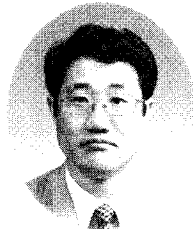


# 특 집

|| IT 시대의 콘크리트 ||

## IT 시대의 콘크리트 구조물의 유지관리기술 발전전망

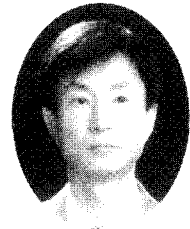
- Strategic Planning for Maintenance of Concrete Structures -



이상민\*



박상순\*\*



최흥식\*\*\*

### 1. 서 론

우리나라의 인구대비 연간 시멘트 소비량은 최근 10년 동안 평균 1.2ton/인·년 이상이며, 이는 OECD 국가 중 최고의 시멘트 소비 수준인 것으로 알려져 있다. 시멘트·콘크리트는 강재와는 달리 생산량 전부가 건설재료로 사용되므로 시멘트·콘크리트가 차지하는 비중이 높고 소비량이 많다는 사실은 구조물의 사용 단계에서 요구되는 유지관리비용 중 콘크리트 구조물의 비중이 상대적으로 높을 수밖에 없음을 의미한다.

OECD Road Research Group의 "Evaluation of Load Carrying Capacity of Bridges(1979)"에 의하면 설계하중이 낮거나 시공결함 또는 사용 중 손상으로 구조성능에 문제가 있는 교량의 경우 준공 후 초기 15년 ~ 20년 동안은 내하력의 저하가 서서히 진행하나, 이후에는 주기적인 유지관리를 실시한다고 하여도 구조성능의 급격한 저하가 발생하므로 초기성능 확보 및 잔존수명 연장을 위한 보강·보수 등 유지관리 비용이 급증하며, 시공이 완벽하다고 하여도 별도의 유지관리 없이 방치하면 준공 후 10년만에 구조성능의 10%, 20년 후에 25%, 30년 후에 50%를 최대 상실 가능한 것으로 보고하고 있다.

물론 OECD 보고서의 내용을 국내 구조물에 그대로 적용할 수는 없으나, 선진외국에서도 국가경제의 고도성장기에는 구조물의 신설 및 증·개축이 우선적 과제이므로 사용중 구조물의 유지관리정책이 당연히 후순위였으나, 국민소득 1만 2,000 ~ 1만 5,000 \$ 대의 고도산업사회로 진입하면서 급증하는 유지관리비용의 효율적 지출을 위해 과학적인 유지관리정책과 기술을 개발코자 노력하였다는 것은 자명한 사실이다.

우리나라의 경우, 1995년 1월 「시설물 안전관리에 관한 특별법」이 제정·공포된 이후 국내에서도 현재 230여 개의 민간진단기관이 지정되어 활동하고 있고, 정부에서도 「시설물 안전점검 및 정밀안전진단 지침」을 제정하여 시설물별로 조사빈도, 조사방법, 조사항목, 평가기준 등을 규정하여 유지관리체계 전반을 법제화하였으므로 적어도 외형상으로는 유지관리분야가 크게 발전하였다고 할 수 있으나, 공공시설물을 외형적 규모를 중심으로 1종 및 2종으로 구분되어 있어 대상 구조물의 선정과 조사 전반에 걸쳐 비합리적인 예산집행이 수반되는 등 아직까지 개선의 여지가 많은 것이 사실이다.

향후 국내 유지관리분야의 시장규모는 국민소득의 증가와 비례하여 크게 팽창할 것이 확실시되며, 유지관리분야의 핵심은 바로 콘크리트 구조물과 관련된 기술이 중심이 될 것이다.

이러한 관점에서 본고에서는 21세기 정보화 및 IT 시대를 맞이하여 보다 과학적이고 효율적인 콘크리트 구조물의 유지관리체계 구축을 위해 고려되어야 할 기술적 내용들을 정리해 보고자 한다.

\* 정회원, 비엔티엔지니어링(주) 대표이사, 충청대학 겸임교수

\*\* 정회원, 비엔티엔지니어링(주) 토목구조연구실 부장

\*\*\* 정회원, 충청대학 건설환경시스템과 교수

## 2. 구조물 유지관리체계의 개선방안

### 2.1 과학적 유지관리체계의 필요성

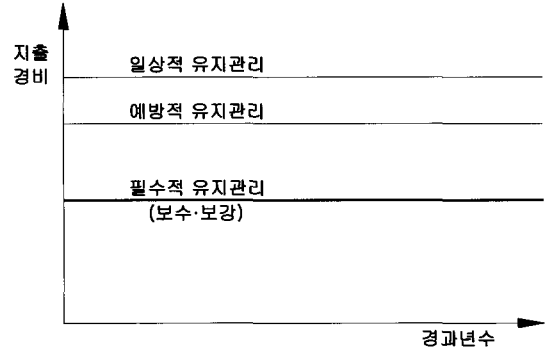
구조물 유지관리의 궁극적인 목표는 최소의 경비를 이용하여 최상의 상태로 대상구조물을 유지관리하는 것이라 할 수 있으나, 관리주체의 지속적인 예산지원이 뒷받침된다 하더라도 구조형식, 설계조건, 지반특성, 사용기간, 하중조건, 관리이력 등이 다른 구조물을 최상의 상태로 유지관리하기란 그리 쉬운 일이 아니다.

구조물의 유지관리체계는 일반적으로 일상적 유지관리(routine maintenance), 예방적 유지관리(preventive maintenance), 필수적 유지관리(essential maintenance)로 구분된다.

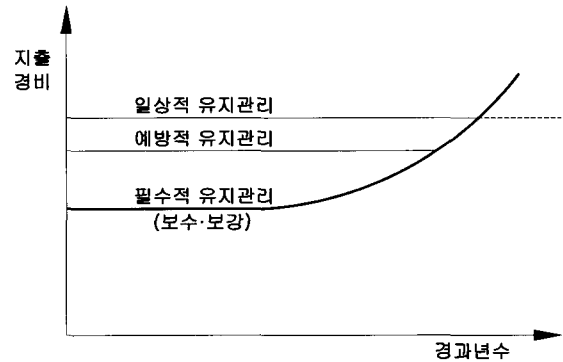
- 일상적 유지관리 : 간단한 육안조사를 통해 표면열화 확인, 배수구나 신축이음장치 청소 등을 목적으로 정기적으로 시행되는 관리업무로서, 「시특법」에 명시된 정기점검이 여기에 해당된다.
- 예방적 유지관리 : 외관조사와 비파괴시험 등을 통하여 내구성 및 사용성 저하를 야기 시킬 수 있다고 판단되는 결함 또는 열화를 발견하여 부분 보수 등을 통해 내구성을 증진코자 시행하는 관리업무로서, 개념적으로 차이는 있으나 「시특법」에 명시된 정밀점검이 여기에 해당된다.
- 필수적 유지관리 : 외관조사, 계측, 비파괴시험, 구조해석 등을 통하여 구조적 성능저하 또는 수명단축을 야기 시킬 수 있다고 판단되는 주부재의 결함 또는 손상을 발견하여 손상 발생 전 보강 또는 성능향상을 실시코자 시행하는 관리업무로서, 「시특법」에 명시된 정밀안전진단이 여기에 해당된다.

영국 TRRL의 연구보고서인 "Strategic Planning of Future Structures Maintenance Needs(1999)"에 의하면 <그림 1>과 같이 일상적 유지관리 또는 예방적 유지관리 단계에서 장기적 저경비 지출의 영향은 필수적 유지관리 실시주기의 감소 및 보수·보강·개축경비의 과다지출로 이어지며, 특히 필수적 유지관리를 실시하더라도 적정시기를 놓칠 경우, 시간경과에 따라 손상과 교통량 증가로 인해 성능회복을 위한 직접비용(보수·보강 경비)과 간접비용(교통체증비용)이 동반하여 급증하므로 최적의 유지관리를 위해서는 예방적 유지관리와 필수적 유지관리로 정의되는 유지관리전략의 수립이 매우 중요하다고 강조하고 있다.

우리나라의 경우, 「시특법」에 정기점검, 정밀점검, 초기점검 및 정밀안전진단의 실시가 명문화되어 있으므로 형식상으로는 선진외국과 유사한 유지관리체계를 채택하고 있는 것으로 보이나, 예방적 유지관리 및 필수적 유지관리의 실시주기를 수학적 모델을 이용하여 도출한 것이 아니라 구조물 규모와 사용기간에 따라 획일적으로 적용하고 있으므로 진단실시여부, 보수여부 판단, 보수경비 지출규모 등의 결정과정이 대체적으로 주관적 판단에 의존하게 되어 구조물의 생애주기(life cycle)를 기준으로 결정된 보수경비가 적게 지출되는 것인지, 많이 지출되는 것인지 아니면



a) 이상적인 유지관리 실시 경우  
(필수적 유지관리비용 정상지출)



b) 장기적인 저경비 지출의 영향  
(필수적 유지관리비용 과다지출)

그림 1. 과학적 유지관리의 필요성 (영국 TRRL, 1999)

합리적으로 지출되는 것 인지의 판단이 불분명한 것이 사실이다. 이러한 인력 의존적인 고비용 저효율의 유지관리체계를 선진화하기 위해서는 현재 선진외국에서 집중 연구되고 있는 생애주기비용(life cycle cost)에 근거한 예방적 유지관리체계의 구축이 시급하다고 판단된다.

### 2.2 생애주기비용 개념을 도입한 예방적 유지관리체계의 구축

생애주기비용이란 구조물의 계획단계에서부터 사용한계수명이 다하여 철거에 이르기까지 소요되는 총비용으로 정의되나, 이미 사용 중인 구조물의 경우에는 향후 예상되는 성능저하를 관리한 계수준 이상으로 회복시키는데 요구되는 총 유지관리비용(직접경비+간접경비)을 의미하므로 생애주기비용을 엄밀히 예측할 수만 있다면 최소의 비용으로 최상의 상태로 구조물을 유지관리할 수 있을 것이다. 즉, 사용 중인 구조물의 생애주기비용  $LCC = \sum$  (일상적 유지관리비용 + 예방적 유지관리비용 + 필수적 유지관리비용 + 간접비용)으로 표현 가능하며, 여기서 유지관리비용은 진단경비 + 보수경비를 의미하며, 간접비용은 사용자가 부담하여야 할 교통체증비용 등을 포함한다. 보다 과학적인 LCC의 정립을 위해서 지속적으로 연구되고 개선되어야 할 내용은 다음과 같다.

- 구조물별 대표형식의 선정 및 구조거동에 근거한 구조형식의 세분(현행 「시특법」에서 규정하고 있는 구조물의 분류는 근거가 매우 모호함)
- 구물별 설계수명과 사용수명의 재정립
- 구조물별 구성요소의 초기성능 평가기법과 장애변화에 대한 허용수준 즉, 관리한계수준 및 사용한계수준의 재정립
- 콘크리트의 내구성 평가기법 개발 및 개선된 가정들의 개발
- 콘크리트의 내구성에 미치는 영향요소 규명 및 열화속도 예측모델 개발을 위한 보다 많은 자료수집
- 구조형식별 예방적·필수적 유지관리의 실시주기 및 보수경비의 분포함수 도출을 위한 자료 수집
- 현재까지 실시된 진단결과 DB화 및 진단기술 선진화를 위한 연구개발
- 예방적 유지관리체계의 전문화 및 이로 얻어지는 경제적 혜택의 추정(자동화측측 Monitoring System, 구조물 통합관리 전산화시스템 구축, 구조물의 민간전문기관 위탁관리로 유지관리수준의 일관성 유지)
- 콘크리트 구조물의 설계기준 및 유지관리전략의 변화시기 파악
  - 콘크리트 표준시방서 개정 → 1961, 1966, 1969, 1978, 1988, 1996년, 2001년
  - 도로교 표준시방서 개정 → 1962, 1971, 1972, 1978, 1983, 1992, 1996년
  - 구조물 방치(사후 유지관리 실시) → 1995년 이전
  - 필수적 유지관리 실시(예방적 유지관리의 부분적 실시) → 1995년 이후

영국 국립도로유지국(NATS)의 경우, 교량형식은 고가교(over-bridge)와 지하차도(underbridge)로, 상부형식은 철골·콘크리트 합성구조, 현장타설 철근 콘크리트 구조, 프리스트레스트 콘크리트 구조, 포스트텐션 콘크리트 구조 등 4가지로 구분하였으며, 교장 56.8m, 교폭 11.5m, 3.3경간의 철근 콘크리트 고가교를 표준형식으로 선정하여 일상적, 예방적, 필수적 유지관리의

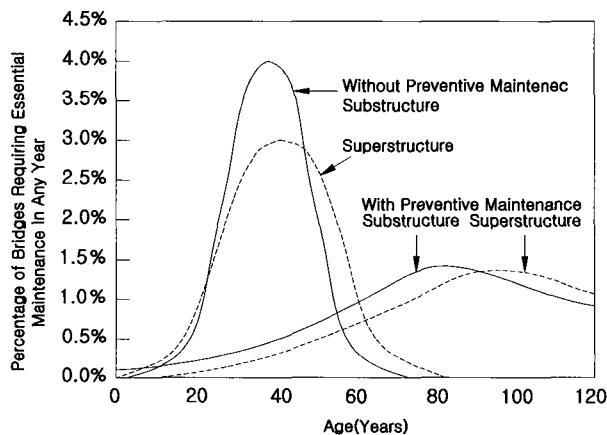


그림 2 철근 콘크리트 고가교의 필수적 유지관리 실시주기(영국 NATS)

소요경비와 실시주기 분포곡선을 도출하여 LCC의 기초자료로 활용하고 있다. 한가지 특이한 점은 예방적 유지관리가 실시되었던 1984년을 기준으로 <그림 2>와 같이 전·후에 준공된 구조물의 필수적 유지관리에 요구되는 보수경비, 실시주기, 대상 개소수를 달리 규정하고 있다는 점이다. 예를 들면 예방적 유지관리가 실시되지 않았던 1984년 이전의 구조물은 대략 20년 이후부터 엄청난 개보수 비용이 발생하기 시작하나, 예방적 유지관리를 실시한 구조물은 상당기간 동안 급격한 개소수의 증가가 발생하지 않음을 나타내고 있다.

동일개념을 우리나라에 적용할 경우 1종과 2종 구조물의 정밀 점검과 정밀안전진단이 시행되기 시작했던 1995년이 이에 해당되며, 만약 예방적 유지관리를 지체하거나 계속 방치할 경우, 영국 NATS의 연구결과에서 지적한 바와 같이 구조 안전성 저하에 따른 구조물의 전면 보수·보강경비의 급격한 증가가 예상되며, 우리나라의 과거 건설수준을 고려하면 필수적 유지관리 시기는 더욱 빨라질 것으로 예상된다.

### 3. 예방적 유지관리체계의 선진화를 위한 요소기술

#### 3.1 콘크리트 구조물의 설계수명, 사용수명, 잔존수명의 개념 재정립

구조물의 수명은 크게 설계수명(design life)과 사용수명(service life)으로 구분할 수 있다. 설계수명은 설계시방서의 제 규정을 준수하여 설계하고, 설계자의 의도대로 시공하였을 때 확보되는 물리적, 통계적, 경험적 개념의 평균수명을 의미하는 것으로 설계시방서에 규정된 설계개념, 구조안전율, 초기투자비용 등의 영향을 받는다.

사용수명은 구조물의 사용환경과 유지관리전략에 따라 변화되는 수명으로 구성재료의 내구년한, 사회적으로 인정되는 관리한계수준과 사용한계수준, 유지관리 기술수준, 지출비용에 따라 연

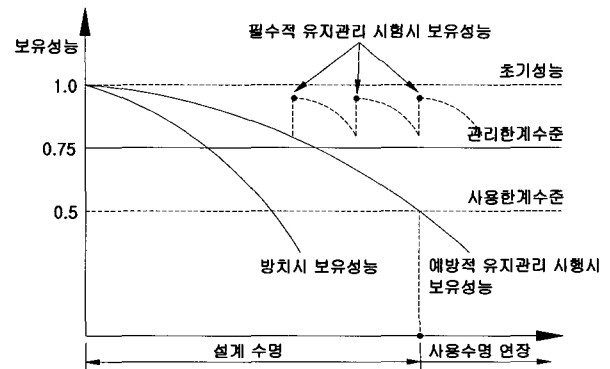


그림 3 콘크리트 구조물의 설계수명과 사용수명의 설정 예

장 가능한 수명이다.

따라서 사용 중인 콘크리트 구조물의 물리적인 사용수명을 연장하기 위해서는 기술적 측면에서 콘크리트 구조물의 내구성 평가방법과 사용환경별 열화속도 예측모델이 개발되어야 하고, 정책적 측면에서 국내 건설여건의 특수성과 생애주기비용을 고려한 구조물별 장·단기 유지관리전략과 관리한계수준이 명확히 정립되어야 한다.

선진외국의 경우, <그림 3>과 같이 일반적으로 구조물의 관리한계수준은 초기성능의 75% 수준, 사용한계수준은 초기성능의 50% 수준, 설계수명은 유지관리전략에 따라 체계적인 유지관리를 시행하는 상태에서 초기성능의 50%를 상실할 때까지의 기간을 의미하는 것으로 알려져 있는데, 여기서 초기성능이란 설계시방서에서 요구하는 설계성능이 아니고, 설계성능에 비해 120~130% 이상 초과하는 실제 보유성능으로 정의된다.

즉, 일상적, 예방적, 필수적 유지관리는 구조물을 관리한계수준 이내로 유지시키기 위해 실시하는 것이며, 그 결과 건전성 확보와 사용수명 연장이 얻어짐을 알 수 있다. 사용 중인 구조물의 열화요인은 대단히 복잡하므로 유지관리를 철저히 시행하여도 사용기간이 장기화되면 콘크리트의 열화속도가 점차 빨라지게 되고, 이에 비례하여 필수적 유지관리의 실시주기는 점차 감소하므로 필수적 유지관리의 최소주기 이내에서도 사용한계수준을 초과하게 된다. 사용한계수준이란 구조물의 성능회복을 위한 보강경비 지출보다는 철거 후 신설이 생애주기비용의 측면에서 경제적인 의미를 가진다.

구조물의 잔존수명이란 일정기간이 경과된 시점에서 예방적 유지관리를 실시하지 않을 경우 사용한계수준 이하로 구조성능이 저하될 때까지 소요되는 기간을 의미하는데, 만약 초기성능에 대한 자료가 없는 경우나 불확실한 경우에는 설계수준을 기준으로 보수적으로 평가할 수밖에 없으므로 초기성능에 관한 자료를 확보하고 있는 경우에 비해 상당히 높은 사용한계수준을 적용하는 것이 타당하다고 판단된다.

결국 선진화된 유지관리체계를 구축하기 위해서는 예방적 유지관리가 지속적으로 시행된다는 전제하에 구조물의 초기성능, 성능저하 예측모델, 설계수명, 관리한계수준, 생애주기비용 등이 엄밀히 정의되어야 하며, 이를 근거로 잔존수명을 예측과 사용수명 연장을 위한 필수적 유지관리의 실시주기와 소요경비의 도출이 가능하다는 것을 알 수 있다.

### 3.2 내구성지수 개념을 이용한 콘크리트의 내구성능 평가 모델 정립

#### 1) 내구성능 평가모델의 필요성

내구성능 평가모델의 개념은 설계 및 시공을 적절하게 수행하였음에도 불구하고 열화에 따른 내구성능의 저하가 발생하는 근

본원인을 찾기 위해 연구되기 시작되었다고 한다. 콘크리트 내구성능 평가모델의 필요성을 요약하면 다음과 같다.

- 재료적 문제로서 콘크리트는 현장에서 배합과 양생과정을 거쳐 제작되므로 초기재령 하에서 공극수의 증발로 콘크리트 내부에 0.001 ~ 0.05 mm 내외의 미세균열(모세공극, 열린공극)을 형성한다. 재료상의 초기결함은 사용단계에서 열화인자의 장기침입을 통해 규산칼슘수화물(C-S-H) 결합조직을 열화시키며, 미세균열의 진전, 알칼리도 저하에 따른 재료자체의 환경 내구성 저하(중성화, 염해, 동해, 화학적 침식 등) 및 철근부식을 동반한다.
- 노출환경에 따른 콘크리트 열화인자의 정량적인 평가가 난해하며 어느 정도까지 열화발생을 허용할 수 있는지에 대한 내구한계상태가 정립되어 있지 않다. 콘크리트 구조물의 과학적 유지관리를 위해서는 노출환경에 맞는 정확한 열화인자의 선별과 열화기구의 분석, 이에 대한 최적대책의 수립이 필요하다.
- 구조안전성 설계와 마찬가지로 정량적인 내구성 설계 및 평가방법이 확립되지 않아 전문가의 공학적 판단에 따라 결과가 상이하다는 것이다. 현재 국내외적으로 설계시방서에서 규정하고 있는 내구성 설계기준은 다분히 개념적인 수준이며 실질적으로 적용할 수 있는 항목으로는 최대 물-시멘트비, 최소공기량 등의 재료항목, 최소철근단개, 가외철근비 등의 설계항목 그리고 양생과정, 거푸집, 동바리 등을 포함하는 시공항목 등이다.

#### 2) 내구성능 평가모델의 개발현황

현재 선진외국에서 시도되고 있는 내구성 평가모델은 일반적으로 Macro Level에서 Meso Level로 점차 세분화되는 추세에 있으며, 다양한 가정에 근거하고 있으나 내구성 평가모델의 핵심은 목표 내구년함과 사용수명의 예측이라고 할 수 있다. 예를 들면, 구조안전성 설계와 마찬가지로 정량화된 열화외력과 정량화된 내구적 저항성을 비교하는 방법, 구조물에 유해한 균열이 발생하기까지의 시간인 내구한계기간과 목표 내구년함을 비교하는 방법, 철근의 피복두께와 시간에 따른 열화깊이를 비교하는 방법, 확률론을 배경으로 하여 구조물의 내구성 파괴확률을 고려하는 방법, 신설구조물을 대상으로 소요성능을 미리 내구적으로 비교하는 방법 등 다양한 가정과 이론에 근거하고 있다.

일본의 경우에는 이미 등가단개법(JCI) 및 내구한계기간 산정법(JSCE) 등과 같은 콘크리트 내구성 평가모델이 제안되어 열화속도의 추정을 시도하고 있으나, 국내에서는 일본 JSCE의 내구지수-환경지수 산정법을 국내 실정에 맞게 부분적으로 보완하여 신설구조물의 내구성 설계와 사용 중인 구조물의 잔존수명 추정에 응용하고 있는 실정이다. 최근 일부 대학을 중심으로 염화물의 침투와 확산이론, 중성화의 침투와 확산이론 등을 이용하여 열화모델 및 철근부식모델을 개발하였는데 이는 예방적 유지관리체계의 선진화를 위한 요소기술 확보측면에서 매우 의미 있는 시도라 할 수 있다.

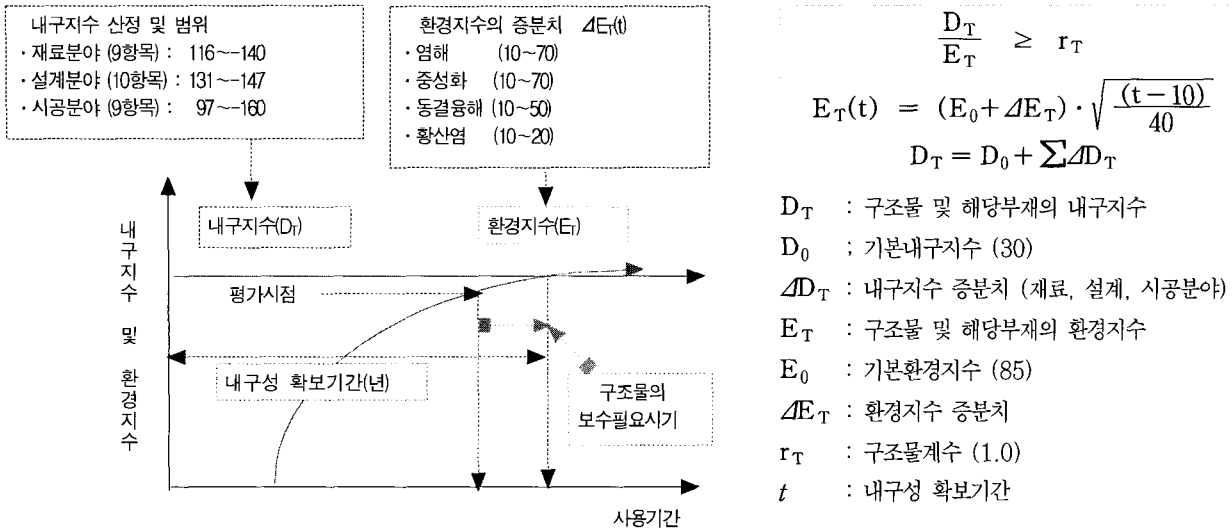


그림 4. 내구지수-환경지수를 이용하는 내구성 설계기법

### 3) 내구지수-환경지수 산정법

일본 JSCE의 내구지수-환경지수 산정법은 내구성 확보기간의 추정을 위해 콘크리트의 내구지수와 환경지수를 정량적으로 평가하여 비교하는 개념으로 내구성이 다소 보수적으로 평가된다는 지적이 있으나, 설계, 재료, 시공과 관련된 요인을 고려하여 구조물의 내구성을 평가한다는 점에서 높이 평가받고 있다.

환경지수 평가에서는 열화외력의 정량적 평가를, 내구지수 평가에서는 내구적 저항성의 정량적 평가를 기본으로 하며, 내구지수와 환경지수를 비교함으로써 내구적 안전 또는 불안전을 평가하여 설계에 이용하고 있다.

내구지수의 구성은 영향인자의 선별과 그룹화를 통해 이루어지며, 각 인자들의 중복이나 누락을 피하고 한 분야로 과다하게 내구지수가 집중되는 것을 방지하도록 내구항목에 최대값과 최소값을 규정하고 있다. 콘크리트 구조물이 보유하는 기본 내구지수와 재료분야, 설계분야, 시공분야의 3개 분야로 나누어 내구지수 증분치를 나타내어 내구적 저항에 유리하면 +, 불리하면 -를 가지도록 하였고, 이 때 각 분야의 항목은 서로 중복되거나 간과되지 않도록 조정한다. 기본 내구지수는 구조물이 가지고 있는 기본적인 내구 저항치로서 콘크리트 구조물의 준공시점에서 보유하고 있는 초기 저항치를 의미한다.

환경지수는 사용기간 동안의 열화인자에 대한 열화정도를 정량적으로 평가한 것이며 내구지수와 비교하여 내구적 안전 또는 불안전을 평가한다. 노출 구조물의 평가를 근거로 노출환경에 따른 적절한 환경지수의 증분치만 구하면 해당부재나 구조물에 대한 환경지수를 나타낼 수 있다.

〈그림 4〉는 콘크리트 내구성 평가모델의 기본개념을 도시한 것으로 콘크리트 구조물의 열화정도를 정량적으로 구현한 환경지수와 내구적 저항정도를 정량적으로 구현한 내구지수의 수치적 비교를 통해 내구적 안정성을 평가한다.

### 3.3 예방적 유지관리체계의 전문화 방안

1) 자동화계측 모니터링 시스템(monitoring system)의 구축  
 예방적 유지관리체계의 전문화를 위해서는 재료 및 구조성능의 경시변화에 대한 지속적인 자료 획득과 다양한 요소기술의 개발이 선행되어야 하며, 과학적 분석을 통해 초기성능 또는 보유성능을 도출하고 향후 예상되는 열화속도를 예측해 나가야 한다. 최근, 국내 IT 산업과 광섬유센서(optical fiber sensor)를 이용한 계측기반기술의 급속한 발전에 힘입어 사장교, 현수교, 장대교량, 고속철도 구조물, 신공법을 도입한 특수 구조물, 광폭터널, 인텔리전스 빌딩, 초고층건축물 등을 중심으로 유·무선 자동화계측 모니터링 시스템을 이용한 실시간대 상태감시 시스템의 구축이 시도되고 있다.

개념적으로 자동화계측 유지관리 모니터링 시스템의 보유기능은 〈그림 5〉와 같이 5가지 단계로 분류되며, 유·무선 자동화계측 모니터링 시스템의 일반적인 운영체제는 〈그림 6〉과 같이 정의할 수 있는데, 향후 관리주체의 정책적 배려와 IT 분야 기반기술의 보급이 전제될 경우, 〈표 1〉과 같이 차세대형 유·무선 자동화계측 모니터링 시스템은 최적의 계측정보를 실시간대로 획득·전송·분석하는 국부적 계측방식+지식기반 해석방식(damage localization forecasting 기능보유) 개념으로 전환됨이 바람직하다고 판단된다.

모니터링 시스템의 5단계 기능 중에 현재 국내의 보유기능은 LEVEL 0 또는 LEVEL 1의 수준이나, 선진외국의 경우에는 대체적으로 LEVEL 2의 수준으로 시스템을 운영하고 있는 실정이며, IT 분야의 기술 진전에 따라서는 LEVEL 3과 LEVEL 4의 수준까지도 가능하리라 판단된다. LEVEL 4는 모니터링 시스템의 최종목표이나 선진외국에서도 개발단계에 있는 실정이다. 자동화 계측 유지관리 모니터링 시스템의 안정적 사용을 위해 추가

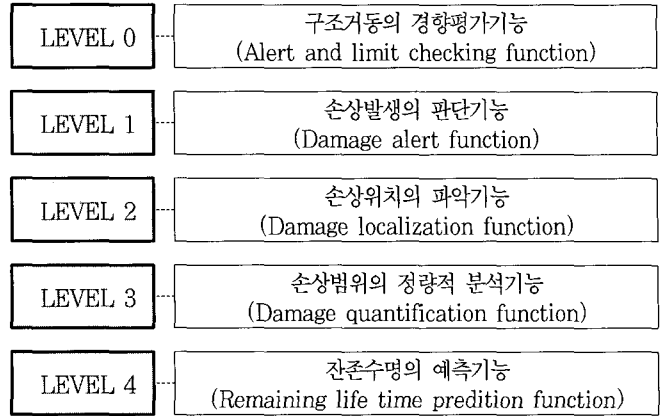
보완되어야 하는 사항은 다음과 같다.

- 계측시스템의 환경영향 및 Ageing 현상의 제어기술
- 계측신호의 전송과정에서 발생하는 각종 전기적 Noise(전압 불안정, 전기적 Noise, 케이블, 연결단자에서의 저항증가)의 제어 기술
- 데이터 로저(data logger) 및 센서의 장수명화 및 안정성 확보를 위한 유지관리 기술
- 기존 전기저항식 계측센서의 성능개선 및 광섬유 격자센서와 같은 다중점 측정이 가능한 고기능성 계측센서의 활용분야 개발
- 인력 의존성이 높은 전반적 계측+신호기반해석 방식의 탈피

2) 구조물 통합관리시스템의 구축 및 전문기관을 이용한 위탁 관리 시행

최근 중앙정부와 광역자치체를 중심으로 시설물의 과학적인 유지관리체계 구축을 위한 통합관리시스템의 도입에 관심이 높아지고 있다. 일반적으로 웹을 기반으로 GIS(geospatial information system) 및 LCC의 개념을 도입한 구조물 통합관리시스템은 <표 2>와 같이 구성된다. 구조물 통합관리시스템의 구축을 통해 시설물 정보공유를 통한 관련기관 간의 협조 및 중복검토가 이루어져 국가 주요 시설물의 관리업무의 효율성이 증대되고 웹기반 기술적용, GIS 기술 적용 및 LCC 개념 도입을 통한 공공시설물의 과학적 유지관리체계 구축이 가능하다고 생각된다. 또한 시설물에 대한 과학적 유지관리체계 구축으로 시설물 관리 주체와 용역업체의 인력 및 비용 절감효과와 자동화된 시설물 정보통합관리가 가능하므로 시설물 관련도서의 망실에 따른 제작성 및 유지보수 비용절감 효과를 기대할 수 있다.

구조물 통합관리시스템은 현재 폭발적으로 보급되고 있는 인터넷 통신망의 이용이 가능할 뿐만 아니라 원격탐측(Remote Sensing) 또는 GPS(Global Positioning System) 등을 연계한 전문화 시스템의 구축이 가능하므로 앞으로 활용도의 증진이 예상되며, 유지관리의 전문화 및 일관성 유지를 위해 민간기관을



※ LEVEL 0, LEVEL 1 : Limit and Trend Checking Monitoring System  
 ※ LEVEL 0 - LEVEL 4 : Global Dynamic Parameter Estimation System (Motion Parameter, Stress Parameter, Environment Parameter)

그림 5. 자동화계측 유지관리 Monitoring System의 보유기능 분류

이용한 위탁관리를 실시하는 것도 한가지 대안이라고 사료된다.

3.4 사용 중인 구조물의 보유성능 평균수준 향상

1) 노후 또는 저등급 구조물 보유성능수준의 향상

현재 지속적으로 실시하고 있는 공공시설물의 예방적 및 필수적 유지관리의 시행으로 노후구조물이나 부실시공된 상당수 구조물의 성능개선이 완료된 상태이고, 책임감리제도의 정착과 「건설기술관리법」에 규정한 시공 중 안전점검의 의무화로 시공하자가 상당히 감소될 추세이나, 수차에 걸친 설계시방서의 개정으로 설계하중이 상향조정되어 도로구조물의 상당수에서 중차량의 급증에 따른 구조손상이 진전되고 있거나 기본 내하력이 낮은 저등급 구조물로 전락하였다.

현재 국토상에 가설된 약 2,500여 개의 교량 중 약 46%를 점유하는 상당수의 교량은 1978년 「도로교표준시방서」의 설계하중 상향조정으로 저등급 교량이 되었으며, 사용기간 중에 발생한 성능저하를 배제하더라도 이론적인 최대 통과가능 하중이 현

표 1. 자동화 계측 모니터링 시스템의 개선방안

구 분	기존의 모니터링 시스템	개선된 모니터링 시스템
계측방식	·전반적 계측방식 ·많은 계측기 설치로 다수의 신호취득	·국부적 계측방식 ·최적의 계측기 설치로 필요정보 획득
해석방식	·신호기반 해석방식 ·전문인력 및 S/W화 기능으로 구조물의 손상도를 예측하고 경고함	·지식기반 해석방식 ·신호해석 결과와 획득자료를 이용하여 손상도 및 손상위치를 예측하고 경고함
최고기능	·Damage Alert	·Damage Localization Forecasting
단 점	·전문화된 시스템구축에 실패할 경우 예산낭비가 예상됨. ·교량 유지관리시 다수의 인력 소요 ·다수의 계측센서가 요구됨	·초기투자비가 상대적으로 큼 ·신호해석 및 해석결과에 관한 DB구축이 선행되어야 함.
장 점	·초기투자비가 상대적으로 저렴함 ·해석기술이 기술수준이 다소 떨어지더라도 시스템 운영 가능	·Export System으로 발전시킬 수 있음 ·시스템은 실자료에 근거하기 때문에 정확한 결과도출이 가능하며 신뢰성과 정밀성이 높음. ·소수 전문인력으로 시스템 운영 가능 ·센서의 배치계획에 따라서는 국부 손상위치까지 확인가능
국내현황	·대부분 Trend Checking 수준임	·선진외국의 경우만 존재

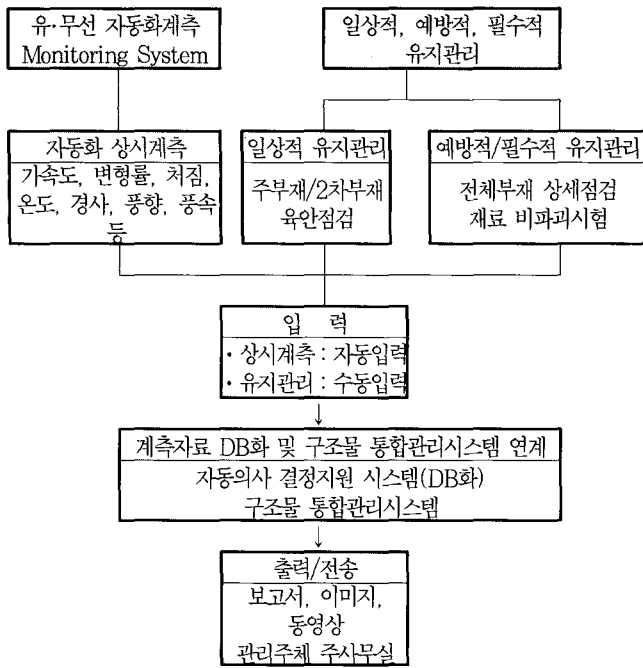


그림 6. 자동화계측 유지관리 모니터링 시스템의 운영체계

행 「도로법」에서 규정하고 있는 통과허용하중(총중량 40톤, 축중 10톤)의 81% 수준이며, 현행 1등급 설계하중(DB-24, 총중량 43.2톤)의 75% 수준에 불과한 실정이다. 따라서 중차량 통과빈도가 유사한 동일노선 내에서도 최근 개축된 1등급에 비해 기존교량은 상대적으로 손상 및 파손이 심각하여 공용내하력과 잔존수명이 급격히 저하되고 있는 실정이며, 보수·보강, 개·보수 등 성능회복을 위한 비효율적 경비지출의 주원인이 되고 있다.

특히, 「시특법」 제정 이후 최근 7년 동안 실시된 1종 교량(경간장 50m 이상, 연장 500m 이상)과 2종 교량(연장 100m 이상)의 정밀안전진단 결과를 종합하면, 저등급 교량의 구조안전율 증진을 위한 근본적인 성능개선이 시급하다고 보고하고 있으며, 또한 시특법상 1·2종 교량의 구분이 교량의 설계하중에 근하는 것이 아니라 경간장과 총연장에 근거하므로 상대적으로 소규모 교량인 설계하중 DB-18 이하의 2종 미만 교량은 법정진단주기가 길어 1종 교량에 비해 구조성능 평가 및 손상진전 여부의 판단에 대한 어려움이 있는 실정이다.

건교부와 서울특별시 등 광역지자체를 중심으로 시행되고 있는

저등급 교량의 성능개선사업은 노후교량의 단순한 보수·보강을 넘어 공공시설물의 보유성능 평균수준을 향상시키는 것이므로 과학적 유지관리체계의 구축을 위해 선행되어야 할 필수과제라고 판단되며, 중차량, 군용계도차량과 같은 초과하중에 효과적인 보수·보강신공법 및 신기술의 지속적인 개발을 통해 관련분야를 동반 발전시켜야 한다.

2) 구조물의 내진성능 향상

근래 일본, 대만 등 인접국가에서 지진활동에 의한 시설물의 피해가 증대하면서 신설구조물의 내진설계, 기존구조물의 내진성능 평가 및 내진보강을 위한 연구가 진행되고 있다. 지진피해가 많은 일본의 경우, 지진으로 인해 손상을 받은 구조물의 대부분은 합리적인 내진설계법의 제정 이전에 시공된 것이지만 종종 내진설계로 시공된 구조물에서도 예상치 못한 피해가 발생하였는데, 특히 다음조건에 있는 구조물은 내진보강의 우선순위가 높은 것으로 보고되고 있다.

- 특수한 지반조건하에 있는 구조물
- 하천의 세굴작용을 받은 구조물
- 설계조건을 훨씬 상회하는 지진력을 받을 가능성이 있는 구조물
- 낙교의 가능성이 있는 교량 주부재

사용 중인 구조물의 내진보강 최종목표는 내진설계된 신설구조물과 동일수준의 내진성능을 보유토록 하는 것이나, 구조물 설치 위치의 지진활동도, 구조물의 중요도, 구조물의 예측되는 사용수명 즉, 잔존수명에 따라서 우선순위와 보강수준을 달리하여야 한다. 특히 지진활동이 적은 지역의 구조물, 잔존수명이 짧은 구조물의 경우에는 사용기간 중에 대규모 지진을 경험할 확률이 작기 때문에 내진보강의 수준을 낮추어야 하며, 다음의 경우에는 내진보강 수준을 강화시켜야 한다.

- 교통량이 많은 도로 구조물 또는 우회도로가 없는 도로 구조물
- 주요 공공시설물의 이동경로 상에 위치하는 도로 구조물

사용 중인 도로교의 지진피해 사례를 보면 받침부의 파손 및 하부구조의 이상변위 등에 의해 상부구조의 파손된 것이 대부분이며, 상부구조 자체의 내하력 부족에 의한 피해 예는 적은 것으로 알려져 있다. 일반적으로 적용되는 도로교의 내진보강공법중 낙교방지시설의 설치에 공사비가 저렴하고, 시공이 간편하며 보

표 2. 구조물 통합관리시스템 개요

구 성	내 용
시설물 기본 정보시스템	시설물의 관리대상 중 기본현황 및 상세제원만을 분리하여 시설물의 기본정보 시스템
시설물 안전관리 정보시스템	안전점검/진단이력, 보수/보강이력, 안전관리대비실적 자료, 안전점검 및 정밀안전진단 보고서의 DB 구축
시설물 생애주기비용(LCC) 정보시스템	시설물 공통의 비용요소를 기반으로 시설물 생애주기 비용의 DB 구축 및 모니터링 서비스 시스템의 구축
시설물 사고사례 정보시스템	시설물 사고사례 DB구축 및 서비스 시스템의 구축
시설물 지리정보(GIS) 시스템	시설물의 위치정보를 기반으로 한 시설물 정보 조회 및 각종 통계자료의 시각적인 출력서비스 시스템
시설물 관련업체 정보시스템	안전진단전문기관 실적제출, 실적관리 및 일반현황정보관리 및 유지관리업체의 실적 및 현황정보 관리 서비스 시스템
시설물 연계 정보시스템	시설물 설계정보의 DB구축 및 서비스 시스템 개발 안전점검 및 정밀안전진단 결과보고서의 DB 구축 및 시스템 개발, 시설물 유지관리 제반기술 수집 및 서비스를 위한 시스템

표 3. 사용 중인 도로교의 내진 성능 평가 및 내진 보강 대책

내진상의 문제점	내진보강공법
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상·하부구조간의 과도한 상대변위 (상부구조낙하)</li> <li>- 받침부의 변상</li> <li>- 낙교방지시설의 불비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 받침부의 보수</li> <li>· 이동제한장치의 설치</li> <li>· 받침 연단거리 S의 확보</li> <li>· 하부구조 연단에서 주형 길이 SE의 확보 또는 낙교방지시설의 설치</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하부구조의 이상변위 (경사, 활동, 침하, 전도)</li> <li>- 액상화 위험성이 높은 포화 사질토 지반</li> <li>- 극연약지반</li> <li>- 세굴</li> <li>- 기초의 지지력 부족</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 나무등을 이용한 체결공</li> <li>· 샌드 콘택션 파일 등에 의한 지반개량</li> <li>· 사석공, 블럭공</li> <li>· 말뚝증가, 기초확대</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· 하부구조의 강도부족(파손, 파괴)</li> <li>- 내하력 부족</li> <li>- 인성 부족</li> <li>- 재료열화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 구체 콘크리트 단면증가</li> <li>· 내진벽, 지중연결보</li> <li>· 기초확대, 말뚝 증가</li> </ul>

강효과가 우수하므로 보편적으로 적용되는 내진보강공법이나, 하부구조의 전단파괴, 경사, 전도, 침하 등에 대하여 검토한 후 별 문제가 없을 때 실시하여야 한다.

사용 중인 도로교의 경우, 보유성능 평균화를 위해서 우선 시행되어야 할 내진보강 필수범위는 받침부, 하부구조 및 기초구조가 대상이 되어야 할 것으로 판단되며, 내진설계 시행 이전의 교량에서는 상·하부구조의 과도한 상대변위, 지반의 변형, 하부구조의 취약부 파괴 등에 대한 내진성능 평가 및 보강대책이 검토되어야 할 것으로 판단된다. 사용 중인 도로교의 내진성능 평가 및 보강대책을 요약하면 <표 3>과 같다.

### 3.5 보수·보강 신소재 및 신공법의 설계기준과 시공기준 정립

신소재를 이용한 신공법의 급속한 보급에 힘입어 전통적인 구조재료인 철근과 콘크리트의 대안으로 FRP를 비롯한 신소재의 사용이 보편화되고 있다. 특히 FRP(섬유보강플라스틱)는 수지결합재와 수지결합재에 분산된 고강도섬유로 구성되며, 생산기술이 발전하면서 미국, 영국, 캐나다, 일본 등에서도 설계 지침이 제정될 정도로 활용빈도가 높은 실정이다.

FRP는 철근의 인장강도를 크게 초과하는 고강도성, 단위중량이 철근의 1/50로 경량이어서 물류비가 낮고, 취급, 철근조립과 관련된 시공성이 우수하며, 비부식성으로 강산과 강알칼리 환경에서 모두 저항성과 피로 저항성이 우수하고, 전자기장에 덜 민감하며, 비전도체 및 비자장체로 열 팽창성이 낮은 장점이 있는 것으로 알려져 있으나, 또한 구조재료로서 많은 단점이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 생애주기비용 개념을 도입한 구조물 유지관리체계의 전문화를 위해서는 신재료에 대한 설계기준과 시공기준이 명확히 제시되어야 한다.

- 1) FRP의 문제점(구조물 유지관리 측면에서 FRP의 고려사항)
  - 명확한 설계 지침의 미흡: 일반적으로 검증된 설계기준이 없어 설계자와 관리주체가 신소재나 신공법의 채택을 꺼려한다.
  - 확인되지 않은 강도이력: 인장강도가 크고 자중감소 효과가 커 장대경간을 갖는 구조물을 대상으로 초기경비만을 고려하여 경제성을 도출하였으나 장기적으로는 여전히 높은 위험성을 내포하고 있고, 소규모 구조물의 적용은 경제성이 떨어진다.
  - 가격: 재료단가가 높은 것은 수요가 없기 때문이다. 수요가 증가하면 가격은 떨어지나 초기투자를 필요로 한다. 가격이 떨어질수록 손익분기점의 기간도 단축될 것이다.
  - 강재에 비해 상대적으로 낮은 강성: 아라미드나 유리 FRP는 강성이 다소 낮으며, 높은 강성을 갖는 탄소 FRP가 생산되고 있으나 매우 고가이다.
  - 소성변형이 발생함: FRP는 파괴시까지 거의 선형의 응력-변형률 관계를 나타내므로 붕괴징후를 보이지 않으며 극한상태에서 하중-재분배 영역이 작다.
  - 정착부: 프리스트레싱 강선이나 사장교의 강선에서 사용하는 편리한 정착부 시스템이 가능하지 않으므로 케이블은 소요길 이로 절단되어야 하며, 공장에서 정착부를 설치하여야 한다.
  - 응력파단: 응력파단의 가능성이 있어 고강도 FRP의 전면적인 사용을 제한하고 있다.
  - 공용중 성능이나 내구성에 대한 정보가 부족하여 높은 안전율이 요구된다.
  - 횡방향 응력의 영향: FRP는 횡방향으로 취약하여 정착부나 횡방향 만곡에 기인한 저항능력의 감소가 크다.
  - 장기 내구성이 아직까지 증명되지 않았다. 즉 수분에 대한 아라미드섬유의 내구성, 알칼리 환경에 대한 유리섬유의 내구성, 나무의 당분이 미치는 영향, 거푸집에 바르는 기름성분에 대한 내구성 등.
  - 환경조건에 대한 거동이 확인되지 않음: 초음파와 염화물에 노출시
  - 내화성이 낮고 전통적인 건설재료와 비교할 때 외관상 미감이 떨어진다.
  - 운반, 현장에서의 취급과 저장시 주의가 요구됨: FRP는 철근과 콘크리트에 비해 손상에 더욱 취약하다.
  - 보건과 안전성 측면: 흠어진 섬유는 피부를 자극하고 사람에게 따라서는 수지로부터 알레르기반응이 발생한다. 따라서 재료 취급시 장갑을 착용하여야 하며, 미진 흡입기가 사용되어야 한다.
  - 콘크리트에 FRP 보강봉을 고정시키는 공법이 필요함: 봉은 비철금속이므로 통상의 방법으로 고정시킬 수 없다. 봉의 위치와 피복두께의 확인방법을 필요로 한다.
  - 보강 틀이나 망을 적절한 방법이 필요하다. 예를 들어 와이어를 사용하면 FRP 봉에 손상을 주므로 소성 케이블이 사용되어야 한다.



- 등급이 다른 봉을 정의하는 방법이 필요하다. 표준화되어 있는 색깔표시법은 오류를 피할 수 있는 해결책이 될 수 있다.
- 설치후 봉의 교체작업을 피하기 위해서는 경미한 손상부에 대한 국부 보수공법이 수립되어야 한다.
- FRP는 경량이므로 도난사고가 발생하기 쉽다.
- FRP는 자중이 낮아 보강시 콘크리트에 뜨기 쉽다. 따라서 고정용 뚜껑이나 연결선을 이용하여 위치를 적절히 고정하여야 한다.
- FRP 봉은 진동손상에 더욱 취약하다. 따라서 진동기의 머리 부분에 플라스틱 보호재를 고정시키는 것이 바람직하다.

## 2) FRP의 설계기준 및 시공기준 제정시 고려사항

- FRP 재료파단에 앞서 명확한 항복점을 보이지 않는다. 따라서 국부적인 급격한 파괴발생 후 곧바로 재료가 극한 응력상태에 도달한다. FRP를 이용한 구조물은 사용성 한계가 극한 한계상태 보다 먼저 발생할 수 있도록 설계되어야 한다. 대부분의 전통적인 연성재료에서는 과도한 처짐, 균열 등이 통상 파괴를 유발시키므로 평범한 내용이나, FRP의 경우에는 연성이 부족하므로 비록 낮은 강성이 이러한 단점을 상쇄시켜주는 하지만 파괴후에 대한 발견이 극히 제한된다.
- 취성파괴를 피하기 위하여 높은 안전율이 요구된다. 철근 콘크리트나 프리스트레스트 콘크리트의 경우, 파괴모드가 철근의 파단 보다는 콘크리트의 압축파괴가 지배한다.
- 소성힌지가 형성되지 않으므로 결과적으로 모멘트 재분배나 항복선 해석이 허용되지 않는다.
- 모든 FRP는 크리프 파단에 대한 저항성이 취약하다. 이는 프리스트레싱 케이블과 같이 높은 응력을 받는 요소에서는 특히 중요하다. 크리프 파단효과를 설계에 반영하기 위해서는 별도의 검토가 요구된다.
- FRP는 철근에 비해 피로 저항성이 우수하다. 일방향 섬유보강 FRP도 피로 저항성이 양호하다. 탄소 FRP는 피로 저항성이 가장 우수하여 피로한계가 극한강도의 60 ~ 70 % 수준에 이른다. 유리섬유와 아라미드섬유 FRP 복합체와 정착부 시스템의 제품별 피로특성은 제작회사에서 제공하여야 한다.
- FRP를 이용한 교량의 설계시 사용성 한계상태를 고려하기 위해서는 FRP 복합체의 내구성이 반드시 반영되어야 한다. 잠재된 균열, 층분리, 충격이나 지압에 의한 국부손상은 외관상태와 내구성에 관련시켜 고려하여야 하며, 이는 관련 기관의 승인을 받아야 한다.
- FRP를 사용한 경우, 재료강도에 미치는 부분적 영향인자는 전통적인 건설재료에 비해 매우 상이하다. 이를 위해서는 크리프, 응력파단, 내구성, 통계적인 품질 변동성 등을 포함시켜 FRP의 상이한 품질을 고려하여야 한다.
- FRP 복합체는 철근보다 더욱 유연성이 크다. 과도한 처짐은

교량의 거동과 외관상태에 영향을 미치므로 복합체의 유연도를 반드시 검토하여야 한다. 만약 발생한 처짐이 허용범위 이내이면 2차적인 영향이 중요해 지며, 이들의 적정성을 고려하여야 한다.

- FRP는 비부식성이며, 이는 교량의 이용시 바람직한 특성이 다. 유리 FRP는 알칼리와 습윤이 존재하면 열화된다. 따라서 유리 FRP는 제품의 내구성이 증명되어 질 수 있는 경우에만 철근콘크리트에 이용 가능하다. 유리 FRP는 시멘트 성분의 재료로 그라우팅을 실시하는 프리텐션 부재나 포스트텐션 부재에는 추천되지 않는다.

## 3.6 PSC 부재의 PS 강선 잔류긴장력 평가방안 확립

국내 가설된 교량의 10%는 PSC 교량이라는 통계자료가 있고, 최근 도입되는 도로교 설계 시공법은 상당수가 프리스트레스트 콘크리트 박스형식의 교량인 실정이다. 따라서 PSC 교량 잔류긴장력 평가방안의 확립은 과학적 유지관리체계의 확립을 위한 필수과제가 아닐 수 없다. 그러나 사용 중인 교량의 대부분은 다음의 문제점으로 인해 초기성능과 현재 보유성능이 불확실하여 유지관리전략의 수립에 애로사항이 되고 있다.

- 설계긴장력( $P_j$ )과 초기긴장력( $P_i$ )의 도입여부가 불확실하므로 잔류긴장력( $P_e$ )과 초기 및 잔류긴장력에 대응되는 손실량의 크기를 정확히 산정할 수 없다.
- PSC 부재의 제작오차, 시공정밀도(거푸집, 레미콘 타설·양생, 강선배치, 긴장순서 등)가 불확실하므로 초기솟음량이 불확실하다.
- 사용 중인 교량의 경우, 정착장치의 이동 및 설치하자, 받침 장치의 작동불량에 의한 부재단부의 파손, 균열, 과재하중, 진동, 내구성 저하, 강성저하 및 기타요인에 의한 잔류긴장력의 추가손실 발생여부의 정량적 산정이 매우 어렵다.
- PSC 부재에서 코어 채취가 어려워 콘크리트 강도를 측정오차가 큰 비파괴강도에 의존한다.

현재 PSC 부재의 보유성능 평가를 위해 「도로교표준시방서」에서 제시한 손실량에 근거하여  $P_i$  및  $P_e$ 를 산정하고, 재하 시험에서 도출한 실측거동과 구조해석으로 계산한 이론거동의 비를 이용하는 방법이 사용되고 있으나, 실제 도입된 긴장력이 설계긴장력( $P_j$ ) 보다 작은 경우나 사용 중에 구조손상, 재료노후 및 추가손실이 발생한 경우에는 잔류긴장력을 과대 평가할 우려가 있고, 대안으로 실측솟음량을 측량한 후 미국 PCI에서 추천하는 부재자중, 합성전·후 사하중 처짐량의 추천계수를 이용하여 잔류긴장력을 추정하는 방법이 있으나, 부재의 제작오차로 솟음량 차이가 존재하는 경우 잔류긴장력이 과소평가될 가능성이 있어 적용성에 논란이 있는 실정이다.

PSC 구조물의 증가추세를 고려할 때, 이러한 문제점은 합리

적인 도로구조물 유지관리전략의 수립을 위해 시급히 해결해야 할 과제이다.

#### 4. 결 론

아직까지 국내 유지관리분야는 영세성과 비전문성을 벗어나지 못하고 있고, 다른 업종에 비해 부가가치가 낮은 것이 현실이다. 이를 극복하여 구조물 유지관리체계를 전문화, 과학화, 선진화시키고, 구조물 유지관리 문화를 향상시키기 위해서는 정책적 배려와 아울러 관련분야의 연구개발이 전제되어야 한다.

21세기는 정보화 및 IT 시대라고 정의한다. 콘크리트 구조물의 유지관리는 이제 이 시대가 요구하는 중요과제가 되었고, 생애주기비용을 이용한 콘크리트 구조물의 예방적 유지관리체계 구축이 문제해결을 위한 방안이 될 수 있다고 사료된다. 물론 기술적·정책적으로 콘크리트 구조물의 관리한계수준과 사용한계수준이 정립되어야 하고, 우리나라의 실정에 맞는 구조물 초기성능, 사용수명, 잔존수명, 열화속도 예측기법 등을 포함한 내구성 평가모델이 개발되어야 한다. 아울러 사용 중인 구조물의 평균 보유성능 향상을 위한 보수·보강기법 및 신소재를 사용하는 신기술의 설계기준이 제정되어 노후 또는 저등급 구조물의 일관성 있는 성능개선이 시행되어야 한다. □

#### 5. 참고문헌

1. 日本コンクリート工學協會, 콘크리트 구조물의壽命豫測と耐久性 設

計に關するシンポジウム論文集, 日本コンクリート工學協會 耐久性設計研究委員會, 1991.

2. 小林一輔, 콘크리트 구조물의早期劣化と耐久性診斷, 森北出版株式會社, 1991.
3. CEB Task Group 5.1, 5.2, "New Approach to Durability Design", CEB, Sprint-Druck, Stuttgart, May, 1997.
4. Perry Vassie, Julian Wallbank and Paresh Talior, "Strategic Planning of Future Structures Maintenance Needs", TRL, Crowthone, Berks, UK, 1999.
5. Albert F Daly, "Use of Fibre Reinforced Plastics in Bridge Construction", TRL, Crowthone, Berks, UK, 1999.
6. OECD Road Research Group, "Evaluation of Load Carrying Capacity of Bridges", Road Research-Organization for Economic Co-operation and Development, 1979.
7. 이상민, "비파괴시험법에 의한 R/C구조물의 평가-건축구조물에서의 적용현황 및 전망", 한국콘크리트학회지 제6권 2호, 1994, pp.34~39.
8. 이상민, "콘크리트의 조기열화와 내구성 진단", 대한토목학회 고등시공기술강좌(IV), 1994.
9. 이상민, "콘크리트교량의 건설성평가", 대한토목학회 고등시공기술강좌(VI), 1996.
10. 건설교통부, 콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수·보강 전문시방서, 시설안전기술공단, 1999. 12.
11. 변근주, 송하원 외, 고가교의 내구성 확보기간 연장방안 및 향후 대책에 관한 연구, 한국콘크리트학회, 2000. 11.
12. 시설안전기술공단, LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구, 시설안전기술공단, 2001. 2.

## 폴리머 콘크리트 아시아 심포지엄 안내

### 제4회 폴리머 콘크리트 아시아 심포지엄 - 4th Asia Symposium on Polymers in Concrete -

- 일시: 2003년 5월 1~3 일, 강원대학교
- 발표논문내용: 제조기술, 물리·역학적 특성, 설계 및 구조해석, 내구성, 시험방법, 보수 및 보강기술, 구조물 및 비구조물에서의 적용, 포장, 라이닝 및 방수 등)
- URL: <http://rrc.kangwon.ac.kr>, <http://cc.kangwon.ac.kr/~ksyeon>

\* 콘크리트 관련 세미나에 회원 여러분께서 많이 참석하시어 도움이 되시기 바랍니다.