

4. 진동피해 평가 방안

4.1 일반사항

본 장에서는 진동에 의한 건축물의 피해를 평가하는데 있어 검토가 요망되는 주요 항목을 실무적 차원에서 정리하고, 그 검토 결과를 바탕으로 건축물에 발생되어 있는 제반결함에 미친 진동의 영향 정도, 즉 진동 기여도를 정량화시키는 방안을 고찰·제시하고자 한다.

진동으로 인한 건축물의 피해는 진동원의 특성, 수진 측과의 지반전달 특성 및 건축물의 응답특성 등에 따라 크게 달라지며, 이러한 요소들이 서로 간섭하여 더욱 많은 변수를 초래하게 된다.

따라서, 피해 평가의 정도를 향상시키기 위해서는, 진동이 발생하여 대상건축물에 작용하기까지의 과정을 단계적으로 구분하여 관련자료를 체계적으로 확보한 후 이를 종합적으로 평가하는 것이 요구된다.

진동으로 인한 건축물 피해 평가를 위한 현장조사 시 조사하여 할 항목은 크게 “진동 발생원과 관련한 자료”, “전파경로와 관련한 자료”, “대상건축물과 관련한 자료” 및 “기존 측정 결과와 관련한 자료” 등으로 분류될 수 있다.

이에 따라 각 항목별 주요 조사내용을 정리하기로 하며, 이러한 현장조사 내용에 대한 검토 결과를 토대로 건축물에 발생되어 있는 결함에 대한 진동 기여도를 결정하는 것으로 한다.

한편, 건설공사 시 주변 건축물에 영향을 미칠 수 있는 요인으로는 굴착에 따른 지반 변위, 지하수위의 변동 등과 같이 진동 이외에도 다양한 변수가 거론될 수 있다. 실제, 건축물에 발생하는 피해는 상기 요인이 복합적으로 작용하는 경우도 상당하므로 각 요인별 영향도의 평가가 명확하지 않은 경우도 많다고 할 수 있다.

이 때, 지반 변위 및 지하수위 저하와 관련된 피해 정도도 계측자료 및 지반조건, 적용공법 등에 대한 분석을 통하여 평가할 수 있겠으나, 환경분쟁조정업무의

대상영역을 고려하여 본 평가 대상에서는 제외하기로 하며, 여기에서는 진동 요인에 의한 주변건축물 피해 평가와 관련한 사항만을 취급하기로 한다.

4.2 진동피해 평가를 위한 검토 항목

4.2.1 진동 발생원에 대한 검토 항목

진동 발생원은 크게 “건설현장에서의 굴착 및 석산에서의 채광, 채석 등을 위한 발파로 인한 진동”과 “건설현장 등에서 사용하는 장비에 의한 진동”, 그리고 “차량 운행 등에 의한 교통진동”으로 나눌 수 있으며, 각 발생원별 검토 항목은 다음과 같이 요약된다.

1) 발파진동

우리 나라의 경우 지질적으로 고생대 및 중생대의 견고한 암반이 지표 가까이 노출된 경우가 많고 지형적으로 산지와 구릉지대가 발달되어 있어, 각종 건설공사 시 발파작업이 수반될 때가 많다.

발파에 의한 피해로는 응력파에 의한 지반진동 및 발파풍압(공중충격파), 비석 등을 들 수 있으며, 폭원과 어느 정도 떨어져 위치한 건축물에 발생하는 피해는 주로 지반진동에 기인하게 된다. 일반적으로, 발파진동은 인위적으로 발생하는 진동 중에서 주변에 미치는 영향도가 가장 큰 것으로 평가되며, 현장조사 시에는 시험발파보고서, 발파작업일지, 지질조사보고서 등의 관련자료를 참조하여 아래와 같은 사항을 확인하도록 한다.

- 화약류(폭약, 뇌관 등)의 종류 확인
- 발파 대상지역의 지질 및 암질 확인
- 발파 패턴 및 제원 확인(시험발파와 본 발파 시와의 비교·검토 포함)
- 진동속도 추정식 제안 여부 확인(샘플수 검토)
- 실 사용된 지발당장약량 확인(발파지점별)
- 발파기간 및 빈도 확인 등

2) 건설장비진동

건설장비에 의한 발생진동의 수준은 발파의 경우보다는 그 정도가 경미하다고 할 수 있으나, 건축물 피해 관련 민원도 빈번히 제기되고 있는 실정이다.

말뚝기초 공사에 있어, 주변에 영향을 미칠 수 있는 수준의 진동은 주로 기성 말뚝의 타입 시 발생하며, 그 정도는 말뚝 및 항타장비의 종류 등에 따라 다양한 양상을 나타낸다. 항타에 의한 진동은 충격적인 특성이 있고, 일반적으로 차량 등에 의한 진동보다 큰 값을 나타내므로 주변 건축물에 영향을 미칠 가능성이 그만큼 높다고 할 수 있다. 실제 건설현장에서 직타공법의 적용 시 인근 가옥에서 민원이 빈번히 발생되었던 바, 근래에는 이의 개선을 위하여 Pre-boring과 같은 대체공법이 적용되는 경우가 많다.

기타, 진동롤러, 브레이커 등에 의한 토공사 및 H형강 등을 사용한 흙막이 공사, 또는 구조물 철거공사 시 발생하는 진동이 문제시될 경우도 있다.

현장조사 시에는 사용장비 내역, 작업일보, 지반조사보고서 등의 관련자료를 참조하여 아래와 같은 사항을 확인하도록 한다.

- 대상지반의 지질 및 구성상태 확인
- 적용공법 등 공사내용 확인
- 사용장비 종류 확인
- 각 장비별 사용기간 및 빈도 확인
- 사용장비 중 최대진동 유발원 선별 등

3) 교통진동

도로 주행차량 등으로부터 노면에 가해지는 충격이 지반을 통해 전파되는 것으로 일반적으로 진동보다 소음 부분이 더욱 문제시되는 분야이나, 간혹 주변 건축물에 진동피해를 발생시키는 경우도 있다. 현장조사 시에는 관련자료 등을 참조하여 아래와 같은 사항을 확인하도록 한다.

- 운행차종 및 중량 확인
- 적재물 및 운행속도 확인
- 도로 및 지반 조건, 폭, 노면상태, 과속 방지턱의 유무 등 확인
- 도로 파손상태 및 보수이력 확인
- 운행빈도 확인 등

4.2.2 전파경로에 대한 검토 항목

공기 중으로 전파되는 소음과 달리, 지반을 전파매체로 하는 진동의 경우에는 매체경로가 되는 지반의 조건에 따라 그 전파양상이 큰 영향을 받게 된다.

즉, 지반의 충격 흡수성과 매질의 밀도 및 지형, 단차 등과 같은 경로 상의 제반 조건에 따라 전파된 진동의 크기가 크게 달라지게 된다고 할 수 있다.

현장조사 시에는 지적도, 개황도 등 관련자료를 참조하여 아래 사항을 확인하도록 한다.

- 대상 건축물과의 이격거리 확인
- 전파경로 상의 지반 조건 및 지형 확인
- 발파지점과 대상건축물과의 레벨차 확인
- 전파경로 상의 진동 감쇠요인 확인(구거, 암거, 옹벽 등)
- 전파경로 상에 위치한 타 시설물의 상태 확인 등

4.2.3 대상건축물에 대한 검토 항목

현장조사 시에는 설계도면, 관리대장 등의 관련자료를 참조하는 한편, 대상건축물에 대한 면밀한 관찰을 통하여 아래와 같은 사항을 확인하도록 하며, 대상건축물의 상태와 관련한 세부 조사내용은 4.3.1에서 다시 거론하기로 한다.

특히, 1997년 7월 공포된 건설기술관리법 시행령(제 46조의 2 내지 제 46조의 3)에서 “지하 10m 이상 굴착하거나 폭발물 사용공사로서, 20m 안에 시설물이 있을 경우 또는 100m 안의 양육가축에 영향이 예상되는 건설공사”에 대하여는 안전관리 계획을 수립하도록 한 바, 근래에 들어서는 해당공사의 건설업자가 피해가 예상되는 부분에 대한 현황조사를 착공 이전의 시점에서 제 3자에 의뢰·실시하게 함으로써 균열 등의 결함을 객관적으로 자료화시켜 놓은 경우도 상당하므로 이를 확보할 경우 진동피해 정도를 판단하는데 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

- 건축물 개요 확인(용도, 규모, 준공시기, 증축 여부 등)
- 설계도면 보유 여부 확인
- 지반, 기초, 구조형식 등 확인
- 대상건축물 사전 현황조사 및 진단, 감정 실시 여부 확인

- 균열 게이지 등을 통한 기존 결함의 진전성 평가 여부 확인
- 건축물에 발생한 결함조사(발생원인에 대한 개략적 평가 포함)
- 건축물의 시공성 확인
- 건축물의 노후도 확인
- 건축물의 재하상태 확인
- 주변에 위치한 타 건축물 상태 확인
- 최대진동 작용시기 확인
- 건축물 보수이력 및 용도·구조변경 여부 확인
- 보수·보강 견적서 확인(적정성 평가 포함)
- 건축물 민원발생 이력 확인 등

4.2.4 측정 데이터에 대한 검토 항목

진동피해를 평가하는데 있어 중요한 척도의 하나라 할 수 있는 진동속도는 추정치를 통한 값보다 실 측정된 값이 우선적으로 반영되는 것이 당연하다고 할 것이다. 그러나, 2장에서도 언급한 바와 같이, 측정장비 및 위치 등에 따른 변수도 상당하므로 아래 사항에 대한 검토가 요구된다.

- 측정 장비 및 위치의 적정성 확인
- 측정 조건 확인
- 측정 데이터 분석(주파수대역, PPV, PVS 등)
- 시험발파 추정식 등에 의한 값과의 비교·검토 등

상기 사항에 대한 검토 결과를 근거로 대상건축물의 상태 및 작용진동의 수준을 평가함으로써, 이하 기술된 “진동 기여도”를 산정하기로 한다.

4.3 진동 기여도

본 연구에서 진동 기여도라 함은 건축물에 발생되어 있는 제반결함에 미친 진

동의 영향 정도를 정량화시킨 것으로, 현실적으로는 수식을 통한 계량화가 거의 불가능하다고도 하겠으나, 피해에 대한 배상액을 산정하기 위해서는 이러한 개념의 도입이 불가피하다는 차원에서 해석되어야 할 것이다.

진동 기여도의 평가를 위해서는 건축물에 발생되어 있는 제반결함의 발생원인을 진동 요인과 자체요인으로 분류(앞서 언급한 바와 같이, 지하수위 변화 및 지반 변위 등과 같은 요인은 본 보고서의 평가대상에서 제외하기로 함)하는 방안이 고려될 수 있으나 그 정도의 판단이 어려우며, 그러한 방식으로 진동 기여도를 수식화시켜 산정하기는 매우 어렵다고 할 수 있다.

실제, 건축물에 진동이 작용할 경우 취약부위부터 우선적으로 영향을 받는다는 점에서 상태가 불량한 건축물에 발생되어 있던 기존 균열의 확대·진전 등과 같은 현상이 나타나는 경우가 보편적이라 할 수 있으나, 이미 존재하였던 균열을 일부 진전시켰다 하여 그 기여도를 높게 평가할 수는 없을 것으로 사료된다. 반면, 상태가 양호한 건축물에 진동이 작용하였을 경우, 균열 등의 결함이 쉽게 유발되지는 않겠으나, 만약 그러한 일이 발생한다면 그 때의 기여도는 전술한 경우와 대비하여 높게 평가되어야 할 것이다.

이러한 측면에서 건축물의 상태에 따라 진동의 영향을 받기 용이한 정도와 실제 결함이 발생되었을 때의 진동 기여도는 상이한 개념이라 할 수 있으므로 적용상 다소의 혼선이 초래될 가능성도 있을 것이다.

그러나, 동일한 수준의 진동이 작용하여 피해가 발생하였다 하여도 건축물의 원 상태가 양호할 경우에는 그 피해 정도가 경미할 것이며, 건축물의 원 상태가 불량할 경우에는 그 정도가 상대적으로 크게 나타날 것이다. 따라서, 상태가 양호한 건축물의 경우 그렇지 못한 건축물의 경우보다 진동 기여도는 더 높게 평가될 수 있으나, 건축물의 손상정도가 낮음으로 인하여 피해 배상액은 현실적인 균형을 이룰 수 있을 것으로 사료된다.

이러한 점들을 종합적으로 감안하여, 본 연구에서는 자체요인에 기인한 결함발생 정도를 건축물의 상태에 대한 평가로써 정량화시킴과 동시에, 3장에서 기술한 기준치에 대비한 작용진동의 수준 역시 수치화시켜, 이를 근거로 진동 기여도를 산정 하고자 한다. 단, 제반자료에 대한 평가에 있어 관계 전문가의 자문은 필수적이라 하겠다.

4.3.1 건축물 상태 평가

일반적으로, 진동원이 대상물에 근접하여 위치할 경우를 제외하고는 현재 기준으로 하고 있는 진동피해 한계에 달하지 않는 경우가 대부분이나, 이러한 때에도 건축물 피해가 발생하는 경우가 간혹 있는 바, 이는 주로 건축물 자체하자와 진동이 복합적으로 작용하는 경우에 발생될 수 있다고 하겠다.

일부 건축물은 극히 취약한 상태로 존재하고 있으며, 이에 더하여 건축물의 정역학적 응력 수준이 지반 침하, 온·습도의 변화 등으로 과도한 부하를 받고 있는 상태에서는 미소한 진동이라도 균열을 발생시키는 촉매가 될 수 있음은 물론, 더 큰 피해를 야기할 수도 있다.

즉, 건축물의 상태와 진동피해의 정도는 큰 상관성을 갖는 바, 아래 사항에 대한 평가를 통하여 이를 정량화시키는 방안을 강구하기로 한다.

1) 구조형태에 대한 평가

건축물의 상태는 일단 구조형태별 구성현황을 감안하여 평가할 수 있다. 여기서 구조형태라 함은 3장에서 언급된 조적조, 철근콘크리트조, 철골조, 목조 등을 지칭한다.

진동과 같은 횡력에 가장 취약한 구조형태라 할 수 있는 조적조에 있어서의 주요평가 내용으로는 벽량 및 벽체의 두께, 테두리보의 설치 여부, 기초 형식, 상·하층 벽체의 일치성, 개구부의 배치현황, 인방 설치 여부 등으로, 이를 종합하여 그 구조형태에 대한 평가가 이루어져야 할 것이다.

철근콘크리트조와 철골조의 경우는 횡력에 대한 저항성이 설계에서 고려되었는 지(내진설계)의 여부와 부재의 치수, 배근 등을 포함한 설계의 적정성 등도 평가되어야 한다.

목구조의 경우 구조부재의 치수 및 접합상태가 일차적인 검토사항이 될 것이다. 한편, 목구조 자체는 진동에 강한 구조이나 국내의 경우 상당수의 목조 건축물이 창고 등과 같은 용도의 임시 구조물이거나 또는 노후화 정도가 현저한 건축물도 다수 존재한다는 점을 감안할 때, 마감재의 손상을 고려한 평가에서는 안전성이 낮을 수 있다는 사실도 감안되어야 할 것이다.

또한, 신축 당시의 용도 및 구조에서 변경이 이루어지는 경우도 건축물의 상태

평가에 있어 중요한 고려사항으로서, 특히 구조체의 신설 및 위치 변경과 함께 과하중의 작용도 건축물의 구조적 안전성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

2) 시공품질에 대한 평가

건축물을 구성하고 있는 각각의 구성재료에 대한 성능 및 품질 수준과 함께 시공성에 대한 평가 역시 건축물의 상태를 파악하는데 있어 중요한 위치를 차지하고 있다.

고려되어야 할 주요 사항으로는, 조적조의 경우 벽돌 등의 구성재 및 모르타르의 강도와 함께, 쌓기 방식(특히, 교차부 쌓기), 벽체간 긴결철물 사용 여부, 흠파기 등을 들 수 있다.

목조에서는 접합부의 상태 및 마감상태 등을 관찰하는 것이 요구되며, 철근콘크리트조에서는 사용재료의 품질 및 콘크리트 타설 시의 각종 처리(밀실성, 이음부, 철근의 피복두께 등)에 대한 적정성을 판단해야 할 것이다.

아울러, 담장 및 파라펫, 타일, 기와, 옥상 방수층, 조인트 등 취약부의 시공상태에 대한 점검이 요구되며, 특히 적정한 건축기술에 의하지 않고 기능공의 경험에 의하여 건립된 건축물의 경우에는 시공품질과 관련하여 소요성능이 확보되지 못한 경우도 상당하므로 위 사항에 대한 고려가 반드시 필요하다 할 것이다.

3) 노후도에 대한 평가

건축물은 일차적으로 사용연수에 의해 노후화가 진행된다. 노후화란 주로 구조체 및 마감재의 성능저하를 일컫는 것으로, 자연발생적인 균열 및 누수 등에 의한 영향이 큰 실정이다. 실제 건축물에는 시간의 경과와 함께 그 정도의 차이는 있으나 어느 정도 균열 등과 같은 결함이 발생될 소지가 있으며, 어떠한 경우도 이 법칙으로부터 예외가 될 수는 없을 것이다. 건축물의 노후도 평가에 있어서는 경과연수, 마감재의 상태 등이 고려되어야 하며, 특히 사전 현황조사 및 안전진단 등이 실시되었을 경우 주요 참조자료가 될 수 있다.

4) 사용조건에 대한 평가

건축물은 여러 구성재료들의 복합체로서 온·습도의 변화, 동결융해의 반복 등에 의해 각 재료간의 접합부에서 균열이 발생하게 되며, 유지관리 상태 및 사용

환경 등에 따라 큰 영향을 받게 된다. 또한, 지반조건 등에 따라 자연발생적인 지반 침하 및 기초의 부동침하가 발생하기도 한다.

위 항목에 대한 평가에 있어서는 완전히 구분하기 어려운 부분도 있을 수 있으며, 이 외에도 다양한 검토 항목이 존재할 수 있다.

건축물의 상태 평가 시에는 반드시 결함발생 정도 및 원인 평가 결과 등이 참조되어야 하며, <표 4.1>을 통하여 정량화 시킨 후 그 평균치를 취하도록 한다.

<표 4.1> 건축물의 상태 평가표

평가항목		불량		보통		양호		비고
		6	7	8	9	10		
1	구조형태							
2	시공품질							
3	노 후 도							
4	사용조건							
평 균								

4.3.2 작용진동 수준 평가

건축물에 발생되어 있는 제반 결함에 대한 진동의 기여도를 평가하기 위해서는 작용한 진동의 수준도 고려되는 것이 당연할 것이다. 본 연구에서는 3.4에서 제안된 각 건축물별 진동속도 인과관계 검토 기준(안)에서 제시된 수치와 대상건축물에서의 진동속도 실측치(또는 추정치)로써 식 (4.1)을 통하여 작용진동의 수준을 정량화시키기로 한다.

작용진동 수준을 산정하기 위하여 각 건축물별 진동속도 기준치를 적용함에 있어서는 <표 3.43>에 제시된 값을 사용한다. 단, 건축물 상태에 대한 평가가 진동 기여도 산정에 중복·적용되지 않도록 <표 3.44>는 감안하지 않는다.

$$\text{작용진동 수준} = \left(\frac{\text{진동속도 측정치 또는 추정치}}{\text{진동속도 기준치}} \right)^{1.5} \times 4 \quad (4.1)$$

4.3.3 진동 기여도 산정(안)

발생되어 있는 제반결함에 대한 자체요인의 영향 정도를 평가하기 위한 척도라 할 수 있는 건축물 상태 평가 결과(<표 4.1> 참조)와 기준치에 대비한 작용진동의 정도를 평가하기 위한 척도라 할 수 있는 작용진동 수준(식 (4.1) 참조)을 구한 후, 식 (4.2)로써 진동 기여도를 산정 한다.

진동 기여도는 건축물 피해 사실이 인정될 경우 산정·적용하도록 하며, 각 결함별로 진동 기여도가 크게 상이하여 구분이 필요하다고 판단되거나 또는 피해 범위가 일부에 국한될 경우에는 관계 전문가의 자문을 통하여 각 부위별로 진동 기여도를 평가하도록 한다.

$$\text{진동 기여도} = \frac{\text{작용진동 수준}}{(15 - \text{건축물 상태 평가}) + \text{작용진동 수준}} \quad (4.2)$$

단, 산출된 기여도가 0.05 미만일 경우에는 진동에 의한 피해가 없는 것으로 보아도 무방하며, 진동의 빈도 및 건축물의 피해정도에 따라 기여도를 조정할 수 있는 것으로 한다.

4.3.4 진동 기여도 산정 예

건축물의 상태를 각 조건별로 가정하고 이에 다양한 수준의 진동이 작용하였을 경우, 앞 절에서 언급된 내용에 따라 진동 기여도를 산정하여 보기로 한다.

1) 건축물 상태 평가

설계 시 동적 하중이 고려된 철근콘크리트조 Type 1 건축물(내진설계가 이루어진 고층 아파트로 가정)과 동적 하중이 고려되지 않은 철근콘크리트조 Type 2 건축물(소규모 상가로 가정) 및 조적조 Type 3 건축물(일반 주택으로 가정)의 세 가지 구조형태에 대하여 그 상태를 다시 양호, 보통, 불량 의 세 등급으로 나누어 <표 4.2>를 작성하였다.

<표 4.2> 건축물 상태 평가 예

평가항목	철근콘크리트조 Type 1			철근콘크리트조 Type 2			조적조 Type 3		
	양호		불량	양호		불량	양호		불량
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
구조형태	9.3	8.5	6.5	9.3	8.5	6.5	9.3	8.5	6.0
시공품질	10.0	7.7	7.0	9.5	7.5	6.4	9.5	7.5	6.1
노 후 도	9.7	8.3	6.2	9.7	8.6	6.2	9.7	9.0	6.2
사용조건	10.0	7.5	6.3	9.5	7.0	6.3	9.1	7.0	6.3
평 균	9.75	8.00	6.50	9.50	7.90	6.35	9.40	8.00	6.15

2) 작용진동 수준 평가

진동속도 기준치는 <표 3.43>의 검토 기준(안)에서 해당건물의 형식별로 그 값을 구하며, 대상건축물에서 실 측정된 진동속도나 추정식에 의한 진동속도를 식 (4.1)에 적용한다. 본 예제에서는 진동속도로서 0.1~10cm/s 범위의 총 7개 값을 적용하여 검토하였으며, 이 때 진동의 주파수는 10Hz 이하로 가정하였다.

$$\text{작용진동 수준} = \left(\frac{\text{진동속도 측정치 또는 추정치}}{\text{진동속도 기준치}} \right)^{1.5} \times 4$$

<표 4.3> 작용진동 수준 산정 예

진동속도 (실측치 또는 추정치)	작용진동 수준		
	철근콘크리트조 Type 1	철근콘크리트조 Type 2	조적조 Type 3
	기준치 2.0cm/s	기준치 1.5cm/s	기준치 0.5cm/s
10.0cm/s	44.72	68.85	357.77
4.0cm/s	11.31	17.42	90.51
2.0cm/s	4.00	6.16	32.00
1.0cm/s	1.41	2.18	11.31
0.5cm/s	0.50	0.77	4.00
0.25cm/s	0.18	0.27	1.41
0.1cm/s	0.04	0.07	0.36

3) 진동 기여도 산정

위 1), 2)에서 구해진 건축물 상태 평가 점수와 작용진동 수준을 식 (4.2)에 대입하여 진동기여도를 산정 한다. <표 4.4>는 위에서 가정 한 각 케이스별 진동 기여도의 산정 결과를 나타낸 것이다.

$$\text{진동 기여도} = \frac{\text{작용진동 수준}}{(15 - \text{건축물 상태 평가}) + \text{작용진동 수준}}$$

<표 4.4> 진동 기여도 산정 예

진동속도 건축물	철근콘크리트조 Type 1			철근콘크리트조 Type 2			조적조 Type 3		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
10.0cm/s	0.89	0.86	0.84	0.93	0.91	0.89	0.98	0.98	0.98
4.0cm/s	0.68	0.62	0.57	0.76	0.71	0.67	0.94	0.93	0.91
2.0cm/s	0.43	0.36	0.32	0.53	0.46	0.42	0.85	0.82	0.78
1.0cm/s	0.21	0.17	0.14	0.28	0.23	0.20	0.67	0.62	0.56
0.5cm/s	0.09	0.07	0.06	0.12	0.10	0.08	0.42	0.36	0.31
0.25cm/s	0.03	0.02	0.02	0.05	0.04	0.03	0.20	0.17	0.14
0.1cm/s	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.05	0.04

5. 진동피해 배상액 산정 방안

5.1 보수·보강 방안

4장에서 제시한 과정을 통하여 제반사항을 평가한 결과, 건축물의 결함 발생과 관련하여 피해 사실 및 진동 기여도가 인정될 경우에는 그 후속조치로서 손상된 건축물에 대한 기능회복 차원에서의 대처방안이 강구되어야 할 것이다.

손상된 건축물에 대한 대처방안으로는 그 상태에 따라 보수만으로 충분한 경우, 보수와 함께 보강 조치까지 요구되는 경우, 부분 또는 전면적 철거·재시공 등 다양한 조치가 거론될 수 있을 것이다.

이에 따라, 본 절에서는 건축물의 손상정도에 따라 요구되는 상기 조치에 대한 기본적 개념을 정리하고자 한다.

5.1.1 일반 사항

결함의 발생은 미관이 손상되는 등의 각종 유해현상과 함께, 건축물이 본래 보유하고 있던 내하력, 내구성, 방수성, 기밀성 등을 저하시키며, 심할 경우 구조부재의 강성 저하 및 변형 등으로 건축물의 안전성이 문제시되는 상태로까지 진전될 수 있다.

이에 따른 대응조치의 하나인 보수란, 여러 가지 요인으로 손상된 건축물을 대상으로 더 이상의 성능 저하를 막기 위하여 취해지는 방안으로서, 내구성 및 방수성의 저하를 방지하고 미관성 확보에 목적을 두는 취해지는 조치이므로 도장, 도배, 방수, 균열 보수 등과 같이 주로 표면에 대한 처리를 의미한다.

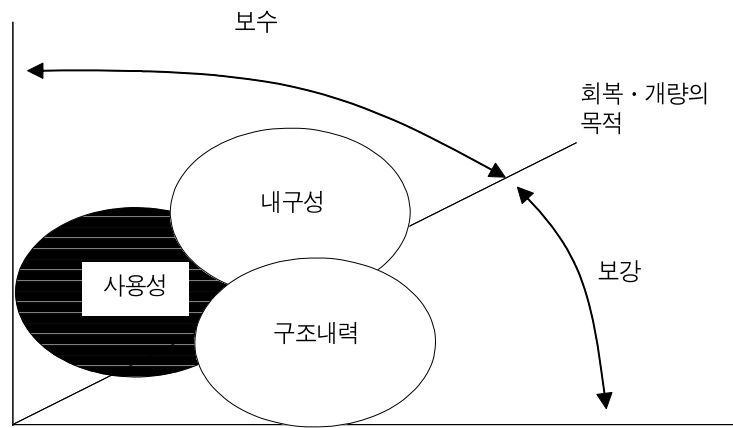
보강이란, 내력이 손상된 건축물을 보다 안정하게 유지하기 위하여 원 상태 이상의 성능을 갖도록 구조물이나 부재의 내력을 증가시키는 것을 의미한다. 즉, 구조부재의 강성 저하 및 파괴, 철근의 단면 손실, 철근과 콘크리트의 일체성 상실 등으로 저하된 건축물의 내력을 회복시키기 위하여 실시하는 것이다.

건축물의 보수·보강에 있어서는, 전체 건축물에 대한 손상부위의 영향 정도,

중요도, 사용환경 조건 및 경제성 등을 고려하여 보수·보강의 필요성을 판단하고, 그 방법 및 수준, 우선순위 등을 결정한 후 공사를 시행하도록 한다.

아울러, 공사 중 또는 공사 완료 시 내력평가 등을 통하여 보수·보강의 성과를 반드시 확인하여야 한다.

한편, 보수·보강 조치를 통하여도 소요내력의 확보가 어려워 안전성을 확보할 수 없거나, 경제성 등을 감안할 때 보수·보강의 실효가 없다고 판단될 경우에는 해당 구조물의 철거·재시공이 요구될 수도 있다.



[그림 5.1] 건축물의 보수·보강의 개념

5.1.2 보수공법

.보수 공법의 선택시에는 구조물의 중요도, 형식, 환경조건 혹은 보수 후의 내용년수 등을 고려하고 공법이 그 성능을 충분하게 발휘할 수 있는지 확인이 필요하다.

즉, 강도 및 강성의 회복, 기능의 개선, 수밀성의 확보, 콘크리트 표면의 외관 개선, 내구성의 개선, 철근으로의 부식성 물질의 접촉방지 등 목적에 부합하는 적정 보수공법이 선정되어야 한다.

아울러, 보수 공법의 선택 시에는 구조물의 중요도, 형식, 환경조건, 보수 후의 내용년수 등을 고려하고 적용공법이 그 성능을 충분하게 발휘할 수 있는지 확인

하는 것이 필요하다.

콘크리트의 균열 및 손상에 대한 보수공법으로는 손상부위를 처리하는 형태에 따라 크게 표면처리공법, 주입공법, 충전공법, 핀그라우트공법, 디솔트 리프리트 공법, 침투성 방수제 도포공법 등이 있다.

5.1.3 보강공법

보강공법은 구조내력의 회복 혹은 증진을 위해 적용되기 때문에 구조물 전체 또는 개별 부재의 성능개선에 대응하는 공법이며, 내진성능의 보강, 구조시스템의 보강, 부재의 보강, 기초 및 지반의 보강 등으로 대별된다.

또한 사용재료 및 시공방법에 따라 부재증설공법, 포스트-텐서닝공법, 단면증대공법, 교체공법, 철근매입공법, 강판접착공법, 탄소섬유보강공법 등이 있다.

다음 <표 5.1>은 대표적인 보강방법과 그 특징이다

<표 5.1> 보강방법의 공법개요 및 특징

방법	단면증대공법	강판 접착공법	탄소섬유보강공법
공법 개요	기존 부재에 철근콘크리트를 타설하여 단면을 증가시킨다.	콘크리트 표면에 접착수지로 강판을 접착시킨다.	기존 콘크리트 표면에 탄소섬유 강화시트를 접착시킨다.
특 징	· 철근의 정착방법 등에 어려움이 있고 접착상태가 불량한 경우 효과가 없다. · 전체 하중이 증가되기 때문에 기초 등 하부 구조체에 미치는 영향을 고려해야 한다. · 기존 콘크리트의 면처리와 신규 콘크리트타설 등으로 공기가 길다.	· 앵커볼트 매입 등에 진동, 소음을 수반한다. · 접착이 불량한 강판표면에 박리, 부식이 일어나는 경우가 있고, 설계대로 효과가 나타나지 않을 수도 있다. · 내화성을 요구하는 장소에서는 내화피복이 필요하다.	· 수작업으로 가능하고 시공성, 안정성이 가장 우수하다. · 보/상판 등의 휨보강에 특히 유효하다. · 면에 대한 접착이 확실하며 신뢰성이 높다. · 부식이 없고 장기적인 내구성이 가장 우수하다. · 내화성이 부족하다.

진동에 의하여 주변 건축물에 피해가 발생할 경우, 원칙적으로는 진동이 가해지지 않은 이전 상태로의 원상복구, 즉 보수조치만으로 처리가 가능한 경우도 있으나, 결함의 진전이 심화되어 내력증진이 요구되는 상황에 이르러 보강조치가 필요한 경우도 발생할 수 있다.

5.2 피해 배상액 산정(안)

5.2.1 보수·보강의 경우

① 보수·보강 공사비가 정해지는 경우

$$\text{피해 배상액} = \text{보수·보강공사비} \times \text{진동 기여도} \quad (5.1)$$

당사자간 합의 또는 견적 등을 통하여 보수·보강공사비가 확정되거나 보수·보강공사가 이미 시행된 경우에 있어서의 배상액 산정방법이나, 대상건물주가 임의로 공사를 시행하였을 경우에는 공사비에 대한 검증이 요구될 수도 있다.

한편, 결함 발생정도가 심하여 안전성 및 사용성이 의문시되는 상황에서는 전문기관에 진단을 의뢰하여 건축물의 상태에 대한 정확한 평가와 함께 적정 보수·보강방안을 제시받고, 이에 따른 공사비를 산출하는 방안이 강구될 수도 있다.

이 때 안전진단 비용 등 추가경비는 진동피해를 유발한 측에서 부담하는 것을 원칙으로 하되, 피해자가 임의로 안전진단을 실시한다거나 안전진단 과정을 통하여도 피해사실이 전혀 인정되지 않을 경우에는 예외로 한다.

② 신축비용을 기준으로 배상액을 산정할 경우

배상액의 산정에 있어서는, 상기 ①안의 채택이 바람직하나, 합의를 이루지 못하거나 안전진단 실시에 따른 비용 및 기간 등이 문제시 될 때에는 신축비용에 손상정도와 진동 기여도를 곱하여 다음과 같이 피해 배상액을 산정하는 방안도 강구될 수 있다.

$$\text{피해 배상액} = \text{단위면적당 건축가} \times \text{연면적} \times \text{손상정도} \times \text{진동 기여도} \quad (5.2)$$

여기서 “단위면적당 건축가×연면적”은 신축비용을 의미하며, 건물신축단가표(한국감정원)를 참조하여 산출하도록 한다.

또한, 손상정도는 건축물에 발생되어 있는 결함을 종합적으로 판단한 후, <표 5.1>을 기준으로 관계 전문가의 의견을 참조하여 확정하기로 한다.

한편, 피해부위가 한정된 경우에는 해당부위에 대해서만 손상정도 및 신축단가를 국한시켜 적용할 수 있으며, 손상정도에 따라 산정된 보수·보강비는 대상건축물의 잔존가를 초과할 수 없는 것을 원칙으로 한다.

<표 5.1> 손상정도

단계	조 치 내 용	손상정도(%)
1	건축물 전반에 걸친 보강	40~60
2	일부 부위에 대한 보강	20~40
3	건축물 전반에 걸친 보수	10~20
4	일부 부위에 대한 보수	5~10
5	단순 보수	5 이하
* 노후화 정도, 주요부재의 기울기, 균열 폭 등 결함 발생정도 및 범위를 감안하여 각 단계를 정함 예 : 철근콘크리트 구조체에 발생된 균열의 폭을 기준으로 할 경우 1단계 : 1.0mm 이상 2단계 : 0.5~1.0mm 3단계 : 0.3~0.5mm 4단계 : 0.2~0.3mm 5단계 : 0.2mm 이하		

5.2.2 재사용이 어려운 경우

보수·보강을 통한 재사용이 어려워 건축물을 철거한다는 것은 그 잔존가치가 소멸된다는 것을 의미하므로, 피해를 받기 이전 시점을 기준으로 감가 등을 고려한 대상건축물의 잔존가액과 진동 기여도를 곱한 금액에 기타 추가비용을 합산하여 피해 배상액을 산정하도록 한다.

① 감정 등을 통하여 건축물의 잔존가가 확정되는 경우

$$\text{피해 배상액} = \text{감정가} \times \text{진동 기여도} + \text{철거비 등} \quad (5.3)$$

감정기관을 통하여 건축물의 잔존가를 평가할 수 있으며, 이 때 감정비용은 피해를 유발한 측에서 부담하는 것을 원칙으로 한다.

여기서 철거비는 단위면적당 철거단가와 연면적을 곱하여 구하며, 기타 이주비 등과 관련한 비용이 배상액에 추가될 수 있다.

② 신축비용을 기준으로 잔존가를 산정할 경우

상기 ①안의 채택이 어려울 경우에는 신축공사비에 피해정도와 진동 기여도를 곱하여 다음과 같이 피해 배상액을 산정하는 방안도 강구될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{피해 배상액} = & \text{단위면적당 건축가} \times \text{연면적} \\ & \times (1 - \text{노후도에 따른 감가율}) \times \text{진동 기여도} + \text{철거비 등} \end{aligned} \quad (5.4)$$

여기서 “단위면적당 건축가×연면적×(1-노후도에 따른 감가율)”은 경과년수에 따른 감가상각을 고려한 건축물의 잔존가를 의미하며, 노후도에 따른 감가율은 건축물의 내용년수(한국감정원, 부록 참조)와 건축 후 경과년수의 비율을 감안하여 채택한다

6. 결 론

6.1 진동속도 추정

발파 진동속도는 주어진 조건하에서 계측을 통하여 얻는 것이 가장 바람직하겠으나, 계측이 불가능한 상황에서는 해당현장에서 제안된 추정식 또는 해당환경과 최대한 유사한 조건에서 제안된 추정식을 사용하도록 한다.

단, 현장에서의 추정식이 불비하고, 현재의 조건조차 불명확한 상황에서는 식 (6.1)과 같은 미광무국의 추정식을 사용할 것을 권장한다.

전술한 식은 자승근 환산거리에 의한 추정식으로 비록 근래의 연구 결과들이 삼승근 환산거리에 의한 추정식의 신뢰도를 상대적으로 높게 평가하는 경향을 나타내기는 하나, 대부분 특정조건 하에서의 제한된 계측량에 근거하고 있어 아직까지는 검증하여야 할 부분이 많다고 할 것이다.

진동속도는 발생원, 전파경로, 건축물이 위치한 지반상태 등 수많은 요인에 의하여 영향을 받게 되므로 추정식이 충분한 신뢰도를 갖기 위해서는 가능한 한 많은 양의 실측 데이터를 근거로 제안되어야 한다. 현재까지 보고된 바로는 미광무국의 추정식이 일반적 조건에서 가장 많은 양의 실측 데이터를 근거로 제안되었으며, 국내에서 제안된 추정식들은 아직까지 만족할만한 신뢰도를 갖기에 부족한 면이 없지 않다고 할 것이다.

이와 관련한 향후 연구과제로서, 국내에서도 각 관련기관이 보유하고 있는 데이터를 가능한 한 통합하여 샘플수도 풍부하고 국내 실정에 부합되는 추정식을 제안하는 것도 고려할 가치가 있을 것이다.

$$V = 172.5 (D/W^{1/2})^{-1.6} \quad (6.1)$$

여기서, D는 진동원으로부터의 거리(m), W는 장약량(kg)이다.

항타나 동다짐과 같은 건설장비에 의한 진동 역시 지반에서의 흡수성이나 탄

성파의 속도와 매질의 밀도로서 표시되는 임피던스 등에 따라 그 전파양상이 크게 달라지게 되므로, 해당지반의 특성이 반영되지 않은 임의의 환산식을 통하여 진동속도를 추정하는 것은 큰 의미가 없다.

즉, 건설장비 진동의 경우에도 실 계측치가 우선되며, 추정방식을 채택할 경우에 있어서는 충격시험 등으로 지반진동의 특성을 구하고 그 결과를 감안하여 평가하는 것이 바람직하다.

한편, 발파진동의 경우와 마찬가지로 관련정보를 얻을 수 없는 상황에서의 진동 추정이 불가피할 때에는 <표 2.10> 및 [그림 2.18]~[그림 2.20] 등의 자료를 근거로 할 것을 권장한다.

한편, 국내의 경우 지반조건별로 건설장비 진동을 건축물 손상과 연관하여 연구한 사례가 적으므로 유사한 문제 발생시 진동추정에 많은 어려움이 예상되며, 향후 이에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

한편, 추정치는 참고자료로서 활용하는 것을 원칙으로 하며, 불확실한 조건에서 얻은 추정치를 건축물 피해와의 인과관계를 인정하는 확정적 근거로 활용할 수는 없다. 이러한 경우에는 건축물 및 발생결함의 상태 평가결과에 보다 큰 비중을 두고 진동피해 정도를 판단하는 것이 바람직하다.

6.2 진동피해 검토 기준(안)

본 연구에서는 기존 연구결과 및 국외 기준들을 근거로, 이를 국내 실정에 맞게 재조정된 진동피해 인과관계 검토 기준(안)을 <표 6.1>~<표 6.2>와 같이 제안하고자 한다.

본 기준(안)은 건축물의 마감재 손상 등에 대한 유해성 여부를 기준으로 제시된 진동수준을 <표 6.1>에 나타내며, <표 6.2>를 통하여 건물의 노후도, 진동의 작용시간, 기초의 형식 및 지반의 영향 등에 의한 진동수준의 강화여부를 가중치로써 제안하고 있다.

<표 6.1> 진동피해 인과관계 검토 기준(안) (그룹 II)

건축물 분 류	건 축 물 형 식	주파수별 허용 진동속도 (cm/sec)		
		10Hz 이하	10Hz~50Hz	50Hz~100Hz
A	철근콘크리트, 철골조의 고층 건축물, 아파트 및 이와 유사한 형식의 건축물 (동적 하중에 대하여 설계된 건축물)	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0
B	철근콘크리트, 철골조로서 상기 A항에 해당되지 않는 건축물(동적 하중에 대하 여 설계되지 않은 건물)	1.5	1.5~2.0	2.0~3.0
C	조적조 형식의 주거용 건축물 및 부속 건축물(저층 건축물) 또는 이와 유사한 형식의 건축물, 단층 의 주거용 목조 건축물	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0
D	진동에 예민한 건축물, 취약건축물, 특별 한 보존가치가 있는 건축물(문화재 등)	0.3	0.3~0.8	0.8~1.0

- 1) 100Hz 이상의 진동에서는 100Hz에 준한 값을 기준값으로 함.
 2) 측정점은 최저층의 외측 벽체 또는 바닥슬래브를 기준으로 하고, 측정값은 직교하는 3축 방
 향의 성분들 중 최대값을 기준으로 함.

<표 6.2> 진동원, 진동경로 및 건축물의 상태에 따른 구분

구 분	그룹 I	그룹 II
건 축 물 상 태	피해부위를 지니고 있는 오 래된 건축물, 보수·보강되거나 증축된 건축물	무손상 건축물 구조적 변경사항 없음
재료와 건축물의 구조	조적조, 콘크리트조, 석조로 서 잘 구축되지 않은 건축물, 기초의 부실, 타이보의 부족, 바닥 처짐, 큰 개구부 또는 불규칙 개구부를 갖는 벽체	잘 지어진 조적조 또는 철근 콘크리트 건축물, 타이 보를 지닌 벽체와 일체로 연결된 강한 바닥슬래브
지반과 기초의 종류	낮은 강성의 지반(느슨한 모 래, 매립층), 불연속기초	강성이 큰 토양(단단한 토양) 시공이 양호한 기초
진동의 작용시간	장시간 또는 영구적인 진동	단시간의 진동
가 중 치	0.7	1.0

6.3 진동피해 평가(안)

진동으로 인한 건축물의 피해를 평가하는데 있어 검토가 요망되는 주요 항목을 <표 6.3>과 같이 정리하고, 이를 통하여 건축물에 발생되어 있는 제반 결함에 대한 진동 기여도를 산정하는 방안을 식 (6.2)와 같이 제안한다.

<표 6.3> 진동피해 평가를 위한 검토 항목

진발생 동원 관련자료	발파 진동	- 화약류(폭약 및 뇌관 등)의 종류 확인 - 발파대상지역의 지질 및 암질 확인 - 발파 패턴 및 제원 확인(시험발파와 본 발파 시의 비교·검토) - 진동속도 추정식 제안 여부 확인(샘플수 검토) - 실사용된 지발당장약량 확인(발파지점별) - 발파기간 및 빈도 확인 등
	건설 장비 진동	- 대상지역의 지반상태 확인 - 적용공법 등 공사내용 확인 - 사용장비 종류 확인 - 각 장비별 사용기간 및 빈도 확인 - 사용장비 중 최대진동 유발원 선별 등
	교통 진동	- 운행차종 및 중량 확인 - 적재물 및 운행속도 확인 - 도로 및 지반 조건, 폭, 노면, 과속방지턱 유무 등 확인 - 도로 파손 상태 및 보수이력 확인 - 운행빈도 확인 등
전파경로 관련자료		- 대상 건축물과의 이격거리 확인 - 전파경로상의 지반 조건 및 지형 파악 - 발파지점과 대상건축물과의 고저차 확인 - 전파경로상의 진동 감쇄 요인 확인(구거, 암거, 옹벽 등) - 전파경로상에 위치한 타 시설물의 상태 확인 등
대상 건축물 관 련 자 료		- 건축물 개요 확인(용도, 규모, 준공시기, 증축 여부 등) - 설계도면 보유 여부 확인 - 지반, 기초, 구조형식 등 확인 - 대상건축물 사전 현황조사 및 진단, 감정 실시 여부 확인 - 균열 게이지 등을 통한 기존 결함의 진전성 평가 여부 확인 - 건축물에 발생된 결함조사(발생원인에 대한 개략적 평가 포함) - 건축물의 시공성 확인 - 건축물의 노후도 확인 - 건축물의 재하상태 확인 - 주변에 위치한 타 건축물 상태 확인 - 최대진동 작용시기 확인 - 건축물 보수이력 및 용도·구조변경 여부 확인 - 보수·보강 견적서 확인(적정성 평가 포함) - 건축물 민원발생 이력 확인 등
기 진 동 측 정 관 련 자 료		- 측정 장비 및 위치의 적정성 확인 - 측정 조건 확인 - 측정 데이터 분석(주파수대역, PPV, PVS 등) - 시험발파 추정식 등에 의한 값과의 비교·검토 등

$$\text{진동 기여도} = \frac{\text{작용진동 수준}}{(15 - \text{건축물 상태 평가}) + \text{작용진동 수준}} \quad (6.2)$$

6.4 진동피해 배상액 산정(안)

진동 등의 영향으로 건축물에 결함이 발생되었을 경우, 그 정도에 따라 보수·보강으로 소요 기능을 회복할 수 있는 경우와 이를 통하여도 복구가 불가능한 경우로 나눌 수 있으며, 각각의 경우에 있어 진동피해에 따른 배상액을 산정하는 방식을 식 (6.3)~식(6.6)과 같이 제안하고자 한다.

1) 보수·보강의 경우

- ① 보수·보강 공사가 정해지는 경우

$$\text{피해 배상액} = \text{보수·보강공사비} \times \text{진동 기여도} \quad (6.3)$$

- ② 신축비용을 기준으로 배상액을 산정할 경우

$$\text{피해 배상액} = \text{단위면적당 건축가} \times \text{연면적} \times \text{손상정도} \times \text{진동 기여도} \quad (6.4)$$

2) 재사용이 어려운 경우

- ① 감정 등을 통하여 건축물의 잔존가가 확정되는 경우

$$\text{피해 배상액} = \text{감정가} \times \text{진동 기여도} + \text{철거비 등} \quad (6.5)$$

- ② 신축비용을 기준으로 잔존가를 산정할 경우

$$\begin{aligned} \text{피해 배상액} = & \text{단위면적당 건축가} \times \text{연면적} \\ & \times (1 - \text{노후도에 따른 감가율}) \times \text{진동 기여도} + \text{철거비 등} \end{aligned} \quad (6.6)$$

부 록

1. DIN 4150 PART 3
2. ANSI S2.47
3. 건축물의 내용년수 - 한국감정원
4. 중앙환경분쟁조정위원회 조정사례
5. 진동 측정 자료
6. 보수 · 보강 공법

1. DIN 4150 PART 3

4150
P3Structural vibration in buildings
Effects on structuresDIN
4150
Part 3Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf
bauliche Anlagen

Supersedes September 1975 edition.

In keeping with current practice in standards published by the International Organization for Standardization (ISO), a comma has been used throughout as the decimal marker.

DIN 4150 is divided into the following Parts:

- DIN 4150 Part 1 Structural vibration in buildings; principles, predetermination and measurement of vibration parameters
 DIN 4150 Part 2 Structural vibration in buildings; effects on humans in buildings
 DIN 4150 Part 3 Structural vibration in buildings; effects on structures

Contents

	Page		Page
1 Field of application	1	3.3 Special features	2
2 General procedure to be followed in the determination and evaluation of structural vibration	1	3.4 Guidance on measurement	3
2.1 Principles	1	4 Steady-state vibration of the structure	3
2.2 Determination of stress by measurement	1	4.1 Evaluation	3
2.3 Determination of stress by calculation	1	4.2 Guidance on measurement	3
2.4 Permissible stresses	2	5 Steady-state vibration of building components, especially floor vibration	4
3 Short-term structural vibration	2	5.1 Evaluation	4
3.1 Evaluation of vibration of the structure as a whole	2	5.2 Guidance on measurement	4
3.2 Evaluation of vibration of building components, especially floor vibration	2	Appendix A Specimen form for a record of measurement	5

1 Field of application

This standard provides information required for the determination and evaluation of the effects of vibration on structures designed primarily for static loading, where such information is not given in other standards and codes of practice such as in DIN 1072, DIN 4024, DIN 4025, DIN 4133, DIN 4149 Part 1, DIN 4178 and DS 804. It includes guideline values which, if complied with, will not result in damage in terms of a reduction in the utility value of buildings. An impairment of the stability of a structure or a building component and a reduction in the loadbearing capacity of floors are examples of what is meant in this standard by reduction in utility value due to the effects of vibration.

In the case of structures as described in table 1, lines 2 and 3, crack formation in the wall plaster, the enlargement of cracks already present and the separation of partitions or intermediate walls from loadbearing walls are also examples of a reduction in utility value.

Such damage is also referred to in this standard as minor damage.

Guideline values for simplified and approximate evaluation are given for certain effects of vibration.

DIN 45 669 Part 1 shall be observed when using the equipment required for making measurements as described in this standard.

2 General procedure to be followed in the determination and evaluation of structural vibration**2.1 Principles**

Clauses 3 to 5 specify methods of measuring and evaluating amplitudes of displacement.

Where these methods are not adopted, then, for the purposes of assessing the effects of vibration, the dynamic stresses occurring in structures shall be determined by measurement or calculation and, taking the frequency of their occurrence into account, compared with the permissible stresses. These methods are not suitable for the assessment of minor damage.

The indirect consequences of vibration due to dynamically induced settlement and slip shall also be considered where necessary.

2.2 Determination of stress by measurement

2.2.1 By measuring the strain in the vibrating building component, by applying the law of mass, the stresses present can be inferred.

2.2.2 Measurement of the path, velocity and acceleration enables the displacement amplitude and frequency of vibration to be determined and used as basic quantities in the calculation.

2.2.3 The stress imposed on beams and slabs which vibrate close to resonance can be approximately determined by measurement of the displacement amplitude and frequency or of the amplitude of velocity, provided that the measurement is made at the point of maximum displacement; the frequency shall also be measured when measuring the amplitude of velocity. In this case, knowledge of the boundary conditions and of the stiffness is not necessary for estimating the stresses (see clause 5).

2.3 Determination of stress by calculation

Where the influence of vibration on structures to be built can be foreseen, the effects of vibration shall be estimated

Continued on pages 2 to 6

and taken into consideration in the design. DIN 4150 Part 1 specifies the principles of predetermination of displacement amplitudes. The method described therein may also be used for existing structures.

2.4 Permissible stresses

2.4.1 For the stability analysis, the factors of safety specified in the relevant standards and codes of practice shall, in the case of additional dynamic stresses as described in subclause 2.2 or subclause 2.3, be taken into account, bearing in mind the nature and duration of dynamic loading, the method of measurement, the properties of the building materials and the type of construction.

2.4.2 Where necessary, evidence of stability shall also be provided as regards safety against fatigue failure. If endurance diagrams are available, they may be used to provide permissible limits of stress, displacement amplitudes, limits of deformation and the like for the construction materials, building components and joints used, in terms of the number of stress reversals to be expected.

Accurate verification of safety against fatigue failure may be dispensed with if, for the stability analysis, the dynamic load components are multiplied by a factor of 3 (fatigue factor).

Verification of safety against fatigue failure is not required if the dynamic stress component is less than 10% of the permissible static stress.

3 Short-term structural vibration

3.1 Evaluation of structural vibration of the structure as a whole

Numerous measurements of the vibration velocity have provided empirical values which give guidance on the evaluation of short-term structural vibration, which shall be based on the maximum values of the three components of the vibration velocity at the foundation, v_i (see subclause 3.4.1).

x and y axes vibration of the floor of the uppermost full storey also provides significant information for this evaluation.

By measuring the vibration at this point (see subclause 3.4.3), the response of the structure to the excitation applied to the foundation can be determined.

Guideline values of v_i at the foundation and in the plane of the floor of the uppermost full storey are given in table 1 for various types of buildings. These values are valid for vibration the frequency of which is of no significance where fatigue symptoms are concerned, and the intervals between which have no effect on resonance phenomena; in other cases, the methods described in clauses 4 and 5 shall be adopted.

Experience to date has shown that, provided the values given in table 1 are observed, damage due to vibration, in terms of a reduction in the utility value (see clause 1), is unlikely to occur. If, however, damage is found, it is to be assumed that other causes are responsible for this damage. If the values of table 1 are exceeded, it does not necessarily follow that damage will occur. Should these values be significantly exceeded, further investigation is necessary.

The classification into the frequency ranges shown in table 1 shall be based on that frequency which occurs within the relevant vibration velocity range, special care being necessary in the measurement of low frequencies.

3.2 Evaluation of vibration of building components, especially floor vibration

If, in the case of short-term vibration, floors vibrate, then where v does not exceed 20 mm/s as measured in the z direction at the point of maximum vibration velocity, which is usually at the centre of the floor, a reduction in the utility value of the floors is not to be expected.

3.3 Special features

For the purposes of this standard, the effects of vibration caused by vibratory hammers and vibrators are not to be regarded as short-term effects. Because this is a case of steady-state excitation, and because resonance phenomena and fatigue symptoms can occur in floors and walls, they shall be dealt with in accordance with clauses 4 and 5.

Table 1. Guideline values of vibration velocity, v_i , for evaluating the effects of short-term vibration

Line	Type of structure	Vibration velocity, v_i , in mm/s			
		Foundation			Plane of floor of uppermost full storey
		less than 10 Hz	At a frequency of 10 to 50 Hz	50 to 100*) Hz	Frequency mixture
1	Buildings used for commercial purposes, industrial buildings and buildings of similar design	20	20 to 40	40 to 50	40
2	Dwellings and buildings of similar design and/or use	5	5 to 15	15 to 20	15
3	Structures that, because of their particular sensitivity to vibration, do not correspond to those listed in lines 1 and 2 and are of great intrinsic value (e.g. buildings that are under a preservation order)	3	3 to 8	8 to 10	8

*) For frequencies above 100 Hz, at least the values specified in this column shall be applied.

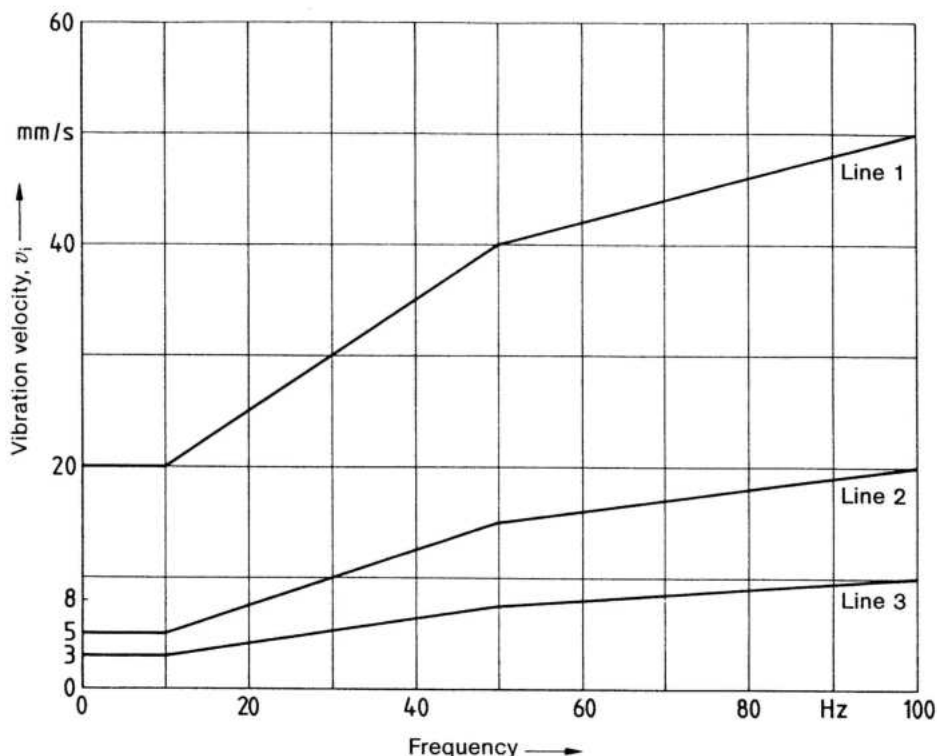


Figure 1. Curves representing the vibration velocity as a function of frequency for the "Foundation" column values as in table 1

3.4 Guidance on measurement

3.4.1 When measuring vibration at the foundation, the transducers for the three axes of vibration shall be placed close to one another in the lowest storey of the building under investigation, either on the foundation of the outer wall or in the outer wall, or in recesses in the outer wall. For buildings having no basement, the point of measurement shall lie not more than 0,5m above ground level. Measuring points shall preferably be located on the side of the building facing the source of excitation. Vibration as a function of time shall be measured for the x , y and z directions, one direction of measurement being parallel to one of the side walls of the building. In the case of buildings of large ground area, measurements shall be taken simultaneously at several points.

3.4.2 In addition to measurements taken at the foundation and to those at the uppermost storey, z axis vibration of floors, where necessary measured approximately at the centre of the floor area, shall be included in the evaluation (see also subclause 3.2).

3.4.3 When measuring the x and y axes vibration of the floor of the uppermost full storey, the transducers shall be placed in, or close to, the outer masonry. They shall be set up in the x and y directions, one direction of measurement being parallel to one of the side walls of the building.

3.4.4 A record of measurement similar to the specimen form shown in Appendix A shall be prepared.

4 Steady-state vibration of the structure

4.1 Evaluation

With continuous horizontal vibration at velocities up to 5 mm/s, measured in the uppermost storey, no damage, in terms of a reduction in utility value, and also no minor damage has been observed in "buildings used for commer-

cial purposes, industrial buildings and buildings of similar design" and in "dwellings and buildings of similar design and/or use"; in the light of experience to date, such damage is not in any case to be expected. No such data is available for "structures which, because of their particular sensitivity to vibration, do not correspond to the above types of building and are of great intrinsic value" (the types of building correspond to those listed in table 1). If the above velocity value is exceeded, it does not follow that damage is inevitable, rather the circumstances of the particular case shall be taken into account. Should this value be greatly exceeded, the stresses shall be determined, using the methods described in subclauses 2.2 and 2.3, and evaluated in accordance with subclause 2.4. In the case of multi-storey portal structures, the dynamic stress component can also be determined from the relative displacement of the ends of the vertical members.

4.2 Guidance on measurement

If a building is subjected to harmonic vibration, simultaneous measurements shall be made in more than one storey, in order correctly to establish the shape of the vibration. Normally, measurement in the uppermost storey will suffice where vibration in the lowest natural frequency is involved. For a rough estimate of the lowest natural frequency of horizontal vibration in multi-storey buildings with about five or more storeys, the following formula may be used:

$$f_1 \approx \frac{10}{n}, \text{ in Hz,}$$

where n indicates the number of storeys.

When evaluating x and y axes vibration of the structure as a whole, in some cases the possible rotational movements in the plane of the storey and the possible (largely stress-free) rigid body movements shall be taken into account.

A record of measurement similar to the specimen form shown in Appendix A shall be prepared.

5 Steady-state vibration of building components, especially floor vibration

5.1 Evaluation

In the case of vibration of building components such as vibration of storey floors and walls, the dynamic loading can be determined by using the methods described in sub-clauses 2.2.1 and 2.2.2.

In the case of bending vibration close to resonance, such as often occur when floors are subject to large vibration amplitudes, the additional dynamic stress can be approximately determined by using the method outlined in sub-clause 2.2.3, which is described in further detail below.

In the case of girders and uniaxially stressed slabs of full rectangular cross section, constant stiffness and uniform distribution of mass, irrespective of the dimensions of the system, the following relationship between the maximum bending stress, $\hat{\sigma}_{\max}$, and the peak value of the vibration velocity, $\hat{v}_{\max}$, shall apply to vibration at resonance:

$$\hat{\sigma}_{\max} = 1,73 \sqrt{E_{\text{dyn}} \cdot \varrho} \cdot \sqrt{\frac{G_{\text{ges}}}{G_{\text{Balken}}}} k_n \cdot \hat{v}_{\max}$$

where

$\hat{v}_{\max} = \hat{w}_{\max} \cdot \omega_n$ is the peak value of vibration velocity along the length of the beam;

$\hat{w}_{\max}$ *) is the peak value of displacement;

ω_n is the angular resonance frequency $\approx$ angular frequency of source of excitation;

E_{dyn} is the elastic modulus of the material (dynamic);

ϱ is the material density;

$$\sqrt{\frac{G_{\text{ges}}}{G_{\text{Balken}}}}$$

is the coefficient of loading where the girder is stressed by other evenly distributed loads in addition to its self weight;

G_{ges} is the self weight of the girder including other loads;

k_n is the eigenvalue (dimensionless).

k_n is a function of the marginal conditions and the order of the eigenvalue, both of which exert only slight influence, in all technically significant cases, the value of k_n lies between 1 and 1,3.

The bending stress so obtained shall be considered represent an upper limiting value in the case of biaxially stressed slabs.

Experience has shown that vibration velocities up to 10 mm/s do not give rise to damage, even if full use is made of the stresses permissible for static design. Such vibration is very clearly perceptible. It may not be assumed that slight damage as defined in clause 1 is to be attributed in such cases to the dynamic load, rather the individual circumstances shall be investigated.

5.2 Guidance on measurement

Floor resonance frequencies generally lie above 10 Hz. In most cases, only the z axis vibration is to be considered and shall be measured at the point of maximum displacement which is usually at the centre of the floor. A record measurement similar to the specimen form shown in Appendix A shall be prepared.

*) w is the symbol usually denoting the deflection of the girder.

2. ANSI S2.47

3. 건축물의 내용년수

- 한국감정원

<부표 3.1> 건축물의 구조별 내용년수(한국감정원)

분류기호	세목	내용년수
철근 콘크리트	단독주택(다중주택포함), 별장, 기타 이와 유사한 건물 공동주택(아파트, 연립주택, 다세대주택), 기숙사, 기타 이와 유사한 건물	50 (45~55)
	점포, 수퍼마켓, 대중음식점, 시장, 대형 도·소매점, 기타 이와 유사한 건물	50 (45~55)
	청사, 사무실, 은행, 신문사, 오피스텔, 공회당, 백화점, 기타 이와 유사한 건물	55 (50~60)
	외국공관, 방송국, 전신전화국, 기타 이와 유사한 건물 박물관, 미술관, 기념관, 과학관, 기타 이와 유사한 건물 터미널, 철도역사, 기타 이와 유사한 건물 체육관, 경기장, 기타 이와 유사한 건물	55 (50~60)
	호텔, 여관, 콘도미니엄, 사우나탕, 극장, 영화관, 음악당, 예식장, 장례식장, 유기장, 실내스케이트장, 기타 이와 유사한 건물	50 (45~55)
	병원, 요양소, 진료소, 보건소, 기타 이와 유사한 건물 변전소, 발전소, 송수신소, 기타 이와 유사한 건물 공중목욕탕, 어시장, 마을공동구판장, 동·식물원, 수족관, 정수장, 기타 이와 유사한 건물 주차장, 자동차검사장, 정비공장, 운전학원, 차고, 정류장, 주유소, 위험물 취급소, 창고, 화물취급소, 기타 이와 유사한 건물 공장, 작업장, 도축장, 기타 이와 유사한 건물	45 (40~50)
조적조	단독주택(다중주택포함), 별장, 기타 이와 유사한 건물 공동주택(아파트, 연립주택, 다세대주택), 기숙사, 기타 이와 유사한 건물	45 (40~50)
	점포, 수퍼마켓, 대중음식점, 시장 대형 도·소매점, 기타 이와 유사한 건물	45 (40~50)
	청사, 사무실, 은행, 신문사, 오피스텔, 공회당, 백화점, 기타 이와 유사한 건물	50 (45~55)
	외국공관, 방송국, 전신전화국, 기타 이와 유사한 건물 박물관, 미술관, 기념관, 과학관, 기타 이와 유사한 건물 터미널, 철도역사, 기타 이와 유사한 건물 체육관, 경기장, 기타 이와 유사한 건물	50 (45~55)

<부표 3.1> 건축물의 구조별 내용년수(한국감정원)(계속)

분류기호	세목	내용년수
조적조	호텔, 여관, 콘도미니엄, 사우나탕, 극장, 영화관, 음악당, 예식장, 장례식장, 유기장, 실내스케이트장, 기타 이와 유사한 건물 병원, 요양소, 진료소, 보건소, 기타 이와 유사한 건물 변전소, 발전소, 송수신소, 기타 이와 유사한 건물	45 (40~50)
	공중목욕탕, 어시장, 마을공동구판장, 동·식물원, 수족관, 정수장, 기타 이와 유사한 건물 주차장, 자동차검사장, 정비공장, 운전학원, 차고, 정류장, 주유소, 위험물 취급소, 창고, 화물취급소, 기타 이와 유사한 건물 공장, 작업장, 도축장, 기타 이와 유사한 건물	40 (35~45)
블록조	단독주택(다중주택포함), 별장, 기타 이와 유사한 건물 공동주택(아파트, 연립주택, 다세대주택), 기숙사, 기타 이와 유사한 건물	40 (35~45)
	점포, 슈퍼마켓, 대중음식점, 시장 대형 도·소매점, 기타 이와 유사한 건물	40 (35~45)
	청사, 사무실, 은행, 신문사, 오피스텔, 공회당, 백화점, 기타 이와 유사한 건물	45 (40~50)
	외국공관, 방송국, 전신전화국, 기타 이와 유사한 건물 박물관, 미술관, 기념관, 과학관, 기타 이와 유사한 건물 터미널, 철도역사, 기타 이와 유사한 건물	45 (40~50)
	호텔, 여관, 콘도미니엄, 사우나탕, 극장, 영화관, 음악당, 예식장, 장례식장, 유기장, 실내스케이트장, 기타 이와 유사한 건물 병원, 요양소, 진료소, 보건소, 기타 이와 유사한 건물 변전소, 발전소, 송수신소, 기타 이와 유사한 건물	40 (35~45)
	공중목욕탕, 어시장, 마을공동구판장, 동·식물원, 수족관, 정수장, 기타 이와 유사한 건물 주차장, 자동차검사장, 정비공장, 운전학원, 차고, 정류장, 주유소, 위험물 취급소, 창고, 화물취급소, 기타 이와 유사한 건물 공장, 작업장, 도축장, 기타 이와 유사한 건물	40 (35~45)

<부표 3.1> 건축물의 구조별 내용년수(한국감정원)(계속)

분류기호	세목	내용년수
철골조	단독주택(다중주택포함), 별장, 기타 이와 유사한 건물 공동주택(아파트, 연립주택, 다세대주택), 기숙사, 기타 이와 유사한 건물	45 (40~50)
	점포, 슈퍼마켓, 대중음식점, 시장 대형 도·소매점, 기타 이와 유사한 건물	45 (40~50)
	청사, 사무실, 은행, 신문사, 오피스텔, 공회당, 백화점, 기타 이와 유사한 건물	50 (45~55)
	외국공관, 방송국, 전신전화국, 기타 이와 유사한 건물 박물관, 미술관, 기념관, 과학관, 기타 이와 유사한 건물 터미널, 철도역사, 기타 이와 유사한 건물 체육관, 경기장, 기타 이와 유사한 건물	50 (45~55)
	호텔, 여관, 콘도미니엄, 사우나탕, 극장, 영화관, 음악당, 예식장, 장례식장, 유기장, 실내스케이트장, 기타 이와 유사한 건물 병원, 요양소, 진료소, 보건소, 기타 이와 유사한 건물 변전소, 발전소, 송수신소, 기타 이와 유사한 건물	45 (40~50)
	공중목욕탕, 어시장, 마을공동구판장, 동·식물원, 수족관, 정수장, 기타 이와 유사한 건물 주차장, 자동차검사장, 정비공장, 운전학원, 차고, 정류장, 주유소, 위험물 취급소, 창고, 화물취급소, 기타 이와 유사한 건물 공장, 작업장, 도축장, 기타 이와 유사한 건물	40 (35~45)
	단독주택(다중주택포함), 기숙사, 기타 이와 유사한 건물	35 (30~40)
경량철골조 (두께 4.5T 이하)	점포, 슈퍼마켓, 대중음식점, 시장, 기타 이와 유사한 건물 사무실, 기타 이와 유사한 건물 공회당, 기타 이와 유사한 건물 여관, 기타 이와 유사한 건물	35 (30~40)
	어시장, 마을공동구판장, 기타 이와 유사한 건물 정비공장, 차고, 위험물취급소, 창고, 화물취급소, 기타 이와 유사한 건물 공장, 작업장, 도축장, 기타 이와 유사한 건물	30 (25~35)
	축사, 기타 이와 유사한 건물	25
	버섯재배사, 종묘배양시설, 기타 이와 유사한 건물	(20~30)

<부표 3.1> 건축물의 구조별 내용년수(한국감정원)(계속)

분류기호	세목	내용년수
목조 (한옥구조)	단독주택(다중주택포함), 별장, 사찰, 기타 이와 유사한 건물	기둥15cm각이상 : 50(45~55) 기둥12cm각이하 : 45(40~50)
	기숙사, 기타 이와 유사한 건물 점포, 수퍼마켓, 대중음식점, 기타 이와 유사한 건물 학교, 교육원, 도서관, 유치원, 교회, 기타 이와 유사한 건물 사무실, 기타 이와 유사한 건물 박물관, 미술관, 기념관, 기타 이와 유사한 건물 공회당, 기타 이와 유사한 건물 호텔, 여관, 극장, 관광휴게시설, 기타 이와 유사한 건물 병원, 요양소, 진료소, 기타 이와 유사한 건물	기둥15cm각이상 : 45(40~50) 기둥12cm각이하 : 40(35~45)
	창고, 기타 이와 유사한 건물	30 (25~35)
목조 (통나무구조)	단독주택(다중주택포함), 별장, 사찰, 기타 이와 유사한 건물	기둥15cm각이상 : 50(45~55) 기둥12cm각이하 : 45(40~50)
	기숙사, 기타 이와 유사한 건물 점포, 대중음식점, 기타 이와 유사한 건물 교육원, 도서관, 유치원, 교회, 기타 이와 유사한 건물 사무실, 기타 이와 유사한 건물 박물관, 미술관, 기념관, 기타 이와 유사한 건물 호텔, 여관, 관광휴게시설, 기타 이와 유사한 건물 병원, 요양소, 진료소, 기타 이와 유사한 건물	기둥15cm각이상 : 45(40~50) 기둥12cm각이하 : 40(35~45)
목조 (양식,일식, 절충식구조)	단독주택(다중주택포함), 별장, 사찰, 기타 이와 유사한 건물	기둥10cm각이상 : 40(35~45) 기둥10cm각이하 : 35(30~40)

<부표 3.1> 건축물의 구조별 내용년수(한국감정원)(계속)

분류기호	세목	내용년수
목조 (양식, 일식, 절충식구조)	기숙사, 기타 이와 유사한 건물 점포, 슈퍼마켓, 대중음식점, 기타 이와 유사한 건물 학교, 교육원, 도서관, 유치원, 기타 이와 유사한 건물 교회, 기도원, 기타 이와 유사한 건물 사무실, 기타 이와 유사한 건물 박물관, 미술관, 기념관, 기타 이와 유사한 건물 공회당, 기타 이와 유사한 건물 호텔, 여관, 극장, 관광휴게시설, 기타 이와 유사한 건물 병원, 요양소, 진료소, 기타 이와 유사한 건물	기둥10cm각이상 : 35(30~40) 기둥10cm각이하 : 30(25~35)
	목욕탕, 시장, 어시장, 마을공동구판장, 기타 이와 유사한 건물 위험물 취급소, 창고, 화물취급소, 기타 이와 유사한 건물 공장, 작업장, 축사, 기타 이와 유사한 건물	25 (20~30)
토조	단독주택, 기타 이와 유사한 건물 점포, 슈퍼마켓, 기타 이와 유사한 건물	20 (15~25)
	공장, 작업장, 창고, 축사, 기타 이와 유사한 건물	15 (10~20)

4. 중앙환경분쟁조정위원회 조정 사례

<부표 4.1> 중앙환경분쟁조정위원회 조정 사례(현재 ~ 1999년)

조정 시기	내 용	분 야
2002.03	용산구 아파트공사장 소음·진동·먼지피해 (02-3-7)	소음, 진동
2002.03	울산시 남구 아파트 신축공사장 소음피해 (02-3-24)	소음, 진동
2002.02	이천시 아파트공사장 소음·진동·먼지피해 (01-3-150)	소음, 진동
2002.02	도봉구 재건축공사장 소음·진동·먼지피해 (01-3-127)	소음, 진동
2002.02	대전 고속철도공사장 소음·진동·먼지 피해사건 (01-4-114,124)	소음, 진동
2002.02	창원 아파트공사장 소음·진동·먼지 피해사건 (01-3-107,110)	소음, 진동
2002.02	원주 중앙고속도로 통행차량 소음·진동·먼지 피해사건 (01-3-135)	소음, 진동
2002.02	관악구 아파트공사 피해 (01-3-118)	소음, 진동
2002.02	대구-포항간 도로공사장 소음·진동으로 인한 건물·정신적 피해	소음, 진동
2002.02	부천시 고속도로 소음·진동·먼지로 인한 정신적 피해 (01-3-98)	소음, 진동
2002.02	횡성군 도로공사장 소음·진동 피해 (01-3-102)	소음, 진동
2002.01	포천군 도로공사장 소음·진동 젖소피해 (01-3-126)	소음, 진동
2002.01	영덕군 채석장 소음·진동·먼지 피해 (01-3-106)	소음, 진동
2002.01	마포구 아파트공사장 소음·진동·먼지 피해 (01-3-105)	소음, 진동
2002.01	괴산군 중부내륙고속도로 터널공사장 소음·진동 피해 (01-3-134)	소음, 진동
2002.01	충주시 중부내륙고속도로 공사장 소음·진동·먼지피해 (01-3-103)	소음, 진동
2002.01	청주 기초시설 소음·악취 피해사건 (02-2-2)	대기
2002.01	의정부시 대형 음식점 소음피해 (01-3-68)	소음, 진동
2002.01	청원군 채석장 소음·진동으로 인한 가축 및 정신적 피해 (01-3-104)	소음, 진동
2002.01	성동구 학교신축 공사장 진동으로 인한 건물피해 (01-3-63)	소음, 진동

<부표 4.1> 중앙환경분쟁조정위원회 조정사례(현재 ~ 1999년)(계속)

조정 시기	내 용	분 야
2001.10	의정부시 아파트공사장 소음·진동·먼지피해 (01-3-45,71)	소음, 진동
2001.10	서울시 서대문구 교회공사장 소음·진동·먼지피해 (01-3-38)	소음, 진동
2001.10	제천시 농약공장 악취 피해 (01-3-39)	대기
2002.01	포천군 변전소 공사장 소음·진동으로 인한 젖소 및 정 신적 피해 (01-3-90)	소음, 진동
2001.12	강서구 다세대주택 공사 소음·진동피해 (01-3-64)	소음, 진동
2001.12	포천군 도로공사장 소음·진동 양돈피해 (01-3-55)	소음, 진동
2001.12	안양시 아파트공사장 소음·진동·먼지 피해(01-3-113)	소음, 진동
2001.12	용인시 아파트공사장 소음·먼지 피해(01-3-77)	소음, 진동
2001.12	성동구 염색공장 소음진동악취 피해(01-3-60)	대기
2001.12	원주시 개 사육장 소음피해 (01-3-80)	소음, 진동
2001.12	여주시 도로공사장 진동으로 인한 건물피해 (01-3-85)	소음, 진동
2001.12	울산시 남구 아파트 신축공사장 소음피해 (01-3-111)	소음, 진동
2001.12	대전 가장동 아파트공사장 소음·진동피해 (01-3-91)	소음, 진동
2001.12.	경산시 폐기물소각장 대기오염으로 인한 농작물 피해 (01-3-67)	대기
2001.11	천안-병천간 도로공사장 소음·진동 가축피해 (01-3-76)	소음, 진동
2001.11	파주시 사료공장 소음·진동·먼지 피해 (01-3-36)	소음, 진동
2001.11	진도 도로공사장 소음으로 인한 타조농장 피해 (01-3-58)	소음, 진동
2001.11	강화군 채석장 소음·진동·먼지피해 (01-3-30)	소음, 진동
2001.11	경주 금속공장 철가루 및 소음·진동피해 (01-3-48)	소음, 진동
2001.11	강서구 상수도 공사장 진동피해 (01-3-54)	소음, 진동
2001.10	서울시 동작구 아파트공사장 소음·진동·먼지피해 (01-3-59)	소음, 진동
2001.10	대전시 서구 아파트공사장 소음·진동·먼지 피해 (01-3-51)	소음, 진동

<부표 4.1> 중앙환경분쟁조정위원회 조정사례(현재 ~ 1999년)(계속)

조정 시기	내 용	분 야
2001.10	서울시 성북구 터널공사장 소음·진동·먼지피해 (01-3-52)	소음, 진동
2001.10	서울시 서초구 아파트공사장 소음·진동·먼지피해 (01-3-74)	소음, 진동
2001.09	인천시 아파트공사장 소음·진동·먼지 피해(01-3-41)	소음, 진동
2001.09	여수공항 확장공사장 양돈 피해(01-3-27)	소음, 진동
2001.09	관악구 빌라 신축공사장 소음·진동 피해(01-3-43)	소음, 진동
2001.09	울산시 남구 아파트 신축공사장 소음피해 (01-3-75)	소음, 진동
2001.09	문경시 도로공사장 멧돼지 피해(01-3-28)	소음, 진동
2001.09	서울 월계동 교량공사장 소음·진동 피해(01-3-21)	소음, 진동
2001.09	안성시 공장 신축공사장 젖소피해(01-3-24)	소음, 진동
2001.09	성북구 아파트공사장 소음·진동·먼지 피해(01-3-9)	소음, 진동
2001.09	영동군 고속철도공사장 소음·진동피해(01-3-33)	소음, 진동
2001.08	운암~구이간 도로공사장 양계 피해(01-3-20)	소음, 진동
2001.08	대전 고속철도 공사장 소음·진동 피해(01-3-31)	소음, 진동
2001.08	김포 일신에너지 공장 비산먼지 피해(01-3-8)	대기
2001.08	문경시 마성하수처리장 입지분쟁 (01-3-7)	기타
2001.07	울산 남구 아파트 공사장 소음 피해(01-3-18)	소음, 진동
2001.07	서산 군용비행장 양돈 피해(01-3-40)	소음, 진동
2001.07	강서구 아파트 재건축공사장 소음 피해(01-3-15)	소음, 진동
2001.07	안산 신길천 공장폐수로 인한 벼 피해(00-3-63)	수질
2001.07	인천시 연수구 아파트 공사장 소음·진동·먼지 피해 (01-3-3)	소음, 진동
2001.07	영광군 쓰레기종합처리장 입지선정 분쟁 (01-2-3)	기타
2001.07	항공학교 헬기훈련 소음피해 (00-3-58)	소음, 진동

<부표 4.1> 중앙환경분쟁조정위원회 조정사례(현재 ~ 1999년)(계속)

조정 시기	내 용	분 야
2001.07	충주시 쓰레기차량 악취로 인한 식당영업 피해(01-3-1)	대기
2001.07	해남군 옥천-성전간 도로 공사장 소음·진동 피해(01-3-12)	소음, 진동
2001.07	강릉 시멘트공장 소음·분진 피해(00-3-53)	소음, 진동
2001.07	강남구 빌라 건축 공사장 소음·진동 피해(01-3-13)	소음, 진동
2001.07	김천시 고속철도 공사장 소음·진동 피해(00-3-57)	소음, 진동
2001.07	서대문구 홍제동 아파트공사장 소음 진동 먼지 피해(01-3-4)	소음, 진동
2001.07	동대문구 빌딩 공사장 소음·진동·먼지 피해(01-3-25)	소음, 진동
2001.06	구이-전주간 도로공사장 고시원 영업 피해 (01-3-5)	소음, 진동
2001.06	영광군 서해안고속도로 공사장 가축 피해(00-3-54)	소음, 진동
2001.06	안양시 아파트공사장 소음·진동·먼지 피해(00-3-55)	소음, 진동
2001.04	대전-통영간 고속도로 공사장 소음·먼지 피해(00-3-60)	소음, 진동
2001.04	대구-포항간 고속도로 공사장 소음피해(00-3-40)	소음, 진동
2001.04	고령-성산간 도로공사장 소음 피해(00-3-47)	소음, 진동
2001.04	성산동 아파트공사장 소음·충격·먼지 피해(00-3-59)	소음, 진동
2001.04	문학동 도로공사장 소음·충격·먼지 피해(00-3-49)	소음, 진동
2001.02	부산 연료단지진입교량공사 소음,진동으로 인한 가물치 피해(00-3-44)	소음, 진동
2001.02	신공덕동 아파트공사장 소음,진동으로 인한 건물 및 정신적피해(00-3-32)	소음, 진동
2000.12	광양시 택지조성 공사장 소음,진동으로 인한 건물,정신적피해(00-3-46)	소음, 진동
2000.12	남양주 아파트 공사장 소음,진동으로 물질 및 정신적피해(00-3-18)	소음, 진동
2000.11	춘천시 하수슬러지로 인한 낚시터 물고기 폐사 피해(00-3-39)	수질

<부표 4.1> 중앙환경분쟁조정위원회 조정사례(현재 ~1999년)(계속)

조정 시기	내 용	분 야
2000.10	동해시 채석장 소음,진동으로 인한 건물피해(00-3-3)	소음, 진동
2000.10	울촌 지방산업단지 정,배수장 공사장 소음,진동으로 인한피해(00-3-15)	소음, 진동
2000.10	화성군 종합사격장 총기소음으로 인한 양계피해(00-3-6)	소음, 진동
2000.09	마산시 하수처리장 악취피해(00-3-27)	대기
2000.07	노원구 고속화도로 차량 매연 및 소음진동으로 건물,정신적피해(00-3-11)	소음, 진동
2000.07	충남보령 서해안고속도로 소음,진동,먼지로 인한 비유우,재산피해(99-3-77)	소음, 진동
2000.06	포천군소재 공장소음 및 악취로 인한 치어 및 정신적피해(99-3-65)	소음, 진동
2000.05	성남시 분당구 하천제방건설공사장 소음,진동으로 인한 양계피해(99-3-73)	소음, 진동
2000.03	경기도 이천시 소각시설 건설 입지선정 협의에 따른 분쟁조정(99-2-2)	대기
2000.03	쓰레기매립으로 발생한 토양 및 하천오염피해 배상(99-3-7)	수질
2000.03	대기오염으로 인한 벌 폐사 피해(99-3-45)	대기
2000.02	현풍공단의 대기오염으로 인한 벼피해 사건(99-3-57)	대기
2000.02	공영주차장 소음,진동 및 먼지로 인한 정신적피해 분쟁(99-3-46)	소음, 진동
1999.12	주물공장의 매연,먼지로 인한 과수피해 분쟁(99-3-21)	대기
1999.12	공장의 지하수 오염으로 인한 재산피해 사건(99-3-17)	수질
1999.11	고속도로 공사장 소음,진동으로 인한 양돈피해 분쟁(99-3-40)	소음, 진동
1999.11	공업단지공사장 소음,진동,먼지로 인한 건물,가축,화훼피해건(99-3-32)	소음, 진동
1999.11	아파트공사장 소음,먼지로 인한 정신적피해 사건(99-3-41)	소음, 진동
1999.10	아파트 재개발 공사장 소음,진동 및 먼지로 인한 정신적피해 분쟁(99-3-33)	소음, 진동

<부표 4.1> 중앙환경분쟁조정위원회 조정사례(현재 ~ 1999년)(계속)

조정 시기	내 용	분 야
1999.10	지하음식점의 소음, 먼지, 악취로 인한 영업손실 및 재산적피해 건(98-3-58)	대기
1999.06	축협조합 축사에서 발행한 환경오염으로 인한 과수피해 건(98-3-8)	대기
1999.06	도로 확, 포장공사장의 진동으로 인한 건물피해 분쟁건(98-3-51)	소음, 진동
1999.06	소각시설 건설에 대한 입지선정 협의 부동의에 따른 조정건(99-2-1)	대기
1999.06	재개발 공사장에서 발생한 소음, 진동 먼지로 인한 정신적피해사건(99-3-2)	소음, 진동
1999.06	아파트 신축으로 발생한 소음, 먼지로 인한 정신적피해 사건(98-3-60)	소음, 진동
1999.05	도로개설 공사장에서 발생한 소음 등으로 인한 축산피해(99-3-13)	소음, 진동
1999.04	도로 확, 포장공사로 인한 소음, 진동으로 인한 양계피해 사건(98-3-43)	소음, 진동
1999.03	강 상류 소재 공장등에서 배출된 폐수로 인한 어업손실 분쟁건(97-3-9)	수질
1999.03	도심고속화도로에 따른 소음, 진동으로 인한 건물 정신적피해건(98-3-48)	소음, 진동
1999.02	화학공장에서 발생한 대기오염으로 인한 과수피해 분쟁(98-3-14)	대기
1999.02	도로개설 공사장에서 발생한 소음, 진동으로 인한 가축피해분쟁(98-3-36)	소음, 진동

5. 진동 측정 자료

[부그림 5.1] 발파 진동 측정 자료(김기일, 150M지점에서 장약량 36.25kg)

[부그림 5.2] 발파 진동 측정 자료(김기일, 170M지점에서 장약량 36.25kg)

[부그림 5.3] 발파 진동 측정 자료(김기일, 150M지점에서 장약량 36.25kg)

[부그림 5.4] 발파 진동 측정 자료(김기일, 150M지점에서 장약량 36.25kg)

[부그림 5.5] 건설장비 진동 측정 자료(박현성, 9.1M지점에서 브레이커)

[부그림 5.6] 발파 진동 측정 자료(박현성, 9.9M지점에서 장약량 1.5kg)

6. 보수 · 보강 공법

1. 보수공법

1.1 개요

보수설계는 대상물 및 손상정도에 따라 고려할 사항이 많으나 일반적인 기본 개념은

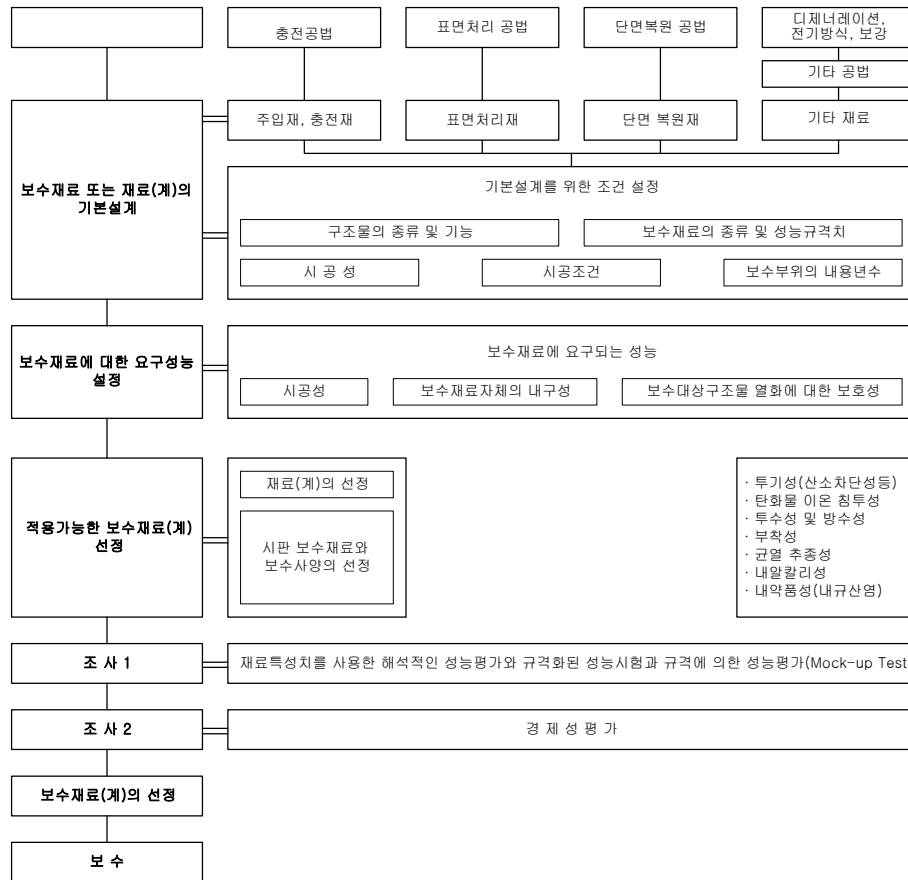
- ① 강도상으로 만족하는가
- ② 시공성을 고려한 설계인가
- ③ 보수에 의해 기존구조물에 변형을 주지는 않는가
- ④ 경제적인 보수방법인가
- ⑤ 보수후 미관 등으로 구성되어 있으며, 보수 후의 효과를 판단하기 곤란한 경우가 많으므로 통상 설계법의 연구, 시공법의 연구, 효과에 대한 여러 시험(정적 또는 동적재하시험)을 통하여 효과적인 방법을 강구하고 있다. 또한 보수방법에 대한 계산은 여러 각도로 응력 상태를 검토하여 행하는 것이 좋다.

(1) 보수재료의 선정

보수재료의 요구조건과 평가에 합격한 보수재료를 대상으로 선정된 보수공법을 선정한다. 보수공법을 사용재료까지 포함하는 시스템으로 고려하는 경우에, 이 시스템 전체의 성능이 보수에서 요구되는 성능을 만족시키면 사용재료의 성능평가를 않더라도 그 재료는 적용 가능한 것으로 보아도 상관없다.

보수재료선정에 관한 흐름도는 [그림 1]과 같다. 우선 보수부위의 점검에 따라 보수공법을 선정한 후에 각 보수공법에 맞는 보수재료 및 기본설계를 위한 조건을 설정한 후에 보수재료에 대한 요구성능을 설정하여 적용가능한 보수재료를 선정한다. 그 후 mock-up test를 실시한 후 경제성 평가를 통하여 최종 보수 재료를 선정한다.

단, 보수재료의 성능은 재료자체가 가지고 있는 특성뿐만 아니라 시공상태에 따라서도 크게 영향을 받기 때문에 공법을 포함한 전체적인 보수시스템의 선정이 중요하다.



[그림 1] 재료 선정 흐름

(2) 보수공법의 선정

극심한 열화환경하에 놓인 콘크리트 구조물의 보수를 효율적으로 실시하기 위해서는 적절한 보수 공법의 선정이 중요하다. 이에 보수공법 선택에 관한 기본적인 고려방법과 작업 흐름에 대해서 알아볼 필요가 있다.

① 공법선택의 기본

보수 공법의 선택시에는 구조물의 중요도, 형식, 환경조건 혹은 보수 후의 내용년수 등을 고려하고 공법이 그 성능을 충분하게 발휘할 수 있는지 확인이 필요하다. 이에 대해 강도의 회복, 강성의 회복, 기능의 개선, 수밀성의 확보, 콘크리트 표면의 외관 개선, 내구성의 개선, 철근으로의 부식성 물질의 접촉방지 등을 목표로 보수 공법을 선정하여야 한다.

또한, 공법 선정시 고려되어야 하는 것은 구조물에 발생한 손상이다. 발생한 균열은 보수가 반드시 필요하다. [표 1]은 균열폭에 따른 적용 보수 공법에 대해서 정리한 것이다.

[표 1] 균열에 따른 보수공법의 분류

목적	균열현상		균열폭 (mm)*	보 수 공 법**				
				표면 처리공법	주입 공법	충전 공법	그밖의공법	
							침투성방수 제도포공법	기 타
방수성	철근부식이 되지 않는 경우	균열폭의 변동이 작은 경우	0.2 이하	○	△		○	
			0.2~1	△	○	○		
		균열폭의 변동이 큰 경우	0.2 이하	△	△		○	
			0.2~1	△	○	○		
내구성	철근부식이 되지 않는경우	균열폭의 변동이 작은 경우	0.2 이하		△	△		
			0.2~1	△	○	○		
			1이상	○	△	○		
		균열폭의 변동이 큰 경우	0.2 이하	△	△	△		
			0.2~1	△	○	○		
			1이상		△	○		
	철근 부식					○		
	염해							●
	반응성골재							●

* 균열폭 3.0mm이상의 균열은 구조적인 결함을 수반하는 일이 많으므로 여기에 표시하는 보수공법 뿐만 아니라 구조내하력의 보강을 포함하여 실시하는 일이 보통이다.

** ○표는 적당하다고 생각되는 공법 △표는 조건에 따라서는 적당하다고 생각되는 공법

●표는 연구단계에 있는 공법

② 구조물에 요구되는 성능수준에 따른 보수공법의 선정

a) 수밀성에 대한 보수공법

수밀성은 콘크리트의 투수와 투습에 대한 저항성의 지표이고 주로 콘크리트 조직의 치밀성에 의거 결정되는 성능이다. 건전한 콘크리트에서는 모세관 공극과 불리딩에 의한 공극, 골재와 철근의 표면에 생기는 공극 등이 수밀성(투밀성)에 영향을 미친다. 콘크리트(부재)에 균열과 박리가 생기기도 하고, 국부적으로는 누수가 발생할 가능성이 있다. ([표 2] 참조)

[표 2] 수밀성 회복을 위한 보수공법

콘크리트의 열화정도	철근의 손상정도	마감상태	균열보수	표면처리	단면복원
균 열		도장 마감	◎	○	
		모르터 마감		◎	
균열, 들뜸, 박락	경미한 부식	도장마감	○	◎	
		모르터 마감		◎	○
		타일/모자이크마감		◎	
들뜸, 박락	단면손상	도장 마감	○		◎
		모르터 마감		○	◎
		타일/모자이크 마감			◎
		수지계 마감 바름재		○	◎

* ◎ : 이 성능저하의 회복을 목적으로 하는 주공법

○ : 주공법의 성능을 유지하기 위한 보조공법

** 철근부식의 진행을 늦게하는 공법, 초기결함 및 예방보전을 위한 공법을 포함

b) 대인안전성에 의한 보수공법

대인안전성은 인체에 위험이 발생하지 않는 한도이다. 콘크리트 구조물의 붕괴에 따르는 것과 같은 위험정도의 평가는 구조물의 내력에 관한 사항이다. 인체에 직접적으로 영향을 미치는 대인안전성에 대한 것은 철근부식에 따라 발생하는 피복콘크리트의 박락과 마감재의 박락에 따른 것이다. 이러한 위험이 발생하지 않도록 하는 보수 공법을 실시한다. ([표 3.3] 참조)

[표 3] 대인안전성 회복을 위한 보수공법

콘크리트의 열화정도	철근의 손상정도	마감상태	균열보수	표면처리	단면복원
균 열		도장 마감	◎	○	
		모르터 마감	○	◎	
균열, 들뜸, 박락	경미한 부식	도장마감		◎	○
		모르터 마감		◎	○
		타일/모자이크마감		○	◎
들뜸, 박락	단면손상	도장마감		○	◎
		모르터 마감			◎
		타일/모자이크마감			◎

* ◎ : 이 성능저하의 회복을 목적으로 하는 주공법

○ : 주공법의 성능을 유지하기 위한 보조공법

** 철근부식의 진행을 늦게하는 공법, 초기결함 및 예방보전을 위한 공법을 포함

c) 강성에 대한 보수공법

강성에 영향을 미치는 것으로 생각되는 열화현상은 주철근 단면적의 감소, 주철근과 콘크리트와의 부착강도의 감소, 덮개 콘크리트의 균열 및 들뜸, 박리에 의한 단면감소 등이 있으며, 이러한 열화현상을 극복함으로써 강성을 회복시키는 것이 가능하다. ([표 3.4] 참조)

[표 4] 강성 회복을 위한 보수공법

콘크리트의 열화정도	철근의 손상정도	마감상태	균열보수	표면처리	단면복원
균열		도장마감	○	○	
		모르터 마감	○		
		타일/모자이크마감	○	△	
균열, 들뜸, 박락	경미한 부식	도장마감			○
		모르터 마감			○
		타일/모자이크마감			○
들뜸, 박락	단면손상	도장 마감			○
		모르터 마감			○
		타일/모자이크 마감			○
		수지계 마감 바름재			

* ◎ : 이 성능저하의 회복을 목적으로 하는 주공법

○ : 주공법의 성능을 유지하기 위한 보조공법

△ : 강재를 보호하는 성능의 회복도 고려하는 경우에 조합가능한 공법

** 철근부식의 진행을 늦게하는 공법, 초기결함 및 예방보전을 위한 공법을 포함

d) 내하성(내하력)에 대한 보수공법

부식환경하에서 철근이 부식해서 단면이 손상되면 동시에 항복점이 저하하기 때문에 부식균열을 보수하고 단면의 손상된 철근을 초기상태까지 복원하는 것이 내하성(내하력)의 회복에 효과적이다. 또한, 부식균열의 폭이 크게 되면 최대내력이 저하된다. ([표 5] 참조)

[표 5] 내하성(내하력)회복을 위한 보수공법

콘크리트의 열화정도	철근의 손상정도	마감상태	균열보수	표면처리	단면복원
균열	점형태의 녹 경미한 녹	도장 마감	◎	○	
		모르터 마감		○	◎
균열, 들뜸, 박락	전면에 걸친 녹 (부분적인단면손상이 있는 경우)	도장마감		○	◎
		모르터 마감			○
		타일/모자이크마감			○
들뜸, 박락	확실한 단면손상(공식상태)이 몇 개소 있는 상태	도장 마감		○	◎
		모르터 마감			○
		타일/모자이크 마감			○
		수지계 마감 바름재			○

* ◎ : 이 성능저하의 회복을 목적으로 하는 주공법

○ : 주공법의 성능을 유지하기 위한 보조공법

** 철근부식의 진행을 늦게하는 공법, 초기결함 및 예방보전을 위한 공법을 포함

e) 내피로성에 의한 보수공법 ([표 6] 참조)

[표 6] 내피로성을 회복시키는 보수공법

콘크리트의 열화정도	철근의 손상정도	마감상태	균열보수	표면처리	단면복원
균열	-	도장 마감	◎	○	
		모르터 마감	◎		
		타일/모자이크 마감	◎		
		수지계 마감 바름재	◎		
균열, 들뜸, 박락	경미한 부식	도장 마감		○	◎
		모르터 마감			◎
		타일/모자이크 마감			◎
		수지계 마감 바름재		△	◎
들뜸, 박락	단면손상	도장 마감		△	○
		모르터 마감		△	○
		타일/모자이크 마감		△	
		수지계 마감 바름재		△	

* ◎ : 이 성능저하의 회복을 목적으로 하는 주공법

○ : 주공법의 성능을 유지하기 위한 보조공법

△ : 강재를 보호하는 성능의 회복도 고려하는 경우에 조합가능한 공법

** 철근부식의 진행을 늦게하는 공법, 초기결함 및 예방보전을 위한 공법을 포함

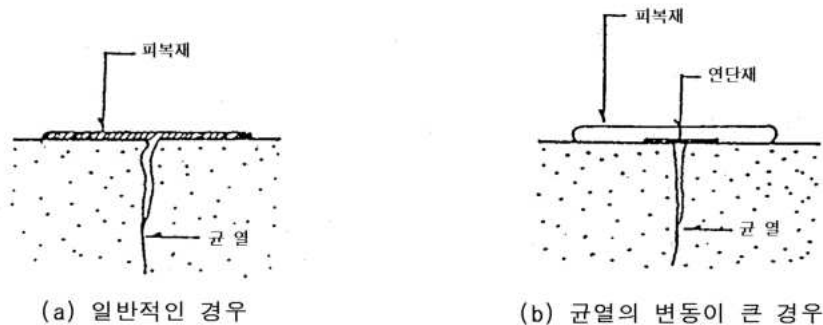
1.2 콘크리트의 균열 및 손상에 대한 보수공법

콘크리트의 균열 및 손상에 대한 보수공법은 손상부위를 처리하는 형태에 따라 크게 표면처리공법, 주입공법, 충전공법 및 기타공법으로 나눌 수 있다.

(1) 표면처리공법

표면처리 공법은 균열을 따라 콘크리트 표면에 피막층을 만드는 방법과 어느 정도 넓은 범위로 콘크리트 표면 전체를 피복하는 방법으로 분류할 수 있다. 전자는 통상 0.2mm이하의 미세한 균열에 대해 방수성, 내구성을 확보할 목적으로 실시되는 방법으로, 구조성능이나 미관성을 확보하기 위해서는 이용될 수 없다. 한편 후자는 일반 건축 마감공법 중 콘크리트의 내구성, 방수성, 미관성을 확보하기 위해 이용되며 구조성능을 회복할 목적으로는 효과가 없다.

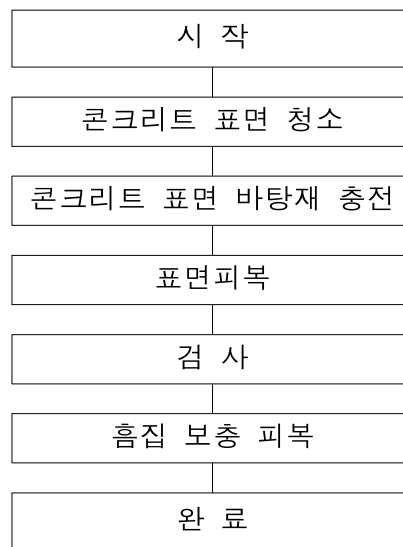
이 공법은 균열내부의 처리가 가능하지 않다는 점과 균열이 계속 진행되는 경우에 균열의 움직임을 추적하기 어렵다는 등의 결점을 가지고 있다. 이 때문에 균열폭의 변동에 따라서 탄력성이 있는 재료를 사용한다.



[그림 2] 표면처리공법의 개념

표면처리 공법에 이용되는 재료는 보수 목적과 그 구조물의 환경에 따라 다르지만, 일반적으로는 도막 탄성방수재, 폴리머 시멘트 페이스트, 시멘트 충전재 등이 이용된다. 사용재료에 따라서는 모재와의 부착력이 작은 것이 있을 수 있으므로 사전에 충분히 실험 등을 통해 검토하여 시공하여야 한다.

시공 시는 우선 콘크리트 표면을 와이어 브러쉬 등으로 문질러서 거칠게 함과 동시에 표면의 부착물을 제거하고 물 등으로 청소한 후 충분히 건조시킨다. 다음으로 콘크리트 표면의 기공 등을 수지로 메우고 그 후 적절한 보수 재료로 균열을 피복한다. 이 공법은 균열 표면에 대한 보수이므로, 피복재의 두께가 얇기 때문에 특히 사용연수에 따른 열화에 대해 주의해야하며, 또 재료에 따라서는 마감재와의 부착력이 적은 것, 색상차, 얼룩 등이 생기기 쉬우므로 이러한 것에 주의해야한다([그림 3]~[그림 4] 참조).



[그림 3] 표면처리공법의 시공순서도



[그림 4] 표면처리공법의 시공과정

① 폴리머 시멘트 페이스트/모르터 공법

- a) 균열의 성장이 정지된 경우 : 균열의 성장이 정지된 상태에서는 단순히 표면 처리하여 보수할 수 있다. 즉, 균열선을 따라 폭 50-100mm를 와이어브러쉬로

닭아 낸 후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터(두께 약 2mm)로 균일하게 도포한다. 콘크리트 표면에 미세한 균열이 많이 있는 경우도 같은 공법으로 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터를 도포하는 경우가 있으나, 재료를 기계로 분무하여 보수하는 방법도 있다. 분무보수는 균열이 진행되지 않는 경우에 시공하는 것이 원칙이다.

- b) 균열의 성장이 진행되는 경우 : 균열의 성장이 진행될 때 경화 후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 보수를 하면, 보수 부위에 다시 균열이 발생하므로 변형성, 신장성이 큰 재료를 사용하여야 한다. 즉, 균열면을 와이어 브러쉬로 완전히 청소한 후, 균열선을 중심으로 폭 10-15mm 테이프를 부착하고, 테이프를 중심으로 폭 30-50mm, 두께 2-4mm로 시일재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프 사이에서 흡수할 수 있도록 한다.

② 에폭시수지 모르터 도포공법

모르터면 및 구조체의 내구성과 연관되지 않은 구체콘크리트면에서의 결함부와 콘크리트 표면의 박리, 박락이 발생한 비교적 큰 결손 부위에 에폭시수지 모르터를 도포하는 경우에 적용한다. 구체콘크리트의 철근이 노출된 결함부에 적용하며, 한번에 두껍게 바를 수 있다.

③ 에폭시수지 시일공법

모르터 표면의 균열폭이 0.2mm정도 미만의 균열부위의 표면을 시일하는 경우에 적용하고, 균열이 거동하지 않는 경우에는 가용성 에폭시수지를 사용한다.

(2) 주입공법

균열폭이 0.2mm이상의 경우에 사용되는 것으로 균열에 수지계 또는 시멘트계의 재료를 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 공법으로 마감재가 콘크리트의 구체에서 들떠 있는 경우의 보수에도 사용한다. 균열보수에 가장 일반적으로 사용되는 시공방법으로는

- ① V-cut 소정의 간격으로 주입관을 설치해 실링(Sealing)work 경화한 후, 그리스 펌프 또는 수동 펌프로 가압하면서 주입관으로 주입하는 방법,
- ② 일정한 간격으로 테이프를 평평하게 붙인 후 실링재를 도포해 주입하는 방

법,

③ 고무압에 의한 주입공법이 있다.

주입공법은 균열에 수지계 또는 시멘트계의 재료를 주입하여 방수성, 내구성을 향상시키는 공법으로 마감재가 콘크리트 모체로부터 들떠 있는 경우에도 적용할 수 있다. 이 공법은 적용하는 시공위치, 시공시기가 맞는 작업시간 및 균열폭에 따라 분류된다. ([표 7] 참조)

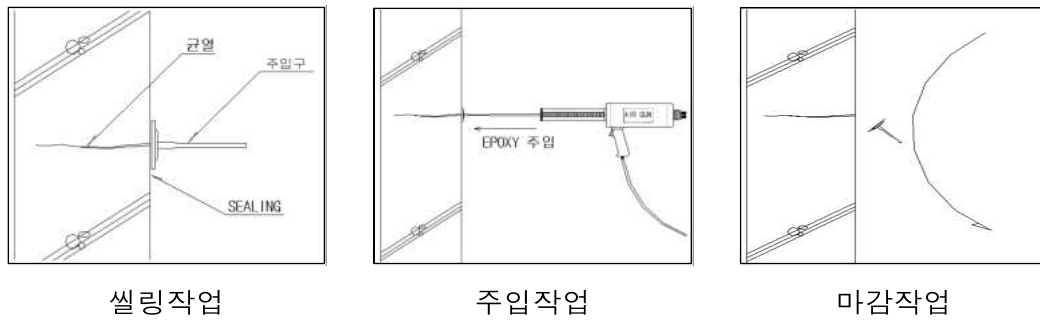
[표 7] 균열에 따른 주입공법의 종류

공법 조건		기계주입공법	수동주입공법	유입공법	저압수지 주입공법
시공위치	수평면(상)	●	●	●	●
	수평면(하)	●	●		●
	수직면	●	●		●
균열폭 (mm)	0.25이하	●			●
	0.25~2.0		●	●	●
	2.0~5.0		●	●	
	5.0이하			●	

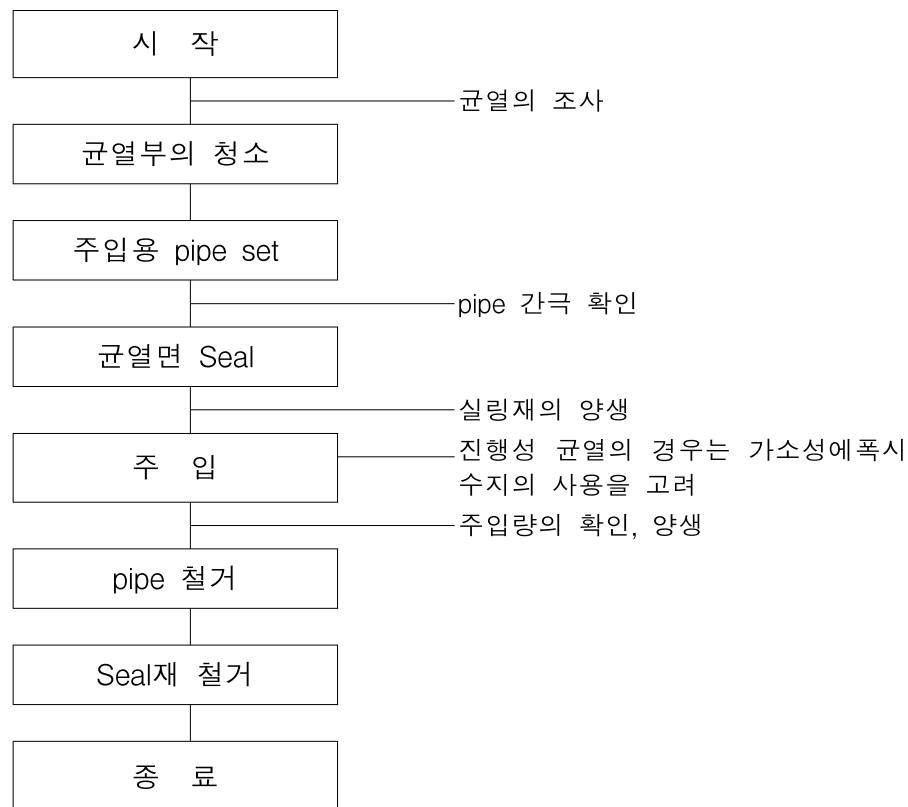
이 공법을 적용함에 있어서는 시공시기에 알맞은 가사시간 및 균열폭에 대응한 점도의 재료를 선정하는 것이 중요하다. 주입공법의 주류는 에폭시 수지 주입 공법이며 과거에는 수동 및 기계주입 방법으로 행해졌었다. 그러나 이들 방법에서는 주입량의 점검이 가능하지 않고, 관통하지 않는 균열에서는 내부까지 재료를 주입하는 것이 곤란한 것 및 주입압력이 너무 높으면 균열을 확대하여 버리는 것 등의 문제가 있었는데 최근에는 저압 저속 주입이 다양하게 고안되어 있다. 또 이 공법은 콘크리트 균열면에 직접 보수재료를 주입하기 때문에 균열내부 및 균열표면에 보수재료의 접착을 방해하는 부착물이 있는 경우에는 적용할 수 없다. 즉, 수중분리, 콘크리트의 균열, 백화 등에 의해 오염된 균열의 보수는 불가능하다.

주입공법은 균열내부를 압축공기로 불어 건조시키면서 청소하고 콘크리트 표

면의 들뜸, 핀홀(Pin-hole) 등의 취약부 및 중성화된 결손 콘크리트 부위는 콘크리트의 정상부위가 나올 때까지 파취제거하고 에폭시 퍼티 등으로 충전 보수하는 전처리 과정을 거친 후 주입시공을 실시한다. 그 순서는 [그림 5], [그림 6]과 같다.



[그림 5] 주입공법 순서



[그림 6] 주입공법 시공순서도

① 수동식 주입 공법

수동식 주입공법은 주입건, 고형펌프를 사용하여 비교적 다량으로 주입하는 방식으로, 콘크리트 표면의 균열폭이 0.2mm 정도 이상의 균열부위에 그리스 펌프를 사용하여 에폭시 수지를 주입하는 경우에 적용한다.

수동식 주입공법의 장·단점은 다음과 같고, 시공 순서 및 방법을 [표 8]에 나타내었다.

[표 8] 수동식 주입공법의 장·단점

장 점	단 점
· 다량의 수지를 단시간에 주입할 수 있다. · 주입용 수지의 점도를 제약받지 않는다. · 벽, 바닥, 천장 등의 부위에 따른 제약이 없다. · 주입구 한 곳에서 넓은 면적을 주입할 수 있다. · 들뜸이 매우 적은 부위, 모재와 접촉되어 있지 않은 부위, 박리 직전의 부위에도 주입이 가능하다. · 주입량을 정확하게 할 수 있다. · 주입압이나 속도를 조절할 수 있다.	· 균열폭 0.5mm 이하의 경우에는 주입이 매우 곤란하다. · 공극시에 압력이 가해진다. · 주입시에 압력펌프가 필요하다. · 경우에 따라 압착양생이 필요하다. · 주입조작, 기기취급 조작시 숙련도가 요구되어 관리상의 문제가 발생한다.

a) 수동식 에폭시수지 주입공법 I: 균열폭이 0.2mm 정도 이상의 경우

콘크리트 표면의 균열폭이 0.2mm 정도 이상의 경우에 사용한다. 콘크리트 표면의 균열폭이 0.2mm 정도 이상의 균열부위에 그리스 펌프를 이용하여 에폭시수지를 주입하는 경우에 적용된다. 주입에 사용되는 에폭시수지는 균열이 거동하지 않는 경우에는 에폭시수지를, 균열이 거동하는 경우에는 유연형 에폭시수지를 사용한다.

b) 수동식 에폭시수지 주입공법 II: 모르터 표면에 균열이 발생한 경우

마감 모르터 표면에 발생한 균열의 경우에 사용한다. 모르터 표면에 발생한 균열부위에 에폭시수지를 그리스펌프를 이용하여 주입하는 경우에 적용한다. 단, 균열에 누수되는 경우 또는 균열 주변의 모르터가 박리되어 있는 경우에는 모르터부위를 철거하여 콘크리트 구체면에 보수한다. 주입에 사용되는 에폭시수지는 균열이 거동하지 않는 경우에는 에폭시수지를, 균열이 거동하는

경우에는 유연형 에폭시수지를 사용한다.

c) 수동식 에폭시수지 주입공법 III: 구체콘크리트에 균열이 도달한 경우

구체콘크리트에 도달한 균열의 경우에 사용한다. 구체콘크리트에 도달한 균열 부위에 에폭시수지를 그리스펌프를 이용하여 주입하는 경우에 적용한다. 주입에 사용되는 에폭시수지는 균열이 거동하지 않는 경우에는 에폭시수지를, 균열이 거동하는 경우에는 유연형 에폭시수지를 사용한다. ([표 9] 참조)

[표 9] 수동식 주입공법의 시공

시공순서	시공 방법	사용 도구										
1. 보수범위를 확인한다.	· 균열의 상황을 확인하고, 보수범위를 결정한다.	균열 스케일 스케일 등										
2. 균열부를 청소한다.	· 균열부를 중심으로 폭 5mm정도의 표면을 와이어 브러쉬 등으로 청소한다.	와이어브러쉬										
3. 주입구멍의 위치를 결정한다.	· 주입구멍위치를 측정하여, 분필 등으로 마킹한다. · 표준주입구멍의 간격 <table><tr><th>균열폭(mm)</th><th>주입구멍의 간격(mm)</th></tr><tr><td>0.3 이하</td><td>50~100</td></tr><tr><td>0.3~0.5</td><td>100~200</td></tr><tr><td>0.5~1.0</td><td>150~250</td></tr><tr><td>1.0 이상</td><td>200~300</td></tr></table>	균열폭(mm)	주입구멍의 간격(mm)	0.3 이하	50~100	0.3~0.5	100~200	0.5~1.0	150~250	1.0 이상	200~300	스케일 분필 등
균열폭(mm)	주입구멍의 간격(mm)											
0.3 이하	50~100											
0.3~0.5	100~200											
0.5~1.0	150~250											
1.0 이상	200~300											
4. 주입구멍의 위치에 가는 구멍을 낸다.	· 주입구멍의 위치에 전동드릴로 15-30mm 깊이로 가는 구멍을 낸다(Φ8-13mm) · 구멍이 가늘지 않는 경우는 파이프를 사용한다.	전동드릴										
5. 구멍을 청소한다.	· 구멍내의 부스러기를 브러쉬와 압축공기 등으로 제거한다.	브러쉬 압축공기 등										
6. 패치상 에폭시수지를 계량하여 섞는다.	· 주제와 경화제를 규정대로 정확하게 계량하여 균일하게 될 때까지 충분히 섞는다.	저울, 섞음용기, 헤라등 섞음도구										
7. 주입 파이프를 설치한다.	· 주입구멍에 주입파이프를 퍼티용 에폭시수지로 설치한다.	주입용 파이프										

② 자동식 저압주입공법

이 공법은 균열 위에 주입수지가 들어 있는 용기를 설치하여 고무, 용수철, 공기압 등으로 서서히 수지를 주입하는 방식으로 용기 높이의 저압력에 의해 자동으로 주입되므로 압력에 의한 실링부의 파손도 적어 시공관리가 용이하고, 주입되는 수지의 거동이 동심원상으로 확대되므로 주입압력에 의한 균열이나 들뜸이 발생되지 않는다. 압입방식에 따른 용기의 형태는 다음과 같다. ([표 10] 참조)

[표 10] 압입방식에 따른 용기형태

압입방식	용기의 형태
압축용기에서의 압축공기로 주입	플라스틱제의 실린더
압력탱크내의 압축된 압력으로 주입	플라스틱제의 압력탱크
고무쉬트의 복원력으로 주입	플라스틱 틀에 고무쉬트를 고정
고무풍선압으로 주입	고무풍선
고무밴드의 복원력으로 주입	플라스틱제 실린더와 피스톤
캡슐내의 용수철로 주입	플라스틱제 캡슐 탱크

a) 자동 저압식 에폭시수지 주입공법 I: 균열폭이 0.5mm 이하인 경우

콘크리트 표면의 균열폭이 0.5mm 이하인 균열에 사용한다. 콘크리트 표면의 균열폭이 0.5mm 정도 이하의 균열부위에 자동저압식의 주입기구를 이용하여 에폭시수지를 주입하는 경우에 적용한다. 주입에 사용되는 에폭시수지는, 균열이 거동하지 않는 경우에는 에폭시수지를, 균열이 거동하지 않는 경우에는 유연형 에폭시수지를 사용한다.

b) 자동 저압식 에폭시수지 주입공법 II: 모르터 표면에 균열이 발생한 경우

모르터 표면에 발생한 균열의 경우에 사용한다. 모르터 표면에 발생한 균열부위에 자동 저압식의 주입기구를 이용하여 에폭시수지를 주입하는 경우에 사용된다. 단, 균열에서 누수되는 경우 또는 균열 주변의 모르터가 박리되어 있는 경우에는 모르터 부위를 제거하여 콘크리트 구체면에 보수한다. 주입에 사용되는 에폭시수지는 균열이 거동하지 않는 경우에는 에폭시수지를, 균열이 거동하는 경우에는 유연형 에폭시수지를 사용한다.

c) 자동 저압식 에폭시수지 주입공법 III: 균열이 구체콘크리트에 도달한 경우

구체콘크리트에 도달한 균열의 경우에 사용한다. 구체콘크리트에 도달한 균열부위에 에폭시수지를 자동저압식의 주입기구를 이용하여 주입하는 경우에 적용한다. 사용되는 에폭시수지는 균열이 거동하지 않는 경우에는 에폭시수지를, 균열이 거동하는 경우에는 유연형 에폭시수지를 사용한다. ([표 11] 참조)

[표 11] 자동식 저압주입공법의 시공

시공순서	시공 방법	사용 도구						
1. 보수범위를 확인한다.	· 균열의 상황을 확인하고, 보수범위를 결정한다.	균열 스케일 스케일 등						
2. 균열부를 청소한다.	· 균열부를 중심으로 폭 5mm정도의 표면을 와이어 브러쉬 등으로 청소한다.	와이어브러쉬						
3. 주입구멍의 위치를 결정한다.	· 주입구멍위치를 측정하여, 분필 등으로 마킹한다. · 표준주입구멍의 간격 <table><tr><th>균열폭(mm)</th><th>주입구멍의 간격(mm)</th></tr><tr><td>0.2 이하</td><td>200~250</td></tr><tr><td>0.2 이상</td><td>300~350</td></tr></table>	균열폭(mm)	주입구멍의 간격(mm)	0.2 이하	200~250	0.2 이상	300~350	스케일 분필 등
균열폭(mm)	주입구멍의 간격(mm)							
0.2 이하	200~250							
0.2 이상	300~350							
4. 실링재를 조정한다.	· 사용한 실링재의 조정을 한다	섞음용 도구						
5. 주입용 도구의 설치 및 균열을 실링한다.	· 주입구멍의 위치에 주입기구 또는 선반을 실제로 설치하고, 균열을 실재로 폭30mm, 두께 2mm 정도로 도포하여 확실히 실링한다.	퍼티바름도구 주입도구 등						
6. 실링재를 양생시킨다.	· 실링재가 경화할 때까지 지촉과 우수 등에서 양생한다.	방호도구 등						
7. 주입용 에폭시 수지를 계량하여 혼합한다.	· 주제와 경화제를 규정량대로 정확하게 계량하여 균일하게 될 때까지 충분히 섞는다.	저울 혼합용기						
8. 에폭시 수지를 주입한다.	· 에폭시수지를 주입기구에 넣어 고무, 공기압 등으로 주입한다.	주입기구						
9. 양생시킨다.	· 주입한 에폭시 수지의 경화양생을 한다.	방호도구 등						
10. 마무리 후 검사한다.	· 주입된 에폭시 수지의 경화 후, 주입기구 및 실링재를 제거하여 마무리하고 주입상태 및 뒤처리를 확인한다.	디스크 샌더 목시						

에폭시수지를 진행성 균열의 보수에 사용하는 경우, 에폭시수지의 변형에 대한 적응성이 문제된다. 일반적으로 사용되고 있는 에폭시수지의 변형량은 2%정도이기 때문에 이와 같은 재료로 보수한 균열의 주변에 새로운 균열이 발생하는 경우가 많다. 따라서 이러한 균열에 대해서는 가소성의 것을 사용하거나, 충전공법을 고려할 필요가 있으며, 에폭시수지 주입공법과 앵커 핀과의 병용으로 균열부의 일체화를 증대시켜 온도변화 등에 의한 균열의 움직임을 적게 하는 방법도 고려할 필요가 있다. 주입 공법에 사용되는 재료로는 에폭시수지가 가장 일반적이며, 특징은 다음과 같다.

- i) 내력복원의 안전성을 기대할 수 있다.
- 에폭시수지의 접착강도가 크며, 경화시 수축이 거의 없다.
- 휨시험에서는 대부분 모재에서 파단이 일어난다.
- ii) 내구성 저하 방지 및 누수 방지를 기대할 수 있다.
- 미세한 균열에도 주입이 가능하다.
- 균열이 발생한 콘크리트를 일체화시킬 수 있다.
- 산소 및 수분을 차단할 수 있어, 콘크리트 중성화를 억제할 수 있다.
- iii) 내후성이 좋다
- 경화후의 에폭시수지는 화학적 성질이 안정하다..
- iv) 미관의 유지가 용이하다.
- v) 경제적이다.
- 구조물의 자중 증가가 거의 없다.
- 접착강도가 단시간에 발현된다.
- 작업성이 좋다.

[표 12] 에폭시수지 주입공법의 시공

시공순서	시공 방법	사용 도구
1. 보수범위를 확인한다.	• 테스트 해머 등으로 타진하고, 들뜸의 상태와 범위를 조사한다.	테스트 해머 분필 등
2. 표면을 청소한다.	• 균열 주위의 타일면의 청소를 행한다.	디스크 샌더 와이어브러쉬
3. 주입구멍을 결정한다.	• 적합한 주입구멍의 위치를 결정하고 테이핑한다.	분필, 스케일 테이프
4. 실링재를 주입한다.	• 균열 위에 적합한 실링재를 주입한다.	퍼티용 바름도구 등
5. 테이프를 제거한다.	• 주입구에 테이핑한 테이프를 제거한다.	청소구 등
6. 에폭시를 주입한다.	• 노즐의 선단에 고무튜브를 세팅한 주입기로 에폭시수지를 주입한다.	그리스 펌프
7. 양생시킨다.	• 에폭시 수지 주입 후 하기 15시간 동기 24시간 이상은 충격과 진동이 미치지 않게 하고 강우 등에서도 양생한다.	방호구
8. 실링재를 제거한다.	• 타일의 표면을 상하지 않게 하고 실링재를 제거한다.	디스크 샌더 와이어 브러쉬
9. 청소한다.	• 시공부의 주위와 시공장소를 청소한다.	청소구
10. 검사한다.	• 시공상황을 확인한다.	목시



(b) 천정

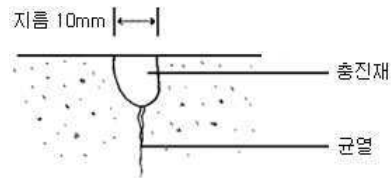
(a) 보

(c) 건물옥상

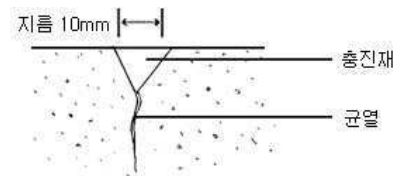
[그림 7] 에폭시 주입공법의 적용 사례

(3) 충전공법

충전공법은 0.5mm이상의 비교적 큰 폭의 균열보수에 적용하는 공법으로 균열을 따라 콘크리트를 U형 또는 V형으로 잘라내고 그 부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근이 부식하지 않는 경우와 철근이 부식하고 있는 경우에 따라 보수방법이 다르다. ([그림 8]~[그림 10] 참조)

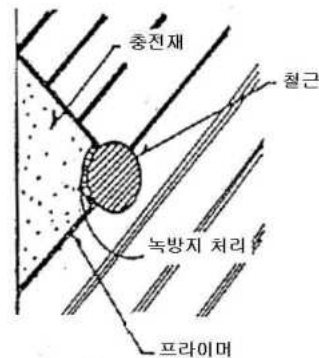
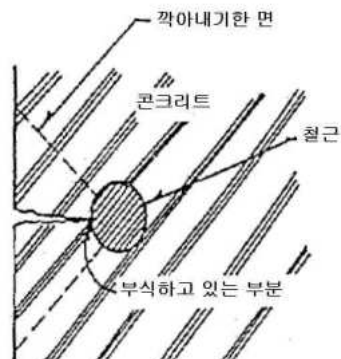


< U형 >

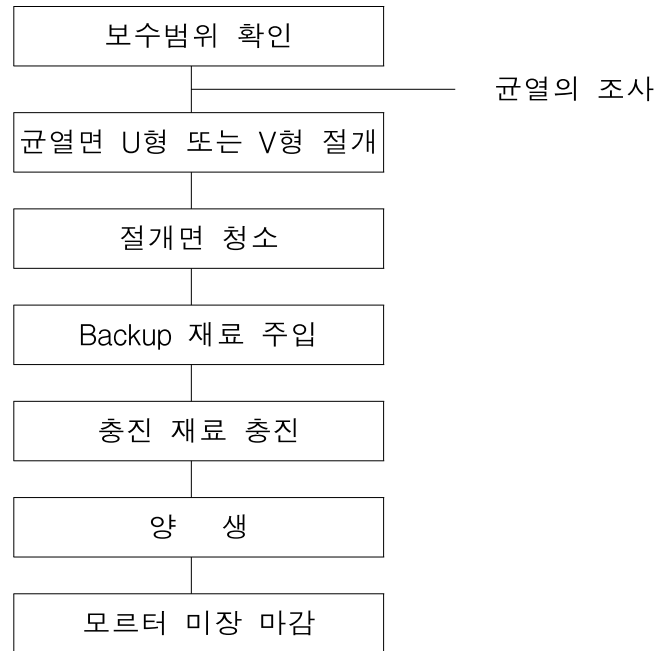


< V형 >

[그림 8] 철근이 부식되지 않은 경우의 충전공법



[그림 9] 철근이 부식된 경우의 충전공법



[그림 10] 충전공법 시공순서도

① 철근이 부식되지 않은 경우

균열을 따라 약 10mm의 폭으로 콘크리트를 U형 또는 V형으로 잘라낸 후, 이 잘라낸 부분에 시일재, 탄성형 에폭시 수지 및 폴리머 시멘트 몰탈 등을 충전하고 균열을 보수한다. U자형으로 잘라내는 경우는 균열을 따라서 양측에 커터로 구조물을 절단한 후 그 사이의 콘크리트를 깨어내는 방법으로 실시한다. 이에 비해 V자형으로 잘라내는 경우에는 전동 드릴 끝에 원추형 다이아몬드 비트를 부착하여 균열에 따라 잘라내는 방법으로 안전하지만, 폴리머 시멘트 몰탈을 충전하는 경우에는 충전한 몰탈의 박리, 박락이 일어나기 쉽기 때문에 U형을 채용하는 것이 바람직하다.

② 철근이 부식되어 있는 경우

철근이 부식하고 있는 부분을 충분히 처리할 수 있을 정도로 콘크리트를 깨어내고, 철근의 녹을 제거하여 철근의 방청처리 후, 콘크리트에 프라이머 도포를 행한 후에 폴리머 시멘트 모르타와 에폭시 수지 모르타 등의 재료를 충전하는 방법으로 실시한다. 이 방법은 철근이 부식하고 있는 경우에 있어서 콘크리트 구조물의 내구성 회복을 목표로 한 균열 보수방법이 주류이므로 재료와 공법에 따

라 크게 나누면 ①보수재료에 의해 물리적으로 부식을 방지하는 방법, ②콘크리트에 알칼리성을 부여하여 화학적으로 부식을 억제하는 방법, ③①과 ②를 혼용하는 방법이 있다.

③ 균열이 진행성인 경우

균열선을 따라 약 10mm를 한번으로 하는 정삼각형으로 절단하여 완전히 제거한 후 겔 상태의 수지를 주입한다. 겔 상태의 수지란 중량비로 에폭시수지 1에 대해 규석분 2.5~3.5를 혼합·교반한 것이다. 바닥 슬래브의 경우는 V형으로 절단한 후 저점도 에폭시수지를 주입하여 충전한다.

④ 균열이 비진행성인 경우

이 경우는 변형력, 신장력이 큰 재료가 유리하며, 재료로서는 겔 상태의 에폭시수지 대신에 탄성접착제를 사용한다. 이 경우 V형으로 절단된 면에 에폭시수지를 프라이머로 도포하면 접착력을 향상시킬 수 있다.

⑤ 누수 또는 용출수가 있는 경우

이 경우는 보수에 의해 물을 차단하면 수압 때문에 보수한 부근에서 누수가 되므로 도수관을 설치하여 자연도수가 되도록 하여야 한다. 즉, 균열선을 따라 V형(폭, 깊이 모두 50~70mm)으로 진전하여 전단부 구석에 투수성 스폰지, 집수용 파이프와 도수용 호스를 장전하고, 급결성 시멘트모르터로 임시 막아 놓은 다음, 몇군데 설치된 파이프를 한 곳으로 모아 배수시킴으로써 균열부에서의 누수와 용수를 방지하여야 한다.

충전공법의 시공은 균열의 정도와 손상상황 즉 진행성 유무, 철근 부식의 유무와 재료의 종류에 다소 차이는 있으나 일반적인 시공순서는 다음과 같다.

- a) 커트 범위를 확인한 후 마크를 한다
- b) 균열에 따라 컷터로 U자형 또는 U자형으로 커트한다. 절삭단면은 폭 10~50mm, 깊이는 10~50mm 정도로 한다.
- c) 커트한 부분은 압축공기 또는 고성능 진공청소기로 청소한다.
- d) 피착면을 건조시킨 후 전용 프라이머를 도포한다.

- e) 충전재를 소정의 배합비로 혼합, 교반한다.
- f) 프라이머 건조 후, 혼합한 충전재를 충전하고 피착체면에서 공극의 잔류여부를 확인한 다음 공극이 있으면 공기를 빼고 채운다.
- g) 충전재의 표면을 주걱으로 충분히 눌러서 평활하게 마무리한다.
- h) 충전재가 경화할 때까지 양생한다.
- i) 충전재가 경화한 다음 주변의 불순물 등을 주걱, 신나, 샌더 등으로 제거하고 청소한다.

(4) 단면복구공법

① 적용범위

콘크리트의 표면에 박리 및 탈락 등의 결함이 생긴 경우에 그 결함 주변을 내부의 건전한 콘크리트나 좋은 정도의 강도가 얻어지는 부분까지 깨어내고 보수물탈과 폴리머수지와 면처리 재료를 채워 내부 콘크리트를 방호할 목적으로 실시하는 보수공법이다.

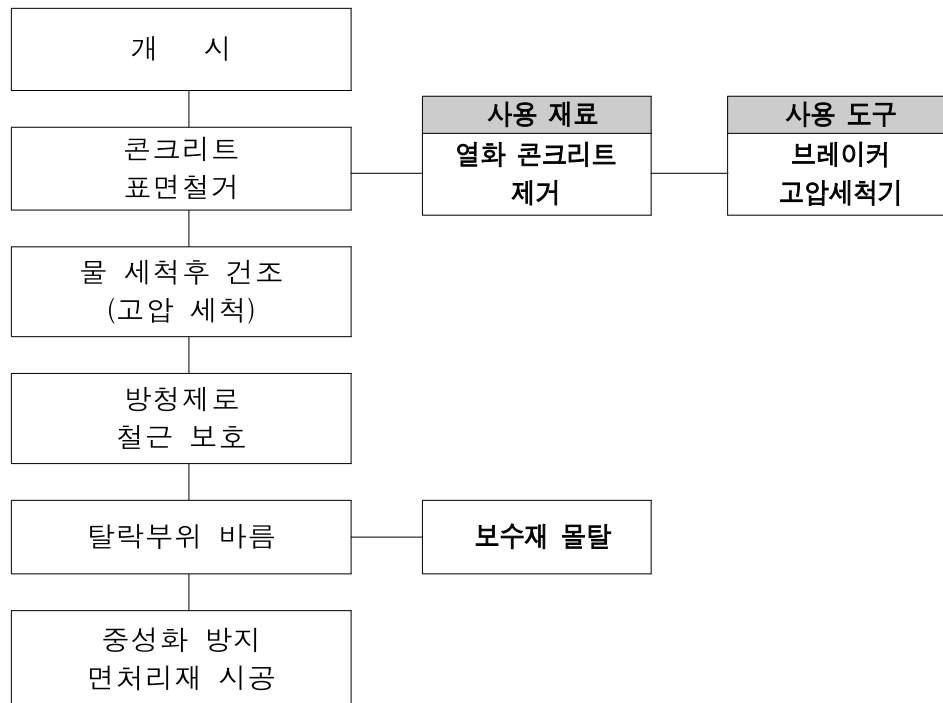
② 사용재료 및 품질규격

- 방청제 : 녹제거 및 철근방청보호
- 보수재,신구접착제 : 방청용 혼화제첨가
- 수성폴리머수지 와 면처리재

③ 단면복구공법의 시공순서 ([그림 11], [그림 12] 참조)

- a) 기존 콘크리트의 열화부위, 중성화 부분을 브레이커등을 이용하여 콘크리트 표면을 철거한다.
- b) 콘크리트 표면 철거후 고압세척기를 이용하여 표면을 고압세척 한다.
- c) 물세척(고압세척)후 건조시킨다.
- d) 방청제를 사용하여 철근을 보호한다.
- e) 방청된 철근보호 및 중성화 방지를 위하여 수성폴리머수지 와 면처리재를 솔 처리한다
- f) 기존 콘크리트 탈락 부위에 보수재 몰탈을 바른다.

- g) 염해를 방지하기 위하여 방청용혼화제를 혼합 사용한다.
- h) 단면복구 시공후 중성화 방지를 위하여 면처리재 시공을 한다.



[그림 11] 단면복구공법 시공순서도



[그림 12] 단면복구공법의 시공 전경

(5) 침투성 방수제 도포 공법

침투성 방수제 도포에 의한 누수방지를 목적으로 한 보수공법은 균열폭이 0.2mm 정도 이하의 균열일 경우에 적용되며, 균열폭이 클 경우에는 부적당하다. 침투성 방수제 도포에 의한 균열의 누수방지에 관한 실험결과와 일례에 따르면

0.2mm 정도의 균열폭인 경우, 태풍같은 바람과 비가 작용하여도 누수되지 않았으나 이 공법은 아직 실험이 적고 내구성에 불명확하다. ([그림 13] 참조)



[그림 13] 침투성 방수제의 도포 표면

1.3 누수균열의 보수

(1) 표면도막 공법

표면도막방수 공법이란 방수바탕을 칠하는 방식이다. 이는 사용하는 재료의 종류에 따라 우레탄고무계, 아크릴고무계, 클로로프렌 고무계, 아크릴수지계 및 고무아스팔트계 등으로 구분되는데 액성의 재료를 롤러, 솔, 뽐칠기등을 사용해서 마무리해가는 공법이다. ([그림 14] 참조)



[그림 14] 표면도막방수

(2) 시트방수 공법

① 개 요

시트 방수 공법은 합성고무나 합성수지를 주 원료로 해서 적층 성형한 합성 고분자 시트를 같은 계의 접착제를 사용하여 붙여서 방수층을 형성시키는 공법으로 아스팔트 방수와 같은 멘부렌 방수의 일종이다. ([그림 15] 참조)

② 특징

- a) 내후성 내노화성에 우수하면 가볍고 미관상 아름답다.
- b) 내약품성에 우수하며 공해(公害)에 강하다.
- c) 신장 능력이 극히 크며, 바탕의 균열과 요동에 추종(追從)된다.
- d) 냉공법이므로 가열의 필요가 없다.
- e) 공정이 간단하여 인력과 공기(工期)가 단축된다.



[그림 15] 시트방수 시공상황

1.4 중성화 · 염해 방지

(1) 리프리트공법

① 개요

Refresh-Concrete의 합성어로 중성화나 동결융해, 알칼리 골재반응에 의한 콘크리트 구조물의 열화보수 공법입니다. 특히, 바다모래를 사용한 토목,건축물의

보수용으로 수요가 확대되고 있다.

리프리트시스템에는 중성화에 의한 열화보수공법인 리프리트시스템과 염해에 의한 열화보수공법인 디솔트리프리트시스템이 있다.

열화 특히 염해에 의한 노출 콘크리트면, 동해로 손상을 받은 노출 콘크리트면, 화재를 입은 콘크리트면 등에 사용된다.

② 특성

- a) 기존 건축물의 열화방지와 내구성을 증진
- b) 표면을 재마감하는 것이 아니라, 구조물 내부부터 시공하는 독특한 콘크리트 구조물 보수개선 공법
- c) 특수한 무기계혼화재 RF-100을 도포함으로써 열화한 구조물에 알칼리성을 부여하여 활성화시켜줌
- d) 표면이 강화되어 콘크리트를 화학적·물리적으로 성능을 회복시키는 공법

③ 사용 재료의 특징

- a) RF-100
 - 점도가 낮고 깊이 침투한다.
 - 새로운 타입의 내부 강화재다.
 - 수성 완전 무기질계 재료이기 때문에, 독성, 인화성등의 위험성이 없다.
 - 알칼리성을 부여한다.
 - 알칼리성이기 때문에 철근 주위의 콘크리트를 알칼리성으로 회복시켜, 철근의 부식 억제에 유용하다. 이 성질은 유기계의 침투재에서는 얻을 수 없다.
 - 콘크리트 면을 단단하게 한다.
 - RF-100의 실리카계 고형물은 모세관이나 균열을 충전 결합함으로써, 열화된 부분과 취약한 면을 보강하여, 건전층과 연결을 견고하게 하는 동시에, 중성화 방지층을 형성하는 열쇠가 된다.
 - 난용성으로 내구성이 우수하다.
 - 내부까지 강화한다.
 - 표면을 견고하게 한다.

[표 13] RF-100의 기본 재료

RF 방청 페이스트	RF 방청 시멘트 20kgf	1포
	RF 혼화재 6kgf	1/3통
RF 모르타르	RF 모르타르 파우더 20kgf	1포
	RF 혼화재 3.6kgf	1/5통

b) 디솔트

- 콘크리트 내부까지 깊이 침투한다.
- 시간이 경과함에 따라 내부에 확산된다. 현장시험 결과, 2년에 40~50mm 정도 침투한다.
- 콘크리트의 물시멘트 비와 함수율에도 거의 영향을 받지 않고 깊이 침투한다.
- 염화물을 포함한 콘크리트 내부에서 우수한 방청 효과를 발휘한다.
- 녹이 슨 철근의 부식을 전기 화학적으로 억제한다.
- RF-100과 디솔트를 조합하면 방청 효과가 상승적으로 발휘된다.

[표 14] 디솔트의 일반성상

구 분	내 용
성 분	다가 알콜 니트로 에스테르
점 도	100cps 이하
비 중	1.25 ± 0.05
외 관	담황색 투명 수용액

④ 각 열화원인별 리프리트 공법의 적용체계

a) 중성화 억제

콘크리트의 중성화의 진행은 철근콘크리트 구조물에서의 탄산가스의 확산에 의해 일어난다. 콘크리트 중에 침투한 염화물이온은 콘크리트 중의 수분을 매체로서 이동하나 콘크리트 중성화의 진행은 이산화탄소와 시멘트수화물과의 반응에 의한 것이고 이산화탄소의 공급이 정지된 경우에는 중성화는 진행되지 않게 된다. 따라서 중성화가 철근 위치까지 진행되지 않을 경우에는 이산화탄소 침투억제 효과를 가진 보수재료로 표면처리함으로써 중성화의 진행을 정지

시킬 수 있다. 그러나, 철근주위까지 중성화가 진행되고 있는 경우에는 중성화된 콘크리트를 떼어내거나 알칼리성부여재의 함침 등에 의해 콘크리트의 알칼리성을 회복시키면서 산소와 물의 공급을 억제시키는 보수공법을 적용시켜야 한다.

b) 염해 방지

철근콘크리트 구조물의 염해는 재료중에 포함되는 염화물의 이온 또는 외부로부터 침투하는 염화물의 이온에 의해 철근이 부식됨으로서 나타난다. 그러나 최근 문제로 되고 있는 염해는 외부로부터 침투한 염화물이온에 기인하는 것이 대부분이다. 철근콘크리트 구조물의 염해에 의한 열화과정은 제1기(잠복기), 제2기(지전기), 제3기(가속기) 및 제4기(열화기)의 4단계로 구분된다.

철근콘크리트 구조물의 염해를 대상으로 한 보수공법에 기본적으로 요구되는 성능은 염화물이온의 확산침투의 억제, 내재한 염화물 이온의 감소 및 무해화, 산소 및 수분의 확산침투의 억제이고 철근콘크리트 구조물의 열화과정의 어느 단계에 있는가에 따라 요구성능이 상이하게 된다. 일반적으로 보수를 개시하는 경우에는 열화상황별로 보수재료에 대한 요구성능을 정하여 보수공사가 행해져야 한다. 특히 잠복기 및 진전기에서 표면피복을 실시하는 경우에는 콘크리트 내부로부터 수분의 일산을 가능하게 하는 재료를 선택하는 등 보수시에 제거되지 않는 염화물 이온에 의해 보수 후의 열화가 나타나지 않도록 하는 배려가 필요하다.

⑤ 시공순서 및 방법

- a) 전처리 : 먼저 취약해진 콘크리트면, 모르타면, 모래가 떨어져나간 거치면등을 와이어 브러시 등으로 표면을 깨끗이 정리한다.
- b) 균열처리 : 균열폭이 0.5mm이상의 경우 U카트 또는 V카트를 한다.
- c) 녹슨 철근처리 : 들뜬 부분을 떼어내고, 녹슨 철근의 주위를 조심하여 긁어낸 다음 표면에서 양측 안쪽까지 긁어낸 후 와이어브러시를 이용하여 녹을 완전히 제거한다.
- d) 청소 : 콘크리트면의 처리가 끝나면 고압수로 씻어낸다.
- e) RF-100의 도포함침 : RF-100은 원액 그대로 롤러브러시 등으로 바르고, 콘

크리트면에 충분히 침투시키기 위해 균일하게 바른다.

f) 디솔트의 도포함침 : 디솔트 RF-100의 도포건조후 RF-100같은 방법으로 바른다.(디솔트리프리트 공법의 경우에 한함)

g) 방청처리 : 방청 페이스트를 노출된 철근 및 그 주변에 철저히 바른다. 이때 1회의 도포두께는 1~2mm가 되도록 한다.

h) 단면복구 : 결손부분의 밑까지 강하게 눌러 바르고 단면복구할 부분이 깊은 경우는 몇회 반복한다.

i) 중성화 방지층 및 마감 : 중성화 방지 보호층으로써 RF방청 페이스트를 면에 바르고 구조물 처리를 완료합니다.



(a)전처리



(b)균열처리



(c)녹슨철근 떼어내기



(d)청소



(e)RF-100 도포함침



(f)디솔트의 도포함침



(g)방청처리



(h)단면복구



(i)중성화방지층마감

[그림 16] 침투성 방수제 도포 표면처리 과정

2. 보강공법

2.1 개 요

보강공법은 구조내력의 회복 혹은 증진을 위해 적용되기 때문에 구조물 전체 또는 개별 부재의 성능개선에 대응되는 공법이며, 내진 성능의 보강, 구조시스템의 보강, 부재의 보강, 기초 및 지반의 보강 등으로 대별된다. 또한 사용재료 및 시공방법에 따른 분류로는 부재증설공법, 포스트-텐서닝공법, 단면증대공법, 교체공법, 철근매입공법, 강판접착공법, 섬유보강공법 등으로 구분할 수 있다.

2.2 구조부재의 보강

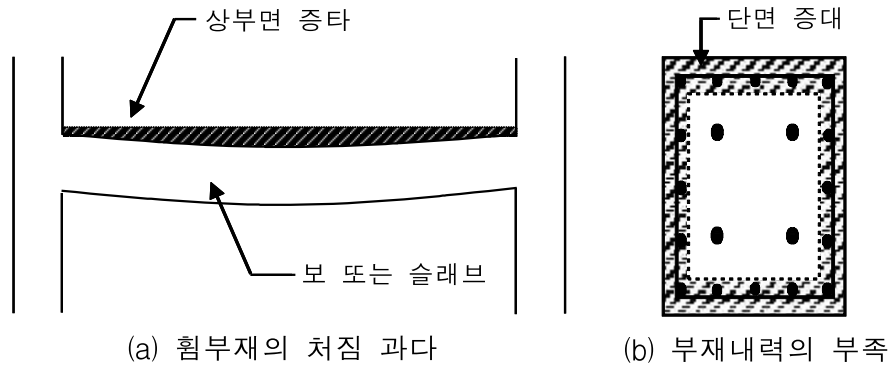
(1) 단면증대 공법(증타 공법)

보, 슬래브 등 휨부재의 상부 철근량 부족으로 처짐이 과도하여 사용성에 문제가 있는 경우나 기둥, 벽 등의 수직부재의 내력이 부족한 경우에 기존 부재의 외측에 콘크리트나 폴리머 몰탈 등을 증타하여 단면을 증대시킴으로써 강성 및 내하력의 증진 등 구조성능을 개선하는 보강 방법이며, 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 신·구 콘크리트의 접합이 확실하게 되면 보강효과가 높다.
- ② 시공법이 간단하다.
- ③ 가설 및 거푸집설치가 필요하다.

단면증대 공법은 신·구 콘크리트의 확실한 일체화가 가장 중요하며, 접착제를 사용할 경우 접착제의 성능에 유의하고, 앵커나 stud-bolt 사용 시는 모재의 균열 상태를 충분히 고려하여 천공으로 인해 균열이 진전되는 것에 유의하여야 한다. 증타에 앞서 부재에 발생한 균열을 먼저 보수하여야 하며, 필요시 철근, 용접철망 등을 배근하고, 콘크리트는 건조수축이 적은 것을 사용하는 것이 좋다. 시공

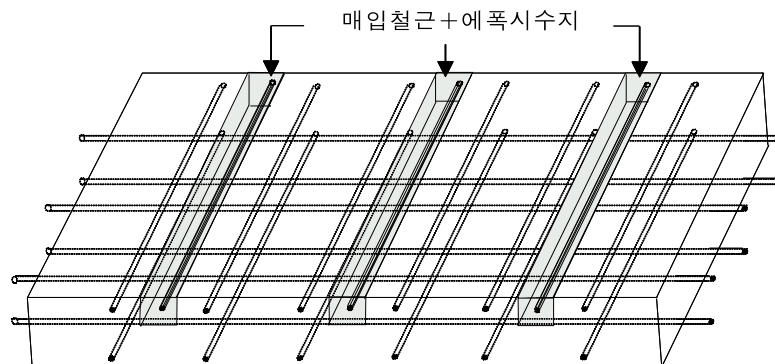
방법은 그라우트 방법과 숏크리트 분사방식이 있으며 부재 하부단면 증대시는 프리팩트공법을 사용하기도 한다. 증타로 인해 고정하중이 증가하므로 구조물 전체를 다시 해석하고 증타 부위와 연관되는 보, 기둥, 기초 부재에 대하여 내력 초과여부를 재검토하여야 한다([그림 17] 참조).



[그림 17] 단면증대 공법의 적용 예

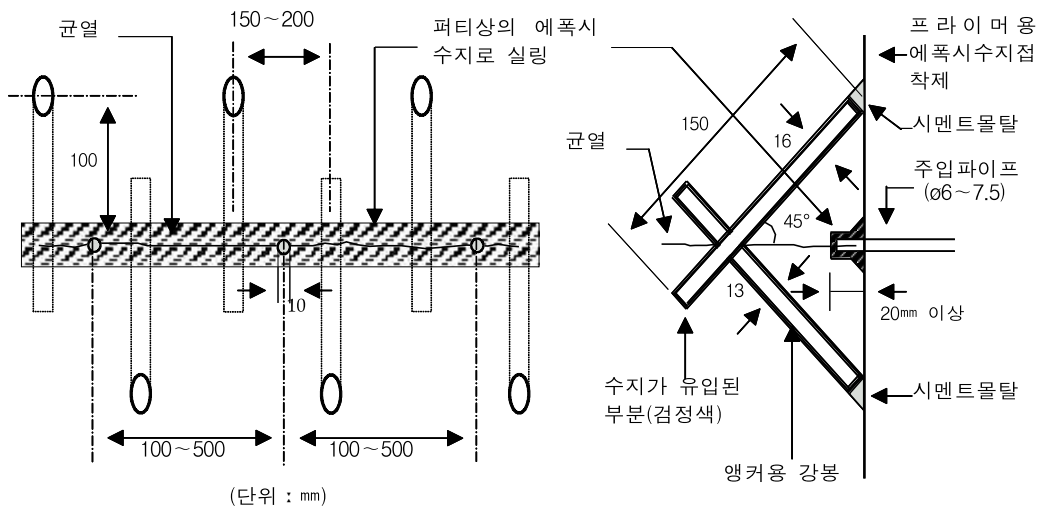
(2) 철물매입 공법

슬래브 등에서 보강해야 할 부위가 넓지 않고 배근량이 부족하여 철근을 추가 배근할 필요가 있을 때 사용하며, 슬래브의 상부면을 철근이나 강판이 매입될 정도로 U형으로 제거하고 철근 또는 강판을 매입한 뒤 제거된 홈 부위에 에폭시 수지 접착제를 사용하여 고정시키는 방법이다. 이 경우 보강부위 주변의 균열도 에폭시 수지로 보수하여야 한다. ([그림 18] 참조)



[그림 18] 철물매입 공법의 개념

이와 유사한 공법으로서 앵커공법이 있는데, 이는 균열이 구조내력에 지장을 주는 경우 균열부위를 강봉 등으로 봉합하여 내력을 회복시키기 위한 것으로, 시공법이 비교적 간단하나, 앵커에 의한 균열의 봉합효과가 다소 불명확하며, 얇은 부재나 대규모의 보강에는 적용하기 곤란하다. ([그림 19] 참조)

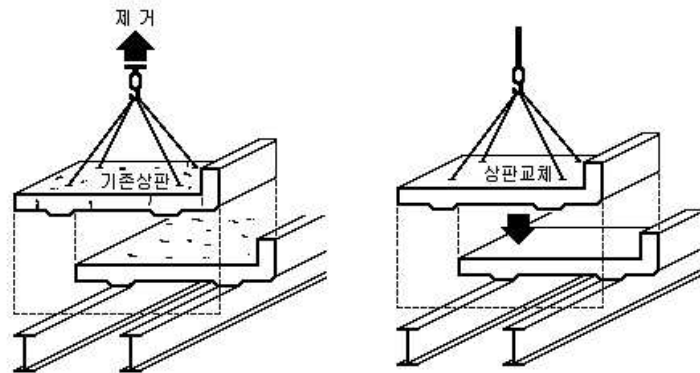


[그림 19] 앵커공법의 개요

(3) 교체 공법

부재의 손상된 부분만을 제거하고 새로운 콘크리트를 타설하여 내력을 회복시키는 부분교체공법과, 손상된 부재를 전면적으로 제거하고 새로운 부재로 교체하는 전면교체공법이 있다. 교체공법의 특징은 다음과 같다. ([그림 20] 참조)

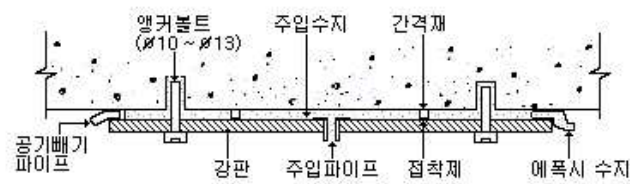
- ① 시공법이 비교적 간단하다.
- ② 내력과 강성 등의 회복효과가 확실하고, 공사비도 그다지 높지 않다.
- ③ 기둥, 벽 등의 수직부재는 넓은 부위를 한꺼번에 제거하기가 어렵고, 공사기간이 길어진다.
- ④ 신·구 콘크리트 접합부나 신·구 부재의 연결부가 확실하지 않으면 보강효과를 기대하기 어렵다.



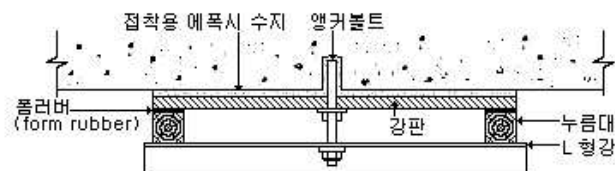
[그림 20] 교체공법의 예(바닥판)

(4) 강판접착 공법

강판을 콘크리트 구조물의 표면, 특히 인장측 표면에 앵커볼트 및 에폭시 수지로 접착하여, 기존의 구조물과 일체화시킴으로써 내력을 향상시키는 공법이다. 부재의 인장측에 접착된 강판은 인장철근과 같은 기능을 하므로 강판과 콘크리트와의 부착 및 정착성능이 충분히 확보될 수 있도록 하여야 한다. 또한 강재가 외부에 노출됨에 따른 부식 및 내화에 대한 취약점을 충분히 고려하여야 한다. 강판접착공법은 수지 접착제의 시공방법에 따라 주입공법과 압착공법으로 구분되며, [그림 21]는 강판접착공법의 시공방법을 예시한 것이다.



(a) 주입공법



(b) 접착공법

[그림 21] 강판 접착공법의 예

주입공법과 압착공법의 개요 및 특징을 비교하면 [표 15]와 같다.

[표 15] 주입공법과 압착공법의 비교

항 목	주 입 공 법	압 착 공 법
적용 조건	콘크리트 면이 편평하지 않고, 일부 또는 전체적으로 곡면이 포함된 부위	콘크리트 면이 편평하여 요철이 없고, 콘크리트 면에 압착용 앵커를 고정할 수 있는 부위
수지의 도포 및 주입방법	콘크리트 면과 강판면 사이에 간격재 등으로 3~5mm 정도의 간격을 띄우고, 주변을 실링하여 주입한다.	콘크리트면 및 강판접착면에 1~2mm씩 균일하게 도포한다.
공기 제거	한쪽에서 주입하면서 공기를 빼낸다.	강판은 콘크리트 면에 고정된 앵커류를 이용해 압착하고, 에폭시 수지를 밀어냄과 동시에 접착면에 함유된 공기를 내보낸다.
장 점	시공면에 제약이 없다.	접착면에 공기가 남는 일이 거의 없어 접착효과가 좋다.
단 점	약간의 기포가 남을 우려가 있으므로, 주입에 상당한 시간을 필요로 한다.	시공면에 제약을 받는다.

(5) 섬유보강 공법

강판보강은 성능에 비해 자중이 크고, 시공면적이 클 경우 용접개소가 증가하는 등 시공성이 떨어지는 것이 큰 단점이다. 최근에는 이를 대체할 수 있는 재료로서 기존의 유리섬유와 무기계의 탄소섬유 및 유기계 고분자 화합물인 아라미드섬유 등의 보강섬유를 판(Plate), 시트(Sheet), 막대(Rod) 형태로 가공한 것이 구조물 보강에 많이 이용되고 있으며, 섬유의 가공형태 및 사용하는 접착제의 성능에 따라 유사공법이 많이 개발되어 있다. ([그림 22] 참조)



(a) 판(FRP)



(b) 시트(Carbon)



(c) 테이프



(d) 막대(Rod)

[그림 22] 섬유 보강재의 종류

주로 사용되는 섬유보강재(시트형)의 특성을 비교하면 [표 16]과 같다.

[표 16] 주요 섬유보강재의 특성 비교

구 분			유리섬유 복합재*	탄소섬유시트**		아라미드섬유시트	
				FTS-C1-20	FTS-C1-30	Kevlar	Technora
재 료 특 성	단위 중량	g/m ²	920	200	300	415	350
	두께	mm	1.3	0.11	0.165	0.286	0.252
	설계인장강도	kg/cm ²	5600	35500	35500	21000	24000
		kg/cm	728	390	590	600	600
	설계부착강도	kg/cm ²	14	6		7	7
	인장탄성계수	kg/cm ²	0.25×10 ⁶	2.35×10 ⁶		1.2×10 ⁵	0.8×10 ⁵
	신장율	%	2.0	1.5		1.8	3.0
	열팽창계수	/℃	5.5×10 ⁻⁶	0		0	
	연성 / 취성		연성이 큼	취성이 큼		비교적 연성이 큼	
내구성	전기 전도성		비전도체	전도체		비전도체	
	내 알칼리성		약함(접착제)	양호		양호	
	내 화학성		양호	양호		양호	
	내 동해성		양호	양호		양호	
	내 열성		강함	약함(접착제)		강함	
	내 수성		양호	양호		흡수성이 큼	
	내 마모성		양호	양호		양호	

[표 16] 주요 섬유보강재의 특성 비교(계속)

구 분		유리섬유 복합재*	탄소섬유시트**		아라미드섬유시트	
			FTS-C1-20	FTS-C1-30	Kevlar	Technora
시공성	시 공 대 상	콘크리트, 벽돌, 블록, 목재 등	콘크리트		콘크리트	
	시 공 방 법	기계함침+인력	인력 도포		인력 도포	
	작 업 공 간	최소 5cm 공간	도포공간 필요		도포공간 필요	
	수 지 선 택	전천후 사용	동, 하계 구분		동, 하, 춘추 구분	
	함 침 관 리	기계 함침	기능공		기능공	
	부착상태확인	가시적 확인	청각적 확인		청각적 확인	
	시 편 제 작	현장 제작	현장 제작		현장 제작	
	부착하자처리	그라우팅	재시공		재시공	
경제성	공사비 비교	75~80%	100%		100%	

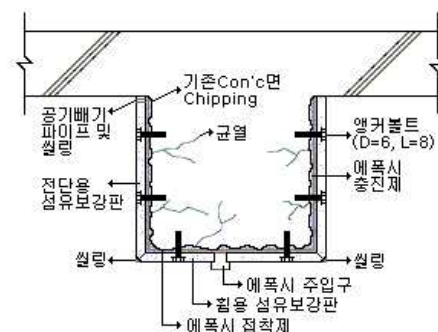
* 미국 Owens Corning + Fyfe Co. 제품(SEH51+Epoxy TYFO@S) 기준임.

** 일본 TONEN Co. 에서 제작 생산하는 FORCA Sheet 의 재료특성임.

보강섬유를 이용한 구조물보강공법은 보강재의 형태 및 보강재의 사용방법에 따라, 섬유보강판 접착공법, 섬유시트 부착공법, 섬유로드 매입공법 등으로 구분할 수 있다.

① 섬유보강판 접착공법

보강섬유 Chop을 에폭시 수지 등에 혼입하여 판 모양으로 성형한 섬유보강판(FRP, Fiber Reinforced Plastics)을 강판접착공법과 유사한 방법으로 구조체에 접착 시공하는 방법이다. 판의 단부는 용접이음이 불가능하므로 경사면(15°)으로 처리하여 접합이음 한다. ([그림 23] 참조)

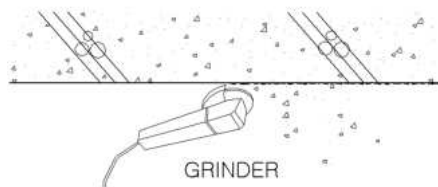


[그림 23] 섬유보강판 접착공법의 예

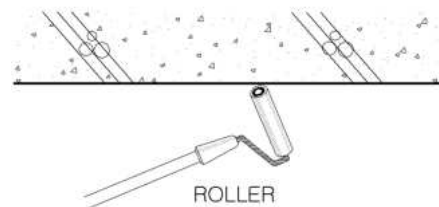
② 섬유시트 부착공법

섬유보강공법 중 가장 보편화된 방법으로서, 섬유시트를 에폭시 계열의수지 접착제로 구조체에 직접 부착 시공하는 방법이며, 판 접착공법에 비해 형상이 복잡한 부위에도 시공이 용이하고 보강에 따른 단면증가는 2~3mm 정도에 불과하다.

섬유시트의 종류로는, 보강섬유를 수지에 함침시킨 프리프레그(Prepreg) 형태나 섬유만으로 직조된 직물(Fabric) 형태 등이 주로 사용되는데, 섬유의 배열방향에 따라 1방향과 2방향으로 구분되며, 두 종류의 보강섬유가 혼합된 복합섬유재(Hybrid Fabric)도 개발되어 있다. ([그림 24] 참조)



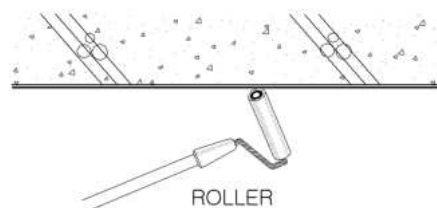
(a) 균열보수 및 표면처리



(b) 프라이머 도포



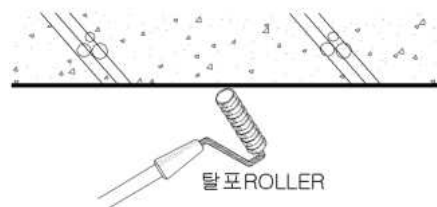
(c) 퍼티 작업



(d) 에폭시 도포



(e) 섬유시트 부착

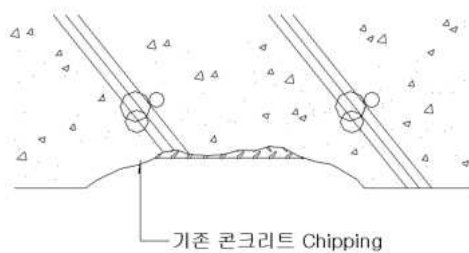


(f) 마감 에폭시 도포

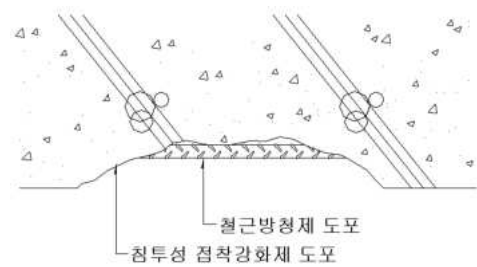
[그림 24] 섬유시트 부착공법의 예

③ 섬유로드 매입공법

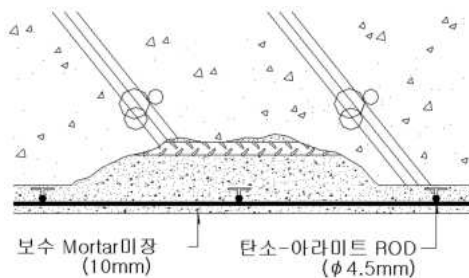
보강섬유를 막대 모양으로 성형하여 철근 대용으로 사용할 수 있도록 개발된 방법이다. 로드 표면에는 부착력 향상을 위하여 가넷(Garnet)이라는 규소화합물을 코팅처리 하기도 한다. 철근과 같은 부식이 전혀 없으나, 섬유로드를 매입시 공하기 위해서는 최소한 25~30mm 정도의 단면 증가가 수반되는 방법이다([그림 25] 참조).



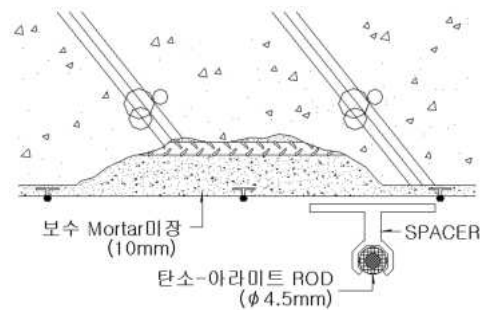
(a) 기존 콘크리트 제거



(b) 방청제 및 표면처리제 도포



(c) 단면복구 및 섬유 Rod 설치



(d) 고강도 보수몰탈 마감

[그림 25] 섬유로드 매입공법의 예