

건설기계 저소음표시제도 도입에 관한 연구

Study on a Applicability of the Low Noise Labeling System for a Construction Machinery

구 진 회* · 이 우 석* · 서 충 열* · 이 재 원†
Jinhoi Gu, Wooseok Lee, Chungyoul Seo and Jaewon Lee

(Received September 23, 2013 ; Revised November 7, 2013 ; Accepted November 7, 2013)

Key Words : Construction Machinery(건설기계류), Roller(롤러), Noise Labeling System(소음표시제), Low Noise Labeling System(저소음표시제), Regression Analysis(회귀분석), Sound Power Level(음향과워레벨)

ABSTRACT

The noise emitted from construction machinery has long been a cause of environmental disputes, especially to the nearby residents. In 2008, the Ministry of Environment adopted the construction machinery noise labeling system to encourage the development of the low noise construction machinery. After the implementation of the noise labeling system of the construction machinery, the noise emitted from the construction machinery has been decreased over the six years. But, as the quality of life improves, a growing number of people desire more comfortable and quite living environment. Under the situation, new systems like the low noise labeling system are considered to encourage the development of the low noise construction machinery. In accordance with the low noise labeling system, the construction machinery satisfying the standard of low noise are qualified to attach the low noise label in front of the products. Thus, the product qualified the low noise certification will be incentivized by the choice of the consumer. In this paper, we have studied the necessity of the low noise labeling system for the construction machinery and the considerations to adopt the low noise labeling system of construction machinery. And we have studied appropriate criterion to judge the low noise construction machinery. The considerations studied in this paper will be helpful to adopt the low noise labeling system of construction machinery in the future.

1. 서 론

공사장에서 사용되는 건설기계 소음은 인근 지역 주민들에게 소음피해를 발생시키는 등 오랫동안 환경분쟁의 원인이었다⁽¹⁾. 이에 따라 환경부에서는

2008년부터 롤러 등 고소음 건설기계 9종⁽²⁾에 대해 소음발생량(음향과워레벨)을 제품 겉면에 표시하도록 하는 소음표시제도를 도입하여 기업체의 자발적인 저소음 건설기계 개발을 유도하고 있다⁽³⁾. 건설기계 소음표시제 도입 후 지난 6년간 건설기계로부터 발생하는 소음은 일부 감소했지만, 쾌적하고 정

† Corresponding Author ; Member, Indoor Environment & Noise Research Division, National Institute of Environmental Research
E-mail : jlee933@korea.kr
Tel : +82-32-560-8308, Fax : +82-32-567-7097

* Indoor Environment & Noise Research Division, National Institute of Environmental Research

A part of this paper was presented and selected as one of best papers at the KSNVE 2013 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Myung Jun Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

온한 삶의 질을 추구하는 현대인들에게 건설기계 소음은 여전히 소음 스트레스의 주요인으로 작용하고 있다. 왜냐하면 현재 소음진동관리법에서 운영되고 있는 소음표시제는 단순히 소음 발생량(음향파워레벨)만을 제품 겉면에 표기하도록 하고 있어 소비자가 저소음 제품 여부에 대한 판단에 한계가 있기 때문이다. 이에 반해 저소음표시제도는 저소음 인증마크 부착 여부가 저소음제품 판단 기준으로 활용되기 때문에 소비자로부터 하여금 보다 적극적인 저소음 제품 소비를 유도하는 효과가 있다⁽⁴⁾.

저소음표시제도를 도입하기 위해서는 기존에 환경마크제도와 중복성, 현재 국내 중장비 소음 및 저감기술 현황, 저소음 기준의 적정 수준(엔진출력 등에 따른 기준 차등 적용), 국제 규격 및 제도와의 형평성 등 다양한 요소를 검토해야 한다. 또한, 국내 건설기계 소음표시제가 도입된 지 7년 정도의 짧은 기간으로 건설기계 소음표시제도에 대한 소음저감 유도 효과를 평가하기에는 시기적으로 이른면이 있다. 이에 따라 이 연구에서는 선행 연구 관점에서 소음발생 건설기계 중 롤러에 대한 저소음표시제 도입 시 고려사항에 대해 검토하고 적절한 저소음 기준(엔진출력 등에 따른 차등 적용)을 제시하여 향후 관련 정책 마련 시 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 롤러 음향파워레벨 현황

2.1 음향파워레벨 측정 방법

소음발생 건설기계(롤러) 음향파워레벨 측정은 ‘소음 발생 건설기계 소음도 검사 방법(환경부고시 제2009-222호)’⁽⁵⁾ 및 ‘음향-음압법에 의한 소음원의 음향파워레벨 측정방법-반사면상 준자유 음장에서의 실용측정방법(KS I ISO 3744:2002)’⁽⁶⁾에 따라 총 6지점의 음압레벨을 측정하였다. 측정된 음압레벨을 이용하여 식 (1)과 같이 평균 음압레벨을 산정하였으며, 배경소음 보정값과 환경 보정값을 보정하여 식 (2)와 같이 대상 건설기계(롤러)의 음향파워레벨을 산정하였다. 여기서 측정면의 반경 r 은 KS I ISO 3744의 규격에 따라 음원(롤러) 치수의 2배 이상으로 했으며, 세부 측정 반경 r 은 소음발생 건설기계 소음도 검사방법에 따라 선정했다.

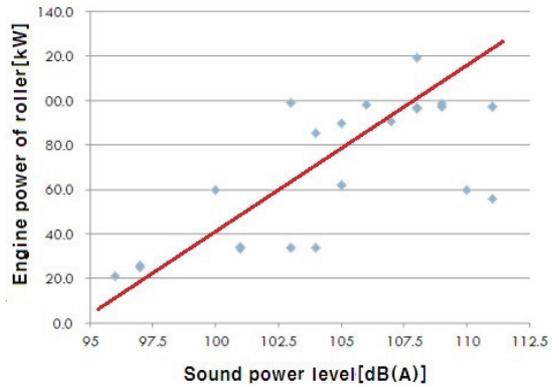


Fig. 1 Sound power level(dB(A)) and the engine power(kW) of the roller

$$L_{eq} = 10 \log\left(\frac{1}{6} (10^{(0.1 \times L_{eq,1})} + \dots + 10^{(0.1 \times L_{eq,6})})\right) \tag{1}$$

$$L_W = L_{eq} - K_1 - K_2 + 10 \log(S/S_0) \tag{2}$$

여기서, $L_{eq,n}$: n 지점의 시간 평균 음압레벨

L_{eq} : 평균 음압레벨

L_W : 음향파워레벨

K_1 : 배경소음 보정값

K_2 : 환경 보정값

S : 측정면의 면적(m^2), $2\pi r^2$

S_0 : 기준면적($1 m^2$)

2.2 롤러 음향파워레벨 현황

Fig. 1은 엔진출력(kW)에 따른 롤러 27대의 음향파워레벨 분포를 나타낸다. 횡축은 음향파워레벨을 나타내고 종축은 롤러의 엔진출력을 나타낸다. 조사 대상 롤러는 2008년 이후로 8개 기업체에서 생산된 새 제품(사용시간 8시간 이내)으로 엔진출력과 음향파워레벨은 약 74%의 상관성을 보였다.

3. 저소음표시 방법

3.1 저소음 등급

건설기계 저소음표시 방법으로는 소음 발생량이 특정 기준 이하일 때 저소음 표시를 하는 방법과 등급을 나누어 A, AA, AAA 등의 등급별로 저소음 등급을 표시하는 방법이 있다. 첫 번째 방법은 현재

Table 1 The low noise standard in eco labeling

| Content | Engine power (kW) | Sound power level (dB(A)) |
|------------------|-------------------|---------------------------|
| Vibrating roller | P : Under 8 | 105 |
| | P : 8~70 | 106 |
| | P : Over 70 | $86 + 11 \log(P)$ |

환경산업기술원에서 저소음 기준을 만족하는 건설 기계에 대해 환경마크를 인증하는 환경표지제도와의 유사하다. 하지만 저소음 표시만으로는 다양한 저소음 제품을 표시하는데 변별력 관점에서 한계가 있어 보다 적극적인 저소음인증제도 도입을 위한 표시 방법의 검토가 필요하다. 그러한 관점에서 저소음등급표시제는 저소음 제품에 대해 등급을 구분하여 더 좋은 제품에 대해 좋은 등급을 부여하여 표시함으로써 보다 활발한 제도 활성화가 기대된다. 저소음등급표시제도의 도입을 위해서는 첫 번째 저소음 제품에 대한 변별력을 고려하여 저소음 등급 개수를 결정해야 하며, 두 번째 저소음등급표시가 저소음제품에 대해 긍정적으로 인식될 수 있는 표시 방법이 선택되어야 한다. 마지막으로 저소음 기준은 제품의 규모(엔진출력) 등에 따라 차등을 두어 적용해야 한다.

4. 저소음 인증 기준

4.1 환경표지제도의 롤러 저소음 기준

한국환경산업기술원의 환경표지제도에서는 건설 기계에 대해 음향파워레벨 발생량이 저소음 기준 이내인 경우 친환경마크 인증을 하고 있다. 저소음 기준은 엔진출력에 따라 차등을 두어 적용하고 있으며 롤러(진동형)의 경우 엔진출력에 따라 식 (3)과 같이 저소음 기준을 적용하고 있다⁽⁷⁾.

$$86 + 11 \log(P) \tag{3}$$

여기서, P: 롤러(진동형)의 엔진출력(kW)

식 (3)에서 저소음 기준은 롤러 엔진출력이 증가할수록 로그스케일로 증가하여 적용되며 8 kW이하 및 8~70 kW에서는 각각 105 dB(A) 및 106 dB(A) 기준을 적용한다. 롤러(진동형)의 세부 저소음 기준은 Table 1과 같다.

Table 2 The comparison of the R² value between the linear model and the nonlinear model

| Coefficient of determinant | Linear model | Nonlinear model |
|----------------------------|--------------|-----------------|
| R ² | 0.7060 | 0.7356 |

5. 회귀분석을 통한 저소음 기준 도출

5.1 회귀모델의 선정

롤러 음향파워레벨 회귀모델은 총 27대의 롤러 음향파워레벨 정보를 기반으로 하여 총 2개의 회귀 변수(엔진출력, 지표면종류)를 검토했으며, 통계분석은 매트랩(signal processing toolbox)을 이용하였다. 먼저 회귀모델은 식 (3), (4)와 같이 선형 모델(linear model)과 비선형 모델(nonlinear model)로 설계하였으며, 회귀모델의 적절성에 대한 평가 지표로 사용되는 R²(결정계수, coefficient of determination)값을 각 모델별로 산정하여 R²값이 큰 모델을 우수한 회귀모델로 선정했다⁽⁸⁾.

선형 모델:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \tag{3}$$

비선형 모델:

$$y = b_0 + b_1\log(x_1) + b_2x_2 \tag{4}$$

여기서, y: 음향파워레벨

b₀, b₁, b₂: 각각 회귀상수, 엔진출력, 지표면 종류(아스팔트, 콘크리트 등)

x₁, x₂: 각각 엔진출력, 지표면 종류에 대한 관측값(x₂는 아스팔트는 '0', 콘크리트는 '1' 적용)

Table 2는 롤러 음향파워레벨의 선형 회귀모델과 비선형 회귀모델에 대한 결정계수(R²)를 나타낸다. 선형 모델과 비선형 모델의 R²값을 비교한 결과 Table 2와 같이 비선형 모델의 R²값이 0.7358로 선형 모델의 R²값 0.7060보다 크게 나타나 이 연구에서는 식 (4)와 같은 비선형 회귀모델을 롤러의 음향파워레벨 회귀모델로 선택하였다. 이는 롤러의 음향파워레벨이 엔진출력에 대해 비선형적으로 증가하는 경향과도 일치한다.

Table 3 The parameter of the roller regression model

| b_0 | b_1 | b_2 |
|-------|-------|-------|
| 77.6 | 15.0 | 0.5 |

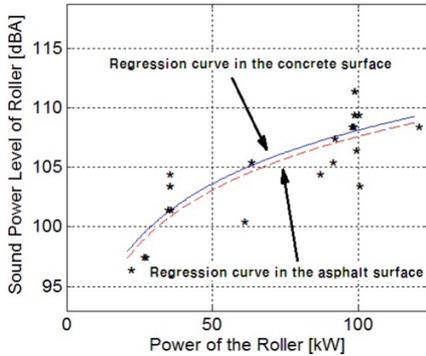


Fig. 2 Sound power level regression curve of the roller in the concrete and the asphalt surface

5.2 회귀변수의 선정

이 연구에서 설계한 롤러 비선형 회귀모델 식 (4) 는 롤러 엔진출력 및 지표면 정보를 회귀모델의 입력값으로 하여 최소자승법(least mean square method)으로 계수 b_0 , b_1 , b_2 를 도출하였다. 이렇게 도출된 롤러의 음향파위레벨 회귀모델의 회귀변수는 Table 3과 같으며 회귀식은 식 (5)와 같다.

$$y = 77.6 + 15.0 \log x_1 + 0.5 x_2 \tag{5}$$

여기서, x_1 : 롤러 엔진출력(kW)

x_2 : 바닥면 종류

(아스팔트는 ‘0’, 콘크리트는 ‘1’)

Fig. 2는 이 연구에서 도출된 롤러 음향파위레벨 회귀모델(식 (5))을 이용하여 실측값(점)과 예측값(곡선)을 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 2에서 위쪽의 실선은 콘크리트 바닥면에서의 롤러 음향파위레벨 회귀곡선을 나타내고 아래의 점선은 아스팔트 바닥면에서의 회귀곡선을 나타내는데 콘크리트 바닥면에서의 롤러 음향파위레벨이 아스팔트 바닥면에서의 음향파위레벨보다 0.5 dB 가량 큰 것으로 나타내고 있다. 이는 아스팔트 바닥면의 다공질 비율이 콘크리트 바닥면보다 커서 흡음효과가 더욱 크기 때문으로 판단된다. 이 연구에서 도출된 롤러 음향파위레벨 회귀모델의 결정계수(R^2)는 0.7356으로 나타났다.

Table 4 The low noise standard for the roller

| Grade of low noise | Low noise standard |
|--------------------|------------------------------------|
| AAA | $y = 71.6 + 15 \log x_1 + 0.5 x_2$ |
| AA | $y = 74.6 + 15 \log x_1 + 0.5 x_2$ |
| A | $y = 77.6 + 15 \log x_1 + 0.5 x_2$ |

5.3 저소음 기준에 대한 고찰

이 연구에서 도출한 롤러 음향파위레벨 회귀식(식 (5))을 이용하여 롤러 저소음 기준을 Table 4와 같이 제시하고자 한다. 각 등급은 저소음 제품에 대한 변별력을 고려하여 3단계 등급으로 구분하였고, 각 등급 간 차이는 일반적인 소음저감 목표로 사용되는 3 dB(A)를 적용하였다. 또한, 소비자로 하여금 저소음 제품에 대한 긍정적인 이미지를 인식토록 하기위해 AAA, AA, A등급 표기방법을 적용하였다. 이 연구에서 도출된 저소음등급기준은 한정된 롤러 음향파위레벨 정보(27개)를 사용하여 향후 지속적인 데이터 구축을 통해 보완될 필요가 있다. 하지만 건설기계 저소음표시제도에 대한 기준 적용 방향을 제시하였고 저소음 제품의 엔진출력(식 (5)의 x_1 항)과 측정 환경(콘크리트 및 아스팔트)에 의한 편차(식 (5)의 x_2 항)를 고려한 합리적인 기준으로써 의미를 갖는다.

6. 결 론

기존 소음진동관리법상의 소음표시제는 단순히 소음 발생량(음향파위레벨)만을 제품 겉면에 표기하도록 하고 있어 소비자가 저소음 제품 여부에 대한 판단에 한계가 있어 향후 저소음표시제 도입에 대한 검토가 요구되고 있다. 이에 따라 이 연구에서는 적극적인 건설기계 소음 관리를 위한 저소음표시제도 도입 시 고려사항에 대해 롤러를 대상으로 검토하였다.

이 연구에서는 저소음표시 방법으로 저소음등급 표시제를 제시하였고 저소음등급 표시가 저소음 성능에 대한 판단 기준으로 활용되기 때문에 소비자로 하여금 보다 적극적인 저소음제품 구매를 유도하는 효과가 있을 것으로 판단하였다. 저소음표시 방법으로는 소음 발생량이 특정 기준 이하일 때 저소음 표시를 하는 방법과 등급을 나누어 A, AA, AAA 등

의 등급별로 저소음 등급을 표시하는 방법을 검토하였다. 저소음표시제도 활성화를 위한 표시 방법으로는 저소음(등급)표시제도를 제시하였다.

이 연구는 저소음등급 도출을 위해 다중회귀분석(multi regression analysis)을 이용하였으며 도출된 회귀식은 식(5)와 같다. 이 연구에서 도출된 롤러 음향파위레벨 회귀식으로부터 롤러 저소음등급기준을 Table 4와 같이 제시하였다. 롤러 저소음등급 기준은 한정된 롤러 음향파위레벨 정보(27개)를 사용하여 향후 지속적인 데이터 구축을 통해 보완될 필요가 있다. 하지만 건설기계 저소음표시제도에 대한 기준 적용 방향을 제시하였고 제품의 동력규모(엔진 출력)와 측정 환경(콘크리트 및 아스팔트)을 고려한 합리적인 기준으로써 의미를 갖는다.

이 연구에서 검토된 저소음표시제 도입 시 고려 사항과 세부 저소음등급기준(안)은 향후 관련 정책 마련을 위한 기초자료로 활용이 기대된다.

References

(1) Sun, H. S., 2009, Study on Effective Noise Management Plan of Construction Site, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 2, pp. 176~183.
 (2) Gu, J. H., 2012, Regression Analysis of an Excavator Sound Power Level, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 3, pp. 203~207.
 (3) Noise and Vibration Management Act, 2013, The Ministry of Environment, p. 128.
 (4) Theil, H., 1961, Economic Forecasts and Policy,

Holland, Amsterdam: North.

(5) Ministry of Environment, 2009, Measurement Method of the Sound Power Level for Construction Machinery(Notification No 2009-222), Ministry of Environment.
 (6) KS I ISO 3744:2002 Acoustics-Determination of Sound Power Levels of Noise Sources Using Sound Pressure-Engineering Method in an Essentially Free Field Over a Reflecting Plane.
 (7) 2002, Criteria of Low Noise Construction Machinery, Korea Environmental Industry & Technology Institute, EL653, p. 1.
 (8) Raymond, H. M., 2000, Classical and Modern Regression with Applications, Duxbury Press, Second Edition.



Jaewon Lee received a master's degree in environmental engineering at University of Seoul in 2002. He is a senior researcher in National Institute of Environment Research.



Jinhoi Gu received a master's degree in mechanical engineering at University of Inha in 2005. He is a senior researcher in National Institute of Environment Research.