

콘크리트구조물 유지관리를 위한 U-City(유비쿼터스 정보단지)의 활용

Application of U-City for Concrete Structures Maintenance



한상훈*

Sang-Hoon Han



정동회**

Dong-Hoe Jung

1. 콘크리트 열화와 구조안전, 그리고 U-City

19세기 포트랜드시멘트(portland cement)의 발명 이후 유럽에서부터 출발한 콘크리트의 역사는 기존의 목재와 석재중심의 건설구조재료에서 획기적인 변화와 함께 보편화되어 왔다. 이로 인하여 20세기는 그야말로 콘크리트의 전성기였으며 관련된 보강신재료와 신공법은 콘크리트의 역사를 한 단계 진화시켰다. 그러나 20세기 후반부에 들어서면서, 이렇게 구축된 콘크리트구조물은 설계 및 시공상의 결함으로 인하여 대형사고가 뒤따랐고, 내부성분의 변화나 풍노화가 진행되면서 애초의 성능을 발휘하지 못하고 안전의 위협요인으로 등장하기 시작했다. 국내의 대표적인 사례로 성수대교 붕괴사고와 삼풍백화점 붕괴사고를 들 수 있다. 이러한 2건의 연속된 대참사로 콘크리트구조물에 대한 안전성 문제가 본격적으로 대두되었고, 그 원인에 대한 연구 활동 특히, 콘크리트 열화 메커니즘에 대한 다양한 연구가 진행되었다. 또한, 콘크리트 열화상태의 진단 및 구조안전진단을 위한 신기술의 등장과, 다양한 측정 장비는 진단기술발전을 자극하였으며, 제도적인 측면에서는 성수대교 붕괴사고를 계기로 1995년 1월 5일에 공포된 시설풍법(시설물의 안전관리에 관한 특별법)의 보완 및 1987년도에 공포되고 시행중이던 건기법(건설기술관리법)의 대폭 수정보완을 불러왔다.

한편, 이러한 과정에서 건설공학 내부에서는 또 다른 커다란 변화가 진행되고 있었다. 그것이 바로 U-City의 등장이다.

초기의 건설공학에서는, 역학, 물리학 등이 과학이론적인 뒷받침을 하였음은 말할 필요가 없다. 즉, 건설공학의 발생초기로 간주되는 메소포타미아 문명의 지구라트나 이집트 문명의 피라미드 같은 거대한 석조물들은 힘의 균형을 바탕으로 면밀한 구조역학적 분석을 통하여 건축되었다. 이러한 건설공학은 중세시대를 거

치면서 운하와 도로, 대규모 집합건축물 등의 건설이 활발해지면서, 이에 뒷받침되는 과학이론의 발견과 기계장치 등의 발전을 자극했다. 또한 산업혁명을 거치면서 과학기술은 인류역사상 가장 중요한 혁명적 진화를 거치게 되었고 전기의 보급에 따른 자동화된 기계장치, 가공할만한 파워를 가진 건설장비의 등장은 건설분야의 지평을 전혀 다른 차원으로 끌어올렸다. 인간의 사회문화적 삶의 향상이라는 건설공학의 가치기준은, 구조물 하나하나에 대한 개념에서 벗어나 주거단지의 생활편의시설(조명, 수리시설, 근린생활시설 등)의 건설 및 자연환경과의 조화가 중심적인 과제로 들어섰으며, 1980년대부터 급속히 발달한 컴퓨터의 등장은 생활편의를 위한 건설공학적 과제수행방법에 있어서 일대 혁명을 초래하였다.

즉, 건축 및 토목설계에 있어서 CAD(computer aided drawing ; 컴퓨터 도면설계)가 도입되었으며, 컴퓨터를 통한 대형건설장비의 원격제어가 가능하게 되었다. 더 나아가 하수, 우수, 우수 및 도시가스, 난방배관 등의 지하매설관로에 대한 과학적인 관리시스템인 FMS(facility management system ; 시설물관리시스템)가 도입되었고, 전기, 조명장치에 대한 컴퓨터 조절장치가 도입되었다.

그런가하면, 주차관제와 출입통제를 위하여 소형미니 컴퓨터 칩으로 구성된 RFID¹⁾가 도입되었고, 요소요소에도 도로소통 상황 파악 및 재난감시, 안전, 방법용 CCTV가 설치되었다. 그뿐 아니라 자연생태환경 구축을 위한 센서가 도입되었고 기상정보 등 다

1) RFID(Radio Frequency Identifier) ; 라디오파인 공용저주파 기반 전자식별자. 슬라이드 필름에 슬림안테나와 칩이 내장된 RFID태그는, 1990년대 중반에 이미 출입카드나 주차카드로 제한적으로 사용되었으나, 최근에 들어와서는 그 활용범위가 넓어짐에 따라서 하드웨어나 소프트웨어 분야에서 괄목할 만한 진보가 이루어진 매체. RFID태그는 인식거리가 긴 active 타입(배터리내장)은 3년 정도 사용가능하며, RFID리더기의 전파를 반송하는 방식의 passive 타입은 비록 인식거리가 짧은 단점이 있으나 반영구적으로 사용가능하다.

* 정회원, 충북대학교 토목공학부 교수
shhan@chungbuk.ac.kr

** 삼차원공간기술(주) CEO

양한 정보를 요소요소에 설치된 출력장치를 통하여 제공하게 되었다. 물론, 이러한 정보들은 홈네트워크를 기반으로 각 가정에 공급된다.

이러한 새로운 개념의 도시환경은 이른바 유비쿼터스(ubiquitous)²⁾ 건설정보단지라는 주제로 구축되는데, 이것을 일명 'U-City' 라고 부른다. U-City 즉, 유비쿼터스 건설정보단지 구축은 소규모의 아파트단지에서부터 대규모의 신도시 구축에 이르기까지 보편적이기도 일반적인 과정으로 등장하게 되었다. 이것은 컴퓨터의 등장에 따른 혁명적 변화의 하나로서, U-City가 건설공학의 중심과제로 들어섰음을 의미한다. 이러한 U-City는 궁극적으로는 거주민을 위한 정보인프라로서 귀결되지만, 일반건축물 및 토목구조물의 시공단계별로 유지, 관리를 위한 시스템을 포함하고 있으며, 또한 사후 유지, 관리시스템으로 기능하게 된다.

본 소고에서는, 이렇듯 건설공학의 중심과제로 들어선 'U-City'에 대하여 그 개념과 구성내역을 살펴보고, 'U-City'를 시공단계와 완공이후의 콘크리트구조물의 점검, 유지, 관리에 활용하는 방안에 대하여 고찰한다.

2. U-City의 개념과 시공단계별 관리시스템

2.1 U-City의 개념과 추진현황

'U-City'를 그대로 직역하여 개념적으로 설명한다면 "유비쿼터스 컴퓨팅 환경을 기반으로 시스템화 된 도시"를 말하며, 이는 시민과 거주민 한 사람 한 사람을 위하여 존재하는, 지능화된 도시 인프라와 정보시스템을 의미한다. 따라서 'U-City'의 구축으로 인하여, 시민과 거주민 각개인은 도처에 구축된 정보시스템의 혜택을 인지하지 못한 상태에서 자연스럽게 누릴 수 있다.

이러한 'U-City' 개념은 2005년 말부터 건설IT분야에서 언급되어 왔다. 그러나 이제까지는 대부분 일정구역 내 유무선의 Macro통신망(실외의 광역통신망을 의미) 설치와 이를 건물구내의 Micro통신망과 연계하는 것, 혹은 홈네트워크의 확장된 개념으로 대중 이해되었다. 그러던 중 구체적이고도 실천적인 의미에서의

2) Ubiquitous(유비쿼터스) : '도처에 널려 있다', '언제 어디서나 동시에 존재한다'라는 라틴어에서 유래. 언제, 어디서나, 누구라도 컴퓨터와 네트워크를 통해 손쉽게, 편리하고, 안전하게 이용할 수 있는 환경을 의미. "미래 사회는 컴퓨터들이 현실 공간 전반에 걸쳐 편재되고, 이들 사이는 유무선 통신망을 통해 이음새 없이 연결되어 사용자가 필요로 하는 정보나 서비스를 즉시 제공해주는 환경으로, 유비쿼터스 컴퓨팅과 유비쿼터스 네트워크의 결합 그리고 NT(nano technology), BT(bio technology) 와의 거대융합이 가져다 줄 차세대 IT 혁명으로서의 사회 경제전반에 걸친 총체적인 변혁을 말한다."(유비쿼터스의 제창자 Mark Weiser - Xerox)

'U-City'는, 2006년 후반기에 관교신도시 아파트 시공을 시작으로 본격적으로 거론되기 시작하였다. 즉, 여기에서는 기본통신인프라 뿐만 아니라 시공단계별 소요시스템이 체계적으로 제기되었고, 최종적인 거주민을 위한 정보시스템이 망라되고 홈네트워킹과 연계가 제안되었다.

2.2 U-City의 시공단계별 구축내용과 콘크리트구조물 유지보수 관리

'U-City'는 크게 세 가지 부분 즉, USP작성(마스터플랜작성 등 기본계획수립과정)과 시공단계별로 소요되는 시스템구축, 그리고 최종적으로 완성된 형태의 유비쿼터스 정보단지로 구성된다. 그러나, 이러한 'U-City'전체에 대한 설명은 매우 광범위한 내용이므로 여기에서는 그중의 두 번째 구성요소인 시공단계별 시스템만을 언급하고자 한다. 또한, 이러한 시공단계별 시스템을 콘크리트구조물 유지관리로 활용할 수 있는 방안을 제시한다.

2.2.1 시공단계별 관리시스템의 구성

아파트단지나 기업도시와 같은 대규모집적시설은 건축 및 토목 구조물의 시공 단계별로 세부적인 공사과업을 가지고 있으며, 또한 매 단계별 긴밀히 연관된 복합적인 동시공사과업을 가지고 있다. 'U-City' 구축은, 당연히 이러한 시공단계에 대응되는 단계별 사업과제를 안고 있으며, 이를 효율적으로 관리할 수 있도록 하는 설계검증을 위한 시스템, 좌표화 시공 및 GIS기반 시설물관리시스템(FMS), 공사이력관리 및 하자보수를 위한 시스템 그리고 유비쿼터스 네트워킹의 단절감사와 응급복구를 위한 시스템이 필요하다.

2.2.2 U-City 시공단계별 관리시스템의 콘크리트구조물 유지관리 활용

콘크리트구조물의 유지관리는 궁극적으로 구조물의 성능을 지속적으로 유지하고 안전성을 확보하는데 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 유지관리에 U-City의 시공단계별관리시스템을 활용하고자 한다면, 시공단계별로 구조적, 환경적, 재료적 측면의 데이터를 별도로 구축하고 이를 구조물 안전진단 및 유지관리 자료로 활용하는 것이다.

1) 설계검증을 위한 시스템의 활용

다분히 U-City의 소요시스템에서는 외형적인 설계, 이를테면 환경분석(일조권, 조망권, 사생활침해등)이나 조정현황, 도로정책, 지하매설관로 정책 등의 분석에 맞추어져 있다. 그러나 이 시스템은 콘크리트구조물의 내부결함을 사전에 추적하는 데에도 도움이 된다. 이를테면, 지반상태정보나 인근구조물로 인한 외적요인, 육안으로 1차 평가되는 건축물의 구조적 하중요인 평가 등은

가능하다. 따라서 U-City의 설계검증을 위한 시스템은 콘크리트 구조물의 1차 평가자료로 활용되고, 이것은 요소요소에 설치되는 RFID태그와 연계하여 건축구조물 진단자료 DB로 구축할 필요가 있다.

2) 공사이력 및 하자보수를 위한 관리시스템의 활용

RFID를 이용한 공사이력 및 하자보수 DB 구축은 콘크리트 구조물의 유지보수관리체계 구축과 직결된다고 볼 수 있다. 그러나 U-City의 이 시스템의 확장활용에 있어서는 콘크리트구조물의 유지관리를 위한 관리 DB를 보다 세부적으로 구축할 필요가 있다. 즉, 콘크리트의 열화메커니즘에 의거한 추적가능한 데이터베이스가 요구되며, 이것은 콘크리트 자체의 열화요인으로서 모래나 자갈 등 골재의 채취지와 염도, 배합설계자료, 하중 등 균열요인자료, 콜드조인트의 유무, 처짐, 골재노출 등으로 인한 보완공사 상세기록, 세공용액으로 인한 공극의 상태자료, 수축과 팽창의 반복이 예상되는 실외노출 콘크리트의 두께와 철근과 간격 등이며, 또한 철근의 부식으로 인한 열화를 추적하기 위하여 철근의 초기상태 및 시공 시 콘크리트 피복상태에 관한 자료 등이 요구되며, 이것은 앞서 구축한 철근부식과 직결되는 물과 시멘트의 배합자료, 모래 등 골재의 열화물 상태자료 등 콘크리트자체의 열화요인자료 DB와 연계하여 수록될 필요가 있다.

3) 모바일 관리시스템의 활용

U-City 시설물관리시스템에서는 정보조회 및 입력수단으로서 PDA 등 모바일시스템이 도입되고 있다. 여기에서는 공통적으로 GPS(지구측위시스템)와 RFID리더가 내장되어 있으며, 기본 데이터로는 UTM(세계측지좌표계)으로 위상처리 된 시공 및 준공도면이 운영된다. 이러한 모바일시스템은, 콘크리트구조물의 유지관리를 위한 시스템에도 활용될 수 있다. 즉, 데이터조회 시에도 이동환경에서 가능하며, 상세한 데이터입력 역시 관리요원 및 안전진단요원의 손에 쥐어진 PDA 등을 통하여 가능하다.

3. '열화메커니즘' 제어수단으로서 U-City

이렇듯, U-City의 시공단계별 시스템은 콘크리트구조물의 유지관리에 활용될 수 있다. 그러나 콘크리트구조물의 유지관리라는 테마 자체가 그리 단순하지는 않다. 그 핵심적인 이유는 그 중심에 매우 복잡하고 광범위한 열화메커니즘이 자리 잡고 있기 때문이다. 이러한 열화메커니즘은 시공시의 하자로 인한 요인도 있지만, 내부적인 화학반응 및 주변환경으로 인하여 장기적으로 발생하는 것도 있으며, 또한 하중, 화재로 인한 열 등의 물리적 요인에 의한 것도 있다. 한편, U-City라는 건설정보단지의 내제적인 목표 역시 구

조물의 지속적인 유지와 안전에 맞추어짐은 말할 필요가 없다. 따라서 이러한 근본적 목표의 일치 속에서 기존의 U-City테마를 콘크리트구조물의 유지관리 측면에서 재해석하고 보다 체계적으로 접근할 필요가 있다.

3.1 U-City 구축상의 시공이력관리, 하자관리를 통한 열화 메커니즘 제어

콘크리트 열화의 주요한 원인중의 하나가 바로 시공과정에서 발생한다. 이를 위해서는 시공과정에서부터 공사이력관리와 하자관리를 행하고 이를 데이터베이스로 보존하는 것이 효과적이다. 따라서 먼저 설계도면에 대한 세부적인 점검과 구조역학적 분석을 행하고 그 결과를 레포팅한다. 또한 모래 등 골재와 시멘트재료 및 철근에 대한 데이터기록이 필요하며, 시공과정에서의 이력관리, 이를테면 배합비율과 철골이음용접, 콜드조인트 유무, 공극의 상태와 수분존재 등에 대한 기록이 요구되며, 보완공사가 이루어졌을 시에는 이에 대한 상세한 정보가 요구된다.

이러한 이력관리 및 하자관리가 제대로 이루어졌을 때, 이것은 사전보존(예방)을 위한 초기점검의 보충자료로서도 큰 의미를 가질 수 있다. 즉, 완공 후에 준공을 위한 초기점검시의 자료, 이를테면 골재노출과 처짐의 유무 및 타일박락 유무 등 육안조사자료, 비파괴시험자료를 포함한 기본조사자료, 열화측정기구를 통한 정밀조사자료 등의 작성 시에 1차로 참조되며, 구조안전진단기관의 초기점검 보고서도 이러한 시공이력관리, 하자관리를 백데이터로 삼아 작성될 수 있다. 이렇듯, 시공하자관리 및 이력관리데이터는 사후 열화메커니즘의 추적에 있어서, 그리고 구조물의 지속적 안전관리를 위한 점검에 있어서 매우 중요한 역할을 수행할 것이다. 이를 위해서는 U-City의 RFID기반 시설물관리체계를 개선하여 데이터베이스를 확장한다.

3.2 U-City 과업에 있어서 시설물유지관리체계 도입을 통한 상시적 열화상태 점검

U-City에 있어서, 콘크리트구조물의 상시적인 구조안전진단 및 열화상태 관리는 포함되어 있지 않다. 그러나 이러한 사후관리는 콘크리트구조물의 안전성확보에서 대단히 중요한 것임은 말할 필요가 없다.

따라서 U-City의 시설물유지관리시스템에 준공 후 구조안전관리개념이 도입되고 점검체계가 엄밀히 시행될 필요가 있으며 이것은 안전관리법률에 따른 조치이기도 하다. U-City의 시설물유지관리시스템에서는 구체적으로 점검절차(일상점검, 정기점검 및 임의점검, 상세점검)를 명시하여야 하며, 필요시 콘크리트 내부 혹은 외피에 설치되는 초음파센서, 적외선센서 혹은 최근의 신기술로 제

안되는 광섬유센서등 상시적인 안전관리 센서네트워크를 구축하여야 한다.

3.3 USP 작성에 있어서 지속적인 열화상태 진단 및 보수, 보강공사 수립

USP 즉, U-City 기본계획수립에 있어서 콘크리트구조물의 구조안전진단결과에 따르는 보수보강공사 메커니즘이 확보되어 있어야 한다. 이러한 보수보강공사를 위하여서는 안전점검의 결과를 보수보강공사에 적용되도록 세부적인 열화측정장비 및 점검기술에 대한 채택과 열화상태 진단결과에 따르는 보수, 보강공사 계획이 구체적으로 명시되어야 한다. 이러한 U-City 기본계획 작성에서 열화단계에 따르는 보수보강공사 계획수립은 콘크리트구조물에 대한 지속가능한 안전성 확보를 보장한다.

3.4 U-City 과업상의 열화메커니즘 추적결과의 체계화 및 반영

U-City는 종합적인 건설정보단지를 의미한다. 즉, 콘크리트구조물의 이력 및 하자보수관리정보와 상시적인 시설물안전관리체계, 그리고 열화상태에 따르는 보수보강체계를 데이터베이스화하고 필요시 센서네트워크로 상시감시망을 구축한다. 또한 타지역, 타종류의 콘크리트 열화메커니즘에 따른 정보를 인입하고, 이렇게 구축된 시설물안전관리망은 이벤트 즉, 박라이나 균열 등의 열화현상의 발생이나 구조점검으로 인한 보강공사의 수행 및 보강결과 데이터가 발생할 시에는 바로 자체 관리 DB에 저장되고 학계에 보고되어야 한다. 다양한 종류의 열화현상에 대한 보고 및 대응은 국내 콘크리트구조물 안전관리기술의 진보에 직접 기여하며, U-City 토목정보단지의 통합정보시스템은 이러한 정보의 흐름과 통합, 환원을 보장한다.

4. 콘크리트구조물 유지보수와 U-City 방향 정립

이상과 같이 살펴볼 때, U-City 라는 유비쿼터스 건설정보단지는 시설물 특히, 콘크리트구조물의 유지관리에 있어서 매우 유용할 뿐만 아니라, 오히려 상시적인 구조물 안전관리체계로 운영할 수 있는 이점을 가지고 있다. 그러나 이러한 희망사항과는 달리 현재 추진 중인 U-City에서는 이러한 구조물안전관리체계 개념이 확립되어 있지 못하다. 그 이유는, 무엇보다도 U-City가 여타의 통합정보시스템과 유사한, 정보시스템의 하나로서만 편협하게 인식되고 있음에 기인한다. 때문에, 발주기관에서는 구조물안전관리문제와 정보시스템을 전혀 다른 사안으로 판단하고 있으며, 또한 U-City 시공주체인 SI사업자 역시 이러한 구조물 안전관리개념을 이해하지 못한다.

그러나 전술하였다시피, U-City라는 건설정보단지는 무엇보다도 안전한 시설물운영을 목표로 해야 하며, 이 목표를 위하여 U-City 구축 방향을 보완 정립하여야 한다.

첫째, USP 즉, U-City 기본계획수립단계에서부터 콘크리트학회 및 구조안전진단기관이 함께 참여하여 구조물 안전관리계획이 설계의 중심으로 세워지도록 해야 한다.

둘째, SI사업자에게 제공되는 제안요청서 혹은 설계지침에서 콘크리트구조물에 대한 시공이력관리 및 하자관리, 지속적인 유지관리체계 확보를 중심과제로 제안하고 이를 위한 정보시스템 설계제안을 요청하여야 한다.

셋째, 건축 및 토목 구조물의 시공업체인 건설사로 하여금 초기 점검 및 사후점검 등의 구조안전관리를 시행하면서 그 결과를 시스템에 반영토록 U-City 시공사와 긴밀히 협력토록 해야 한다.

넷째, 이렇게 구축되고 운영되는 U-City는 시설안전공단 등 구조안전관리기관의 안전관리통합전산망과 연계되고 국가제난망과 통합운영될 수 있어야 한다.

이러한 콘크리트구조물 유지보수를 중심으로 하는 U-City의 제정립은 콘크리트구조물의 지속적인 안전성을 확보하게 될 것이며, 궁극적으로 국민의 편안하고 안전한 삶을 보장하는데 크게 기여하게 될 것이다. □

참고문헌

1. “판교신도시 ‘U-City’ 실시설계도서,” 삼차원공간기술(주), Feb. 2007.
2. “판교신도시 ‘U-City’ 설계기준서,” 대한주택공사, Jul. 2006.
3. “국가주요 기반시설물 안전관리 네트워크 구축,” 시설안전기술공단, 2006.
4. “지리정보시스템(GIS) 개론,” 정동희, GIS소프트(주), 2001.
5. “유비쿼터스 사회의 RFID,” 유승화, 전자신문사, 2005.
6. “콘크리트진단 및 유지관리,” 한국콘크리트학회, 2003.
7. “시설물 보수보강 및 진단기술,” 한국시설안전기술공단, 2004.

담당편집위원 :
박철우(강원대학교) tigerpark@kangwon.ac.kr