

# 도심지 붕괴사고에 따른 매몰지역 생명선 시공기술 평가

## Assessment of Lifeline Construction Technology for Buried Alive in Building Collapse

유 병 현<sup>1)</sup> · 강 재 모<sup>1)</sup> · 이 장 근<sup>†</sup> · 김 영 삼<sup>2)</sup> · 주 낙 봉<sup>2)</sup>

Byung-Hyun Ryu · Jae-Mo Kang · Jangguen Lee · Young-Sam Kim · Rak-Bong Joo

Received: July 8<sup>th</sup>, 2016; Revised: July 22<sup>nd</sup>, 2016; Accepted: August 18<sup>th</sup>, 2016

**ABSTRACT** : Unusual extreme weather events, which exceed a safe design capacity of the infrastructure, increase the frequency of natural disasters and has also been enlarged damage scale. Aging buildings and rapid urban progress act as weighting factors for the new composite disasters. Technological advances support detecting pre-disaster risk, real-time data analysis, and rapid response to the disaster site, but it is insufficient that emergency relief for buried alive must take advantage of the proven technologies through field tests. This study aims to evaluate directional drilling performance through underground soils and the reinforced concrete structure for primary lifeline installation in order to quickly provide relief supplies for buried alive when urban structures collapse.

**Keywords** : Lifeline, Emergency relief, Buried alive, Field test, Directional drilling

**요 지** : 최근 사회기반시설의 안전설계 용량을 초과하는 잦은 위험기상 등으로 자연재난의 빈도가 증가하고 피해규모도 대형화되고 있으며, 도시화 진전에 따른 시설의 고층화·노후건축물 증가와 세계화에 따른 유동인구 및 물류 증가 등이 신종·복합 재난을 가중시키는 요인으로 작용하고 있다. 첨단 과학기술을 활용하여 재난위험 사전 감지, 실시간 정보분석, 재난현장에 대한 신속한 대응이 가능하지만, 매몰자 긴급구호에 필요한 시공에서는 반드시 검증된 기술을 활용해야 함에도 불구하고 현장 시험시공을 통한 검증은 미흡하다. 본 연구에서는 도심지 시설물 붕괴 재난 사고 발생 시 매몰지점에 고립된 피구호자를 대상으로 골든타임인 72시간 이내에 식수 및 구호품을 신속하게 공급하기 위한 1차 생명선 설치와 철근 콘크리트 구조체 굴착 성능을 평가하는 데 목적이 있다.

**주요어** : 생명선, 긴급구호, 매몰자, 현장시험, 방향성 시추

## 1. 서 론

과거 삼풍백화점 붕괴사고를 비롯한 각종 구조물 붕괴 사고사례들과 최근 세월호 참사에서 나타난 바와 같이 국가적 재난 발생 시 초기 긴급구조구난체계의 미확보는 대규모 인명 및 재산 피해를 야기할 수 있다. 최근 도시 과밀화와 건설기술의 눈부신 발전으로 지하공간과 초고층 빌딩 등이 날로 증가하고 있으며 위험이나 사고의 요소는 아무리 철저히 예방하더라도 노후화, 자연재해, 지하수위 저하에 따라 재난 발생 가능성과 피해규모는 증가하고 있는 현실이다(Kang et al., 1998; Chung et al., 2015).

시설물의 붕괴 및 매몰사고의 경우에도 인명 피해를 최소화하기 위해서는 신속하고 정확하게 매몰자의 위치를 확인해야 한다. 정확한 피구호자의 위치 파악은 사고 초동 대응 시 인명구호의 효율성을 향상시키고 사고 현장에서 구호

자의 효과적인 의사결정에 반드시 필요하다(Li et al., 2015). 무선통신 기술의 발전으로 재난상황에서 매몰자의 휴대기기 위치를 정확히 측위하는 연구와 생존자가 매몰되어 고립되어 있는 매몰공동을 예측하기 위한 연구가 진행되고 있다(Moon et al., 2015; Jung et al., 2015).

그러나 매몰된 생존자의 위치를 정확히 파악하더라도 도심지 구조물의 지하 심부화가 진행되고 있어 고립된 인명을 신속하게 구호하기에는 한계가 있다. 1차 생명선은 매몰 생존자가 구호까지 견딜 수 있도록 물, 통신선, 구급 약품 등을 신속하게 공급하는 데 목적이 있다. 칠레 광산 붕괴사고에서도 통신선, 식수, 의료품 등을 매몰자에게 전달하기 위해 직경 16cm의 파이프를 1차 생명선으로 사용하였고, 매몰자는 최종 구호까지 약 2개월 동안 생존이 가능하였다.

칠레 광산 붕괴사고와 비교하여 도심지에서 발생하는 구조물 붕괴는 상부에 붕괴된 구조물의 잔해와 인명구조 활동

1) Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT)

† Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT) (Corresponding Author : jlee@kict.re.kr)

2) Soiltech Engineering Co., Ltd.

으로 인하여 지표에서 수직 시추로 1차 생명선을 매몰자의 위치에 도달시키는 것은 불가능하다. 따라서 구조물 붕괴 지역에서 벗어난 안전한 지점에서 방향성 시추를 통해 지반을 굴착하고 붕괴된 구조물의 지하에 생존이 가능한 매몰공동까지 1차 생명선을 시공해야 하며, 붕괴된 구조물의 지하에 설치된 철근 콘크리트 벽체를 관통해야 하는 어려움도 고려해야 한다. 공업용 다이아몬드비트와 대량의 순환수를 이용하여 일반적으로 철근 콘크리트를 시추하고 있으며, 원자력 발전소 해체를 위해 순환수를 이용하지 않는 건조방식의 다결정 다이아몬드(PolyCrystalline Diamond, PCD)비트에 대한 연구도 있다(Moseley et al., 2009). 그러나 다이아몬드비트만으로 다양한 흙으로 구성된 지층을 관통하여 철근 콘크리트 벽체에 도달하기에는 한계가 있다.

본 연구에서는 방향성 시추 방식인 경사시추를 이용하여 지중에 파이프를 설치하고 철근 콘크리트 벽체를 관통하는 일련의 1차 생명선 시공을 매몰자의 골든타임인 72시간 내에 가능 여부를 평가하였다. 사고사례에서 볼 수 있듯이 효과적인 현장출동과 응급구조를 위해서는 구조구난에 필요한 각종 장비를 사전에 확보하고 지휘체계를 통해 효과적으로 운용해야 한다(Son, 1997). 따라서 현장 시험시공은 국내에서 일반적으로 사용되는 시추장비를 적용하여 재난 시 신속한 장비 수급이 가능하도록 설정하였으며 현장 시험시공 결과를 토대로 매몰자의 골든타임(72시간) 내에 1차 생명선 설치가 가능한 시공 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 현장시험 계획

사업 대상 부지의 지층 구성상태 및 지층별 강도특성을 파악하기 위해 심도 21m까지 수직 시추조사를 수행하고 심도 1.5m 간격으로 표준관입시험을 통해 지층의 상대밀도 및 연경도 파악, 실내실험을 위한 시료를 채취하였다. 방향성 시추는 수평방향시추(Horizontal Directional Drilling, HDD)와 경사시추 방식을 대상으로 지층의 특정 목적지점을 향해

지반 시추를 계획하였다. 최근 비개착식 굴착 공법으로 라이프라인(하수도 및 전력관 등) 건설에 활용되는 수평방향시추(HDD)는 지중에서 비교적 유연하게 방향을 제어할 수 있는 장점이 있으나 반드시 출구에서 확공 및 케이싱을 삽입해야 하는 시공법과 철근 콘크리트 벽체를 관통하기에는 어려움이 예상되어 1차 생명선 설치는 불가하다. 경사시추는 연직시추와 동일한 방법으로 진행되며 시추압력이 연직시추보다 적게 받으므로 일반적으로 굴진 속도가 연직시추에 비해 느리다. 그럼에도 불구하고 시추가 진행되는 동안 케이싱 삽입이 가능하여 안전한 천공 유지 및 철근 콘크리트 벽체 관통이 가능하다는 장점을 보유하고 있다. 본 연구에서는 지표에서 입사각 23°의 경사로 경사시추를 통해 연직심도 20m에 도달하도록 시추를 하게 됨에 따라 굴진 연장은 약 50m까지 매몰자의 골든타임 내에 1차 생명선 시공이 가능한지를 평가하였다. 암반 등의 매우 단단한 지층을 만나게 되면 굴진 속도가 현저히 저하되므로 시추반력의 증가가 예상되었다. 연직시추결과를 토대로 지층분포특성을 파악한 후 비트종류 및 굴진 방법을 사전에 수립하여 수행하였다.

천공장비가 철근 콘크리트 벽체의 천공 가능성을 평가하기 위해 총 6종류의 공시체를 대상으로 굴착 성능평가를 수행하였다. 공시체는 직경 19mm(D19)와 22mm(D22) 철근을 사용하여 단철근, 복철근, 그리고 단철근 겹침 배근 등 3가지 타입으로 제작하였다. 철근 콘크리트 공시체는 국내에서 토목구조물 및 지하철 공사에 사용되는 125mm 간격으로 철근을 배근하였으며 실제 구조물의 철근 이음부분도 고려하여 제작하였다. 지하 철근 콘크리트 구조물은 상재하중 및 주변의 수압과 토압을 견뎌야 하기에 주철근은 D16 이상을 사용하며, 본 연구에서는 D19와 D22를 주철근으로 사용하였다. 또한, 구조물의 단면이 두꺼운 경우 단철근 배근이 아닌 복철근 배근을 하는 경우가 많아 단철근과 복철근 배근을 설정하였으며, 보수적인 평가를 위해 단철근 겹침도 천공 시험을 수행하였다.

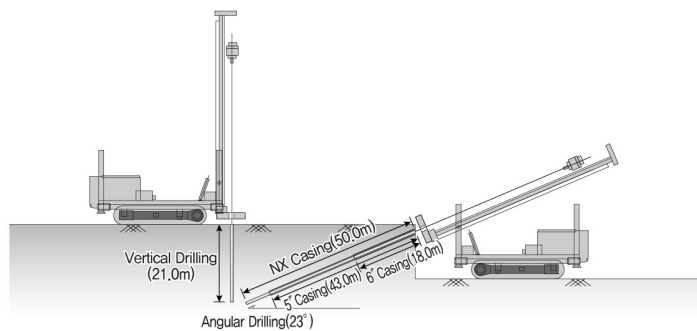
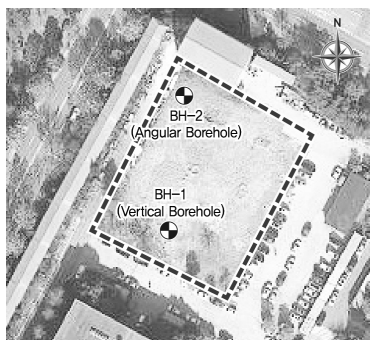


Fig. 1. Boring locations and schematic diagram for vertical and angular drillings

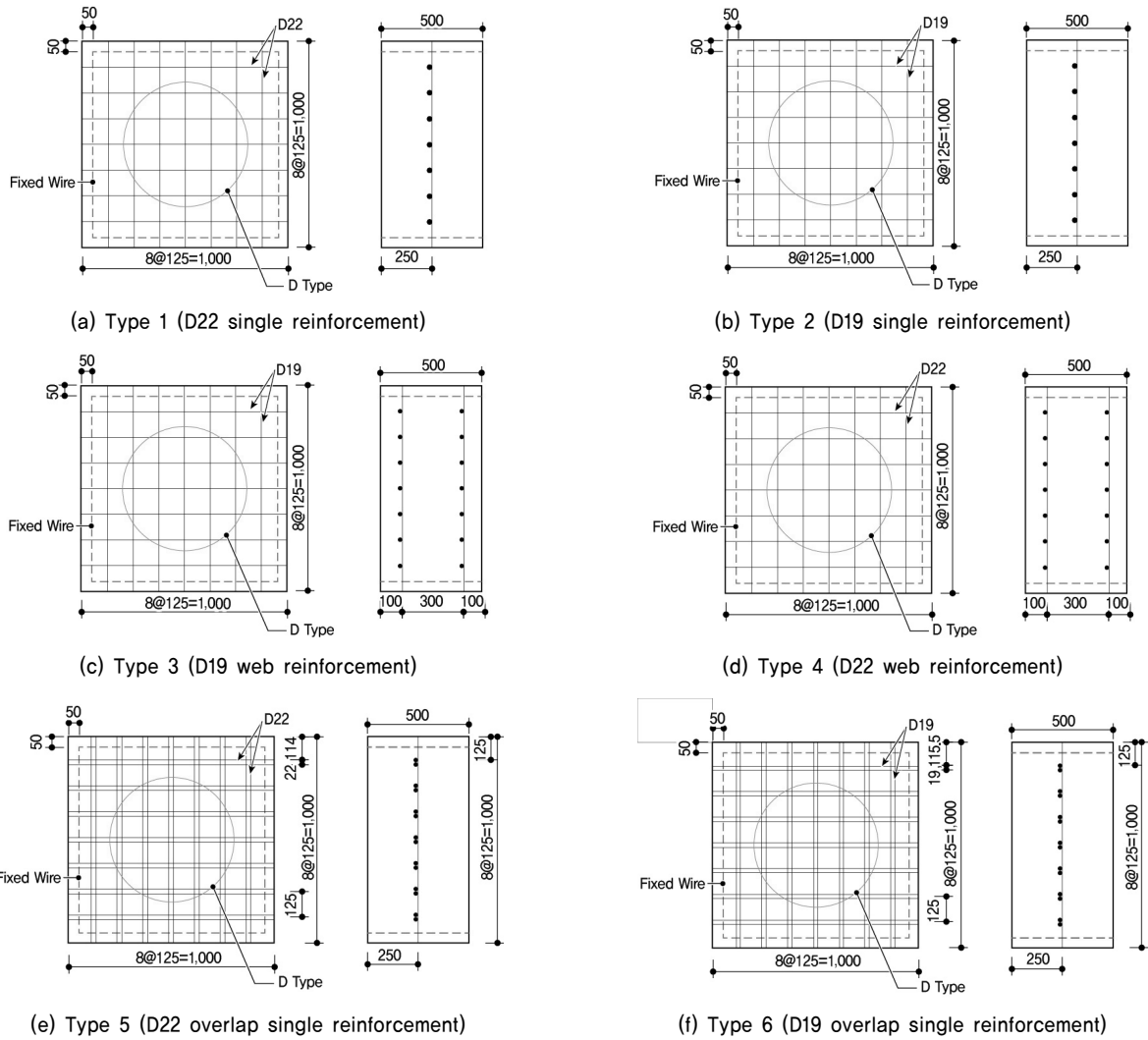


Fig. 2. Reinforced concrete specimens for drilling tests

Table 1. Soil profile and physical properties

Depth (m)	Layer	Moisture content (%)	Atterberg limits		Grain size distribution (%)			USCS
			LL (%)	PI (%)	No. 4	No. 40	No. 200	
1.5	Landfill	15.2	29.2	9.4	76.05	43.94	34.21	SC
4.5	Deposit	22.8	N.P.	N.P.	100.00	58.54	43.52	SM
10.5	Deposit	16.9	N.P.	N.P.	100.00	63.83	46.61	SM
16.5	Deposit	15.5	N.P.	N.P.	92.17	28.31	12.65	SM

### 3. 수직 시추조사 결과

표준관입시험으로 채취된 교란 시료에 대해 토층별로 대표적인 시료를 대상으로 실내 물성시험을 수행하였다. 통일 분류상으로 매립층은 점토질 모래(SC)이며, 풍화토는 실트질 모래(SM)로 나타났다.

시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험 결과 매립층의 N값은 10/30~11/30으로 느슨~보통 조밀한 상대밀도를 나타내며 풍화토의 N값은 13/30~50/17로 보통 조밀~매우 조밀한 상대밀도로 조사되었다.

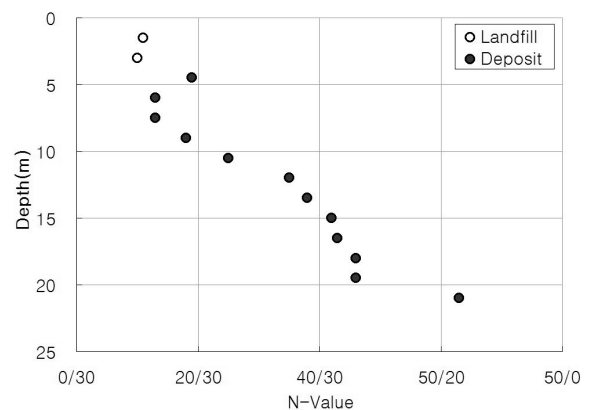


Fig. 3. N-value profile

## 4. 1차 생명선 시험시공

### 4.1 지반 굴착

국내에서 상용되는 시추장비는 크롤러 드릴 및 유압시추기가 사용되며 시추속도 및 암반/철근 콘크리트 시추 가능 여부를 시공 전문가의 상대적인 비교·평가를 통해 적용 시추기를 선정하였다. 크롤러 드릴은 지반 천공에 우수하나 장비 전문업체에 따르면 철근 콘크리트 시추 시 드리프터 손상을 우려하여 재난 현장에서 사용이 제한된다. 유압시추기도 철근 콘크리트 시추를 위해서는 비트 교체가 필수적이다. 따라서 1차 생명선 설치의 우선 대구경으로 지반 천공을 실시하고 철근 콘크리트 벽체에 도달하면 내부에 직경이 작은 관을 추가적으로 삽입하여 회전 방식의 천공을 진행하도록 결정하였다. 본 연구에 사용된 시추장비는 폭 2m, 길이 5.5m, 높이 2.3m, 중량 6ton, 최대 굴진 속도 35m/min이 가능한 한진 D & B-10D 모델을 사용하였다.

현장 시험시공은 대상 부지에서 경사 23°의 완경사로 경사시추를 수행하였으며 굴진은 1차 NX 규격(외경 88.9mm, 내경 76.2mm)으로 경사길이 50m(연직 심도 19.5m)까지 우선 시추한 후 6" 케이싱으로 확공을 실시하였다. 그러나 6" 확공 중 경사길이 18.0m 지점에서 케이싱의 Jamming이 발생하여 18.0m 이후에는 6" 케이싱 내부에 5" 케이싱을 삽입하여 경사길이 43m(연직 심도 16.8m)까지 경사시추를 실시



Fig. 4. Angular drilling with a hydraulic rotary drill (D & B-10D)

하였다. 6" 케이싱의 Jamming 원인은 국내에서 일반적으로 사용되는 유압시추기의 성능이 6" 대구경 케이싱과 지반의 마찰력에 의한 저항력보다 작은 것이 주요 원인으로 판단되며 이와 더불어 6" 케이싱 제작 시 백강관과 굴진용 케이싱의 연결부에서 부득이하게 발생된 돌출부가 케이싱과 지반의 마찰력을 더욱 증가시킨 것으로 판단된다. 따라서 국내 상용 유압시추기의 성능으로는 6" 이상의 대구경 대신도 완경사시추는 불가하다고 판단되며, 특히 6" 케이싱은 국내에서 즉시 구입이 가능한 기성품이 아닌 별도 제작품이기 때문에 긴급 상황발생 시 즉시 준비가 어려울 것으로 판단된다.

경사시추는 2일에 걸쳐 주간에 실시되었으며, 실제 순수 굴진에 소요된 시간은 10시간 03분 13초가 소요되었다(Fig. 5). 총 작업시간은 NX 규격과 6" 케이싱 작업 시간을 포함하고 있으며 5" 케이싱 작업 시간만을 고려하면 10분당 1.4m의 굴진이 가능(안전율 1.2)한 것으로 판단된다. 지반의 심도가 깊어질수록 상대밀도가 높아짐에도 불구하고 일정한 굴진 속도를 유지하고 있어 국내 보통 조밀에서 매우 조밀한 풍화토 지반을 대상으로 한 시추속도를 추정 가능하다. 따라서 총 연장 100m 구간을 경사시추를 통해 1차 생명선 시공에 소요되는 시간은 약 12시간으로 예상된다.

이러한 결과는 실제 긴급 상황 시 지반조건 및 굴진 목표심도에 따라 다르겠지만 적절한 작업계획 및 장비운영이 사전에 계획된다면 목표시간인 72시간 내에 1차 생명선의 설치 가능할 것으로 판단된다.

### 4.2 철근 콘크리트 벽체 천공

철근배근별 6개의 공시체를 대상으로 비트와 공시체의 접촉 면적이 최소가 되어 가장 굴착이 어렵다고 판단되는 45° 경사로 천공을 실시하였다. 공시체는 사업 대상 부지 내에 일렬로 매립하여 굴진 시 철근 콘크리트 벽체에 반력을 확보할 수 있도록 조치하고 NX 규격(외경 88.9mm, 내경 76.2mm)으로 공시체를 천공하였다.

철근 종류 및 배근방법에 따른 6개의 철근 콘크리트 공시체에 대해 45° 경사의 천공을 수행한 결과 Table 1에 정

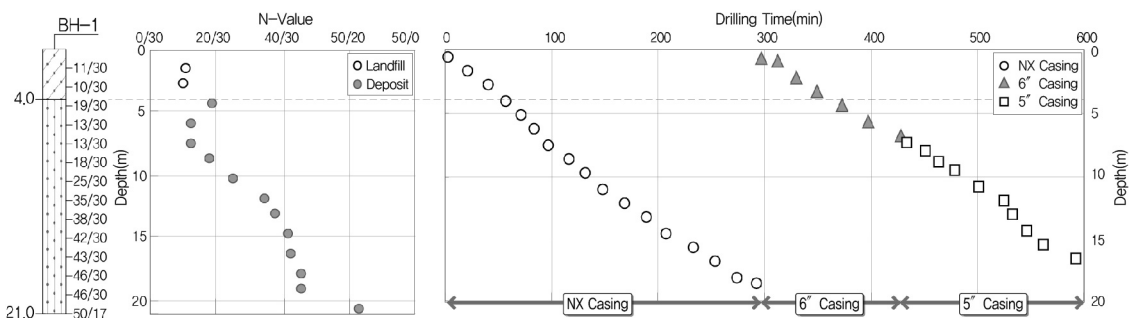


Fig. 5. Soil profile and 5" lifeline construction time

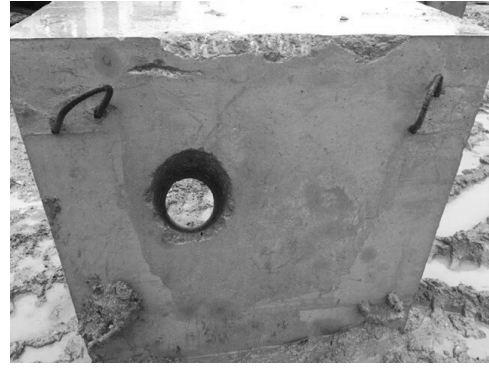


Fig. 6. Field drilling tests for reinforced concrete specimens

Table 2. Reinforced concrete drilling test results

Type	No. of bits	Time (min)	Type	No. of bits	Time (min)
1	1	26	2	1	29
3	1	12	4	1	13
5	2	13	6	3	40

리된 바와 같이 D19와 D22 단철근 겹침(Type 5와 6)의 경우에는 1개의 비트로는 천공이 불가하였다. 따라서 향후 토사와 철근 콘크리트의 천공이 모두 가능한 비트 개발 또는 비트성능 및 내구성 향상 방안에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

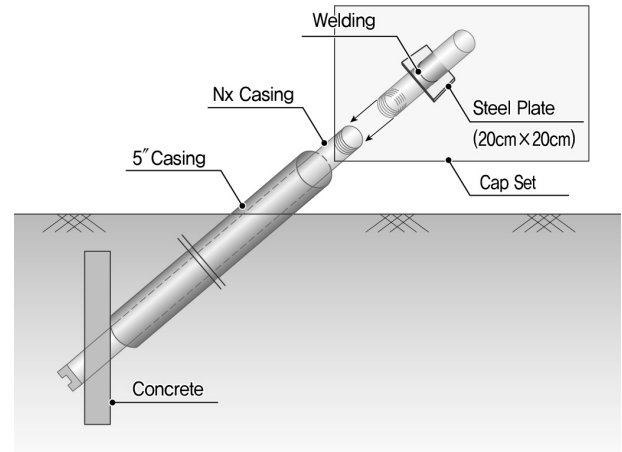


Fig. 7. Schematic diagram of lifeline construction

## 5. 제언 및 결론

1차 생명선 설치는 최종적으로 설치 시간 단축이 주요 이슈이다. 현장 시험시공 결과를 토대로 국내 상용 유압 시추장비의 성능을 고려하여 지반 굴착에는 최대 직경이 5" 이내여야 할 것으로 판단된다. 지반은 5" 케이싱으로 굴착한 후 내부에 철근 콘크리트용 비트가 부착된 NX 케이싱을 삽입하여 철근 콘크리트 벽체를 천공하는 것이 가장 합리적일 것으로 판단된다.

현장 시험시공에는 1차 생명선 시공 거리를 최대한 확보하기 위해 굴착을 통해 시추장비 위치를 세팅하였다. 그러나 실제 재난상황에서 시추장비 위치 설정에 필요한 굴착 불가, 굴착 시간 최소화, 경사각도 유지를 위해 별도의 거치대를 즉시 제작할 수 있는 방안 수립이 필요하다. 긴급 상황 시 즉시 수급이 가능하도록 건설공사에서 일반적으로 사용되는 비계파이프를 이용한 방법이 가능할 것으로 예상된다. 향후 비계파이프를 이용한 거치대의 설치시간 및 적용성에 대한 검증을 통해 긴급상황 시 대처할 수 있도록 거치대 제작도면과 설치방법 매뉴얼을 준비하고자 한다.

일반적으로 시추장비는 케이싱 교체에 필요한 그립(grip)

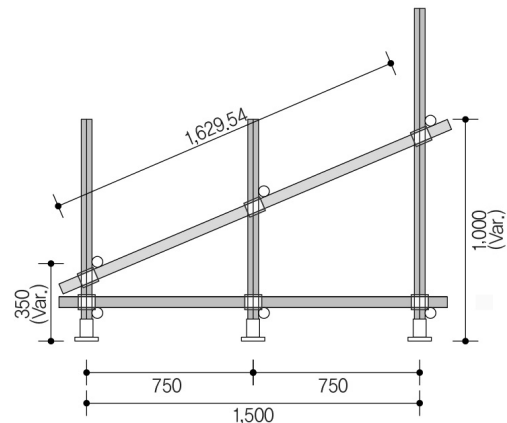


Fig. 8. Adjustable angular support for drill casing (unit: mm)

이 시추장비 차체에 부착되어 있다. 따라서 경사시추 시 사용이 불가하기 때문에 시추 케이싱의 연결 및 해체를 인력으로만 실시하여 많은 시간적인 지연이 발생하였다. 따라서 그립 장치가 시추탐에 부착되어 있거나 시추장비의 차체에 연결된 유압라인과 연결하여 케이싱을 고정시킬 수 있는 이동설치용 케이싱 그립의 제작을 통해 1차 생명선 설치시간을 상당히 단축할 수 있다고 판단된다. 다만 이동설치용 케이싱 그립은 작동원리가 기계적인 요소가 크게 작용하므로

제작에는 최소 5일 이상의 제작기간이 필요함을 고려하여 재해방재 네트워크상에 비치될 수 있도록 별도의 조치가 필요하다.

철근 콘크리트 공시체 천공시험을 통해 국내에서 일반적으로 사용되는 지반 굴착용 메탈비트는 철근 콘크리트의 철근 규격 및 배근상태에 따라 차이는 있지만 1개의 비트만으로 천공의 성공 여부는 불확실한 것으로 판단된다. 특히 철근 콘크리트는 지반 굴착 후 최종 굴착목표 대상으로 지반 굴착 시 이미 비트의 마모로 인해 철근 콘크리트의 천공 성공 가능성은 현저히 줄어들게 된다. 따라서 1차 생명선 설치 구경 및 천공 방법에 보완이 필요하며 다이아몬드 비트 또는 성능이 개선된 새로운 비트에 관한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 개발된 비트는 국내 상용의 기성품이 아니기 때문에 사전에 재난방재 네트워크 내에 구비되어야 할 것으로 판단된다.

이러한 제안은 현장 시험시공 조사지역의 지층과 유사한 지역에 제한적인 방법임을 고려해야 하며 보다 다양한 조건에서의 추가적인 데이터 집적이 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 “도심지 재난 대응형 1차 생명선 설계 시공 기술 개발” 과제의 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

## References

1. Chung, J., Lee, S., Lee, K., Jung, H. and Kim, H. (2015), A case study on the effects on underground structure due to changes in the groundwater level and ground stress, *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 16, No. 9, pp. 13~21 (in Korean).
2. Jung, J., Park, H., Kim, K. Y. and Shin, H. S. (2015), Numerical simulation for prediction of existing cavity location on earthquake-induced building collapse, *Journal of Engineering Geology*, Vol. 25, No. 4, pp. 613~621 (in Korean).
3. Kang, S. P., Kim, G. Y., Kwon, Y. J., Jung, S. C., Lee, D. C., Song, B. C. and Kim, M. H. (1998), A study on the analysis and evaluation of deterioration factors for the structure of reinforced concrete apartment according to actual condition survey, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 10, No. 1, pp. 391~396 (in Korean).
4. Li, N., Berckerik-Gerber, B., Soibelman, L. and Krishnamachari, B. (2015), Comparative assessment of an indoor localization framework for building emergency response, *Automation in Construction*, Vol. 57, pp. 42~54.
5. Moon, H. S., Lee, W. S., Lee, G. W. and Han, D. S. (2015), A 2-D location determination model of buried persons in collapsed shape using optimal wireless communication technology, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 16, No. 12, pp. 8879~8888 (in Korean).
6. Moseley, S. G., Bohn, K. P. and Goedickemeier, M. (2009), Core drilling in reinforced concrete using polycrystalline diamond (PCD) cutters: Wear and fracture mechanisms, *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 27, Issue 2, pp. 394~402.
7. Son, B. S. (1997), The sampoong department collapse-actuality of rescue, *Review of Architecture and Building Science*, Vol. 41, No. 6, pp. 20~23 (in Korean).