도심지 터널식 공동구 시공 중 대형건설재해 피해 저감을 위한 Activity Diagram 개발

Development of Activity Diagrams for Mitigating Large-Scale Disaster Damage During Construction of Underground Urban Utility Tunnels

한용식* · 송창근**

Han, Yongsik*, and Song, Chang Geun**

Abstract

In recent years, demand for utility tunnels in urban underground areas, which accommodate various lifelines such as electric power, communication, water supply, heating, gas, and so on, is increasing. However, unlike domestic manuals that are focused on utility tunnel maintenance, disaster prevention measures implemented during the construction stage have been institutionalized overseas. In view of this, in order to secure safety related to the construction of utility tunnels in Korea, it is necessary to mitigate large-scale construction disasters that reflect the characteristics of underground urban utility tunnels. In this study, activity diagrams based on crisis warning phases of fire, inundation, and earthquake disasters were created to reduce the damage caused by each disaster. The activity diagrams are expected to contribute to the safety assurance in the event of a large-scale construction disaster during the construction of utility tunnels by effectively and promptly responding to each phase of the disaster.

Key words : Utility Tunnels, CCA, Earthquake Accident Scenario, Activity Diagram

요 지

최근 도심지를 중심으로 전력, 통신, 수도, 난방, 가스 등의 각종 라이프라인을 지하에 매설하는 터널식 공동구의 수요가 증가하고 있다. 하지만 공동구 유지관리에 치중된 국내의 매뉴얼과는 달리 해외에서는 시공 단계부터의 방재 대책이 법제화 되어 있다. 이러한 점을 보았을 때 국내에서도 시공과 관련된 안전 확보를 위해 도심지 터널식 공동구의 특성을 반영한 대형건설재해 대응 기법이 필요하다. 본 연구에서는 화재, 침수 및 지진 등의 재해별 위기경보단계와 CCA기법을 통해 작성된 재해별 발생 시나리오를 기반으로 하여 Activity Diagram을 개발하였다. Activity Diagram은 재해 발생 시 시공에 관련된 각 주체들의 행동요령을 정의하여 단계별로 대응활동을 제시하는 도표로 공동구 시공 중 대형 건설재해 발생 시 체계적이고 효과적인 대응활동에 도움이 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 터널식 공동구, CCA 기법, 지진 시나리오, Activity Diagram

1. 서 론

최근 대도시 인구 집중으로 인해 고밀화된 개발이 이루어 지며 도심지에 전력, 통신, 수도, 냉·난방, 가스 등의 라이프

라인이 증가하고 있다. 하지만 지상에 난립한 전선, 통신 케이블의 경우 도심의 미관을 훼손하고, 지하에서는 각종 파이프나 라인이 복잡하게 매설되어 있어 유지 관리에 어려움을 겪고 있다. 또한 노후화된 상하수도 지하 매설물은

*정회원, 인천대학교 안전공학과 석사과정(E-mail: dydtlr11456@naver.com)

Member, Master Course Student, Department of Safety Engineering, Incheon National University

**교신저자, 정회원, 인천대학교 안전공학과 부교수(Tel: +82-32-835-8291, Fax: +82-32-835-0779, E-mail: baybreeze119@inu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Safety Engineering, Incheon National University

포트홀이나 싱크홀의 주요 원인으로 작용하기도 한다(Lee, 2019). 단독구 또는 관로 등의 지하매설물이 난립하여 추가로 시설물을 설치할 경우 공간 확보에 많은 어려움을 겪고 있으며, 유지 보수, 개량, 교체, 증설 등의 굴착공사가 빈번하여 통행에 지장을 주기도 한다. 이러한 개작 공사로 인해 경제적 손실뿐만 아니라 지역 주민들의 불편이 증가하고 있다. 각종 지하매설물이 난립하게 되면 시설물 관리에 어려움이 있을 뿐만 아니라 타 공사 시 가스관 파손 등의 재해 위험이 발생할 수 있으므로 도심지에 공동구를 설치하는 경우 재난 및 안전관리에 각별한 주의가 필요하다(Cho et al., 2019).

Fig. 1. Current Life-Line Problems

Fig. 1과 같이 지상에 난립한 전선, 추후 수요를 고려하지 않은 단독관로, 상호 연계성이 없는 관망 등의 문제점을 보완하기 위해 터널식 공동구의 수요가 증가하고 있다. 터널식 공동구는 안전 취약 공종이기 때문에 수요가 증가됨에 따라 시공 중 대형 건설재해의 발생 빈도 또한 증가하고 있다. 지하 터널식 공동구는 구조적 특성상 사고 발생 시 수많은 피해를 야기할 가능성이 높기 때문에 반드시 안전성 확보가 이루어져야 하는 시설물이다(Lee et al., 2017). 하지만 국내 공동구는 개착식에 한정됐을 뿐만 아니라, 공동구 시공 중 발생하는 건설재해의 안전 확보 기준에 관한 연구는 아직 부족한 실정이다. 반면 일본의 공동구는 터널식 공동구도 보편화 되어 있고, 「공동구 정비 등에 관한 특별조치법」의 법제화로 인해 공동구의 설계나 시공 시에 방재대책에 대한 시방이 잘 반영되어 있으며, 공동구에 들어가는 모든 시설이나 수용물들이 화재를 예방할 수 있을 뿐만 아니라 관리가 일원화되어 통합적인 구축·관리를 할 수 있도록 제도화되어 있다(Park et al., 2000).

본 연구에서는 공동구 시공과 관련하여 작업자와 시민의 안전 확보를 위해 도심지 터널식 공동구의 특성을 반영한 대형 건설재해 대응 기법을 제시하였다. 공동구 유지관리

측면에 치중된 국내의 매뉴얼에서 제시되지 않은 시공 중 안전 대책을 마련하기 위해 기존에 연구된 재해별 위기경보단계와 발생 시나리오를 활용하여 재해 발생 시 신속하고 효율적인 대응을 위한 Activity Diagram을 개발하였다.

2. 재해위험 분석 및 대응

본 연구에서는 도심지 터널식 공동구 시공 중 발생 가능한 대형 건설재해를 화재, 침수, 지진 등의 세 종류로 한정하여 위기경보단계와 재해발생시나리오를 구축한 후 재해피해 저감 및 체계적인 대응을 위한 Activity Diagram을 개발하였다. 그 세부적인 내용은 다음과 같다.

2.1 위기경보단계

「재난 및 안전관리 기본법」에서는 재난관리 단계를 예방, 대비, 대응, 복구로 구분하고 있다. 예방이란 사전에 위험요인을 제거하여 위기 발생을 억제하거나 방지하기 위한 활동이며, 대비란 사전에 위기 대응능력을 제고시켜 위기 발생 시 즉각적인 대처가 가능하도록 하는 활동을 말한다. 대응이란 위기 발생 시 신속하게 대처하고 피해가 확산하는 것을 방지하는 활동을 말하며, 마지막으로 복구란 피해를 입기 전의 상태로 회복시키며, 재발을 방지하는 활동을 말한다(Kim and Choi, 2017).

이러한 재난관리 단계에서 상황에 맞는 적합한 조치를 할 수 있도록 재난의 위험수준을 등급화 하고 사전에 대비할 수 있도록 정보를 제공하는 것이 위기경보단계이며 Table 1은 보건복지부가 주관하는 공동구 재난 위기대응 실무 매뉴얼의 위기경보단계이다(MOH, 2005). Table 1의 위기경보 단계를 기반으로 공동구의 화재, 침수 및 지진의 위기경보 수준을 관심-주의-경계-심각 4단계로 구분한 기존의 연구 결과를 참고하였다(Choi, 2019).

2.2 재해 발생 시나리오

본 연구에서 대상으로 하는 화재, 침수 및 지진 등의 세 종류의 재난 중 화재와 침수 재해 발생 시나리오는 기존 연구(Choi et al., 2018)에서 이미 제시되어 있으므로 본 연구에서는 지진 시나리오를 작성하였다.

공동구 시공 중 발생 가능한 지진과 같은 대형 건설재해의 경우 발생 경로가 비교적 단순하며, 재해를 발생시키는 사건의 선정이 용이하다. 따라서 기존 연구와 동일하게 위험성 평가 기법으로 Cause Consequence Analysis (CCA) 기법을 선정하였다. CCA란 재해의 원인과 결과를 연속하여 논리구조를 통해 연결하는 방법으로 FTA 및 ETA를 결합한 기법이다. 이 기법은 잠재된 사고의 결과 및 근본적인 원인을 찾아내고, 인과관계를 규정하여 위험성을 평가하는 방법으로 널리 사용된다. CCA에 사용된 FTA란, 결합수 분석 기법(Fault Tree Analysis)으로 정상사상으로부터 연역적으로 사고의 원인

Table 1. Crisis Warning Phase of Disaster in Underground Urban Utility Tunnels (MOHW, 2005)

Division	Indication	Action
Attention (Blue)	<ul style="list-style-type: none"> Excessive excavation work around the workplace Increase in the incidence of fire around the workplace Confirmation of poor management status 	<ul style="list-style-type: none"> Watch for signs of danger Configuration and operation of situation team Review the accident headquarters installation when necessary
Caution (Yellow)	<ul style="list-style-type: none"> Identification of risks due to aging of power and communication cables Obtain information on domestic entry of terrorist organizations Partial breakage of utility tunnel facilities 	<ul style="list-style-type: none"> Operation of cooperation system Review initial response counter or accident countermeasure headquarters installation
Alert (Orange)	<ul style="list-style-type: none"> Some supply obstacles such as electricity, communication, water supply, heating due to simple fire accident, breakage and destruction Obtain and confirm information on terrorist organizations and social dissatisfaction 	<ul style="list-style-type: none"> Contrast planning check Review crisis response team or accident countermeasures installation
Seriousness (Red)	<ul style="list-style-type: none"> Large-scale damage to tunnel facilities and accommodation facilities due to disasters Emergency recovery takes more than a week 	<ul style="list-style-type: none"> Ready for immediate action Establishment and operation of accident countermeasures headquarters

을 규명하는 방법이다. 또한 ETA 기법은 사건수 분석 기법(Event Tree Analysis)으로 초기사건으로 인해 발생할 수 있는 사고를 규명하는 방법으로써 사고의 종류와 발생빈도 및 예상사고 시나리오를 도출하는 경우 사용된다. 이러한 CCA기법을 KOSHA GUIDE에서 제시한 CCA 작성 방법을 참고하여 다음과 같이 지진 시나리오를 작성하였다(KOSHA, 2011).

첫 단계에서는 발생 가능한 사건을 선정한다. 발생 가능 사건의 경우 FTA의 정상사상 또는 ETA의 초기 사건이 될 수 있다. 이 사건은 과거의 기록과 경험을 통해서 선정할 수 있다. 지진의 경우 1차 피해, 즉 지진의 발생과 사건의 발생으로 인한 전기·가스 폭발 등의 2차 피해가 발생할 수 있다.

두 번째 단계에서는 앞서 선정한 초기 사건들로 인한 영향을 완화시킬 수 있는 모든 안전요소를 확인한다.

앞선 단계에서 선정한 지진 발생으로 인한 ‘사고자 및 사망자 발생’으로 갈 수 있는 사건의 영향을 완화시킬 수 있는 안전요소를 선정하기 위해 본 연구에서는 한국산업안전보건공단에서 제시한 「사업장 지진 대책 가이드」를 활용하였다. 사업장 지진 재난 대응 절차도의 대응 절차는 계획, 대비, 대응, 복구 순서로 구성되어 있다. 각 단계에서 지진에 대비 또는 대응하기 위한 안전요소가 배치되어 있고, 각 단계에서의 안전요소들을 활용하여 다음과 같은 지진 재해에 대한 안전요소를 선정하였다(KOSHA, 2016).

- 지진 발생 전 대비 계획 수립
- 지진 발생 시 모든 작업자들의 지진 감지
- 사전 내진성능평가 실시
- 각종 설비 등의 사전 안전 설비 고장

(e) 안내 표시등 작동 및 소화용구 구비

(f) 대피로 및 피난장소 확보

세 번째 단계에서는 Figs. 2와 3의 기호를 사용하여 사건경로를 나타낸다. 이후 사건 상황을 재해가 발생하지 않은 정상작업, 재해가 발생하더라도 안전요소 등의 작동으로 위험상황이 발생하지 않은 안전한 상황과 재해 발생 및 안전요소 미작동으로 인한 위험한 상황으로 구분한다.

Fig. 2. Junction Signature

Fig. 3. Result Signature

네 번째 단계에서는 초기사건과 안전요소 실패에 대해 FTA 기법을 적용하여 기본원인에서 초기사건까지의 경로, 즉 결합수를 구성한다. 이와 같이 ETA기법과 FTA기법의 조합으로 구성된 사건경로의 최소 컷셋을 평가하여 Fig. 4와 같은 시나리오를 구성한다.

2.3 Activity Diagram 작성 방법

기존의 재난대응 매뉴얼은 그 분량이 방대하고 산만하게 구성되어 있어 재난 발생 시 대응주체들이 수행해야 할 역할을 파악하는데 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 각 재해별 위기경보단계와 재해 발생 시나리오를 기반으로 하여 재해 발생 시 피해를 최소화하고 신속한 대응이 가능하

도록 시공관련자들의 행동요령을 간단히 Activity Diagram으로 제시하였다. Activity Diagram은 재해 발생 시 주체별, 단계별로 행동요령을 상술하고 있어 대응 절차를 체계적이고 효율적으로 확인할 수 있는 이점이 있다. Activity Diagram은 재해 발생 시 시공과 관련된 각 주체가 행해야 할 대처방안과 행동 요령을 정하고 도식화하여 신속하고 확실한 대처를 수행함으로써 피해를 최소화하는데 그 목적이 있다.

Activity Diagram을 작성하기에 앞서 재해 발생 시 대응에 필요한 주체를 설정한다. 재해 대응에 필요한 주체로는 최초 징후 파악 작업자, 안전관리자 및 감독자, 재난 대응 소관부서(상황반, 운영반, 시설반, 지원반 등), 현장 대리인 및 부대리인, 지역자치단체 등이 포함된다.

Fig. 4. Earthquake Accident Scenario Using CCA

이 후 각 재해에 해당하는 위기경보단계와 재해 발생 시나리오를 기반으로 재해 대응 등급을 관심, 주의, 경계, 심각 등 4단계로 구분한다. 위기경보 단계에서 제시된 각 재해 단계별 관리사항과, 각 재해별 발생 시나리오에서 선정한 안전요소를 활용하여 행동 요령을 작성하고 Activity Diagram의 각 대응 단계에서 대응 활동으로는 시나리오에서 제시한 안전요소의 유지관리 및 사용과 위기경보의 관리사항을 활용하여 대응 행동을 징후파악-초기대응-비상대응-수습복구 4단계로 구분하여 도식화하였다.

3. Activity Diagram 개발

3.1 화재 Activity Diagram

앞서 상술한 바와 같이 도심지 터널식 공동구 시공 중 화재 재해가 발생할 경우 피해를 저감하거나 제거하기 위한 대응 방안으로 Fig. 5와 같이 대응 등급을 구분한 뒤 Fig. 6과 같이 Activity Diagram으로 도식화하였다.

화재의 경우 발생을 미리 예측하기 어려우므로 화재 발생을 처음 목격한 최초 징후 파악 작업자부터 대응 행동이 시작된다. 화재 징후를 발견한 작업자는 화재의 등급을 육안으로 파악한 뒤 Fig. 5에 따라 행동을 시작한다.

3.1.1 징후파악 단계

이 단계에서 최초 징후 파악자 및 전구역 작업자는 안전 기준 및 의무사항을 이행하며 감독자에 지시에 따라 일상 점검을 실시한다. 일상 점검에 포함되는 것은 앞서 다뤘던 재해 발생 시나리오에 포함되는 안전요소를 뜻한다. 이후 관심단계의 화재가 발생했을 경우 초등 조치 후 결과를 관리 감독자에게 보고한다.

3.1.2 초기대응 단계

이 단계에서는 화재의 등급이 주의단계일 경우 최초 징후 파악 작업자가 화재를 진압하고 관리감독자에게 보고 후 관리감독자는 진압 완료 확인 후 부대리인에게 보고한다. 관리감독자로부터 보고를 받은 부대리인은 현장 정보를 주관 기관과 시공사와 공유한다. 만약 경계 및 심각단계의 화재가

발생했을 경우 관리감독자는 작업자들을 즉시 대피시킨 후 현장 대리인에게 정부 차원의 지원을 요청한다. 보고를 받은 현장 대리인은 피해를 최소화하기 위해 재난대응소관부서에 대응 활동을 지시하고 부대리인은 각 재난대응소관부서의 활동을 확인한다. 이후 화재의 심각성이 고조될 경우 지역자치단체에 재난현장 통합지원 본부를 구성할 것을 요청한다.

3.1.3 비상대응 단계

이 단계에서 작업자들은 다른 구역의 작업자들에게 상황을 신속히 전파한 후 대피한다. 재난대응 소관부서에 포함된 상황반은 현 사태에 대한 대응 체계를 구축한 후 비상 대책반을 구성하여 운영한다. 지역 관할 경찰서 및 소방서는 화재 진압에 주력하며 교통 및 현장을 통제한다. 운영반은 대응을 위한 재난 자원을 총괄적으로 지원하고 조정하며 지원반(지역자치단체)는 재난 발생 지역의 피해자 구조·구호와 자원 봉사자를 동원하여 재난 대응을 지원한다. 지원반(지역보건소 등)은 재난 대응에 필요한 공중 보건 서비스를 지원한다. 비상대응이 시작되면 상황반은 각 팀별 대응 활동을 현장 대리인에게 보고할 수 있도록 한다.

재난소관부서의 대응 활동이 시작됨과 동시에 현장대리인은 상황 판단 회의를 주재하여 피해상황을 확인하고 사전에 긴급 피해 복구 준비를 지시하고 인원 및 재산피해가 발생하는 즉시 대응 조치를 지시한다. 부대리인은 비상 대책 본부를 운영함과 동시에 본부장을 보좌하며, 대응에 필요한 지원 사항을 확인한다.

3.1.4 수습복구 단계

이 단계에서 작업자들은 관리감독자의 지시에 따라 현장 수습 및 복구 작업을 실시하고, 상황반 및 소방서는 재해 상황에서 발생한 사망자 및 실종자 수색에 주력한다. 이후 재난 대응 상황보고서를 작성하여 보고하고, 피해지역 복구 대책에 따라 복구 작업을 실시한다. 시설반은 신속하게 복구되어야 할 시설 순서대로 피해 시설을 응급 복구한다. 현장 대리인은 피해 수습 지원을 지시하고 부대리인은 복구 상황을 점검하며 피해 복구 등에 필요한 자원 등을 파악하여 지원하도록 한다.

Fig. 5. Action Tips on Fire Disaster Response Levels

Fig. 6. Activity Diagram on Fire

본 연구에서 제시한 Activity Diagram을 그대로 준용하는 것이 경우에 따라 어려울 수 있다. 따라서 도심지 터널식 공동구 시공 현장에서는 시공 조건 및 상황에 맞게 유동적으로 행동 절차를 수정하고, Fig. 6에서 불특정하게 선정된 주체들에 대해서 현장 여건에 따라 각 주체를 명확히 선정하고 행동 요령을 작성된 Activity Diagram을 기반으로 정의하여 활용할 경우 보다 신속하고 효율적으로 화재 대응을 함으로써 인명과 재산피해를 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

3.2 침수 Activity Diagram

공동구 침수 사례의 경우 대부분 우수 유입에 따라 피해를 입는 경우가 많다. 기상재해 현황의 40~60%는 호우로 인한 인명 및 재산피해가 많은 비중을 차지하고 있다. 우리나라는 연강수량의 70% 정도가 6월에서 9월 사이에 집중적으로 나타나는 특이한 기상조건을 갖고 있다. 따라서 저지대 및 지하공간의 침수발생이 계속 커지고 있다(Kim et al., 2007). 공동구 내에서 침수의 원인으로 호우가 큰 비중을 차지하는 만큼 호우를 대비하면 공동구의 침수 재해도 상당 부분 대비할 수 있다. 침수는 화재와는 다르게 사전에 기상예보 등을 통하여 예측이 가능하므로 Activity Diagram에서 관리

자가 재해대응등급에 따라 행동을 시작한다. 침수 재해 대응 등급에 따른 행동 요령을 Fig. 7과 같이 구분하였고, Fig. 8과 같이 Activity Diagram으로 도식화하였다.

침수 Activity Diagram에서 징후과악 단계에서는 관리자가 기상예보 등을 통해 기상 상황을 확인하고, 유관기관과의 협력 체계를 점검한다. 기상재해가 예측될 경우 강수량 정보를 확인한 후 재해 대응 등급에 따라 행동을 실시한다. 작업자는 평소에 안전 기준 및 의무사항에 따라 침수 감지기 및 경보기를 점검하고 육안으로 우수 유입이 확인되는 경우 관리자에게 즉시 보고하도록 한다. 이후 초기대응, 응급대응, 수습복구 단계의 경우 화재 Activity Diagram의 절차와 유사하여 부가 설명은 생략한다.

3.3 지진 Activity Diagram

현재 국내의 경우 소규모 지진의 발생이 증가추세에 있다. 소규모 지진이 자주 발생한다는 것은 대규모 지진의 에너지 축적 과정의 현상으로 파악 될 수 있어 지진에 대한 대비가 필요하다. 하지만 지진의 경우 일반적으로 피해규모가 크고 피해지역이 광범위하며 예측 불가능한 특성이 있다. 이러한 지진이 라이프라인을 수용하고 있는 공동구에서 발생할

Fig. 7. Action Tips on Flooding Disaster Response Levels

Fig. 8. Activity Diagram on Flooding

경우 1차 가스 폭발 및 2차 화재 피해가 발생할 수 있다. 공동구의 경우 지중 시설이므로 지상의 건물 및 시설의 붕괴가 발생하면서 잔해물이 중력에 의해 저지대로 낙하하여 공동구가 매몰될 가능성이 있고 이러한 경우 대피구의 상실이라는 위험이 발생한다.

이렇듯 지하 공동구에서 지진의 위험성은 지상에 비해 높기 때문에 지진이 발생한 경우 시공에 관련된 모든 관계자들은 피난 장소로 대피한 후 관리자가 지진의 강도에 따라

Fig. 9와 같이 재해 대응 등급을 분류하고 그에 맞는 대응 조치를 Fig. 10과 같이 시작한다.

이후 추가진동이 없을 경우 실무자들은 보호 장비를 착용하고 육안점검을 실시한다. 관리자는 초기 피해현황을 신속하게 현장대리인에게 보고한 후 2차 피해를 방지하기 위해 가스와 전기를 차단한다. 화재와 폭발이 발생한 경우 신속하게 119에 신고하여 지원을 요청한다. 하지만 추가 진동이 계속 되는 상황 속에선 어떠한 조치도 취하기 어려우므로

Fig. 9. Action Tips on Earthquake Disaster Response Levels

Fig. 10. Activity Diagram on Earthquake

응급대응 단계에서는 활동보다는 수습복구 단계에서 신속하게 대응할 수 있도록 사전에 긴급 피해 복구 계획을 수립하고, 재난안전대책본부 및 사고수습본부 등의 지원 필요사항을 확인한다. 이후 추가 진동이 없을 경우 복구 작업을 실시한다.

4. 결 론

최근 전력, 상·하수도, 냉·난방 공급 시설, 통신 시설 등의 라이프라인을 일원화된 터널구조물에 매설하여 시공

과 관리의 효율성을 높일 수 있는 터널식 공동구의 수요가 국내외적으로 증가하고 있는 추세이지만 시공 중 발생할 수 있는 다양한 재난상황에 대한 안전 기준은 아직 미비한 실정이다. 기존의 재난대응 매뉴얼은 그 분량이 방대하고 산만하게 구성되어 있어 재난 발생 시 대응주체들이 수행해야 할 역할을 파악하는데 어려움이 있었으므로 본 연구에서는 대형건설재해 발생 시 대응 주체별, 단계별로 행동요령을 간결하게 제시하여 후속 대처 과정을 체계적이고 효율적으로 확인할 수 있는 Activity Diagram을 활용하였다. 대형건설재해로는 가장 빈번하게 발생하며 피해영향이 큰 화재, 침수,

지진 등 세 종류의 재해로 한정하였다.

Activity Diagram을 작성하기에 앞서 위기경보단계와 재해 발생 시나리오를 구성한 후 재해 발생 시 대응에 필요한 주체를 선정한다. 이후 각 재해의 위기경보단계별 관리사항에 재해 발생 시나리오에서 발생할 수 있는 사고에 대한 안전요소 및 행동을 대입하여 재해 대응 등급에 따른 행동요령을 작성하고 각 재해별 행동의 첫 시발점인 재해 대응 등급 구분을 할 주체를 정한 뒤 그 주체의 첫 행동을 다음 주체에게 전이함으로써 재해 대응 행동을 순차적으로 이어 나간다. 이후 각 주체의 행동을 도식화 하여 Activity Diagram을 작성하였다.

본 연구에서 제시된 화재, 침수, 지진재해 대응을 위한 Activity Diagram은 공동구 현장 특성에 맞게 유동적으로 수정하여 재해 대응에 활용할 경우 기존의 재해 대응 매뉴얼보다 신속하고 효율적으로 재해에 대응함으로써 작업자의 신체와 생명을 지키고 동시에 시공비 절감에도 기여할 수 있을 것이다. 본 연구에서 제시된 결과물은 향후 기존의 공동구·통신구·전력구·터널·지하굴착 공사 등 기존의 재해 사례와 행정안전부와 안전보건공단 등의 안전 대응 매뉴얼과의 비교를 통해 검증 및 고도화하여 국토교통부에서 운영 중인 건설안전 정보시스템(COnstruction Safety Management Information System, COSMIS)에 탑재할 계획이다. 이후 공동구 및 터널 시공현장에서 널리 활용되는 경우 대형건설 재해 피해 저감 및 대응에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원) 건설기술연구사업의 ‘도심지 소단면(φ3.5m급) 터널식 공동구 설계 및 시공 핵심기술 개발(19SCIP-B105148-05)’ 연구단을 통해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

Cho, G.-C., Lee, S.-W., Kim, K.-Y., Hong, E.-S., and Kim, J.-W. (2019). Introduction to research group for development of design and construction technology for small-size utility tunnels. *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, Vol. 67, No. 3, pp. 22-35.

Choi, H. (2019). *Standard for ensuring safety in the event of a major disaster during the construction a multi-utility tunnel*. Master's thesis, Incheon National University.

Choi, H.R., Eum, T.S., and Song, C.G. (2018). Standard for ensuring safety in the event of a major disaster

during the construction of a multi-utility tunnel. *Proceedings of 2018 Annual Conference*, Korean Society of Hazard Mitigation, p. 427.

Kim, G.-H., Choi, M.-I., Bae, S.-M., and Lee, J.-Y. (2007). The investigation of field condition on flood protection of substation and underground power equipment (pad-mounted transformers & switches). *Proceedings of 2007 KIIEE Annual Autumn Conference*, The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, pp. 327-331.

Kim, Y.-S., and Choi, D.-M. (2017). A study of the relationship between the disaster management cycle and the crisis warning levels. *Proceedings of 2017 KIPSE Annual Fall Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 37-38.

Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA). (2011). *Technical guidance on cause consequence analysis*. KOSHA Guide X-43-2011, KOSHA.

Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA). (2016). *Workplace earthquake measures guide (사업장 지진 대책 가이드)*. 2016-Safety-1264, KOSHA.

Lee, S.-S., Park, Y.-K., Lee, S.-J., Kim, M.-J., and Jeon, S.-S. (2017). Stability assessment for underground structures of urban railways during intersection tunnel construction. *Proceedings of 2017 Annual Spring Conference*, The Korean Society For Railway, pp. 48-52.

Lee, S.-W. (2019). The importance of implementing underground utility tunnel. *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, Vol. 67, No. 3, pp. 20-21.

Ministry of Health and Welfare (MOHW). (2005). *Utility tunnels disaster crisis response practical manual*.

Park, H., Jee, N., Yoon, M., and Kim, S. (2000). Establish disaster prevention measures appropriate for the utility tunnels through the operation status of foreign country utility tunnels (해외 공동구 운영실태를 통해본 국내 공동구에 적합한 방재대책의 수립). *Proceedings of 2000 KIPSE Annual Spring Conference*, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 30-37.

Received	October 11, 2019
Revised	October 15, 2019
Accepted	November 4, 2019