근이 어려운 교량

또한 도심지 전력, 통신용 공동구, 고속도로 하부 통과 BOX구조물등 주기적인 점검이 필요한 지하 BOX 구조물의 생력화와 검사의 정확성을 높이는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 로봇 시스템 구성 및 특징

2.1 시스템 구성

본 시스템은 크게 다음의 2가지 시스템의 조합으로 나눌 수 있다.

① 외관조사용 카메라 시스템: 조사용 카메라의 focus와 zoom lens의 조정기구부에 엔코더나 포텐서미터를 설치하고, 대상 균열부에 대하여 카메라의 zoom과

focus를 조정함으로써 focus와 zoom lens의 센서에서 출력되는 전기적 신호를 받아 Micro-processing 기술로 처리하여 구조물의 균열 및 폭을 산정하는 기능을 수행한다.

② 교량 외관조사 시스템: 조사대상 경간 양단의 교각부위에 레일 또는 강선을 교축 방향으로 설치하고, Linear Motion Control System을 설치하고, 그 위에 위치제어가 가능한 카메라를 부착한 후 원하는 지점의 영상을 유선 및 무선으로 전송하여 이를 수신장치인 컴퓨터로 판독하는 기능을 수행한다.

2.2. 구동원리

2축 스칼라 로봇에 상하 및 좌우 회전제어가 가능한 팬 구동부(pan drive)와 틸트 구동부(tilt drive)가 부착된 카메라를 설치하여 교량하부의 상태를 영상으로 유선 또는 무선으로 전송하고, 전송된 영상을 비전 프로그램을 이용하여 영상 처리하는 방식으로 외관검사를 수행하게 된다.

2축 스칼라 로봇은 아래 그림과 같이 직선이송용의 1축 모터와 회전이송용의 2축 모터로 구동하는 것을 기본으로 하며 제어 방식은 유선 또는 무선방식을 택하여 작업자는 현장에서 리모콘을 이용해 원하는 정확한 위치로 신속하게 카메라를 이동시키

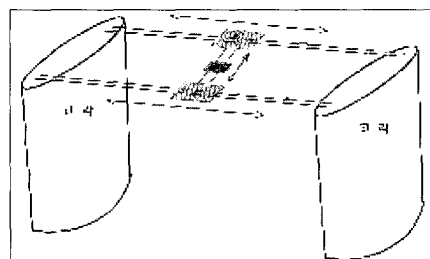
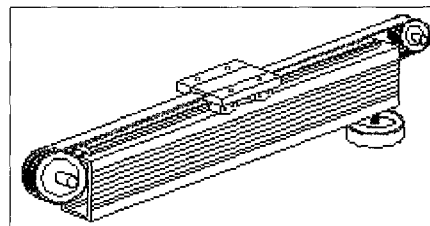


그림2 머신 비전 시스템 및 이송기구부

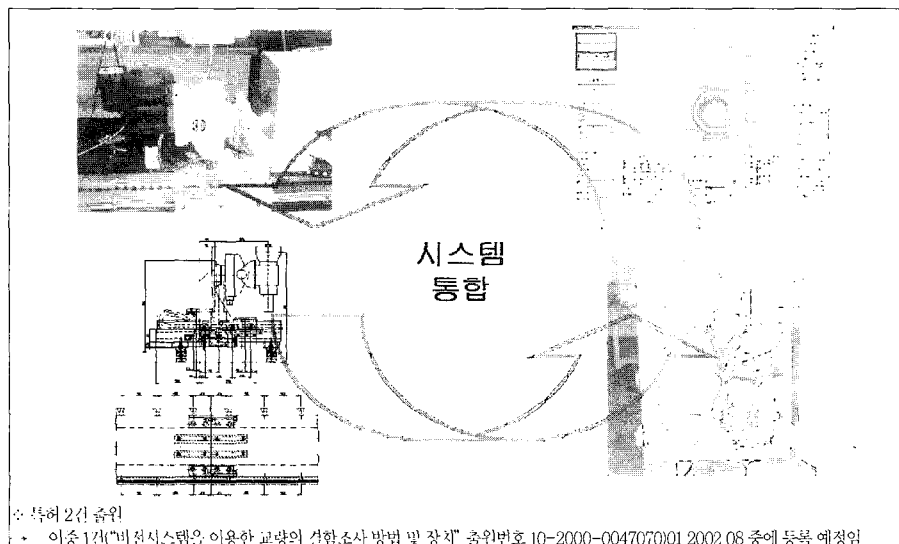
며 작업시간을 단축시킬 수 있게 한다.

카메라 줌 시스템은 고배율 줌렌즈를 채용하고 있으며, 팬 구동부와 틸트 구동부를 이용하여 좌우 360도, 상하 90도 회전이 가능해 교량 하부에서 모든 방향으로의 검사가 가능하다. 또한 카메라 줌 시스템에는 영상 송수신회로가 있어, 촬영한 영상을 모니터링 장치로 사용되는 컴퓨터에 유선 또는 무선으로 전송하고, 전송된 화상은 컴퓨터에 내장된 비전 프로그램에 의하여 영상처리를 거쳐 균열 폭 및 길이를 산정하며, 영상자료는 비디오나 영상파일로 컴퓨터에 저장켜 추후 검사결과와 비교분석이 가능하도록 한다.

균열부의 길이와 폭을 산정하기 위해서 화상 데이터의 1개의 픽셀 크기를 결정해야 하는데, 이는 카메라의 줌과 포커스관련 렌즈를 구동하는 직류모터에 엔코더나 포텐서미터 등의 센서를 달아 두 센서의 출력을 제어기에 전송하여 사전에 보정한 데이터를 이용하여 프로그램 상에서 자동으로 단위 픽셀의 크기를 결정하고 이에 따른 균열의 폭과 길이를 산정하게 한다.

2.3 시스템 특징

머신 비전 시스템(Machine Vision System)은 교량하부 외관조사 자동화시스템의 핵심 부분으로서 다음과 같은 특



◇ 특허 2건 출원
 * 이종 1건(“비전시스템을 이용한 교량의 검출조사 방법 및 장치”, 출원번호 10-2000-0047070)01.2002.08 중에 등록 예정임

그림1 교량 외관조사 자동화 시스템의 개념도

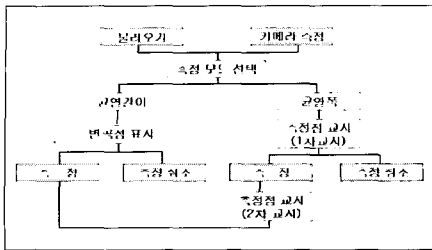


그림3 시스템 프로그램 구성도

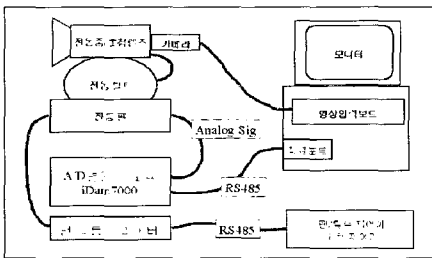


그림4 시스템 구성도

정이 있다.

- Computer Vision System에 의하여 균열의 폭 및 길이를 객관적으로 산정할 수 있다(균열 0.1mm/(2~5m) 측정 가능).
- 리모콘으로 조작함으로써 최대 접근을 실현이 가능하다.
- 측정된 결함 위치를 영상파일로 저장함으로써 결함정보의 객관적인 자료화가 가능하다.
- 작업자는 안전한 위치에서 카메라부를 이송시킴으로써 작업의 안전성을 최대한 확보할 수 있다.
- 현장작업 인력을 최소화하여 경제성을 제고할 수 있다.

3. 기대효과

3.1 기술적 측면

고도의 산업사회를 맞이하여 대부분의 생산시설이 자동화되어 가는 추세에 있는데 반하여 건설업의 생산품은 다종다양하여 건설자재 및 구조물의 규격화, 공장 생산화가 어려운 점 등의 특성 때문에 직접, 간접적으로 자동화의 기술개발에 많은 제약이 받아 자동화 추진이 늦어지고 있는

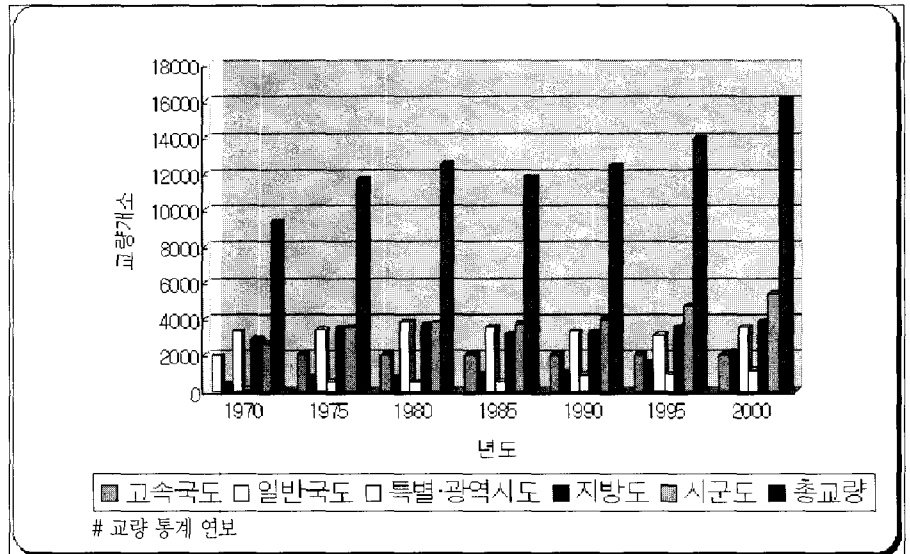


그림5 연도별 교량 현황

것으로 보인다. 그러나 자동화 기술은 생산성 향상 등의 직접적인 효과뿐만 아니라, 작업환경의 개선, 위험한 작업으로부터의 보호 등과 같은 사회적인 측면의 간접효과 때문에 그 필요성은 더욱 높은 것으로 판단된다. 본 연구개발로 인하여 기대되는 기술적 파급효과는 다음과 같다.

① 첨단 산업의 육성: 산업 자동화기술의 집합체인 종합 시스템으로 PLC 콘트롤 제어 시스템, Linear Motion Control System, Computer Vision System 등을 기반으로 하며, 자동화 요소 기술인 인버터, 엔코더, 포텐서미터 등의 센서 기술 산업과 같은 첨단산업을 육성한다.

② 교량관리 데이터베이스 구축: 본 연구는 Computer Vision System을 이용하여 교량의 결함 부분을 이미지 파일로 저장하고, 이를 자료화하여 교량의 이력 관리 데이터베이스를 효율적으로 구축할 수 있도록 한다.

③ 건설분야 자동화(로봇)기술 활성화: 본 연구는 교량의 유지관리 업무 중 외관 조사의 자동화 업무를 대체할 수 있는 국한된 기술이지만, 본 요소기술을 시공로봇, 보수 보강 건설로봇에 접목하여 건설현장의 위험요인을 최소화하며, 건설현장의 자동화 기술 적용을 활성화한다.

④ 노하우 이용기회 확대: 본 연구는 Digital Image Processing을 요소기술로 하는 Computer Vision System으로 터널 내부의 상태조사, LNG 탱크 내부 검사 등과 같은 구조물의 외관조사를 수행하는데 본 기술의 노하우 이용기회를 확대한다.

⑤ 건설현장의 안전문화 정착: 외관조사를 육안점검에서 자동화(로봇)기술로 대체함으로써 효율성 향상 등의 직접적인 효과뿐만 아니라 작업환경의 개선, 위험작업으로부터의 보호 등과 같은 사회적인 간접효과 등을 들 수 있으며, 건설현장의 안전 시스템의 도입으로 안전 문화를 정착한다.

3.2 경제·산업적 측면

교량 구조물은 교량소통을 용이하게 하고, 불가능한 지역의 통행을 가능하게 하는 중요한 사회간접시설로서 1970년 이래로 계속하여 증가추세에 있다. 현재 (2000년 기준) 교량개소는 16,117개, 총연장 1,188,770m이며, 1970년 이래로 6,800여개, 830km가 증가되었다. 연도별 교량현황은 그림 5와 같다.

교량 구조물은 일단 건설되면 열화부위를 간단히 교체할 수 없기 때문에 구조물

표1 교량 보수비 집행 현황

단위 : 백만원

연도	일반국도		고속도로		총 계	
	개소	비용	개소	비용	개소	비용
1988	274	6,757	153	5,318	428	12,075
1989	204	10,712	244	7,896	448	18,068
1990	202	10,712	224	6,332	426	17,044
1991	284	11,182	233	10,325	517	21,507
1992	195	13,329	240	17,364	435	30,693
1993	558	11,157	1,177	16,647	1,735	27,804
1994	843	57,376	1,232	19,483	2,075	76,859
1995	11,157	120,345	-	-	-	-
1996	1,044	129,971	650	56,592	1,694	186,563
1997	2,001	141,088	1,450	44,061	3,451	185,149
1998	1,080	139,934	1,968	48,526	3,048	188,460
1999	11,020	134,189	1,375	42,096	12,395	176,285

표 2 이동식 점검차와 교량 외관조사 자동화 시스템의 비교

구 분		이동식 점검차(A)	교량 외관조사 자동화 시스템(B)	대 비 (B/A)
초기 투자 비용	레일시공	310,000,000	250,000,000	81%
	점검대차	238,000,000	200,000,000	84%
	총 계	548,000,000	450,000,000	82%
점검인력 (man · day) (고급기술자)	외 업	28	16	57%
	내 업	6	4	67%
	총 계	34	20	59%

주) 교량 외관조사 시스템의 경우 필요에 따라 굴절차를 대어하여 작업해야 한다.

의 유지관리를 위한 주기적인 점검 및 진단은 대단히 중요하며, 효율적인 유지관리라는 측면에서도 기존 구조물의 정기적인 점검 및 진단을 실시하여 교량의 결함 부위를 조기에 발견하여 보수 보강함으로써 교량의 수명연장을 도모할 수 있다. 현재 유지관리에 좀 더 관심을 기울여야 할 10년 이상 된 교량도 12,000여개가 존재하며, 최근 10여 년간 교량 유지관리를 위한 일반국도 및 고속국도 보수 현황을 보면 표 1과 같다.

표 1에서 보는 바와 같이 1999년 총 교량 보수비는 1,760여억 원에 이르며, 이것은 1988년에 비하여 14.6배 증가하였다. 이와 같은 추세는 교량의 증가와 교량의 연령이 증가함에 따라 더욱 더 가속될

것으로 사료된다.

본 연구는 교량의 점검 및 진단의 기본이 되는 육안조사를 교량하부에 외관조사 자동화 시스템을 설치하여 대체함으로써 교량의 일상점검을 용이하도록 함은 물론 교량의 열화부분을 조기에 파악하고, 데이터베이스를 구축하는데 기본적 자료를 제공하고, 보수 보강 시기를 산정하는 데에 기여한다. 따라서, 현재의 보수 보강 비용을 상당히 절감할 수 있을 것으로 기대된다. Steel Box 교량으로 왕복 6차로 500m 구간을 예를 들어 기존에 사용되고 있는 이동식 점검차와 외관조사 자동화 시스템을 적용하여 정기 점검을 수행할 때 필요한 인력 및 초기투자 비용을 개략적으로 비교하면 표 2와 같다.

4. 참고문헌

- 1) 교량 점검 편람, 한국건설기술연구원, 1999.11
- 2) 교량 유지관리 시스템 개발 및 운용에 관한 연구, 한국도로공사, 1999
- 3) 구조물 안전진단 및 성능평가 시스템 개발, 한국도로공사, 1998
- 4) 이성원, 터널의 외관조사를 위한 터널 스캐닝 시스템, 건설기술정보, 1998.6
- 5) 교량계측 모니터링 시스템의 중앙통합 운영 체계 구축, 한국도로공사, 1999
- 6) 건설교통통계연보, 통계청
- 7) 시설물 안전관리에 관한 특별법, 건설교통부, 1995.1
- 8) 구조물 안전 계측 및 수명평가 Workshop, 한국표준과학연구원, 1999.1
- 9) 서보모터 제어이론과 실습, 아경산업 자동화연구소, 도서출판 성안당, 2001.
- 10) Smith, J. I., Modern Operational Circuit Design, John Wiley & Sons, Inc., New York (1971)
- 11) Data Translation Product Handbook, Vol. 2, ,2000
- 12) Jain, A.K., Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall, 1982.
- 13) Bollinger, J. G., Computer Control of Machines and Process, Addison Wesley Co., Inc., 1990
- 14) 2001 건설기술연구개발사업(연구과제명: 교량 외관조사 자동화 시스템 실용화 연구) 사업설명서, 이제이텍, 2003.