

대형구조물의 안전진단 기술



신 병 천

(KIMM 구조시스템연구부)

- '77. 2 부산대학교 조선공학 (학사)
- '82. 2 부산대학교 조선공학 (석사)
- '90. 2 부산대학교 조선공학 (박사)
- '82 - 현재 한국기계연구원 책임연구원



한 승 호

(KIMM 구조시스템연구부)

- '89. 2 한양대학교 기계설계 (학사)
- '91. 2 한양대학교 기계설계 (석사)
- '96. 9 (독)아헨공대 기계공학 (박사)
- '96 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



이 종 원

(KIMM 구조시스템연구부)

- '90. 2 연세대학교 건축공학 (학사)
- '92. 2 연세대학교 건축공학 (석사)
- '92 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

1. 서 론

지난 30여년간 급속한 산업화 과정에서 신속 적당주의로 시공되고 무사안일로 유지관리된 많은 대형 국가 기간시설물들의 안전성에 대한 국민적인 관심이 성수대교 및 삼풍백화점 붕괴사고 이후 커다란 사회문제로 비화하였으며, 부실 구조물에 대한 대대적인 안전진단, 보수·보강 등으로 값비싼 대가를 치루고 있다.

부실시공 및 관리소홀로 인한 구조물 내부의 여러 결함들은 지금 당장은 큰 문제가 되지 않더라도 계속적으로 하중을 받아 재료자체의 열화와 함께 결함이 성장하게 되면 설계 수명 이전에 붕괴하는 치명적인 사고를 유발할 수 있다. 성수대교와 같은 대형 붕괴사고도 사전에 철저한 안전진단이 이루어졌더라면 충분히 사고를 방지할 수 있었다는데 아쉬움이 남으며, 안전진단의 중요성을 확인시킨 중요한 계기가 된 사고였다.

안전진단이라 함은 시설물의 현존 상태를 기준으로 향후 장기간에 걸쳐 건전하게 사용하기 위하여 실시하는 일상적인 점검, 손상상태 및 원인파악, 성능평가, 안전도 평가, 손상의 진행 상황예측, 보수·보강 및 개축의 조치시행 등과 관련되는 종합적인 조사, 평가 및 조치기법을 말한다.

대형구조물 즉, 대형국가 기간 시설물에는 여러 종류가 있으나, 본 고에서는 제한된 지면으로 인하여 주로 교량을 중심으로 정밀 안전진단의 절차 및 실시방법에 관한 국내외 자료를 취

함하여 소개하고자 한다.

2. 안전진단의 종류 및 내용

2.1 개요

안전진단은 시설물의 건전성 유지를 위한 중요하고도 필수적인 과정으로서 그림 1에 나타나 있는 바와 같이 범위가 넓다. 따라서, 전국에 산재해 있으며, 그 관리주체들도 다양각색인 각종 시설물의 효과적인 유지관리를 위해서는 체계적이고 종합적인 안전진단의 절차 및 방법을 구체적으로 설정해 놓아야 한다.

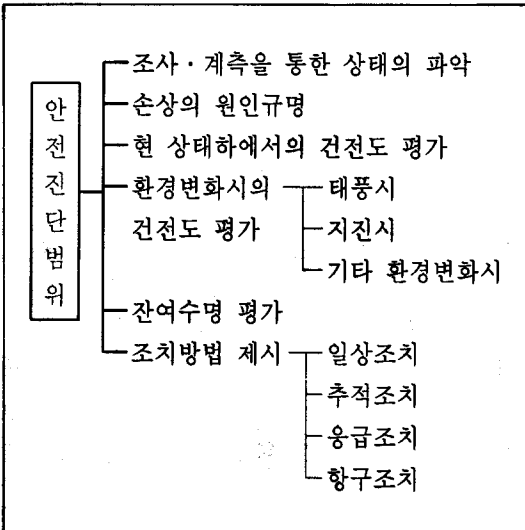


그림 1. 안전진단 업무의 범위

1992년 개정된 도로교표준시방서에 기존교량의 유지관리에 관한 사항을 처음으로 추가하였으나, 아쉽게도 이 시방서대로 점검이 제대로 이루어지지 않았다. 1994년 10월 성수대교 붕괴 사고 이후 제정된 시설물 안전관리 특별법의 시행령에 근거하여 체계적인 안전진단 지침이 확립되었으며, 안전진단의 분류는 일상점검, 정기점검, 긴급점검, 정밀안전진단으로 구분하고 있

다. 그림 2는 전체적인 안전점검 및 진단의 흐름도이다.

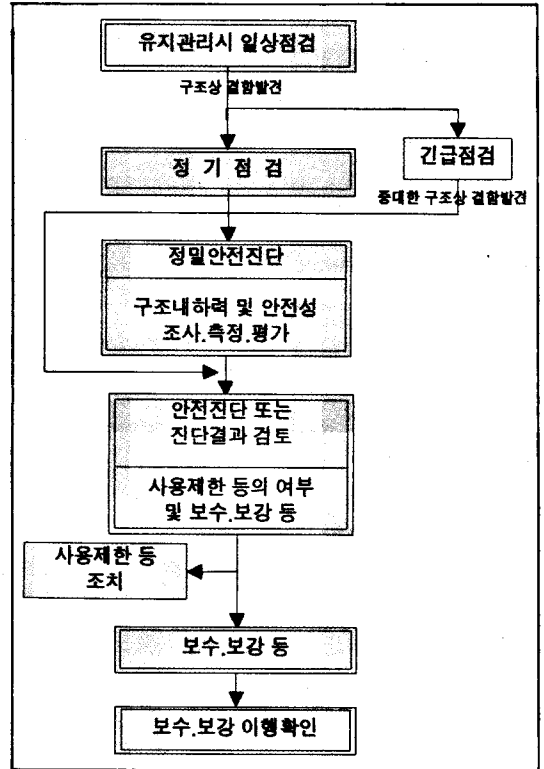


그림 2. 안전점검 및 진단의 흐름도

2.2 일상점검

일상점검은 공용중인 시설물의 유지관리를 책임지고 있는 기관에 의하여 자체적으로 항시 행해지는 순찰과 유사한 성격의 외관조사로서 그 흐름도는 그림 3과 같다. 점검자는 교량 유지관리 지침에 근거하여 대상 시설물별로 정해진 감시항목에 따라 시설물의 전반적인 외관형태를 관찰하여 손상의 발견 및 그 변화추이를 명확하게 기록하여야 한다. 주요 점검부위는 응력이 집중되는 위치(단면 급변부, 지점부, 정착부, 이음부 등), 파손이 되면 교량의 안전에 심각한 영향을 미치는 부재(붕괴유발부재, Fracture critical member 등)와 기초부 등이다.

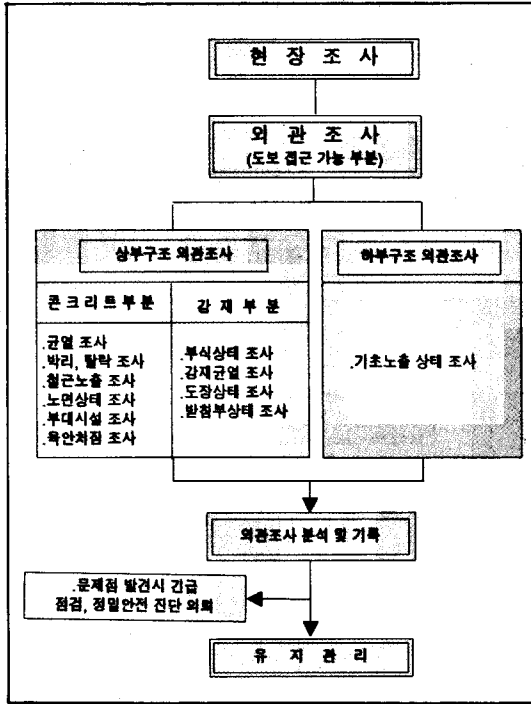


그림 3. 일상점검의 흐름도

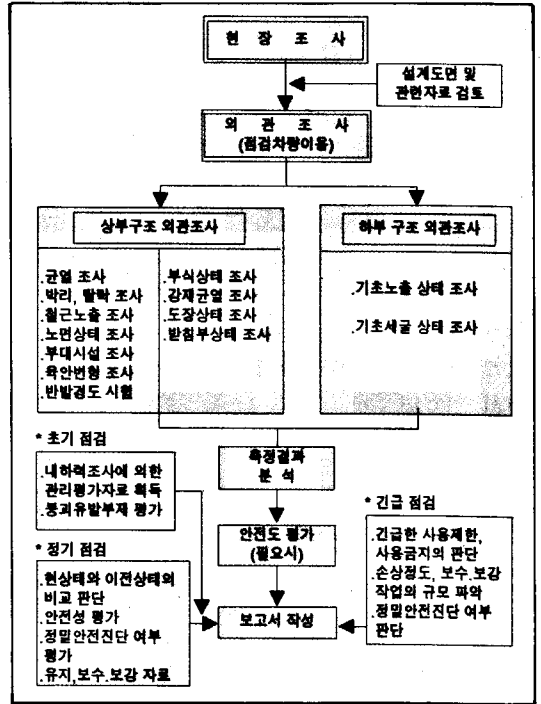


그림 4. 정기점검 및 긴급점검의 흐름도

2.3 정기점검

정기점검은 공용중인 시설물의 현 상태를 정확히 판단하고, 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터의 변화를 확인하며, 구조물이 현재의 사용조건을 계속 만족시키고 있는 지를 확인하는데 필요한 면밀한 육안검사와 간단한 측정기구에 의한 검사로 이루어지는 정기적인 점검으로서 그 흐름도는 그림 4와 같다.

정기점검의 대상교량은 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”에서 정한 1종교량과 관리주체가 교량의 중요도, 교량형식 및 기초상태를 고려하여 필요하다고 인정한 교량이 된다. 주요점검부위는 일상점검검사의 부위는 물론 가급적 교량의 구성부재 모두를 상세하게 점검하게 된다. 또한, 정기점검에서는 시설물의 상태평가는 물론 시설물의 안전성 평가도 포함된다.

2.4 긴급점검

긴급점검은 재해나 사고로 인하여 공용중인 시설물의 주요 부재에 손상의 우려가 있거나 손상이 있을 경우, 또는 관리주체가 시설물의 안전관리를 위하여 긴급히 필요하다고 인정하는 경우에 실시하는 점검으로서 그 방법은 정기점검과 동일하다.

2.5 정밀 안전진단

정밀 안전진단은 특별히 선정된 시설물에 대하여 외관상태, 내구성능, 내하력 및 안전도를 파악하고, 또한, 정기점검 과정에서 발견하지 못한 결함발견을 목적으로 실시되는 종합적인 안전진단과정이며, 정밀 육안조사, 검사장비에 의한 측정, 현장 재하시험을 모두 행하는 교량의

안전진단의 최종단계로서 그 흐름도는 그림 5와 같다.

정밀안전진단 대상교량은 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”에서 정한 1종 교량중 완공후 10년 이상 경과된 교량과 교량의 관리주체가 다음의 기준에 의거 선정된 교량이 된다.

- 1) 진단결과 손상의 원인 추정이 곤란하고, 정확한 내하력 산정을 통해 교량의 안전도를 파악할 필요가 있는 교량
- 2) 일일 대형차량의 통과대수가 많고 교량의 설계하중이 현행 설계하중보다 작으며 중요도가 높은 교량
- 3) 보수 또는 보강효과를 확인해야 할 필요가 있는 교량
- 4) 교량의 진동 및 처짐이 과대하여 통행인에

게 불안감을 주는 교량

- 5) 현지 교량 관리자의 판단에 의하여 정밀안전진단이 필요하다고 건의된 교량

3. 구조물의 결함 탐지를 위한 비파괴 시험

3.1 개요

시설물의 안전점검은 교량의 유지관리의 핵심적인 사항이지만, 지금까지는 주로 육안조사에 의한 방법을 적용해 옴으로서 조사자의 주관에 따라 그 결과에 많은 차이가 있을 뿐 아니라 구조물 내부의 결함탐지는 불가능하므로 객관적이고 일관성 있는 조사방법의 확립은 긴요한 사항이었다. 이의 해결책으로 최근에는 시험검사 장

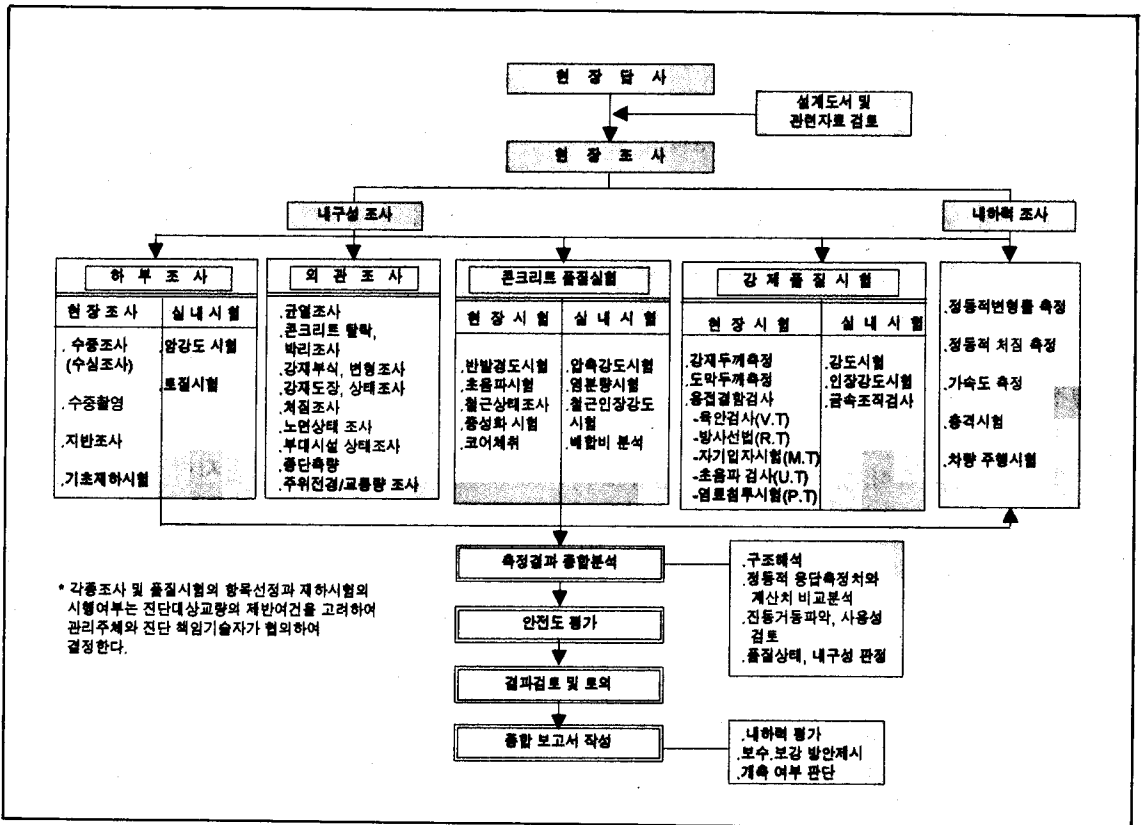


그림 5. 정밀 안전진단의 흐름도

비를 활용하여 구조물의 강도, 손상, 열화도를 측정하는 것이 안전진단에서 보편적으로 적용되고 있다. 본 장에서는 기존 시설물의 정밀안전진단시 구조물의 열화도 평가를 위하여 적용하고 있는 콘크리트 재료의 현장 강도추정법과 결합탐지법, 강구조물 용접부에 대한 비파괴시험법에 대하여 기술한다.

3.2 구조물 콘크리트의 강도추정을 위한 시험법

기존 콘크리트 구조물에 대한 현장 강도추정을 위한 비파괴 시험은 콘크리트의 압축강도를 직접 측정하는 것이 아니라 강도와 상관관계를 가지는 비파괴 검사의 측정치를 바탕으로 하는 간접적인 방법이다. 물론 코아채취가 가능한 구조물에 대해서는 코아시험법을 적용하면 훨씬 정도 높은 결과를 얻을 수 있으나, 코아채취를 위하여 구조물에 손상을 주어야 하는 단점으로 적용 불가능한 구조가 대부분이다. 불행히도 비파괴 검사의 측정치는 골재의 형태와 크기, 콘크리트의 재령, 함습률, 배합비 등 여러 요소에 의하여 영향을 받으므로 서로 다른 콘크리트로부터 측정된 값은 서로 다르다. 따라서, 이러한 상관관계는 대상 콘크리트와 적용하는 시험법별로 결정되어져야 한다. 시험법의 종류는 표면경도법, 반발경도법, 초음파속도법, 관입저항법, 인발법, Break-off법 등이 있으며, 이들중 현장에서 적용하기 쉬워 가장 보편적으로 적용하는 방법은 반발경도법으로서 슈미트햄머를 이용하여 콘크리트 표면을 타격하여 반발경도를 측정하여 미리 정해진 반발경도와 압축강도와의 상관관계로부터 콘크리트의 압축강도를 구한다. 그리고, 최근들어 많이 적용되고 있는 방법으로 초음파속도법이 있다. 이 방법은 콘크리트에 밀착된 초음파 발진자와 수신자간의 초음파 전달속도를 측정하여 콘크리트의 내부강도를 측정하는 방법

이다. 또한, 정도 높은 결과를 얻기 위하여 초음파법과 반발경도법을 결합한 조합법도 널리 이용되는 방법이다.

3.3 콘크리트 내부의 결함 및 철근 탐사법

철근 콘크리트 내부의 결함이나 철근의 위치 및 부식상태등은 기존 콘크리트 구조물의 정밀안전진단에서 가장 중요한 정보들이다. 이들은 육안 관찰이 불가능하므로 반드시 비파괴 시험을 적용하여 측정하여야 한다. 현재 적용가능한 시험법은 초음파 탐사법, 충격파법, 방사선 투과법, Acoustic Emission법, 레이저법, 적외선 이용법, 전자유도법, 전자파레이다법, 자연전위법 등이 있다. 이들중 콘크리트 내부 결합탐사에 많이 적용되는 방법은 충격파법과 초음파법으로서, 충격파법은 콘크리트를 햄머등으로 타격하여 인공적인 탄성파를 발생시켜 수신기로 반사된 충격파의 속도를 측정하므로써 내부 결함의 크기 및 위치를 판정한다. 또한 초음파법도 많이 이용되고 있으며, 최근에는 적외선카메라를 이용하는 방법도 개발되어 적용되고 있다. 콘크리트의 내부 철근위치 탐사는 전자유도법과 방사선 투과법을 이용하여 실시하며, 철근의 부식도 조사에는 주로 전위차법을 적용한다.

3.4 강구조물의 결함 탐지법

강구조물의 결함은 콘크리트 구조물과는 달리 복잡하지 않으며 측정의 결과도 실제와 거의 동일하다. 대부분 용접부에서의 결함과 부식, 피로 균열, 볼트탈착 및 소성변형 등이 주요 결함이다. 볼트탈착과 소성변형은 육안측정이 가능하고, 부식깊이는 레이더를 이용한 두께측정 비파괴시험으로 가능하다. 그러나 용접결함과 피로 균열은 외부에도 있지만 내부에 있는 경우도 많

으므로 반드시 비파괴 시험을 통하여 측정하여야 한다. 비파괴 시험법의 종류는 일반적으로 널리 알려져 있는 방법으로서 방사선법, 자기입자시험법, 와상전류시험법, 염료침투시험법, 및 초음파 탐상법 등이 있다.

4. 콘크리트 구조물의 안전성 평가

4.1 개요

콘크리트 구조물은 일반적으로 100여년 정도 까지는 사용상 지장이 없는 것으로 알려져 있다. 그러나, 설계대로 시공이 되어 있지 않거나 소재 자체에 결함이 있을 경우 성능은 급속히 저하하고 빠른 경우 불과 수년내에 보수 불능의 상태로 되어 버린다는 사실이 실증되고 있다.

콘크리트 구조물의 조기 성능저하는 어떤 형태로이던지 건설당시에 결함 또는 그 요인을 내포하고 있기 때문이다. 예를 들면, 허용치를 넘는 염화물을 포함하는 해사나 혼화제, 알칼리량이 많은 시멘트, 반응성 광물을 많이 포함한 골재, 공극이 많은 시멘트 경화체 조직, 시공불량에 의한 구조체 내의 공동이나 피복두께 부족, 철근 부족 등 많은 원인을 들 수 있다.

이상 언급한 각종 결함이나 그 요인들은 결국 콘크리트의 균열, 공극, 중성화, 철근부식 및 이로 인한 콘크리트의 박락 등의 형태로 나타나 구조물에 악영향을 미치게 되므로 안전진단시 제 3장에서 언급한 각종 비파괴 시험법을 이용하여 측정하여야 하며, 이를 바탕으로 대상구조물의 안전성과 내구성능을 평가하여야 한다.

4.2 안전성 평가의 요령

기존 시설물에 대한 안전점검의 결과로 1) 사용재료의 품질이 불충분하다고 판단될 때, 2) 부

실시공이 인정될 때, 3) 구조물의 성능저하(열화)가 있어났다고 판단될 때, 4) 시설물이 새로운 용도나 목적(등급향상)으로 사용될 때, 5) 어떠한 이유이건 구조물 또는 구조부재가 현재의 설계기준과 일치하지 않을 때(설계기준의 변경)에는 계속 사용을 보장하기 위한 안전성 검토를 수행하여야 한다. 검토자는 입수 가능한 모든 자료와 재료적 특성 및 구조물의 거동에 관한 검토자의 지식을 총동원하여 그림 6에 보인 바와 같은 과정으로 안전성을 검토한다. 따라서 검사자의 능력과 자료에 의하여 그 결과는 크게 좌우된다.

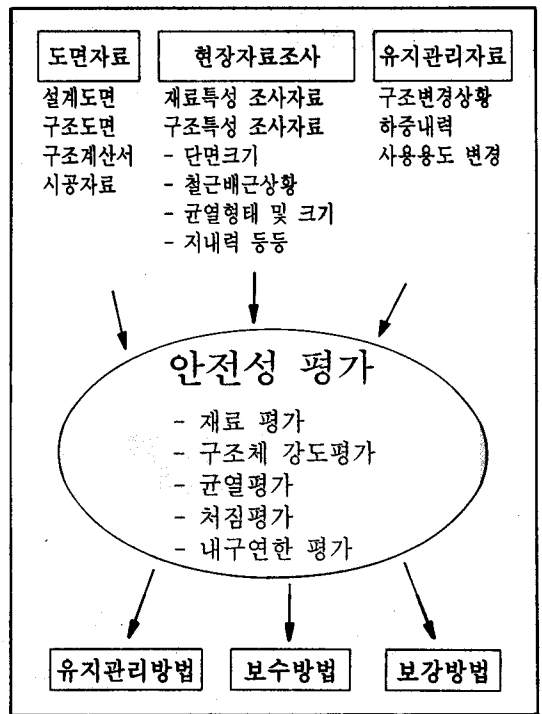


그림 6. 콘크리트 구조물의 안전성 평가 과정

4.3 균열의 평가

구조물에 있어서 균열은 그 구조물의 상태를 말해주는 가장 확실한 증거중의 하나로서 보통

균열의 탐지로부터 정밀 안전진단의 필요성을 검토한다. 강구조물과는 달리 철근 콘크리트 구조물에는 항상 균열이 존재한다. 균열을 발생원 인별로 구분하면 체적변화에 의한 균열(소성수축, 수화수축, 건조수축, 수화열, 온도변화, 알카리-골재반응, 시멘트의 이상응력)과 외부하중에 의한 균열(휨균열, 전단균열)로 나눌 수 있다.

이러한 균열은 그 위치와 크기 및 형태에 따라 구조물의 안전성에 영향을 미칠 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 따라서 평가자는 우선적으로 균열 발생의 원인을 정확히 예측하여야 하며, 그 다음으로 그것이 구조물의 안전성에 미치는 영향을 엄밀하게 평가하여야 한다.

4.4 내하력의 평가

기존 콘크리트 구조물의 내하력 평가는 신축할 때와는 사뭇 다르다. 설계시 단면의 내하력 산정은 설계자의 의도 또는 가정한대로 시공이 이루어질 수도 있으나 가정된 단면을 기준으로 하므로 불확실성이 내포될 수 있다. 그러나 기

존 구조물에서는 재료의 강도, 단면의 크기 등은 실측에 의하여 조사될 수 있으며 현재의 응력 또는 변형도 상태등은 정확히 알 수 없으므로 가정에 따른 불확실성이 있을 수 있다. 이러한 문제의 해결을 위하여 내하력평가의 직접적인 방법으로 재하시험에 의한 방법을 채택하기도 한다. 그러나 일반적으로는 해석적 방법에 의하여 전체적인 구조안전성을 평가하고 필요에 따라 재하시험에 의한 안전성 검토를 추가적으로 실시한다.

내하력 평가 및 재하시험 방법은 건설교통부와 시설안전공단에서 발행한 [안전점검 및 정밀 안전진단 세부지침<1>]에 상세히 설명되어 있다.

5. 강구조물의 피로수명평가

5.1 개요

강구조물의 피로수명평가를 위해서는 우선적으로 부재에 가하여지는 응력범위 빈도분포가 결정되어야 하고, 이를 토대로 피로해석 이론에

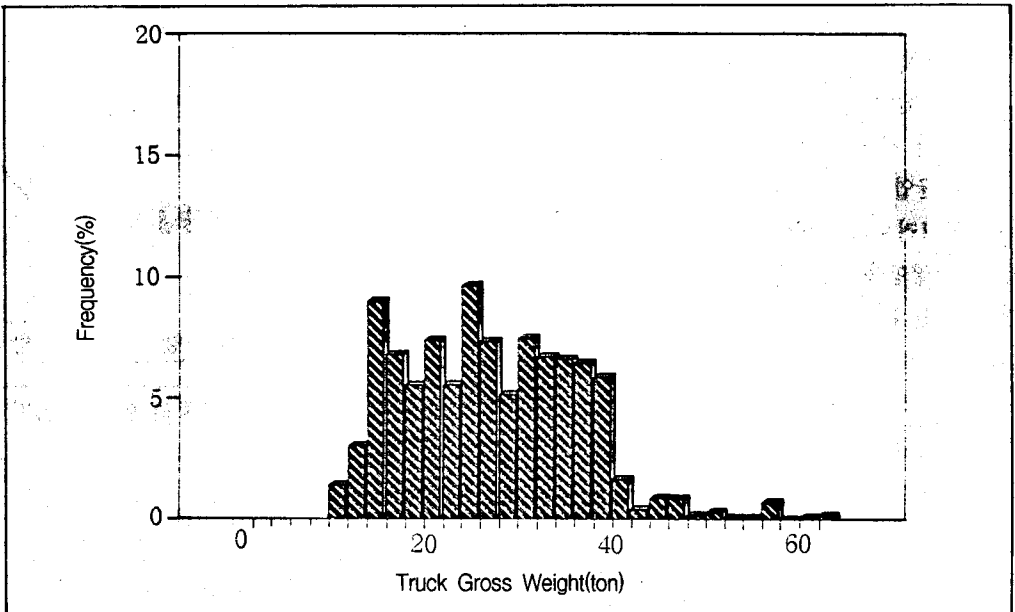


그림 7. 일일통과트럭의 총중량 빈도표(예)

기초한 피로수명평가 및 피로과피위험도 해석이 수행되어진다. 특히 강교의 피로파손은 대부분 통과하는 대형트럭으로 인하여 발생하므로 통과 트럭에 의한 변동응력과 사이클수, 트럭의 구성비율 및 ADTT(일일통과트럭수)와 같은 자료가 얻어져야한다. 이 자료로부터 구조 상세부위에 대한 피로시험, S-N 피로응답특성 및 피로 균열진전거동을 평가하여 보다 신뢰할 수 있는 피로수명평가가 수행된다.

5.2 응력범위 빈도분포의 산출

5.2.1 교통량 분석

강교의 피로수명은 통과교통량과 각종차량의 중량에 영향을 받는다. 그중 통행트럭에 의한 하중이 부재의 피로손상을 유발하므로, 보통 교통량 조사로부터 결정되는 ADTT(Average Daily Truck Traffic)를 가지고 그림 7과 같은 총중량-빈도수 Histogram을 작성한다.

5.2.2 등가응력범위의 산정

구조해석을 통하여 통과트럭의 총중량-빈도수 Histogram에 대응하는 축력-빈도수 Histogram을 그림 8과 같이 작성한다. 피로수명평가를 해야 할 각 부위에서의 축력을 응력으로 환산하고, 부재에 작용하는 변동응력범위를 피로파손 해석에 적용할 수 있도록 아래의 식으로 부터 등가응력범위(S_{re})로 환산한다.

$$S_{re} = [\sum \gamma_i \cdot S_{ri}^m]^{1/m}$$

여기서 γ_i : 통행량의 백분율(%),

S_{ri} : 작용응력범위,

m : S-N 선도의 기울기

5.3 S-N 피로수명 예측

피로강도 및 수명평가를 위하여 실험적으로 도출된 S-N선도를 활용하는 방법으로서, 이는

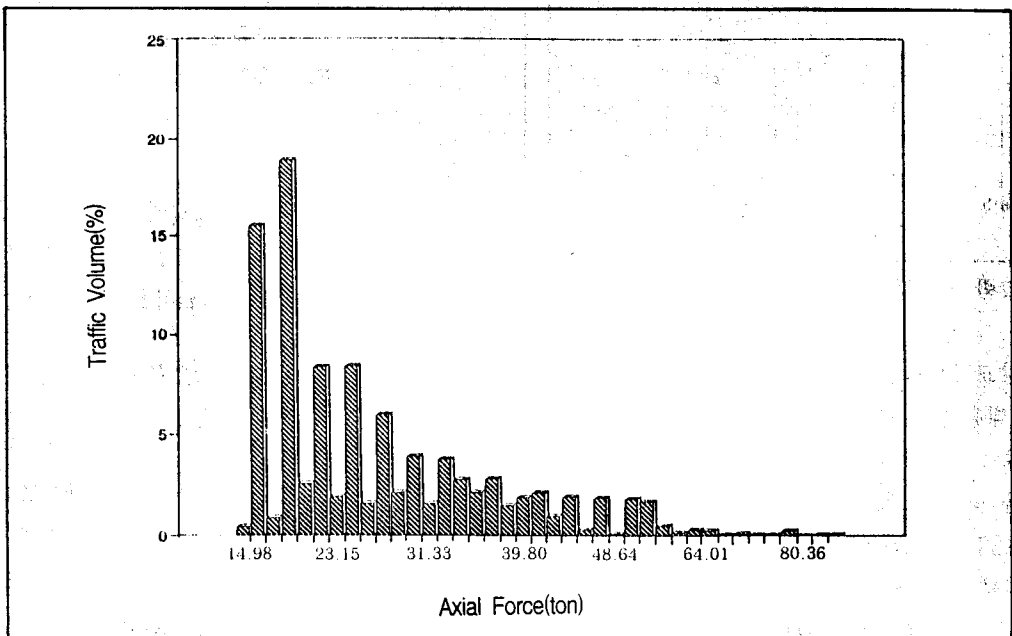


그림 8. 통과트럭으로 인한 축력 빈도표(예)

아래식으로 표시되는 응력범위 S_r 과 파단시 반복횟수 N 의 관계식을 이용한다.

$$N \cdot S_r^m = A$$

여기서 m 은 S-N선도의 기울기

피로설계 또는 수명평가에 적용되는 S-N선도는 각각의 구조상세에 대한 피로실험의 결과 비슷한 피로강도를 주는 상세들을 묶어 여러 등급으로 구분하여 통계적으로 정리된 기준이다. 그중 대표적인 것은 미국의 AASHTO, 영국의 BS, 일본의 강구조협회 피로설계기준이며, 그림 9에 국내의 시방서에서도 원용하고 있는 AASHTO설계기준을 보이고 있다.

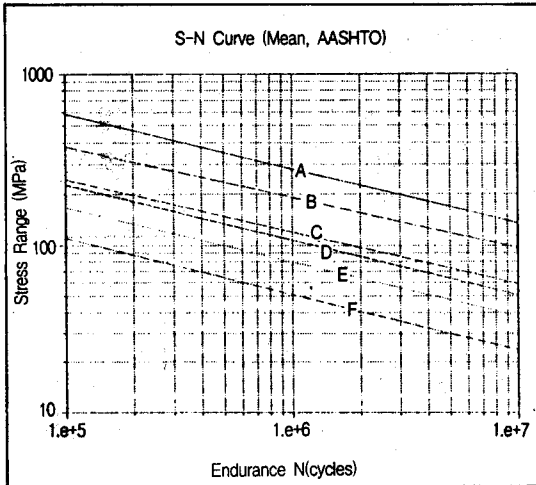


그림 9. AASHTO의 피로강도 설계 선도

강교량부재는 각종 통과차량의 중량과 빈도수에 대응하는 변동응력을 받으므로 S-N 피로수명예측은 원칙적으로 Miner 누적손상법칙에 기반을 두고 있다.

5.2절에서 얻어진 등가응력(S_{re})을 S-N선도를 나타내는 식에 대입하면 기대피로수명 N 을 구할 수 있다. 연간 평균 ADTT를 알면 아래의 식으로부터 구조부재의 수명을 나타내는 피로년한

(Y)을 구할 수 있다.

$$Y = \frac{N}{365 \cdot ADTT} \text{ (year)}$$

5.4 파괴역학을 이용한 피로수명산출

5.4.1 응력확대계수산정

균열을 갖고 있는 부재의 피로균열진전거동을 평가하기 위해서는 파괴역학의 개념을 도입하여야 한다. 복잡한 부재형상에 대하여 균열선단에서의 파괴역학적인 파라메터인 응력확대계수의 평가가 선행되어야 하며, 응력확대계수는 다음식과 같이 정의되어진다. 위험부재 또는 용접부형상별 형상보정계수는 이미 제안된 이론식 및 많은 경험식을 이용하여 구할 수 있다.

$$K = \sigma \sqrt{\pi a} \cdot F_w \cdot F_e \cdot F_s \cdot F_g$$

- 여기서 σ : 응력, a : 균열길이,
- F_w : 유한판폭에 대한 형상보정계수,
- F_e : 균열형상에 대한 형상보정계수,
- F_s : 자유표면 영향에 대한 보정계수
- F_g : 응력구배에 대한 보정계수

5.4.2 피로수명산출

피로균열 진전거동 해석에는 일반적으로 피로균열진전속도(da/dN)와 응력확대계수범위(ΔK)의 관계식인 다음의 Paris식을 적용한다.

$$da/dN = C \cdot \Delta K^m$$

여기서, $\Delta K = K_{max} - K_{min}$

실험상수 C 와 m 은 직접 실험적으로 구하거나 또는 일반구조용강에 대하여 보정없이 적용할 수 있는 값인 $C = 6.94 \times 10^{-12}$, $m = 3$ (단위 : da/dN m/cycle, ΔK MPa/m)을 이용할 수 있다. ΔK 는 5.4.1절에서 언급한 응력확대계수 산정

식을 이용하고, 등가응력 S_{re} 를 응력값으로 대입하여 구한다. 피로수명은 Paris식을 다음과 같이 적분하여 해석적으로 산출할 수 있다.

$$N = C \cdot \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{\Delta K^m}$$

상식에서 초기균열길이(a_0)와 최종균열길이(a_f)는 일반적으로 다음과 같이 산출할 수 있다. 초기균열은 관측이 가능한 균열길기로 결정하는데, 일반적으로 용접부의 경우 초기균열은 전체 수명이 약 20%정도에서 관측되는 균열길이 0.2mm 내외로 결정한다. 그리고 최종균열길이는 부재의 파괴인성(KIC)에 해당하는 임계균열길기로 결정한다. 일반적으로 용접지점에서 표면균열이 발생하는 경우 최종균열길이는 부재의 두께로 한다. 그러나 실제 강교의 경우 거더부에서 균열이 발생하는 경우 거더부에 용접되어 있는 부부재에서 균열이 발생하고 이 균열은 주부재인 복부판이나 플랜지를 관통한 후 관통균열로 성장하기 때문에 피로균열 진전해석시 그림 10과 같이 여러 단계의 모드로 나누어 고려해야한다. 그 일례를 아래와 같이 나타내었다.

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$$

여기서 N_1 : 스티프너의 용접지점에서 발생한 표면균열이 복부판을 관통할 때까지의 수명

N_2 : 복부판에 존재하는 관통균열이 진전하여 플랜지에 도달될 때까지의 수명

N_3 : 복부판의 관통균열에 의해 플랜지에 발생한 표면균열이 이를 관통할때까지의 수명

N_4 : 플랜지에 발생한 관통균열이 프랜지를 따라 진전하여 파단 시킬때까지의 수명

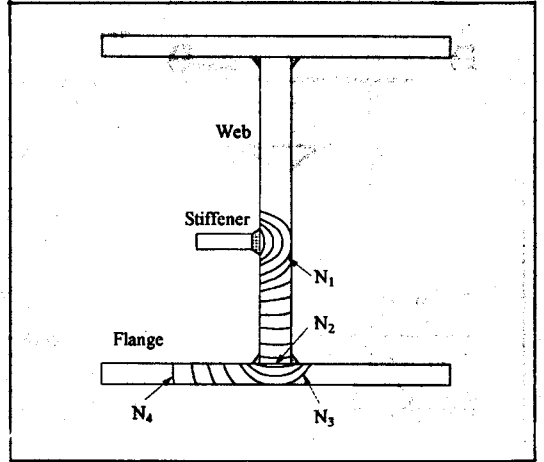


그림 10. 단계별 균열진전해석 모델

6. 교량의 상시감시시스템 및 그 활용

6.1 개요

교량의 일상점검에 있어서 주변환경의 변화, 각 부재의 거동 및 노후화 정도등의 판단을 점검자의 주관적인 판단에 의존하게 되므로 객관성과 신뢰성을 확보하기 어렵다. 이와 같은 문제점을 해소하기 위해, 교량의 주요 부위에 계측센서를 부착하고 정량적 또는 정성적인 정보를 상시로 수집하여 교량관리 주체에게 제공함으로써, 교량 유지관리에 필요한 중요한 자료를 제공하고, 또한 교량에 과다한 하중이 작용하거나 이상변형이 발생되었을 때 신속한 대응을 통해 교량의 안전성을 보장해 줄 수 있는 상시감시시스템이 요구된다.

6.2 시스템의 구성

장시간에 걸쳐 교량의 주요 부위에 설치된 센서로부터 연속적인 정보를 얻는 상시감시시스템은 크게 변형, 응력, 변위, 온도, 가속도등을 측

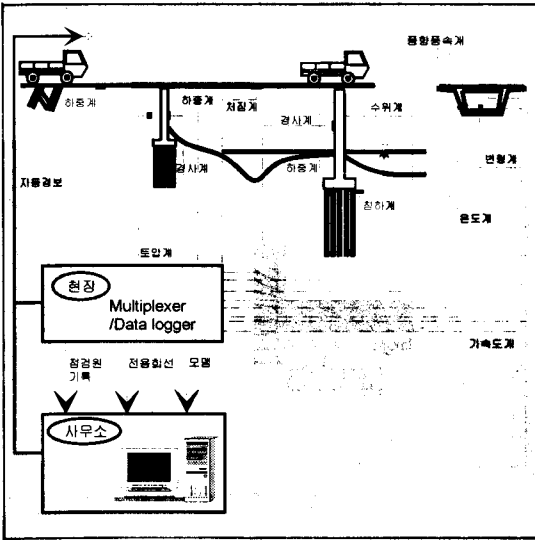


그림 11. 상시감시 시스템의 구성도

정하는 센서시스템, 데이터를 저장하고 분석하는 신호처리부분 및 교량의 상태를 평가하는 부분으로 분류할 수 있고, 이들 각 기본 시스템들이 서로 유기적으로 연결되어 하나의 통합적인 시스템이 구축된다. 그림 11.은 상시감시시스템의 구성을 보여주는 모식도이다.

6.2.1 센서시스템

상시감시시스템을 구성하기 위한 계측항목의 선정은 구조해석의 결과와 계측기 설치의 편의성을 바탕으로 구조물의 안전감시에 가장 효율

표 1. 계측장비 및 용도

장비명	용도
변형계	콘크리트 및 강재의 변형측정
변위계	주형의 연직변위, 교량의 신축량등 측정
반력측정계	교좌장치의 반력측정
온도계	관측지점의 온도측정
풍향.풍속계	관측지점의 풍향.풍속 측정
지진계	지반의 3방향 지반가속도 측정
가속도계	부재의 가속도
침하계	기초의 침하 측정
토압계	지반의 토압력 측정
경사계	교대 및 교각의 경사 측정
수위계	홍수위 측정
균열변위계	균열폭의 측정

적인 계측이 가능하도록 이루어져야 한다. 또한, 주변환경에 안정적이며, 교체 및 유지보수가 용이하고 정밀도, 반복사용성, 내구성, 측정범위등이 계측목적에 적합하고, 온도, 습도의 보정이 용이하며 자체검증을 필한 계측장비를 선정해야 한다. 표 1.은 교량의 상시감시시스템에서 일반적으로 활용되고 있는 장비와 그 용도를 정리한 것이다.

일반적인 기존 센서들이 상시감시시스템에서 요구하는 조건들을 모두 충족시키지 못하기 때문에 새로운 센서들을 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이들 중 대표적인 경우가 광섬유센서(Fiber Optic Sensor), 음향방출(Acoustic Emission), HSL(Hydrostatic Leveling System)등이다. 광섬유센서는 전자기방해에 대한 면역성, 다중송신능력, 다양한 물리적 파라미터 감지능력, 매설 또는 표면부착을 통한 설치의 편의성등의 장점 때문에 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. 음향방출은 재료의 균열진전시 동반되는 탄성에너지의 급속한 방출을 측정하여 균열의 진전을 감지할 수 있으며, 균열의 진전이나 균열표면의 마찰 및 소성변형등도 감지할 수 있다. 또한, HSL에 의한 처짐측정의 원리는 상호연결된 용기의 유체표면은 모두 같은 평행한 평면에 놓이게 되는 고전적인 정수역학(Hydrostatics)의 법칙에 근거를 두고 있다.

6.2.2 신호의 처리

각종 센서를 통하여 구해진 신호는 그 자체로는 큰 의미가 없다. 이 신호들을 적절한 방법으로 처리하여 정확성을 높이고, 원하는 물리량(응력, 변위, 고유진동수, 진동모드 등)으로 환산하는 방법을 포괄적으로 신호처리라 한다. 센서로부터 구해지는 신호는 증폭되어 기록되어지는데, 이때 저장방법, 자료 획득주기, 노이즈의 감소등이 고려되어야한다. 획득 및 조정된 자료를 해석(Interpretation ; Analysis)하여 유효한 인자를

선정하여 구조물의 상태평가를 위해 사용한다.

6.2.3 손상추정기법

구조물의 변화, 특히 동적구조모형의 구조계수들의 변화를 추정하는 손상추정기법은 먼저 구조물의 동특성을 구하고, 이를 통해 구조물의 결함이나 균열등에 의한 구조계수의 변화정도를 추산하는 방법이다. 이 방법은 기존의 재하실험 방법에 의한 안전진단의 방법이 국부적인 구조변동성을 조사하는데 미흡했던 점을 보완하여, 실험중 측정치들을 구조 각 부분의 변동성(결함, 손상 등)으로 환산하여 손상의 정도를 추정하는 방법이다. 이 방법은 우주항공분야 구조물의 운용중 구조손상 모니터링을 통하여 구조적 안전성을 확보하기 위하여 개발된 방법으로서 강교량 응용을 위하여 많은 연구들이 진행되고 있으며, 대표적인 방법으로 Random Decrement 기법에 의한 손상평가, Perturbation식을 이용한 손상평가, SI기법을 이용한 손상평가, 손상지수를 이용한 손상평가 등이 있다.

7. 결 언

본 고에서는 대형구조물중 주로 교량을 중심으로 안전진단의 방법과 절차에 관한 국내의 기술현황의 개요를 다루었다. 국내의 대형구조물 안전진단에 대한 관심은 성수대교 붕괴사고 이후 급격히 고조되었으며, 이 사고 이후 안전진단에 관한 절차와 방법이 체계화되고 있으나 국내 기술의 부족과 제한된 일정으로 인하여 많은 부분 외국의 기준과 방법을 모방하고 있다. 또한 대부분의 대형구조물에 대한 안전진단도 대

대적으로 수행되어 졌으나, 안전진단에 관련한 전문기술인력과 경험의 부족으로 단 기간에 많은 안전진단업무를 수행하다 보니 부실안전진단의 우려도 높은 편이다. 따라서 체계적이고 정밀한 안전진단을 위해서는 구조물의 안전도와 잔존수명을 정량적으로 평가할 수 있는 국내의 기술 축적이 시급하며, 안전상 문제가 있는 구조물의 보수보강에 대한 활발한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] "PC 장대교량의 정밀안전시공 및 유지관리를 위한 통합계측관리 시스템의 개발", 건설교통부, 1996.10.
- [2] 교량관리체계개선, 건설교통부, 1995.
- [3] 김 중구, "기존 구조물 콘크리트 강도의 검사 및 평가", 콘크리트 학회지, Vol. 6, No. 2, 1994. 4
- [4] "콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단", 한국콘크리트학회 제2회 기술강좌, 1993
- [5] 김 진근, "철근 콘크리트 건물의 안전성 평가" 정밀안전진단과정 교육교재(II), 시설안전기술공단, 1997
- [6] "강구조물의 피로설계 지침 및 동해설", 일본강구조협회, 1993
- [7] "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(I)", 건설교통부-시설안전기술공단, 1996
- [8] "교량 상.하부구조의 동특성분석을 통한 안전성평가시스템 개발", 건설교통부, 1996.10.
- [9] 윤 정방, "강교량의 안전진단과 유지보수방법", 대한용접학회지, 제12권, 제3호, 1994.9.