

건설공사의 안전관리정보시스템 개발 - 터널공사 중심으로 -

박종근[†] · 백신원^{*}

벽성대학 토목계열 · ^{*}한경대학교 안전공학과
(2008. 5. 27. 접수 / 2008. 8. 5. 채택)

Safety Management Information System in Construction Work - Focus on Tunnel Work -

Jong-Keun Park[†] · Shin-Won Paik^{*}

Department of Civil Engineering, Byuksung College

^{*}Department of Safety Engineering, Hankyong National University

(Received May 27, 2008 / Accepted August 5, 2008)

Abstract : In any form of construction work, it is essential that accidents be prevented at every stage from foundation preparation to build completion. For this, it is necessary to use models that can assess risk and provide instruction for safe work processes so that the risk of accidents is reduced. Currently, however, very few models can perform these tasks. In this paper, we presents a model that assesses risk quantitatively by analyzing risk factors involved in stage of construction such as foundation work, erection work, structural work, equipment work, finishing work and etc work. The model performs assessment based on examples of accidents and by investing actual conditions during construction. In addition, we presents in this paper a safety management system was developed to assess risk during construction and to effectively train laborers.

Key Words : tunnel work, risk assesment, safety management information system

1. 서론

최근 건설공사가 대형화 및 고층화되고, 3D 기 피 현상으로 인하여 숙련 근로자가 건설공사장을 이탈함으로써 미숙련 근로자에 의한 건설 공사의 재해가 증가 추세에 있다. 이러한 상황 하에서도 건설 공사의 수요가 증가추세에 있고, 건설공사에 대한 잠재 위험과 위험성은 예측하기 힘들 정도로 증가하고 있어 안전한 공정 수행 및 작업 방법을 제시 함으로서 건설 재해를 감소시킬 수 있는 모델 제시가 시급한 실정이다¹⁾.

따라서, 본 논문에서는 터널공사의 사고·사례 및 조사 분석을 토대로 굴착 및 발파 작업, 터널지보 공 작업, 라이닝 콘크리트 작업, 개착터널 라이닝 콘크리트 작업, 터널 보강 작업, 방수 작업, 기타 작업 등 단계별 사전 위험성 요인을 도출하여 정량적 위

험성 평가를 수행할 수 있고, 안전교육을 효율적으로 수행할 수 있는 안전관리정보시스템을 개발하고자 한다³⁾.

2. 터널공사의 위험성 평가 모델

2.1. 터널공사 위험성 평가 절차

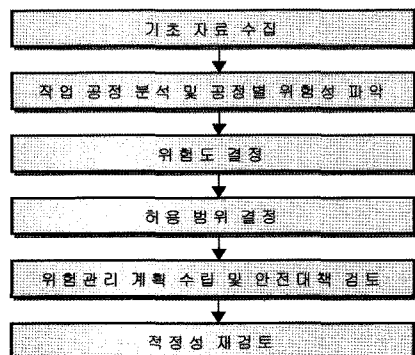


Fig. 1. Risk assessment procedure.

[†] To whom correspondence should be addressed.
jkpark@mail.byuksung.ac.kr

Table 1. Grade of risk

| 사고위험 확률등급 | 사고위험확률구분 | 사고위험 확률지수 |
|--------------|-------------------------------------|--------------|
| A | 사고발생 가능성이 대단히 높음 재해의 30%미만 점유 | 4 |
| B | 사고발생 가능성이 비교적 높음 재해의 10~20%미만 점유 | 3 |
| C | 사고발생 가능성이 보통 수준 재해의 5~10%미만 점유 | 2 |
| D | 사고발생 가능성이 낮은 수준 재해의 5%미만 점유 | 1 |

| 위험확률 | 위험강도 | | | |
|------|------|---|----|----|
| | D | C | B | A |
| D | 1 | 2 | 3 | 4 |
| C | 2 | 4 | 6 | 8 |
| B | 3 | 6 | 9 | 12 |
| A | 4 | 8 | 12 | 16 |

| 사고위험 강도등급 | 사고위험강도구분 | 사고위험 강도지수 |
|--------------|----------------|--------------|
| A | 재해발생강도가 대단히 높음 | 4 |
| B | 재해발생강도가 비교적 높음 | 3 |
| C | 재해발생강도 보통수준 | 2 |
| D | 재해발생빈도가 낮은 수준 | 1 |

| 위험등급 | 위험지수 | 위험강도 |
|------|------|-----------|
| I | 10이상 | 중대위험 |
| II | 8~9 | 보통위험 |
| III | 4~7 | 수용 가능한 위험 |
| IV | 1~3 | 무시 |

Table 2. Work classification by construction work

| 공사종류 | 작업내용(사고발생 위험 요인 수) |
|---------------------|---|
| 1. 굴착 및 발파 작업 | ① 천공 및 장약 작업(15), ② 발파 작업(3), ③ 부석정리 작업(3), ④ 버럭 작업(6), ⑤ 막장 관리 작업(5) |
| 2. 터널지보공 작업 | ① 슛크리트 타설 작업(8), ② 강지보공 설치 작업(8), ③ 와이어메쉬 설치 작업(3), ④ 록볼트 타입 작업(5) |
| 3. 라이닝 콘크리트 작업 | ① 라이닝거푸집 제작 및 설치 작업(9), ② 라이닝 철근 조립 작업(5), ③ 라이닝 콘크리트 작업(6), ④ 라이닝 거푸집 해체 및 이동 작업(2), |
| 4. 개착터널 라이닝 콘크리트 작업 | ① 라이닝 철근 조립 작업(2), ② 라이닝 콘크리트 타설 작업(2), ③ 라이닝 거푸집 해체 작업(2) |
| 5. 터널 보강 | ① 포프링 작업(4) |
| 6. 방수 작업 | ① 슛크리트 면 정리 작업(5), ② 방수 슈트 설치 작업(4) |
| 7. 기타 작업 | ① 기타 작업 |

터널공사 개시 전에 사업주 및 안전 전문가가 시공 중에 발생할 수 있는 위험성을 사전 평가할 수 있는 기본 절차는 Fig. 1과 같다.

정량적인 위험성 평가를 위해서 사고 발생 요인에 대한 위험확률 지수와 위험강도지수를 산출하여 위험도 및 위험등급을 부여하는 방법론을 적용하였고, 위험확률등급·위험강도등급·위험지수 및 위험등급 기준은 Table 1과 같다²⁾.

2.2. 공정별 위험 분석

터널공사를 “굴착 및 발파 작업”, “터널지보공 작업”, “라이닝 콘크리트 작업”, “개착터널 라이닝 콘크리트 작업”, “터널 보강”, “방수 작업”, “기타 작업”의 7개 공정으로 분류하였으며, 각 공정별 위험요인에 따른 위험확률과 위험강도를 산출하여 정량적 위험성 평가를 수행할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

터널공사의 작업분류는 현장에 따라 다소 차이

가 있으나, 본 논문에서 분류한 공정별 작업 분류는 Table 2와 같고, “작업공정 및 작업내역”·“사고발생 위험요인”·“예상되는 사고 유형”·“개선대책”·“위험확률”·“위험강도”·“위험지수”항목으로 구성되어 있는 위험성 평가표의 예는 Table 3과 같다.

3. 건설안전관리정보시스템

본 장에서는 터널공사의 위험성평가 모델을 토대로 현장에서 보다 신속하고 용이하게 위험성 평가를 수행할 수 있도록 건설안전관리정보시스템에 대하여 설명하고자 한다. 본 시스템은 현장의 위험성 평가를 수행할 수 있는 기능 이외에 재해사례·표준안전작업지침·안전용어·산업안전보건법의 데이터를 관리할 수 있어 안전 교육에도 활용할 수 있다. 본 논문의 시스템 개발 틀은 Microsoft Visual Studio .NET과 Microsoft Access 2000의 DBMS(Data Base Management System)으로 개발되었다.

Table 3. Sample of risk assessment table

| 작업공정 | 사고발생위험요인 | 사고 유형 | 개선대책 | 위험확률 | | | | 위험강도 | | | | 위험 지수 |
|-------------|-------------------------------------|-------|--|------|---|---|---|------|---|---|---|-------|
| | | | | A | B | C | D | A | B | C | D | |
| 가. 발파작업 | 1. 화약장약 및 전기뇌관 연결 작업 중 낙뢰발생으로 화약 폭발 | 폭발 | - 피뢰침 또는 낙뢰 유도 시설 - 장약과 뇌관 분리 작업 시행 - 비전기식 뇌관 사용 유도 - 낙뢰 우려시 장약 장전 작업 금지 | | | | | | | | | |
| | 2. 발파 후 압반의 비산 | 낙하 비래 | - 위험 구역내 근로자 대피 - 전면, 후면 견고한 피난장소 설치 - 발파면을 안전덮개로 비산 방지 - 관리감독 철저 - 발파후 부석등 점검 | | | | | | | | | |
| | 3. 발파 작업 이후 가스에 의해 근로자 쓰러짐 | 질식 증독 | - 환기조치 후 후작업 시행 - 보호구 착용 - 가스농도 측정 담당자 지정 - 가스농도 자동경보장치 설치 - 비상벨 등 통신설비 설치 - 출입자 명단 관리 감독 - 산소 결핍에 관한 교육 | | | | | | | | | |
| 나. 부석 정리 작업 | 1. 부석 정리 하던 백호에 의해 작업자 접촉 | 협착 낙하 | - 안전작업계획서 작성 - 접촉방지 조치 철저 - 유도자 배치 - 장비회전 반경내 접근 금지 - 후진경보기 및 경보등 설치 - 조도 확보 | | | | | | | | | |
| | 2. 장비로 부석 정리 중 불발 화약 폭발 | 폭발 | - 발파 작업 안전교육 - 장비작업 반경내 작업자 접근 금지 - 작업전 불발화약 유무 점검 - 관리감독 철저 | | | | | | | | | |
| | 3. 발파 후 부석정리를 하던 중 낙반에 의해 운전자 매몰 | 낙하 붕괴 | - 낙석우려 부석 정리 철저 - 막장면 관찰 철저 - 위험작업구역 출입통제 - 관리감독 철저 - 안전모 착용 철저 | | | | | | | | | |

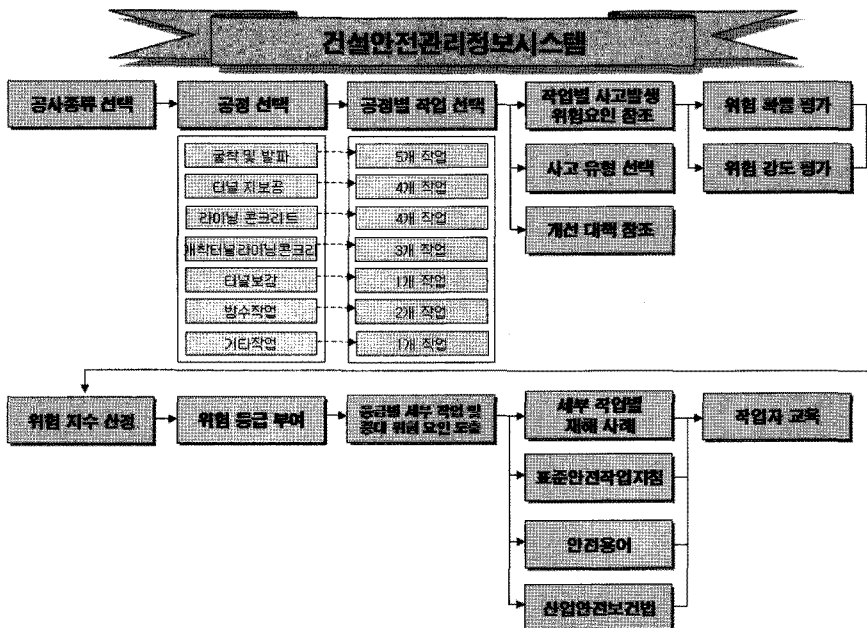


Fig. 2. Structure of construction safety management information system.

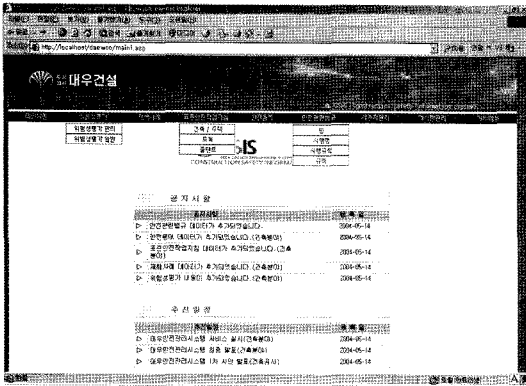


Fig. 3. Main screen of construction safety management information system.

3.1. 건설안전관리정보시스템 레이아웃

건설안전관리정보시스템의 레이아웃은 Fig. 2와 같고, Fig. 3과 같이 메인화면, 위험성평가/위험성평가 관리·위험성평가 일반, 재해사례, 표준안전작업지침(건축/주택·토목·플랜트), 안전용어, 안전관련법규(법·시행령·시행규칙·규칙), 사용자관리, 게시물관리, 기타메뉴의 9개 메뉴로 구성되어있다. 로그인 아이디를 통하여 관리자 및 일반사용자를 구분하고, 위험성평가관리와 사용자관리 메뉴는 관리자만이 접속할 수 있다.

3.2. 위험성평가

위험성평가 메뉴는 현장별 위험성 평가를 수행할 수 있는 메뉴로서, 관리자 메뉴인 위험성평가 관리와 사용자 메뉴인 위험성 평가 일반으로 구성되어 있다.

(1) 위험성 평가 관리

위험성 평가 관리는 건설 현장에서 위험성 평가

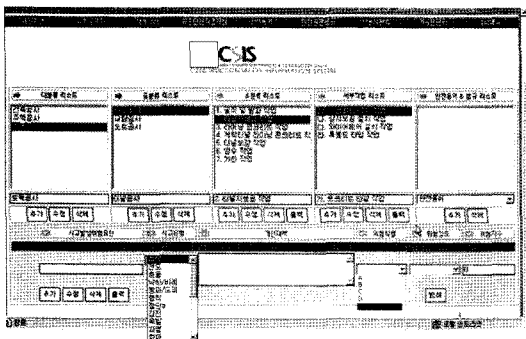


Fig. 4. Management menu for risk assessment.

를 수행할 수 있도록 Fig. 4와 같이 공사종류를 대분류(건축·토목·플랜트 공사)·중분류(토목공사 중 터널공사·교량공사)·소분류(터널공사의 굴착 및 발파, 터널지보공, 라이닝 콘크리트, 개착터널 라이닝 콘크리트, 터널 보강, 방수 작업, 기타 작업)로 분류하고, 공사 종류별 세부작업과 그 작업에 해당하는 사고발생위험요인·사고유형·개선대책·위험확률·위험강도·위험지수를 설정할 수 있다. 건설현장에서 일반 사용자가 위험성평가를 수행하기 위해서는 관리자가 위험성평가관리 메뉴를 이용하여 대분류·중분류·소분류·세부작업리스트·안전용어 & 법규리스트를 미리 설정하여야 한다. 또한, 안전용어 & 법규리스트에 세부작업에 관련하는 재해사례·표준안전작업지침·안전용어·안전관련법규 내용을 첨부하면, 위험성평가 일반 메뉴에서 첨부한 파일을 일반 사용자가 검토함으로써 사용자의 이해에 도움을 줄 수 있고, 안전교육 자료로도 용이하게 활용할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

(2) 위험성평가 일반

위험성평가 일반 메뉴는 Fig. 5와 같이 위험성평가 관리 메뉴에서 관리자가 대분류/중분류/소분류/세부작업 항목을 설정한 데이터를 사용자 현장에 적합한 데이터만을 설정하고 위험성 평가를 수행할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

위험성 평가를 수행하는 방법은 Fig. 6과 같이 사용자의 현장을 입력하고, 현장에 관련하는 대분류/중분류/소분류/세부작업 항목을 선택한다. 세부 작업별 위험확률 및 위험강도를 선택하면 세부 작업별 위험지수를 산출할 수 있다.

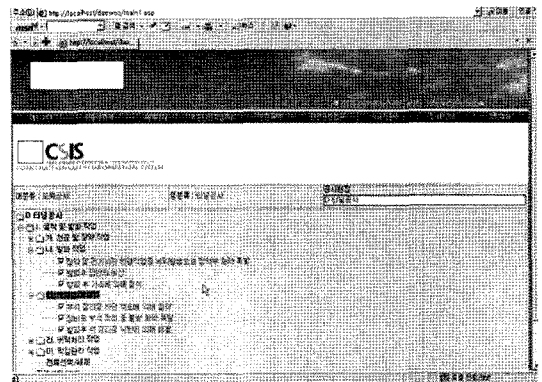


Fig. 5. Menu for risk assessment.

사용자 현장의 모든 세부 작업별 위험확률 및 위험강도를 선택한 후, 어떠한 작업이 더 위험한지를 검색할 수 있는 기능을 이용함으로써 사용자 현장에서 위험이 높은 작업과 낮은 작업을 분류할 수

있다. 또한, 위험이 높은 작업을 수행하기 전에는 해당 작업자에게 관련 사항을 주지시킴으로써 사고 발생을 미연에 방지할 수 있는 기능을 제공하고 있다.



Fig. 6. Risk index calculation by specific work.

| 구분 | 작업명 | 위험확률 | 위험강도 | 비고 | |
|---------------------|-------------|--|------|----|---|
| 1. 굴착 및 발파작업 | 천공/장약작업 | 화약관리 소홀에 의해 화약 폭발, 화약 장진구 장전시 화약 폭발 | D | A | 4 |
| | 부석 정리 작업 | 부석 정리 작업중 낙석에 의한 매몰 | D | A | 4 |
| 2. 터널지 보공작업 | 강지보공 설치 작업 | 바닥고르기 작업중 부석의 낙하, 강지보 설치중 천정부에서 부석 낙하 | D | B | 8 |
| 3. 라이닝 콘크리트 | 거푸짐제작/설치 | 손상된 전선이 라이닝 폼에 접촉하여 감전, 전기 용접 작업중 전기용접기에 의해 감전 | D | B | 8 |
| 4. 개착터널 라이닝 콘크리트 작업 | 철근 조립 작업 | 철근 소운반시 무리한 동작으로 허리 배임 | D | B | 8 |
| 6. 방수작업 | 숏크리트 면정리 작업 | 임지조명등 사용하는 작업중 감전 | D | B | 8 |

Fig. 7. Results of search for critical risk.

Table 4. Critical risk elements by specific work

| 공사종류 | 세부작업 | 중대위험요인 및 보통위험요인 |
|---------------------|-------------|--|
| 1. 굴착 및 발파작업 | 천공/장약작업 | 화약관리 소홀에 의해 화약 폭발, 화약 장진구 장전시 화약 폭발 |
| | 부석 정리 작업 | 부석 정리 작업중 낙석에 의한 매몰 |
| 2. 터널지 보공작업 | 강지보공 설치 작업 | 바닥고르기 작업중 부석의 낙하, 강지보 설치중 천정부에서 부석 낙하 |
| 3. 라이닝 콘크리트 | 거푸짐제작/설치 | 손상된 전선이 라이닝 폼에 접촉하여 감전, 전기 용접 작업중 전기용접기에 의해 감전 |
| 4. 개착터널 라이닝 콘크리트 작업 | 철근 조립 작업 | 철근 소운반시 무리한 동작으로 허리 배임 |
| 6. 방수작업 | 숏크리트 면정리 작업 | 임지조명등 사용하는 작업중 감전 |

건설공사의 안전관리정보시스템 개발

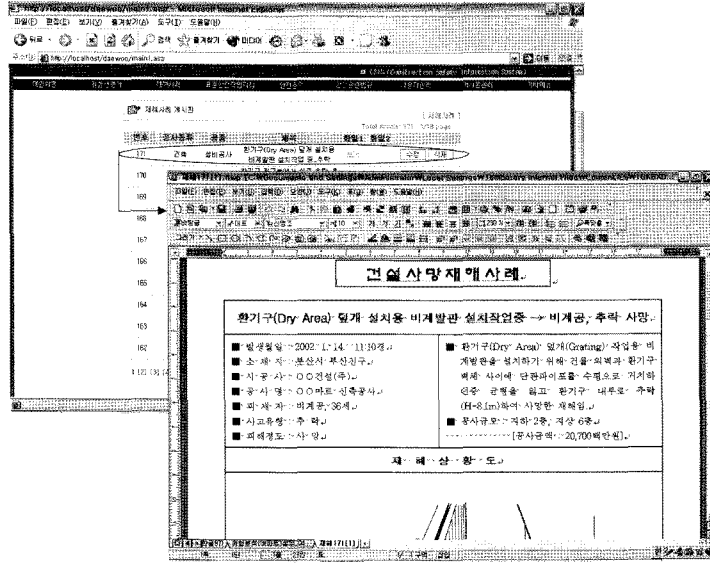


Fig. 8. Examples of accidents.

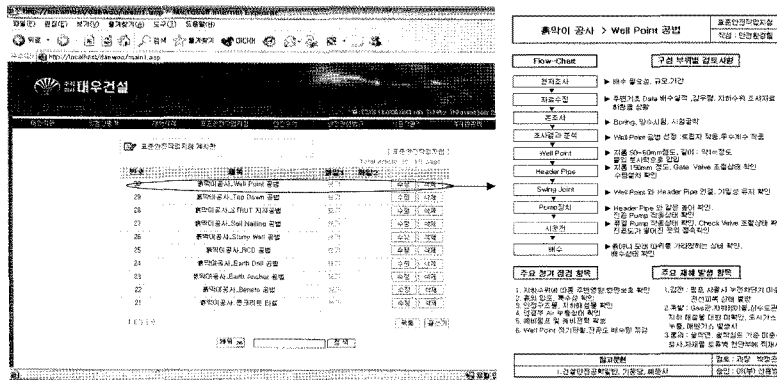


Fig. 9. Standard safety work instructions.

(3) 위험성평가 검색 결과

건설안전정보시스템에서는 위험지수를 통하여 중대위험/보통위험/수용가능한위험/무시의 4등급에 속하는 세부작업을 검색할 수 있고, Fig. 7은 위험지수가 10 이상인 중대위험에 속하는 위험지수 10~16에 해당하는 작업을 검색한 결과이다.

또한 건설안전관리정보시스템을 국내 D사의 11개 현장의 설문 조사 결과를 입력한 결과는 Table 4와 같은 작업이 중대 위험(A) 및 보통 위험(B)으로 도출되었다.

3.3. 재해사례

재해사례는 Fig. 8과 같이 공종별 과거 사망재해를 중심으로 재해개요·재해상황·재해발생상황·

재해원인 및 대책을 검토할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

3.4. 표준안전작업지침

표준안전작업지침 메뉴는 Fig. 9와 같이 공종별 공정흐름도·구성부위별 검토사항·주요 정기/점검 항목·주요 재해 발생항목 등을 검토할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

3.5. 안전용어 및 산업안전보건법

건설안전관리정보시스템에는 Fig. 10과 같이 안전용어 11,786개와 산업안전보건법의 법·시행령·시행규칙·규칙의 데이터베이스를 제공함으로써 사용자가 이해하기 어려운 용어의 해설을 제공하고,

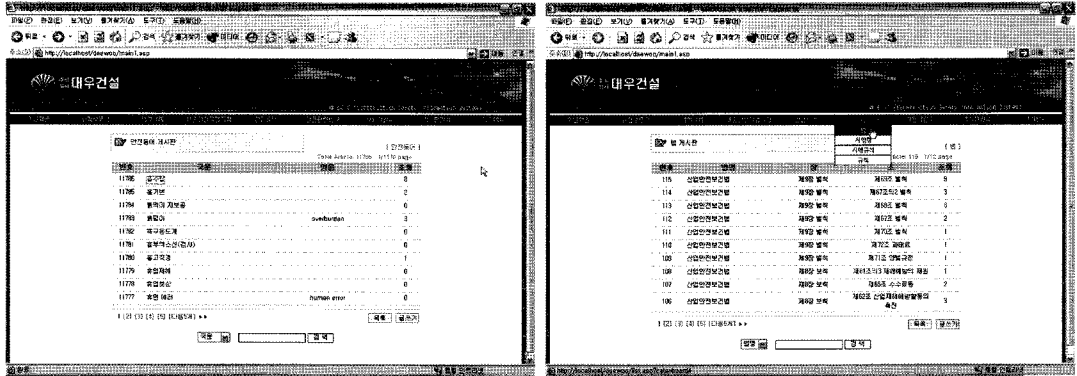


Fig. 10. Safety terms and industrial safety and sanitation laws.

사용자가 검토하고자 하는 산업안전보건법관련 내용을 용이하게 검색함으로써 업무의 효율성 및 안전성 향상의 기초 자료로 활용할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 터널공사 수행시 발생하는 사고 형태를 위험확률과 위험강도로 분류하여 위험지수를 산출할 수 있는 위험성 평가 수법을 제시하였고, 이를 토대로 건설현장에서 보다 효율적으로 위험성 평가를 수행하여 중대위험작업 도출 및 개선 대책을 제시하고 안전교육 자료로도 활용할 수 있는 건설안전정보시스템을 개발하였다.

따라서, 본 논문에서 제시한 위험성 평가 모델 및 건설안전정보시스템은 아직까지 터널 건설공사의 위험성평가에 대한 가이드라인이 없는 현시점에서 보다 안전한 터널공사 수행에 필요한 가이드라인을 개발하는데 기초 자료로 활용될 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

- 1) 박종근 외, “건설공사의 안전관리정보시스템 개발”, 한국안전학회추계학술발표회, pp. 114~121, 2004, 9.
- 2) 박종근, “빌딩공사의 안전관리정보시스템 개발”, 한국안전학회지, 제20권, 제4호, pp. 71~77, 2005, 12.
- 3) 박종근 외, “건설공사의 안전관리정보시스템 개발-터널공사중심으로-”, 한국안전학회 추계학술발표회, pp. 354~366, 2006, 4.
- 4) Kuhlmann, A, Introduction to Safety Science, Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg Tokyo, 1986.