

사장교 및 현수교의 유지관리

황 윤 국* 김 정 호**

1. 머릿말

통계조사에 의하면 약 40년 사용시점에서 교량을 철거한 사례가 많다. 그 이유는 교통량의 포화 상태 등 외적인 조건의 변화에 의한 기능부족이 많으며, 시간이 경과함에 따라 자연 노후화하여 손상되거나 변상되어 철거한 사례는 그다지 많지 않다. 따라서 구조물 특히 강구조물의 공용년수(내용년수, 수명)는 재무상 등의 특별한 경우를 제외하고, 일반적으로 정해져 있는 것이 아니라고 말할 수 있다.

반영구적이라고 할 수 있는 구조물도 공용기간 중에 유지관리를 하지 않고는 제기능보전과 구조물의 축조 목적을 달성할 수 없으며, 필연적으로 현실적인 문제 즉, 예상량을 훨씬 초과하는 교통량 증가, 차량의 중량화 그리고 설계시점에서 고려되어지지 못한 큰 2차응력의 발생, 해안 또는 해상에 위치한 경우와 같이 혹심한 환경조건 혹은 계획·설계·시공의 각단계에서 실수나 착오 등에 의해 노후화를 피할 수 없다.

그림 1은 구조물 혹은 구성부재 어느 하나의 고유한계상태(강도, 변형, 강성, 고유진동수 등)가 공용년수의 경과에 따라 변화하고 시의 적절한 보수·보강에 의해 목표내용년수가 연장되는 모양을 도식적으로 나타낸 것이다. 종축에 표시한 고유한계상태란 구조물의 종국한계상태, 혹은 사용한계상태 등에 대해 구조물이 갖는 기능을 나타내

는 척도이다.

여기서 보수·보강은 다음과 같이 정의한다.

- 보수는 원상태로 복구하는 것
 - 보강은 원상태보다 나은 고유한계상태를 갖도록 하는 것
- 또 두가지를 병용하여 보수·보강이라고도 한다.

구조물에 요구되는 목표한계상태는 설계기준의 변화, 교통량 증가 및 중량화 등에 따라 설계시보다 높은 수준이 요구되는 수도 있다. 그와 같은 경우 적절한 보수·보강을 행하고 요구수준을 만족시켜 당초의 내용년수를 연장하는 것이 필요하다. 이를 위해 구조물 및 구성부재의 종류, 사용목적, 그리고 목표한계상태에 부응하는 체계적인 점검을 실시하여 손상의 조기발견, 원인규명이나 손상 정도의 평가와 판정 및 그 결과에 기초한 적절한 보수·보강을 행하므로써 구조물의 당초수명을 확보하기도 하고 연장시키기도 한다.

유지관리에는 위와 같은 작업 외에도 점검이나 보수·보강에 관한 데이터의 수집·정리 및 신설 교량의 계획·설계·시공의 각단계에서 얻어진 데이터의 활용 등도 포함된다.

앞에서는 경제성이란 관점에 대해 언급하지 않았지만 실제 관리에 있어서는 신설시 및 전체 공용기간에 걸쳐 경제성에 대한 검토도 간과할 수 없다. 또 제한된 유지관리비를 효과적으로 활용하기 위한 보수·보강의 우선순위 결정도 중요한 사항이다. 이들 모두를 총괄적으로 취급하는 것이 구미에서 주장하는 BMS(Bridge Management System)이다. 그러나 우리나라에서는 BMS의 구

* 한국건설기술연구원 구조연구실 선임연구원
** 한국건설기술연구원 구조연구실 연구원

축을 위해 몇몇 연구가 있었지만 아직 명실상부한 구체화까지는 이르지 못하고 있는 실정이다.

본고에서는 강구조물의 유지관리중에서도 사장교와 현수교의 유지관리에 관한 기술의 현황과 내구성 향상을 목표로 한 향후의 과제를 중심으로 기술하고자 한다.

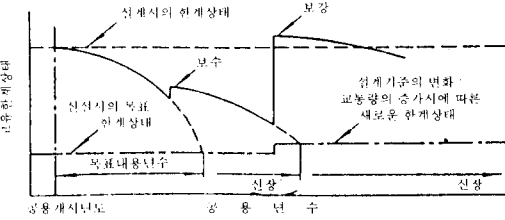
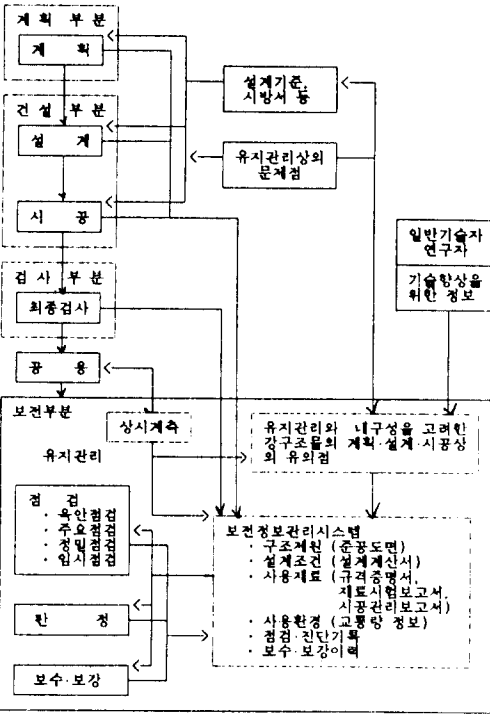


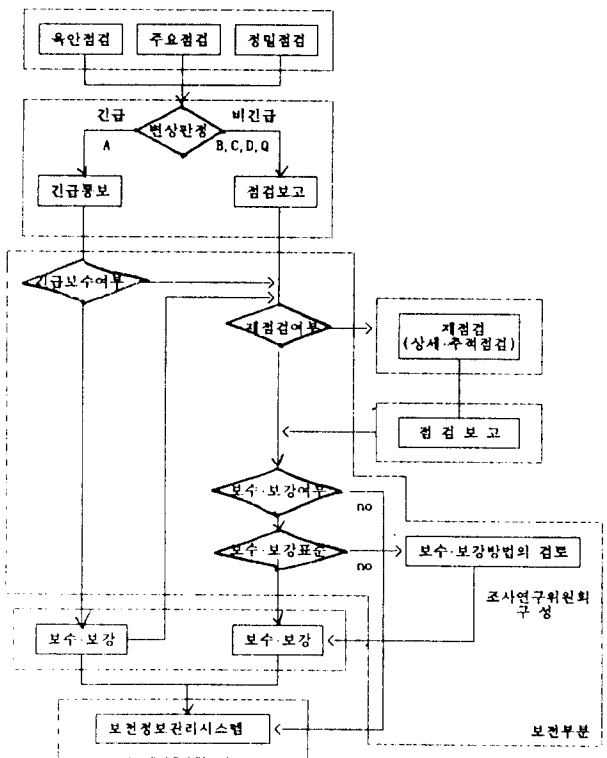
그림 1. 구조물고유의 한계상태 추이

2. 유지관리 체계

2.1 유지관리의 흐름



(a) 전체 흐름



(b) 점검 흐름

그림 2. 유지관리 업무의 흐름

그림 2는 유지관리 업무의 흐름에 대한 개요를 나타낸 것이다. 유지관리 업무는 그림 2(b)의 순서에 따라 점검, 판정, 보수·보강, 데이터의 수집과 정리 및 신설교량에의 정보제공이라는 일련의 작업과정을 거친다. 이하에 유지관리에 있어서의 작업단계별 개요를 설명한다.

2.2 점검

사장교와 현수교에 발생하는 변상은 다양하지만, 여기서는 강조물의 범주에 넣어 다음에 정의하는 변상을 취급한다.

① 손상

외력 등 힘의 작용에 의해 발생하는 것을 말한다.

② 부식

우수나 결로수에 의해 강재에 녹이 발생하여 단면의 결손이 일어나는 현상을 말한다.

③ 열화

주로 자외선, 배기가스 등에 의해 도장의 방식 효과가 시간이 흐름에 따라 저하하는 현상을 말한다.

(1) 육안점검

일반교량은 교면상 및 교면하를 순회하면서 전반적인 손상, 부식, 열화의 발생위치 및 상황의 개요를 파악하기 위해 일상점검을 행하며, 주로 육안관찰 및 차 안에서 감각에 의해 이루어진다. 그러나 사장교와 현수교에서는 교면상·하는 물론 보강형 내부, 주탑, 케이블시스템 및 앵커블럭 등과 같은 특별한 교량구성요소를 갖고 있기 때문에 일상적인 순회만으로는 전반적인 점검이 이루어지지 않으므로 순회의 개념보다 좀더 강화된 점검이 있어야 한다. 즉 점검주기는 4개월에 1회 실시하며, 3회째는 주요점검의 실시로 대체한다.

(2) 주요점검

일반교량의 정기점검에 해당하는 것으로서 육안점검에서 검출하기 어려운 손상, 부식, 열화를 가까이 접근하여 세부까지 조사하여 그 발생위치 및 상황의 상세를 파악하기 위해 실시한다. 점검을 위해 특별히 설치한 점검시설을 충분히 활용하여 주로 육안으로 하지만 두드려보거나 촉감 및 간단한 기구를 사용하여 측정하는 경우도 있

다. 필요하다면 비파괴시험도 실시한다. 점검주기는 1년에 1회로 한다.

(3) 정밀점검

육안점검과 주요점검을 포함하며 안전진단도 정밀점검단계에서 실시한다. 교량의 형상측량과 주요부위의 계측자료를 기초로 하여 해석하게 되면, 손상, 부식, 열화의 판정을 명확히 하고 원인 규명을 통해 보수·보강여부와 방법을 결정하기 위해 실시한다. 점검주기는 5년에 1회 실시하는 것을 원칙으로 하나 (4)의 점검결과에 따라 점검주기에 상관없이 시행될 수 있다.

(4) 이상시 점검, 재점검, 특별점검

자연재해, 인위적 재해 등고 같이 교량에 이상이 있을 정도의 재해 이후에 실시하는 것이 이상시 점검이며, 재점검은 육안점검이나 주요점검시 판단이 곤란한 경우, 또는 5등급(표 3 참조)의 판정기준 등 C등급 이상의 판정을 받은 경우에 점검 이후의 조치를 결정하기 위해 전문가의 참여로 수행된다. 특별점검은 교량에 손상이 가해질 염려가 예측되거나 긴급한 사태가 발생할 경우에 실시한다.

이상의 모든 점검은 표 1 및 표 2와 같은 구분에 의해 구조부재 또는 교량구성요소에 대해 구체적으로 실시된다.

2.3 판정

점검이 행하여진 후 신속하게 손상, 부식, 열화의 정도와 보수·보강의 여부가 표 3에 나타난 기준에 따라 판정된다. 이러한 점검 및 판정결과는 소정의 양식에 의해 기록하며 이를 데이터베이스화 하여 교량전체의 종합판단이 가능하게 된다.

여기서 표 3(a)의 ()내의 것은 그림 1에 나타난 고유한계상태와 목표한계상태의 관계에 따라 판정구분(A, B, C, D, E)를 다시 평가한 시안이다. 이들 판정기준은 각부위, 각부재 및 교량전체의 영향도를 명확하게 하도록 정량적인 평가기준에 따라 정해져야 하겠으나 현단계에서는 정상적인 표현으로 그치는 부분이 많으며 향후 검토되고 연구되어야 할 과제라고 할 수 있다. 그러므로 이러한 문제가 해결될 때까지는 사장교와 현수교에 대한 경험과 지식이 많은 전문가의 도움을 필요로

표 1. 육안점검 및 주요점검의 점검부위와 점검항목

(점검횟수 육안점검 : 년 2회, 주요점검 : 년 1회)

점 검 부 위		점 검 항 목	비 고	
보강형	내부	누수현상, 도막이상, 다이아프램의 변형, 리브등 용접부 균열	균열은 도장의 갈라짐, 내부하단의 쇠파이프를 보고 유무 판정	
	외부 ^{주)}	도막이상, 행거로프 및 센터 스테이 정착부의 녹	보강형 하단은 주요점검시 작업차를 이용하여 반드시 점검	
주탑	외면 ^{주)}	일반부	도막의 노후, 녹	
		용접부	균열(특히 모서리부에 주의)	
		탑기초부	고강도 볼트 부근 너트의 풀림	
	내면	일반부	도막의 노후, 녹, 수분의 응결현상, 물고임	환기불량, 배수불량, 맨홀, 접합부에서의 우수의 침입으로 인한 수분의 응결현상 및 물고임 현상이 생긴다.
		용접부	균열(모서리부에 주의)	
		탑기초부	물고임, 녹 앵커볼트(PS봉) 정착부에서의 균열 너트의 풀림	배수불량에 의한다.
케이블	주케이블 ^{주)}	도막의 노후	답정부 새들 부근에서의 케이블의 움직임, 케이블 밴드의 이탈, 스트레이 새들에 녹이 발생하기 쉽다.	
		Wrapping Wire의 풀어짐, 틈 발생		
		케이블내의 우수 침투	5년에 1회 정도 센터 스테이 부근의 Wrapping Wire를 떼어내어 조사할 것	
	케이블 밴드 ^{주)}	어긋남, 미끄러짐(회전, 이동)	경사가 큰 탑부근을 특히 주의한다.	
		밴드볼트 축력의 느슨함		
		코킹재의 이상유무	밴드의 정착부의 이상을 조사한다.	
	* 사장교에서는 사장재와 정착부가 점검부위로 됨.	행거로프	도막의 이상, 소선의 갈라짐	케이블 밴드의 안쪽부분에 있는 로프의 미끄러짐이나 크래프의 이탈로 발생한다.
			페인트선의 이상	행거로프의 이탈로 발생한다.
			소켓과 행거 사이의 습기, 먼지, 녹	① 인접소켓의 활동시 응력의 증가 ② 크리프에 의한 것
		새들(saddle)	크래프의 어긋남	행거로프의 이동에 의한다.
			행거로프의 이탈(제자리를 벗어남)	진동에 따라 볼트가 느슨해진다.
			케이블 도막의 이상 스트랜드 소선의 갈라짐 새들의 풀어짐	방수 프로텍터(protector)도 포함해서 점검한다.
센터 스테이	습기, 물고임, 녹 발생			
	스프레이 새들의 이동			
	스테이 밴드의 풀어짐, 꼬임, 로프의 소성변형 로프의 절단	케이블 밴드의 이동이나 보강형의 이동에 의한다.		
앵커박스	콘크리트의 균열, 박리	특히 스프레이 새들 저판부, eye bar 접합부		
	교대, 교각	콘크리트의 균열, 박리 기초콘크리트 부분		
신축이음장치	툽니(finger)	이상음, 툽니의 교차상태, 이물질		
	핀, 볼트	녹, 손상, 이상음	핀, 볼트가 느슨하면 이상음이 발생한다.	
	브라켓	균열, 녹, 흠집		
교좌장치	링크슈	녹 발생, 링크부의 이상		
	윈드슈	봉합부의 노후 및 파손, 각종 볼트의 풀림 및 파손		
	교좌(가동단, 고정단)	가동단의 작동상태, 이물질, 녹, 고정단 주위의 손상		

주) 주요점검시에 상세한 점검실시 가능

표 2. 정밀점검항목
(점검횟수: 5년마다 실시)

점검항목	점검내용
1 온도측정(케이블, 보강형)	아래 항목의 측정치를 보정하기 위하여 매 측정시 교량의 온도를 알 필요가 있다. 온도변화에 따른 교량의 형상치수는 사전에 계산하여 둔다.
2 풍향, 풍속	아래항목의 측정치를 보정하기 위하여 매 측정시 풍향 및 풍속을 측정한다.
3 종단선형의 측량	교대, 교각의 변위, 주탑경사 등 이상변형 유무를 확인한다.
4 신축장치의 이동량 측정	교량단부 신축이음장치 이동량을 계측하고, 상부구조와 하부구조의 상대위치를 측정하여 교량의 이상변형 유무를 확인한다.
5 주탑의 전도량	주탑기초부의 변위에 의해 생긴 부등침하에 의한 주탑의 이상변형을 확인한다.
6 교대, 교각의 이동량 및 회전량의 측량	지시압반의 압밀, 크리프에 의해 생긴 부등침하에 의한 하부공의 경사, 이동, 회전변위의 유무를 확인한다.
7 용접부의 비파괴 검사	도장이 갈라진 용접부위를 선택하여 용접부의 파괴 유무를 확인한다.
8 도장의 노후도 측정	도장의 두께 및 집착력을 측정한다.
9 정적시험	차량을 재하시켜 변형률, 처짐을 측정한다.
10 동적시험	상시미동 시험, 강제진동시험(차량 주행시험 및 충격시험), 보강형 및 케이블에 대한 자유진동시험을 실시하여, 보강형의 내풍안전성을 평가하고 케이블의 장력감소를 검토한다.
11 응력빈도계측시험	공용하의 응력빈도를 계측하여 피로에 대한 안전도를 평가한다.

할 수 밖에 없으며, 지속적으로 유지관리 전문요원을 육성해 나아가므로써 주관적 판단이 객관적인 인정을 받게 하여야 한다.

2.4 보수·보강

2.4.1 개요

점검결과를 근거로 2.3에 표시한 판정이 행하여진 후, 보수·보정이 실시된다. 이 경우 보수요령

이 정해져 있는 것은 그것에 따라 보수·보강이 실시되지만 그렇지 않은 경우에는 그림 2(b)에 나타난 조사위원회를 별도로 구성하여 보수·보강 방법을 검토하여야 한다. 현재 우리나라에서는 보수·보강을 위한 보수요령 특히 사장교와 현수교에 대한 보수요령의 연구나 실태조사가 체계적으로 이루어지지 않아 각각의 보수·보강 대상에 대해 전문가의 조언이 있어야 해결이 가능할 것으로 생각된다.

표 3(a). 판정기준(구조계)

편집구분	상	황
A	자동차의 주행, 통행자의 안전에 영향을 주는 변상 또는 결함이 있어 안전상 조속한 보수보강, 공용정지 등의 조치가 필요한 것 (고유한계상태가 설계기준 등에 정해진 목표한 계상태에 미치지 못하는 경우)	
B	변상 또는 결함이 진행되어 구조물의 기능을 저하시킬 우려가 있어 조기에 조치가 필요한 것 (가까운 장래에 고유한계상태가 설계기준 등에 정해진 목표한계상태에 미치지 못할 우려가 있는 경우)	
C	변상은 경미하지만 진행상태의 감시가 필요한 것 (조만간은 아니지만 고유한계상태가 설계기준 등에 정해진 목표한계상태에 미치지 못할 가능성이 있는 경우)	
D	경미한 변상 (경미하지만 오래동안 방치하면 C등급의 판정을 받을 가능성이 있는 경우)	
E	건전한 것	
Q	변상 또는 결함의 판정이 곤란하여 별도의 방법으로 재점검이 필요한 것	

표 3(b). 판정기준(도장계)

편집구분	상	황
A		
B	도막 변상 또는 부식이 현저하여 조기에 조치가 필요한 것	
C	도막이 노후되고 있어 진행상황의 감시가 필요한 것	
D	경미한 도막변상	
E	건전한 것	
Q	도막 변상의 판정이 곤란하여 별도의 방법으로 재점검이 필요한 것	

2.4.2 보강·보수의 설계와 시공

(1) 보수·보강의 설계

보수·보강의 설계시에 채택할 공법은 손상, 부식, 열화의 원인과 정도, 발생부위, 작용응력 및 예상진전성상 등에 따라 다르다. 일반적으로 ① 점검결과(재점검이 수반되어야 할 경우도 있음), ② 서류검토결과(구조계산서, 보수·보강이력, 유사사례) 등을 기초로 보수·보강공법에 관한 설계도서와 공사중과 공사후의 안전성을 조사한 계산서가 작성된다. 보수·보강공법의 선택은 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

① 경제적인 것

② 재료의 품질이 확실하게 보증될 것

③ 계산이론이 확실할 것(보수·보강에 의해 대상부재 및 부위의 강성이 크게 변하지 않을 것)

④ 시공속도가 신속하게 이루어지게 할 것

⑤ 안전성에 문제가 없을 것. 특히 대형보강재를 설치하는 경우에는 구조계 전체를 통찰하여 케이블 또는 주탑 등에 대한 영향 뿐만 아니라 기초에 미치는 영향도 고려할 것

⑥ 미관상의 문제가 없을 것(사장교와 현수교는 교량의 장대화과 더불어 미적관점이 중요시되므로 본래의 미관이 저해되지 않도록 배려할 것)

⑦ 환경문제가 발생하지 않을 것

표 4(a). 세부판정기준(구조계)

판정구분	A	B	C	D	
변상분류	A	B	C	D	
시일재, - 코강재	본래 기능을 상실	약간의 노후화	변상이 보이지만 기능저하는 보이지 않음		
강	찌그러짐	-	단면결손 등의 내하력의 저하가 보이는 경우	내하력에는 영향을 미치지 않는 경우	경미한 손상으로 다른 지장이 없는 경우
	균열	-	균열, 부스러지는 경우	-	-
	변형·좌굴	변형·좌굴에 의한 차량통행 또는 통행자에게 지장을 줄 우려가 있다.	변형이 크고 내하력까지 영향을 미칠 우려가 있는 경우 또는 좌굴이 진행되고 있는 경우	내하력까지 영향을 주지 않는 경우	-
재	부식	-	단면결손이 부재의 5% 이상인 경우	광범위(30% 이상)한 면적에 부식이 발생한 경우	부분적으로 녹이 발생함
	파단	주요부재로 차량통행 또는 통행자에게 지장을 줄 우려가 있는 경우	주요부재에서 차량통행 또는 통행자에게 영향이 없는 경우, 2차부재가 파단되어 있는 경우	-	-
케	흠집	-	-	단면결손으로 영향을 미치는 경우	경미한 손상으로 영향을 미치지 않는 경우
	부식	-	단면결손 등 내하력의 저하가 보이는 경우	내하력에는 영향을 미치지 않는 경우	경미한 손상으로 다른 지장이 없는 경우
이	벌어짐	-	느슨함, 진동에 의해 기능저하가 발생하는 경우	Z형 소선이 넓게 벌어진 경우	경미하게 벌어진 경우
	느슨함	-	진동에 의해 기능저하가 발생하는 경우	진동이 발생하는 경우	
불	단선	여러개의 소선이 단선되어 통행자에게 영향을 미치는 경우	케이블의 소선이 2개 이상 단선된 경우	케이블의 소선이 단선된 경우	

	풀림	-	덧댐부위에서 10% 이상 풀어진 경우	덧댐부위에서 2%~10% 정도 풀어진 경우	2% 이하 풀어진 경우
	변형	-	덧댐부위에서 10% 이상 변형이 발생한 경우	덧댐부위에서 2%~10% 정도 변형이 발생한 경우	변형된 볼트가 있는 경우
볼	탈락	탈락된 볼트가 있고 계속 탈락될 가능성이 있어 통행자에게 지장을 줄 우려가 있는 경우	덧댐부위에서 2개 이상이 탈락된 경우	덧댐부위에서 1개 탈락된 경우	
	부식	-	부식이 진전되어 내하력 저하의 가능성이 있는 경우	부식이 진전되지만 내하력에는 영향을 주지 않는 경우	부식이 발생한 경우
트	파단	파단된 볼트가 있고 계속 파단될 가능성이 있어 통행자에게 지장을 줄 우려가 있는 경우	1침접부에서 2개 이상 파단된 경우	1침접부에서 1개 파단된 경우	
	오염	-	콘크리트면이 오염물로 거의 보이지 않음	오염물의 부착은 상당하지만 콘크리트는 보임	콘크리트면에 약간의 오염물이 부착되어 있거나 오염물의 부착은 없는 경우
콘	물고임	-	많은 양의 물이 고여 있음	상당량의 물이 고여 있음	적은 양의 물이 고여 있음
	균열	-	최소폭이 0.3mm 이상으로 최소 균열간격이 50cm 미만인 경우	최대폭이 0.3mm 이상으로 간격이 50cm 이상인 경우, 최대폭 0.2mm 이상으로 간격이 50cm 이하인 경우	초기의 균열상태
크	누수를 동반한 균열	-	누수를 동반한 균열이 2방향으로 발생하고 간격이 50cm 미만인 경우	누수를 동반한 균열이 발생하고 간격이 50cm 이상인 경우	약간의 누수와 균열이 있는 경우
	유리석회의 유출	-	유리석회의 유출이 2방향으로 발생하고 간격이 50cm 미만인 경우	유리석회의 유출이 발생하고 간격이 50cm 이상인 경우	약간의 유리석회의 유출이 있는 경우
리	철근의 부식에 의한 녹물	-	녹물의 유출이 2방향으로 발생하고 간격이 50cm 미만인 경우	녹물의 유출이 발생하고 간격이 50cm 이상인 경우	약간의 녹물의 유출이 있는 경우
	부스러짐, 파괴, 탈락	탈락으로 인해 통행자에게 위험을 미치는 경우	철근이 노출되어 있는 경우 또는 탈락이 예상되는 경우	부분적인 부스러짐, 파괴, 탈락이 있는 경우	부스러짐, 파괴, 탈락이 1개소 정도로 경미한 경우
아	누수	-	누수에 의해 콘크리트에 영향이 있는 경우	누수가 있는 경우	
	단차	진행차량에 위험을 미치는 경우	단차의 진행이 현저한 경우	단차가 발생한 경우	단차가 발생하기 시작
스	누수	-	많은 양의 누수 발생	상당량의 누수 발생	약간량의 누수 발생
	변형	진행차량에 위험을 미치는 경우	바퀴자국, 콜루게이션(corrugation)의 진행이 현저한 경우	콜루게이션이 발생되어 진행의 우려가 있는 경우	콜루게이션이 발생하기 시작
트	포트홀	진행차량에 위험을 미치는 경우	포트홀(pot hole)의 진행이 현저한 경우	포트홀이 발생한 경우	포트홀이 발생하기 시작

기 능	접촉	-	부재의 접촉에 의해 마모음이 발생하는 경우		
	마모, 변형	-	금속의 접촉에 의해 마모가 발생한 경우, 변형이 크고, 내하력에 영향을 미치는 경우		
	간극	-	케이블 정착부 등에 간극이 발생한 경우	-	-
	미미한 진동	-	예상외의 미미한 진동이 발생한 경우	-	-
	이상음	-	예상외의 이상음이 발생한 경우	-	-
	윤활유의 유출	-	윤활유의 유출이 발생한 경우	-	-
파손, 파괴	통행차량이나 통행자에게 지장을 주는 경우		내하력에 영향을 미치는 경우	내하력에는 영향을 미치지 않는 경우	경미한 파손으로 영향을 미치지 않는 경우

표 4(b). 세부판정기준(도장계)

판정구분	A	B	C	D	
도	오염	-	도막의 색이 오염물에 의해 거의 보이지 않음	오염물의 부착이 상당하지만 도막의 색은 보임	도막의 색은 보이지만 표면에 옅은 오염물이 부착되어 있거나 또는 오염물의 부착이 없음
	물고임	-	대단히 많은 양의 물이 고여 있음	상당량의 물이 고여 있음	약간의 물이 고여 있음
	변색	-	변색이 쉽게 보임. 전체 또는 부분적으로 색상변화가 확인됨	변색이 상당하고 전체 또는 부분적으로 동일 색상 내에서의 변화가 확인됨	변색이 시작됨
장	갈라짐		이들 변상이 연속되어 있고, 부식이 가속화될 우려가 있는 경우	이들 변상이 불연속되어 있고, 진행상황의 감시가 필요한 경우	이들 변상이 경미한 경우
	부풀음 벗겨짐				

(2) 보수·보강의 시공

보수·보강의 효과는 설계단계에서 보수·보강 공법이 충분히 검토되었다고 했을 때 시공의 성과에 좌우되는 것이 대부분이므로 공사시방서, 시공 시험방법 및 시공관리에 대해 충분히 검토되어야 한다. 또 시공당시의 기대치만큼 교량의 기능 보전 또는 기능향상을 달성하였는지에 대해서도 추적점검이 이루어져 당해 공사는 물론 추후 유사한 사례에 활용할 수 있게 하여야 한다. 이러한 기록은 계획단계에 있어서의 유지관리 고려사항으로서 유지관리용 공간의 확보, 내구성이 우수한 구조계획 및 유지관리가 용이한 구조의 채택 등에

대해 권장(안)을 제시하고, 설계·시공에 있어서의 유지관리상의 배려로서 설계시 주의점, 시공시 주의점 및 유지관리에 필요한 자료를 제시하는 기초자료가 되어야 할 것이다.

3. 유지관리 시설물 설치방안

교량은 본래의 기능을 유지하기 위해 여러가지 시설을 구비하고 있다. 강교는 설계, 제작상 편의적으로 교량본체와 부속물로 구분한다. 부속물중 교량의 기능을 유지하기 위해 필요한 최소한의 시설물로서 신축장치, 배수시설, 난간을 들 수 있다.

그러나 이 3가지만의 시설로는 교량의 유지관리가 용이하지 않으며, 교량의 규모, 구조, 주변환경 등에 따라 필요하다고 생각되는 시설을 미리 설치하여 두는 것이 강교의 유지관리를 위해 필요 불가결하다. 유지관리 차원에서 강교에 설치되어 있는 시설은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 점검을 위한 시설
- ② 방호를 위한 시설

3.1 점검을 위한 시설

사장교 및 현수교의 점검을 위한 시설은 표 5와 같다.

표 5. 점검을 위한 시설

점검 시설	목적
통행로 및 보도	보강형 내외면의 점검 케이블 점검 교면의 점검 각종 슈의 점검
사다리	점검부위 접근수단
맨홀	주탑, 앵커박스 출입구
부착철물	점검용, 도장용 비계의 설치용 철물
승강기	현수교, 사장교 주탑내외면의 승강용 케이블 점검 및 보수
작업차	보강형 외면, 케이블의 점검 및 보수를 위한 작업차로 기자재를 운반하고 작업 용 비계로 사용

(1) 통행로 및 사다리

교량 구조물의 적절한 점검은 우선적으로 점검 부위에 가능한 한 접근하여 직접 육안으로 확인하고 손으로 만져보는 것이다. 이를 위해 교량의 어느 부위에도 작업자가 접근할 수 있도록 통행로가 필요하다.

실제 교량에서는 건축한계, 구조상 제약, 경제성, 미관을 고려하여 점검통로를 형하높이가 지상에서 4.5m 이상되는 교량에 설치한다. 또한 사다리는 점검시설에 접근하기 위한 수단으로 사용되며 주탑내부 및 보강형 내부의 접근수단으로 이용된다.

(2) 부착철물

교량의 유지보수공사는 공사에 종사하는 작업자의 비계를 확보함으로써 시작된다. 보강형의 하면전체에 비계를 다는 방법은 2가지가 있다. 하나

는 보강형을 가설할 때 설치한 와이어 브릿지(wire bridge)를 비계로 운용하는 것이고 또 다른 하나는 보강형을 가설한 후에 파이프나 형강 등을 사용하여 만든 비계이다. 유지보수 공사시에는 후자의 방법으로 교량본체에서 체인 또는 레일을 사용하여 비계를 매단다. 이 중에서 체인이나 로프를 걸기 위해서는 교량 본체에 부착철물을 설치하여야 한다.

(3) 승강기

현수교나 사장교의 주탑은 점검시 작업자의 승강, 탑내에 설치한 설비의 보수시 부품 투입을 위하여 승강기를 설치하여야 한다.

승강방식으로는 1) 와이어에 대한 승강, 2) 유압식, 3) 톱니바퀴 방식이 있다. 이 방법들은 각기 장단점이 있는데 유압식은 실린더 스트로크(cylinder stroke)에 제약이 따르므로 승강거리가 길게 되면 사용이 곤란한 단점이 있다.

따라서 와이어 방식이나 톱니바퀴 방식이 일반적으로 사용되고 있다.

(4) 교량 점검보수용 작업차

(가) 교량 점검보수용 작업차의 분류

교량 유지관리의 주 업무는 도장의 유지보수, 구조부재의 점검, 보강형 및 주탑에 설치되어 있는 유지관리 시설물 등의 점검조정이다. 이를 위하여 작업자가 안전하고 능률적으로 작업을 할 수 있도록 점검보수용 작업차를 설치한다. 이러한 작업차는 교량의 종류, 규모에 따라 설치한다.

교량 점검보수용 작업차에는 여러가지 종류가 있으며 다음과 같이 분류할 수 있다.

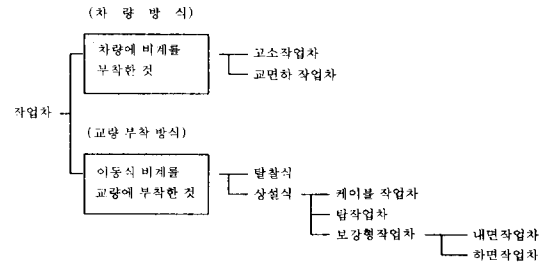


그림 3. 작업차 분류

(나) 작업차의 역할과 규모

작업차의 역할을 단순히 점검만으로 한정하는

가 또는 점검 및 보수용으로 최대한의 기능을 갖추게 하는가에 따라 작업차의 규모가 달라진다. 특히 교량구조가 복잡할 경우는 작업차를 교량의 어느 부위까지 접근시킬 것인가가 작업차의 전체 규모를 크게 좌우한다.

최근 장대교량의 대형화에 따라 보강형 작업차 또는 대형화되고 자중도 증가하고 있으므로 교량 설계시 작업차의 자중을 하중으로 고려하도록 하여야 한다.

(다) 경간수와 설치대수

작업차와 설치대수는 작업차의 설치목적인 작업을 어느 정도의 일정으로 소화할 것인가에 따라 결정되지만 대체로 각 경간에 1대의 설치가 표준이다.

각 경간에 1대씩 설치하는 것은 교각이 작업차의 통행에 장애가 되기 때문이지만 교량형식 또는 작업차의 규모 등에 따라서는 교각을 피해 주행하는 방법을 연구하여 작업차의 설치대수를 줄일 수 있을 것이다. 예를 들어 교좌면과 보강형 하면에 어느 정도의 여유높이가 있으면 작업대를 교축방향으로 90° 회전시켜 교각을 통과시킬 수 있을 것이다.

3.2 방호를 위한 시설

교량에 발생할 가능성이 있는 여러가지 재해를 막기 위한 설비도 유지관리 시설로 생각할 수 있다. 표 6에 시설예를 열거한다.

표 6. 방호를 위한 시설

방호의 종류		시 설 예
지진		<ul style="list-style-type: none"> • 낙교방지장치 • 댐퍼에 의한 지진력의 분산
	차량	<ul style="list-style-type: none"> • 형하고표식, 충돌방호책, 충돌방호벽
충돌	선박	<ul style="list-style-type: none"> • 항해등, 구조물표시등, 완충장치
	항공기	<ul style="list-style-type: none"> • 항공등, 도장색에 의한 구조물 표시
바람에 의한 진동		<ul style="list-style-type: none"> • 내풍판 • 재진장치
우수		<ul style="list-style-type: none"> • 배수장치
화재		<ul style="list-style-type: none"> • 내화피복재의 장착 • 방화판에 의한 차단
낙뢰		<ul style="list-style-type: none"> • 피뢰침
조류피해		<ul style="list-style-type: none"> • 형하면의 차단

이 밖에 교량을 보호하기 위한 것이 아니라 교량을 통과하는 사람과 차량을 보호하기 위한 설비로서 방풍력, 방음벽, 레이다 장애에 대한 설비 등이 있다.

(1) 내진설비

지진시에 상부구조가 교대 또는 교각에서 낙하하지 않도록 받침부 또는 거더단부에 낙교방지 장치를 설치한다. 이것은 지진시에 교량상부가 교대나 교각에서 떨어져 2차피해를 일으키는 것을 막고 동시에 낙교하지 않으므로써 복구가 용이하게 된다는 관점에서 설치하고 있다.

우선 가동받침부에 이동제한장치를 설치하여 지진시 상부받침이 하부받침에서 이탈하지 않도록 한 후 보와 하부공 정상부를 교축방향으로 충분한 길이만큼 겹치도록 하여 지진시에도 거더가 교각 밖으로 낙교하지 않도록 한다.

낙교방지장치의 구조는

- ① 형과 하부구조를 연결하는 구조
- ② 형 또는 하부구조에 돌기를 설치하여 이동받침의 낙교를 방지하는 구조
- ③ 형과 형을 서로 연결하는 구조가 있다. 형이 연속해서 있는 경우는 ③의 내진연

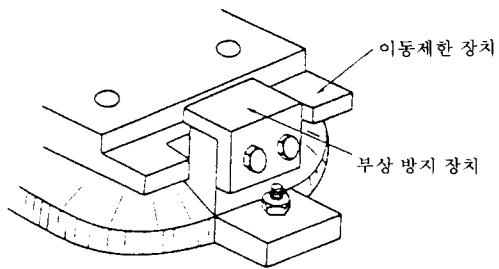


그림 4. 가동받침부의 이동제한 장치

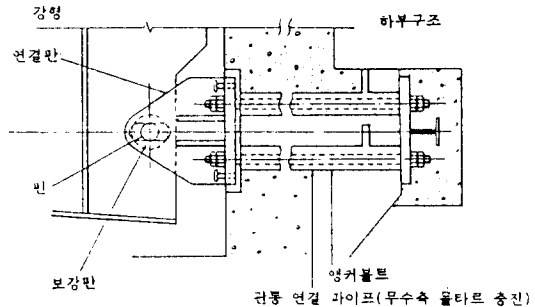


그림 5. 하부구조와의 연결장치

결장치를 대부분 설치한다. 그림 4는 가동받침부에 설치한 이동제한장치로 ②의 예이고 그림 5는 낙교방지장치 ①의 설계예이다.

(2) 충돌에 대한 방호설비

도로를 지나는 교량에 충분한 건축한계가 적용되지 않는 경우 단순히 통과높이의 표시 뿐만 아니라 통과차량의 충돌을 방지하기 위해 교량바닥판 측면에 충돌방호형을 설치한 필요가 있다.

또한 해상을 지나는 교량을 건설할 경우 교각위치, 항로한계, 항해원조설비로서 항해등과 같은 시설에 대해 관계관청과 선박통행에 지장을 주지 않도록 충분히 협의하여야 한다. 그러나 선박의 표류, 시계불량, 돌연하 기상, 해상의 변화 등에 의해 선박이 교각에 충돌할 우려가 있어 교각 주위에 방호설비가 필요하다.

방호설비의 형식에는 여러가지가 있다. 완충공을 교각에 직접 설치하는 방법과 방호설비를 교각에서 떨어뜨려 설치하는 방법이 있다. 직접형으로는 고무제품의 완충공이 가장 일반적으로 사용되고 있다. 또한 로프식 완충공을 직접교각에 설치하여 충돌시 에너지를 로프의 탄성변형으로 흡수하는 방법도 있다.

항공유도등은 고평도등, 중광도등 및 저광도등의 3종류로 분류할 수 있고 사용분류도 주로 설치대상물의 높이에 의한다. 높이 150m 이상의 고층건축물(단 고층빌딩은 제외)에는 고평도등을 설치한다. 고평도등은 주간, 새벽, 야간에 따라 조도를 바꿀 수 있는 주야간겸용 항공장해 표식이다. 150m 미만의 고층건축물에는 중광도등, 저광도등을 조합하여 설치한다. 이것은 야간전용이므로 주간용의 항공장해표식, 예를들면 도장색에 의한 표식이 별도 필요하다.

(3) 내풍설비

교량본체 또는 부재의 일부가 바람에 의해 진동하는 것을 방지하기 위해서는

- ① 공기역학적 개선방법
- ② 감쇠요소를 부가하여 공진시에 응답배율을 떨어뜨리는 방법
- ③ 강성을 높이는 방법

등 3종류가 있다. 우리나라의 경우 남해대교는 단면을 유선형으로, 진도대교, 돌산대교는 난간 옆

에 내풍판을 설치하여 ①의 방법으로 내풍안정성을 얻고 있다. 이러한 안정성의 검토는 풍동시험을 실시하여 파악할 수 있다.

②의 방법에는 여러가지가 있다. 크게 구조물에 수동적인 감쇠요소를 부가해서 구조물의 진동에너지를 흡수하는 수동적 제진장치와 구조물에 외부로부터 제진에너지를 공급해서 적극적으로 진동저감을 도모하는 능동적 제진장치로 분류된다.

수동적 제진이란 간단히 감쇠만을 부가하는 것과 부진동체를 부가하는 것이 있다. 전자는 진동체에 대해서 고정점을 필요로 하기 때문에 가설시 교량의 진동방지에 이용된다. 가설시 슬라이딩 블럭 또는 유압댐퍼를 와이어에서 교량으로 연결하는 방법이다. 공용중인 사장교 케이블의 진동방지책으로 외국의 사례에서 보듯이 완충기(shock absorber)를 케이블 단부에 설치한 것도 그 실례이다. 후자의 방법은 주진동체에 감쇠를 최적치로 조정하여 진동을 제어하도록 하는 부진동체를 부가해서 공진시의 응답을 최적치로 조정하여 진동을 제어하도록 하는 부진동체를 부가해서 공진시의 응답을 주진동체 단독일 때 보다도 작게 하는 것이다. 이 부진동체를 수동적 제진장치라 하며 많이 사용되고 있다. 이 제진장치는 혼슈-시코쿠 연락교의 사장교 각 주탑에 설치되어 있다.

4. 유지관리의 문제점

유지관리비는 건설당시부터 일정하게 필요한 유지비(전기료, 청소비 등)와 건설후 약 10년 이후에 많은 비용을 요하는 보수비(구조물이나 전기설비의 점검, 보수·보강, 도장교체 등에 필요한 비용) 및 개축비(환경대책, 방재, 교통안전설비 등에 필요한 비용)으로 대별된다. 당연한 것이지만 구조물이 건설되어 공용년수를 더해갈수록 유지관리를 합리적으로 실시하여 유지관리비를 최소화하여야 한다. 이러한 유지관리에 있어서의 문제점을 정리하면 다음과 같다.

(1) 유지관리 전반의 문제점

- ① 근래들어 구조물의 경관이 중요시 되면서 사장교와 현수교의 건설이 증가하고 있으며, 유지관리에 필요한 작업공간의 확보에 소홀

히 하는 경우가 있다.

- ② 입지조건 때문에 복잡한 구조가 되거나 이상적인 구조로 하지 못하는 경우가 있다. 이러한 교량에서는 계획·설계시에 예상하지 못한 손상, 부식, 열화의 발생으로 이어지는 경우가 있다.
- ③ 점검, 보수·보강을 실시하는 데에 기초자료로 되어야 할 건설당시의 데이터(재료강도, 시공관리 결과 등), 점검결과 및 보수·보강이력에 관한 데이터가 보관되어 있지 않은 경우나 정리되어 있지 않은 경우가 있다.
- ④ 구조물의 내용년수를 명확하게 하고, 초기경비(계획·설계·시공에 필요한 비용)와 유지관리비와의 합인 총경비를 최소로 하는 설계·시공·유지관리 방법을 확립할 필요가 있다.

(2) 일상점검의 문제점

- ① 사장교와 현수교에서는 구조적인 복잡성과 접근의 어려움 때문에 순회관찰 정도인 일상점검으로는 중대한 손상, 부식, 열화를 조기에 발견하기가 쉽지 않다. 즉 매우 광범위한 관찰범위를 단시간에 점검하는 것이므로 눈에 띄지 않는 부분이 많다.
- ② 일상점검의 순회관찰은 사장교와 현수교에 전문식견을 갖춘 사람이 행하지 않기 때문에 손상, 부식, 열화를 발견하지 못할 가능성이 있다.

(3) 정기점검(육안점검, 주요점검, 정밀점검)의 문제점

- ① 이 점검은 점검기준에 따라 전문가에 의해 점검되므로 거의 모든 손상, 부식, 열화가 발견될 수 있으나, 육안점검과 주요점검에서는 주로 육안관찰에 의존하므로 여유있는 점검계획을 세우고 점검은 상세하게 행할 필요가 있다. 또 사용한계상태에 관계되는 손상, 부식, 열화와 종국한계상태에 관계되는 것의 구분과 보수·보강 우선순위에 대해서도 명확하게 해 놓을 필요가 있다.
- ② 점검기준에 기재되어 있지 않은 손상이나 유사한 사례가 없는 손상을 놓치기 쉽다.
- ④ 보수·보강에 관한 문제점

- ① 점검의 판정결과에 대해 각각의 경우에 따른 경제적이고 기술적인 판단을 하여 보수·보강의 우선순위가 판정된다. 그러나 손상, 부식, 열화 등에 대하여 구조부재가 어느 정도의 안전성과 내구성을 가져야 하는가, 또 어떤 보수·보강을 하면 그 부재가 어느 정도의 개선효과가 있는가에 대해 정량적인 판정기준이 명확하게 되어 있지 않다.
- ② 보수·보강에 따른 교통통제는 비록 일시적이라 하더라도 사회기능에 과급되는 영향이 크기 때문에 그 실시에 제약을 받지만, 그 사회적 경제적 영향을 정량화 할 수가 없다.
- ③ 보수·보강에 관여하는 기술자에게 작업환경이 위험하다는 조건이 있으며, 반면에 광범위한 지식과 경험이 요구된다.

5. 바람직한 유지관리와 향후과제

5.1 합리적인 점검방법의 확립

일상 및 정기점검에 있어서 빠지는 부분이 없도록 하기 위해서는 점검계획을 여유있게 세워야 하며 다음과 같은 사항이 선행되어야 한다.

- ① 점검기술자의 육성 : 점검기술자의 교육계획의 작성, 자격심사의 도입, 점검기술자의 자격규정
- ② 점검방법의 개발 : 특히 육안점검을 보조하는 방법으로서 간단한 그리고 간편한 점검기구의 개발

또 교량의 각부위별 부재를 구분하여 사용한계 상태나 종국한계상태를 도면 등에 표시하여 놓으므로써 손상, 부식, 열화의 발견을 놓치지 않게 한다.

5.2 판정 및 평가수법의 확립

점검결과에 대한 정량적인 판정기준의 확립이 요망되어진다. 이를 위해서는 첫째로 사장교와 현수교의 건전도 평가방법을 확립할 필요가 있다.

둘째, 사용강재의 재료시험결과, 활하중 실태, 실작용능력 및 실제 교량의 시간변화(공용년수)에 따른 성질 등에 대해 정량적인 데이터를 장기간에 걸쳐 축적하는 것이 중요하다. 이를 위해 영

구계측시스템을 설치하여 지속적인 자료수집을 하므로써 유지관리 뿐만 아니라 향후 신설교량에도 설계 및 시공자료로 제공할 수 있다.

세제, 내용년수의 설정이 필요하다. 이를 위해 다음과 같은 점을 고려하여 검토할 필요가 있다.

- ① 활하중의 실태와 공용년수 변화
- ② 각부의 피로수명
- ③ 구조부재별 부식속도
- ④ 보수·보강, 교체 종류와 횡수, 경제적인 보수·보강주기
- ⑤ 내용년수와 총비용의 관계
- ⑥ 교통을 통제할 경우의 사회적 및 경제적 영향

5.3 보수·보강의 시공

(1) 시공에 종사하는 기술자 및 기능공 육성

보수·보강의 시공은 신설교량의 시공에 비해 열악한 환경조건하에서 작업하게 된다. 이런 이유로 보수·보강공사 분야에서 일하려 하는 사람이 현저히 적고, 국내실정에서는 사장교와 현수교의 보수·보강경험이 있는 사람이 없을 뿐만 아니라 보수·보강의 수요도 적어, 당장 해결책을 찾을 수는 없으나 교량관리자의 관심이 기대된다.

(2) 시공시스템의 확립

열악한 환경하에서의 시공을 완전한 것으로 하기 위해서는 현지의 상황, 손상, 부식, 열화의 상태 등을 총괄적으로 판단하며 안전하고 신속하게 시공할 수 있는 방법을 채택하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위해서는 시공중, 시공완료 후의 안전성과 내구성 확보의 시공시스템 확립이 요망된다.

또 케이블시스템으로 이루어진 교량은 일반 교량구조와 달리 손상의 복구가 어려워 시공전에 충분한 검토가 있어야 하며, 시공이 교통통제를 가능한 줄이기 위해 야간에 이루어지는 경우가 많으므로 신설교량에 비해 여러난제가 존립한다. 따라서 다소 경제성이 없다 하더라도 보수·보강이 용이한 방법을 채택하여야 한다.

6. 맺음말

교량의 유지관리는 일반적으로 일상점검과 정기점검을 실시하여 손상, 부식, 열화의 조기발견에 노력함과 동시에 손상, 부식, 열화에 대해 원인 규명, 그의 보수·보강 및 그러한 정보의 계획·설계·시공의 각단계에의 재활용에 있다. 그러나 특수교량에 있어서는 구조적 특성과 복잡성 등으로 인해 계획단계에서부터 설계, 시공 및 유지관리를 총체적으로 고려하여야 한다. 일반교량에 있어서도 마찬가지로이지만 사장교와 현수교를 유지관리함에 있어서 재검토하여야 할 사항을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 계획, 설계, 시공, 유지관리에 필요한 모든 비용이 최소화 하도록 개선할 점은 있는가?
- ② 특수교량의 내용년수를 명확하게 산정하는 방법은 무엇인가?
- ③ 내하력, 내구성 저하에 의한 것보다 사회경제변화에 따른 기능저하에 의해 교량의 수명이 단축되는 점은 없는가?
- ④ 교량을 건설 계획함에 있어서 총비용 산출에 유지관리를 고려하고 있는가?
- ⑤ 도로망으로서의 기능을 만족하기 위해 기존 구조물과 새로 건설되는 교량의 내용년수, 내하력 등에 대해 균형을 어느 정도로 볼 것인가?

교량의 유지관리가 보수·보강을 포함하여 광범위한 영역을 차지하고 있고 특수교량의 건설이 증가추세에 있음을 감안할 때, 이 분야에 대한 연구가 다양하게 이루어져 현재까지 소홀히 취급되어 왔던 유지관리 부분에 대한 인식을 제고하고 효과적인 유지관리가 실현되어 구조물의 안전성과 사용성 확보는 물론 사회기반시설로서의 기능을 다할 수 있기를 기대한다. 이의 성취를 위해 조급하게 특수교량의 문제를 일시에 해결하려는 자세보다 우리의 현상에 맞게 적의 조정되더라도 단계적인 연구개발목표가 있어야 할 것이며, 이에 대한 적절한 보조가 정부 또는 교량건설 과정에서 배려로 유지관리에 투자함에 있어 인색하지 않아야 할 것이다. 굳이 먼 예를 들지 않더라도 가까운 일본의 경우 유지관리에 대한 기본서가 충분히

개발되고 있음을 간과하지 않기를 바라며, 건설이 어렵고 엄청난 비용이 드는 만큼 그 유지에 있어서도 건설에 못지 않는 관심이 있기를 제안하는 바이다.

참 고 문 헌

1. 阪神高速道路における鋼構造の維持管理の現状と展望, 福本 *士外5人, 橋梁と基礎, 1993. 3.
2. 鋼橋の維持管理のための設備, 日本土木學會, 1987. 3.
3. Bridge Inspection & Rehabilitation, Louis G. Silano, John Wiley & Sons, Inc., 1993.
4. Construction & Design of Cable Stayed Bridges, 2nd Ed., John Wiley & Sons, 1986.
5. 橋體の維持管理に関する検討(その4), 本州四國連絡橋公團, 1987.
6. 瀬戸大橋工事誌, 本州四國連絡橋公團, 1988.