

일본의 콘크리트구조물의 특수 보수·보강 기법 Special Repair and Rehabilitation Technique for Concrete Structures in Japan



윤 상 대*

콘크리트구조물의 결함을 발생시키는 요인은 어떤 특정원인에 의하여 발생하는 경우도 있지만 그 대부분은 복합적으로 일어난다. 일반적으로 계획설계, 시공시의 배합설계 등에서 적절한 처리를 하지 못하여 발생하는 경우가 대부분이다. 특수한 환경에서 노출될 경우 계획설계시부터 대처를 하는 것이 중요한데 이론적 규명과 처방을 확실하게 하지 못하는 경우가 자주 발생한다. 물론 사회적 여건이 변화되어 이제까지는 발생하지 않았던 결함사항이 나타나는 것도 있다. 콘크리트에 발생하는 변상중 처음부터 기준을 상향조정하여 고품질 콘크리트에 의해 대처한 경우는 그 정도가 심하지 않아 보수나 보강이 비교적 용이하지만 현실적으로 나타나는 결함변상은 대부분이 보통의 콘크리트로 계획, 설계시공되었기 때문에 이를 보수 보강하는 것은 용이하지 않다. 일본의 특수, 보수 보강을 소개하면서 개별공법보다는 토목건축 전반에 걸쳐 발생하는 변상의 원인과 보수 보강에 대하여 총론적으로 일본콘크리트 공학협회 Vol. 31 No. 7(1993. 7)에 미야가와 도요아키교수와 가시노 노리모토교수가 발표한 것을 위주로 하여 본

인의 의견과 우리나라의 실정을 비교하여 소개하고자 한다.

1. 서 론

일본에서 콘크리트구조물이 본격적으로 건설된 것은明治 中기(1890년대)부터이다. 또한 제2차 세계대전후부터는 1950년대부터 시작된 고도경제 성장과 그 맥을 같이하고 있다. 즉 이전까지와는 비교할 수 없을 만큼 대량의 콘크리트구조물이 건설되었다. 구조물의 대부분은 공공시설물로서 이들중 오래된 것은 건설후 30~40년을 경과하여 유지를 위한 보수, 보강이 필요하게 되었다.

이것들로부터 장래것을 고려하면, 같은 값이면 시설구조물의 조사, 진단, 보수, 보강이란 문제가 중요한 것으로 고려된다.

또한 콘크리트구조물도 토목구조물, 건축구조물 등과 토목구조물에서도 도로교량구조물, 공항구조물, 철도구조물, 항만구조물, 도시구조물, 상하수도구조물, 농어업토목구조물, 댐수리구조물 등 전문분야별로 환경여건에 따라 다양한 기능과 환경에 놓이게 된다.

다양한 환경에 놓여 기능하기 때문에 그 결함과 노후화 상황도 염해, 중성화, 화학적 부식, 동해,

* 정회원, 농어촌진흥공사 농공기술연구소 부장

화재, 누수 등과 골재품질에 기인한 알칼리골재반응, 침하, 진동 등에 의한 기능저하등 해당 구조물에 따라 그 원인, 대책, 재료, 공법이 다르게 된다. 따라서 본고에서는 세부적인 사례는 다음 기회로 미루고 대표적인 토목, 건축구조물에 대한 결함사항과 보수보강 고려방법에 대하여 소개하고자 한다.

2. 토목콘크리트구조물의 변상과 보수 보강

2.1 서언

지금까지 토목구조물은 대체적으로 자연골재를 고전적인 배합설계 개념으로 콘크리트표준시방서의 제규정에 맞추어 배합설계 시공되었다. 그러나 선진공업국가나 개발도상국을 막론하고 자연골재는 거의 고갈되어 인공재료에 의존하지 않으면 안 되게 되었다. 또한 사회적인 여건변화에 따라 기계화 시공에 의존하고 산업화와 도시화에 따라 대체적으로 이전보다 가혹한 환경에 놓이게 되었다. 탄산가스의 농도가 높아 중성화가 가속화되고, 강산성, 강알칼리 등 유해물에 접하는 비중이 높고 부순돌에 의한 알칼리골재반응성의 잠재위험성이 높고 임해개발에 따른 염해환경에 직접 영향을 받는 비중이 높다는 것 등이다.

현재 콘크리트구조물의 결함사항은 어느 특정 원인보다 모든 환경이 복합적으로 작용하여 가속화되는 경향을 띠고 있다.

또한 사회적 여건변화에 따른 결함, 예를 들면 골재의 저품질화(입도불량) 기계화시공에 따른 시공성(펌프카시공에 따른 반죽질기 확보), 다짐 등의 3D작업 기피, 전년시공에 따른 한중콘크리트 서중콘크리트 시공, 구조물의 거대화 단면의 크기에 따른 경화열 미처리에 따른 균열 등과 교통구조물에서는 도로교상판의 동결방지재 살포에 의한 염해, 대형차량, 교통량 증가에 따른 진동 등과 이러한 환경속에서 정기적인 점검, 진단, 보수, 보강체계의 미흡 등이다.

콘크리트구조물 설계, 시공이 장래의 보수 보강을 고려하여 실행되지 못하였는데 특히 중요한 구

조물에 있어서는 반영구적인 구조물로서 설계 시공되어야 하는 것이 일반적이다. 그러나 어느정도 우수한 구조물도 장기간 사용한 후에는 보수보강이 필요하게 된다. 이 때문에 보수, 보강 및 이들을 포함한 유지관리의 필요성이 상당히 높게 평가된다.

본고에서는 이들 흐름을 받아서 기본적인 고려방법을 소개한다. 구체적인 각론에 대하여는 참고 문헌을 참고하기 바랍니다.

2.2 보수 보강의 위치

현재 보수 보강이 일반적인 설계 시공과 크게 다른 점은 설계 시공쪽은 상당히 이념화되어 있는 것이 많고 여러 가지 경우에 대응된 체계로 이루어져 있는데 대하여 보수 보강은 구체적이고 체계화되어 있지 않다. 그것도 콘크리트기술자는 친숙하지 않은 畛은 수지, 고무 또는 합성섬유 등 합성고분자 재료를 사용하는 경우가 많고 체계화시킬 수 없는 면을 가지고 있다. 그러나 현재는 체계화를 시도하고 있다.

일본토목학회에서도 콘크리트표준시방서(1992년)는 시공편의 부록으로서 구조물의 유지관리(안)을 제시하고 있으나 장래에는 「유지관리편」을 설정할 것으로 계획되어 있다. 유지관리(시안)으로 검토된 흐름을 그림 1에 도시하였다. 시안중에 보수는 노후화를 발생시킨 콘크리트구조물의 내구성, 방수성 등 주로 구조적, 내하력 이외의 기능을 회복시키는 것(기준항상을 포함)을 목적으로 하고 행위 보강은 노후화를 발생시킨 콘크리트구조물의 내하력을 회복시키는 것을 목적으로 하는 행위로 각각 정의되어 있다. 그러나 필자의 견해로는 콘크리트구조물은 원인이 무엇이든간에 일단 손상을 받으면 원래의 기능은 회복될 수 없는 것으로 판단하여 보수나 보강은 원칙적으로는 보수, 보강이 필요없을 정도로 기준, 품질을 향상시키고 만약 결함이 발생되면 대체시설을 하는 동안 또는 부분개체를 하는 동안 공용성을 발휘하기 위한 수단 내지 방법으로 정의하고 싶다.

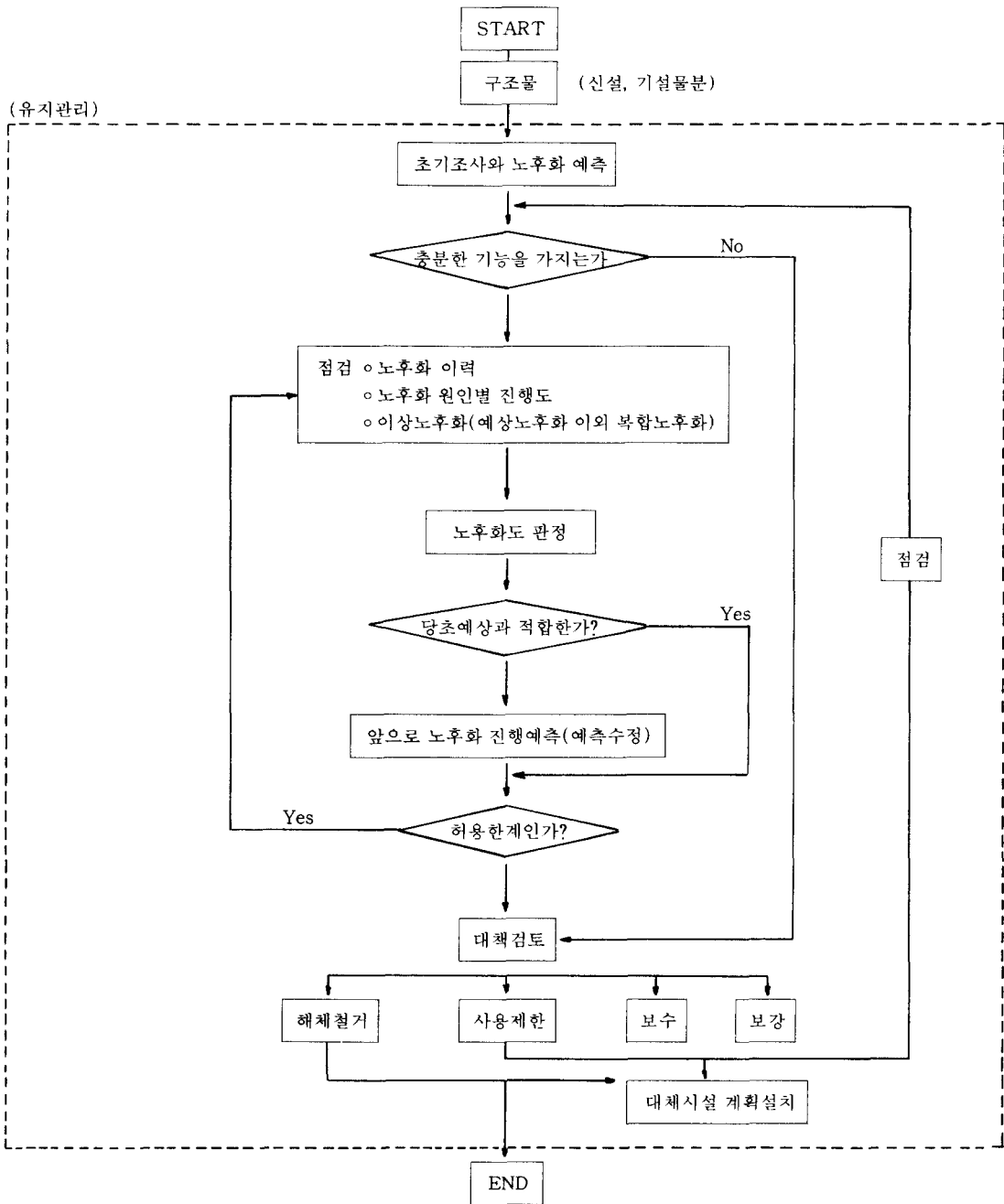


그림 1 유지관리 흐름도

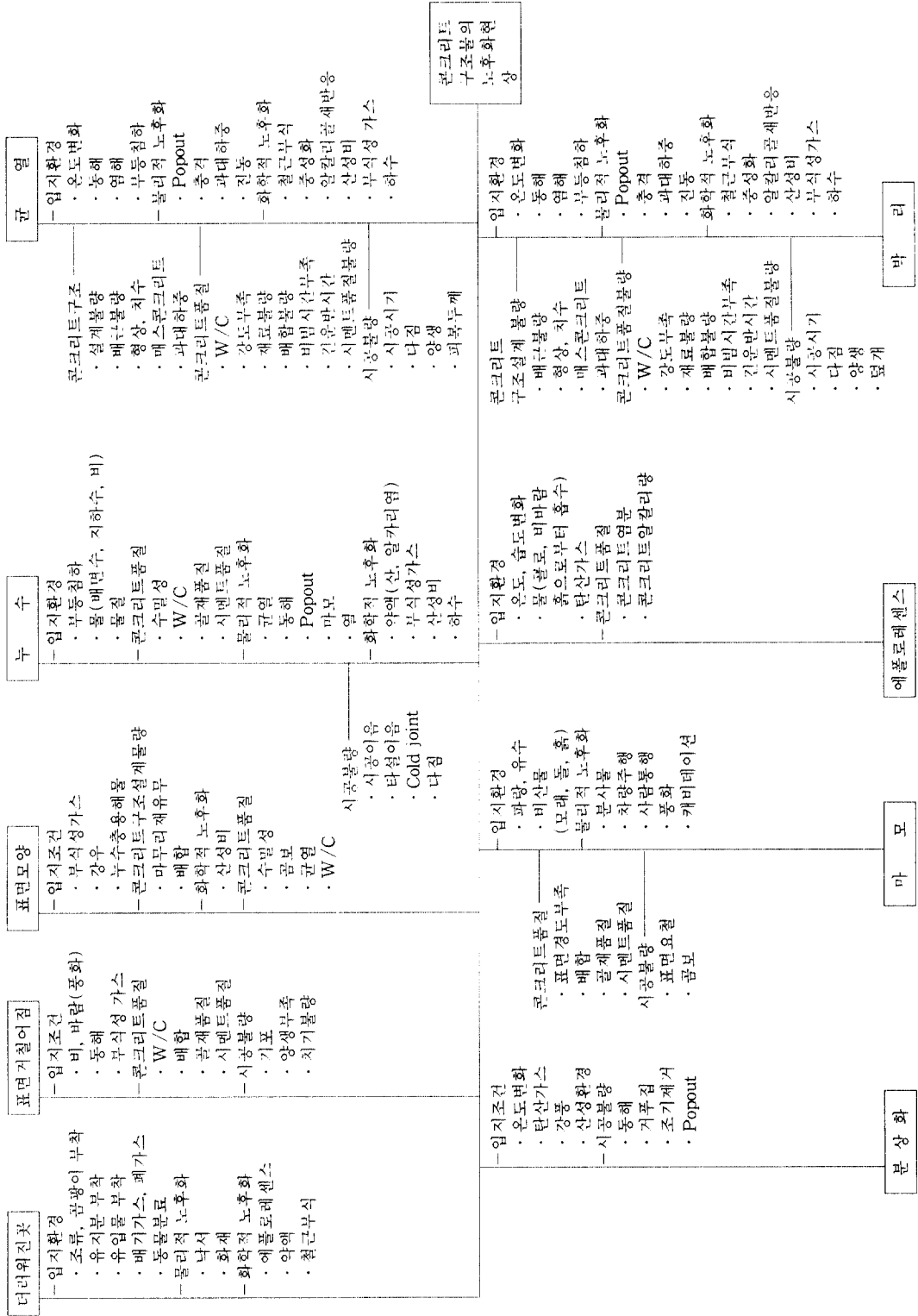


그림 2 콘크리트구조물의 변상과 노후화 요인

표 1 균열발생원인

대분류	중분류	소분류	원 인	대분류	중분류	소분류	원 인			
재 료	사용재료	시멘트 골 재	1. 시멘트 이상응결 2. 시멘트 수화열 3. 시멘트 이상팽창 4. 골재에 함유된 점토분 5. 저품질골재 6. 반응성 골재	사 용 환 경	물리적	온 도 습 도	1. 환경온도 습도변화 2. 부재양면의 온도 습도차 3. 동결융해반복 4. 화재 5. 표면가열			
			7. 콘크리트중의 염화물 8. 콘크리트의 침하블리딩 9. 콘크리트 건조수축				화학적	화학작용	6. 산, 염류의 화학작용 7. 중성화에 의한 내부 철근의 녹슬음 8. 침입염화물에 의한 내부철근 녹슬음	
시 공	콘크리트	비빔 운반 타설 다짐 양생 이음	1. 혼화재료의 불균일한 분산 2. 장시간 비빔 3. 펌프압송시 배합변경 4. 부적당한 치기순서 5. 급속한 치기 6. 불충분한 다짐 7. 경화전의 진동이나 재하 8. 초기 양생중의 급격한 건조 9. 초기 동해 10. 부적당한 치기 이음처리	구 조 · 외 력	하중	영구하중 장기하중 동적하중 단기하중	1. 설계하중이내의 영구하중, 장기하중 2. 설계하중을 초과하는 영구하중, 장기하중 3. 설계하중이내의 동적하중, 초기하중 4. 설계하중을 넘는 동적하중, 단기하중			
			철근				배근	11. 철근의 불균형 12. 피복두께 부족	구조 설계	5. 단면, 철근량 부족
			거푸집				거푸집 동바리	13. 거푸집 벌어짐 14. 누수(거푸집으로부터) 15. 거푸집 조기제거 16. 동바리 침하	지지 조건	6. 구조물의 부동침하 7. 동결에 의한 지반용기
				기타			기타요인			

2.3 콘크리트구조물의 변형

콘크리트구조물의 노후화현상은 일반적으로 어떤 변형으로 나타난다. 변형은 미관 또는 균열, 박리, 탈락 등 안정감을 주지 못한다. 노후화가 변형으로서 명확히 나타나는 것은 콘크리트구조물의 결정적인 붕괴가 일어나기 이전의 단계로 경고이다. 콘크리트구조물의 큰 이점이다. 역으로 큰 손상전의 단계에서 어떤 징조도 나타나지 않는 구조형식은 상당히 위험하다.

콘크리트구조물의 변상으로서의 균열, 박리, 변형으로 나타나는 경우가 많다. 변상전반에 있어서는 그림 2와 같이 검토되는 예가 많다. 균열에 대하여 표 1과 같은 것이 알려져 있다. 동일변상에 대하여도 여러 가지 원인이 상정될 수 있다.

2.4 진단·평가

그림 2에서 밝혀진 것과 같이 변상의 원인에는 여러 가지 종류가 있으나 대응하는 메카니즘에 대하여는 이것 이외에도 다수가 있다. 보수, 보강에 있어서는 이들 노후화 메카니즘에 대응한 방법을 채택하는 것이 가장 중요하다. 적절한 대응방법을 사용하지 않으면 다시 변상을 발생시킨 예가 상당히 많다. 그것도 다시 변상을 발생시킨 경우에는 보수, 보강이 이전보다 곤란하게 되는 것은 잘 알려져 있다.

적절한 보수, 보강방법을 선택하기 위하여는 노후화 메카니즘에 대응한 진단, 예측, 평가를 시행하는 것이 가장 중요하다. 그리고 변상을 발생시킨 노후화 메카니즘을 밝힘으로써 노후화 정도,

진행상황을 예측하여 종합적으로 판단하여야 한다. 여기서 소프트웨어는 진단공학에 속하는 것이다. 의욕적인 연구가 진행되고 있는 것 보수, 보강 공학과 같이 충분한 발달이 되지 못한 공학영역이라고 말할 수 있다.

그림 2의 변상의 요인이나 표 1의 균열발생원인을 검토해 볼때 현황 레디믹스트콘크리트에 의한 콘크리트의 제조나 골재의 저품질화, 사회여건변화, 4계절이 뚜렷한 기후조건에서 한중콘크리트, 서중콘크리트 시공 등에 의한 철저한 배합, 설계, 시공이 되지 못한 상태에서 진단이나 보수, 보강은 어떤 의미에서는 무의미하다고 생각되며, 지금부터라도 건설한 시공이 될 수 있도록 배합설계, 시공지침과 제도개선이 선결되어야 할 것으로 판단된다.

특히 보수, 보강에 있어서 평가 판정에는 순수 공학으로는 말할 수 없는 부분도 많다. 예를들면 '설계수명을 어떻게 설정할 것인가'라는 문제 하나를 보아도 토목구조물에는 수명이란 술어와 같을 수 없다는 의견도 많다. 기술자가 보아서 판단은 현재 상당히 곤란하다. 이 때문에 현재 단계에서는 보수, 보강설계로는 주로 공법선택에 있어서 메뉴의 제시로 되어있다. 이 경우 가장 필요로 되는 것은 노후화를 그 이상 진행시키지 않기 위하여 노후화, 메카니즘과 대응시킨 공법을 선택하는 것이다.

2.5 보수

2.5.1 보수공법

보수 보강공법으로서는 주입공법, 충전공법, 단면복구공법, 표면피복공법 등이 있다. 예를들면 콘크리트 도로교의 보수 보강공법으로서 프리스트레스 도입공법, 지지공법, 강관접착공법, 윗면 두께보강공법, 아래면 두께보강공법, FRP접착공법 등이 있다.

종래 자주 사용되었던 보수공법을 보강공법과 함께 분류하여 그림 3에 도시하였다. 그림 3을 보면 보수의 종류가 적고 간단하게 보이지는 않으나 보수는 보강에 비하여 복잡한 면을 가진다. 이것은 보강이 내하력을 보아서 관계되는 대책이고, 역학적인 고려가 주로 되는데 비하여 보수는 이것 이외의 부분을 받아 가지고 변상을 생기게 된 노

후화기구에 대한 억제효과로 하여야 한다. 따라서 대상으로 할 노후화 메카니즘으로 보면 역학적, 화학적 또는 미관적인 것까지 검토하여야 할 경우가 많다.

구체적으로 보자면 가장 보편적으로 사용되는 공법이 노후화된 부분을 깎아내고 단면을 복구하고 균열에는 수지등으로 주입을 시행하는 표면처리공법이다. 균열보수공법으로서는 일본콘크리트

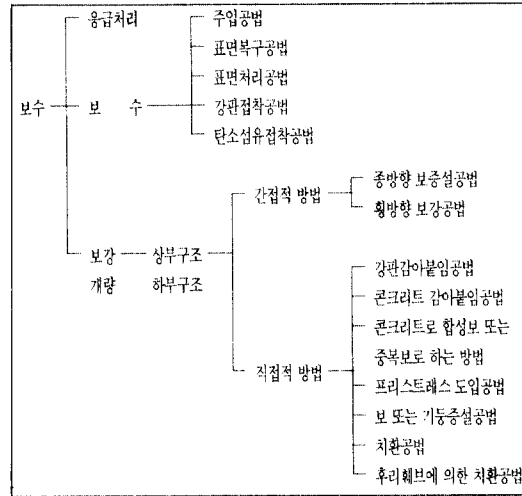


그림 3 보수 및 보강공법의 분류

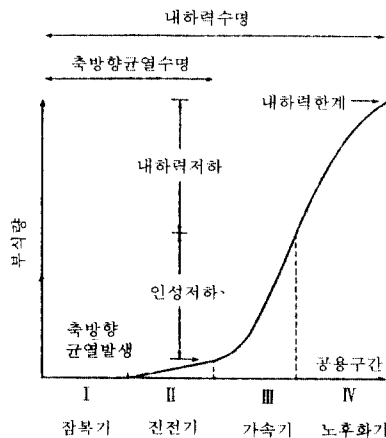


그림 4
업해에 의한
노후화 과정

표 2 노후화 구분과 보수개념

구분	예방보전	보수
잠복기	Cl ⁻ 억제	-
진전기	-	Cl ⁻ 의 저감, O ₂ 의 억제
가속기	-	Cl ⁻ 의 저감, O ₂ 의 억제
노후화기	-	(보강)

공학협회 콘크리트 균열조사, 보수·보강지침을 참고하는 것이 좋다. 표면처리에 요구되는 성능은 노후화, 메카니즘에 따라 다르나 큰 내후성, 작은 투수성, 큰 균열추종성, 큰 투습성 등 여러가지가 있다.

2.5.2 염해보수

염해에 의한 콘크리트구조물의 노후화과정은 일반적으로 그림 4에 도시한 것과 같다. 한편, 시간축은 단지 이념적으로 되어 있다. 엄밀한 시간 경과를 나타낼 수는 없기 때문이다. 그림 4에는 염해에 의한 노후화 과정을 4단계로 나누었고 이 4 단계에 대응한 표면처리보수의 기본적인 고려방법을 표 2에 표시하였다. 콘크리트중에 어느정도 염분이 존재되는 진전기 이후의 경우 염분량의 저하 또는 산소공급량의 저하가 요구된다. 그러나 현재의 표면처리공법에서는 산소의 대폭적인 저감은 바랄 수 없다. 염분량의 저감이 주요문제로 되어있다. 염분량의 저감에 대하여는 전기화학적 염분제거가 검토되기 시작하여 그 효과가 기대되고 있으나 아직 확립된 방법은 아니다. 일반적으로는 염분을 함유한 콘크리트를 제거하는 것이 가장 현실적인 방법으로 사용된다. 비보수 부위는 염분이 존재하여 진전기에 있는 것이 많아 재변상을 발생시킨다. 공법에 의해서는 비보수부가 양극으로 되는 마이크로셀 부식이 발생, 부식이 가속되어 재변상이 생긴다. 결과적으로 염해를 받을 위험성이 있는 구조물은 계획설계시부터 치밀한 콘크리트가 되도록 배합설계에 반영·시공되어야 한다.

2.5.3 알칼리골재반응

알칼리골재반응에 있어서 그 노후화단계는 알칼리골재 팽창으로서 그림 5에 도시한 것과 같이 구분할 수 있고 이들에 대한 표면처리보수의 기본적인 고려방법은 표 3과 같이 정리하였다. 알칼리골재반응에 의한 변상이 문제로 되는 것은 ① 반응성골재 ② 충분한 알칼리 ③ 충분한 물이 동시에 존재하는 경우에 고려된다. 이 세가지 알칼리의 제거를 시도하여 현재의 기술로서 보수시 제어가 가능한 것은 수분으로 고려된다.

콘크리트중에 수분이 존재된 상태로 차수계 보수를 시행한 경우 또는 표면 처리공법을 시행하지 않은 부분으로부터 수분에 의하여 알칼리골재팽창이 다시 진행하여 재변상을 발생시킴에 따라 경우에 따라서는 무처리 경우보다도 변상이 크게 되는 경우도 있다. 보수시에 콘크리트중에 함유된 수분을 일산시키는 것은 발수제의 표면처리재이다. 따라서 알칼리골재반응을 일으킨 것을 근본적으로 보수하는 것은 상당히 어렵고 계획설계시 반응성시험을 거쳐서 배합설계를 한다. 최근 왕겨재를 7%정도 혼입한 콘크리트가 알칼리골재반응을 완전하게 방지할 수 있다는 연구결과가 발표되어 주목되고 있다. 그림 6에 표면처리 시방의 정량적인 검토를 시도한 예를 도시하였다.

2.5.4 새로운 보수공법

최근 주목되는 부식에 대한 보수공법으로서 전기방식, Desalination, 재알칼리화가 있다. 이들은 모두 전기화학적인 공법이다. 즉 콘크리트 표면 가까이 설치된 아노드와 철근사이에 전류를 흐르게 하는 것이다. 전기방식에 대하여는 콘크리트구조물에 있어서도 점차 인지되고 있다.

Desalination과 재알칼리화공법은 일반적인 공법은 아니다. 현재 여러가지 검토되고 있다. 그 기본적인 메카니즘은 그림 7에 도시하였다. Desalination은 염화물이온(Cl^-)을 콘크리트중으로부터 제거시키는 것에 치중하는데 대하여 재알칼리화는 알칼리이온 및 OH^- 공급에 치중한다. 양자 모두 전기방식보다도 큰 전류($1\sim 5A/m^2$)가 통전되나 전기방식과 같이 공용기간중 계속하여 전류를 흐르게 할 필요는 없고, 1~8주간 정도의 통전으로 보수가 종료된다. 한편 처리후는 표면처리가 병용되는 것도 많다. 그러나 효과가 큰 반면 역효과의 가능성도 지적된다. 철근과 콘크리트와의 부착저동저하 또는 알칼리골재반응 촉진 등이 그 과제로서 남는다. 한편 적절하게 설계시공된 경우 토목콘크리트구조물에서 콘크리트의 중성화가 큰 문제로 되는 것은 적기 때문에(도시, 도로구조물은 오히려 중성화가 문제로 된다) Desalination이 중심으로서 검토된다.

포스트텐손 프리스트레스트콘크리트구조에 있

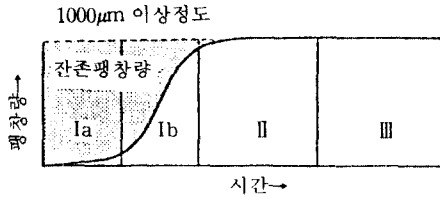


그림 5 ASR에 의한 팽창 진행단계구분

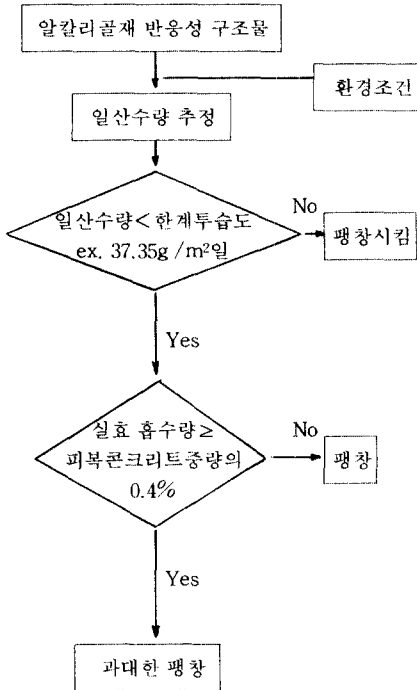


그림 6 표면처리시 ASR팽창판정 흐름도

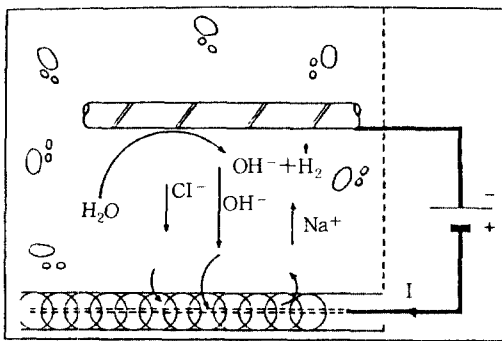


그림 7 DESALINATION 및 알칼리화 공법

어서 그라우트 비충진부의 보수에 있어서는 검토하는 시작단계에 있으나 시멘트, 고로슬래그 등이 초미립자(최대입경 10 μm 이하) 시멘트 주입재나 방청분위기를 가지는 저점도(200CPS정도이하) 유기계 주입재 등에 의한 압입재 보수가 시도되기 시작하였다.

2.6 보강

보강은 보수에 비하면 약간은 단순하다. 물론 콘크리트중 강재의 부식에 의한 단면결손량을 어떻게 추정하는가등의 어려운 점이 없지 않다. 그러나 적절한 가정과 계산으로 설계는 가능하다. 보수나 손상에 관계없이 보강을 시행하지 않으면 안되는 때도 있다. 과거에는 염해에 의해 변상을 발생시킨 구조물의 보강공법으로서 강판접착이 채택되었던 예가 있다. 보수에 대하여 적절한 배려를 하지 못했을 경우 재산상이 발생한 예가 있는 것이다.

보강공법으로서서는 그림 3에 도시한 방법이 일반적이다. 이동하중에 의한 피로손상을 발생시킨 철근콘크리트 도로교 슬래브에 대한 강판접착에 대하여는 보수가 아닌 보강으로서 취급하는 경우가 많으며 그 효과가 확인되었다. 극심한 염해를 발생시킨 철근콘크리트 도로교 슬래브에 대한 강판접착에 대하여는 보수가 아닌 보강으로서 취급하는 경우가 많으며 그 효과 또한 확인되었다. 극심한 염해를 발생시킨 교량을 외케이블로 보강시킨 예, 알칼리골재반응에 의하여 현저하게 노후화된 교각을 강판과 PC강재로 보강을 시도한 예도 있다. 외케이블에 의한 프리스트레스 도입공법은 최근 주목되는 공법이다.

최근 연속섬유보강재로 부르는 아라미드, 탄소 등의 섬유를 한방향으로 결속하여 비닐에스테르나 에폭시수지로 함침시킨 것이 콘크리트구조물에 이용되고 있다. 외케이블로서 보강에 사용하는 방법도 시도되고 있다. 그러나 연속섬유 보강재중 강재형의 부식이 발생하지 않는 고분자재료는 내구성이 인정되지 않은 것이 많다. 강재형에서 없는 노후화 메카니즘에 의하여 변상을 발생시킬 가능성도 지적되고 있어 그 검토가 필요하다.

2.7 결론

현실적으로 나타나는 토목구조물의 결함에는 여러 가지 원인이 있다는 것을 이미 기술하였으나 이들 문제를 근본적으로 해결하는 데에는 어려움이 많다. 그러나 그 빈도나 정도를 줄일 수 있는 방안은 있다. 계획설계과정에서 막연한 일반기준을 현재 또는 장래에 적합하도록 상향조정하고 특히 내구성문제는 현행설계기준에서 설계기준강도를 기준으로 하는 방식을 변상하나 결함요인을 최소화할 수 있도록 실제환경과 요구성능에 맞는 고품질콘크리트가 제조될 수 있는 배합설계를 시행하여야 한다. 또한 시공성을 확보할 수 있는 품질을 평가할 수 있도록 적절한 평가방법, 관리방법을 가져야 한다. 현재도 배합설계에서 결함요인을 제거할 수 있는 고품질콘크리트의 제조가 가능한데 실제 반영되지는 못하고 있다. 예를들면 단위결합재량을 증가시키고 물과 시멘트비를 내구적으로 내리면서 시공성을 확보하면, 중성화, 동해, 염해 등을 받지 않도록 할 수 있는 기술이 개발되어 있다. 또한 구조물은 언젠가는 내구성을 잃게 되므로 계획설계시부터 보수, 보강이 가능하게끔 계획설계가 되어야 하고 점검, 진단, 보수, 보강의 체계화가 요구된다.

3. 건축물 변상의 종류와 보수, 보강

3.1 서언

최근 신도시개발을 중심으로 한 대단위 아파트의 건설, 도시건물의 재개발 등 도로나 교량, 공항, 항만 철도 등 사회간접자본시설 개발이 활발하게 진행되는 것과 함께 건축물도 사회자본정비의 하나로 간주되고 있다. 사회자산으로서의 건축물은 내구성이나 안전성 등 기본적 성능을 구비하는 것과 함께 이것을 사용하는 사람이나 주변환경과의 조화, 친화성 등 이른바 사회환원형으로서의 요건을 구비하는 것이 필요하다. 여기서는 건축물에 사용되는 철근콘크리트의 변상 및 보수보강에 대하여 다루어 보고자 한다.

3.2 철근콘크리트의 변상

변상이란 말은 보통과는 다른 상황을 의미한다. 이전과는 다른 의미를 가지고 있다. 표 3에 철근콘크리트의 변상을 2가지로 유형화시켜 표시하였다. 그러나 2. 1에서 언급한 바와 같이 정상적인 계획, 설계, 시공이 되었는데도 변상이 발생하였다면 심도있게 검토해 볼 필요가 있다. 보통과 다른 상황인 표 3.1은 해안주변이나 한냉지 등의 지역에서 처럼 통상의 경우보다 철근부식이나 균열이 발생할 기회가 많을 때, 다량의 염분이나 반응성 물질을 함유한 골재를 사용하였기 때문에 조기노후화가 발생할 때 등의 사례로서 거론된 것이고 표 3.2는 경년과 함께 진행되는 중성화나 표면의 오염 또는 사용에 의하여 발생하는 결손이나 박리 등의 사례로서 거론된 것이다.

이러한 종래 유형중에서 몇 가지는 원점으로 되돌려 볼 필요가 있다고 생각된다. 예를들면 '중성화를 변상으로 취급할 것인가 완전하게 철근을 부식하여 균열이 발생한 상태를 변상으로 볼 것인가'와 같은 문제들이다.

표 3.1의 예에서는 다량의 염분이나 반응성 불

표 3 철근콘크리트의 변상

1. 보통과 다르게 되는 상황 (재료 본래 성질과는 다르게 된다)	2. 종전과 다르게 되는 상황 (사용하여 이상이 생긴 것)
예 :	예 :
1. 염해입자의 비산침입에 의해 생긴 철근부식, 균열	1. 경시변화에 의한 중성화
2. 동해에 의한 균열이나 조직파괴	2. 경시변화에 따른 변색 미생물부착, 오물 등
3. 온천수, 공장배기가스, 산성비 등 화학적으로 해를 받은 경우 조직파괴나 철근부식, 철근용해	3. 사용에 의해 발생된 마모 등
4. 염분을 다량 함유한 골재를 사용하였기 때문에 발생한 철근부식, 균열	4. 사용에 의해 발생된 결손 결나 등
5. 반응성 물질 등 유해성분을 함유한 골재를 사용하기 때문에 발생하는 균열	5. 철근의 부식에 의한 균열
6. 이상하게 빠른 중성화	
7. 화재를 입은 경우의 균열이나 골재의 POPOUT 중성화 등	
8. 지진재해를 받은 경우 변형이나 균열 등	
i. 누수	
ii. 마무리재료의 박리, 박락	
iii. 건축물의 기능갱신에 따른 증개축 등에 의한 조직파괴	

질을 함유한 골재를 사용하면 철근부식이나 콘크리트의 균열을 발생시키나 이것은 이상이 있는 골재를 사용하는 것에 의해 일어난 보통의 경우와는 다른 사태로서 확실히 변상으로 되지는 않는다. 그러나 오늘날 일반적으로 골재시험이 실시되지 않고, 또한 시멘트 알칼리량의 조정등이 이루어지지 않기 때문에 이것으로부터 새로운 건축물을 축조할 때 이러한 변상이 발생하는 것으로 추정된다. 특별히 빠르게 진행되는 중성화도 이와같은 양상이다.

따라서 이들에 대하여는 해안주변이나 한랭지, 산 등 부식성 물질에 노출되는 경우의 변상 또는 화재나 지진 등에 의한 변상과는 다르게 취급한다. 표 3.1 에에서는 경시변화와 함께 진행 중성화를 변상으로 부르는 것이 타당한가, 재고하는 것은 어떤가, 콘크리트는 대기중의 비나 탄산가스 등과 반응하여 표면부터 탄산화가 진행되어 나아가서는 중성에 이르게 된다. 결국 중성화된 상태가 화학적으로 안정되어 있는 것을 고려하면 중성화가 당초와는 다른 상태로 되는 것으로서 변상이란 범주에 넣을 수 있다. 중성화는 당연히 진행되지만 재료구성이나 시공, 양생방법 등에 고려하여 중성화의 진행을 지연시키는 노력을 기울여 콘크리트를 제조하는 것이 일반 시공·실개사의 강한 바람이다. 그러나 배합설계에서 중성화 억제($\sigma_{\text{SK}} = 500\text{kgf/cm}^2$ 에서는 촉진시험결과 중성화가 진행되지 않는다는 연구결과도 있음)을 위한 고품질 콘크리트 제조가 가능하다.

중성화는 중성화에 의하여 철근이 부식 균열을 발생시키는 2차적 결함을 발생시키므로 기존의 철근콘크리트의 건축물에 대하여 중성화 진행상황을 파악하여 중성화 관점으로부터 잔존수명을 검토할 필요가 있다.

마무리재료는 중성화 속도를 억제하는데 상당한 효과가 있는 것으로 연구결과가 발표되었다. 마무리재료의 박리박락은 건축물의 내구성을 저하시키고 외관을 손상시킨다. 이를 방지하기 위해서는 바탕콘크리트와 마무리 모르타나 타일과의 접착성을 확보하는 것이 필요하므로 가혹한 기상 조건에서도 공사담당자는 정확한 공사를 목표로 노력하여야 한다.

3.3 사회자본으로서 건축물 변상의 다이호로지 와 보수보강

건축물이 양호한 사회자본으로서 존재하기 위하여 대개 표 4에 표시한 것과 같이 기본요건을 갖추는 것이 필요하다. 사회자본으로서의 건축물은 내구성이나 안정성, 오랜기간 변함없이 주변과 조화된 경관을 가지는 것은 물론 건축공간이 사회생활이나 활동을 하는데 충분하게 기능적이고 사람

표 4 건축물의 사회자본으로서 기본요건

1. 건축물이 구비하여야 할 기본요건	① 내구성 ② 안정성 ③ 경관성
2. 기능성, 친인간성	④ 호감성 ⑤ 가변성
3. 경제성	⑥ 타당한 TOTAL COST
4. 환경성, 지구환경	⑦ 자원효율성 ⑧ 에너지절약 ⑨ 환경오염방지

표 5 건축물의 사회자본으로서 기본요건 -고려하여야 할 항목-

범주 (표 4와 대응)	고려하여야 할 항목
① 내구성	○오래 가아할 구조를 축조
② 안정성	○일정품질의 것을 안정적으로 공급한다 ○내진성 등 구조안정성을 부여한다
③ 경관성	○자연경관이나 가로경관과의 조화된 설계
④ 호감성	○사람에게 좋은 감을 준다. 사람에게 온화한 대외장재를 사용 ○마음에 여유를 주도록 분위기 좋은 배치
⑤ 가변성	○사회경황에 대응한 기능을 향상할 수 있도록 설비기기의 갱신사에 증개축이 용이하도록 한다
⑥ TOTAL COST	○INITIAL COST, RUNNIG COST를 타당한 것으로 한다 ○LCC계획을 충도록 한다 ○유지관리나 보수가 쉽도록 한다
⑦ 자원절약형	○지구자원, 자연환경의 보호를 위한 자원절약형 시공을 도모한다 ○해체후 재료 RECYCLE율을 높인다 ○타분야에 폐재이용에 대하여 고려한다
⑧ 에너지 절약형	○사람의 생리기능에도 잘맞추어 PASSIVE공조 도입이나 태양열 이용을 도모
⑨ 환경오염방지	○재료나 공해 제조시 건축물 축조시, 사용시에 탄산가스 기타유해 가스를 많이 배출하지 않도록 노력한다. ○한번 만든 것을 오래 사용도록 한다(①과 관련) ○폐재의 처리에 대하여 고려한다.

※ ①~⑤가 만족되면 사회자본으로서 가치가 높게 된다. ⑥~⑨는 건물에 대한 평가항목으로 고려된다.

표 6 건축물에 사용되는 철근콘크리트의 변상
-사회자본의 관점

범주	변상종류	분류*
1. 내구성	○소정의 내용기간 표 3에 표시한 것과 같은 상황에 이르면 사용할 수 없게 된다	I, II
2. 안정성	○저품질콘크리트를 제조하였기 때문에 발생 ○내진성 등 구조물의 안전성을 결여시켰기 때문에 발생	I
3. 경관성	○표 3에 나타난 ②③④ 등이 발생한다 ○밝은 주변환경에 맞추지 않은 설계 시방	I, II
4. 호감성	○공간 구성상 압박감이 있음. 먼지가 들어 어는 등 좋지 않은 것들을 조성시킴	I
5. 가변성	○건축물으로서 기능갱신시 대규모적인 또는 구조결함부를 만들어 해체공사가 수 반됨 ○충고가 낮아 기능갱신이 될수 없다	I, II
6. TOTAL COST	○유지관리에 비용이 많이드는 고품질품에 가 까운 콘크리트	I, II
7. 자원절약형	○시공시에 폐재가 배출됨 ○해체후 RECYCLE율이 낮음	I
8. 에너지 절약형	○콘크리트가 분해가지는 양호한 단열효과 를 가지지 못한 설계	I
9. 환경오염방지	○환경을 오염시키는 생태계를 파괴시키는 이것을 가진 도로나 바름재를 사용 ○해체후 RECYCLE율이 낮음	I

※ I : 보통과는 다른 상황, II : 종전과는 다른 상황

의 마음에 들도록하는 것이 바람직하다. 지구환경 오염을 가능한한 방지하는 것 또한 그 사명이다. 물론 이러한 요건을 겸비하는 것으로부터 시작하여 건축물의 계획, 설계, 시공, 사용시에 관련된 경비가 적게 사용되도록 하는 것도 필요하다. 건축물을 사회자본으로서 존재시키기 위하여 이와 같이 많은 것이 배려되어야 한다. 결국 건축물의 변상에 대하여 고려할 경우 폭넓은 관점으로부터 검토하여야 한다.

그림 8에 건축활동의 각 단계에 있어서 정보의 상호 피드백시스템도형을 도시하였다. 사회자본으로서 건축물에 대하여 고려할 경우는 종래 설계 단계, 시공단계, 상류, 하류의 발상을 바꾸어 각 단계에 있어서 정보를 상호 피드백시켜 건축물을 창출시키는 방법을 도입할 필요가 있다. 피드백시스템과 표 4와의 관계를 그림 8에 함께 나타내었다. 표 5는 표 4에 표시한 요건에 있어서 고려할 항목을 나타낸 것이다.

사회자본으로서 건축물을 취급할 때 그 변상에는 표 6에 표시한 것과 같은 종류가 있다. 표 6에 표시한 변상을 발생시키지 않도록 하는 것은 양호

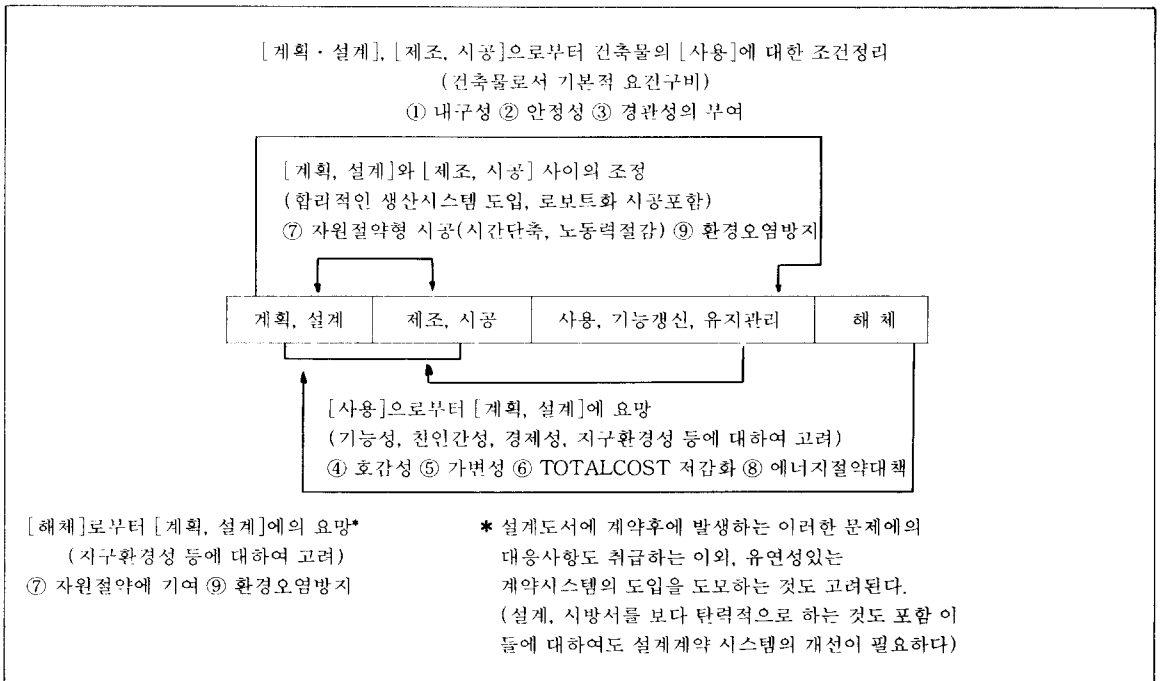


그림 8 건축활동의 각 단계에서 정보 피드백시스템

한 사회자본으로서 건축물을 축조할 경우 그 기본이 되는 것으로 판단된다.

표 7에 건축물의 변상에 대응한 보수, 보강의 요점이 되는 것을 표시하였다. 표 3에 표시한 종래 철근콘크리트변상은 내구성, 안정성, 경관성에 관계되는 범주에 대개 포함된다.

호감성, 가변성이란 건축물에 사회적 경향에 알맞는 기능을 부여하여 사람의 심성을 풍요롭게 하는 것을 기본요건으로 한다. 특히, 기능의 갱신을 위한 설비기기류나 배관류를 교체할 때는 그림 9에 도시한 것과 같이 보통 주요구조 부재콘크리트를 쪼아내 철근을 노출시켜 여기에 관류를 설치하는 것이다. 이것은 건축물 전체의 내구성이나 안정성을 크게 손상시키는 것이므로 이러한 공사를 시행하지 않아야 한다. 건축물을 계획설계시부터 미리 유지관리나 갱신이 용이하도록 계획, 설계, 시공할 필요가 있다. 참고로 그림 10에 가변건축모델을 도시하였다. 기둥이나 보, 슬래브는 고정적으로 하고 칸막이나 천정, 설비류 특히 목욕탕이나 화장실, 부엌 등은 용이하게 갱신될 수 있

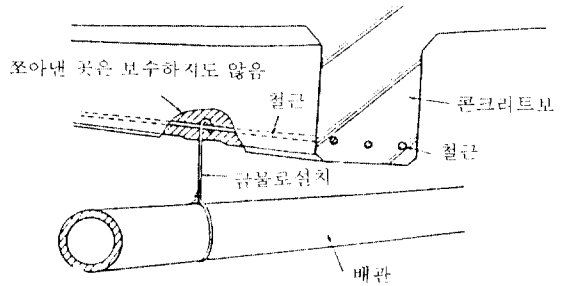


그림 9 설비배관, 부대공사를 위한 기존 철근콘크리트보를 쪼아내 노출된 철근에 금물로 설치한 예

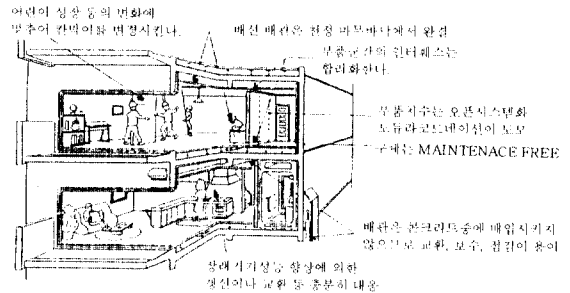


그림 10 가변성이 고려된 건축모델

표 7 건축물에 사용된 철근콘크리트 변상에 대한 보수보강(표 6에 대응)

범 주	변상방지	보수, 보강	범 주	변상방지	보수보강
① 내구성	<ul style="list-style-type: none"> 표 3에 표시할 4, 5, 6이 없도록 주의한다 표 3의 1, 2, 3, 7에 대한 저항성을 높인다 표 3의 i, ii를 발생시키지 않도록 설계한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 표 3의 1~6 i, ii이 없도록 ①~⑤가 예 측보다 조기에 발생하지 않는 재료를 사용 변상이 발생한 경우 정도에 따라서는 해체한다 	⑥ TOTAL COST	<ul style="list-style-type: none"> 특히 설비기기류나 배관에 대하여 점검이 용이한 구조로 한다. 될 수 있으면 보수가 불필요한 구조로 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 상동 점검이 용이한 구조로 개조한다.
② 안전성	<ul style="list-style-type: none"> 상동 특히 표 3의 8에 주의한 설계로 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 상동 보수용 재료, 보수개소의 마무리 재료의 적절한 선택 보강공법의 적절한 선택 	⑦ 자원절약	<ul style="list-style-type: none"> 자원비축형으로 된 구조로 한다. 건설폐재량을 적게 한다. 	
③ 경관성	<ul style="list-style-type: none"> 미생물 등이 부착하지 않고 더럽혀지지 않도록 마무리 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 주로 마감재에 의한 REFRESH 	⑧ 에너지절약	<ul style="list-style-type: none"> 기밀성, 축열성을 높이는 구조로 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 기밀성, 축열성을 높이는 구조로 개조한다.
④ 호감성	<ul style="list-style-type: none"> 될 수 있으면 압박감이 없는 설계 	<ul style="list-style-type: none"> 구조 안전성에 대하여 확보되지 않는 것으로 부터 부분개조 	⑨ 환경오염방지	<ul style="list-style-type: none"> 개개 구성재료를 제조할 때 CO₂ 배출량을 억제하도록 노력한다. 환경오염이 있는 마부리 재료를 사용하지 않는다. 해체시 폐재의 적정처리 도모 	-
⑤ 가변성	<ul style="list-style-type: none"> 상동 표 3의 iii을 고려 칸막이나 상하방향 가변 시스템을 도입 	<ul style="list-style-type: none"> 상동 			

는 구조로 할 필요가 있다.

최상계의 보수양부는 접착제의 강하고 약한데 좌우된다. 그러나 처음부터 박락되지 않도록 하는 것이 중요하다.

페인트는 거듭 바름으로써 건축물 외관의 중후성을 높히게 된다. 최초로부터 정기적으로 거듭 바름을 하는 것도 하나의 방법이다.

건축재료 해체후 재료, 부재, 부품의 리사이클(recycle)에 대하여 고려하자면 이것도 큰 과제중의 하나이다. 미리 리사이클이 가능한 어떤 블록 모양 또는 분체상으로 해체되는 건축물을 구성하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 산업폐기물의 재이용이 각 방면에서 시행되고 있고 건축분야에서도 석탄재나 배탈석고 등 타산업에서의 폐기물을 재이용하는 것이 행해지고 있으나, 해체건축물로부터 배출되는 폐기물을 타산업에 재이용시키는 것을 건축측으로부터 제한하는 것도 관련 공사 계획과 연계하여 체계적인 연구와 병행이 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

철근콘크리트 구조물은 토목, 건축뿐만 아니라 모든 사회자본구조에 필수적으로 요구되는 소재이다. 최근 국내외를 막론하고 콘크리트구조물의 시공성, 내구성 문제가 안전성까지 미쳐 사회적으로 문제시되고 있다. 이는 여러 가지 문제점을 안고 있지만, 우선 콘크리트를 구성하는 주재료인 골재(산골재, 굵은골재)가 자연산의 고갈로 인하여 산골재의 경우 입도가 불량하고 해사의 경우 염분제거가 문제시되고 굵은골재의 경우 입도, 알칼리골재반응 등도 문제화되고 있다. 한마디로 골재의 저품질화이다. 또한 사회여건은 고도산업사회화, 고도정보사회화로 이행되면서 소득증대에 따른 3D업종 기피현상으로 기계화에 의하여 콘크리트가 제조(부순돌 생산, 레디믹스트콘크리트비법, 펌프카타설 등)되고 콘크리트의 품질이 요구되는데, 현재 콘크리트 배합설계 시공은 고전적인 방법을 그대로 답습하는 상태로 목표강도, 목표내구성, 목표시공성을 확보하지 못하므로 콘크리트 품질이 사회적으로 까지 문제시되고 있다. 이는

정책, 제도, 기술이 사회적 변화에 대응하지 못하는 원인을 제공한 것이다. 그러나 기술적으로는 여건변화에 따른 목표품질을 확보하는 것이 가능하다. 특히 고품질콘크리트의 제조가 가능하며, 현재 가장 문제가 되는 시공성 확보는 고성능감수제의 개발, 혼화재의 개발에 힘입어 가능하게 되었다. 문제는 정책이나 제도가 변화에 따라주어야 한다는 것이다. 또한 관련 기술자들 스스로의 의식과 개념도 바뀌어야 한다.

원고청탁을 받고 선진국들의 콘크리트분야 기술을 수집, 검토한 결과, 최근 논의 되고 있는 우리나라의 보수, 보강문제와는 기본적인 개념이 다르다는 것을 인식시킨다는 의미에서 받아들였다.

콘크리트구조물의 보수 보강은 원래의 콘크리트구조물이 계획, 설계, 시공, 유지, 관리가 합리적으로 이루어졌을때 가능한 수단이지, 기본적으로 결함이 있는 콘크리트구조물의 보수, 보강은 불가능하며 콘크리트구조물은 반영구적인 내구성을 갖도록 계획, 설계, 시공이 가능하지만 인젠가는 내구성을 잃게 되므로 계획, 설계, 시공시부터 보수, 보강을 전제로 한 개념도 도입되어야 한다. 새로 건설되는 콘크리트구조물은 이러한 개념이 도입되어야 할 것으로 판단된다. 개별 보수보강공법은 대상을 정확히 파악하고 원인을 분석하여야 하기 때문에 콘크리트구조물의 보수, 보강에 대한 총론적인 면에서 일본의 보수, 보강에 대한 개요를 소개한다. 부족한 점은 기회가 있으면 보완키로하고 관련 기술자들의 이해를 바라는 바이다.

參 考 文 獻

1. Schiessl, P. : Repair Strategies for Concrete Structures Damaged by Steel Corrosion, Proc. of RILEM Symposium, 1992. 8, pp. 1~21
2. Miyagawa, T. : Durability Design and Repair of Concrete Structures ; Chloride Corrosion of Reinforcing Steel and Alkali-Aggregate Reaction, Magazine of Concrete Research, Vol. 43, No. 156, 1991. 9, pp. 155~170
3. 維持管理調査研究部會 : 콘크리트標準示方書 「維持管理編」의 構想, 콘크리트라이ブラ

- り-70, 土木學會, 1991. 9, pp. 277~302
4. 樹脂ライニング業會コンクリート委員會：既設コンクリートの劣化現象と要因, 委員會資料, 1993. 1
 5. 日本コンクリート工學協會：コンクリートのひびわれ調査, 補修・補強指針, 1992. 6
 6. たとえば, 宮本文穂：損傷の評価, コンクリート構造物の損傷評価と補修, 第12回材料講習會, 材料學會, 1989. 12, pp. 149~172.
 7. 土木學會：コンクリート標準示方書(平成 3年版) 施工編, 1991. 9
 8. 宮川豊章・合川聖二郎・井上 晋・藤井 學：コンクリート構造物用 樹脂ライニングのひびわれ追従性, 土木學會論文集, No. 422/V.-16. 1992. 2, pp. 137~146
 9. 宮川豊章：樹脂；用途がひろがる補修・補強材料, 土木學會誌, Vol. 70, No. 11, 1985. 11, pp. 43~47
 10. 阪神高速道路公團・日本材料學會：コンクリート構造物の表面保護工便覧(案)・同解説, 1989. 3
 11. 宮川豊章：コンクリート構造物の鹽害とアルカリ骨材反應, 最近のコンクリート技術と話題, 日本材料學會關西支部, 1989. 6, pp. 64~82.
 12. 日本コンクリート工學協會 防食研究委員會：鐵筋腐食による損傷を受けたコンクリート構造物の補修技術-技術の現状-, 1989. 1
 13. 宮川豊章・出村克宣：Plyomers in Concrete-新しい動向-3. 鐵筋コンクリート構造物の塗装・補修材としての利用, 材料, Vol. 41, 1992. 10, pp. 1581~1587
 14. 日本コンクリート工學協會 アルカリ骨材反應調査研究委員會：アルカリ骨材反應調査研究委員會報告書, 1989. 7
 15. 宮川豊章・久田 眞・井上 藤井 學：コンクリートの表面處理によるASR膨張の抑制効果について, コンクリート工學論文集, Vol. 2, No. 1, 1991. 1, pp. 135~148
 16. たとえば, 武若耕司：コンクリート構造物における電気防食法の現状, コンクリート工學, Vol. 30, No. 8, 1992. 8, pp. 16~27
 17. Varn den Hondel, A. J. and Polder, R. B. : Electro-Chemical Realkalisation and Chloride Removal of Concrete, Construction Repair, Vol. 6, No. 5, 1992. 9/10, pp. 19~24
 18. 上田隆雄・服部篤史・井上 晋・宮川豊章・藤井 學・芦田公伸：テサリネーションが鐵筋の付着舉動に與える影響, 土木學會關西支部年次學術講演概要, V-24-1~2, 1993. 5
 19. 藤井 學・宮川豊章：PCグラウト充填状況の非破壊探査法, 土木學會論文集, No. 402/V-10, 1989. 2, pp. 15~26
 20. たとえば, 飯野忠雄・風間 徹・荒川敏雄：外ケーブル方式の有用性と適用性について, PC構造物の供用性と耐久性の向上, プレストレストコンクリート技術協會, 1993. 2, pp. 51~73
 21. 吉田眞樹・岩本 勲・服部篤史・宮川豊章・藤井 學：連續纖維補強材のアルカリ耐久性, 土木學會關西支部年次學術講演會講演概要, V-12-12~2, 1993. 5
 22. 宮川豊章・尼崎省二・松村英樹・權・鈴木達彦・宮本文穂：維持管理, コンクリート構造の設計・施工の基本(施工編), 土木學會關西支部, 1992. 10, pp. 355~391
 23. 日本コンクリート工學協會：コンクリート構造物の補修工法研究委員會報告書, 1992. 10
 24. 日本材料學會 コンクリート工事用樹脂委員會：コンクリート構造物の補修, 補修用樹脂小委員會資料, 1993. 3
 25. 仝野紀元：鐵筋コンクリート造構造物の耐久性, 鹿島出版會, 1987. 2
 26. 建設省建築研究所：建築經濟研究室資料, 1992
 27. 仝野紀元：建築と新素材, 鹿島出版會, 1987. 7
 28. 仝野紀元：美しい環境をつくる建築材料の話, 彰國社, 1992. 2
 29. コンクリート工學協會：コンクリート工學, Vol. 31, No. 7, 1993. 7
 30. 建設圖書：補修, 補強の新技术 橋梁と基礎, 94. 8
 31. 總合土木研究所：明石海山來大橋の基礎工, 1993. 5
 32. 仝野紀元：鐵筋コンクリート造建築物の耐久性 CEMENT CONCRETE No. 578(1995. 4)
 33. 坂井悦郎, 大門正機：セメント系 補修材料の現況 CEMENT CONCRETE No. 581(1995. 7) 