매트기초 건설을 위한 양생방법 선정시스템

Curing Method Designation System in Mat Foundation Construction

이태규

우송대학교 철도건설시스템학과

Tae-Gyu Lee(tglee@wsu.ac.kr)

요약

매트기초 건설공사를 포함한 대부분의 건설공사에서 구조물 가설 초기단계에서의 안전사고 방지는 매우 중요한 요소이다. 안전사고의 위험성을 감소시키기 위하여서는 콘크리트 타설 이후 안전한 거푸집 작업과 적절한 양생의 종류를 선택하는 양생방법의 선정이 무엇보다도 중요하다. 이에 따라 본 논문은 비정상상태의 수화열 해법을 통하여 매트기초 건설을 위한 적절한 양생방법 및 양생시기를 선정하는 알고리즘을 개발하였다. 이를 위하여 균열지수에 주안점을 둔 구조해석 시스템을 통한 사용자 중심의 OOP 루틴을 적용하였다. 이에 따라 콘크리트 가설 초기의 거푸집 공사에 따른 위험요소를 미연에 방지할 수 있는 안전한 양생방법 선정이 시스템적으로 가능하게 된다.

■ 중심어 : | 선정시스템 | 매트기초 | 양생방법 | 안전관리 |

Abstract

In most of construction work, especially mat foundation construction, it is very important that accidents be prevented at early aged construction stage. To reduce the risk of accidents, it is necessary to choose the curing method to provide instructions for safety forming work by proper curing of concrete after placing. Therefore, this paper has proposed a designation algorithm of curing method for representing curing type and period by analyzing the transient hydration heat solution, focusing on mat foundation construction. This has been implemented, moreover, using an object oriented programming language to develop structural analysis system taking account crack index. In addition, we present in this paper a safety curing management system developed to assess risk during forming work.

■ keyword : | Designation System | Mat Foundation | Curing Method | Safety Management |

1. 서론

콘크리트는 토목, 건축을 망라하는 모든 건설 구조물에 폭넓게 적용되어 사용되고 있으며, 특히 최근에 들

어 장대교량, 특수교량, 초고층 건축물 등 각종 구조물의 대형화 추세에 따라 구조물의 기초가 되는 매트기초(mat foundation)의 품질관리가 더욱 중요시되고 있다.

접수번호 : #120530-001

접수일자 : 2012년 05월 30일

심사완료일 : 2012년 07월 30일

교신저자 : 이태규, e-mail : tglee@wsu.ac.kr

다른 구조물들과 마찬가지로 콘크리트 구조물 역시 일반적으로 사용성(serviceability)과 안전성(safety)을 만족시키는 조건에서 설계와 시공을 진행하게 된다. 특히 시공 시에는 건설공사 도중 작업자의 안전한 작업 환경을 유지시켜야 하며, 구조물이 완공된 이후 발생하는 유지관리(maintenance) 및 내구성(durability)의 측면을 고려하여 시공 초기에 발생하는 균열, 초과하중 등에 대한 중요도가 높아지고 있는 상황이지만 일부 건설 현장에서는 공사기간 단축 및 공사비용 절감을 위하여 무리하게 양생 및 거푸집 조기제거 등을 실시하여 [그림 1]과 같이 초기양생 미비

(a) 초기양생 미비

(b) 작업자의 작업환경 미확보

그림 1. 안전사고 사례

콘크리트는 그 재료적인 특성상 타설 이후 수화반응이 어느 정도 진행될 때까지 일정 기간 동안 충분히 양

생을 시키는 과정이 반드시 필요하다. 충분한 양생기간을 확보하는 것은 구조물의 안전성을 확보하는 가장 중요하면서도 기본적인 요소로써 시공 중의 안전사고를 예방하는데 필수적일 뿐만 아니라 추후 강도발현의 성질을 평가할 수 있는 요소가 된다.

이러한 양생방법이 적절치 않거나 양생기간이 너무 짧으면 콘크리트 초기성능 저하, 초기균열 등 사용성 및 내구성의 문제를 야기시키게 되어 궁극적으로는 사용자 및 구조물의 안전성에도 영향을 미치게 되며, 반대로 양생방법 및 양생기간이 너무 과도하게 적용되면 전체적인 공사기간이 길어져 불필요한 공사비의 증가가 발생되어 경제적으로 비효율적이 된다. 이에 따라 시공 중의 안전사고 예방은 물론 공사기간 단축에 의한 공사비용의 절감, 시공 이후의 구조물 사용성 및 내구성을 향상시키기 위하여 콘크리트가 소요강도에 도달할 때까지 적절한 양생방법을 선정하여 적용하는 기술이 필요하지만 아직까지 이에 대한 시스템화 되어 있는 적용방식이 존재하지 않으며 각 건설공사 현장마다 case-by-case 방식으로 접근하여 적용시키고 있는 실정이다[1].

따라서 본 논문에서는 매트기초 건설공사에 있어서 현재 적용이 가능한 모든 양생방법을 정리하여 DB화하고, 이중 사용자가 원하는 양생방법 및 구조물 균열발생 정도를 입력하면 가장 적절한 양생방법이 도출되도록 하는 양생방법 선정시스템을 개발하고자 한다.

II. 위험관리변수

1. 균열등급

온도균열지수는 매트기초와 같은 메스콘크리트에서 수화열에 따른 양생의 적절성 및 적합성을 평가하는 가장 중요한 요소로 평가되고 있으므로 균열등급의 선정은 온도균열지수의 값으로 구분하고자 하며, 콘크리트 표준시방서[2]에 근거하여 [표 1]과 같이 5등급으로 구분한다.

표 1. 균열등급의 구분

균열등급	등급구분	온도균열지수
A	균열방지	1.5 이상
B	균열제한	1.2~1.5
C	유해한 균열제한	1.0~1.2
D		0.85~1.0
E		0.7~0.85

2. 강도등급

거푸집 해체시기 혹은 차기 작업 개시시기의 결정은 타설 이후 콘크리트의 경화 정도에 따라 좌우되는 것이므로 강도등급은 [표 2]에서와 같이 시간에 따른 콘크리트의 압축강도를 5등급으로 구분하고자 하며, 시간에 따른 콘크리트의 강도발현 정도는 콘크리트표준시방서 [2]에 근거하여 식(1)과 같이 사용한다.

표 2. 강도등급의 구분

강도등급	등급구분(압축강도 기준)
A	20 MPa 이상
B	15 MPa 이상
C	10 MPa 이상
D	8 MPa 이상
E	5 MPa 이상

$$f_{ci}(t) = \frac{t}{a+bt} d_i f_{ck} \quad (1)$$

여기서, a, b 는 시멘트 종류에 따른 변수, d_i 는 재령 28일과 91일일 때의 콘크리트 강도 보정계수이다.

3. 작업공정

현재 매트기초 구조물에서는 콘크리트 타설 초기의 수화열 관리가 가장 중요한 품질안전 관리항목으로 평가되고 있으며, 본 논문에서는 “보온재”, “거푸집”, “가열양생”, “파이프 쿨링”의 4개 작업공정으로 분류하였으며, 각 공정에서 고려되는 세부변수들은 [표 3]과 같다. 이러한 세부변수들에 대한 특성치들은 DB자료로 저장하도록 구성한다.

[표 3]에서 보는 바와 같은 각 작업공정들 중 건설현장에서 적용이 가능한 것들만 선정하여 입력하면 해당 조건만을 고려하여 선정시스템이 구동된다.

표 3. 작업공정 분류

구분	세부변수
보온재	•종류 : 버블시트, 양생포, 비닐 •설치개수 •제거시기
거푸집	•종류 : 목재, 강재, FRP, euro form, slip form •해체시기
가열양생	•가열온도 •가열기간
파이프 쿨링	•파이프 지름 •파이프 재질 •순환속도 •통수기간

III. 선정시스템

1. 시스템 구성

개발하고자 하는 시스템은 앞서 언급된 위험관리변수를 토대로 하여 주어진 조건에 가장 적합한 양생방법 및 양생기간을 도출하고자 하는 것으로서 그 과정에서 콘크리트 구조물에 대한 시간의존적 비정상 열해석(transient heat analysis)을 식(2)와 같이 수행한다.

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q^B = \rho_c c_c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

본 논문의 양생방법 선정시스템의 개발들은 Microsoft Visual Studio C# 통합개발도구를 사용하여 구현하였으며, 콘크리트 구조물의 열전달 해석 프로그램은 국내의 여러 건설현장에서 적용되어 그 신뢰성이 입증된 HeatCon 프로그램[3]을 적용하였고, 데이터베이스는 Microsoft Access 2000의 DBMS(Data Base Management System)을 사용하였다.

그림 2. 시스템 개요도

그림 3. 선정시스템의 과정

그림 4. 입력모듈의 화면구성

시스템 구조는 [그림 2]와 같이 크게 입력모듈, DB저장모듈, DB모듈, 해석모듈, 결과모듈로 구성되며, 위험관리변수에 따른 양생방법 선정시스템의 기본절차는 [그림 3]과 같다.

2. 입력모듈

입력모듈은 해당 전문분야의 일반적 지식을 가진 사용자가 접근이 용이하도록 하기 위해 가장 단순하면서

도 보편화된 wizard property page 형식의 GUI (Graphic User Interface) 환경을 사용하였다. 숙련된 사용자는 DB 자료에 직접 접근(direct access)하여 파일의 형태로도 호출하여 데이터의 입력, 수정, 검색을 수행할 수 있다. [그림 4]는 입력모듈에서 사용되는 사용자 화면을 보여주고 있다.

3. DB저장모듈 및 DB모듈

DB저장모듈 및 DB모듈은 사용자가 데이터 입력을 완료하였을 때 데이터의 효율적인 저장과 관리를 위하여 데이터베이스로 변환하는 기능을 수행한다.

DB저장모듈은 실제로 자료를 저장하고 있는 SQL Table과 Table에 저장된 자료들을 관리하는 데이터베이스 관리시스템(DBMS)으로 구성되어 있다. DB모듈은 해석모듈에서 사용할 데이터파일을 생성하고 해석에 따른 결과물을 데이터베이스에 저장하는 역할을 수행한다. 이 과정을 통하여 타 프로그램과의 호환성을 가능하게 하며 전체적인 시스템 통합을 구현하게 된다.

이와 같은 데이터베이스 시스템을 구축하므로써 모든 자료를 효과적으로 처리할 수 있으며, 모든 입력데이터 및 위험관리변수들에 대한 직접적인 수정, 보완작업이 용이할 뿐 아니라 모든 기능들이 유기적으로 연결되게 된다. 시스템을 위한 전체 데이터베이스의 스키마 구조(schema structure)는 [그림 5]와 같다.

그림 5. DB 스키마 구조

4. 해석모듈

DB해석모듈에서 사용된 프로그램은 앞서 언급된 바와 같이 국내의 여러 건설현장에서 적용되어 그 신뢰성이 입증된 HeatCon을 적용하였으며, 여기서 고려되는 사항들은 다음과 같다.

일반적으로 수화열 해석 프로그램들에서 적용되고 있는 비정상 열전달 해석을 수행하며, 초기조건 및 경계조건이 적용된다[4]. 콘크리트 배합조건에 따라 단열 온도상승곡선이 모델링되며, 열전도율 및 비열이 수화도에 따른 시간의 함수로 적용된다. 철근배근형태를 고려한 콘크리트 응력 산정이 가능하며, 시간의존적 평가에 있어서 응력이완(stress relaxation) 현상이 고려된다[5-7].

해석모듈은 구조물 조건, 재료배합조건, 해석조건, 위험관리변수, 현장적용 가능한 양생조건 등 주어진 모든 입력조건을 바탕으로 하여 해석을 수행하며, 주어진 조건을 만족하여 해가 도출될 때까지 Newton-Raphson 방법[8]에 의하여 지속적으로 반복계산을 수행하게 된다. [그림 6]은 해석모듈이 수행되는 화면이다.

그림 6. 프로그램 실행 화면

4.1 상면

상면(top)은 위험관리변수 중 균열등급에 의하여 관리되며, 작업공정은 보온재가 해당된다.

4.2 측면

측면(side)은 위험관리변수 중 균열등급 및 강도등급

에 의하여 관리되며, 작업공정은 거푸집이 해당된다.

4.3 가열양생

한중 콘크리트 타설시 매트기초 구조물에 천막을 씌우고 온풍기로 가열양생을 실시해야 하는 경우에만 고려한다. 가열온도는 입력모듈에서 입력하여 고정시키고, 가열시간만 해석모듈에서 계산한다.

4.4 파이프 쿨링

서중 콘크리트 타설시 매트기초의 두께가 상당히 두꺼워 보온재 및 거푸집만으로 적절한 양생이 어려울 경우에만 고려한다. 파이프 배관위치는 매트기초 구조물 형상 입력시 같이 입력하며, 파이프 지름 및 재질은 입력모듈에서 입력하여 고정시키고, 순환속도와 통수기간만 해석모듈에서 계산한다.

5. 결과모듈

해석모듈에서 수행된 해석결과들은 DB모듈을 통하여 저장되며 저장된 결과들을 사용자가 접근할 수 있도록 일정한 양식을 갖춘 파일로 생성하는 역할을 수행한다. 이를 통하여 사용자는 [그림 7과 같이 한컴오피스나 Microsoft Office 등의 각종 에디트 프로그램을 통하여 연계된 추가 작업을 할 수 있으며, 화면에서 직접 결과들을 볼 수도 있도록 구현하였다.

그림 7. 에디트 프로그램 구동 사례

IV. 적용사례

적용하고자 하는 대상 구조는 부산의 H건설현장의 매트기초 구조물로서 하절기 타설로 계획되어져 있다. 매트기초의 크기는 52×50 m의 면적에 두께 2.5 m의 매스콘크리트(mass concrete) 구조로 콘크리트 배합조건은 [표 4와 같다. 양생방법 선정을 위한 위험관리변수는 균열등급 C, 강도등급 E로 설정하였으며, 작업공정은 하절기 타설임을 감안하여 보온재와 거푸집만을 적용하였다.

표 4. 콘크리트 배합조건

f_{ck} (MPa)	W	C1	C2	S	G	Ad.
50	156	193	237	814	910	3.5

그림 8. 최대응력 분포도 구현

그림 9. 인장응력 변동추이 구현

이에 따라 본 논문에서 제안한 양생방법 선정시스템을 수행한 결과는 [그림 8] 및 [그림 9]와 같이 나타났으며, 이에 따라 최종적인 양생방법은 [표 5]와 같이 선정되었다. 이러한 양생방법 선정시스템에 의하여 도출된 양생방법을 적용하여 현장에서 실제로 매트기초의 구조물 양생을 수행한 결과 부분적인 미세균열만 일부 존재하는 것으로 나타나 당초 계획하였던 균열지수 1.0 (균열등급 C)의 기준에 부합하고 있어 본 시스템의 신뢰성을 입증할 수 있었다.

표 5. 최종적인 양생방법의 선정

단계	경과시간(일)	조치사항
1	8	양생포 2겹 존치
2	9	양생포 1겹 존치
3	이후	양생포 및 거푸집 제거

V. 결 론

본 논문에서는 매트기초 구조물의 콘크리트 타설 시 발생되는 균열, 강도저하 및 차기 작업 시 안전한 작업 환경을 유지하기 위한 각종 위험요소를 토대로 하여 건설현장에서 보다 효율적으로 콘크리트 양생작업을 선정하여 수행할 수 있도록 하는 양생방법 선정시스템을 개발하였다.

이에 따라 본 논문에서 제시한 위험관리변수로부터 수행되는 양생방법 선정시스템은 아직까지 실제 건설 현장에서 정량적이고 체계적인 선정시스템이 존재하지 않는 현 시점에서 볼 때 보다 안전하고 체계적으로 구조물을 건설할 수 있는 시공방식에 대한 가이드라인이 될 것이며, 또한 모든 구조물의 가장 기본이 되는 매트기초에서부터 전산관리시스템을 도입하여 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 아직까지는 시스템이 개발되어 DB 축적 초기단계에 있기 때문에 DB자료의 활용성은 다소 떨어지지만, 향후 많은 건설공사에 적용되어 어느 정도 DB가 축적되고 나면 더욱 더 체계적이고 신뢰성 높은 시스템이 완성될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 맹승렬, 공헌택, “철근 배근시공도 설계 자동화 프레임워크”, 한국콘텐츠학회논문지, 제9권, 제12호, pp.556-565, 2009.
- [2] 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서, 국토해양부, 2009.
- [3] 이태규, HeatCon, 한국저작권위원회, 2002.
- [4] R. D. Cook, D. S. Malkus, and M. E. Plesha, *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, John Wiley & Sons, p.630, 1989.
- [5] 조호진, 송하원, 변근주, “온도변형 및 자기수축을 고려한 초기재령 콘크리트의 거동 해석”, 대한토목학회 논문집, 제23권, 제3A호, pp.537-547, 2003.
- [6] S. W. Park and Y. R. Kim, “Interconversion between Relaxation Modulus and Creep Compliance for Viscoelastic Solids,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol.11, No.1, pp.76-82, 1999.
- [7] fib, *fib Code*, Federation Internationale du Beton, 1999.
- [8] I. M. Smith and D. V. Griffiths, *Programming the Finite Element Method*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, 1998.

저 자 소 개

이 태 규(Tae-Gyu Lee)

정회원

- 1989년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과(공학석사)
- 1993년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과(공학박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 철도건설시스템학과 교수

<관심분야> : 건설시스템, 알고리즘, OOP, 멀티미디어