

방음형 공기 압축기 P850WS의 개발

이 규 배* 김 승 목**

(Development of Antinoise type P850WS for Air compressor)

(Kyu-Bae Lee, Seung-Mok Kim)

1. 서론

공기 압축기는 건설 및 토목공사 현장 등의 산업현장을 비롯하여 각종 공장에서 광범위하게 사용되고 있다. 공기 압축기에 공급하는 동력은 전기를 사용한 모터와 연료를 사용한 엔진으로 구분할 수 있으며 전기가 공급되지 않는 사용현장에서는 엔진 구동형 공기 압축기가 선택될 수 밖에 없다. 엔진 구동형 공기 압축기는 발생소음도가 모터 구동형보다 훨씬 높음으로 인하여 주변환경에의 소음으로 인한 피해를 줄이기 위하여 방음형의 개발이 절실하게 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 기존의 비방음형 공기 압축기에 대하여 방음형을 개발하여 시제품을 제작하고 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 기존의 공기 압축기의 제원 및 소음특성

기존의 공기 압축기에 대한 분류는 선진 외국의 방음형과 국내의 비방음형에 대하여 구분하였다.

발생소음의 측정 및 평가와 관련한 기준은 ISO 2151^[1]에 의거하였으며 그 결과는 Fig.1과 같다. 이때 소음측정장소는 암소음과 대상소음의 차이가 10 dB이상으로 유지시켰고, 평가소음도를 산정하는 식은 다음과 같다.

$$L = 10 \log_{10} 1/n [\text{antilog}_{10} (L_1/10) + \text{antilog}_{10} (L_2/10) + \dots \text{antilog}_{10} (L_n/10)]$$

여기서, L : 평균소음도 [dB(A)]

L_i : 측정지점 i에서의 소음도 [dB(A)]

n : 측정지점의 수

2.1 비방음형 공기압축기

기존에 생산되고 있는 비방음형 공기 압축기의 제원은 Table 1과 같고 이에 대한 소음특성은 Table 2와 같다.

Table 1 Specification of existing air compressor

No	Item	Specification
1	Engine	253 PS, Diesel 4 cycle, 6 cylinder 11051 cc
2	Air end	850 CFM Operating pressure: 7kgf/cm ² , Air cleaner: Dry, Gear ratio: 2.286 Air receiver capacity: 0.26
3	Dimension	Length: 5283mm, Width: 1890, Height: 2010mm Dry weight: 3900kgf Gross weight: 4400kgf

Table 2 Sound pressure level of existing air compressor by domestic maker

회전 수 rpm	측 점 7m	1/1 옥타브 밴드 중심주파수(Hz)							OA dBA	평균 소음 도
		63	125	250	500	1000	2000	4000		
1100	6	58.6	62.4	70.4	75.5	72.7	71.6	63.9	79.2	79.8
	7	52.7	62.7	66.4	73.7	75.6	74.1	66.2	79.9	
	8	59.9	69.3	69.2	72.9	75.9	74.2	65.8	80.3	
	9	57.6	63.4	70.5	77.6	71.5	69.5	61.4	79.7	
	10	58.2	63.5	70.5	73.5	76.5	73.5	65.6	80.3	
1500	6	62.8	67.7	76.0	76.9	77.4	76.3	62.9	81.9	83.8
	7	54.9	71.2	76.9	83.1	80.5	79.8	75.6	86.5	
	8	64.1	67.9	77.8	80.3	77.7	77.6	73.9	84.5	
	9	60.9	68.2	74.5	75.6	73.8	73.9	70.8	80.0	
	10	63.8	69.1	78.4	78.8	77.8	78.3	73.9	83.8	
1800	6	64.3	70.8	73.6	79.8	80.5	77.1	72.7	85.8	86.1
	7	58.6	70.0	78.3	81.6	82.5	82.6	79.4	87.5	
	8	60.6	68.9	74.2	79.9	79.2	77.1	76.2	84.9	
	9	60.0	71.8	73.4	78.0	80.0	78.2	74.7	84.8	
	10	63.4	71.7	76.5	81.3	82.8	81.6	80.2	86.9	
2000	6	60.8	70.6	81.1	83.7	85.3	80.4	78.8	88.7	90.6
	7	63.1	69.0	83.7	85.4	86.0	86.2	83.2	91.0	
	8	62.8	68.3	76.2	79.4	81.0	82.0	79.7	86.7	
	9	61.8	71.4	81.5	84.7	87.5	86.4	83.0	91.2	
	10	61.3	70.2	77.9	84.3	86.7	86.9	84.1	91.1	

이동식 공기 압축기에 대하여 ISO 2151에서 제시한 소음 측정방법을 적용하여 엔진 회전수를 1000, 1500, 1800, 2000 rpm에 대하여 각각 소음을 측정하고 평가한 결과는 다

* 정희원 (주)엔에스브이 소음진동연구실

** 대우중공업(주) 제품기술부

음과 같다.

공회전(Idling) 회전수인 1100 rpm에 대하여 평가 소음도는 7 m의 거리에서 도어의 개폐에 따른 소음도는 87.6 dB와 79.8 dB임을 알 수 있으며, Full Load 회전수인 2000 rpm에서는 90.8 dB와 90.0 dB로 나타났다. 이는 도어를 닫았을 때 엔진 회전수에 따른 차이는 약 3 dB이며 도어를 열었을 때는 약 11 dB이 됨을 알 수 있으며 이에 따라 Canopy를 효율적으로 설계한다면 양호한 소음 방지 효과를 얻을 수 있는 것으로 평가된다.

엔진회전수 2000 rpm에서 가장 높은 소음레벨을 가지는 것은 추측한 바와 일치 되어지고, 또한 주파수 분석한 결과는 500 Hz와 1000 Hz에 탁월한 대역을 갖고 있다. 이러한 발생주파수 대역은 청감보정시 A보정을 적용할 때 가장 높은 보정치 대역이며 인간에게도 영향을 가장 많이 주는 주파수 대역이다. 따라서 Canopy 설계시에 음향 모드 해석을 통하여 500 Hz, 1000 Hz는 피해야 하는 것으로 판단된다.

2.2 외국의 방음형 공기 압축기

현재 국제적으로 선두 업체인 미국 제작사 INGERSOLL-RAND제품의 소음발생도는 75±3 dB(A)로 표기되어 있다. 공기 압축기 모델은 IR 825이며 제원은 Table 3과 같고 이에 대한 소음특성은 Table 4와 같다.

Table 3 Specification of existing air compressor by Ingersoll-Rand

No	Item	Specification
1	Engine	260 PS, Diesel 4 cycle, 6 cylinder 10,000 cc
2	Air end	825 CFM, Operating pressure: 8.8kgf/cm ² Air cleaner: Dry Air receiver capacity: 0.26
3	Dimension	Length: 4880mm, Width: 2000, Height: 2340mm Gross weight: 4513kgf

Table 4 Sound pressure level of existing air compressor by Ingersoll-Rand

회전수 rpm	측점 1m	1/1 옥타브 밴드 중심주파수(Hz)							OA dBA	평가 소음도
		63	125	250	500	1000	2000	4000		
1250	1	70.9	77.8	77.0	78.3	79.4	78.0	75.8	86.2	86.3
	2	65.4	74.4	76.9	79.6	77.5	74.9	73.5	84.5	
	3	64.2	74.3	73.6	77.6	76.9	76.8	78.9	85.8	
	4	71.3	76.2	77.3	81.4	83.0	80.4	82.8	89.9	
	5	63.7	72.7	75.3	77.7	77.5	75.9	78.1	85.5	

INGERSOLL-RAND의 방음형인 IR 825에 대하여 엔진회전수 1250 rpm에서 소음을 측정하고 ISO 2151에서 제시한 소음측정 방법을 준거한 결과는 회전수에 따른 탁월주파수가

20.8 Hz이지만, 소음기의 출구 부분과 기류의 출구부분 방향인 압축기 뒷면에서의 주요 주파수 대역은 125 Hz와 1000 Hz로 명확하게 나타남을 알 수 있다. 이는 엔진의 운전시의 탁월주파수 124.9 Hz와 일치함을 알 수 있다.

기류의 출구부분에서 도어의 개폐 유무에 의한 소음감소 효과는 1250 rpm일때 5.5 dB, 900 rpm일때 7.4 dB로 나타남을 알 수 있으며, 측면부의 소음 감소효과는 1250 rpm일때 23.7 dB, 900 rpm일때 23.5 dB로 나타났다.

엔진회전수가 900 rpm에서 1250 rpm으로 증가함에 따라 기류의 출구부분의 소음발생은 측면보다 5 dB 정도 상승함을 알 수 있었는데, 이 부분에 있어서 보다 높은 수준의 소음저감 방법의 적용이 요구됨을 알 수 있다.

3. 방음설계

발생 소음과 전달소음을 감소하기 위한 설계는 음원의 발생음압을 감소하는 방법과 소음의 전달을 방지하는 방법으로 접근하였다.

3.1 방진마운트 설계

공기압축기의 프레임에 지지되는 각 요소에 대한 진동전달을 방지하기 위하여 방진마운트를 설계하였다. 이때 적용대상 요소로 엔진과 압축기로 한정하였다. 방진마운트에 대한 재료는 스프링보다 감쇠성능이 우수한 점탄성 재질인 복합 고무계통을 방진 소재로 선정하였다.

3.2 엔진소음기 설계

엔진의 내부발생 소음을 제어하기 위하여 엔진소음기를 적용하고, 설치위치는 수음원에서의 소음도 75 dB(A)를 만족하기 위한 삽입손실과 투과손실을 동시에 만족하기 위하여 공기압축기의 canopy 내부로 설정하였다.

엔진소음기는 설치공간의 제약으로 인하여 플러그 형태(plug type)의 소음기로 설정하였고, 엔진 소음기의 배압의 제한조건으로 플러그 튜브(plug tube)의 공극률(porosity)은 50.4 %이다. 플러그 튜브의 공극률이 높기 때문에 단순 평창형으로 모델링이 가능하고 이에 따라 해석결과를 정리하면 Fig.2 와 같다.

3.3 canopy 설계

Canopy의 형상을 결정함에 있어 치수는 차량의 트레일러 제한조건에서 산업 디자인의 개념을 적용하였으며, 음향 모드는 내부형상에서 기류의 입출구 부분을 고려한 형상은 Table 5와 같고 이에 대한 음향 모드는 Fig 3과 같다.

엔진소음기에 대하여 음향성능을 정확히 평가한 것은 통과주파수 영역과 A 보정시 대상주파수 영역인 1000 Hz임을

Table 5 Specification of anti-noise air compressor P850WS

No	Item	Size (mm) L x W x H	Remark
1	canopy	4170x2000x1660	canopy outline
2	suction 1 (suct1)	664x500x917	initial position of suction
3	suction 2 (suct2)	3080x2000x1660	medium position of suction
5	discharge 1 (disc1)	662x2000x1960	space of air end wall & radiator
6	discharge 2 (disc2)	700x130x400	space of radiator & splitter
7	discharge 3 (disc3)	1800x120x180	discharge splitter

알 수 있다.

Canopy에 대한 음향해석을 위하여 음향관련 인자를 산정하고 내부 음향모드를 분석하였다. Canopy에 대하여 음향모드 모델은 canopy 자체와 suction 1, suction 2, discharge 1, discharge 2, discharge 3로 구분하였으며, 여기서 알 수 있는 바와 같이 discharge 2와 discharge 3에서는 고주파수 모드가 나타나며 이는 흡음의 성능이 중, 고주파수 대역에서 탁월한 유리섬유^[2]가 적용됨으로 인한 양호한 시스템임을 알 수 있다.

다른 부분에 대한 음향모드는 불규칙(random)한 형태이며 이러한 형태는 Canopy로 인한 공명현상은 없는 것으로 판단된다. 엔진은 정지상태에서 2000 rpm까지 광범위한 영역에서 운전되므로 부분적인 공명현상을 제어하기 위하여 제진판^[3]을 적용하여 그 영향을 최소화 하였다.

4. 소음평가

기존 압축기에 대하여 소음 방지개념을 적용하고 이에 따라 샘플을 제작하고 관련규준인 ISO 2151에 의거하여 소음을 측정하였다. 소음측정 환경은 온도 15℃, 대기압 1029 mbar의 조건이며 소음측정지점은 비방음형일 때와 동일하게 선정하였다. 소음측정조건은 공기압축기를 공회전 1100 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm 및 Full load 2000 rpm를 포함하여 4단계로 설정하여 소음측정을 행하였다.

4.1 평균소음도 산출 및 소음평가

방음형 공기 압축기 모델 P850WS와 개발되기 전의 모델과 소음측정결과를 회전수와 측정거리에 따라 상호 비교한 결과에 대한 표는 Table 6, 관련규준에 따른 평균소음도는 Table 7과 같고, 그림은 Fig.4 ~ Fig.7과 같다. 이때 그림에서 표시한 기호는 비방음형일 때 "before"로, 방음형일 때 "after" 로 표기하였고, Le 는 ISO 2151에서 규정한 평균소음도를 나타낸다.

Table 6 Sound pressure level of anti-noise air compressor P850WS and existing compressor

측점	형식	RPM			
		1100	1500	1800	2000
1	비방음형	90.3	93.4	94.8	100.1
	방음형	76.7	83.6	86.1	87.8
2	비방음형	95.4	97.9	100.8	103.8
	방음형	73.9	76.3	78.3	80.0
3	비방음형	96.3	97.7	98.8	100.4
	방음형	75.9	81.9	83.3	84.1
4	비방음형	92.4	93.9	94.6	97.7
	방음형	72.8	82.9	83.8	84.5
5	비방음형	93.2	98.9	96.4	99.9
	방음형	76.3	82.5	84.1	81.0
6	비방음형	79.2	81.9	85.8	88.7
	방음형	68.5	73.1	75.9	77.1
7	비방음형	79.9	86.5	87.5	91.0
	방음형	64.6	69.9	71.3	72.5
8	비방음형	80.3	84.5	84.9	86.7
	방음형	67.3	72.4	72.5	74.2
9	비방음형	79.7	80.0	84.8	91.2
	방음형	65.3	72.6	73.8	74.3
10	비방음형	80.3	83.8	86.9	91.1
	방음형	66.5	72.6	74.3	75.2

Table 7 Sound pressure level of anti-noise air compressor P850WS

엔진회전수 RPM	측정지점	평균소음도 dB(A)	비고
1100	1 m	75.3	공회전
	7 m	66.6	
1500	1 m	82.0	
	7 m	72.2	
1800	1 m	83.7	
	7 m	73.8	
2000	1 m	84.3	Full load
	7 m	74.9	

비방음형 공기 압축기에 대하여 방음형을 개발하고 소음을 측정 및 평가한 후 개발목표와 관련한 평가의 결과는 Table 8과 같다.

Table 8 Comparison of sound pressure level

항목	개발목표치	목표달성치	비고
소음	75 ± 3 dB(A) / 7 m	74.9 dB(A) / 7 m	관련규격 ISO 2151

5. 결론

이동식 공기압축기에 대하여 방음대책을 위한 설계를 수행하고 방음형 P850WS 의 제품을 개발함을 목표로 소음레벨 75 ± 3 dB(A) / 7m를 만족시키는 방음방진 설계를 개발목표치로 설정하고 이에 대한 소음을 측정하고 평가한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

선진 외국장비에 대한 조사와 운전 현장의 방문을 통하

여 소음진동 부분에 대한 관련 자료를 조사한 결과는 9개 제작사가 존재하며 이 중에서 Ingersoll-Rand, Airman과 Atlas copco가 방음형으로 선두업체임을 알 수 있었으며, 특히 Ingersoll-Rand의 모델에 대한 소음방지 대책의 적용이 양호하였다.

공기 압축기의 소음평가에 대한 관련규격 ISO 2151에 따라 소음측정한 결과는 기존장비는 90.06 dB(A)/(7 m, 2000 rpm)이고, Ingersoll-Rand의 모델 IR 825는 87.65 dB(A)/(1 m, 1250 rpm)으로 나타났고, 소음도는 주파수에 대한 관련성을 검토한 결과 canopy 와 상관성이 지배적임을 알 수 있었다.

공기 압축기에 대하여 방음개념을 적용한 방음형 P850WS의 제품을 개발함에 있어서 목표로 한 목표치 75±3 dB(A)/7m를 만족하는 74.9 dB(A)/7m로 나타남을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 1993년도 대우중공업의 지원을 받아 수행하였으며 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. ISO 2151, "Measurement of airborne noise emitted by compressor/primemover-units intended for outdoor use, 1972
2. 한국표준연구소, "유리면 보호판 흡음시험", 시험보고서, 1986
3. 해사기술연구소, "Damping pad 진동감쇠 특성", 시험보고서, 1992
4. M.A.Latcha and A. Akay, "Application of the Helmholtz integral in acoustics", ASME J. Vib. Acoust. Stress Rel. Dsgn. 108, pp447-453, 1985
5. L.J. Eriksson, "Noise control in internal combustions", John Willey & Sons, 1982
6. M.L. Munjail, "Acoustics of ducts and muffler with application to exhaust and ventilation system design", John Willey & Sons, 1987

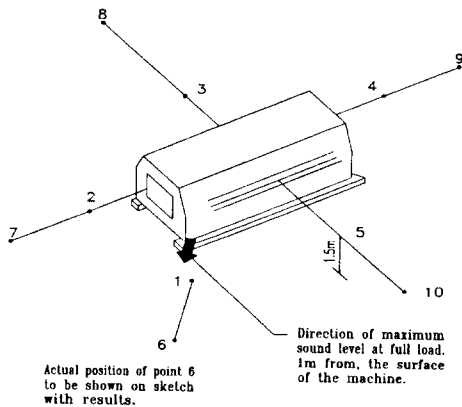


Fig.1 Measuring point of noise by ISO 2151

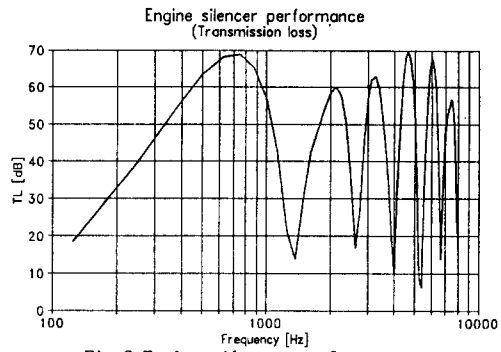


Fig.2 Engine silencer performance

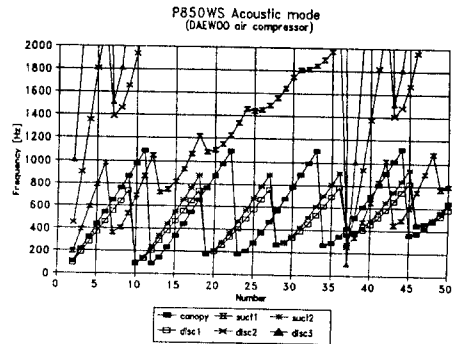


Fig.3 Acoustic mode of canopy

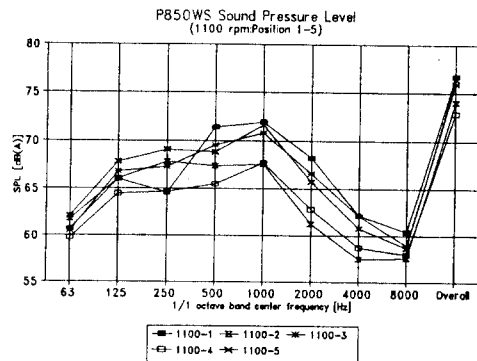


Fig.4 Sound pressure level of P850WS(1100rpm, 1m)

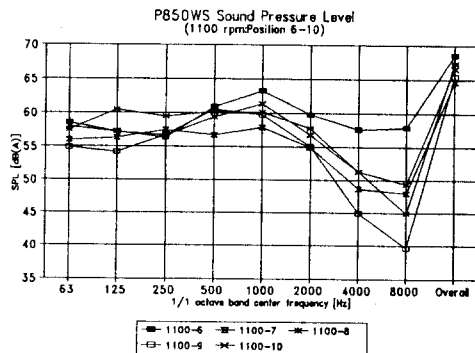


Fig.5 Sound pressure level of P850WS(1100rpm, 7m)

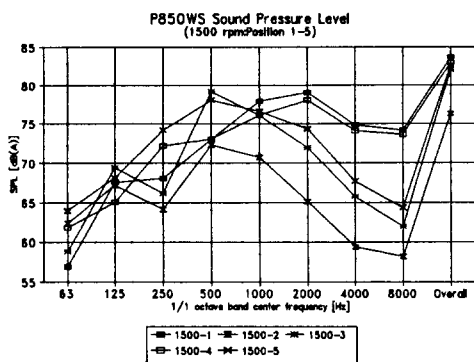


Fig. 6 Sound pressure level of P850WS(1500rpm, 1m)

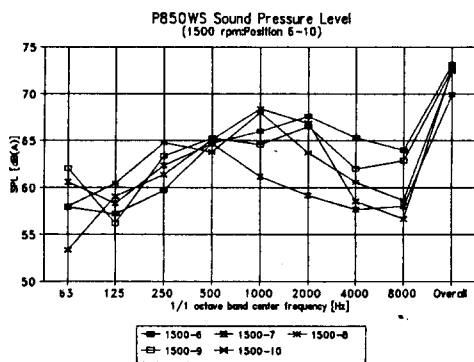


Fig. 7 Sound pressure level of P850WS(1500rpm, 7m)

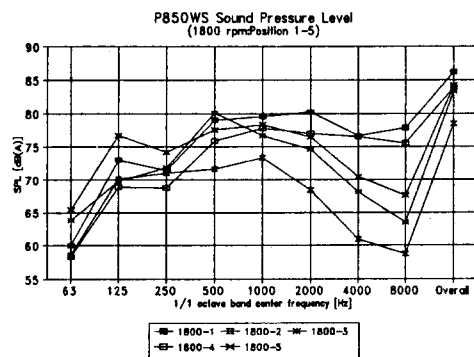


Fig. 8 Sound pressure level of P850WS(1800rpm, 1m)

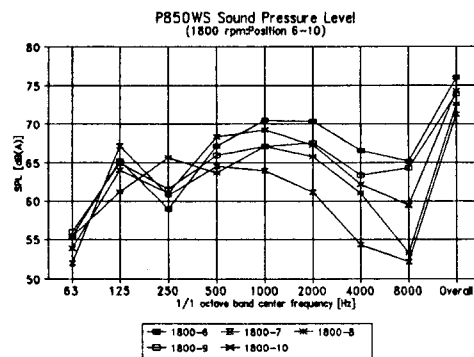


Fig. 9 Sound pressure level of P850WS(1800rpm, 7m)

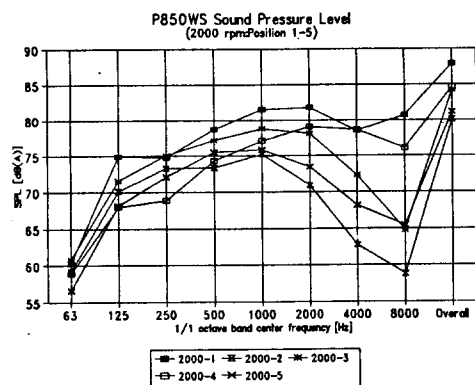


Fig. 10 Sound pressure level of P850WS(2000rpm, 1m)

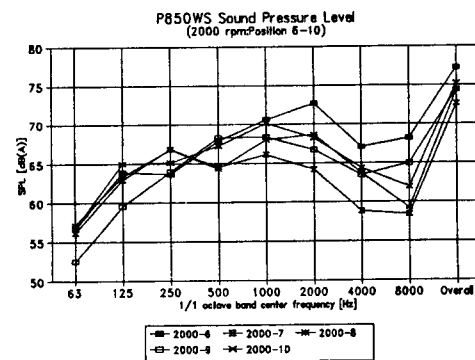


Fig. 11 Sound pressure level of P850WS(2000rpm, 7m)

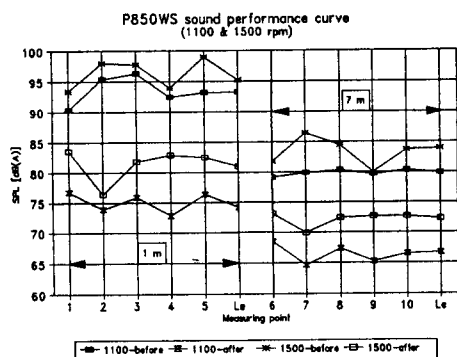


Fig. 12 Sound performance of P850WS(1100, 1500rpm)

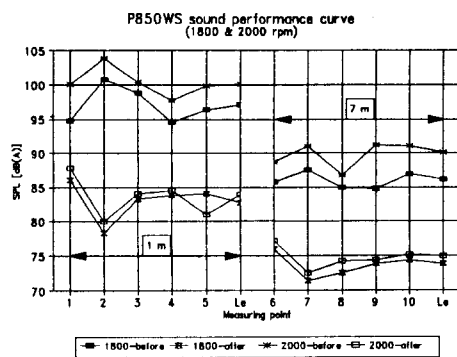


Fig. 13 Sound performance of P850WS(1800, 2000rpm)