

건설기계류 소음·진동 특성

Characteristics of Construction Machinery Noise and Vibration

강대준*·이우석*·이재원**·홍준기*

Daejoon Kang, W. S. Lee, J. W. Lee and J. K. Hong

(2004년 9월 22일 접수 ; 2005년 5월 3일 심사완료)

Key Words : Construction Machinery Noise(건설기계류 소음), Product Noise Labeling(소음표시제)

ABSTRACT

The construction noise is one of the main causes of environmental impact. The complaints about it have been increasing every year. In order to reduce construction machinery noise, the product noise labeling for construction machinery has been recommended since 1 February 1996 and in the near future the government will convert the recommended product noise labeling to the mandatory product noise labeling for high noise construction machinery. Therefore, we investigated the noise and vibration level of 302 construction machines in construction work sites. This paper presents the basic data that will be used for setting the standard of construction machinery noise and predicting the noise level near construction work sites in environmental impact assessment.

1. 서론

산업경제의 급속한 발전과 성장 위주의 경제정책으로 국토 개발에 대한 수요는 매년 증가하고 있으며 특히, 도시화와 인구 집중으로 인한 도로의 확충과 주택단지의 보급, 신도시 개발 등의 대규모 공사들이 끊이지 않고 있는 실정이다. 예전에는 인근지역의 개발이 그 지역의 발전을 가져온다는 생각으로 환영을 받기도 하였지만 최근에는 정온한 환경에의 욕구가 증가하여 건설공사 현장에서의 마찰이나 그에 대한 민원이 끊이지 않고 있다. 실제로 중앙환경분쟁조정 위원회에서 '03년 10월 현재 처리된 분쟁조정 244건 중 222건이 소음진동 관련이며 그 중 70%가 공사장에서 건설기계나 발파에 의한 소음진동이 원인이

되는 것으로 나타났다.

국립환경연구원은 '92년에 '공사장 소음의 방지대책에 관한 연구(I)'에서 건설기계와 공사장 소음진동에 관한 실태조사 및 저감대책에 관하여 연구하였고 환경부에서는 '96년에 고소음 건설기계에 대한 저소음 정책의 일환으로 소음표시권고에 관한 규정을 만들어 시행하였다. 그러나 현재 소음표시권고제가 적용되는 11종의 건설기계 중 국립환경연구원의 인증을 받은 기계는 발전기, 브레이커, 압쇄기 등 3종에 불과하고 소음 표시 신청 건수 또한 해마다 줄고 있어 그 실효성에 문제가 제기되고 있다. 따라서 환경부에서는 건설기계에 대한 소음표시 의무제 도입을 준비하고 있고 해마다 이를 확대할 방침이다. 이 연구에서는 현재 공사 현장에서 사용되고 있는 건설기계류에 대한 소음도 및 진동레벨을 조사하여 소음표시 의무제 도입을 위한 정책자료를 제공하고, 환경영향평가지 건설기계류 소음진동에 대한 영향을 예측하는데 기초자료를 제공하고자 한다. 이와 함께 저소음공법에 관한 자료조사를 통하여 앞으로의 소음저감대책을 강구하는데 활용할 수 있도록 하고자 한다.

† 책임저자 : 정희원, 국립환경연구원
E-mail : dj kang@me.go.kr
Tel : (032) 560-7385, Fax : (032) 568-2053

* 국립환경연구원

** 정희원, 국립환경연구원

2. 조사내용 및 방법

2.1 조사내용

공사 현장에서 많이 사용되는 건설기계를 비롯하여

소음표시권고 규정⁽¹⁾에 명시된 소음표시대상기계 등, 총 34종, 302대의 건설기계를 대상으로 공종별로 분류하여⁽²⁾ 거리별 소음·진동레벨을 조사하고, 외국의 기준과 비교 분석하였다.^(3,4) 또한 공사현장에서 쓰이는 저소음공법에 관하여 조사하였다.

Table 1 Noise level of construction machinery

Machine	Power (HP)	Condition	Noise level(L _{eq} , 30s dB(A))				Samples
			7.5 m		15 m		
			Range	Mean*	Range	Mean*	
Excavator	< 75	Loaded	69.5~76.8	74.5/73.2	62.4~69.8	67.5/66.1	2
		Unloaded	72.3	-	66.9	-	1
	75~140	Loaded	68.5~81.9	76.3/74.7	63.2~77.1	71.7/69.7	19
		Unloaded	63.1~80.2	75.2/71.7	60.1~74.8	70.5/67.7	22
	140~280	Loaded	71.1~82.5	78.2/77.0	65.8~77.4	73.4/72.1	40
		Unloaded	77.6~81.7	79.0/79.0	72.5~73.7	73.1/73.1	2
> 280	Loaded	82.9~84.4	84.0/83.9	74.1~78.1	76.5/76.1	3	
	Unloaded	74.7	74.7	71.5	71.5	1	
Bulldozer	< 70	Loaded	74.0~78.3	76.7/76.3	69.1~75.7	72.6/71.9	5
		Unloaded	75.1~74.8	78.0/77.8	68.8~74.8	73.1/72.5	6
	70~140	Loaded	69.7~77.4	75.1	63.0	63.0	3
		Unloaded	77.3~88.0	83.8/82.6	72.9~77.9	75.8/75.3	6
Loader	> 140	Loaded	76.3~85.9	83.0/82.3	73.0~77.2	75.6/75.1	6
Grader	120~170	Loaded	71.2~81.0	78.8/78.0	66.8~74.4	72.7/71.9	4
Tandem roller	> 75	Loaded	69.4~76.8	74.9/74.2	66.4~72.7	70.6/69.6	6
Vibratory roller	> 75	Loaded without vibration	70.3~82.9	78.0/76.4	66.2~76.5	72.5/71.2	18
		Loaded with vibration	79.2~83.1	80.3/79.7	71.3~77.9	74.8/74.2	10
Tire roller	> 75	Loaded	63.6~68.3	66.1/65.8	60.2~65.4	62.7/62.3	5
Tamping roller	> 75	Loaded without vibration	78.6	78.6	74.5	74.5	1
		Loaded with vibration	82.1	82.1	77.4	77.4	
Mighty	180	Unloaded	63.9	63.9	60.3	60.3	1
		Loaded	77.1	77.1	72.2	72.2	
Tractor	70~140	Unloaded	78.4~80.1	79.3/79.3	73.2~75.5	74.5/74.4	2
Earth auger		Unloaded	67.3~73.8	71.5/70.8	66.2~69.2	67.8/67.7	5
		Loaded	75.7~87.4	80.9/78.9	70.3~83.1	76.6/74.9	13
		Piling	72.5~85.0	81.8/79.6	70.9~81.9	78.2/75.8	7
Pile driver		Loaded	90.5~94.7	93.1/92.8	85.8~90.6	89.2/88.7	6
Vibratory pile driver		Loaded	83.7~90.2	87.8/87.0	78.8~84.5	81.9/81.3	3
Silent-piller		Loaded	70.5	70.5	-	-	1
Small hole rock drill		Loaded	73.4~77.8	76.8/76.3	72.1~72.6	72.4/72.4	2
Crawler drill		Unloaded	70.8~82.8	80.1/76.8	77.6	77.6	2
		Loaded	85.1~87.3	86.3/86.2	80.0~81.8	80.9/80.9	2
Rock drill		Unloaded	74.8~79.5	77.0/76.4	69.3~69.7	69.5/69.5	5
		Loaded	89.7~97.6	95.5/94.9	86.7~86.8	86.8/86.8	8
Concrete pump car	305~340	Idling	64.3	64.3	58.6	58.6	1
		Unloaded	67.5~71.2	69.3/69.0	62.2~64.1	63.5/63.5	3
		loaded	72.1~83.9	80.8/79.3	71.8~77.0	73.5/73.4	7

Machine	Power (HP)	Condition	Noise level (Leq, 30s dB(A))				Samples
			7.5 m		15 m		
			Range	Mean*	Range	Mean*	
Concrete mixer	320	Unloaded	70.4	70.4	65.0	65.0	1
		Loaded	63.9~77.1	72.4/70.2	61.7~63.4	62.5/62.4	8
Concrete plant	250	Loaded	67.1~82.2	78.9/75.3	-	-	4
Concrete vibrator		Loaded	72.7~79.7	77.5/76.2	68.3	68.3	2
Concrete finisher		Loaded	79.9~83.0	81.7/81.4	75.6~77.9	76.9/76.8	2
Asphalt finisher		Unloaded	69.5	69.5	64.1	64.1	1
		Loaded	79.4~85.4	82.4/81.8	74.3~78.0	76.5/76.2	7
Breaker	< 500 kg	Loaded	86.8~88.5	87.7/87.7	82.9	82.9	2
		Unloaded	61.2~79.1	76.2/70.2	55.7	55.7	7
	> 500 kg	Loaded	88.1~101.5	95.7/94.3	81.1~91.0	88.7/87.5	19
Hand breaker		Loaded	81.8	81.8	-	-	1
Generator	< 75	Open	76.7~78.8	77.9/77.8	69.1	69.1	2
		Close	70.7~74.4	72.7/72.5	66.8	66.8	5
	> 75	Open	76.0~80.6	78.3/77.8	72.7~72.8	72.8/72.8	3
Small generator	< 75	Loaded	76.4~78.2	77.4/77.3	69.9	69.9	2
Concrete crusher	< 75	Loaded	67.1	67.1	62.6	62.6	1
	75~140	Loaded	70.4~71.3	70.9/70.9	64.0~67.2	65.9/65.6	2
Compressor	10~30 m ² /min	Unloaded	74.4	74.4	-	-	1
		Loaded	73.6~82.2	77.3/76.4	72.4~73.7	73.1/73.1	10
		Idling	64.2~66.9	65.8/65.6	-	-	2
Crane		Unloaded	61.1~70.2	67.8/66.9	56.9~65.7	61.8/60.7	12
		Loaded	66.5~86.3	78.2/75.4	62.3~74.4	70.1/68.6	23
High pressure watering car		Loaded	80.3	80.3	70.3	70.3	1
Water-jet		Loaded	75.0~76.2	75.6/75.6	-	-	2
Fork lifter		Loaded	74.2~75.6	74.7/74.7			3
Dump truck		Loaded	79.8~89.3	84.7/82.5	74.9	74.9	4
Painting machine		Loaded	74.8	74.8			1

* Mean(O/O): logarithmic/arithmic

2.2 측정방법

건설기계소음의 측정은 소음표시권고대상기계의 소음도 측정방법⁽¹⁾을 준용하고, Fig. 1은 측정방법을 보이고 있다.

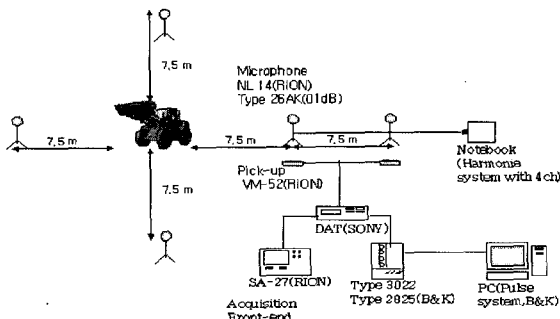


Fig. 1 Schematic diagram of measurement for construction machinery noise and vibration

반자유 음장이 만족되는 환경에서 대상기계 몸체의 측면으로부터 각각 7.5 m 떨어진 진후좌우 사면에서 측정하는 것을 원칙으로 하고, 거리감쇠 경향을 살펴 보기 위하여 15 m 떨어진 거리에서의 측정도 함께 수행하였다. 건설기계의 진동레벨 측정은 대상기계를 중심으로 한 사면 중 진동레벨이 높은 방향으로 7.5 m와 15 m 떨어진 거리에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 건설기계류의 소음진동 특성

(1) 건설기계류의 소음 및 진동레벨

건설 현장에서 사용되는 건설기계 34종, 302대의 건설 현장에서 사용되는 건설기계 34종, 302대의 진동레벨을 Table 1과 Table 2에 나타내고 있다.

(2) 건설기계류 소음의 거리감쇠 특성
 건설기계류에서 발생하는 소음을 발생형태에 따라 정상소음, 변동소음, 충격소음, 간헐소음 등으로 구분하여 건설기계 소음을 분류하고⁽²⁾ 이에 따른 거리감쇠 경향을 살펴보기로 한다.

먼저 조사대상 건설기계류 중 콘크리트 피니셔, 아스팔트 피니셔, 발전기, 크레인 등의 소음을 레벨변동이 적고, 일정한 소음을 발생하는 정상소음으로 분류하였다. 이들 건설기계류는 거리가 7.5m에서 15m로 두 배가 될 때 거리감쇠는 5.1~6.5 dB 정도이고 평균

Table 2 Vibration level of construction machinery

Machine	Power (HP)	Condition	Vibration level(L _{eq, 30s} dB(V))				Samples
			7.5 m		15 m		
			Range	Mean*	Range	Mean*	
Excavator	< 75	Unloaded	36.7	36.7	35.6	35.6	1
	75~140	Unloaded	24.1~39.0	33.5/28.9	20.1~37.2	31.4/24.7	4
	140~280	Unloaded	26.5~46.6	40.5/34.4	19.8~44.5	38.7/29.5	3
		Loaded	39.9~40.0	39.9/39.9	21.3	21.3	7
	> 280	Unloaded	34.6	34.6	28.6	28.6	1
Bulldozer	50~240	Unloaded	38.9	38.9	-	-	1
		Loaded	50.9~58.6	55.4/54.1	-	-	5
Loader	> 140	Loaded	34.0~40.2	37.9/37.4	31.5~38.3	35.5/34.9	5
Grader	120~170	Loaded	36.6	36.6	30.5	30.5	1
Tandem roller	> 75	Loaded	34.6	34.6	34.0	34.0	1
Vibratory roller	> 75	Loaded without vibration	16.6~42.1	36.1/27.5	16.3~25.3	21.7/20.4	10
		Loaded with vibration	51.8~76.9	73.8/69.5	57.6~74.0	70.5/67.4	12
Tire roller	> 75	Loaded	17.6~29.3	26.3/24.1	17.2~30.8	27.3/24.5	3
Tamping roller	> 75	Loaded without vibration	42.9	42.9	33.5	33.5	1
		Loaded with vibration	71.7	71.7	53.2	53.2	
Mighty	180	Unloaded	45.3	45.3	38.1	38.1	1
		Loaded	66.5	66.5	59.9	59.9	
Earth auger	-	Unloaded	45.9	-	-	-	5
		Loaded	40.1~68.0	61.1/55.4	36.4~58.9	53.0/43.9	13
		Piling	53.5~55.9	54.7/54.6	46.9~54.8	52.4/50.9	7
Pile driver	Loaded	70.1~76.0	73.9/73.1	68.7~70.3	69.6/68.5	6	
Vibratory pile driver	Loaded	64.1~69.4	67.9/67.3	56.0~64.6	61.2/59.5	3	
Small hole rock drill	Loaded	48.7	48.7	42.0	42.0	1	
Rock drill	Unloaded	21.4~26.9	24.9/24.2	15.0~20.4	18.5/17.7	4	
	Loaded	32.0~47.2	44.6/41.9	26.4~40.1	37.3/33.3		
Concrete pump car	305~340	Idling	26.2	26.2	20.1	20.1	1
		Unloaded	29.9	29.9	15.4	15.4	
		Loaded	33.3	33.3	26.1	26.1	
Concrete finisher	Loaded	29.5~35.9	33.8/32.9	27.3~27.6	27.5/27.5	2	
Asphalt finisher	Unloaded	25.4	25.4	27.1	27.1	1	
	Loaded	32.6	32.6	32.4	32.4		
Breaker	< 500 kg	Loaded	57.9	57.9	45.9	45.9	1
	> 500 kg	Unloaded	37.8	37.8	15.1	15.1	1
		Loaded	45.8~76.7	68.4/55.0	37.0~67.6	60.0/48.3	7
Crane	-	Unloaded	27.2	27.2	20.0	20.0	1
		Loaded	27.3~34.6	31.4/30.1	21.0~26.6	24.0/23.4	3

* Mean(O/O) : logarithmic/arithmetic

5.8 dB로 점음원의 거리감쇠양상을 나타내고 있다.

다음으로 건설기계류 중 굴착기, 어스 오거, 콘크리트 바이브레이터, 공기압축기, 불도저, 로우더, 그레이더, 로울러, 법면다짐기, 트랙터, 콘크리트 펌프카, 콘크리트 믹서, 덤프 트럭 등의 소음을 레벨이 불규칙하고 연속적으로 일정한 범위로 변화하며 발생하는 변동소음으로 분류하였다. 이들 기계류는 거리가 7.5 m에서 15 m로 두 배가 될 때 거리감쇠는 3.6~5.1 dB 정도이고 평균 4.3 dB로 정상소음을 발생시키는 건설기계류에 비해 1.5 dB 작게 감쇠되고 있다. 마지막으로 조사대상 건설기계류 중 항타기, 진동항타기, 브레이커, 착암기, 크롤러드릴, 천공기 등의 소음을 소음의 지속시간이 짧고 레벨이 큰 소음인 충격성 소음으로 분류하였다. 이들 기계류는 거리가 7.5 m에서 15 m로 두 배가 될 때 거리감쇠는 4.5~6.2 dB 정도이고 평균 거리감쇠는 5.7 dB로 점음원의 거리감쇠양상을 나타내고 있다. 전체적으로 대상 건설기계류 소음의 거리감쇠 경향은 4.3~5.8 dB로 일정하게 나타나는 것은 아니지만 정상소음 및 소음 발생 범위가 비교적 작은 충격소음의 건설기계류는 점음원의 거리감쇠와 유사한 경향을 보인다. 그러나 항타기의 경우 소음 발생범위는 작지만 발생위치가 높아 점음원의 거리감쇠 경향과는 다르게 나타난다. 또한 거리감쇠 경향이 기계별로 일정하지 않은 이유는 측정환경이 다르고 기계의 크기나 소음발생 범위가 다양하기 때문인 것으로 추정된다.

3.2 외국의 건설기계류에 대한 소음 기준과 비교^(3,4)

외국의 건설기계에 대한 소음 기준 중 EU⁽³⁾ 및 일본의 음향파워레벨기준⁽⁴⁾과 실제 현장에서 측정된 음압도로부터 환산된 음향파워레벨과 비교해 보기로 한다. 여기서 환산된 음향파워레벨은 대상기계를 점

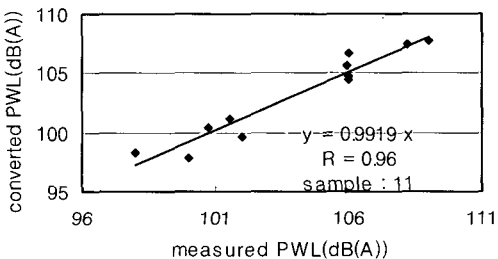


Fig. 2 Correlation between converted and measured PWL of excavator

음원으로 가정하고 반자유음장이라는 조건으로 계산한 것이다. 먼저 국내의 신규 제작 건설기계류를 대상으로 조사된 음향파워레벨^(3, 4, 6)과 측정된 음압도를 환산한 음향파워레벨의 상관관계를 Fig. 2에 나타내고 있다.

Fig. 2에서 음압도를 환산한 PWL과 EU 측정방법에 의한 PWL의 상관관계 R은 0.96을 보이고 있다.

작업현장에서 굴착기 및 불도저를 앞의 방법으로 외국의 기준과 비교하여 Fig. 3, 4에 나타내고 있다. Fig. 3에서 국내 신규 제작 건설기계의 경우 20대의 음향파워레벨 조사 결과 모두 EU의 1단계 기준을 충족시키는 수준임을 알 수 있다.⁽³⁾ 작업현장에서 굴착기가 부하상태일 때의 소음은 41%가 EU의 2단계 기준을 초과하고 있다. Fig. 4에서 불도저가 무부하일 때 소음은 EU의 2단계 기준까지 대부분 충족시키는 수준이며, 작업소음은 53%가 EU의 2단계 기준을 초과하고 있다.

건설현장에서 측정된 건설기계류의 음압도($L_{eq,30s}$)를 음향파워레벨로 환산한 것은 ISO 6395 및 EU Directive(2000/12/EC)에 의해 측정된 PWL과 정확

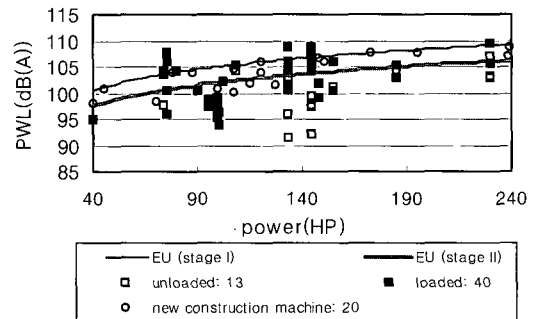


Fig. 3 Comparison between standard and measured PWL of excavator

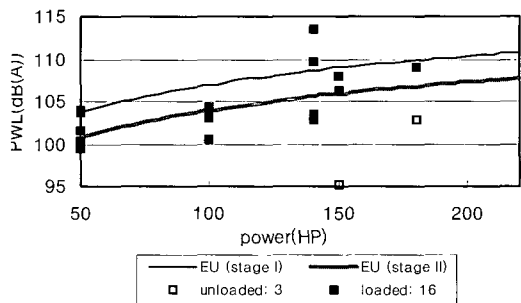


Fig. 4 Comparison between standard and measured PWL of bulldozer

히 일치하지 않을 수도 있지만 대략적으로 비교해 보았다.

3.3 저소음저진동 공법 및 건설기계 소음 저감대책^(7,8)

(1) 흙막이 공법

Sheet pile이나 H빔을 진동해머로 향타하는 일반적인 공법과 이를 대체할 수 있는 저소음·진동공법으로 water jet, 유압식 공법, S.C.W.(soil cement wall)첨단공법이 있다. 각 공법별 소음도 및 진동레벨을 조사하여 Fig.5에 비교 분석하여 나타내고 있다.

Fig.5에서 고압살수 공법을 사용하면 일반 향타기

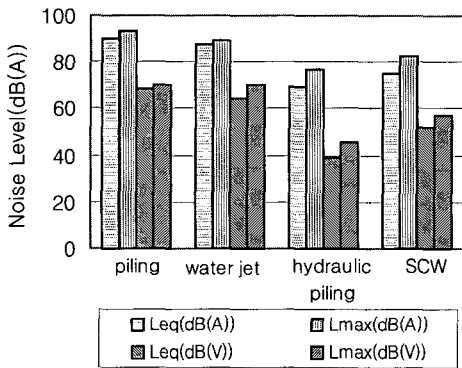


Fig. 5 Comparison of noise and vibration for construction methods when making soil wall work

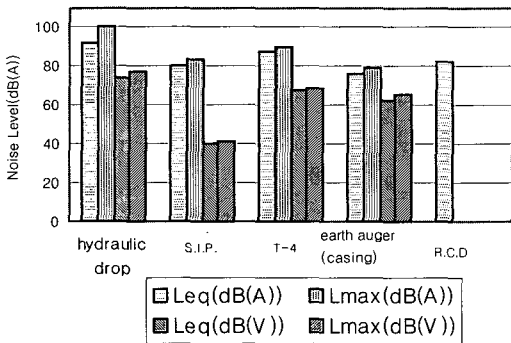


Fig. 6 Comparison of noise and vibration for pile driving methods when making foundation work

Table 3 Comparison between noise level of crusher and breaker Unit : dB(A)

Power(HP)	Crusher	Breaker	Noise reduction
54	68	85~90	20
134	72	90~96	20

를 사용할 경우와 비교해 소음도는 3 dB, 진동레벨은 4.4 dB 감소되는 것을 알 수 있다. 유압식 공법을 사용하는 경우 일반 향타에 비해 소음도는 20.7 dB, 진동레벨은 29.7 dB 감소된다. 또한 S.C.W. 공법을 사용할 경우 일반 향타공법에 비해 소음도 15.1 dB, 진동레벨 16.6 dB 감소되는 것을 알 수 있다.

(2) 기초공사시 말뚝공법

기초공사시 말뚝공법 중 유압적타공법을 대체할 수 있는 방법으로는 S.I.P.(soil-cement injected precast pile method), T-4(drill master), 분리형 오거(케이싱), R.C.D. 공법 등이 있으며 각 공법별 소음도 및 진동레벨을 조사하여 Fig. 6에 나타내고 있다.

Fig. 6에서 SIP 공법을 사용하면 일반 유압적타공법을 사용할 때와 비교해 소음도는 10.9 dB, 진동레벨은 34.2 dB 감소되는 것을 알 수 있다. drill master(T-4)를 사용하는 경우 일반 유압적타공법에 비해 소음도는 4.2 dB, 진동레벨은 6.3 dB 감소된다. 또한 분리형 오거를 사용한 경우 일반 유압적타공법에 비해 소음도는 15.7 dB, 진동레벨 11.5 dB 감소되는 것을 알 수 있다. 마지막으로 RCD 공법은 유압적타 공법에 비해 소음도가 8.6 dB 감소하는 것을 알 수 있다.

(3) 도로포장보수 등 해체파괴공사

도로포장 해체파괴공사 등에 사용되는 건설기계 중 브레이커와 압쇄기의 소음도를 비교분석하여 Table 3에 나타내고 있다.

4. 결론

건설현장에서 사용되는 건설기계 34종, 302대를 대상으로 하여 소음도 및 진동레벨을 조사하여 분석한 결론은 다음과 같다.

(1) 대상 건설기계류의 평균 소음도는 기계로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 66.1~95.7 dB(A), 15 m 떨어진 거리에서 62.5~89.2 dB(A)이고, 평균 진동레벨은 7.5 m 거리에서 26.3~73.9 dB(V), 15 m 거리에서 21.3~70.5 dB(V)이며, 기계 종류, 작동원리, 동력규모, 가동조건 등에 따라 차이가 난다.

(2) 건설기계로부터 7.5 m 떨어진 거리에서 90 dB(A) 이상의 고소음을 발생하는 기계는 향타기(93.1 dB(A)), 착암기(95.9 dB(A)), 브레이커(95.7 dB(A))이고, 70 dB(V) 이상의 진동을 유발시키는 기계는

항타기(73.9 dB(V)), 진동로올러(73.8 dB(V))이다.

(3) 대상 기계로부터의 거리가 7.5 m에서 15 m로 두 배가 될 때 소음의 거리감쇠 경향은 굴삭기 5.1 dB, 항타기 4.5 dB를 비롯하여 콘크리트 피니셔, 아스팔트 피니셔 등의 정상소음을 발생하는 건설기계류는 5.8 dB, 어스 오거, 바이브레이터 등의 변동소음을 발생하는 건설기계류는 4.3 dB, 진동항타기, 브레이커 등 충격성소음을 발생하는 건설기계류는 5.7 dB를 보이고 있다.

(4) 작업 현장에서 측정된 건설기계류 소음을 외국의 건설기계에 대한 기준과 비교하면 EU 1단계 및 일본 기준을 대체로 충족시키나, EU 2 단계의 기준을 3~5 dB 초과하는 수준이다.

(5) 저소음저진동 공법의 일환으로 흙막이 공법시 일반 항타와 비교해 유압식 공법을 사용하면 소음 20.7 dB, 진동 29.7 dB 감소하고, 기초공사시 말뚝을 박을 때 유압직타 공법과 비교해 분리형 어스 오거를 사용하면 소음 15.7 dB, 진동 11.5 dB 감소하고, 해체 파괴 공사시 브레이커 대신 압쇄기를 사용하면 20 dB 정도 소음 감소 효과를 볼 수 있다.

참 고 문 헌

(1) 환경부, 2001, 고소음기계중 저소음제품에 대

한 소음표시권고에 관한 규정.

(2) 강대준 외 6인, 1992, 공사장 소음의 방지대책에 관한 연구(1)-건설공사용 장비의 소음대책에 관하여, 국립환경연구원.

(3) 2000/14/EC, 2000, Directive of the European Parliament and the Council on the Approximation of the Laws of the Member States Relating to the Noise Emission in the Environment by Equipment for Use Outdoors.

(4) 建設工事に伴う 騒音振動対策ハンドブック(handbook), 第3版, 2001, 社團法人 日本建設機械化協會.

(5) ISO 4872, 1978, Acoustics - Measurement of Airborne Noise Emitted by Construction Equipment Intended for Outdoor Use - Method for Determining Compliance with Noise Limits.

(6) ISO 6395, 1988, Acoustics - Measurement of Exterior Noise Emitted by Earth-moving Machinery -Dynamic Test Condition.

(7) 대한주택공사, 1996, 말뚝의 저소음저진동 시공법에 관한 연구.

(8) 서울특별시 건설 안전 관리본부, 1995, J.V. 공법에 의한 교량 기초의 보강 및 세굴 방지용 Sheet Pile의 연암층 근입을 위한 시항타.