

기간시설물의 구조안전기술



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

1. 서 론

우리나라에서는 지난 30여년간 급속한 산업화 과정에서 산업기반의 조성과 생활환경의 개선을 위하여 사회간접시설에 대한 투자가 급격히 확대되었으며, 이에 따라 대형 건설공사가 활발하게 이루어졌다. 산업화에 필요한 공장건축물에서 건물, 도로, 교량, 항만 등 경제발전을 위한 사회간접시설과 국민생활의 편리성과 복지차원의 다양한 대형구조물의 모습들이 경제·사회적으로 발전한 선진국의 그것과 동일한 모습으로 단기간에 갖추어졌다. 이 과정에서 목표지향적 신속·적당주의로 설계·시공된 국가기간시설물들은 시간이 경과함에 따라 필연적으로 나타나는 노후화는 물론 부실시공이나 관리소홀로 인하여 손상상태가 심각한 채로 방치되고 있는 경우가 많아 대형사고의 위험성이 증대되어 왔다. 성수대교 붕괴사고와 당산철교의 철거작업의 경우에서도 알 수 있듯이 부실시공 또는 관리소홀로 인한 구조물 내부의 여러 결함, 재료적·구조적 열화 및 손상 등은 지금 당장은 큰 문제가 되지 않더라도 계속적으로 하중을 받아 손상의 정도가 증대되면 내하력은 급격히 저하되어 중국에는 설계수명 이전에 붕괴되는 대형사고가 유발될 수 있다. 이러한 대형 사고들은 이를 이용하는 시민들의 인명과 재산을 앗아갈 수 있으므로, 대형구조물의 안전기술에 대한 중요성이 증대되었다.

국가기간시설물의 붕괴사고는 내부적으로 귀중한 인명과 재산상의 손실과 함께 구조물을 사용하지 못함으로 인해 발생하는 엄청난 경제적 손실이 유발된다. 그리고 외부적으로는 우리 기

술의 국제 공신력을 크게 훼손시키며, 궁극적으로는 총체적 국제 경쟁력의 약화를 초래하여 우리 기업의 해외진출에도 직·간접으로 막대한 영향을 미친다. 따라서, 구조안전기술은 비단 건설분야의 기술선진화에 국한된 문제가 아니라, 우리 나라의 국제 공신력 제고차원에서라도 시급히 개발되어야 한다. 국민의 안전한 생활과 삶의 질 향상이 국가 복지정책의 근간이므로 대다수 국민들에게 직접적으로 영향을 미치는 대형 국가기간시설물의 안전성 확보를 위한 기술개발은 과학기술개발 차원뿐 아니라 공공복지정책적 차원에서 접근해야 한다. 본 고에서는 제한된 지면으로 인하여 주로 기간시설물을 중심으로 국, 내외의 자료를 취합하여 구조안전기술에 대하여 소개하고자 하였다.

2. 구조안전기술의 분류

구조안전기술은 구조물의 설계단계 및 시공후의 유지·관리에 이르는 모든 분야에 걸친 관련

기술로서 크게 구조안전평가기술과 구조물안전관리기술로 나눌 수 있다. 그림 1은 구조안전기술의 분류를 보여주는 도표이다.

구조안전평가기술은 구조물의 설계단계에서 적용하거나 또는 시공후 구조물의 빈번한 사용에 따른 부재의 열화에 의한 안전도평가를 위해서 적용되는 기술이다. 이는 크게 사용재료, 대상구조물 자체의 강도평가기술 및 피로수명평가를 위한 구조안전성평가기술과 지진에 대한 안전을 확보하는 내진성능기술로 구분할 수 있다. 이에 대하여 구조물안전관리기술은 기존에 건설되어 있는 구조물에 대하여 안전성의 확보여부의 판정 및 안전도의 보완을 위한 보수·보강 관련기술을 적용하는 기술로서, 크게 안전진단기술과 보수·보강기술로 나눌 수 있다.

안전진단기술은 시설물의 건전성 유지를 위한 중요하고도 필수적인 과정이며, 보수·보강기술은 구조물의 오랜 사용 또는 부실시공으로 인한 구조물의 붕괴를 미연에 막을 수 있는 효과적인 기술로서, 우선 보수·보강의 필요성이 높은 곳

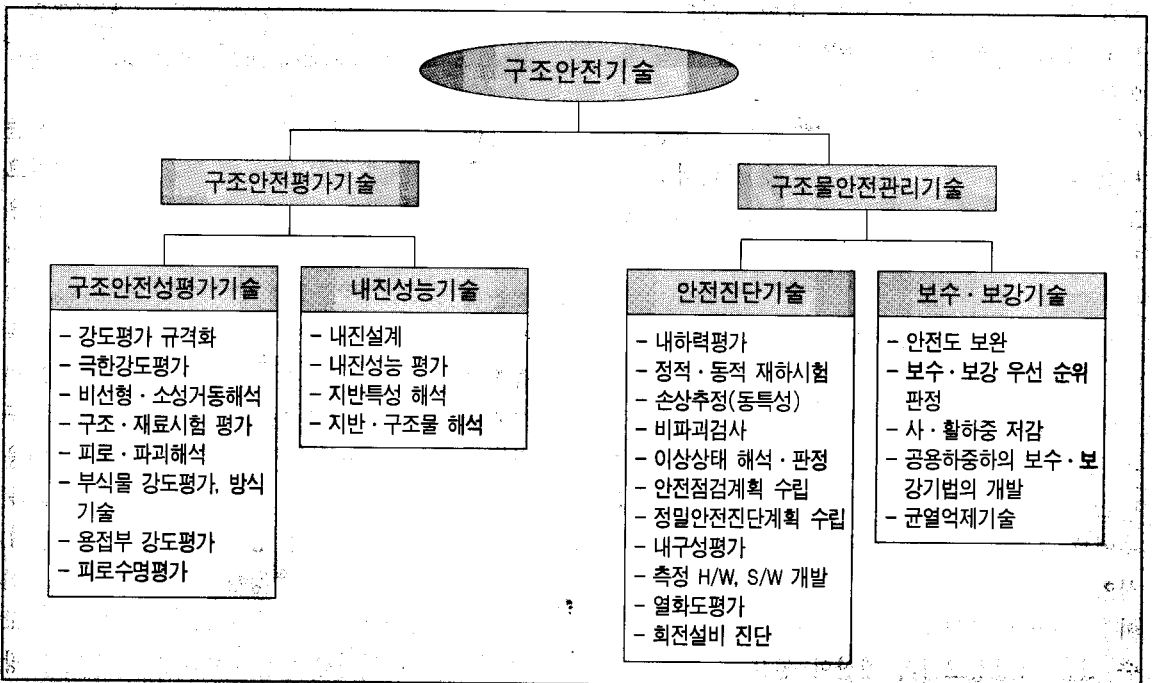


그림 1. 구조안전기술의 분류

의 선정을 위하여 기준을 세워야하고, 경제적이
며 안전한 시공성은 물론 보수·보강후 부재의
강도준위를 설계당시의 수준으로 향상시키는 것
을 주목적으로 하고 있다. 다음절에서 각각의 기
술분류에 대하여 상세히 다루어 보도록 하겠다.

3. 구조안전평가기술

3.1 개요

구조안전평가기술은 구조안전기술의 분류에서
언급하였듯이 구조물의 설계단계 및 시공후의
구조물안전성 평가를 위한 기술이다. 이는 구조
안전성평가기술과 내진성능기술로 나누어지는데,
구조안전성평가기술은 대상 시설물의 재료, 구조
강도의 평가, 피로설계기술 및 부재의 잔여수명
평가기술로 이루어진다. 이를 위해서 수치해석적
인 방법과 실험을 병행한 기법이 서로 유기적으
로 이루어지는데, 대형구조물의 경우 외력의 차
이 및 각 부재의 비균일성으로 많은 오차가 발
생할 수 있어 실제 구조물에 대한 실험이 요구
되고 있다. 우리나라의 경우 아직까지 지진으로
인한 커다란 피해를 입지 않고 있으나, 최근 들
어 지진의 발생빈도가 높아지고 있어 지진을 대
비한 내진설계기술에 대한 요구가 증대되고 있
고, 기 건설된 시설에 대한 내진향상기술의 개발
도 시급한 실정이다.

3.2 구조안전성평가기술

구조안전성평가기술은 대형 건축물 또는 교량
과 같은 기간시설물 등의 안전성을 평가·확보
하는 기술로서, 시설물의 설계당시는 물론 시공
후에도 적용되는 기술이다. 우선 구조물의 설계
시에 적용되는 경우 수치해석적인 방법을 통하
여 외부에서 가해진 하중에 대해 부재가 견딜
수 있는 극한강도치의 계산이 필요하다. 그림 2
는 연속트러스교에 대한 3차원 모델링의 예이다.

수치해석의 방법을 이용하여 구조적으로 취약한
부위를 평가하여 대안을 제시한다. 또한 비선
형·소성거동의 해석을 통하여 구조물이 탄성한
도를 초과하는 하중을 받을 경우, 전체적인 구조
물의 거동에 대하여 예측하게 된다. 여기서 적용
되는 기술은 구조물안전진단에서도 활용될 수
있는데, 기존의 시설물에 대하여 재하실험을 실
시하여 얻어진 구조물의 특성치를 해석치와 비
교하여 부재 내하력의 감소를 계산할 수 있다.
이에 대한 사항은 4.2절에서 다루기로 하겠다.

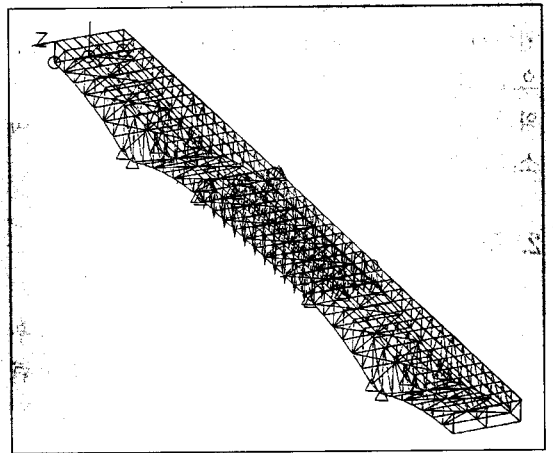


그림 2. 연속트러스교에 대한 3차원 모델링의 예

기본적으로 구조물의 안전성평가를 위해서는
시설물의 사용재료에 대한 강도평가가 실험적으
로 이루어지는데, 우선 콘크리트 구조물의 경우
압축강도의 측정이 중요하다. 기존에 건설되어
있는 콘크리트 구조물의 경우 슈미트헤머를 이
용하여 콘크리트 표면을 타격하여 반발경도를
측정하고, 미리 정해진 반발경도와 압축강도의
상관관계를 이용하여 콘크리트의 압축강도를 구
한다. 이에 대하여 강구조물의 경우에는 사용
강재에 대하여 다양한 재료평가가 이루어진다.
대표적으로 인장시험을 통하여 강재의 항복응력,
인장강도 및 연신을 측정하여 강재의 기본적인
재료특성을 파악한다. 다음으로는 노치를 갖고
있는 강재의 인성평가가 수행되는데, 간단한 방
법으로는 샤르피충격시험이 있다. 중앙부에 V-

노치를 갖는 시험편을 준비하여 해머로 타격하여 시험체가 에너지를 흡수하는 정도를 평가하는 것으로 시험시 사용온도영역을 설정하여 저온과 고온영역에서 노치민감도의 정도를 파악한다. 이 결과는 실제 강구조물에서 부재의 취성과 파괴를 예측하는 기본자료로서 활용되고 있다.

대형시설물의 파손을 살펴보면, 대부분의 경우 외부에서 가해지는 피로하중에 의하여 응력집중이 높게 작용하는 단면변화부 또는 지점부와 용접연결부 등에 피로균열의 발생·진전을 통하여 구조물의 붕괴가 유발된다. 강구조물의 피로수명 산출은 부재내에 결함이 존재하는 경우와 존재하지 않은 경우로 나누어 S/N선도 기법과 파괴역학을 이용하여 구할 수 있다. S/N선도를 이용한 피로수명평가는 Palmgren-Miner의 선형손상누적 법칙을 기반으로 하여 시설물에 가해지는 피로하중으로부터 피로수명평가가 이루어진다. S/N선도는 공칭응력 기준 응력범위 $\Delta\sigma$ 와 반복횟수 N 으로 피로를 받는 상세부위별 통계적인 데이터로 얻어진다. S/N선도는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$N = A \cdot \Delta\sigma^m \quad (1)$$

여기서 A , m 은 실험상수

S/N선도는 주로 피로시험으로부터 얻어진 자료를 이용하고 있는데, 이를 위하여 각국에서는 강교의 전형적인 용접부 상세부위별로 엄청난 양의 실험결과를 바탕으로 S/N선도를 정리해 놓았다. 그중 대표적인 것은 미국의 AASHTO, 영국의 BS5400 및 일본 강구조학회(JSSC)의 피로설계기준 등을 들 수 있다. 우리의 경우 미국의 AASHTO 자료를 근간으로 하여 도로공사에서 강교피로설계를 위한 시방서를 제시하고 있다. 이를 이용하여 기간시설물의 피로수명을 산출하기 위해서 우선 시설물에 작용하는 하중이력의 평가가 이루어져야 한다. 교량의 경우 하중이력은 주로 통과차량에 의하여 가해지는데, 특히 중량이

많이 나가는 대형트럭에 의해서 부재에 높은 하중이 가해지므로 대형트럭의 통행량인 ADTT(average daily truck traffic)에 주목하여 차량총중량-통과빈도수에 대한 히스토그램을 얻는다. 피로수명평가를 위해서는 각 부재에 작용하는 축력을 응력으로 환산하고, 히스토그램을 분석하여 부재에 작용하는 변동응력범위를 등가응력범위로 환산한다. 피로수명산출을 위한 부재에 대한 S/N선도를 시방서에서 선별하고, 주어진 등가응력범위에 대한 수명을 계산할 수 있고, 아래식과 같이 부재의 사용년수 Y 로 환산할 수 있다.

$$Y = \frac{N}{365 \cdot ADTT} \text{ (year)} \quad (2)$$

균열을 갖고 있는 부재의 피로수명을 산출하기 위해서는 균열의 진전거동을 파악하여 이를 수명으로 환산하여야 하는데, 이를 위해서는 파괴역학의 개념을 도입해야 한다. 복잡한 부재형상에 대하여 균열선단에서 파괴역학 파라미터인 응력확대계수의 평가가 선행되어야 하며 응력확대계수는 주어진 응력과 균열길이의 관계에 위험부재 또는 용접부 형상별 형상보정계수의 곱으로 나타내어진다. 여기서 형상보정계수는 이미 제안된 이론식과 많은 경험식을 이용하여 구할 수 있다. 피로균열진전거동의 해석에서는 일반적으로 피로균열진전속도(da/dN)과 응력확대계수범위(ΔK)의 관계식인 Paris식을 적용한다.

$$da/dN = C \cdot \Delta K^{m^*} \quad (3)$$

여기서 C , m^* 은 실험상수

이때 ΔK 는 앞서 설명한바와 같이 피로수명평가가 수행되는 교량의 경우 교통량조사를 통한 등가응력 및 부재에 대한 형상보정계수를 선정하여 구할 수 있다. 피로수명은 식(3)을 수치적분하여 해석적으로 산출할 수 있다. 그림 3에 강교에 대한 피로수명평가 절차의 흐름도를 나타내었다.

강구조물 또는 가동중인 공장설비의 손상이나 성능저하의 원인으로 피로 이외에 부식현상을 들 수 있다. 적기에 부식을 발견하여 대처하지 않으면 예기치 못한 결과가 발생하여 막대한 손실을 가져올 수 있다. 설비의 손상이나 성능저하가 발생하면 정해진 절차에 따라 철저하고 신속하게 원인규명과 대책수립을 해야 한다. 가장 흔하게 접할 수 있는 부식의 기구는 수질부식(aqueous corrosion)이다. 이는 금속재료가 그와 접촉하는 수용액 내에서 전기화학적 반응에 의하여 금속의 이온으로 용해되어 진행된다. 물이 관여하지 않는 비수질부식(non-aqueous

corrosion)에는 부식성기체와 화학반응에 의한 산화 또는 고온부식, 비수용성 전해질에 의한 hot corrosion이 있다. 이러한 부식현상은 국부적으로 진행되어 발견이나 예측이 어려워 구조물의 안전성에 악영향을 미친다. 따라서 이를 사전에 막기 위하여 방식기술이 요구된다. 방식기술에는 기본적으로 다섯가지의 방법이 있다. 첫째 용도에 알맞는 재료를 선정하는 것이 가장 일반적이면서도 중요한 방식대책이다. 최근 강교량 등과 같은 기간시설물에도 방식대책으로 SMA 계열의 무도장 방식강재(weathering steel)의 사용이 증대되고 있다. 다음은 부식환경을 조절하여 부

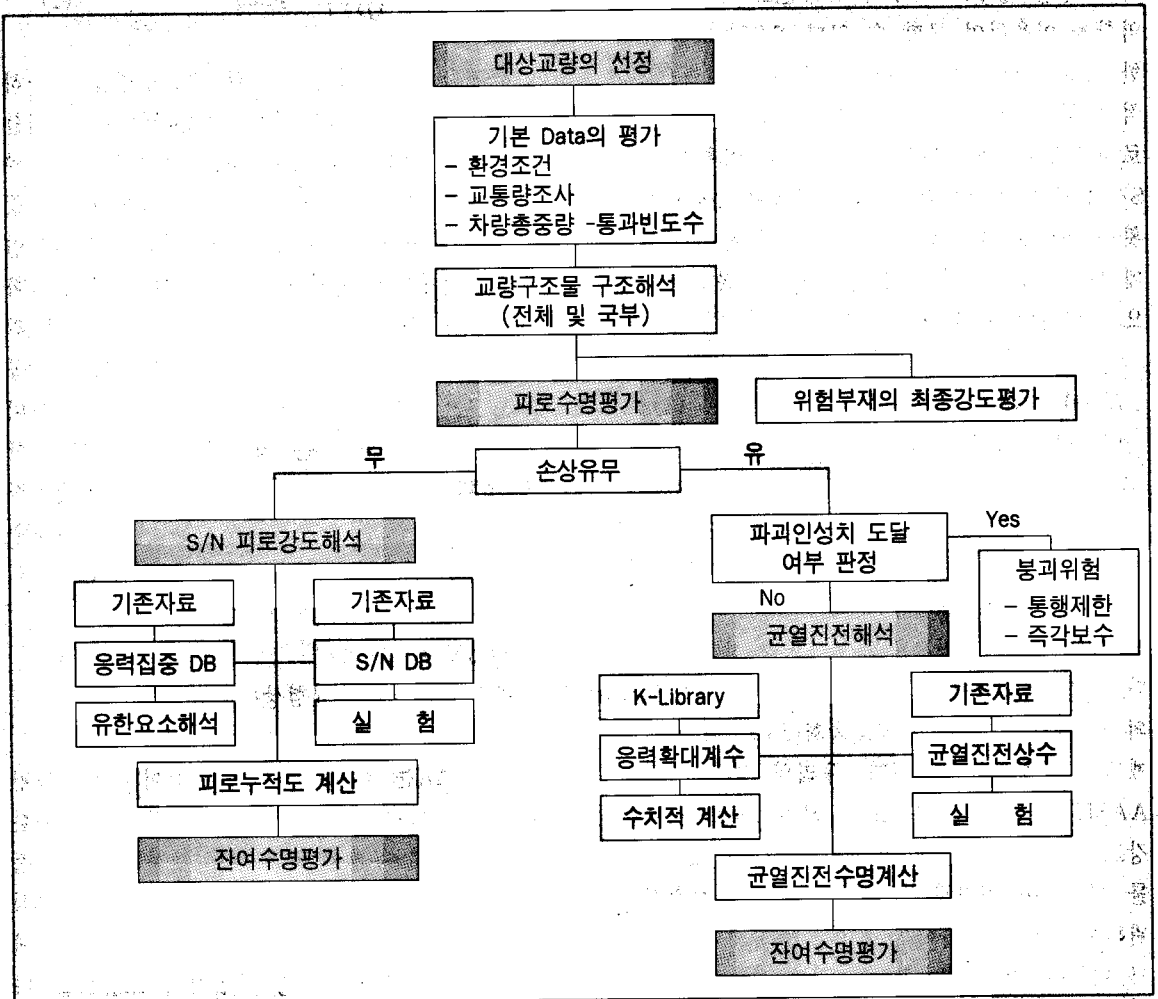


그림 3. 강교에 대한 피로수명평가 절차의 흐름도

식속도를 낮추는 방법으로 주로 보일러와 같은 공장 시설물에 채용되는 방법이다. 세번째 피복 방식은 재료와 부식환경간의 접촉을 차단함으로써 부식의 요소의 성립을 원칙적으로 부정하는 방식방법으로 그 종류가 다양하다. 크게 전기도금, 용사 또는 용융도금과 같은 금속피복과 페인트와 같은 유기질피복의 방법이 있다. 네번째 방법으로는 전기방식으로 금속표면의 한 부분이 양극이 되고 다른 부분이 음극이 되어 서로 간에 금속내부를 통하여 이온이 흐름으로서 부식이 진행된다. 이러한 원리를 이용하여 인공적으로 전기를 금속에 흘려줌으로서 부식을 방지하는 기술이다. 이 방법에는 부식전위가 낮은 금속을 방식 대상이 되는 구조물에 부착시켜 자신이 먼저 부식됨으로서 구조물을 음극으로 분극시켜 방식하는 희생양극법과, 직류전원장치를 이용하여 구조물에 음전류를 공급하여 부식전위보다 음극쪽으로 분극을 시켜 부식을 방지하는 강제

전류법이 있다. 마지막으로 구조물을 방식설계의 개념으로 제작하는 방식방법이 있다. 설계시에 구조물의 기계적강도의 요구사항과 함께 부식을 위한 허용치를 고려한다. 일반적인 설계지침을 살펴보면 다음과 같다. 리벳팅 보다는 용접을 실시하고, 부식이 심할 것으로 예상되는 부위는 교체하기 쉽도록 설계하고 그리고 다른 종류의 금속끼리의 전기적 접촉을 피하도록 하는 방법 등이 있다.

본 절에서 언급한 각 단계별 기술을 취합하면 구조물 안전성평가의 기술로 종합할 수 있다. 그림 4는 구조물의 안전성평가 과정을 계략적으로 나타낸 흐름도이다. 구조물의 초기 기본 자료인 도면과 현장에서 측정 가능한 자료 및 지금까지의 유지·관리자료를 바탕으로 구조물의 안전성평가가 이루어지며, 여기서 얻어진 자료를 비교·검토하여 구조물의 사용에 관한 유지관리법 및 보수·보강의 기초자료로서 활용할 수 있다.

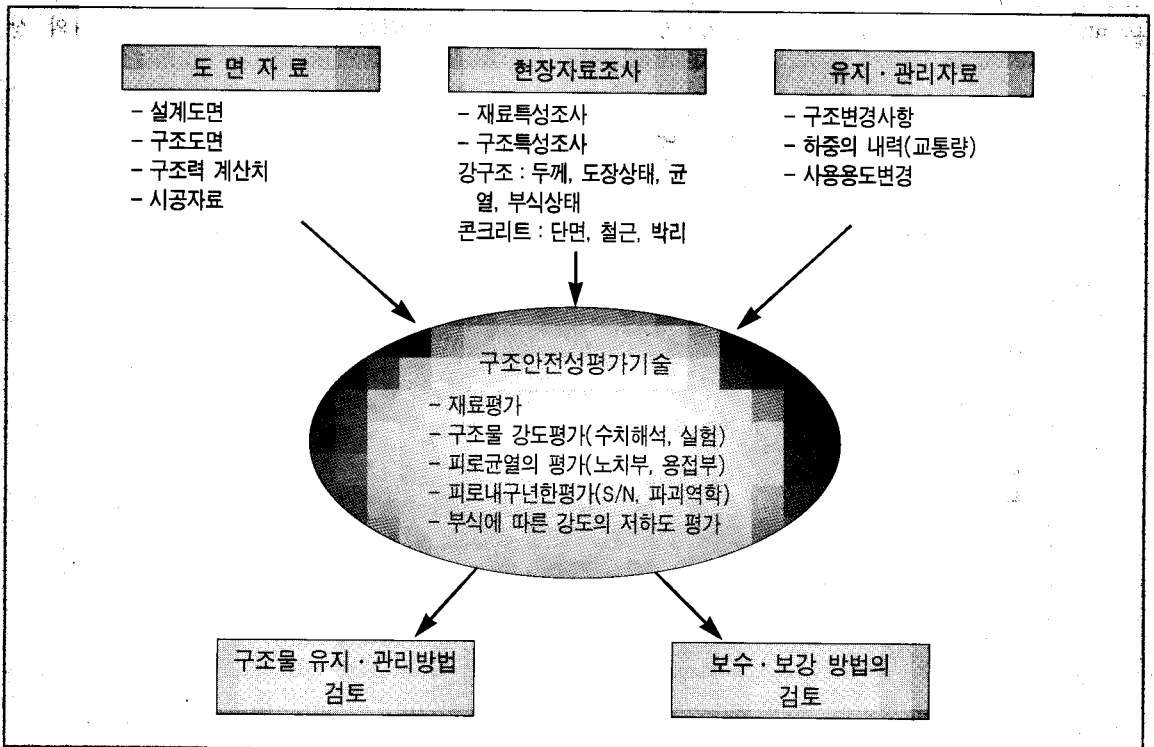


그림 4. 구조물의 안전성평가 과정을 계략적으로 나타낸 흐름도

3.3 내진성능 향상기술

우리나라의 경우 아직까지 지진으로 인한 커다란 피해를 입지 않고 있으나, 최근 들어 지진의 발생빈도가 높아지고 있다. 1995년 일본의 고베에서 발생한 대지진의 경우, 그 피해가 상상을 초월할 정도로 어마어마했음을 익히 알고 있다. 이렇듯 자연 재해중 지진에 의한 구조물의 붕괴는 재산적 피해뿐만 아니라 수많은 인명피해를 유발하게 된다. 따라서 이러한 자연현상하에 일정한 범위내에서 구조물이 감당할 수 있는 내진성능을 확보하는 것이 필요하다.

현재 국내의 지진분야에 대한 자료가 희박하고, 이에 대한 체계적인 연구가 이루어지지 않아, 일반 건축구조물과 사회기반시설에 관한 내진설계에 대한 연구가 필요로 되어지고 있다. 내진성능 향상기술에는 크게 한반도 및 주변부의 지진의 역사 및 지진자료를 수집하여 지진 지반진동특성 규명과 설계지진수준 평가, 건축 구조물 및 사회 기반시설의 내진설계와 내진성능 향

상 기술개발로 나누어 볼 수 있다. 그림 5는 내진성능 향상기술의 개통도를 나타내고 있다.

지진지반진동특성 규명과 설계지진수준 평가에서는 그동안 수집·분석된 자료로부터 내고유의 지진자료를 정량적으로 평가하여, 한반도가 속하고 있는 지진지체구조(seismotectonic characteristics)가 가지고 있는 장기간에 걸친 지진활동특성을 명확히 하고, 국내 고유의 지진원(seismic source)특성, 지각구조(crustal structure) 특성, 강지진동의 감소특성 및 지반증폭특성에 대한 기본 자료를 획득해야 한다. 이러한 기본 자료를 이용하여 국내의 지진발생 특성이 충분히 반영된 확률론적 설계기준 지진수준값 및 지반응답스펙트럼 등 내진설계시 기본적으로 필요한 값들을 정량적으로 제시할 수 있게 된다.

건축 구조물의 내진설계와 내진성능 향상기술에서는 우리나라의 지진 위험도에 합당한 건축 구조물의 내진설계기법개발과 구조재료별로 분류된 철근콘크리트, 철골구조, 합성구조 그리고 조적고조의 현행 구조시스템 및 구조부재의 상

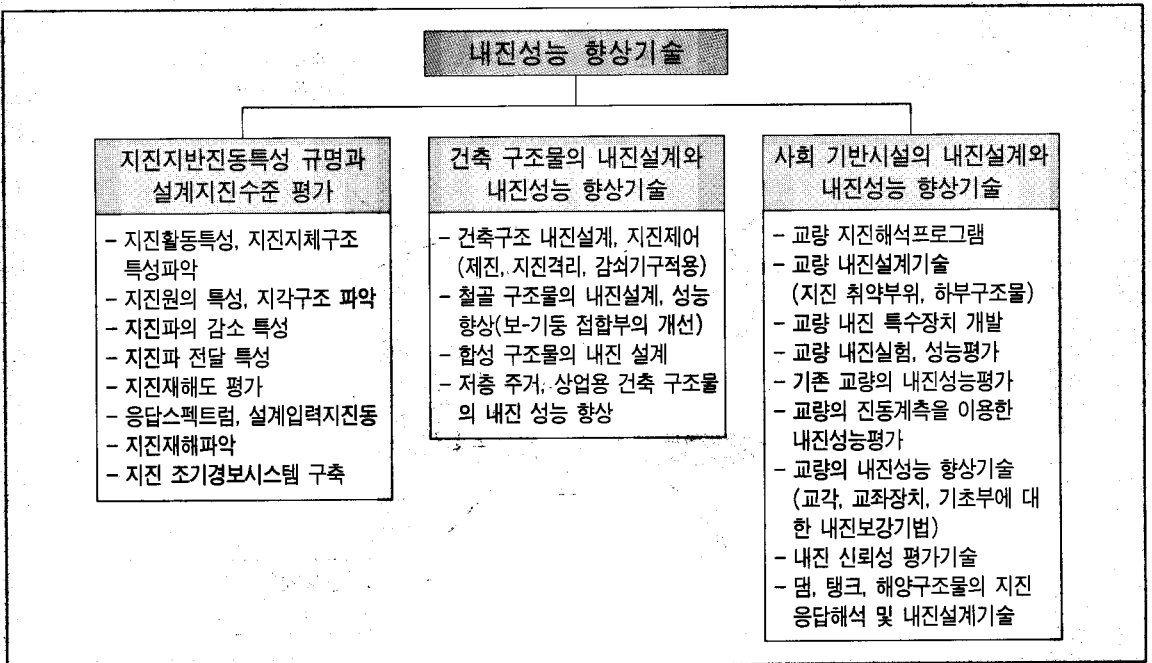


그림 5. 내진성능향상의 계통도

제에 대한 내진 성능 평가기법을 개발하고 내진 성능이 취약한 구조물에 적합한 내진성능 향상 기법을 제시하는데 있다.

사회 기반시설의 내진설계와 내진성능 향상기술에서는 각종 기간시설물의 내진성능을 올바르게 평가하여, 효과적으로 내진성능을 향상시키는 방법의 제시를 목적으로 한다. 설계단계에서 적용하는 내진향상은 물론 기존에 건설되어 있는 기간시설물 중 특히 교량의 경우, 교각 및 교좌 장치에 대한 내진보강기법의 적용 및 교각기초의 지반특성을 고려한 교량의 지진역리 시스템의 적용을 통해 내진향상 기술이 적용될 수 있다. 또한 지진에 의하여 손상된 시설물들을 평가, 보수·보강하는 기법들을 제시하여 지진 발생후의 대책을 마련해야 한다.

4. 구조물안전관리기술

4.1 개요

구조물의 안전관리는 시설물의 건전성 유지를 위한 중요하고도 필수적인 과정으로서 조사·계측을 통한 구조물의 상태 파악, 손상의 원인규명 및 현상태에서의 건전도평가와 잔여수명평가가 수행되고 여기에 보수·보강을 위한 방법의 제시까지를 포함하여 그 범위가 넓다. 구조물안전관리기술은 그림 1과 같이 크게 안전진단기술과 보수·보강기술로 나눌 수 있다. 실제 시설물의 관리는 두 기술이 유기적으로 결합되어 운용되고 있는데, 이는 그림 6과 같이 구조물안전관리의 흐름도로 나타낼 수 있다.

4.2 안전진단기술

안전진단기술은 사용중인 시설물의 정기적인 점검에 필요한 기술이라 할 수 있는데, 그림 6에서 보는 바와 같이 일상점검, 정기점검, 긴급점검 및 정밀안전진단으로 나누어 볼 수 있다.

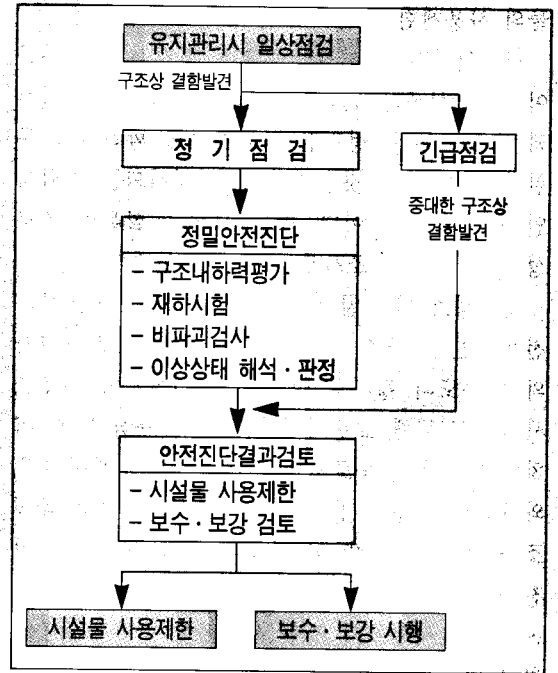


그림 6. 구조물안전관리의 흐름도

일상점검은 공용중인 시설물의 유지관리를 책임지고 있는 기관에 의하여 자체적으로 행하여지는 외관조사와 같은 성격을 띄고 있다. 점검자는 교량유지관리지침에 의거하여 시설물의 전반적인 외관형태를 관찰하여 손상의 발견 및 그 변화추이를 명확하게 기록해야 한다. 주요 점검부위는 응력집중이 발생하는 단면급변부, 지점부 및 이음부를 들 수 있고, 파손시 시설물의 안전에 직접적인 영향을 주는 붕괴유발부재와 기초부 등이다. 정기점검은 사용중인 시설물의 현상태를 정확하게 판단하고, 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터 변화를 확인하고, 구조물이 현재 사용조건을 만족하는지를 확인하는데 필요한 면밀한 육안검사와 간단한 측정기구를 통하여 정기적으로 시행된다. 점검부위는 일상점검시의 부위는 물론 시설물의 구성부재를 모두 포함한다. 시설물이 재해나 사고로 인하여 주요부재에 손상의 우려가 있거나 손상이 있을 경우 또는 시설물의 안전관리를 위하여 긴급히 필요하다고 인정하는 경우에는 긴급점검이 실시된다. 이를 통하여 바로 시설

물의 사용제한 등의 조치를 취할 수 있다.

정밀안전진단은 일상점검과 정기점검을 통하여 보다 상세한 안전진단이 요구되는 경우 실시되는 것으로서, 정기점검 과정에서 발견하지 못한 결함을 찾는 것을 목적으로 실시되는 종합적인 안전진단과정이다. 이는 크게 시설물의 내구성조사와 내하력조사로 나누어 실시된다.

내구성조사는 일반적으로 시설물의 기초부와 전체적인 외관조사와 사용부재의 재료강도평가와 열화도의 평가로 구분된다. 시설물의 기초조사가 실시될때 교량에서 기초부가 수심 밑에 위치하는 경우 수중조사와 지반조사가 이루어지며, 외관조사의 경우 콘크리트의 탈락·박리의 발생조사, 강재의 도장 및 상태의 조사 등이 이루어진다. 사용재의 재료강도평가 및 열화도 조사는 콘크리트 시설물의 경우 사용재의 반발경도시험, 철근상태조사, 중성화시험 등이 실시되고, 콘크리트재의 코어를 채취하여 실험실에서 보다 정밀하게 압축강도, 염분량 및 철근의 인장강도 시험을 통하여 콘크리트재의 품질을 평가한다. 강재의 품질조사에서는 강재의 열화에 따른 강도저하도의 평가와 용접부의 결함조사가 이루어진다. 강재의 특성치 평가는 부재의 일부를 채취하여 실험실에서 인장시험, 샤르피충격시험에 따른 노치 인성치의 변화 그리고 균열이 있는 경우 파괴인성치의 평가 등이 이루어진다. 용접부의 검사에서는 여러 비파괴검사법이 이용되는데, 대표적으로 염료침투법(PT), 초음파법(UT), 방사선법(RT) 및 자기입자시험(MT)를 들 수 있다. 이러한 검사법을 통하여 용접부에 건설당시의 불량시공에 의한 내부 용접결함부와 시설물의 사용에 따른 용접부에 발생한 피로균열의 계측이 가능하게 된다.

한편 내하력조사에서는 공용상태에서 계측장비를 이용하여 정·동적변형률, 처짐 및 가속도를 측정하고, 구조해석에 의하여 얻어진 해석치를 실측치와 비교하여 사용 부재의 내하력을 평가할 수 있다. 그러나 실제 이러한 방법은 계측

시의 부정확성과 외부에서 가해지는 하중의 불규칙성으로 많은 오차를 갖을 수 있으므로, 교량의 경우 재하시험을 통하여 교량 주요부재의 내하력을 보다 정확하게 평가할 수 있다.

이와 같이 대상시설물의 내구성조사와 내하력조사를 통해 얻어진 측정결과를 종합분석하여 안전도를 평가할 수 있다. 여기서 시설물의 안전도가 낮게 얻어지는 경우, 그 정도에 따라 시설물의 사용제한과 같은 조치를 취할 수 있다. 그러나 교량과 같은 기간시설물의 경우 교통통제와 같은 사용제한 조치가 취해지면, 경제적·사회적인 문제가 발생할 수 있다. 그리고 당산철교의 경우에서처럼 재시공 등과 같은 조치가 취해지면, 매일 이를 이용하던 시민들의 불편은 물론 막대한 예산의 지출이 요구된다. 이런 경우 안전한 시공과 적절한 보수·보강법이 적용된다면 안전성이 낮아지기 전에 적절한 조치를 취할 수 있어, 기간시설물의 보다 신뢰할 수 있는 사용을 보장받을 수 있게 된다.

4.3 구조물 보수·보강 기술

사용중인 시설물은 부설시공 또는 관리소홀로 인한 구조체 내부의 여러 결함, 재료적·구조적 열화 및 손상 등이 발생되고 있다. 이러한 열화나 손상 등은 용접결함, 균열, 부식, 피로누적 등의 요인으로 구조물의 내하력은 차츰 저하하여 시설물의 붕괴와 같은 대형사고를 유발할 수 있다. 1994년에 발생한 성수대교 붕괴사건 이후 기간시설물에 대한 대대적인 정기점검 또는 정밀안전진단 등을 통하여 여러 교량에서 구조물의 안전성에 심각한 영향을 주는 손상이 발견되고 있다. 이러한 경우 시설물의 사용제한이나, 구조안전성 확보를 위한 보수·보강대책이 마련되어야 한다. 본 절에서는 주로 불량용접부를 갖고 있는 강교량의 보수·보강 대책에 대하여 기술하겠다.

교량의 구조안전성에 대한 사항은 일반 시설

물과는 다르게 이를 매일 사용하는 시민들의 생명과 직결되는 매우 민감한 사안으로 경제적·사회적인 파급효과가 매우 높다. 한국기계연구원 에서 실시한 구조안전기술개발의 경제성 분석의 자료에서 교량안전성 개선에 대한 서울시민의 지불의사를 기준으로 한 조건부가치 측정법으로 환산한 한강교량 안전성의 경제적 가치를 평가 하였다. 그리고 이 결과를 1996년 서울시에서 책정한 서울시 교량의 유지·보수 예산과 비교하여 보았다. 표 1에 서울시의 교량 유지·보수 예산 및 한강교량 안전성의 경제적 가치를 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 한강교량 안전성의 경제적 가치는 1996년도 서울시의 교량 유지·보수 예산의 3배에 달하는 것으로, 그 만큼 교량의 구조안전성 확보를 위한 보수·보강의 필요성이 증대되고 있고, 이에 걸맞는 기술개발이 요구되고 있다.

성수대교의 붕괴사고의 주원인은 1차 부재인 수직재의 맞대기용접부의 불량용접이었는데, 성수대교 사고 이전에 시공된 대부분의 강교의 정밀안전 진단에 따르면 수많은 불량용접부가 존재하고 있고, 일부 부재는 안전도에 큰 위험이 있는 것으로 밝혀지고 있다. 그러나 부족한 예산과 경제성을 감안하면 전 불량용접부를 보수·보강한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 우선적으로 불량용접부를 갖는 강교량 부재의 잔존수명예측기술을 통하여 보수·보강 우선 순위판정을 위한 기술개발이 시급하다. 이를 위해서는 여러 용접방식에 대하여 불량용접 정도에 따른 강도 저하도의 D/B의 구축이 시급하고, 높

은 신뢰도를 갖는 정량적인 잔류수명평가의 기법이 확립되어야 한다.

강교의 보수·보강을 실시하기 위해서는 교통통제와 같은 조치를 취해야 하는데, 이런 경우 교통량이 많은 대도시의 경우 심각한 경제·사회적인 문제가 발생할 수 있으므로 이를 최소화한 공용하에서의 시공법 개발에 관심을 기울이고 있다.

강교의 보수·보강법 적용에 있어 크게 취약부에 보강판을 이용하여 볼트시공을 하는 것과 균열이 발생한 부위 또는 용접불량이 된 부분을 개선작업한 후 용접을 실시하는 방법이 있다. 볼트시공의 경우 작업후 교량의 중량을 크게 증가시키고, 미관이 불량할 뿐더러 시공비가 높은 단점을 들 수 있다. 이에 대하여 보수용접시공은 미관이 우수하고, 작업성이 용이할 뿐더러 경제적이기 때문에 최근 선진국에서 이를 적극 수용하려고 있다. 그러나 용접보수는 작업시 필연적으로 발생하는 용접열에 의한 부재의 변형, 공용하중하(사·활하중)의 용접균열 발생으로 인하여 강도의 급격한 저하 등의 문제를 안고 있다. 따라서 공용하에서의 보수용접기술의 개발은 우리나라 강교의 수명향상과 안전사고 재발방지 측면에서 가장 시급한 과제로 여겨진다. 그림 7은 공용하중하의 불량용접부를 갖는 강교의 보수용접기법의 적용을 위한 기본기술개발을 위한 흐름도이다.

5. 결 언

본 고에서는 대형구조물 중 주로 기간시설물을 중심으로 국내, 외자료를 취합하여 구조안전

표 1. 서울시의 교량 유지·보수 예산 및 한강교량 안전성의 경제적 가치

	내역	예산	총액
서울시의 교량 유지·보수예산(1996)	교량의 주요부분 보수	180억	1,038억
	개수·선능 개선	820억	
	일상 유지관리	38억	
한강교량 안전성의 경제적 가치	3,445억 (교량안전성 개선에 대한 지불의사를 기준으로 한 조건부 가치 측정법으로 환산)		

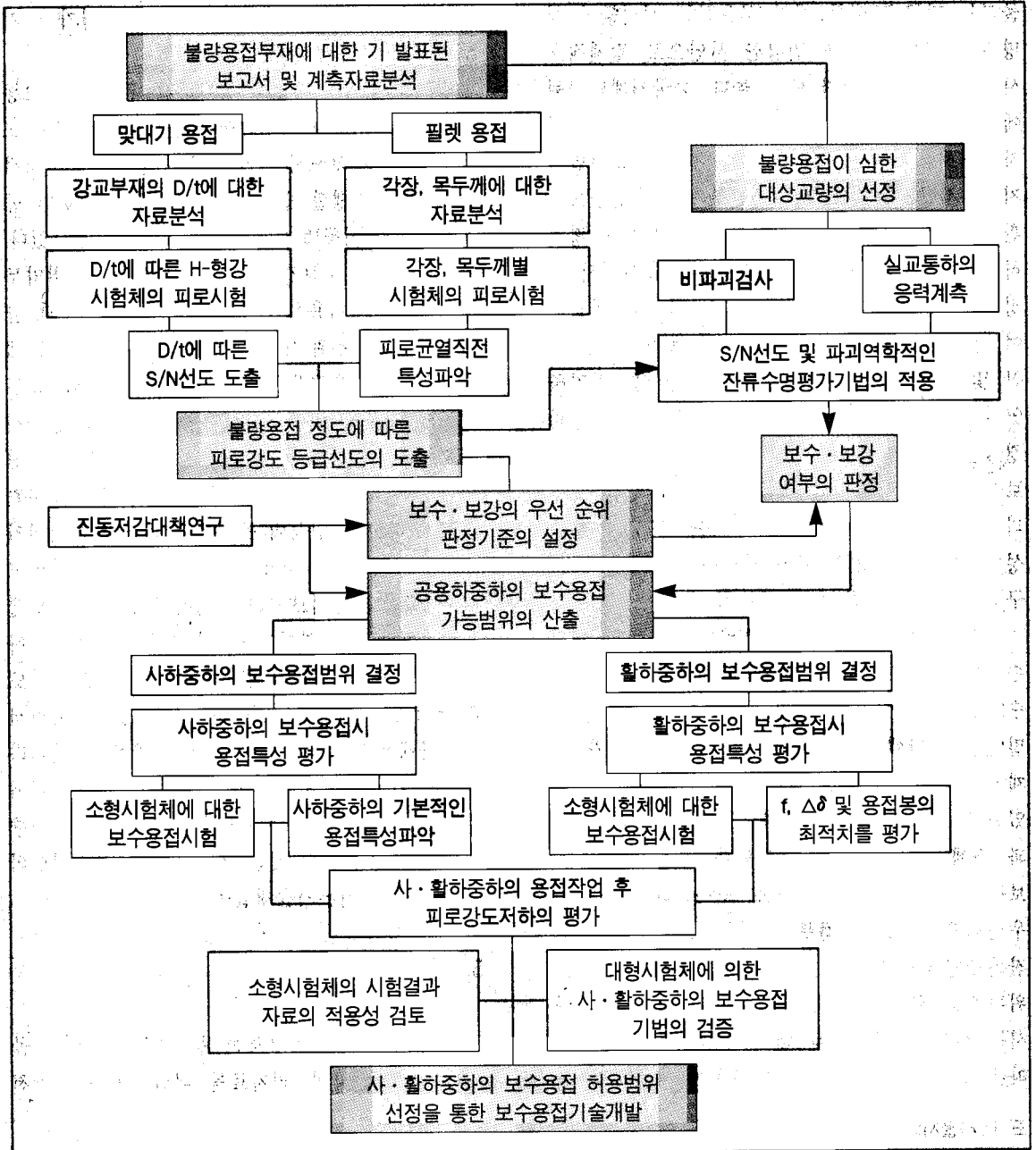


그림 7. 공용허중하의 불량용접부를 갖는 강교의 보수용접기술개발의 흐름도

기술에 관한 개략적인 내용을 다루었다. 그동안 급속한 경제발전과 더불어 산업기반의 조성과 사회간접자본의 투자가 급격히 증가하여 수많은 기간시설물이 건설되었으나, 부실시공은 물론 노후화로 이의 안전도가 급격히 저하되고 있다. 이

로 말미암아 성수대교의 붕괴나 당산철교의 재시공 등과 같은 대형안전사고와 엄청난 예산낭비가 초래되었다. 따라서 국민에게 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 대형 국가기간시설물의 안전성확보를 위해서는 기간시설물의 구조안전기

술에 대한 기술개발에 박차를 가해야 한다. 또한 기 건설되어 있는 대형 기간시설물에 대한 체계적인 안전관리기술의 개발 및 적용이 요구되고 있으며, 안전도에 문제가 있는 시설물에 대해서는 사용에 지장을 주지 않는 공용하중 상태에서 의 경제적이고, 안전성이 확보된 보수·보강기법을 개발하여 보다 안전한 기간시설물의 사용을 보장하는 것이 시급히 진행되어야 할 기술개발이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] “성수대교 붕괴사건 원인규명감정단 활동 백서”, 서울지방검찰청, 1995.
- [2] “서울시 선유고가차도 정밀안전 진단 보고서”, 서울시 건설안전관리본부, 1996.
- [3] “대형 시설물의 안전성”, 국가과학기술자문회의, 1994.
- [4] “구조안전기술 고도화를 위한 기계분야 기술개발전략 수립”, 연구기관 : 한국기계연구원, 과학기술처, 1997.
- [5] “Evaluation of Fatigue Tests and Design Criteria on Welded Details”, National Cooperative Highway Research Program, 1986.
- [6] “Steel, Concrete and Composite Bridges”, Part10. Code of Practice for Fatigue, British Standards Institution, 1980.
- [7] Langenberg, P., Dahl, W., Han, S. H., “Bruchverhalten alter Stähle in genieteten Brücken-Bruchmechanische Sicherheitsanalyse und Bauteilversuche”, 28. Tagung des DVS-Arbeitsvorgänge, Bremen, Germany, 1996, pp.147~154.
- [8] 신병천, 한승호, 이종원, “대형구조물의 안전진단 기술”, 기계와 재료, 제9권, 제3호, 1997, pp.44~55.
- [9] 이규화, “방식기술과 관리”, 기계와 재료, 제9권, 제3호, 1997, pp.56~66.
- [10] 井元泉, 金裕哲, 中西保正, 堀川浩甫, “變動荷重下における溶接施工可否判定法-供用下にある構造物の溶接施工に関する研究(第3報)-”, 溶接學會論文集 第9卷, 第2號, 1990, pp.86-90.
- [11] 井元泉, “補修溶接の採否の決定と施工上のポイント(1)-供用下の橋梁-”, 溶接學會誌 第60卷, 第2號, 1991, pp.13-16.
- [12] 한승호, 신병천, 한정우, “불완전용입 맞대기 용접재의 용입깊이에 따른 피로강도특성 및 잔류수명의 산출”, 한국강구조학회 논문집, 제10권, 3호, 1998, pp.423-435.