KJCEM 13. 4, 069~077
JULY 31, 2012

www.kicem.or.kr (pISSN 2005-6095)
http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.4.069

공종분류체계를 활용한 도시철도 시설물 유지관리시스템 개발

The Development of Urban Metro Maintenance Facility System Using Construction Classification System Management

현 지 훈* 양 병 수** 문 성 우***
Hyun, Ji-Hun Yang, Byong-Soo Moon, Sung-Woo

Abstract

The construction data should be controlled from the life-cycle perspective. The current PMIS (Project Management Information System) usually focuses on the construction operation stage. The PMIS does consider the utilization of the construction in the maintenance of constructed facilities. This paper tries to interface the construction data with the maintenance data for effective use of construction data in the life-cycle perspective. To achieve the research objective, a maintenance breakdown structure is established and connected to the work breakdown structures. The connection of the two breakdown structures provide a structured utilization of construction data for efficient maintenance work activities. A prototype suggests that the interface of maintenance and work breakdown structures can help provide a construction and maintenance data in a more efficient way for maintenance activities.

Keywords : *Facility maintenance, Work breakdown structdure, Maintenance breakdown structure, Project management information system, Maintenance management information system*

1. 서론

1.1 연구배경

지금까지 우리나라는 사회경제 발전을 위한 인프라 시설물인 사회간접자본의 활발한 투자가 진행됐으나, 이러한 시설물은 그동안 지속적인 투자로 인하여 향후 포화상태에 이를 것으로 예상된다. 이홍일 외(2009)가 조사한 국내 건설투자의 중장기 변화 추이 통계에 따르면 1990년대 국내 건설 부분의 투자 규모는 국내총생산(GDP) 대비 20%를 상회하는 비중을 차지하였으나 이러한 투자규모는 외환위기 이후 현재까지 지속적인 투자 축소로 최근에는 GDP 대비 14%대를 가지고 있는 것으로 조사됐다. 이는 국내 건설 산업도 산업의 수명주기(industry life cycle)상 성숙기 단계에 이미 진입했다는 것을 보여주며, 다른 OECD 국가들과 같이 국내총생산에서 건설투자가 차지하는 비중이 10% 내외로 낮아질 것이라는 전망을 의미한다.

발전기를 지나서 성숙기로 진입하고 있는 건설시장의 여건변화에 대응하기 위해서 향후 건설 사업은 과거와 같은 대규모 사회기반시설 확충과 병행하여 사회적 니즈(needs)를 질적으로 충족시키는 건설 프로젝트를 추진해야 한다. 변화되는 사회적 요구를 충족시키기 위해서는 운용중인 사회 인프라 시설물

* 일반회원, 부산대학교 대학원 사회환경시스템공학부 박사과정, civilman@pusan.ac.kr
** 일반회원, 부산대학교 생산기술연구소 특별연구원, 공학박사, bsyang@pusan.ac.kr
*** 종신회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 부교수, 공학박사(교신저자), sngwmoon@pusan.ac.kr

을 지속적으로 유지 관리하여 당초 설계에서 목표로 하는 성능을 유지시킬 수 있는 관리능력을 향상시켜야 한다는 것이다. 기존 도시건축 및 토목 시설물의 유지관리에 많은 투자를 함으로써 서비스 성능을 지속할 수 있다. 사회기반시설물에 대한 유지관리의 효율성은 국가자산의 운영에 중요한 성과지표가 될 것이며, 서비스 성능을 향상시킬 것이다.

그러나 현재 인프라 시설물의 관리환경 구축은 건설시공 단계를 중심으로 운용되고 있으며, 유지관리를 위한 고려사항이 부족한 형편이다. 최근 건설관리에 적용하고 있는 사업관리 정보시스템인 PMIS(Project Management Information System)의 구축은 건설과정에 있어서 발주자와 계약자간 정보전달의 수단으로 활용되고 있으나 유지관리 관점에서의 활용성이 떨어지고 있다. 사업관리정보시스템이 제공하는 시스템 효과를 높이기 위해서는 시공단계에서 생성되는 정보에 대한 축적과 재활용에 대한 역할이 필요한 것이다. 사업관리정보시스템에서 생성된 정보는 유지관리단계에서 효과적으로 활용될 수 있는 체계적인 구성을 가져야 한다.

시공단계와 유지관리단계의 데이터를 연계하기 위한 방안중의 하나로 정보 분류체계의 역할이 중요하다. 정보 분류체계는 데이터를 체계적으로 관리함으로서 데이터 저장의 기본적인 구조를 제공한다. 공종분류체계는 시공단계의 데이터를 관리하지만 유지관리단계에서 데이터를 관리하기 위해서는 독자적인 유지관리분류체계를 구성해야 한다. 공종분류와 유지관리분류를 연계함으로서 시공데이터를 유지관리에 활용할 수 있는 기회를 제공할 것이다.

1.2 연구 목적 및 방법

본 연구는 공종분류와 유지관리분류를 연계함으로써 시공단계의 데이터를 유지관리에 효과적으로 활용하는 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다. 공종분류에서 생성하는 시공관련 데이터는 공종분류 항목에 할당되며, 각 항목에 할당된 데이터를 유지관리분류에 적용하여 조회함으로서 유지관리에 필요한 시공정보를 빠르고 정확하게 검색 및 조회하여 실제 유지관리 업무에 활용할 수 있는 기능을 제공한다.

본 연구는 첫째, 시설물 유지관리 및 시공정보관리를 위한 유지관리 활동을 분류하고, 둘째, 시공단계에서 활용하는 공종분류와 연계한 유지관리분류를 제시하며, 셋째, 공종분류와 유지관리분류의 연계방안을 수립하고 넷째, 공종분류 및 유지관리분류를 연계한 유지관리정보시스템의 프로토타입을 개발하며, 다섯째, 프로토타입을 통한 유지관리업무의 적용성을 검토하는 순서로 진행됐다. 본 연구에서 제시하는 시설물 유지관리체계는 다양한 건설사업 분야에 적용할 수 있으며, 시설물 유지관리정보시스템 프로토타입은 도시철도사업을 대상으로 구성했다.

2. 관련연구

국내의 시설물 점검 및 관리의 문제점은 유지관리 활동에 대한 정보처리가 수작업으로 이뤄지며 유지관리 기간 중 정보처리의 정확도나 운용도가 낮다는 것이다.

강필구 외(2007)는 점검 작업의 정확성 향상과 시간단축, 고장빈도를 줄이기 위해 실시간 정보인식, 정확한 데이터 기록, 관리자의 이동성을 확보해야 한다고 주장하였고, 안태기 외(2002)는 시공자료 및 업체, 운영기관 별 자료들이 분산되어 있고 통합관리가 되지 못하여 업무의 연계성과 정보에 대한 이용 효율성이 떨어짐을 지적했고, 또한 도시철도 유지보수 분야에 있어서 유지보수 기록 자료가 일정주기 폐기됨으로써 인프라와 관련된 중요한 자료들의 손실을 초래하고 있어서 데이터베이스에 의한 자료의 연속적인 관리가 필요함을 주장하였다.

유지관리의 중요성이 확대됨에 따라서 일련의 연구가 수행되고 있다. 전재열(2007)은 주요 선진국의 유지관리 기술의 특징, 국내 건축물 유지관리 분야의 체계화 및 선진화 방향을 제시했고 전익성 외(2004)는 유지관리의 효율성 향상시키기 위하여 생애주기관리를 활용한 공공시설 유지관리 시스템 개선방안과 공공 시설물에 대한 기존 유지관리 체계의 현황을 분석하여 현행 유지관리정보시스템의 발전방향과 개선방향을 제시했다.

지리정보시스템을 활용한 시설물 유지관리에 관한 연구도 수행되었다. 신정렬 외 (2003)는 도시철도 토목시설물의 유지관리 분야에 지리정보시스템(GIS)을 이용한 정보화시스템의 개발을 하였고 이현직 외 (2005)는 정부기관에서 실행중인 GIS 데이터베이스를 기반으로 한 지하시설물관리시스템, 도로시설물관리시스템 등의 시스템에 유지관리에 대한 기능을 추가한 응용시스템을 개발했다.

그러나 GIS 시스템을 기반으로 한 유지관리의 활용성은 관리지점의 위치정보를 제공할 뿐이며 시공정보의 획득과 유지관리정보의 누적활용에 대한 대안을 제시하지 못하고 있다.

유지관리시스템의 구축을 위한 데이터베이스 활용 관련연구도 수행되었다. 공성석 외 (2003)는 시설물 관련 자료의 DB화를 통한 비용발생 시기 및 예측, 상태분석을 통한 터널구조물의 유지관리정보시스템을 연구 개발을 했으며, 박기준 외 (2006)는 정보기술 표준화를 구현하여 도시철도 유지보수체계 표준화 및 정보화방향을 제시했다. 상기의 연구결과를 살펴보면 도시철도

의 복합적인 시설물 유지관리, 즉 토목, 보선, 전기, 신호 등의 여러 분야의 전반적인 관리를 위한 ERP 구성 시스템으로 판단된다. 결국 시설물 유지관리를 위한 데이터베이스가 독립적인 시스템이 아닌 ERP시스템의 한 부분이므로 논문의 연구는 타당하다 보이나, 토목시설물의 유지관리를 위한 전문적이고 복합적인 정보의 취득에는 한계가 있다.

인터넷과 인트라넷을 기반으로 건설관리시스템(CMS)과 시설물 관리시스템(FMS)를 통합한 인터넷 개방형 네트워크에 대한 실험적 연구가 ShengWei Wang (2002)에 의하여 진행됐으며, Robert Wing (2006)은 RFID 기반의 건설 및 유지관리에 대한 효과를 입증했다. 그러나 상기의 연구 결과는 준공 이후 시설물의 관리를 위한 방법론을 제시하였고, 시설물에 발생된 이상개소에 대한 원인분석을 할 수 있는 기반을 조성하지 못하였다.

따라서 본 논문은 도시철도의 시공 관리를 위한 PMIS 정보 중 공종분류체계에 입력된 정보를 바탕으로 유지관리에 필요한 정보를 선별 취합하여 시스템화 하는 연구를 수행하였다.

도시철도 시설물 유지관리시스템 구축을 위하여 변근주 외(2002)의 지하 박스 콘크리트 구조물에 발생하는 문제점인 결함(Defect), 손상(Damage), 열화(Deterioration)의 분류를 제시한 논문을 인용으로 시설물에 발생하는 여러 가지 변위 요인을 조사하여 시공 결과 분석에 반영하였고, 프로토타입의 구성 시 공종분류에 따른 시공결과물이 유지관리시스템에서 시설물의 위치에 따른 다양한 시공정보를 획득하여 유지관리에 반영 될 수 있는 시스템을 구현하였다.

3. 도시철도 시설물 유지관리 프로세스

도시철도사업은 시민에게 사용성을 확보하고 서비스 수준을 높이기 위해서 지속적인 유지관리 활동을 수행해야 한다. 도시철도 시설물에 대한 유지관리는 시설물의 구조와 규모를 고려하여 라이프싸이클 측면에서 장기적인 관리기준에 따라서 계획되어야 하므로 정부는 1987년 '건설기술관리법'을 제정하여 국가주요시설의 건설과 관련된 제반사항을 규정했다. 또한 1995년 1월 시설물의 기능을 향상시키기 위하여 안전점검 및 유지관리에 관한 업무를 체계화하고 시설물의 관리자에게 유지관리의 의무와 책임을 부여하는 '시설물안전관리에관한특별법'(이하 시특법)을 제정·공포했다(국토해양부 2008).

시특법에 적용되는 시설물은 중요도 및 규모에 따라 1종 및 2종 시설물로 구별되며, 도시철도의 교량 및 터널구조물은 1종 시설물로 분류되어 법규에 의하여 공공관리주체가 관리책임을 맡아 안전점검 및 정밀안전진단 업무를 수행하고 검사결과에 따라서 보수·보강공사를 시행하여 시설물의 안전을 확보하고 있다. 시특법 제6조제1항 및 제9조제2항에 의하여 수행하는 안전점검 및 정밀안전진단의 실시시기는 다음의 표와 같다.

표 1. 안전점검 및 정밀안전진단 실시 시기

안전등급	정기점검	정밀점검	정밀안전진단	긴급점검
A 등급	6개월 /1회 이상	3년/1회 이상	6년/1회 이상	관리주체 또는 관계 행정기관장이 필요하다고 판단하여 관리주체에게 긴급점검을 요청할 때
B·C 등급		2년/1회 이상	5년/1회 이상	
D·E 등급		1년/1회 이상	4년/1회 이상	

또한 안전점검 및 정밀안전진단 지침(법 제13조)에 의거하여 국토해양부장관이 안전점검 및 정밀안전진단의 실시방법·절차 등을 고시하며, 이에 포함되는 사항은 1)안전점검 및 정밀안전진단에 필요한 설계도면, 시방서, 사용재료 내역 등 시공관련 자료의 수집 및 검토, 2)안전점검 및 정밀안전진단 실시자의 구성, 3)안전점검 및 정밀안전진단 계획의 수립·시행, 4)안전점검 및 정밀안전진단 장비, 5)안전점검 및 정밀안전진단 항목 별 점검방법, 6)사용재료의 시험, 7)안전점검 및 정밀안전진단 결과의 평가, 결과보고서 작성, 8)육안검사에 의한 결함의 종류, 보고방법 및 평가방법, 9)결함부위의 확정 방법, 10)시설물의 결함원인 분석, 11)시설물의 상태에 관한 평가기준 및 평가방법, 12)시설물 하중 내하력의 평가방법을 포함한다 (그림 1).

도시철도의 유지관리는 고시된 지침에 따라서 정기적인 점검계획과 매뉴얼을 참고하여 시행하게 된다. 도시철도의 준공 이후 설치된 각종 지중 구조물(전력구, 도시가스, 각종 지하매설물 등)의 지장요소와 및 인접건물의 증축으로 인한 토압·지하수위 변화, 상하수도의 파손으로 인한 누수 등을 지속적으로 관리하여 구조물의 진단 시 평가 자료로 활용해야 한다.

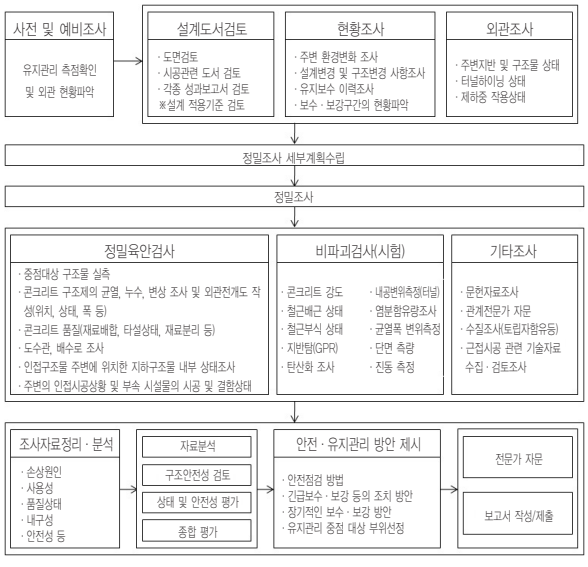

그림 1. 도시철도 시설물 유지관리 프로세스

4. 유지관리정보시스템 정보관리 체계

4.1 유지관리체계 구성을 위한 시설물 정보 분석

도시철도사업의 유지관리분류는 유지관리에 수행되는 활동사항을 중심으로 구성된다. 점검활동을 위해서는 그림 1에서와 같이 유관 점검 및 진단자료를 검토해야 하며, 준공도서와 보수 · 보강 이력사항을 검토해야 한다. 유관 자료에 대한 검토 후에는 외관에 대한 상태변화를 확인하고, 조사와 재료시험을 수행한다. 관리자 이러한 점검활동 결과를 기준으로 점검 시설물에 대한 외관조사망도를 작성하고 상태평가와 안전성평가를 수행한다. 최종단계에서는 수행결과 획득된 데이터를 기준으로 종합분석하여 대상 시설물에 대한 종합평가와 안전등급을 산정한다.

도시철도사업 유지관리 활동 중 터널에서 발생하는 문제점은 크게 결함(Defect), 손상(Damage), 열화(Deterioration) 세 가지로 구분할 수 있다 (표 2). 여기서 결함은 시설물이 자체적인 변화 또는 외부의 작용에 의해 불완전하게 된 상태를 의미하며 설계, 시공, 재료상의 결함 등으로 세분화한다. 손상은 지중 구조물인 도시철도 구조물 주위의 응력의 변화로 인하여 발생되는 문제점으로 인접구조물의 시공으로 인한 응력

변화, 상수도관의 파열로 인한 수압의 증가, 지진, 진동하중의 증가 등에 기인한 구조물의 응력 증가를 의미한다. 열화는 외부요인에 의한 구조재료의 물리 · 화학적 변화에 기인한다. 오수관거의 파손으로 인한 침출수의 유입, 콘크리트의 화학작용으로 인한 탄산화, 동결 · 융해의 반복으로 인한 균열 폭 증가 등이 이에 해당한다.

표 2. 도시철도 터널의 결함, 손상, 열화 원인의 분류

분 류		현 상
결함	설계	· 피복두께 · 설계기준의 변동 · 온도 및 습도변화
		· 부등침하 및 구조물 변형 · 구조변경
		· 정착, 이음설계 오류 · 단면부족 및 철근량 설계 오류
		· 터널구간과 개착 박스 구간의 접합부
		· 편토압의 미고려, 토압, 수압, 양압력 산정 오류
	재료	· 강도저하 · 수화열과 온도균열
	시공	· 침하균열 · 양생불량 · 다짐불량
		· 거푸집 및 동바리 변열 · 소성수축, 건조수축
		· 시공줄눈, 콜드 조인트 · 거푸집 연결재 흔적
		· 시공 중의 개구부 결함
		· 공동, 골재노출, 얼룩, 레이턴스
		· 누수, 결로, 배수불량, 방수공사의 불량
		· 영구 H-말뚝 및 영구앵커의 이상 현상
		· 배근 오류, 정차, 이음, 덮개, 유효깊이 오차
손 상		· 인접 시공과 토피 변동 · 초과하중 · 충돌
		· 홍수 및 시멘트 손상 · 지진 · 화재 및 폭발
		· 상수도관 파열
열 화		· 중성화 · 침출 · 염해 · 백태 · 전식
		· 화학적 침식 · 철근부식 · 알칼리 골재반응 · 동결융해

구조물에 발생하는 문제의 원인은 단순할 때도 있으나, 복합적인 작용에 의하여 발생되는 경우가 많기 때문에 문제점의 원인을 정형화하기가 용이하지 않다. 그러므로 문제발생의 원인을 추론하기 위하여 표.2와 같이 모든 정보를 취합하여 분석하고 그에 대응하는 적합한 공법을 선정하여 보수 · 보강 공사를 시행해야 한다.

본 논문의 점검종류는 시설물 점검 시 상태평가의 최상위 기준인 정밀안전진단의 시행에 따른 정보 분석을 기준으로 유지관리체계를 구성하였다. 정밀안전진단에 요구되는 구조물 상태평가의 세부항목 별 결함기준 및 지수산정 기준은 터널의 구조적 조건에 따라서 조금씩 상이하지만 일반적으로 균열, 누수, 손상, 박리, 박락, 백태, 탄산화, 염화물 발생으로 구분하며 도시철도 구조물에 발생한 이상개소의 발생요인에 대한 원인을 복합적으로 추론할 수 있는 정보처리 프로세스를 구현할 수 있도록 구성했다.

본 분류체계는 각각의 문제발생 원인에 대하여 결함요인으로 인한 문제인지, 손상요인 또는 재료의 열화에 기인한 문제인지에 대한 추론 시 활용할 수 있는 정보를 제공한다.

표 3은 유지관리분류체계의 구성을 위한 공간정보 분류레벨의 속성을 나타난다. 각 공간정보 속성은 공종분류체계와 연계하여 연산할 수 있는 고유인식 코드를 부여하여 시스템에 적용하였다. 표 4는 공간정보 속성에 따른 시스템 코드 값의 예이다. 유지관리시스템은 수많은 단위 속성값을 가지고 있으므로 각각의 위치와 상태에 따른 정확한 속성을 부여하여야 정보의 충돌이 방지되고 부여된 코드를 바탕으로 데이터베이스화함으로써 관리지가 필요한 여러 가지 정보를 시스템에서 정확히 검색하여 제공받을 수 있다.

프로토타입의 구성에 있어 표 3의 공간정보 속성은 PMIS 의 여러 가지 분류체계 중 공종분류체계 구성의 결과물로 시스템화한다. 즉, 시공 시 공종분류에 따른 시공결과를 데이터베이스에 입력 후 시설물 유지관리 정보시스템에서 추출, 변환, 정제, 통합의 과정을 거쳐 고유의 시설물 관리 정보처리 체계를 구축한다.

표 3. 유지관리분류체계 구성을 위한 공간정보 분류레벨 속성

점검 종류	상태평가 세부항목	공간정보 속성							
		호선	점검위치	선구분	대분류	중분류	소분류	세분류	세세분류
안전 진단 점검 기준	균열								
	누수								
	손상								
	박리								
	박락								
	백태								
	탄산화								
	염화물								

표 4. 공간정보 속성에 따른 시스템 코드의 예시

분류	속성 의미	속성코드 예시
호선	도시철도의 각 호선 구분	BL01 – 1호선 BL02 – 2호선 등
점검위치	시설물의 상 · 하행선 위치 속성	KU001 – 상행선 시점부 KB001 – 하행선 시점부
선구분	상행선, 하행선, 유치선, 기지 등 선로의 통행 별 선 구분	LMU – 상행선 본선부 LMD – 하행선 본선부
대분류	구조물의 공법에 따른 분류 속성	CN – NATM 터널 CB – BOX 터널
중분류 (시설물)	역사 및 본선부의 위치 구분	401 – OO역사 402 – OO역~OO역간 본선
소분류	시설물의 부재 별 속성	CC – 중앙기둥 LW – 좌측 벽체 RW – 우측 벽체
세분류	상태평가 세부항목 속성	D1 – 균열발생부 D2 – 누수발생부 D3 – 손상발생부
세세분류	세분류의 항목 속성의 종류	DC01001 – 횡방향 균열 DC01002 – 종방향 균열 DC01003 – 사방향 균열

4.2 공종분류체계 구성

현재 운용하는 유지관리정보시스템의 형태는 현장조사 후 위치, 부위에 따른 도면, 물량, 인접지반의 변화, 지중구조물 등의 조사활동 등 내부업무를 통한 정보 중심으로 이뤄지고 있어서 관리자가 신속한 판단할 수 있는 정보를 손쉽게 제공하지 못하고 있다. 시설물의 유지관리와 안전점검의 업무효율을 높이기 위해서는 시공 시 발생되는 정보와 연계해야 할 필요성이 있다. 시공과 유지관리 정보를 연계함으로써 시공활동의 결과로 축적되는 정보를 유지관리 업무 수행 시 일괄적으로 처리할 수 있고, 업무에 필요한 정보를 신속하게 조회할 수 있게 된다.

PMIS 표준코드 시스템의 구성은 사업, 프로젝트, 시설물, 공간, 부위, 공종, 자재, 장비, 인력 등 18개 항목으로 구성되었고 각 분야별 코드는 국가표준분류체계의 방향에 맞추어 구성되었다. 전체적인 통일성을 가짐과 동시에 각 분야의 특성을 반영할 수 있도록 구성되며 실무적용 시 발생될 수 있는 다양한 정보처리 요구사항을 반영하기 위해서 추가사항을 위한 추가 자릿수를 부여하였다.

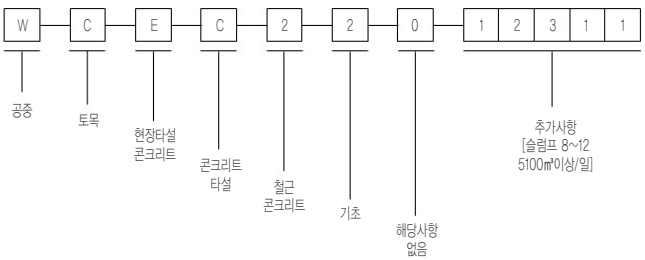

그림 2. 공종분류체계 및 코드 적용 예

본 논문의 유지관리 정보처리 시스템과 연동되는 공종분류 항목은 작업사항에 대한 시공관련 정보와 이와 대응하는 유지관리체계 항목이며, 구조물의 시공단계에서 발생되는 시공정보의 개별 작업에 대한 내용을 나타낸다.

공종분류체계는 시설물을 시공하기 위한 작업내용을 분류하는 분류체계 역할을 하며 통합건설정보분류체계의 분류기준으로 내역을 작성하였다. 공종 분류는 총 12자리로써 공종 식별코드 1자리, 기술분야 1자리, 대분류 1자리, 중분류 1자리, 소분류 1자리, 세분류 1자리, 세세분류 1자리 및 추가사항으로 구성된다.

4.3 유지관리체계와 시공정보 분류체계 연계

유지관리분류와 공종분류의 연계는 도시철도 터널구조물에 발생되는 손상의 원인을 명확히 규명하고 이에 대한 신속한 대응(보수 · 보강 등)할 수 있는 유지관리정보시스템의 구현을 목표로 한다. 표 5는 도시철도 시설물에 발생한 이상개소, 즉 '균열' 의 발생에 따른 원인 추론을 위한 정보검색의 모식도이다. 공종분류의 각 공종레벨에 따른 유지관리 활동사항의 연계를 나타내며, 유지관리 업무에서 조사된 균열의 발생 원인으로 추정되는 여러 가지 요인을 상세히 검토 할 수 있는 시공정보의 연계과정을 보여준다. 공종과 유지관리 활동사항을 연계시킴으로써 관리자는 공정에 따라 발생하는 유지관리 정보의 매칭을 통하여 유지관리에서 필요한 정보를 분석하고 기록물을 관리할 수 있

표 5. 유지관리에 필요한 시공정보 연계 프로세스

	공종분류체계 레벨						
	1	2	3	4			
				도면	재료속성	사진대지	온도
균열	지반 조사	광역 조사	지질도	지질도면 (No.13)	지질주상도 (No.39)	관련첨부	–
			위성영상 분석	분석도 (No.3)	분석도 (No.3)	관련첨부	–
			지표지질 조사	조사도 (No.7)	조사도 (No.7)	관련첨부	–
		지층 단면	지층단면도	단면도 (No.4)	단면도 (No.4)	관련첨부	–
		지장물 조사	GPR 탐사	탐사도 (No.6)	탐사도 (No.6)	관련첨부	–
			관로탐지	탐지도 (No.8)	탐지도 (No.8)	관련첨부	–
	구조 설계	모델링 AFP BMD SFD	구조형식 설계토피 기둥간격 기초지반 지하수위	철근배근도 (No.253) 구조도면 (No.253)	철근규격 (No.27)	CAD 도면 및 수치해석도	–
	콘크 리트	강도 분석	시방서 설계도면 재료검사지	강도분석 시험결과표	콘크리트 강도	관련첨부	품질 시험 검사 평가서
		배합 분석		배합분석 시험결과표		관련첨부	
		건습 조사		건습조사 시험결과표		관련첨부	

다. 또한 유지관리분류와 공종분류를 연계함으로써 시공 중 생성된 정보는 시설물에 문제점이 발생됐을 때 그 원인을 손쉽게 찾아내고, 즉각적으로 대응할 수 있도록 사용된다.

예를 들면 구조물에 발생된 균열에 대한 원인분석은 시공정보 중 지반조사, 구조설계 콘크리트 생성정보 등을 추출하여 지반의 구성분포를 확인한 후 잠재되어 있는 위험요인을 분석한다. 또한 시공 상세도면 및 구조계산서를 통하여 구조물의 내하상태에 대한 분석을 할 수 있으며, 콘크리트 공사 시 발생된 정보를 확인하여 타설 시기, 양생조건, 철근상세도 등의 세부 항목을 점검한다. 이 밖에 지반조사 정보를 활용하여 인접지반에 분포하는 지하 매설물의 종류와 응력변화 및 파손으로 기인 할 수 있는 손상원인을 추론한다.

다음의 표 6은 공종분류체계와 유지관리 활동사항의 연계를 보여준다. 구조물에 발생하는 이상개소의 발생 중 그 원인을 추론할 수 있는 다양한 시공정보에 대한 매칭을 보여주고 있다.

표 6. 각 공종분류체계 레벨 별 유지관리 활동사항 연계

공종분류체계 레벨			유지관리 분류체계 (정밀안전진단 기준)								
1	2	3	균열	누수	손상	박리	박락	백태	철근 노출	탄산화	염화물
지반 조사	광역 조사	지질도	•	•	•						
		위성영상 분석	•	•	•						
		지표지질조사	•	•	•						
	지층 단면	지층	•	•	•	•	•				•
		단면도									
	지장물 조사	GPR 탐사	•	•	•	•	•			•	•
		관로탐지	•	•	•	•	•			•	•
구조 설계	모델링 AFP BMD SFD	구조형식 설계토피 기둥간격 기초지반 지하수위	•	•	•	•	•		•		
콘크리트	강도 분석	시방서 설계도면 재료 검사지	•		•	•	•	•	•	•	•
	배합 분석		•		•	•	•	•	•	•	•
	건습 조사		•		•	•	•	•	•	•	•

5. 유지관리시스템 프로세스

5.1 데이터 처리 프로세스

유지관리 활동 결과로 손상부위, 손상내역, 보수 · 보강 방법 선정 등 유지관리 관련 데이터가 생성된다. 유지관리 활동 중 생성되는 데이터는 유지관리분류에 따라서 데이터베이스에 저장된다. 그림 3은 유지관리정보시스템 환경에서 처리되는 업무를 나타내며, 유지관리정보시스템 환경을 정의하여 시스템 내 각 객체들 간 입력된 데이터의 상태변화를 동적으로 표현하고 있다.

도면, 구조계산서, 데이터 등 관련 정보유형은 동일하지만 속성값이 다르므로 세부적으로 정리하며, 유지관리 항목에 적합한 유형으로 구분하여 관리해야 한다. 여기서 도면, 매뉴얼, 실험데이터는 공종분류에 따라서 가져오고, 유지관리 과정에서 생성되는 유지관리 데이터는 유지관리분류에 따라서 가져온다.

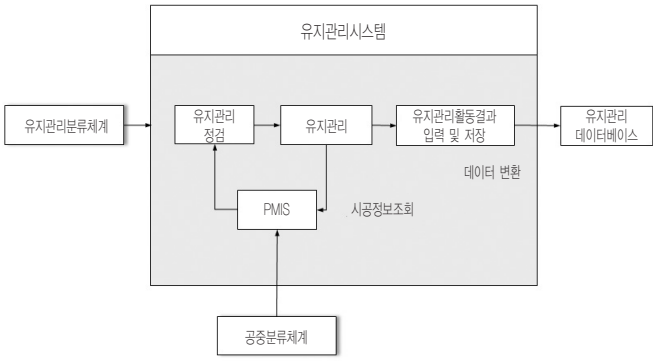

그림 3 유지관리정보시스템 데이터처리 다이어그램

그림 4는 시설물 유지관리시스템 데이터베이스 구성 SQL 화면을 나타낸다. 발생되는 정보에 대하여 각 항목에 할당하고 종합적인 정보처리를 가능케 한다. PMIS Information 중 Level 1은 지반조사, 구조설계, 콘크리트 항목 등의 공종분류체계 중 'E' 항목의 정보가 구성되며, Level 2는 광역조사, 모델링, AFD, BMD등의 엔티티 테이블화 된다. Sub Line 은 호선의 확장에 따른 엔티티이며, 이름, 명칭의 확장성 확보한다. Damage Code는 균열, 누수, 박리, 박락 등 손상내역 별 정보 엔티티 테이블을 구성하며 Structure는 시설물명, 구조물 구분, 선 구분 등 확장성 확보하는 엔티티이다.

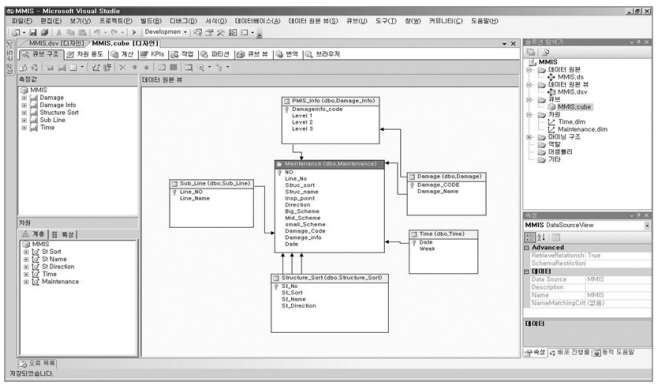

그림 4. 시설물 유지관리시스템 SQL 데이터베이스

데이터테이블의 구성은 다음의 그림 5와 같다. 각 레벨에 따라 합당한 정보 테이블을 구성을 하여 순차적인 정보의 검색을 하는 데이터베이스 테이블 관계도이다.

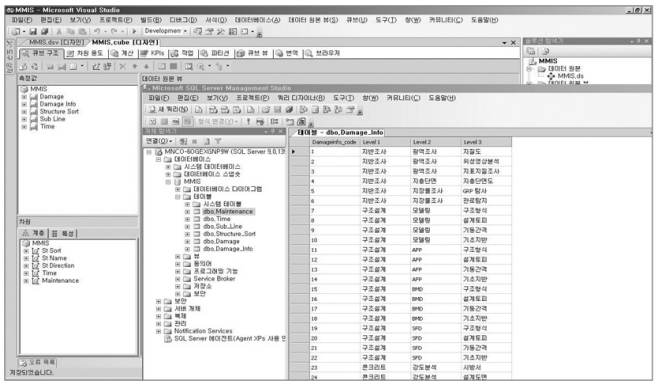

그림 5. 데이터테이블 구성도

사업관리정보시스템의 운영을 위해서 데이터베이스를 구축하고 발주단계에서 시공자에게 시스템 정보 구축을 위한 시공 정보입력의 의무를 부여하도록 한다. 시공자가 각 공정에 따라서 발생되는 정보사항을 건설사업관리 정보시스템에 입력하도록 한다. 즉, 설계정보 등과 같이 유지관리에 필요한 데이터는 설계사에서 개별적으로 생성하고, 생성된 설계도면, 시방서 등 설계 관련 정보 등은 유지관리정보시스템 환경에서 유지관리 업무에서의 적용성 및 활용성 등을 고려하여 검수를 실시한다.

데이터 검수 후 업무에 적용 가능한 데이터는 각 공종분류에 따라서 데이터 목록을 작성하고, 유지관리정보시스템의 데이터베이스에 저장한다. 등록 시 공종분류와 유지관리분류 항목을 매핑함으로써 사업수행 중 즉각적인 자료의 등록이 가능하고, 유지관리 시 관리자가 필요한 유지관리 정보를 조회할 수 있다.

6. 시스템 프로토타이핑과 평가

6.1 시스템 프로토타이핑

그림 6은 유지관리정보시스템 프로토타입의 사용자 화면을 나타낸다. 본 프로토타입 화면에서는 유지관리자가 유지관리활동 시 필요한 데이터를 조회할 수 있는 기능을 가지고 있다. 특정부위에 유지관리 사항 발생 시 위치 및 구조물의 형상 별 엔티티에 합당한 코드의 지정 후 필요 요소의 정보를 클릭하여 정보 검색을 한다. 다음의 화면 구성으로 살펴보면 도시철도 4호선의 본선부 상행선 10K152지점의 정보검색 화면으로 NATM 구조의 천장 슬래브에 발생된 균열에 대하여 균열이 발생될 수 있는 여러 가지 시공정보를 화면으로 나타나게 한다. 즉, 지질도에 나타난 동래단층의 활동에 기인한 균열인지, 지표지질영상과 위성영상을 통하여 시공당시의 주변사항과 현재의 주변사항을 비교 분석하여 구조변화를 추론 할 수 있고, 관로탐지의 결과를 토대로 인접한 대형 상 · 하수도관의 파열로 인한 응력변화의 추론 및 구조설계 상의 응력분포 등의 정보를 관리자에게 제공하여 준다.

이와 같이 공종과 유지관리 활동사항을 연계한 유지관리정보시스템의 저장과 조회기능은 유지관리 업무의 흐름을 원활하게 하고, 업무 프로세스를 간소화하여 유지관리 업무의 효율을 높인다.

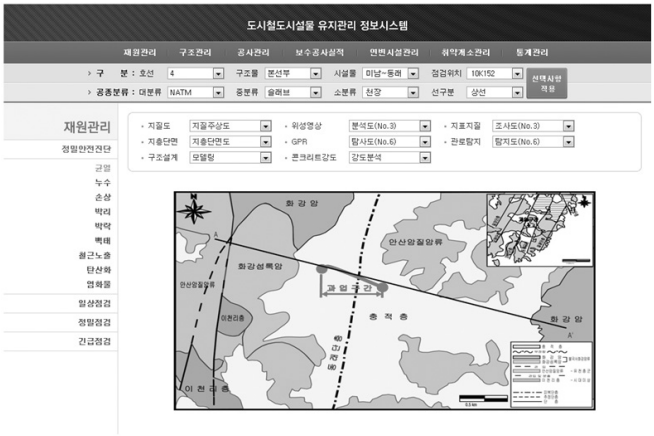

그림 6. 프로토타입 웹 사용자 화면

6.2 업무적용 평가

본 연구에서는 구현된 유지관리정보시스템 프로토타입은 현업 사용자와의 인터뷰를 통해서 평가했다. 인터뷰 후 유지관리 업무와 관련한 요구사항으로 1) 공종분류 및 유지관리분류의 연

표 7. 유지관리정보시스템 평가결과

요구사항	평가항목	중요도	대응도	달성도(%)
공종분류 및 유지관리분류의 연계성	· 유지관리업무와 매칭되는 공종분류 항목 조회 · 유지관리분류와 공종분류의 연계성	4.4	4.1	93.2
시공정보 저장 및 조회 기능성	· 공종에 따른 시공정보 저장 · 유지관리업무에 따른 정보검색 기능	4.4	4.2	95.5
유지관리 업무의 시스템 활용성	· 시스템을 적용한 유지관리업무 효율 개선 · 현장의 실시간 정보정보 공유를 통한 업무절차 개선	4.8	4.1	85.4
데이터 추출 편리성	· 유지관리정보시스템과 기존 사업관리정보시스템과의 연계 · 지속적인 데이터 공유를 통한 업무효율 개선정도	3.8	3.2	84.2
평균		4.4	3.9	89.6

계성, 2) 시공정보 저장 및 조회 기능성, 3) 유지관리 업무의 시스템 활용성, 4) 데이터 추출 편리성 등 4개 항목을 도출했다. 각 요구사항에 대한 중요도와 프로토타입의 대응도를 검토하기 위해서 요구사항 별 평가항목을 설정했으며, 중요도와 대응도를 1부터 5까지 정성적 측정값을 사용하여 나타냈다 (5-매우 높음; 4-높음; 3-보통; 2-낮음; 1-매우 낮음). 달성도는 중요도에 대한 대응도의 정도를 %값으로 나타냈다.

프로토타입에 대한 평가는 10명의 유지관리 관리자로부터 자문을 받았으며, 평가결과 전체 중요도는 4.4의 값을 가졌고, 이에 대한 대응도는 3.9로 89.6%의 달성도를 나타냈다. 달성도 값을 고려했을 대 유지관리정보시스템 프로토타입에 대한 지속적인 기능개선이 필요하다는 것을 보여준다.

7. 결론

건설정보화의 발전에 따라서 발주자와 건설관리자, 그리고 시공사 등 계약주체 간 정보교환 수단인 사업관리정보시스템이 건설사업에 활발히 적용되고 있다. 그동안 사업관리정보시스템는 시공단계에서 업무처리와 데이터 관리를 위해서 중요한 역할을 해왔으며, 국내 건설관리기술 발전에 크게 기여하고 있다. 본 논문에서는 시공정보를 유지관리에 적용하기 위한 시공 및 유지관리 체계 연계방안을 제시했다.

시공 및 유지관리 체계의 연계는 공종분류와 유지관리분류의 매핑을 통하여 이뤄졌다. 기존 사업관리정보시스템에서 사용하는 공정분류체계와 유지관리 시 필요한 유지관리분류를 연계시킴으로써 시공단계에서 생성된 시공정보를 유지관리시 활용할 수 있는 기능을 제공했다. 이와 같이 사업관리정보시스템에서 축적된 데이터를 유지관리 시 재활용함으로써 시공데이터의 라이프싸이클 가치가 증대될 수 있을 것이다.

본 연구에서 제시한 시공과 유지관리 데이터 연계는 도시철도 사업을 대상으로 했으며, 적용성의 고려했을 때 기타 건설관리 유지관리체계에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 프로토타입은 부분적인 기능을 구현함으로써 적용성을 보여주지만 실증적인 평가를 위해서는 실무 사업관리정보시스템과 연계하여 유지관리정보시스템을 개발함으로써 그 실증을 할 수 있을 것이다. 본 논문에서 보여주는 한계점에도 불구하고 시공과 유지관리 데이터의 연계는 건설관리 라이프싸이클 관리를 위해서 향후 중요한 연구과제가 될 것이다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구 되었음.

참고문헌

강필구 · 김재환 · 채진석 · 최원익 (2007) “이동형 RFID를 이용한 시설물 관리 시스템의 설계 및 구현”, 한국멀티미디어학회 제10권 제4호, pp. 492~505

건설교통부 (1997) 도시철도공사 표준시방서

공성석 · 김동욱 · 구자갑 · 이송 (2003). “터널구조물의 유지관리정보시스템 개발”, 한국철도학회 학술발표대회 논문집, pp. 585 ~590

국토해양부 (2008) 시설물안전관리에관한특별법

문성우 · 김상도 · 박미경 (2011) “ 3D 그래픽 모델을 활용한 교량 시설물 유지관리 시스템 ”, 한국건설관리학회논문집 제12권 제2호, pp. 64~71

박기준 · 안태기 · 신정렬 (2006). “도시철도 유지보수체계 표준화 및 정보화에 대한 연구”, 한국철도학회논문집 제9권 제5호, pp. 539~543

배영민 · 곽길종 · 김수정 · 김재준 (2004). “시공단계 정보 활용을 통한 웹 기반 유지관리 시스템 개발”, 한국건설관리학회 논문집 제5권 제1호, pp. 99~106

변근주 · 오병환 · 신용석 · 송하원 · 원대연 · 남진원 (2002). “지하 박스 콘크리트 구조물(지하철)의 결함 원인 및 대책”, 대한토목학회 제14권 제2호, pp.70~76

신정렬 · 박기준 · 안태기 · 이호용 · 김길동 (2003). “도시철도 토목 · 보선시설물 유지보수 정보화시스템에 대한 연구”, 한국철도학회 추계학술대회논문집(Ⅱ), pp. 391~395

안태기 · 박기준 · 이호용 · 한석윤 (2002). “도시철도 유지보수 정보화시스템 개발방법론에 대한 연구”, 한국철도학회 학술발표대회 논문집, pp 574~579

이현직 · 구대성 · 유지호 (2005). “LBS 개념을 도입한 도로시설물유지관리정보시스템 개발”, 한국지형공간정보학회 제13권 제2호, pp. 21~28

이홍일 · 박철한 (2009). “국내 건설투자의 중장기 변화 추이 연구”, 한국건설산업연구원 CERIK 건설이슈포커스, pp 1~30

전익성 · 손정락 · 김경숙 · 김재준 (2004). “Life-cycle

Management를 활용한 공공시설 유지관리 시스템 개선방안", 한국건설관리학회논문집 제5권 제2호, pp. 55~60

전재열 (2007). "국내 건축물 유지관리 분야의 체계화 및 선진화 방향", 한국건설관리학회 논문집 제8권 제5호, pp. 19~21

Chien-Ho Ko (2009) "RFID-based building maintenance system", Automation in Construction, Vol. 18, No. 3, pp. 275~284

Min-Yuan Cheng · Li-Chuan Lien et al (2007) "OPEN-BUILDING MAINTENANCE MANAGEMENT USING RFID TECHNOLOGY", 24th International Symposium on Automation & Robotics in Construction(ISARC)

Robert Wing (2006) " RFID APPLICATIONS IN CONSTRUCTION AND FACILITIES MANAGEMENT", Tcon Vol. 11, Special Issue IT in Facility Management , pp. 711~721

Shengwei Wang (2002) "Integrating Building Management System and facilities management on the Internet", Automation in Construction, Vol 11, Issue 6, pp. 707~715

논문제출일: 2012.02.14
논문심사일: 2012.02.17
심사완료일: 2012.05.17

요 약

건설정보를 효과적으로 관리하기 위해서는 데이터 생성부터 유지관리까지 전 과정을 관리해야 한다. 그러나 사업관리정보시스템 (PMIS, Project Management Information System)은 설계를 포함하여 시공단계에서 사업관리를 중심으로 운영하고 있어서 유지관리와의 연계가 부족하다. 본 논문에서는 유지관리분류와 도시철도시설물 공종분류를 활용하여 시공단계에서 발생하는 데이터를 유지관리 활동에 활용하는 프로세스를 제시한다. 유지관리분류와 공종분류를 연계함으로써 시공정보와 유지관리정보를 일괄적으로 추적할 수 있으며, 유지관리 시 필요한 시공정보를 손쉽게 활용할 수 있다. 또한 사업관리정보시스템과 유지관리정보시스템(MMIS, Maintenance Management Information System)을 연동할 수 있으며, 시공정보를 건설사업의 라이프싸이클 정보를 관리할 수 있게 하여 생애비용을 추적관리 할 수 있도록 돕는다. 본 논문에서는 유지관리정보시스템 프로토타입을 개발했으며, 업무적용 시 타당성이 있음을 보여줬다.

키워드 : 시설물 유지관리, 공종분류, 유지관리분류, 사업관리정보시스템, 유지관리정보시스템