

대구지하철 2호선 건설공사 중 발생한 사고분석

이용태[†] · 신승헌 · 손병창^{*}

계명대학교 산업시스템공학과 · ^{*}나사렛대학교 재활공학과
(2005. 8. 26. 접수 / 2005. 11. 3. 채택)

Accident Analysis of Second Daegu Subway Line During its Construction Period

Yong-Tae Lee[†] · Sung-Heon Shin · Byung-Chang Son^{*}

Department of Industrial and Systems Engineering, Keimyung University

^{*}Department of Rehabilitation Technology, Korea Nazarene University

(Received August 26, 2005 / Accepted November 3, 2005)

Abstract : The accidents which occurred between during February of 1997 to December of 2004 at the 2nd Daegu subway construction site have been classified. The accident types of injuries include accidental falls, falling objects which consist 53.4% of all accidents. This result is higher than the same types of accidents occurring at construction sites which are 46.3%. It was found that the 3.4 times more accidents are caused from safety measures and working methods than problems caused by lack of supervision. 78.0% of the accidents occurred at stations and at the ventilation area. 31.9% of the accidents occurred when the operation was near completion(81.0%~100.0%) which means there was pressure to complete the operation to meet the set due date. In the case of 50.0% of the accidents were caused by workers with less than two month work experience. And lumbago is 6.9%, especially lumbago didn't showed before. Maybe accident should increase if not reduce a possibility of danger. In this study a literature search has been conducted for the cause of these accident types and respective suggestions are provided.

Key Words : Daegu subway construction, accident type, prevention

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

1863년 세계 최초로 영국의 Metropoition 철도회사가 런던시 중심가인 Bishop Road에서 Ealinton Street까지 6.4km의 지하철을 건설한 이래, 다수의 국가에서 현재에도 지하철 건설 공사가 수행되고 있다. 우리나라의 지하철은 1971년 서울역에서 청량리역까지 9.54km가 착공되어 1974년에 개통된 후, 서울을 비롯하여 전국 주요도시에서 지하철 건설공사가 계속되고 있다.

지하철 건설 현장은 건물과 설비가 고정되어 있는 제조업의 현장과는 달리 안전시설물 등이 공사가 진척됨에 따라 그 위치가 계속 바뀌게 되고 새로

설치해야 하는 시설물이 있어서 번거로움, 시간, 경제적 여건 등으로 안전관리를 소홀하기 쉽게 된다. 또한 작업 시에 이동이 많고 작업이 지상, 지하에서 수행되므로 작업환경(소음, 분진, 조명 등)의 문제, 視界, 장비의 대형화·복잡화 등으로 안전사고가 다른 건설업종에 비하여 많이 발생한다는 보고가 있다. 지하철공사는 다른 건설현장 작업보다도 위험성이 큰 공사로서 사소한 실수로도 대형 재해를 유발시켜 다수의 작업자뿐만 아니라 공공의 안전까지 위협할 수 있다. 이렇게 어렵고 복잡한 건설공사이지만, 지하철 건설로 인하여 지역개발촉진, 도시미관 향상, 도시 활동거리의 확대 등 지역사회전반에 미치는 효과가 크고, 외곽 주요 생활권의 지역 개발에 크게 기여할 수 있으며 도심부로 집중되는 통행량을 분산시켜 도시의 활동밀도도 다소간 완화시키는데 도움이 된다. 또한, 교통수요증가에 대

[†] To whom correspondence should be addressed.
ergono@kmu.ac.kr

비 교통시설용량, 지가 등으로 도로시설공급의 한계를 극복하고, 교통체증에 따른 사회적 비용증가, 공해, 종합적 교통체계 구축의 필요 등을 극복하기위해서는 우리나라에서도 앞으로 상당기간 지하철 건설공사는 계속될 것으로 생각된다.

이러한 지하철 건설공사와 관련된 연구로는 고성석과 안홍섭¹⁾이 지하철 공사현장에서의 환기와 조명의 문제점을 제시하고, 그 대책으로 국소배기설비, 배기덕트의 사용요령, 계획조도, 가설조명의 필요성 등을 강조했다. 산업안전공단²⁾에서는 지하철 건설현장의 작업공중별 재해예방모형을 발표하여 작업공중에 따른 안전대책을 제시했다. 장준무³⁾는 지하철 건설현장의 사고예방에 관한 내용으로 안전교육, 재해예방업무의 민간주도, 신공법에 대한 이해 등을 설명했다. 이들 연구는 지하철 건설현장에서 유용한 내용으로 생각되지만 사고유형에 따른 분석이 다소 결여된 것으로 사료된다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 지하철 건설공사에서 안전사고를 줄이기 위하여 대구광역시 지하철 2호선(29.0km) 건설공사(1997.2~2004.12)중에 발생한 안전사고에 대하여 발생형태별로 분류하고, 각 형태의 내용을 파악하여 그 대책을 안전공학, 인간공학의 입장에서 검토하는 것을 목적으로 하고 있다. 대구광역시의 경우는 지하철 1호선(29.6Km)이 개통되었고, 2호선(29.0Km)이 2005년에 개통될 예정이다.

1.2. 지하철 건설의 공법

지하철 건설은 개착식(Open Cut)공법과 터널식공법으로 대별된다. 개착식공법은 지질이나 환경, 굴착방법 등에 따라서 다음과 같이 분류 할 수 있다.

- 1) 지질, 환경에 의한 분류 ①범면 굴착식(掘鑿式) ②무복공식(無覆工式) ③복공식(覆工式)
- 2) 굴착방법에 따른 분류 ①종할식(縱割式) ②측구식(側溝式)
- 3) 구축방법에 의한 분류 ①표준방법(順卷式) ②Top-

down 공법(逆卷式).

실제적으로는 이들을 복합한 형태로 시공하는 경우가 많다. 표준적인 개착식 공법의 시공순서는 흙막이 파일 항타 ⇒ 노면복공 ⇒ 지장물 방호 ⇒ 굴착 및 가시설 설치 ⇒ 구조물 시공 ⇒ 지장물 복구 및 되 매우기 ⇒ 노면복공철거 및 도로 포장이다.

터널식공법은 NATM(New Austrian Tunneling Method)공법, TBM(Tunnel Boring Machine)공법, Shield 공법이 있다. NATM공법의 시공순서는 상부반단면 굴착 ⇒ 상부반단면 지보재 설치 ⇒ 하부반단면 굴착 ⇒ 하부반단면 지보재 설치 ⇒ 방수 ⇒ 라이닝 콘크리트 타설이다. TBM공법은 터널 시공을 원형단면 굴착에 따른 안정성 증대와 발파에 의한 주변 지반의 손상이 적으므로 지반의 변형 및 침하가 감소하게 되어 인접 구조물의 피해를 최소화 할 수 있다. 또한 진동 및 소음으로 인한 민원발생이 적고 작업자에게 안전하고 청결한 갱내작업 환경을 제공하는 장점이 있다.

우리나라 지하철에는 서울지하철 5~9공구 화곡 터널 하부통과, 고층아파트단지 하부통과, 서울지하철 5~21공구 지하철 2호선 하부통과(12M 이격), 아현고가 하부통과(32M 이격), 서울지하철 5~27공구 광희동 주택밀집지역 하부통과의 시공사례가 있다. Shield공법은 연약한 지반의 터널을 건설할 때 선두에 강고한 강관을 잭 압력으로 압입시키며 굴착하는 공법으로 굴진과 함께 강제통을 추진시키며 실드선단의 회전식 커터를 이용 전단면을 굴착하며 후부에서 철근콘크리트 세그먼트를 조립하고 공극을 그라우팅 주입하여 터널을 완성시키는 공법이다. 시공순서는 발진수직구 ⇒ 장비반입 및 조립 ⇒ 반력대 설치 ⇒ 초기굴진 ⇒ 굴착 ⇒ 세그먼트조립 ⇒ BACK FILL 주입 ⇒ 본 굴진 ⇒ 도달부 굴진 ⇒ 장비해체이며 우리나라 지하철 적용사례로 광주지하철 TK 1공구가 있다. 우리나라 지하철 건설공사는 일반적으로 개착식 공법과 NATM공법으로 시공하고 있다. 대구지하철 2호선 건설공사 역시 개착식 공법과 NATM공법으로 시공하였다.

Table 1. Overview of subway construction in South Korea (Jan. 2005)

| 도시 | 인구(만명) | 규모 | 개통 | 건설중 |
|----|--------|---------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 서울 | 1,026 | 325.0km(9개노선) | 287.0km / 1974년개통(8개노선) | 38.4km / 2007년 개통(1개노선) |
| 부산 | 379 | 112.2km(3개노선) | 54.2km / 2002년개통(2호선) | 71.6km / 2007년 개통(2호선 개통) |
| 대구 | 252 | 58.6km(2개노선) | 29.6km / 1999년개통(1호선) | 29.0km / 2005개통(2호선) |
| 인천 | 256 | 30.6km(1개노선) | 24.6km / 1999년개통(1호선) | 6.0km(1호선 연장구간) |
| 광주 | 138 | 20.1km(1개노선) | 1단계 / 2004년 4월 28일 개통 | 20.1km / 2007년 개통(1개노선, 17,361억원) |
| 대전 | 150 | 22.6km(1개노선) | 1단계 / 2006년 상반기 개통 | 22.6km / 2007년 개통(1개노선, 18,438억원) |

1.3. 국내 지하철의 건설 현황

2005년 현재 우리나라 지하철 건설 공사 현황은 Table 1과 같다.

1.4. 대구지하철 2호선 공사 개요

공사구간은 다사~고산방면이며, 공사규모는 연장 29.0km, 정거장 26개소, 차량기지 1개소, 전동차 168량이다. 사업비는 2조 3,299억원(국비 11,327 : 지방비 11,972) 이고, 공사기간은 1996년~2005년 9월이다(1997년 1월 착공). 또한 연도별 공사 투입액은 Table 2와 같다.

2. 연구방법

본 연구는 전술한 바와 같이 대구광역시 지하철 2호선 건설공사(1974년 2월~2004년 12월, 29.0km)에서 발생한 각종 안전사고 중, 근로복지공단에 의해 산재요양이 허가된 144건을 Data로 하여 각종 분석에 이용한다. 각 재해마다 Table 3과 같이 재해내역을 정리했다. Table 3 중 발생형태는 Table 4의 내용에 따라 분류했다.

3. 재해분석과 예방대책

3.1. 재해유형별 기술 및 관리적 원인과 예방 대책

Fig. 1은 발생한 144건의 재해에 대하여 유형별로 그 비율을 나타낸 것이다. 추락이 31.9%, 낙하비레가 21.5%로 두 유형이 53.4%나 차지하게 된 것은 대구지하철 2호선의 경우 역사는 건축물로서 시공되었고, 역과 역 사이는 터널시공을 하였다. 역사가 건축물로 시공되어 일반 고소작업에서 특징적으

Table 2. Annual budget for subway construction (단위: 억원)

| 구분 | 총사업비 | 2001년까지 | 2002년 | 2003년 | 2004년 | 2005년 |
|-----|--------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 소계 | 23,299 | 13,526 | 3,188 | 2,776 | 2,070 | 1,739 |
| 국비 | 11,327 | 6,132 | 1,586 | 1,195 | 1,371 | 1,043 |
| 지방비 | 11,972 | 7,394 | 1,602 | 1,581 | 699 | 696 |

Table 3. Accident analysis factor

| 순번 | 발생년 | 발생월 | 연령 | 근무기간 | 상해부위 | 최초요양일수 | 직종 | 기인물 | 발생형태 | 작업구간 | 작업공종 | 공정율 |
|-----|-----|-----|----|------|------|--------|------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | 97 | 6 | 61 | 30일 | 팔, 목 | 49 | 보통인부 | 기타(기름) | 기타(화상) | 정거장 구간 | 기타작업 | 4.0% |
| ⋮ | | | | | | | | | | | | |
| 144 | 04 | 11 | 46 | 5월 | 두부 | 56 | 전기공 | 사다리 | 추락 | 정거장 구간 | 구조물 작업 | 99.0% |

Table 4. Accident types

| 발생형태 | 내용 |
|------------|---|
| 추락 | · 사람이 건축물, 발판, 기계, 사다리 등 높은 장소에서 떨어지는 경우 · 감전하여 추락한 경우는 감전으로 분류 |
| 낙하·비레 | · 아래로 떨어지는 물건, 날아오는 물건 등이 주체가 되어 사람이 맞은 경우 · 자신이 갖고 있던 물건을 발에 떨어뜨린 경우를 포함 · 통제 불가능한 상황에서 물체에 맞은 경우 |
| 전도 | · 사람이 평면, 경사면, 층계 등에서 구르거나 넘어진 경우 · 미끄러짐에 의해 쓰러진 경우 |
| 충돌 | · 사람이 정지물 또는 움직이고 있는 물체에 부딪친 경우 · 매달린 짐, 기계부분 등에 사람이 부딪친 경우, 날아와 떨어진 경우 등 · 어느 정도 통제 가능한 상황에서 물체에 맞은 경우 |
| 협착 | · 구동되고 있는 기계로 인하여 사람이 깔림, 말려들 또는 끼이는 경우 |
| 요통(무리한 동작) | · 자신의 체력, 연령 등을 고려하지 않은 무리한 동작 · 안전수칙을 무시한 임의 동작 |
| 기타 | · 붕괴·도괴, 폭발, 질병, 절단, 감전, 배임, 진동 등 |

로 나타나는 추락, 낙하·비레와 같은 재해유형이 많았다고 생각된다.

이러한 재해를 방지하기 위해서는 안전통로의 확보가 중요하고, 각종 개구부에 대한 안전조치를 취해야 한다. 또한 현장 근로자가 작업장으로 이동할 경우에는 임의 이동을 억제할 수 있도록 철저한 관리감독이 필요하다.

전도의 경우는 11.8%로서 이것은 작업자세의 불안정과 족장의 크기와 경사, 지하철 건설현장의 특성상 정리정돈의 어려움, 작업환경(조명, 바닥의 습기 등)이 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 충돌이 10.4%, 협착이 9.7%인데 작업장에서 자재를 운반할 때 시야의 장애와 소음 등을 원인으로 생각할 수 있다. 특이한 것은 지금까지 지하철 건설현장의 재해 유형에서 찾아보기 어려웠던 요통이 6.9%로 나타난 것은 2002년 12월에 신설된 산업안전보건법 24조⁴⁾ 「단순반복 작업 또는 인체에 과도한 부담을 주는 작업에 의한 건강장해」에 대한 사업주의 의무 불성실에 근거하여 요양신청이 이루어진 것으로 생각된다. 지하철 건설 현장에서도 무리한 작업자세, 중

량물 취급 등 작업개선을 위한 노력이 필요하다. 이러한 근골격계에 대한 부담 작업을 해소하지 않으면 이와 관련된 요양신청의 건수는 앞으로 더욱 증가할 것이다.

Fig. 1에 제시된 재해유형에 대하여 그 원인을 기술적인 내용과 관리적인 내용으로 나누어 나타낸 것이 Table 5이다. 기술적 원인이 77.1%, 관리적 원인이 22.9%이다. 관리적인 원인에 비하여 기술적 원인이 크게 높은 것은 건설현장에서는 안전시설, 기계·기구, 작업방법 등 비교적 Hard한 내용에서 많은 재해가 발생하는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 기술적원인의 구체적인 내용을 나타낸 것으로 안전시설 미비가 49.5%나 되는 것은 안전확보를 위한 노력이 부족한 것을 의미하는 것으로 볼 수 있다. 작업방법의 부적합이 24.3%나 되는 것은 작업내용이 제조업의 흐름작업과는 상이하여 공정이 진척됨에 따라 작업내용과 작업장 환경이 계속 변하게 되어 작업자가 이러한 환경에 익숙하

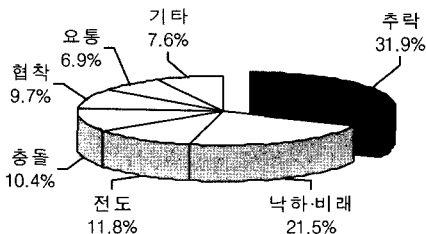


Fig. 1. Accident type comparison.

Table 5. Accident cause analysis: technical and management aspect

| 기술적 원인(77.1%) | 관리적 원인(22.9%) |
|---------------|---------------|
| 안전시설 미비 | 안전교육 미흡 |
| 구조적인 결함 | 관리감독 소홀 |
| 작업방법의 부적합 | 보호장구 미착용 |
| 불안정한 작업자세 | 안전의식결여 |
| 기계·기구의 고장 | 정기점검 미실시 |
| | 동일장소 동시작업 |
| | 주용도 외 사용금지 |

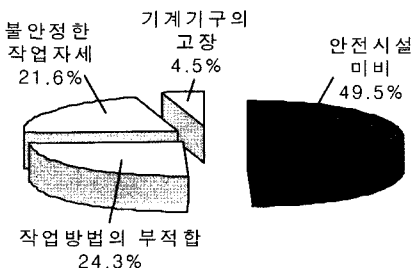


Fig. 2. Accident cause: Technical aspect.

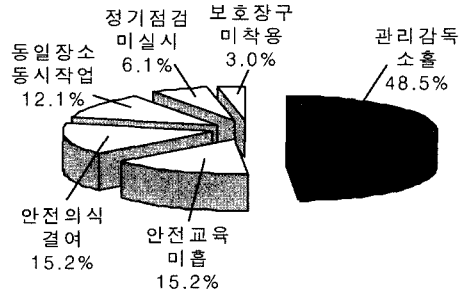


Fig. 3. Accident cause: management aspect.

지 못하여 발생하는 것으로 생각할 수 있다. 또한, 불안정한 작업자세도 21.6%나 되어 족장 등 작업방법의 개선이 필요하다고 할 수 있다.

Fig. 3은 재해의 관리적원인의 구체적 내용을 나타낸 것으로 관리감독 소홀이 48.5%나 되는 것은 현장의 안전담당자가 관리하는 장소가 넓고, 구조물의 경우 공간이 넓고, 상하층 작업 때문에 지도에 어려움이 있는 것으로 볼 수 있다. 또한, 실제 현장의 안전담당자의 업무가 관계기관에 대한 공문 작성, 안전사고 발생시에 처리 등으로 현장 작업자들을 일일이 관리감독하기에는 다소의 무리가 있는 것이 현실이다. 안전의식결여와 안전교육 미흡이 각각 15.2%로 나타났는데 아직도 안전 불감증의 생각이 다수 남아 있음을 알 수 있다. 건설공사의 특성상 작업장 곳곳에 위험요소가 있고, 작업자의 이직률도 높아 질적인 안전교육에 어려움이 있는 것이다. 동일 장소 동시작업에서도 12.1%나 되어 작업분담의 애매함과 작업 시에 정보교환, 작업관리에 문제가 있음을 나타내고 있다. 정기점검 미 실시와 보호 장구 미착용이 9.1%나 되는 것에는 안전담당자와 작업자 모두에게 안전관리의 기본 교육이 필요한 것으로 생각한다. 사고를 낸 작업자들이 그 작업장에서 일을 시작한지 2개월 미만인 자가 약 50.0%나 된다(Fig. 7). 이들은 타 건설현장에서 작업경력이 있는 자도 있지만, 변화된 작업상황에 빨리 대응하지 못하기도 하고, 안전의식에 다소 문제가 있는 것으로 현장에서 지적되고 있다.

Fig. 1~3과 Table 5에서 재해유형과 기술 및 관리적 원인을 생각했다. 결국 복잡한 지하철 건설 현장에서 불안정한 상태를 찾아 기술적인 대책을 강구하는 안전책임자의 끊임없는 노력과 스스로 안전의식을 높이기 위해 노력하는 작업자들이 되어야 이러한 재해를 감소시킬 수 있다고 생각된다.

Fig. 4는 재해 유형에서 기술 및 관리의 원인인 어떤 내용으로 구성되어 있는가를 나타낸 것이다. 추락에서는 안전시설 미비(61.0%)와 작업방법의 부

적합(20.0%)이 81.0%나 되어 신뢰성이 있는 안전망과 안전띠 등의 필요성을 알 수 있고, 바른 작업자세를 유지하기 위한 작업방법 등을 강구해야 한다.

Table 6. Model case in each accident type

| 재해유형 | 기술·관리적 원인 | 대표적 사례 |
|-------|----------------------------|---|
| 추락 | 안전시설미비 (60.9%) | <ul style="list-style-type: none"> · 작업자로 이동중 선로에서 탈선하여 추락 · 벽면 암버력이 착암기 로드위에 떨어져 기계와 함께 추락 · 슛크리트 덩어리가 낙하되면서 사고자를 타격하여 추락 · 사각 pipe를 안전통로 쪽으로 이동중 중심을 잃어 추락 · 철근조립 작업 중 안전 발판이 휘어지면서 추락 |
| | 작업방법의 부적합 (19.6%) | <ul style="list-style-type: none"> · 버팀보 위의 앵글을 잡다가 놓쳐 추락 · 강재인양 작업중 강재를 묶은 wire loop가 꼬이자 강봉을 이용하여 풀려다 개구부로 추락 · 사고자가 백호 호퍼에 타고 이동 중 중심을 잃어 추락 |
| | 관리감독소홀 (8.7%) | <ul style="list-style-type: none"> · 정리되지 않은 콘크리트 잔재더미에 미끄러져 추락 · 사다리 고정 상태가 불량하여 추락 · 버팀보 간의 간격이 넓어 체인 불력을 발로 조작 중 미끄러져 추락 |
| 낙하·비래 | 안전시설미비 (58.1%) | <ul style="list-style-type: none"> · 1차 슛크리트 처리된 중앙부 막장 면에서 부석이 낙하 · 터널 발파 작업중 터널 크라운부 암버력이 낙하 · 막장 상부의 콘크리트 덩어리가 낙하 |
| | 작업방법의 부적합 (22.6%) | <ul style="list-style-type: none"> · 호이스트 운전자가 주변을 살피지 않은 상태에서 장치를 자동으로 전환하여 호이스트 와이어가 사고자에게 비래 · 보강그라우팅 주입 작업중 주입압을 무시하고 체크밸브를 여는 순간 주입구에서 시멘트밀크가 사고자에게 분사 · 마이닝폼 이동용 레일을 운반하던중 부주의로 손수레에서 레일이 낙하 |
| | 관리감독소홀 (9.7%) | <ul style="list-style-type: none"> · 복공판 작업구에 흩어져 있던 토류판이 차량진동으로 지하로 낙하 · 호이스트 바가지에 강지보를 실은 상태에서 급골재를 담은 손수레를 메달고 올리는중 손수레가 낙하 · 절단기로 철근을 자르던중 무더진 절단기 날이 부러져 비래 |
| 전도 | 불안정한 작업자세 (52.9%) | <ul style="list-style-type: none"> · 추레라 상부로 타이어에 발을 딛고 오르는 순간 미끄러져 넘어짐 · 지하층으로 내려 가던중 미끄러져 넘어짐 · 카고 크레인 적재부에서 내려오다가 미끄러져 넘어짐 |
| | 안전시설미비 (11.8%) | <ul style="list-style-type: none"> · 청소작업 중 옆 부분의 흙이 무너져 넘어짐 · 주 철근이 무너져 넘어짐 · 틀비계 가새가 이탈되어 비계에서 미끄러져 넘어짐 |
| | 관리감독소홀 (11.8%) | <ul style="list-style-type: none"> · 흩어져 있는 환기 탁트 보호용 벽돌을 밟아 넘어짐 · 계단 미끄럼 방지용 철근에 발이 걸려 넘어짐 · 떨어져 있는 바닥의 버력을 밟아 발목이 접치며 넘어짐 |
| 충돌 | 작업방법의 부적합 (33.3%) | <ul style="list-style-type: none"> · 천공 작업중 명키스케너가 미끄러지면서 사고자가 천공기에 충돌 · 카고 크레인으로 D형강을 내리던 중 와이어로프가 받침보에 닿아 D형강이 빠져 사고자에 충돌 · 해머드릴의 진동충격으로 해머드릴이 사고자를 타격 |
| | 안전시설미비 (26.7%) | <ul style="list-style-type: none"> · 천공 작업중 부석이 떨어져 사고자에 충돌 · 앵글이 떨어져 사고자에 충돌 · 크레인드럼에 wire loop와이어로프가 풀리면서 H빔이 이탈하여 사고자에 충돌 |
| | 관리감독 소홀 및 안전교육미흡 (26.7%) | <ul style="list-style-type: none"> · 백호의 주차를 위해 후진중 뒤 바퀴에 사고자가 치임 · 천공드릴의 비트가 마모되어 연마숫돌이 파손되면서 사고자를 타격 |
| 협착 | 작업방법의 부적합 (35.7%) | <ul style="list-style-type: none"> · 부주의로 손을 피하지 못해 손가락이 레일과 보도 헌치 사이에 협착 · 백호후 버킷을 이용하여 운반중이던 철관이 운전미속으로 미끄러지면서 사고자의 발등에 협착 · 락장을 설치하던중 버팀보에 걸려 락장이 팽기면서 버팀보 위에서 신호 중이던 사고자의 팔목부위가 협착 |
| | 관리감독소홀 및 동일장소 동시작업 (28.6%) | <ul style="list-style-type: none"> · 강재를 치우고 있는 사고자를 중기운전자가 보지 못하고 강재를 뒤집는 순간 발목이 협착 · 크레인으로 강재를 이동중 신호불일치로 재해자의 왼쪽다리가 벽체락볼트와 락장 사이에 협착 · 백호후가 강지보를 건드려 지보에 올라 있던 사고자의 왼쪽발이 강지보사이에 협착 |
| | 안전시설미비 (21.4%) | <ul style="list-style-type: none"> · 드릴 비트에 작업복과 손목이 딸려 들어감 · 수평받침보가 전도되면서 사고자가 깔림 · 락장이 이탈되면서 피해자의 왼손 인지가 토류판과 락장사이에 협착 |
| 요통 | 불안정한 작업자세 (100.0%) | <ul style="list-style-type: none"> · 해머로 스크류 자기를 고정시키는중 자세가 불안정하여 허리통증 호소 · 허리를 구부려 무거운 자재를 드는 순간 허리통증 호소 · 거푸집을 하부 작업자에게 내려주는 과정에서 허리통증 호소 |
| 기타 | | <ul style="list-style-type: none"> · H빔 절단작업을 하던 중 정전이 되어 개구부에 원발이 빠짐 · 트로리 자체운반 중 조명이 어두워 사고자를 발견하지 못하고 충돌 · 어두운 지하 작업장내 작업을 위해 양수기 가동 중 감전 |

대구지하철 2호선 건설공사 중 발생한 사고분석

Table 7. Prevention policy in each accident type

| 재해유형 | 예방대책 |
|-------|--|
| 추락 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 지상개구부, 가설동로 등에는 안전 난간과 폭목을 견고하게 설치함 2) 작업발판, 작업대차의 발판은 밀실하고 견고하게 하며 안전 난간대를 설치함 3) 철골작업시 안전대 부착설비를 설치하고 구멍 loop를 걸어 안전장구를 착용하고 이동함 4) 수직구의 버력 반출 작업장에는 덤프트럭이 후진시 수직구로 추락하지 않도록 stoper를 설치함 stoper는 사용후 남은 H빔을 이용하여 복공판 위에 용접 설치함 5) 이동식 비계위에 근로자가 탄 채로 이동시키지 않도록 함 6) 고소 작업자에게는 안전장구 착용을 철저히 관리감독을 함 |
| 전도 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 작업장내의 정리정돈을 철저히 함 2) 작업장내 조명을 충분히 하여 사전 위험요소를 파악할 수 있도록 함 3) 무리한 동작을 하지 않도록 함 |
| 낙하·비레 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 터널 발파후 부석정리를 철저히 하여 후속 작업시 낙석이 낙하지 않도록 함. 이때 부석의 규모가 크거나 부석 정리 작업자가 위험하다고 판단될 때에는 백호우 등의 장비를 사용하여 부석정리를 해야 함 2) 천공 작업, 부석정리 작업, 쇼트크리트 작업, 거푸집조립, 해체 등의 작업시에는 안전모 등의 착용을 철저히 하도록 관리감독을 함 3) 낙하의 위험이 있는 장소에 근로자의 출입을 금지시켜야 함. 토사반출 수직구 등에 토사반출 버켓이나 크리인으로 자재하역 등의 작업으로 수시 상하 작업하는 장소의 주변에는 작업경보장치, 안전표지판 등을 설치하고 안전담당자를 배치하여 작업을 지휘하고 근로자의 출입을 통제함 4) 상하 동시작업을 금지하여야 함. 상하 동시작업은 가급적 피하되 불가피한 경우에는 낙하물이 낙하 하지 않도록 안전시설을 하고 안전담당자를 배치해야 함 5) 상부작업발판에 무리한 자재적치 및 정리정돈 철저. 상부작업 등에 각종 자재나 공구 등을 건드려 낙하하는 경우가 많으므로 작업발판 상에는 되도록 자재 등을 적치하지 말고 작업공구 등은 정리정돈을 해야 함 6) 수직구상의 토사반출용 버켓에는 버력이 낙하지 않도록 무리한 적재를 하지 않음. 버켓에 과적하여 인양 중 버켓의 요동으로 인해 버력 일부가 낙하므로 적정량의 버력을 인양해야 함 7) 버력 반출 수직구 상하에는 자동경보장치를 설치하고, 버력 및 자재를 반입, 반출하는 수직구의 상하 단에는 자동경보장치를 설치하여 작업장 주위를 지나는 근로자의주위를 환기시킴. 8) 버팀보 상에는 자재 등을 쌓아 두지 말 것. 근로자가 버팀보 상을 이동시 쌓여 있는 자재를 건드려 낙하할 우려가 있으므로 이러한 요인을 사전에 제거해야 함. 9) 토류판 설치 작업시 토사나 누수의 여부를 사전에 확인하고 작업에 임해야 함 10) 그라인더에는 비산방지용 카바를 설치하여 그라인더 날이 파손되어도 비레 되지 않도록 함 |
| 충돌·협착 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 인양장비로 자재 운반시에 작업반경 내에 근로자의 출입을 금지시켜야 함. 장비로 자재 운반중 노면 불안정 등으로 자재가 흔들릴 우려가 있으므로 자재에 로프를 걸어 충분한 거리에서 흔들리지 않도록 잡아 주며 이동하여야 함 2) 자재, 기구 등을 달아 올리거나 내릴 때에는 달줄이나 달포대를 이용해야 함 3) 장비작업장에는 안전담당자를 배치하여 근로자의 출입을 금지시켜야 함 4) 전동기계, 기구 수리시에는 항상 전원을 끄고 작업에 임하여야 함 5) 무리한 작업을 금지하여야 함. 중량을 작업시 근로자의 신체에 알맞은 작업량을 시켜야 함 |
| 요통 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 물체의 중심과 작업자와의 간격(발까지의 거리)을 최소화함. 그러기 위해서는 몸의 중심을 물체에 최대한 가까이 해야 하고 가벼운 물건이라 하더라도 그 부피를 최소화해야 함 2) 바닥에 놓여 있는 물체의 중심이 가능한 작업자의 허리높이와 동일해야 한다. 바닥에 있는 물체를 들어 올릴 때는 물체의 무게중심이 허리 아래에 있기 때문에 책상등과 같은 받침대를 이용해서 물체의 중심높이가 작업자의 허리높이(약 75cm)에 위치하도록 인위적으로 조절할 필요가 있음 3) 물체의 운반거리 및 회수(혹은 들어올리는 회수)를 최소화 함. 물체의 중량이 크지 않더라도 들어 올리는 회수가 빈번해지면 척추에 무리가 갈 수 있음. 4) 바닥에 있는 물체를 들어 올릴 때는 허리를 굽게 편 상태에서 무릎을 굽혀 몸의 중심을 낮추도록 한다. 무릎을 편 상태에서 물체를 들어올리면 물체의 하중이 곧바로 척추에 전달되기 때문에 반드시 무릎을 굽힌 상태에서 들어올려야 함 5) 물체를 어깨위로 들어올리는 일은 금지해야 함 6) 두 사람 이상이 물체를 들어올릴 때는 양쪽에 힘이 균등하게 배분되도록 행동을 동시에 취함 7) 무거운 물체 혹은 부피가 큰 것은 물체의 한쪽에서부터 들어올려야 함 8) 들어올리는 물체는 손잡이가 있어야 하고 만약 손잡이가 여의치 않을 때는 코팅장갑을 착용해 힘을 지지할 수 있도록 해야 함 9) 물체를 들어올릴 때는 힘을 지지하는 발끝을 서로 나란하게 하지 말고 가능한 대각선 방향이 되도록 해서 힘을 분산시키도록 함 10) 바닥을 이용해 물체를 이동시킬 때는 앞에서 끌어당기지 말고 뒤에서 물체를 밀도록 함 |
| 기타 | <ol style="list-style-type: none"> 1) 통로에 정상적인 통행을 방해하지 아니하는 정도(75Lux 이상)의 조명시설을 확보하고 상시 통행을 하지 않는 지하실 등에는 휴대용 조명 기구를 사용하도록 조치하여야 함 2) 당해 전로 정격에 적합하고 감도가 양호하며 확실하게 작동하는 감전 방지용 누전차단기를 사용하고, 전기기계 기구에 연결되는 배선은 항상 접지할 수 있도록 접지선이 포함되어야 함 3) 전기기계기구 취급시 작업 안전수칙에 대한 교육이 실시되어야 함 |

낙하·비레의 원인이 추락과 유사한 형태인 것을 알 수 있어 안전망, 작업방법의 개선이 필요하다는 것과 전도와 요통은 불안정한 작업자세의 원인이 각각 50.0%, 100.0%로 되어 있어 정리정돈과 작업 방법에 문제가 있는 것을 알 수 있다.

Table 6에는 지하철 건설공사의 재해유형에 대하여 그 원인(관리·기술)과 대표적 사례를 정리하였고, Table 7에는 유형별로 그 대책을 제시했다¹⁴⁾. 그러나 유형별로 대책이 중복되는 것도 다수 있어 참고할 필요가 있다.

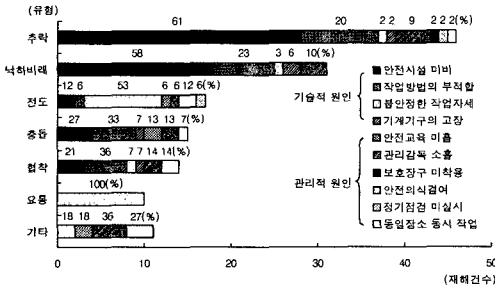


Fig. 4. Cause analysis based on accident type: technical and management aspect.

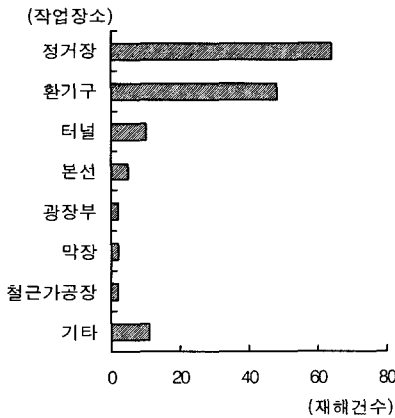


Fig. 5. Number of accident by location.

3.2. 작업장소에 따른 재해

Fig. 5는 작업장소별 재해건수, Table 8은 작업장소별 재해유형을 나타낸 것이다.

대구 지하철 건설공사를 장소별로 대별하면 정거장 및 환기구, 터널로 구분할 수 있다. 정거장과 환기구는 통상 3층 구조물로 시공된다. 이 구조물 공사 시에는 각종 개구부 발생과 지하 구조물 공사의 특징 중 하나인 자연광이 아닌 인공조명을 이용해

야 하므로 적절한 조도의 확보가 용이하지 못한 곳에서 작업하는 경우가 다수 있다. 어떤 시점에서 작업을 위한 조명시설이 잘되어 있다고 해도 작업이 진행되면 구조물이 형체가 바뀌게 되어 다시 조명시설을 할 필요가 있다. 정거장이나 환기구의 2층~3층 구간공사에서 목수, 철근, 철골작업이 수행되어 추락이나 전도사고의 가능성이 높다고 할 수 있다. 금번 조사에서도 정거장과 환기구에서 발생한 재해가 전체 재해의 77.8%나 되어 위험한 작업장소임을 알 수 있다. 그리고 각종 공종이 혼재한 상태로 작업을 수행해야 하므로 작업지연과 선 공종의 작업이 지연되어 후 공종이 작업을 진행하지 못하는 경우가 발생하여 선 공정에서는 주·야작업과 작업강도를 높이기 때문에 사고의 요인이 될 수 있다. 작업관리의 기법인 Gant Chart, PERT(Program Evaluation and Review Technique), CPM(Critical Path Method)등의 기법을 적극 도입할 필요가 있다⁷⁾.

3.3. 직종별에 따른 재해

Fig. 6은 직종별 재해건수, Table 9는 직종별 재해유형을 정리한 것이다. 철골공에서 재해자 수가 많은 것은 정거장과 환기구 작업의 주요부분을 철골공이 담당하기 때문이다. 3.2항에서 설명한 내용이지만, 금번조사에서 정거장과 환기구 작업(고소작업)에서 발생한 사고가 전체재해의 77.8%나 되고, 추락 재해가 많은 점 등이 이 내용을 뒷받침하고 있다. 다음으로 보통 인부에서 재해자 수가 많은 것은 건설 작업의 특성상 근무기간이 짧은 작업자가 많아 작업환경에 익숙하지 못하고 안전의식의 결여 등을 원인으로 생각할 수 있다. 금번조사에서 근무기간이 2개월 미만의 작업자가 전체재해의 50.0%를 차지하는 것으로 밝혀졌다. 이들의 안전교육 Pro-

Table 8. Accident type by location

| 장소 | 재해유형 | 추락 | 낙하·비레 | 전도 | 충돌 | 협착 | 요통 | 기타 |
|-------|------|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 정거장 | | 26(18.1%) | 7(4.9%) | 8(5.6%) | 8(5.6%) | 6(4.2%) | 4(2.8%) | 5(3.5%) |
| 환기구 | | 16(11.1%) | 13(9.0%) | 4(2.8%) | 5(3.5%) | 5(3.5%) | 2(1.4%) | 3(2.1%) |
| 터널 | | | 6(4.2%) | | 1(0.7%) | 1(0.7%) | 2(1.4%) | 1(0.7%) |
| 본선 | | 1(0.7%) | 1(0.7%) | 1(0.7%) | 1(0.7%) | | 2(1.4%) | |
| 광장부 | | 1(0.7%) | | | | | | |
| 막장 | | | 2(1.4%) | | | | | |
| 철근가공장 | | | | 2(1.4%) | | | | |
| 기타 | | 2(1.4%) | 2(1.4%) | 2(1.4%) | | 2(1.4%) | | 2(1.4%) |

26(18.1%): 26(재해건수), 18.1%(전체 재해건수(144건)중 차지하는 비율)

gram을 개발할 필요가 있다고 생각된다. 목공과 용접공의 재해는 철골공의 재해원인과 같은 맥락에서 해석할 수 있다.

Table 9의 직종별 재해유형에서 철골공과 용접공은 추락, 보통 인부는 전도, 목공은 낙하·비래의 재해가 많았다. 여기서 작업내용과 재해특성의 연관성을 볼 수 있다. Table 9에서 음영 처리한 부분은 전체재해 중에서 5건(3.0%)이상 관련된 것을 나타낸 것이다.

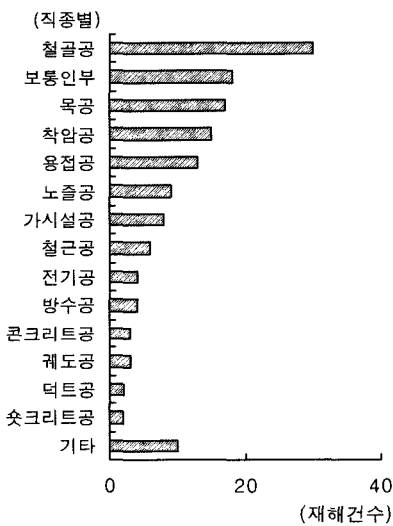


Fig. 6. Number of accident by occupation.

3.4. 근무 기간에 따른 재해

Fig. 7에서 알 수 있는 바와 같이 2개월 미만의 작업자가 72건(50.0%)으로 과반수의 재해를 발생시키는 것으로 조사되었다. 통계적으로 모집단의 분포가 조사되지 않아 단정적으로 말하기 어렵지만, 건설 산업의 특성으로 보아 일용직이 많고 이직률도 높아 근무기간이 짧은 작업자들이 다수의 재해를 발생시키는 것으로 볼 수 있다. 또한, 이들은 작업 초기에 작업환경에 익숙하지 못하고 경험부족, 안전의식 등이 결여되어 있어 특별한 안전교육이 필요함을 알 수 있다.

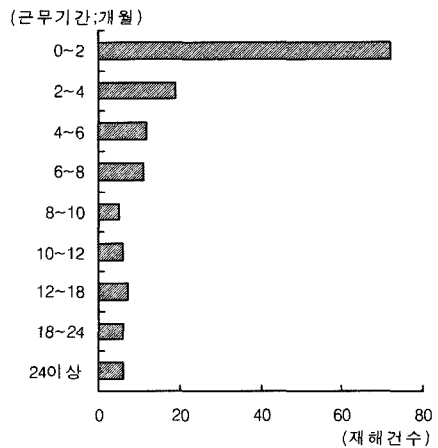


Fig. 7. Number of accident by job experience (working period).

Table 9. Accident type by occupation

| 직종 \ 재해유형 | 추락 | 낙하·비래 | 전도 | 충돌 | 협착 | 요통 | 기타 |
|-----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 철골공 | 12(8.3%) | 3(2.1%) | 7(4.9%) | 3(2.1%) | 5(3.5%) | 2(1.4%) | |
| 보통인부 | 4(2.8%) | 3(2.1%) | 5(3.5%) | 2(1.4%) | | 4(2.8%) | 3(2.1%) |
| 목공 | 4(2.8%) | 6(4.2%) | 2(1.4%) | 1(0.7%) | | 1(0.7%) | 1(0.7%) |
| 착암공 | 1(0.7%) | 6(4.2%) | 1(0.7%) | 3(2.1%) | 1(0.7%) | | 1(0.7%) |
| 용접공 | 9(6.3%) | | | 1(0.7%) | 2(1.4%) | | 1(0.7%) |
| 노출공 | 1(0.7%) | 7(4.9%) | | | | | 1(0.7%) |
| 가시설공 | 2(1.4%) | 1(0.7%) | | | 4(2.8%) | | |
| 철근공 | | | | 1(0.7%) | 1(0.7%) | 1(0.7%) | 1(0.7%) |
| 전기공 | 2(1.4%) | | 1(0.7%) | | | | 1(0.7%) |
| 방수공 | 3(2.1%) | 1(0.7%) | | | | | |
| 콘크리트공 | | 1(0.7%) | | 1(0.7%) | | 1(0.7%) | 1(0.7%) |
| 궤도공 | | | | 1(0.7%) | 1(0.7%) | | 1(0.7%) |
| 덕트공 | 2(1.4%) | | | | | | |
| 숏크리트공 | | 2(1.4%) | | | | | |
| 기타 | 6(4.2%) | 1(0.7%) | 1(0.7%) | 2(1.4%) | | 1(0.7%) | |

12(8.3%): 12(재해건수), 8.3%(전체 재해건수(144건)중 차지하는 비율)

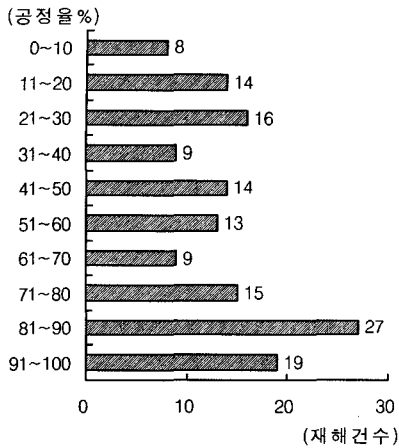


Fig. 8. Number of accident by work progress rate.

3.5. 공정율에 따른 재해

Fig. 8은 공정이 진행됨에 따라 발생한 재해건수를 나타낸 것으로 공정율이 81%~100.0%에서 전체 재해의 46.0%가 발생되었다. 작업내용으로 보아 이 시기가 각종 위험에 노출되기 쉬운 시기이다. 이 기간에는 정거장, 환기구 등의 구조물 공사가 가장 활발히 진행되는 시기이다. 구조물 축조를 위한 가설공사는 영구적인 구조체가 아니고 일시적 목적으로 설치한 후 해체하기 때문에 설계도면이나 시방서에 명시되어 있지 않고 시공회사가 임의로 설치하기 때문에 공기, 가설비용 등의 이유로 본 구조물보다 소홀히 취급되어 추락, 전도, 붕괴 등의 재해가 발생할 수 있다. 따라서 가설공사에 대한 철저한 관리 감독이 요구된다. 또한, 공사기간 중에 대구에서 Universiade가 개최되어 대회전까지 일부 공사를 마무리해야 하는 상황이고, 주·야 작업에 따른 작업자의 피로, 건설인력의 주된 연령대가 50대 이어서 기능의 영향 등이 원인인 것으로 생각할 수 있다. 공사가 완성단계에 이르러 마음이 느슨해지기 쉬운 심리적인 점 등을 감안하여 안전관리의 측면에서 안전 Patrol, 안전교육 등을 강화할 필요가 있다고 생각된다.

3.6. 기인물에 따른 재해

Table 10은 기인물의 분류, Fig. 9는 기인물별 재해건수, 그리고 Table 11은 기인물별 재해유형을 나타낸 것이다.

무리한 동작으로 기인한 재해가 전체의 25.0%인 36건이며, 물질에 기인한 재해는 12.5%로 18건을 차지한다. 그밖에 중량자재, 일반자재 순으로 재해가

발생되고 있음을 알 수 있다. 하지만 기인물이 많음으로 인하여 기타가 34건이나 된다. 재해유형별 비교에서는 무리한 동작으로 인한 추락재해가 15건으로 전체 재해에 대한 비율이 10.4%이고, 물질에 의한 낙하·비래는 13건(9.0%)으로 그 다음으로 많이 점유하고 있다. 무리한 동작과 직접적인 상관관계에 있는 요통은 10건으로 6.9%를 차지하고 있다.

무리한 동작과 물질에 기인한 재해를 예방하기 위해서는 작업전 안전교육과 안전체조를 시행하여 근로자의 안전의식을 제고하고 신체적 활동성을 향상시켜야 한다. 또한, 정리정돈과 작업방법의 개선 등의 작업환경을 개선하는 것이 필요하다고 생각된다.

Table 10. Caused things

| 기인물 | 내용 |
|--------|---|
| 무리한 동작 | 자재취급, 운반 및 이동시의 무리한 동작 |
| 물질 | 토사, 암, 파편, 아스콘조각, 콘크리트덩어리 등 |
| 중량자재 | H형강, 앵글, 찬넬, 라이닝폼 등 |
| 일반자재 | 철근, 시멘트(모탈), 벽돌, 방수슈트, 흙판, 터널지보재 등 |
| 작업발판 | 이동식비계, 임의설치 작업발판 등 |
| 가설자재 | 거푸집, 강관파이프, 각재, 판재, 토티판, 이동식스켈 등 |
| 인양장비 | 크레인, 크랩셀버켓, 와이어로프 등 |
| 버팀보 | 설치중이거나 설치 완료된 버팀보 |
| 사다리 | 사다리 |
| 띠장 | 설치중이거나 설치 완료된 띠장 |
| 운반차량 | 카고트럭 등 운반차량 |
| 기타 | 건설장비, 바다, 거푸집동바리, 절벽, 콘크리트 설비, 가설계단, 드릴, 복공판, 공구, 작업대차, 용접볼씨, 버팀목(통나무), 열차, 가스통, 신너 등 |

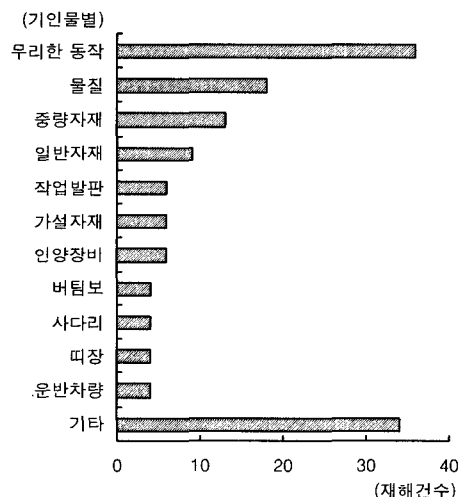


Fig. 9. Number of accident by caused thing.

Table 11. Accident type by caused thing

| 직종 \ 재해유형 | 추락 | 낙하·비래 | 전도 | 충돌 | 협착 | 요동 | 기타 |
|-----------|-----------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 무리한 동작 | 15(10.4%) | | 7(4.9%) | | 1(0.7%) | 10(6.9%) | 3(2.1%) |
| 물 질 | 2(1.4%) | 13(9.0%) | 1(0.7%) | 1(0.7%) | | | 1(0.7%) |
| 중량자재 | 7(4.9%) | 1(0.7%) | | 2(1.4%) | 3(2.1%) | | |
| 일반자재 | | 3(2.1%) | 4(2.8%) | | 2(1.4%) | | |
| 작업발판 | 5(3.5%) | | 1(0.7%) | | | | |
| 가설자재 | 3(2.1%) | 3(2.1%) | | | | | |
| 인양장비 | 1(0.7%) | 2(1.4%) | | 2(1.4%) | 1(0.7%) | | |
| 버팀보 | 4(2.8%) | | | | | | |
| 사다리 | 3(2.1%) | | | | | | 1(0.7%) |
| 띠장 | | 1(0.7%) | | | 3(2.1%) | | |
| 운반차량 | | | 1(0.7%) | 3(2.1%) | | | |
| 기타 | 6(4.2%) | 8(5.6%) | 3(2.1%) | 7(4.8%) | 4(2.8%) | | 6(4.2%) |

15(10.4%): 15(재해건수), 10.4%(전체 재해건수(144건)중 차지하는 비율)

4. 결론

본 연구에서는 대구광역시 지하철 2호선 건설공사에서 발생한 산업재해 중 근로복지공단으로부터 요양이 허가된 144건에 대하여 그 원인과 대책을 검토한 결과 다음과 같은 내용을 알 수 있었다.

- 1) 지하철 공사현장에서는 추락, 낙하·비래 등 일반 건설현장과 유형이 비슷하였으나 지금까지 쉽게 볼 수 없었던 요동이 6.9%나 되어 이에 대한 대책이 요구된다.
- 2) 재해원인에서 관리적 원인에 비하여 기술적인 원인이 77.1%로 크게 나타났다. 그 중에서도 안전 시설 미비와 작업방법의 부적절함이 73.0%나 되어 지하철 건설현장에서 아직 재래식 재해가 다수 있음을 알 수 있었다.
- 3) 공정율이 81.0~100%에서 전체재해의 31.9%가 발생하여 이 시기의 작업인 구조물 공사와 공기를 맞추려고 하는 압박감이 재해요인인 것이 다시 확인 되었다.
- 4) 정거장과 환기구에서 전체재해의 78.0%가 발생되어 재해 다발 장소로 확인되어 이들 작업에 집중적인 관리가 필요함을 알 수 있었다.
- 5) 재해를 유형별로 구분하고 유형에 따른 원인에 대하여 그 대책을 문헌고찰로 제시했다. 지하철 공사현장에서 안전을 위한 참고자료가 될 것이다.

이상과 같이 대구 지하철 2호선 건설공사에서 발생한 재해를 분석하고, 그 대책을 생각했다. Data가 인적재해에 국한되어 있어 물적 재해에 대해서 분석할 수 없었으나, 금후 건설되는 지하철 공사에서 유용한 자료가 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 고성석, 안홍섭, “지하건설공사의 작업환경개선에 관한 연구”, 산업안전학회지, 제12권, 제2호, pp. 119~132, 1997.
- 2) 한국산업안전공단, 지하철 건설현장 작업공종별 재해예방 모델, 상문상사, 1999.
- 3) 장준무, 지하철건설현장의 사고예방대책에 관한 연구, 석사학위논문, 경희대학교, 1994.
- 4) 장성록, 김용수, 이관석, 김유창, 배동철, “근골격계질환의 제도적 관리에 관한 연구”, 산업안전학회지, 제18권, 제3호, pp. 149~153, 2003.
- 5) 이규진, “건설공사 추락재해의 발생장소별·피재자별 분석”, 산업안전학회지, 제16권, 제2호, pp. 85~90, 2001.
- 6) 이종빈, 노민래, 고성석, “재해사례분석을 통한 빌딩공사재해특성”, 산업안전학회지, 제19권, 제3호, pp. 101~107, 2004.
- 7) 김용수, 손기상, 갈월모, 강운진, 김상렬, 산업안전관리론, 지구문화사, 2004.