

현장계측을 통한 T-4 천공과 암반 이중천공의 비교·분석

Comparative Analysis between T-4 Drilling and Dual Drilling Methods through Field Measurements

손 무 락[†] · 이 종 우¹⁾ · 서 정 호²⁾ · 김 종 모³⁾

Moorak Son · Jongwoo Lee · Jeongho Seo · Jongmo Kim

Received: May 11th, 2016; Revised: May 17th, 2016; Accepted: July 27th, 2016

ABSTRACT : This study carried out field measurements of rock drilling where two PRD (Percussion Rotary Drilling) methods, T-4 drilling method and dual drilling method, were considered and the study examined the characteristics of vibration level, noise level, drilling speed, and drilling verticality of the two method. The results of field measurements were compared and analyzed in details to provide the drilling information so that the problems due to rock drilling is minimized and the drilling efficiency is improved in the future. The limited measurements in the field indicated that the dual drilling method showed lower vibration and noise levels and better drilling speed and verticality.

Keywords : Rock drilling, PRD, T-4 drilling, Dual drilling, Field measurement

요 지 : 본 연구에서는 PRD 방식으로 암반천공을 위해 사용되는 두 공법, 즉 T-4 천공 공법과 암반 이중천공 공법에 대한 현장계측을 실시하고 각 공법의 적용으로부터 발생된 진동, 소음, 천공속도 및 천공수직도를 조사하였으며 그 결과를 비교 및 분석하였다. 이를 바탕으로 두 공법에 관한 관련 계측자료를 제공하고 그 차이점을 파악하여 향후 암반천공으로 인한 주변 민원피해를 최소화하고 천공의 효율을 향상 시키고자 함에 그 목적이 있다. 본 연구에서 제한된 현장계측을 토대로 비교한 결과 암반 이중천공 공법이 T-4 천공 공법에 비해서 진동 및 소음이 보다 작게 발생하는 특징을 나타냈으며 이와 더불어 천공속도와 천공수직도는 더 양호한 특징을 가지는 것으로 나타났다.

주요어 : 암반천공, PRD, T-4 천공, 이중천공, 현장계측

1. 서 론

암반천공은 천공기의 추진력, 회전력 및 충격력 등을 이용하여 암반을 천공하는 것으로서 토목 및 건축공사 현장에서 지표면 천공, 터널 또는 지하광산에서의 지중천공, 석유시추와 지하수개발 등 자원개발을 위한 천공 등 다양한 목적을 위해 실시된다. 천공장비 또한 크기 및 시공법, 추진 및 회전력 등에 따라 다양하게 분류된다. 하지만 지반천공 시 발생하는 진동 및 소음 등은 주변에 다양한 민원문제를 발생시킬 수 있으며 느린 천공속도나 불량한 수직도 등은 공사비를 증가시키고 시공품질을 저하시키는 등의 여러 가지 문제점을 유발할 수 있다. 이와 같이 건설현장에서 장비의 사용으로 발생할 수 있는 소음 및 진동특성과 시공특성(Korea Environment Institute(KEI), 2001; Korea Environment Institute(KEI), 2007; National Institute of Environmental Research(NIER), 2003; Ministry of Environment, 2007; Korean Society of Professional Engineers

for Noise and Vibration(KSPENV), 2001)을 파악하고 관련될 수 있는 문제점을 미연에 방지하고 대처방안을 마련하는 것은 매우 중요한 일이다.

토목 및 건축공사 현장에서 암반지층 수직천공(직경 300mm 이상)을 위해 사용되는 공법들 중 일반적으로 많이 활용되고 있는 공법은 T-4 천공 공법이며, 이와 더불어 최근 암반 이중천공 공법이 개발되어 사용되고 있다. T-4 장비는 대구 경 천공용 시추장비를 말하는 것으로서 미국의 잉가솔랜드에서 제작하여 판매하고 있는 천공기의 모델이다. 이 장비는 SCREW 하단에 T-4 해머를 장착하여 압축공기에 의하여 타격하면서 회전시키는 방식(PRD, Percussion Rotary Drill 방식)으로 지반을 천공하고 압축공기로 천공토를 배출하며, 일반적인 스크류오거에 의하여 천공이 어려운 지반을 천공하는 데 사용된다. 일반적으로 PRD 장비는 RCD 관련 장비에 비하여 소구경인 직경 600mm~1,000mm까지에 해당하는 천공홀을 형성하기 위한 장비로서 여러 종류의 퇴적층

† Department of Civil Engineering, Daegu University (Corresponding Author : mson@daegu.ac.kr)

1) NSB

2) CM Partners

3) Lotte Construction Co.

및 암반기초는 물론 사면의 활동에 대한 방지 및 TOP DOWN 공법 등에 다양하게 적용시킬 수 있다. PRD 공법은 저압의 AIR를 사용하므로 주위의 구조물에 대한 소음 및 진동의 영향을 보다 저감시킬 수 있는 특징이 있다. 암반 이중천공 (Dual drilling) 공법은 PRD 방식을 이용하는 또 다른 공법으로 암반층을 천공함에 있어 1차적으로 중심부에 계획 천공직경의 20~50%의 직경으로 설계심도까지 천공하여 암반층에 1차 천공을 형성하고 2차적으로 1차 천공을 따라 계획 천공직경에 해당하는 암반천공 비트를 사용하여 본 굴착공인 2차 천공을 형성하는 공법이다. 또한, 이 공법은 1차 천공이 완료된 후 천공홀에 물을 주입하고 24시간 동안 유지시켜 물이 주변 암반으로 흡수되도록 하여 2차 천공 시 소음 및 진동, 분진 등을 감소시킬 수 있는 특징이 있다.

이상에서 설명한 바와 같이 T-4 천공과 암반 이중천공 공법은 토목 및 건축현장에서 수직천공을 위해 사용되는 가장 일반적인 방법임에도 불구하고 상기 두 공법을 이용한 암반천공의 차이점에 대해 전혀 비교연구가 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 T-4 천공 공법과 암반 이중천공 공법에 대한 소음 및 진동, 천공속도 및 천공수직도에 대한 현장계측을 실시하고 두 공법에 대한 계측결과를 상호 비교하고 분석하였다. 이를 바탕으로 두 공법에 관한 관련 계측자료를 제공하고 그 차이점을 파악하여 향후 암반천공으로 인한 주변 민원피해를 최소화하며 천공효율을 향상 시키고자 함에 그 목적이 있다.

2. 현장계측

2.1 현장위치 및 지반조건

현장계측이 실시된 곳은 서울 삼성동에 위치한 복합건물 신축공사 현장이며 현장계측은 2015년 12월에 수행되었다. 4개 시추공(Fig. 1 참조)을 통해 지반조사를 실시한 결과 상부에는 매립층과 세립 및 조립질의 퇴적층, 풍화토층으로

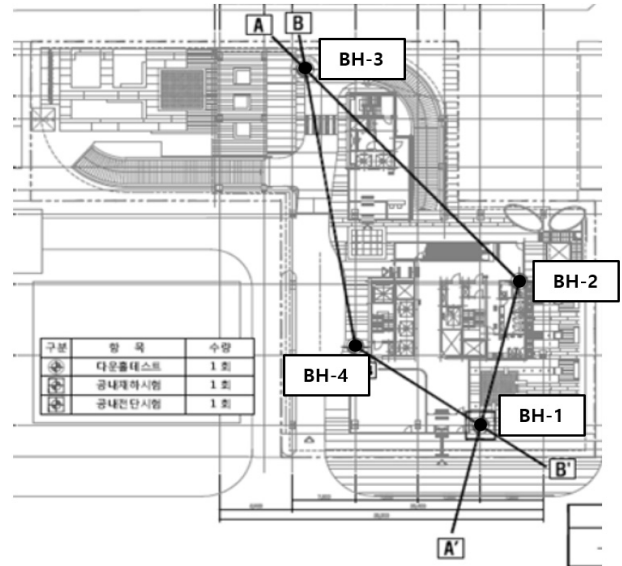


Fig. 1. Boring locations at site

Table 1. Ground stratification at boring locations

Boring number	Depth (m)	Ground type	N value	TCR/RQD (%)	Groundwater level (m)
BH-1	0.0~6.5	Fill	6/30~13/30	-	9.4
	6.5~8.5	Soil sediment	8/30	-	
	8.5~10.0	Weathered soil	41/30	-	
	10.0~15.5	Weathered rock	50/10~50/3	-	
	15.5~21.0	Soft rock	-	(50~72)/(3~32)	
	21.0~30.0	Hard rock	-	(60~73)/(33~51)	
BH-2	0.0~5.5	Fill	7/30~13/30	-	8.7
	5.5~8.0	Soil sediment	5/30~6/30	-	
	8.0~10.0	Weathered soil	21/30~50/20	-	
	10.0~11.0	Weathered rock	50/4	-	
	11.0~15.0	Soft rock	-	(50~66)/(0~26)	
BH-3	0.0~5.0	Fill	4/30~5/30	-	8.1
	5.0~8.5	Soil sediment	7/30~14/30	-	
	8.5~10.0	Weathered soil	50/30	-	
	10.0~16.0	Soft rock	-	(26~30)/(6~16)	
	16.0~30.0	Hard rock	-	(40~100)/(5~55)	
BH-4	0.0~2.8	Fill	13/30~14/30	-	9.5
	2.8~5.0	Soil sediment	8/30~9/30	-	
	5.0~9.0	Weathered soil	28/30~50/16	-	
	9.0~14.0	Weathered rock	50/10~50/2	-	
	14.0~22.3	Soft rock	-	(12~52)/(0~10)	
	22.3~30.0	Hard rock	-	(59~75)/(20~35)	

구성되어 있으며 하부에 풍화암과 기반암이 형성되어 있는 것으로 나타났다.

시추조사를 통해 파악된 지층분포 현황 및 지하수위 위치는 Table 1과 같다. 매립층은 부지조성 등 기타 성토작업에 의하여 형성된 지층으로서 최상부로부터 2.8~6.5m의 층후로 분포하며 갈색, 황갈색의 실트질 모래로 구성되어 있고 BH-1, 2, 4번 조사공은 자갈이 혼재되어 있다. 표준관입시험 결과 N치는 4/30~14/30으로 매우느슨~보통 조밀한 상대밀도를 보였다. 퇴적층은 세립토 및 조립토로 구성되어 있으며 세립토 퇴적층은 지표면 하부 2.8~6.5m부터 2.0~2.5m의 층후로 분포하며, 회갈색의 실트 또는 모래섞인 점토로 구성되어 있다. 표준관입시험 결과 N치는 5/30~11/30으로 보통 견고~견고한 연경도를 보였다. 조립토 퇴적층은 BH-3번 조사공에서 지표면 하부 7.0m부터 1.5m의 층후로 분포하며 회갈색의 세립~중립의 모래, 모래섞인 자갈로 구성되어 있다. 표준관입시험 결과 N치는 11/30~14/30으로 보통 조밀한 상대밀도를 보였다. 풍화암은 기반암이 심하게 풍화되어 형성된 층으로 조직과 형태는 그대로 유지하고 있으나 역학적 성질과 입자간의 결합력은 대부분 상실하여 노출 시 가벼운 타격에도 쉽게 분해되는 것으로 나타났다.




BH-1, 2, 4번 조사공에서 지표면 하부 9.0~10.0m부터 1.0~5.5m의 층후로 풍화암이 분포하였으며 굴진 및 타격에 의하여 갈색, 암갈색의 암편 및 실트질 모래로 분해되었다. 표준관입시험 결과 N치는 50/10~50/2로 나타났다. 기반암은 황갈색, 회갈색, 회색, 암회색의 편마암의 연암, 경암으로 구분되며 지표면 하부 10.0~15.5m부터 4.0~20.0m의 층후까지 나타났다. 시추조사 결과 보통풍화~신선한 상태를 나타냈으며, 보통 강함~매우 강함의 강도를 보이고 균열 및 절리가 발달된 것으로 나타났다.

2.2 계측장비 및 방법

본 현장에서 진동 및 소음계측을 위해 사용된 장비 및 제원은 Table 2와 같다.

현장에서 계측이 수행된 천공홀의 위치는 Fig. 2와 같으며 이 위치에서 수행된 시추조사는 BH-4로 깊이별 지층분포는 Table 1에서 파악할 수 있다. 현장계측이 수행된 두 천공홀은 약 10m 정도 이격되어 있으며 시추조사공 BH-4는 두 천공홀 사이에 위치하고 있다. 현장계측이 수행된 두 천공홀 위치에서의 지층분포 또한 BH-4의 지층분포와 매우 유사한 것으로 확인되었으며, 각 천공홀 주변 계측기 설

Table 2. Measuring devices used in this study

Vibration velocity, Noise level			Noise level					
MiniMate Plus (CANADA InstanTel INC.)			Sv-1 (SVS)			SC-15c (CESVA, SPAIN)		
								
Vibration	Max. measurement	254 mm/sec	Vibration velocity	Max. measurement	100 mm/sec	Noise (A-type)	Range	25.3 ~ 137 dB (A)
	Min. measurement	0.0127 mm/sec		Min. measurement	0.01 mm/sec			
	Trigger level	0.13 ~ 253.9 mm/sec		Trigger level	0.1 ~ 100 mm/sec			
	Acceleration	0.01 ~ 30 gal		Frequency range	1 Hz ~ 50 Hz			
	Displacement	0.0001" ~ 1.5"		Storage sample rate	514 samples/sec			
Accuracy	B & K Reference accelerometer @ 15 Hz 1%		Vibration level	Range	35 ~ 120 dB (V)	Measurement	L5, L10, L50, L90, L95, Lmax, Lmin, Leq	
	Measurement	L5, L10, L50, L90, L95, Lmax, Lmin, Leq						
	Frequency range	1 Hz ~ 80 Hz						
Noise (A-type)	Range	55 ~ 110 dB	Noise (A-type)	Sensor	3 direction acceleration	Frequency range	20 Hz ~ 20,000 KHz	
	Min. measurement	0.2 dB		Range	30 ~ 130 dB (A)			
	Trigger level	0.2 dB		Measurement	Lmax, Leq			
			Sensor		IEC 60651:1979 Type 2	Sensor	1/2" removable prepolarised condenser microphone	

치지점까지(천공홀에서 10m 거리)의 지층분포 또한 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다. 계측은 각 천공홀의 서로 다른 세 군데의 심도(Fig. 3 참조)에서 천공을 실시할 때 수행하였으며 각 심도당 동서남북 네 방향에서 천공홀로부터 각

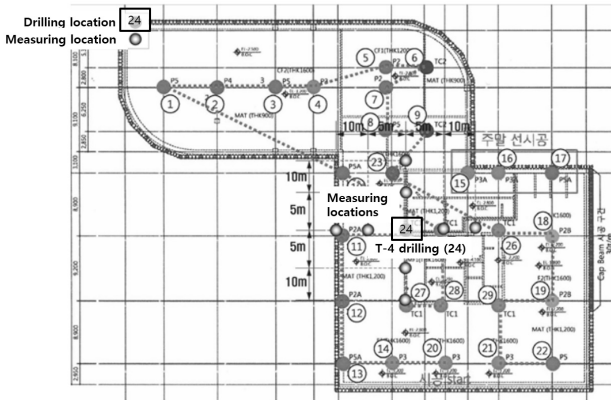
5m, 10m 거리의 여덟 군데의 위치(Fig. 2 및 Fig. 3 참조)에서 수행하였다. 일반적으로 소음·진동 발생원으로부터 계측지점 간의 수평거리는 5, 7.5, 10, 15, 20, 40m 등을 이용하고 있으나(Korea Environment Institute(KEI), 2007; National Institute of Environmental Research(NIER), 2003) 본 연구가 수행된 현장은 상기 여러 위치에 계측장비를 설치할 수 있을 만큼 공간이 충분치 않아 5m 및 10m의 거리에서만 계측을 수행하였다.

3. 계측결과 및 비교·분석

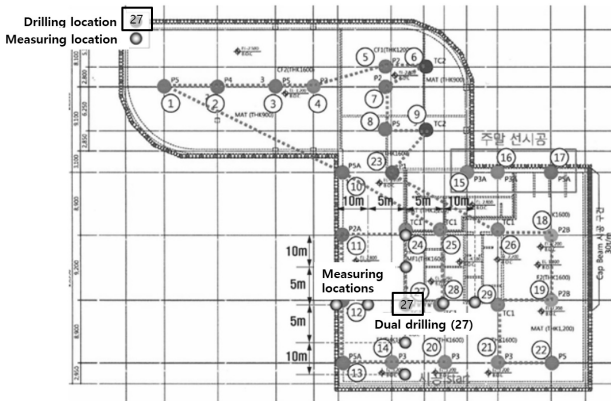
3.1 진동속도(PPV)

3.1.1 계측위치 5m 지점

현장에서 계측한 각 심도별 발생 진동속도는 Fig. 4와 같다. 상기 계측결과를 비교한 그림에서 보는 바와 같이 천공홀 중심에서 5m 되는 지점에서 계측된 진동속도를 비교한 결과 천공심도가 상대적으로 얕은 13m 지점에서는 T-4 천공 시 발생한 진동속도가 이중천공 시 발생한 진동속도보다 약 3~8배 정도 크게 계측되었다. 천공심도가 깊어짐에 따라 그 차이가 줄어드는 경향을 나타냈으나 천공심도 25m 지점에서도 여전히 T-4 천공 시 발생한 진동속도가 이중천공 시 발생한 진동속도보다 약 1.2~1.8배 정도 크게 계측되었다. 이와 같은 결과를 토대로 판단할 때 이중천공이 T-4 천공보다 지반 천공 시 진동영향이 더 작게 발생할 것으로 판단된다. 이와 같은 이유는 앞에서 설명한 바와 같이 이중천공은 1차적으로 중심부에 계획 천공직경보다 작은 소구경을 천공하고 천공홀에 물을 주입하여 24시간 동안 유지시킨 후 2차적으로 계



(a) T-4 drilling



(b) Dual drilling

Fig. 2. Plan view of drilling and measurement locations

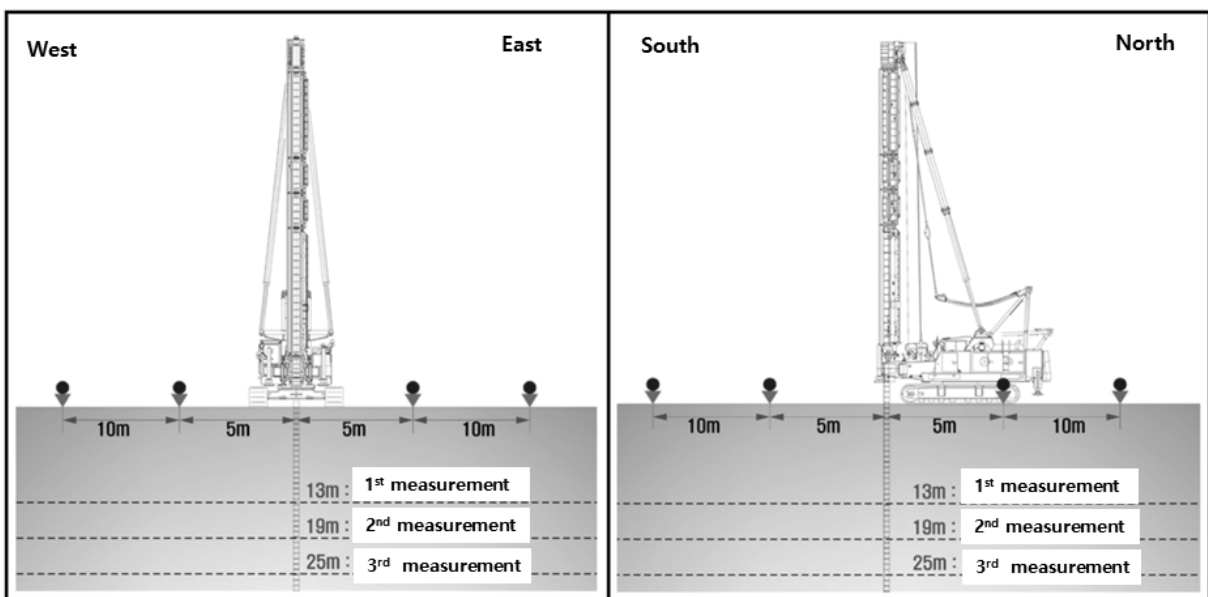


Fig. 3. Section view of measuring locations

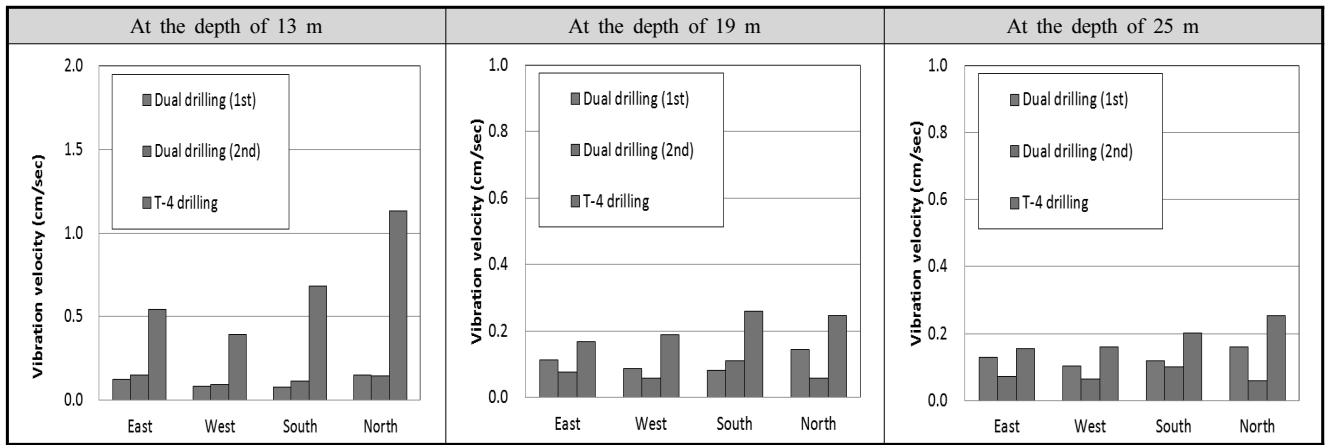


Fig. 4. Comparison of vibration velocities measured at 5 m distance from drilling hole

회 천공직경이 되도록 나머지 부분을 천공하는 방식으로 한 번에 천공되는 천공량을 줄여 소요되는 천공에너지를 감소시키고 이에 따라 유발 진동속도도 감소될 수 있기 때문이다. 더 나아가 상기 계측지점에서 계측된 진동속도를 중앙환경분쟁조정위원회의 진동으로 인한 건축물피해 기준(Korea Structural Analysis and Diagnosis Eng.(KOSAD), 2002)과 비교할 때 암반 이중천공은 문화재 건축물에 대한 기준(0.2cm/sec)보다 모두 낮게 발생하였으나 T-4 천공 시 계측된 진동속도는 천공심도가 얇은 경우 문화재 건축물에 대한 기준(0.2cm/sec)은 물론 일반적인 주택 및 상가에 대한 기준(상태등급에 따라 0.3~1.0cm/sec)도 상회할 수 있는 것으로 나타났다.

3.1.2 계측위치 10m 지점

현장에서 계측한 각 심도별 발생 진동속도는 Fig. 5와 같다. 상기 계측결과를 비교한 그림에서 보는 바와 같이 천공홀 중심에서 10m 되는 지점에서 계측된 진동속도를 비교한 결과 천공심도가 상대적으로 얇은 13m 지점에서는 T-4 천공 시 발생한 진동속도가 이중천공 시 발생한 진동속도보다 약 1.6~4배 정도 크게 계측되었다. 천공심도가 깊어짐에 따라

라 그 차이가 줄어드는 경향을 나타냈으나 천공심도 25m 지점에서도 여전히 T-4 천공 시 발생한 진동속도가 이중천공 시 발생한 진동속도보다 약 1.8~2.2배 정도 크게 계측되었다. 이와 같은 결과를 토대로 판단할 때 이중천공이 T-4 천공보다 암반천공 시 진동영향이 더 작게 발생할 것으로 판단된다. 천공심도 19m 지점의 North 방향에서는 이중천공의 1차 천공 시 발생한 진동속도가 T-4 천공보다 크게 발생한 것으로 나타났는데 이는 계측오차 또는 천공과 관련 없는 주변진동에 의한 영향 때문인 것으로 판단된다. 계측 위치가 5m에서 10m로 증가함에 따라 T-4 천공 시 계측된 진동속도는 계측위치 5m와 비교하여 크게 줄어들었으나 천공심도가 얇을 경우 여전히 중앙환경분쟁조정위원회의 문화재 건축물에 대한 기준(0.2cm/sec)을 상회할 수도 있는 것으로 나타났다.

3.2 최대 소음레벨

3.2.1 계측위치 5m 지점

현장에서 계측한 각 심도별 발생 소음레벨은 Fig. 6과 같

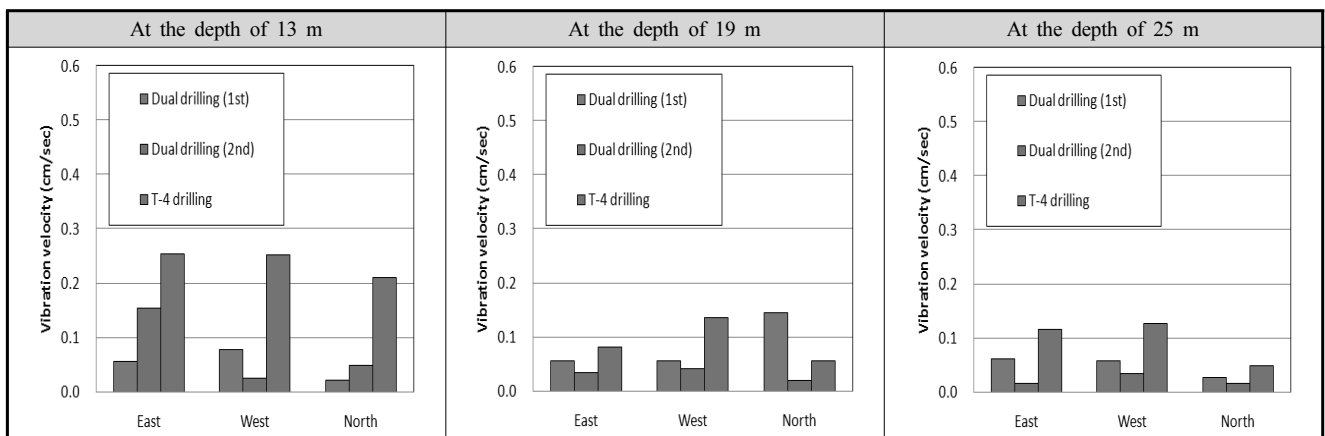


Fig. 5. Comparison of vibration velocities measured at 10 m distance from drilling hole

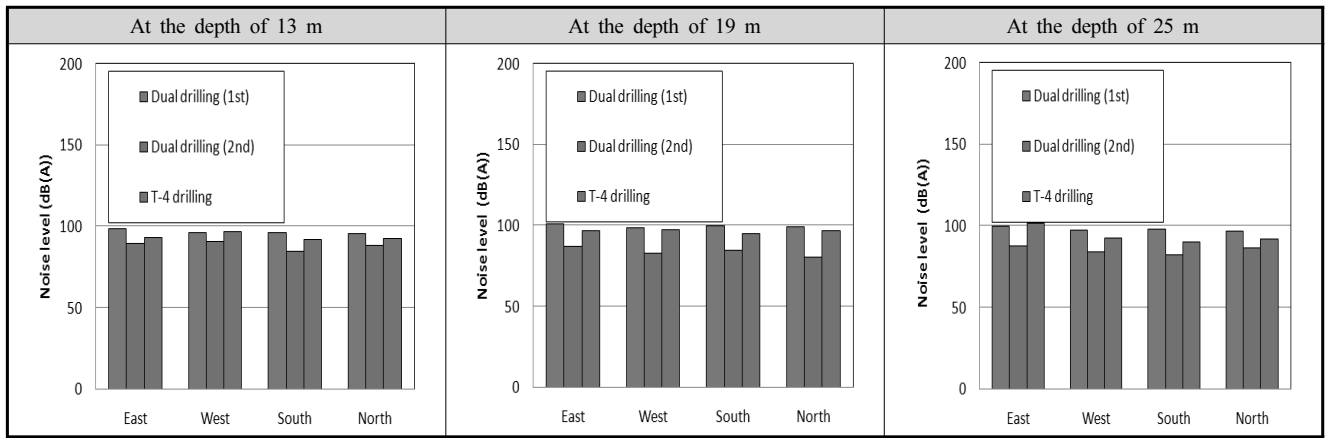


Fig. 6. Comparison of noise level measured at 5 m distance from drilling hole

다. 상기 계측결과를 비교한 그림에서 보는 바와 같이 천공홀 중심에서 5m 되는 지점에서 계측된 소음레벨을 비교한 결과 진동속도에 대한 결과와는 달리 천공심도에 관계없이 T-4 천공 시 발생한 소음과 이중천공의 1차 천공 시 발생한 소음이 유사한 것으로 나타났다. 이와 같은 이유는 비트에 의한 천공소음과 엔진 등을 통한 장비가동 소음이 복합적으로 발생한 결과로 판단된다. 하지만 이중천공의 2차 천공 시 발생한 소음은 T-4 천공 시 발생한 소음보다 약 5~10% 정도 감소된 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 이중천공의 1차 천공 후 천공홀에 주입된 물이 주변암석으로 스며든 것에 기인한 것으로 판단된다. 요약하면 소음레벨의 최대값은 천공 방식에 따라 크게 차이가 발생하지 않아 두 공법에 대한 최대소음 영향은 최대소음이 발생한 이중천공의 1차 천공속도와 T-4의 천공속도를 토대로 비교하여야 할 것으로 판단된다. 두 공법의 천공속도에 대한 비교는 이후에 다시 설명되겠지만 이중천공의 1차 천공속도가 T-4 천공속도보다 훨씬 빠른 것으로 나타났다. 다시 말해서 최대소음의 지속시간은 T-4 천공에서 더 길게 발생할 것으로 판단된다. 이외는 별도로 상기 계측지점에서 계측된 소음은 천공단계 및 천공 공법

에 관계없이 모두 소음진동관리법(Ministry of Environment, 2015)의 생활소음 기준(주간 65dB, 야간 50dB)을 상회하는 것으로 나타나 천공유발 근거리 소음피해에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

3.2.2 계측위치 10m 지점

현장에서 계측한 각 심도별 발생 소음은 Fig. 7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 천공홀 중심에서 10m 되는 지점에서 계측된 소음레벨은 천공홀 중심에서 5m 되는 지점에서 계측된 소음레벨과 비교하여 거리가 증가됨으로 인하여 크지는 않지만 약간 줄어들었다. 하지만 천공방식에 따른 결과는 앞의 결과와 유사한 경향을 나타냈다. 즉 천공심도에 관계없이 T-4 천공 시 발생한 소음과 이중천공의 1차 천공 시 발생한 소음이 비슷한 것으로 나타났으며, 이중천공의 2차 천공 시 발생한 소음은 T-4 천공 시 발생한 소음보다 감소되었다. 앞에서 설명한 바와 같이 두 공법에 대한 최대소음 영향은 최대소음이 발생한 이중천공의 1차 천공속도와 T-4의 천공속도를 토대로 비교하여야 할 것으로 판단되며 본 연구에서는 이중천공의 1차 천공속도가 T-4 천공속

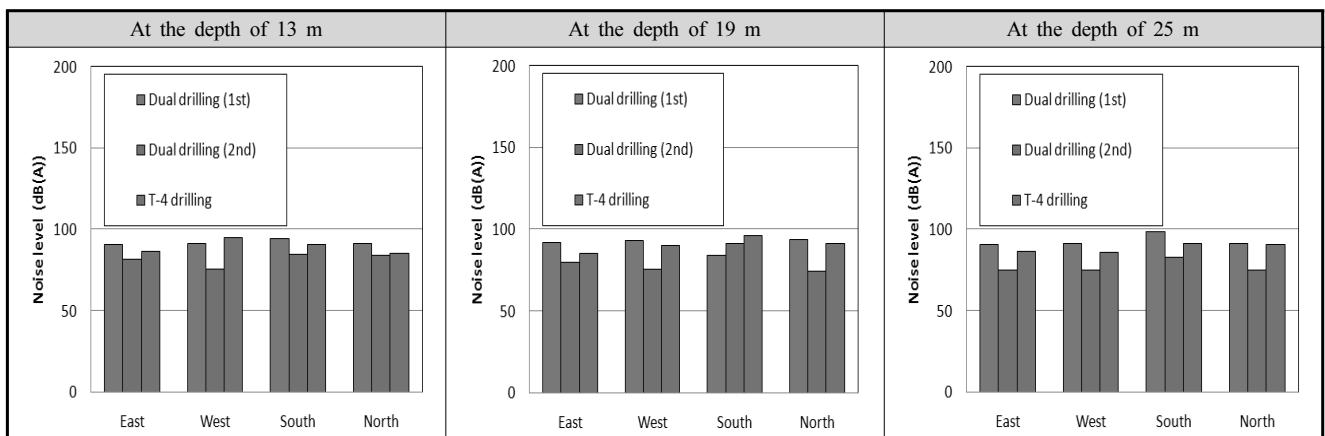


Fig. 7. Comparison of noise level measured at 10 m distance from drilling hole

도보다 훨씬 빠른 것으로 나타났다. 이와는 별도로 상기 예측거리가 5m에서 10m로 증가하였음에도 불구하고 예측지점에서 예측된 소음은 천공단계 및 천공 공법에 관계없이 모두 소음진동관리법(Ministry of Environment, 2015)의 생활소음 기준(주간 65dB, 야간 50dB)을 상회하는 것으로 나타나 앞에서 설명한 바와 마찬가지로 천공유발 근거리 소음 피해에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 예측거리에 따른 진동 및 소음결과를 토대로 판단할 때 진동은 거리에 따른 영향을 크게 받는 반면 소음은 그렇지 않다는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 이유는 진동과가 지반을 통해 전달되면서 거리에 따라 큰 감쇄가 발생하는 반면 소음과 관련된 음파는 지반 및 공기 매질 모두를 통해 전달되면서 거리에 따른 감쇄가 훨씬 작게 발행하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 소음에 대한 거리영향에 대해선 보다 신중한 접근이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 천공속도

암반 이중천공 공법에서 1차 천공은 T-4 천공을 포함한 모든 천공 공법에서 본격적인 천공을 실시하기 전 단계에 필요로 하는 케이싱 설치 및 예비 천공홀 형성 등의 천공 준비기간 중에 실시되는 특징이 있어 본격적인 천공시간에는 포함되지 않으며, 따라서 이중천공과 T-4 천공 간의 공법별 천공시간 또는 공사기간과 관련된 천공속도를 비교하기 위해서는 이중천공의 2차 천공과 T-4 천공의 천공속도를 직접 비교하여야 한다. Fig. 8은 해당현장에서 예측한 이중천공의 2차 천공속도와 T-4 천공의 천공속도를 직접비교한 것이다.

상기 예측결과를 비교한 Fig. 8과 같이 심도가 상대적으로 얇은 곳에서는 두 공법의 천공속도가 큰 차이가 없었으나 심도가 깊은 구간에서는 이중천공의 2차 천공속도가 T-4 천공에 비해 훨씬 빠르다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 시추조사 BH-4에서 보는 바와 같이 지층이 경암으로

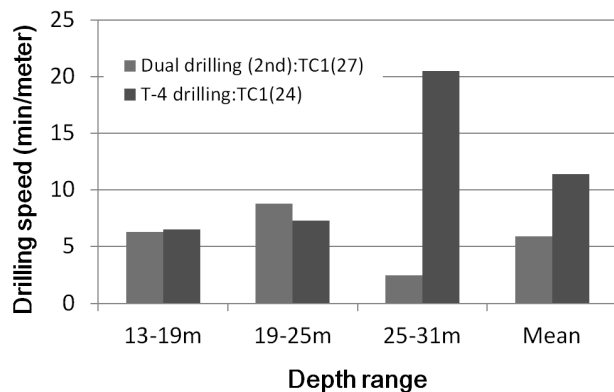


Fig. 8. Comparison of drilling speed

이루어져 있고 또한 주변 상재압력이 크게 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 다시 말해서 암반 이중천공공 법과 T-4 천공 공법의 천공속도는 보다 단단한 지층 및 높은 구속압력의 조건하에서 더 크게 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 결과적으로 전체 천공 평균속도는 이중천공이 T-4 천공보다 약 2배 정도 빠른 것으로 예측되었으며, 이를 통해 이중천공 공법이 T-4 천공과 비교하여 케이싱 설치 및 예비 천공홀 형성 등의 천공 준비기간에 큰 차이가 없는 한 공사기간을 크게 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 앞에서 설명한 최대소음의 지속시간과 관련하여 이중천공의 1차 천공속도를 예측하였으며 해당현장에서 예측된 이중천공의 1차 천공속도는 평균적으로 1m 천공 시 약 8.7분이 소요되는 것으로 나타나 T-4 천공의 1m 천공 시 평균 11.4분보다 상대적으로 빠른 것으로 나타났다. 이를 통해 최대소음의 지속시간은 T-4 천공 공법이 이중천공 공법보다 더 길게 발생할 것으로 판단된다.

3.4 천공수직도

T-4 천공 공법과 이중천공 공법의 천공수직도를 예측하고 비교하였다. 비교결과 T-4 천공(3.2° 경사 발생)보다 이중천공(0.8° 경사 발생)이 훨씬 양호한 수직도를 발생시키는 것으로 나타났다. 이는 수직도 유지가 보다 용이한 이중천공의 1차 소구경 천공이 이루어진 후 2차 확대천공이 수행됨으로 인해 천공수직도를 양호하게 유지할 수 있는 반면 T-4 천공은 대구경 직경을 동시에 천공함으로 인해 수직도를 제어하기가 보다 어려웠기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결 론

PRD 방식으로 암반천공을 위해 사용되는 두 공법, 즉 T-4 천공 공법과 암반 이중천공 공법에 대한 현장시험을 실시하고 각 공법의 적용으로부터 발생된 진동, 소음, 천공속도 및 천공수직도를 조사하였으며 그 결과를 비교 및 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 천공홀 중심에서 보다 가깝고 천공심도가 얇을수록 이중천공 시 발생한 진동속도가 T-4 천공 시 발생한 진동속도보다 훨씬 작게 예측되었으며 거리가 멀어지고 깊이가 깊어짐에 따라 그 차이는 줄어들었지만, 여전히 이중천공 공법이 T-4 천공 공법이 더 작은 진동을 발생시키는 것으로 나타났다.
- (2) 천공홀 중심에서 가까운 지점에서 소음레벨은 천공심도에 관계없이 T-4 천공 시 발생한 소음과 이중천공의 1

차 천공 시 발생한 소음이 유사한 것으로 나타났지만, 이중천공의 2차 천공 시 발생한 소음은 T-4 천공 시 발생한 소음보다 약 5~10% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 천공홀 중심에서 거리가 증가됨에 따라 소음레벨은 줄어들었지만, 천공방식에 따른 결과는 유사한 경향을 나타냈다. 결과적으로 소음레벨의 최대값은 천공방식에 따라 크게 차이가 발생하지 않았지만 두 천공 공법의 천공속도 차이로 인하여 최대소음의 지속시간은 이중천공 방식이 T-4 천공 방식보다 훨씬 짧게 발생하는 것으로 나타났다.

- (3) 계측거리 5m에서 계측된 진동속도를 중앙환경분쟁조정위원회의 진동으로 인한 건축물피해 기준과 비교할 때 일반 이중천공은 문화재 건축물에 대한 기준(0.2cm/sec)보다 모두 낮게 발생하였으나 T-4 천공 시 계측된 진동속도는 천공심도가 얇은 경우 문화재 건축물에 대한 기준(0.2cm/sec)은 물론 일반적인 주택 및 상가에 대한 기준(상태등급에 따라 0.3~1.0cm/sec)도 상회할 수 있는 것으로 나타났다. 계측위치가 10m로 증가함에 따라 T-4 천공 시 계측된 진동속도는 계측위치 5m와 비교하여 크게 줄어들었으나 천공심도가 얇을 경우 여전히 중앙환경분쟁조정위원회의 문화재 건축물에 대한 기준(0.2cm/sec)을 상회할 수도 있는 것으로 나타났다.
- (4) 계측거리 5m 및 10m에서 계측된 소음레벨을 소음진동규제법의 생활소음 기준(주간 65dB, 야간 50dB)과 비교할 때 천공방법에 관계없이 모두 기준을 상회하는 것으로 나타났다. 이로부터 천공유발 근거리 소음피해에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다.
- (5) 계측거리에 따른 진동 및 소음결과를 토대로 판단할 때 진동은 거리에 따른 영향을 크게 받는 반면 소음은 그렇지 않다는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 이유는 진동파가 지반을 통해 전달되면서 거리에 따라 큰 감쇄가 발생하는 반면 소음과 관련된 음파는 지반 및 공기 매질 모두를 통해 전달되면서 거리에 따른 감쇄가 훨씬 작게 발행하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 소음에 대한 거리영향에 대해선 보다 신중한 접근이 필요할 것으로 판단된다.

- (6) 천공속도에 있어서 T-4 천공과 비교하여 이중천공이 심도가 상대적으로 얇은 곳에서는 천공속도에 큰 차이가 발생하지 않았으나 심도가 깊은 구간에서는 이중천공의 속도가 훨씬 빠른 것으로 나타났다. 이를 통해 일반 이중천공 공법과 T-4 천공 공법의 천공속도는 보다 단단한 지층 및 높은 구속압력의 조건하에서 더 크게 발생할 수 있을 것으로 판단된다. 전체 평균속도는 이중천공이 T-4 천공보다 약 2배 정도 빠른 것으로 계측되었다.
- (7) 천공수직도에 있어서 T-4 천공 시 계측한 수직도와 이중천공 시 계측한 수직도를 비교한 결과 이중천공이 훨씬 양호한 수직도를 발생시키는 것으로 나타났다. 이는 이중천공의 1차 소구경 천공 후 2차 확대천공이 이루어짐으로 인해 천공수직도를 양호하게 유지할 수 있는 반면 T-4 천공은 대구경의 직경을 동시에 천공함으로 인해 수직도를 제어하기가 보다 어려웠기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구를 통해서 얻은 결론은 당해 현장시험에서 계측한 결과만을 토대로 한 것이며 현장조건 및 기타 상황에 따라 그 결과에 차이가 발생할 수도 있음을 밝혀두고자 한다.

References

1. Korea Environment Institute (2001), The study on the environmental policy of noise and vibration in 21st century, 317p.
2. Korea Environment Institute (2007), The study on the improvement of the assessment of noise and vibration for environment disputes at a construction site, 71p.
3. Korean Society of Professional Engineers for Noise and Vibration (KSPENV) (2001), Report of the examination on noise and vibration of machinery including construction equipment, 334p.
4. Korea Structural Analysis and Diagnosis Eng. (KOSAD) (2002), Study on vibration-induced damage assessment of structures, pp. 100~125.
5. Ministry of Environment (2007), Guidance for noise & vibration control under construction, 279p.
6. Ministry of Environment (2015), Enforcement decree of the noise and vibration control act, pp. attached table 8.
7. National Institute of Environmental Research (NIER) (2003), Characteristics of construction machinery noise, 163p.