

# 건설기계의 소음저감기술

## Noise Fighting in Construction Equipments

이동욱\*

Lee, Dong-Wook

**Key Words :** Noise(소음), Construction Equipment(건설기계), Directive 2000/14/EU (지령 2000/14/EU)

### ABSTRACT

Since 1989, when the first European noise regulation against construction equipments came into force, much investigation had been devoted to reduce the noise and had produced the remarkable improvement in noise reduction technology. EU Directive 2000/14/EC Stage 2, more stringent noise regulation, is going to be implemented from Jan. 2006. The technology trends and examples for noise reduction in typical construction equipment R&D is described briefly.

### 1. 서론

굴삭기로 대표되는 한국 건설기계산업은 70 년대에 태동되어, 현재 굴삭기분야에 있어서 세계 4~5 위권의 위치에 이르는 등 중요산업의 하나로 자리잡고 있는데, 초기에는 외국업체와의 라이선스 계약에 의한 생산이 주로 이루어진 이유로 편의성이나 소음/진동과 같은 환경친화적 기능보다는 성능 위주의 개발이 주 흐름이었다.

건설기계의 소음에 대한 인식은 89 년 유럽에서 처음 발표된 건설기계 소음규제법 Directive 86/662/EC 로부터 시작된다. 80 년대 초반부터 시작된 한국건설기계의 해외수출은 유럽의 소음규제법이 발효되면서부터 난관에 부딪치게 되고, 이를 극복하는 과정에서 건설기계 소음분야 기술의 획기적 전기가 마련되었다.

본 논문에서는 이 같은 한국건설기계산업에서의 소음기술의 변천과 동향에 대하여, 굴삭기의 외부소음저감기술을 중심으로 사례 위주로 기술하고자 한다.

### 2. 세계 주요 건설기계소음규제

유럽(EU)의 건설기계 소음규제는 89 년부터 발표된 Directive 86/662/EC 로부터 시작되는데, 규정된 소음한계치를 만족치 못하는 경우, EU 내의 판매가 금지되는 강한 규정을 골자로 한다. 유럽의 소음규제는 89 년 최초 발표 이후, 단계별로 강화되어, 97 년 95/27/EC, 02 년에는 2000/14/EC 의 Stage 1 이 발효되었는데, 06 년

에는 Stage 2 가 발효되어 기존보다 3dB(A) 강화된 법이 시행될 예정이다. 그림 1 은 유럽과 미국의 건설기계 관련된 주요 환경규제인 배기가스 규제와 소음규제의 일정표를 보여준다.

일본은 89 년부터 저소음형/저진동형 건설기계 지정요령을 시행하고 있는데, 기준을 만족 시 장비에 저/초저소음 인증마크를 부착하게 함으로써, 시장 원리에 의해 자율적으로 저소음형 건설기계의 도입을 유도하는 방식을 채택하고 있다.

한국은 저소음기계 개발 촉진을 취지로, 96 년부터 소음표시권고제를 시행하고 있는데, 보다 적극적인 소음개선을 유도하기 위해 04 년 12 월 국회를 통과한 개정안에서는 소음표시의무제를 규정하고 있고, 이 개정안은 08 년 시행을 앞두고 현재 세부사항을 준비 중이다.

### 3. 단계별 유럽소음규제에 따른 소음수준 및 대기기술의 변화

유럽소음규제가 단계적으로 강화됨에 따라, 이

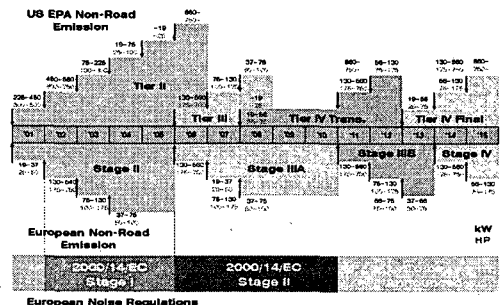


그림 1. 구미의 Off-Road 디젤엔진 배기가스 규제와 소음규제 일정표

\* 대우중합기계(주) 건설기계사업본부  
E-mail : dwlee@dhilltd.co.kr  
Tel : (032) 760-6398, Fax : (032) 760-6157

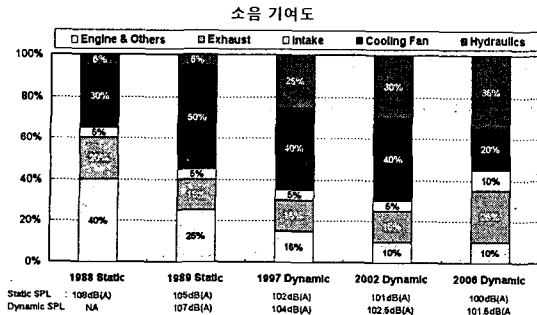


그림 2. 유럽소음규제 단계별 특정 굴삭기의 소음수준 및 부품 소음기여도 변화

에 대응한 소음저감기술이 상황에 따라 다르게 전개되어 왔으며, 소음수준 역시 규제를 만족하기 위해 감소되어 왔다. 그림 2는 최초 유럽의 소음 규제가 발효된 89년 이전부터 현재까지, 특정 굴삭기 모델의 소음수준과 각 주요부품의 소음기여도 변화를 표현한 것이다.

### 3.1 1 단계 - 86/662/EC 대응 (1989)

그림 2에서와 같이, 1989년 이전의 장비에 대한 소음기여도는 엔진자체의 소음과 냉각 Fan의 소음, 그리고 배기소음의 영향이 지배적으로 기여한다. 따라서 당시의 저소음화 기술은 가장 초보적인 흡차음기술로 대변되며, Sound Intensity 측정용 통한 흡차음 위치 선정 및 흡음재의 두께 선정이 주된 소음저감 기술이었다. 아울러 흡차음을 통한 소음저감과 동시에 열평형 변수간의 Trade-off가 주된 테마였다. 그림 3은 굴삭기 Sound Intensity 측정 결과의 한 예이다.

### 3.2 2 단계 - Directive 95/27/EC 대응 (1997)

97년부터 발효된 EU Directive 95/27/EC의 주된 내용은 소음측정시의 장비가동상태가 기존 Static 상태에서, 정해진 모드로 작동하며 측정하는 Dynamic 모드로 변경되었다는 것인데, 이로 인하여 유압소음의 기여도가 두드러지게 증가하게 된다. 아울러 냉각 Fan과 엔진폭발주기에 해당하는 배기소음 역시 중요한 주 소음원이었다.

기여도가 가장 큰 냉각 Fan에 의한 소음저감을 위하여, 이 시기에는 부동피치 Fan, Big Fan 등의 시도가 있었으나, 산포의 문제와 다른 소음원에 가려 팔목할만한 성과를 거두지는 못했다. 다만, Big Fan의 경우는 그 가능성을 인정받을 수 있었고, 차후 중요한 소음저감방법으로 이용되게 된다.

굴삭기의 유압 동력원은 피스톤펌프타입으로 회전수 x 피스톤수의 주파수에서 발생하는 유압맥

동은 피할 수 없는 요인이며, 이 유압맥동으로 인한 소음의 저감이 주요목표가 되었다. 당시 유압 맥동을 줄이기 위한 기술로는 관의 공명을 이용한 더미호스 방식과 유체의 팽창 압축을 이용한 일종의 유압 머플러를 사용하는 것이었다. (그림 4)

더미호스의 경우는 비교적 큰 맥동감쇄효과를 얻을 수 있으나 협대역의 주파수영역에서만 효과를 볼 수 있다는 단점이 있는 반면, 유압머플러의 경우는 비록 감쇄효과는 상대적으로 작으나, 비교적 광대역의 주파수 영역에서 효과를 볼 수 있다.

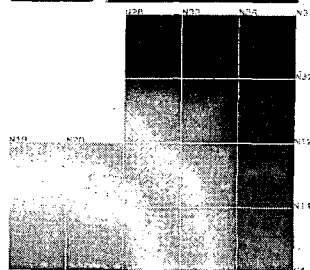
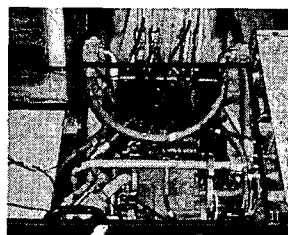


그림 3. Sound Intensity 측정 결과

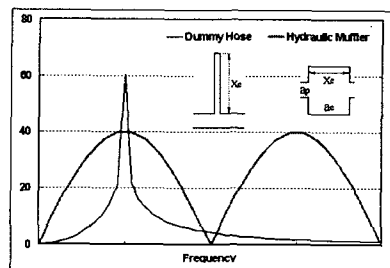


그림 4. 더미호스와 유압머플러 비교

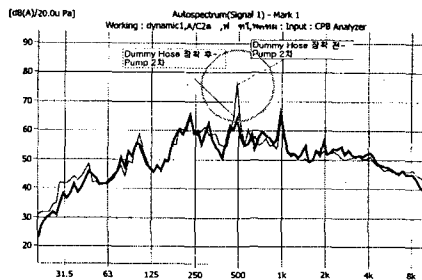


그림 5. 더미호스의 소음저감 효과

그림 5는 더미호스를 통한 소음저감의 실례이다. 배기소음 저감을 위하여, 머플러 내부에 Helmholtz Resonator 를 설치, 엔진 폭발주파수에 맞추는 방식이 시도되었는데, (그림 6) 건설기계의 배기구조는 자동차와 달리 배기관이 길이가 짧아, 저주파성분의 저감에 난점이 있는데, 이러한 Resonator 의 삽입은 저주파 배기소음 저감에 효과적인 방법을 제시할 수 있었다.

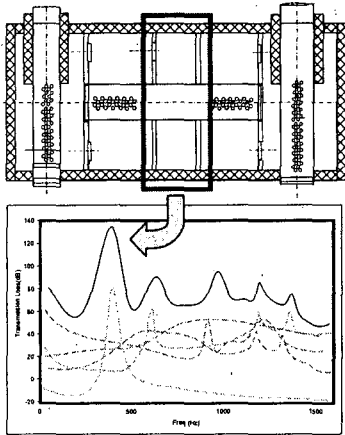


그림 6. Resonator 내장 Muffler 및 감쇄특성의 예

### 3.3 3 단계 - Directive 2000/14/EU 대응 (2002)

02년 발효된 Directive 2000/14/EU 의 가장 큰 특징은 불확도(Uncertainty) 개념의 도입이다. 측정편차 개념인 Measurement Uncertainty 와 품질편차 개념인 Production Uncertainty 를 합쳐, 불확도를 정의하고, 이를 측정음향파위에 더한 값을 보증음향파위라 하여, 이 값으로 한계치를 정의한 독특한 방식을 취하고 있다. 이는 기존의 표본측정의 개념에서 소음품질관리의 개념이 추가된 진보된 형태의 소음규제이다. 따라서 이 불확도를 줄이는 것이 소음저감만큼이나 중요한 인자가 된다. 이 불확도는 제조사와 모델에 따라 서로 다른 값을 갖을 수 있는데, 일반적으로 1~3dB(A) 수준인 것으로 알려져 있다. 그림 7은 특정 굴삭기의 소음 관리도 상에서 불확도와 함께 보증음향파위의 개념을 보여 준다.

불확도를 줄이기 위한 방법으로는 기존의 수동적인 접근보다는 근본적인 소음원을 찾아 그 원인을 제거하는 적극적 접근방식이 더 효과적인데, CFD 를 이용한 엔진룸내 냉각공기 유동해석을 통한 냉각성능 최적화 및 외류방지, 머플러 내부 유동 및 진동 개선, 선회시 기어소음 및 유압소음의 개선, 유압 Valve 내 유동개선 등이 이러한 소음 개선 노력의 일환으로 진행되는 사례이다. 그림

8~11 은 소음개선활동의 사례이다. 아울러 Fan 소음의 저감을 위하여, Fan 구동방식을 기존의 엔진 직동식에서 유압모터를 이용한 별치식 및 온도감응식 구동방식을 택함으로써, 최근에는 Fan 소음의 기여도를 20% 수준까지 낮추는 획기적인 방식 등이 도입되고 있다. 그림 12는 현재의 굴삭기 소음수준을 규제치와 함께 보여주고 있다.

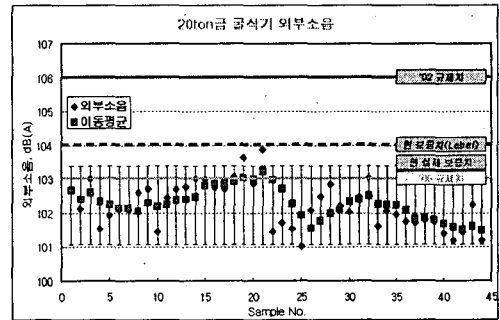


그림 7. 소음측정치와 보증소음치 및 불확도

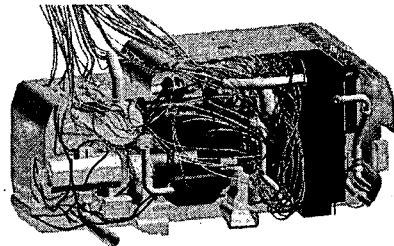


그림 8. CFD 를 통한 엔진룸 유동해석

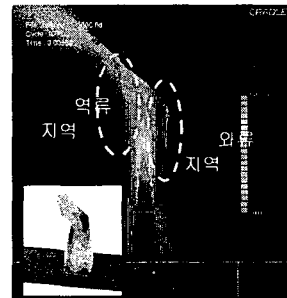


그림 9. 머플러 유동 및 진동 해석

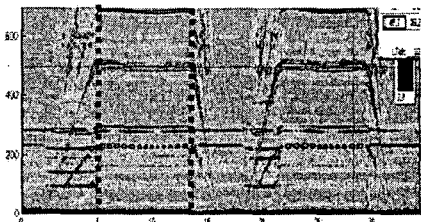


그림 10. 선회소음 맵

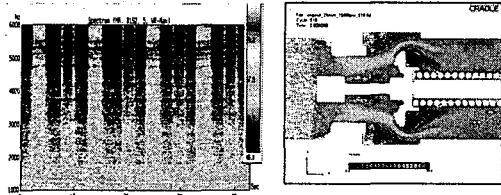


그림 11. 유압 Valve 소음 맵 및 유동속도 해석

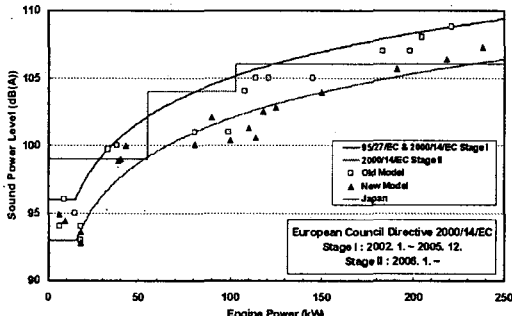


그림 12. 굴삭기 소음수준 분포 및 규제치

#### 4. 건설기계 소음개선의 과제

##### 4.1 배기가스규제

건설기계에 있어서 최근 소음과 같이 생각해야 하는 문제로 디젤엔진에 대한 배기가스규제를 들 수 있다. NOx 로 대변되는 배기가스규제는 공교롭게도 엔진의 효율을 저하시키는 경향을 보인다. 결국 효율의 저하는 열손실의 증가를 의미하며, 열부하 증가로 인하여 냉각성능에서의 부담은 결국 소음에 나쁜 영향을 미치게 된다. 더구나 배기 규제 Tier-4 와 5 단계에 이르면, 배기가스 후처리기의 설치가 필수적인데, 이는 엔진룸 내의 공간을 더욱 협소하게 함으로써 열부하는 더욱 증가하게 된다.

또 한가지 관점은 Kyoto protocol 에 의한 온실가스 저감 문제인데, 이는 온실가스의 총량규제의 개념으로 접근하는 방식이므로, 화석연료 저감 외에는 대안이 없고, 이처럼 연비에 대한 부담과 열문제 등의 난제는 건설기계의 동력원이 디젤엔진 구동방식에서 전기구동방식 - Hybrid 또는 Fuel Cell - 으로 전환 될 수 있는 가능성을 열어 주고 있으며, 이 경우 소음측면에서도 획기적인 변화가 예상된다. 그러나 Tier-4 나 5 를 만족시킬 수 있는 디젤엔진 개발이 성공할 가능성이 현재로서는 매우 높고, 온실가스 측면에서는 오히려 가솔린엔진보다 디젤엔진이 유리하다는 측면이 있어, 2015 년 이전에 이 같은 새로운 에너지원이

디젤엔진의 자리를 대체할 가능성은 낮다고 보는 것이 더 설득력을 얻고 있다. 더구나 현재의 유압 시스템보다 더 컴팩트하고, Power Density 가 높은 구동방식은 아직까지 개발된 것이 없어, 기존 방식에 대한 소음저감 기술 개발은 지속적으로 진행되어야 할 과제이다.

##### 4.2 환경소음측면에서의 관점

건설기계에 대한 소음저감의 압력은 결국 환경소음의 저감을 목적으로 한다. 그런데 환경소음측면은 건설장비의 소음저감(제조사 책임)과 건설현장에서의 소음저감(사용자 책임)이라는 두 가지 측면이 있고, 향후에는 건설현장에서의 방사소음이 더 중요한 인자로 작용될 가능성이 크다. 그 이유는 현재의 굴삭기 소음수준은 지속적인 소음저감으로 대형굴삭기의 경우에도 110dB(A)를 넘지 않는데 비해, 굴삭기에 장착되어 사용되는 유압 Breaker 의 소음은 굴삭기 자체의 소음보다 훨씬 커서 심지어는 120dB(A)를 초과하는 경우도 있다. 아울러 장비 자체의 소음보다 장비를 이용하여 암석 등을 취급 시 발생하는 충격음은 장비의 소음을 몇 배 증가하는 실정이다. 따라서 건설기계 자체의 소음을 줄이는 방식은 더 이상 효과적인 방식이 아닐 수 있는 것이다. 이런 관점에서 향후 건설기계 소음에 대한 시각은 다시 한번 정립되어야 하는 문제이다.

#### 5. 결론

건설기계의 소음은 배기가스규제 및 온실가스 저감 등 외부환경의 변화로 인하여, 많은 난제를 여전히 갖고 있다. 그러나 환경소음 저감이라는 차원에서 건설장비의 소음저감은 지속적으로 이루어져야 함은 부인할 수 없는 과제이다. 특히 향후 건설공사는 대규모 토목공사와 같이 도시 외곽 인구밀도 낮은 지역에서의 공사보다는 도시재개발사업 등 도심지 내 인구밀도가 높은 지역에서 비중이 높아질 전망이다. 점에서 소음에 대한 문제는 더욱 큰 중요성을 갖는다.

건설기계의 소음저감기술은 최초에는 전통적인 소음, 진동 기술에서 출발하였으나, 점차 CFD, 유압, 요소부품, 에너지, 엔진룸 내 열관리 (Underhood Thermal Management) 기술 등으로 확대되고 있는 추세이다. 따라서 최근에는 어느 한가지 특정 기술만으로는 소음저감을 이룰 수 없으며, 이러한 다양한 방면으로의 기술동향에 대하여 준비와 접근이 필요한 시점이다.