

다차원 스펙트럼 해석법을 이용한 탈수시 드럼세탁기의 소음 기여도 분석

The Analysis of Noise contribution about Drum Washer under dehydrating condition using Multi-Dimensional Spectral Analysis

김호산*·박상길*·강동우**·정보선**·이유엽***·오재응†

Hosan Kim, Sanggil Park, Dongwoo Kang, Bosun Jung, Youyub Lee, Jae-Eung Oh,

Key Words : Multi-dimensional spectrum analysis(다차원 해석법), Partial coherence function(부분 기여도 함수), Multiple coherence function(다중 기여도 함수), Ordinary coherence function(일반 기여도 함수), Residual spectrum(잔차 스펙트럼)

ABSTRACT

Recently, customers' interest about noise of household electric appliance is growing. so, designer of product must study to reduce noise of product. Specially, in case of household electric appliance such as washing machine, there was consumers' complaint about noise that is radiated under dehydrating condition. But, in the case of washing machine, identification of noise source is not easy when washing machine is under dehydrating condition. Because various noise source influence each other, it is difficult to find out pure contribution degree about output noise. Multi-Dimensional Spectral Analysis(MDSA) is method that can remove correlation between inputs each other and express pure contribution degree about output of single input. So in this study, we analyzed contribution of each noise source on transfer pass of noise that is radiated at dehydration of washing machine using MDSA.

1. 서 론

최근 삶의 질 향상과 기술의 발달로 인해 소비자들의 가전 제품에 대한 관심과 요구가 날로 증가하고 있으며 제품의 구매에 있어서 소음의 문제는 제품의 성능과 함께 하나의 커다란 구매기준이 되고 있다. 사용자들의 저소음화에 대한 요구가 날로 까다로워짐에 따라 각종 가전제품 설계자들은 소음 문제에 많은 관심을 가지게 되었으며, 제품의 소음의 줄이기 위해서 많은 연구를 하고 있다.

드럼세탁기의 경우에는 소음을 저감시키기 위해서 소음원이 어떤 성질을 가지고 있으며 어떤 경로로 전달되어 오는 것인가를 해석하는 것이 필요하다. 특히 자주 문제가 되는 Motor, Tub, Drum, Cabinet 등에서 실제 세탁 및 탈수 시 관심이 있는 위치에서 어떤 소음이 전달되는 것인가를 정량적으로 구하는 방법을 체계화하여 현장에서 보다 효율적인 방법으로 사용할 수 있도록 할 필요가 있다. 드럼세탁기의 구동시 여러 개의 소음원이 존재하고 이들의 상관관계가 존재할 때가 많으므로

계의 해석이 복잡해진다. 이와 같이 소음원이 여러 개인 경우 이에 대한 해석으로 종래에는 주파수 응답 함수법(FRF)이 많이 사용되었다. 하지만 이 방법은 각각의 소음원이 독립적으로 서로의 소음원에 영향을 미치지 않는 경우에만 사용할 수 있는 단점이 있어서 소음원간의 상관성분을 제거하여 각각의 소음원의 순수한 기여정도를 알 수 있는 다차원 스펙트럼 해석법(MDSA)을 적용하는 것이 적절하다. MDSA 은 부분 기여도함수(PCF), 다중 기여도함수(MCF), 잔차스펙트럼(Redusial spectrum),기여 출력 스펙트럼(Coherent output spectrum)을 통해 각각의 소음원이 전체 소음에 미치는 올바른 기여정도를 추출해낼 수 있다.

본 연구에서는 세탁기의 소음을 측정하는 국내 규정(KS 9603)에 따라, 드럼세탁기의 1m 전방에서 탈수 시 소음을 측정하여 소음특성을 파악한 후 먼저 드럼, 터브, 모터를 소음원으로 하는 3 입력 1 출력의 시스템으로 MDSA 를 적용하였다. 그리고 3 입력 1 출력으로 MDSA 를 적용한 후의 MCF 값을 가지고 입출력계의 모델링의 타당성을 알아보았고, 세가지 입력원 외에 캐비닛을 하나의 입력원으로 추가해서 4 입력 1 출력시스템으로 모델링한 후 입력원이 세 개일 경우와 네 개일 경우의 해석결과를 서로 비교하여보았다.

† 한양대학교 기계공학부
E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr
Tel : (02) 2220-0452

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** LG 전자 디지털 어플라이언스 연구소

*** 호원대학교 자동차기계공학부

다 입력계에 적용하면 잔차 과정에 의하여 각 입력원의 순수 기여도를 나타낸 PCF 를 $x_4(t)$ 에 대하여 구하면 식 (7)이 된다.

$$\gamma_{4,y:3!}^2(f) = \frac{|S_{4,y:3!}(f)|^2}{S_{44:3!}(f)S_{yy:3!}(f)} \quad (7)$$

이 식을 이용하여 입력간 상관성분을 제거하여 계산된 MCF 는 식 (8)과 같이 된다.

$$\gamma_{yx}^2 = 1 - (1 - \gamma_{1y}^2)(1 - \gamma_{2y}^2)(1 - \gamma_{3y:2!}^2)(1 - \gamma_{4y:3!}^2) \quad (8)$$

실제로 진동원을 검출하려면 입력원의 출력에 대한 순수한 기여량을 계산할 필요가 있으므로 출력 스펙트럼과 PCF 와의 곱인 기여출력 스펙트럼을 이용하게 된다. 4 입력 $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, $x_4(t)$ 가 출력에 기여하는 순수한 기여량을 나타내는 기여출력 스펙트럼은 다음 식과 같이 된다.

$$\begin{aligned} S_{44:3!}(f) &= S_{44:2!}(f) - |L_{34}(f)|^2 S_{33:2!}(f) \\ S_{yy:3!}(f) &= S_{yy:2!}(f) - |L_{3y}(f)|^2 S_{33:2!}(f) \\ S_{4y:3!}(f) &= S_{4y:2!}(f) - |L_{3y}(f)|^2 S_{34:2!}(f) \end{aligned} \quad (9)$$

3. 실험

3.1 실험 장치 및 방법

본 실험은 10kg 급 드럼 세탁기를 대상으로 실험을 수행하였다. 실험모드는 세탁기의 600rpm 과 1200rpm 의 탈수상태로 잡았으며, Fig4 와 같이 탈수 시 전방 1m 앞 지상 1m 위에서의 소음을 출력 소음으로 잡고, 터브, 모터, 드럼, 캐비닛을 입력원으로 선정하여 신호를 측정하였다. Fig5 와 같이 먼저 드럼과 터브 그리고 모터에 대해서 다차원 해석법을 실시하였으며 결과로 나온 MCF 값을 근거로 선정된 입력원이 출력에 반영된 정도를 파악하였다. 그 다음으로 입력원을 하나 더 추가(캐비닛)시켰을 경우에 대해서 다차원 해석법을 실시하였으며, 입력원을 세 개(드럼, 터브, 모터)로 선정했을 경우와 서로 비교해보았다. 이때 캐비닛의 전체 면에서의 평균 소음 값을 캐비닛의 측정된 신호로 사용하였다. 마이크로폰(B&K 4130) 으로부터 받은 신호는 증폭기를 거쳐, FFT Analyzer(dp440)을 통해 시간데이터로 저장되었으며, MDSA 프로그램을 이용해서 신호처리를 수행하였다.

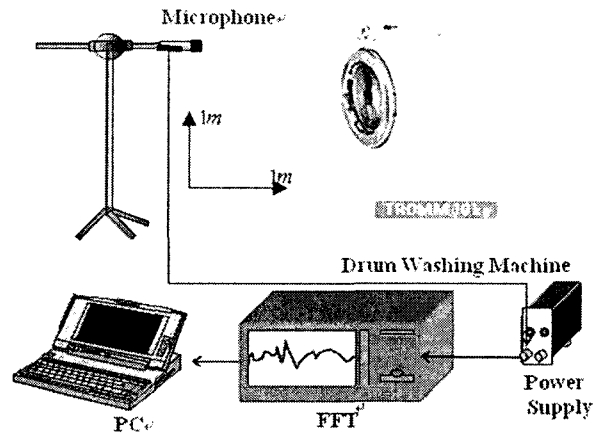


Fig.4 The experiment setup to measure the noise characteristic for the washing machine

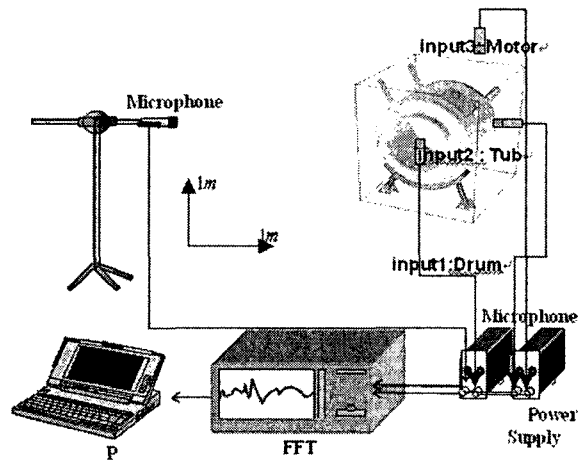


Fig.5 The experiment setup to get signal of component of washing machine

4. 실험결과 및 고찰

드럼 세탁기의 탈수모드(600rpm 과 1200rpm)에서 측정된 출력소음의 자기스펙트럼 값은 Fig6 과 같으며, 이 값을 근거로 탈수 시 관심주파수를 선정하였다. 600rpm 탈수상태에서는 120.2Hz, 155.1Hz, 242.2 Hz, 252.4Hz, 363.7Hz, 737.5Hz 를 관심주파수로 선정했으며, 1200rpm 탈수상태에서는 96Hz, 115.6Hz, 231.2Hz, 249.9 Hz, 403.1Hz, 462.2Hz, 518.8Hz, 921.8Hz 로 선정하였다.

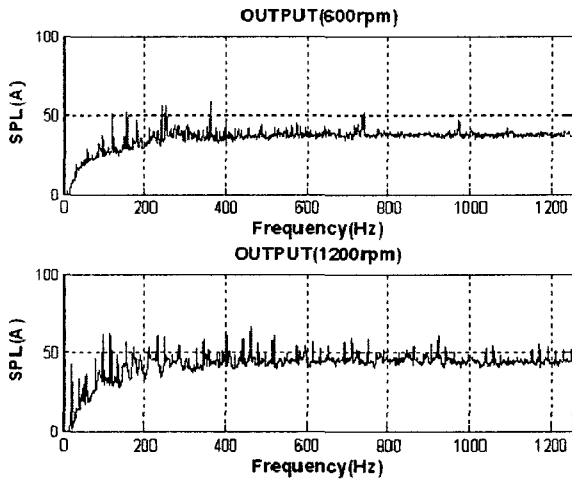


Fig.6 A-weighted Sound pressure level of output under 600rpm and 1200rpm

다차원 스펙트럼해석의 이론적 가정에 있어서 가장 중요한 입력간의 상관관계(γ_{ij}^2) 및 입출력간의 상관관계(γ_{iy}^2)를 알아볼 필요가 있다. 특히 입력간의 OCF 값은 입력들끼리 서로 독립적인가 혹은 상호간에 상관관계가 존재하는가를 판단하는데 매우 중요하다. 3 입력계의 입력간 및 입출력간의 상관관계는 Table 1 에 나타난 바와 같이 0.5 이상의 큰 값을 나타내고 있는데 이것으로 입력들과 입출력간에 상관성이 존재하고 있다고 볼 수 있다. 특히 입력 2(터브)와 입력 3(모터)의 OCF 값이 0.8 이상의 큰 값을 보이고 있으며, 따라서 다차원 스펙트럼 해석법의 적용이 유효하다는 것을 알 수 있다.

Table 1 Values of total mean ordinary coherence function

Function		γ_{12}^2	γ_{13}^2	γ_{23}^2
Mean value	600	0.55	0.50	0.69
	1200	0.61	0.54	0.61
Function		γ_{1y}^2	γ_{2y}^2	γ_{3y}^2
Mean value	600	0.19	0.56	0.62
	1200	0.25	0.67	0.74

다음은 본 연구에서 각 입력원(#1:드럼, #2:터브, #3:모터)의 출력에 대한 부분 기여도함수를 각각의 탈수 모드별 관심주파수에서의 레벨 값의 크기 순서로 나타내었고, 그 값은 Table 2 에 표시하였다.

Table 2 Values of partial coherence function at target frequency.

Function (600rpm)		γ_{1y}^2	$\gamma_{2y,1}^2$	$\gamma_{3y,2!}^2$
1	240.9	0.1201	0.7455	0.6937
2	252.4	0.2013	0.5457	0.5441
3	363.7	0.0737	0.9876	0.9614
4	737.5	0.0644	0.6541	0.5132
5	155.1	0.2065	0.5724	0.6362
6	120.2	0.1542	0.5684	0.9824
Function (1200rpm)		γ_{1y}^2	$\gamma_{2y,1}^2$	$\gamma_{3y,2!}^2$
1	462.2	0.1482	0.6274	0.0993
2	249.9	0.1002	0.0893	0.4960
3	921.8	0.2353	0.2404	0.4270
4	231.2	0.3607	0.8604	0.4199
5	403.1	0.1934	0.8411	0.7260
6	518.8	0.1824	0.3820	0.4442
7	115.6	0.1331	0.9609	0.3527
8	96	0.3675	0.8426	0.6228

위의 표에서의 값을 살펴보면, 전체 출력 소음에 미치는 소음원별 기여도 순서는 터브>모터>드럼 순서임을 알 수 있다. 그러므로 드럼세탁기의 탈수 상태에서의 소음에 가장 큰 영향을 미치는 부품이 터브이며, 이 부분에 대해서 소음 저감을 위한 집중적인 대책이 마련 되어져야 한다고 볼 수 있다.

그리고 선정된 입력원들이 탈수상태에서의 소음에 대한 기여도가 어느 정도인지를 정량적으로 알아보기 위해서 MCF 의 값을 Table 3 에 표시하였다.

Table 3 Values of multiple coherence function at target frequency.

$\gamma_{y:x}^2$					
600rpm			1200rpm		
1	240.9	0.8774	1	462.2	0.6807
2	252.4	0.6375	2	249.9	0.5413
3	363.7	0.9897	3	921.8	0.6185
4	737.5	0.7190	4	231.2	0.9321
5	155.1	0.7428	5	403.1	0.9605
6	120.2	0.9882	6	518.8	0.6572
Mean value		0.5817	7	115.6	0.9756
			8	96	0.9447
			Mean value		0.5972

MCF 의 값을 볼 때 각각의 탈수모드에서의 관심주파수에서의 값이 600rpm 에서는 252.4Hz 와 1200rpm 에서는 249.9Hz, 921.8Hz 를 제외한 관심주파수에서 0.8 정도를 전후한 높은 값을 가지고

있는 것으로 보아 관심주파수에서는 선정된 입력 원들이 출력에 반영하는 정도가 높은 것으로 보인다. 하지만 252.4Hz, 249.9Hz, 921.8Hz 에서의 MCF 값과 overall level 의 MCF 값은 0.6 을 전후한 값을 가지고 있는 것으로 보아 전체 시스템에서 또 다른 입력원인 캐비닛의 소음을 측정, 4 입력 1 출력으로 다차원 스펙트럼 해석법을 나타내 보았다. 4 입력(#1:드럼, #2:터브, #3:모터, #4:캐비닛)에 대한 각 입력원사이의 OCF 값과 입출력 간의 OCF 값은 Table4 와 같다.

Table 4 Values of total mean ordinary coherence function

Function		γ_{12}^2	γ_{13}^2	γ_{14}^2	γ_{23}^2	γ_{24}^2
Mean value	600	0.55	0.50	0.32	0.69	0.25
	1200	0.61	0.54	0.37	0.61	0.29
Function		γ_{34}^2	γ_{1y}^2	γ_{2y}^2	γ_{3y}^2	γ_{4y}^2
Mean value	600	0.75	0.19	0.85	0.62	0.58
	1200	0.72	0.25	0.75	0.74	0.78

위에서 OCF 의 값들이 대부분 0.5 이상의 값을 가지는 것으로 볼 때 입력들간의 상관관계가 높은 것으로 볼 수 있으며, 4 입력 1 출력의 PCF 값을 Table 5 와 Fig.7 과 Fig.8 에 나타내었다.

기존의 3 입력에 캐비닛을 추가시켰을 경우 고려한 전체 입력원들의 소음에 대한 PCF 값의 크기의 경향을 보면, 두 탈수 모드에 대해서 모두 터브, 모터순으로 기여도가 큰 것을 볼 수 있다. 그리고 드럼보다는 캐비닛의 PCF 값이 큰 것을 확인 할 수 있었다.

Table 5 Values of partial coherence function at target frequency.

Function (600rpm)		γ_{1y}^2	$\gamma_{2y.1}^2$	$\gamma_{3y.2!}^2$	$\gamma_{4y.3!}^2$
1	240.9	0.1201	0.7455	0.6937	0.2704
2	252.4	0.2013	0.5457	0.5441	0.5398
3	363.7	0.0737	0.9876	0.9614	0.5387
4	737.5	0.0644	0.6541	0.5132	0.4956
5	155.1	0.2065	0.5724	0.6362	0.2326
6	120.2	0.1542	0.5684	0.9824	0.2704
Function (1200rpm)		γ_{1y}^2	$\gamma_{2y.1}^2$	$\gamma_{3y.2!}^2$	$\gamma_{4y.3!}^2$
1	462.2	0.1482	0.6274	0.0993	0.2676
2	249.9	0.1002	0.0893	0.4960	0.4507
3	921.8	0.2353	0.2404	0.4270	0.3949
4	231.2	0.3607	0.8604	0.4199	0.3887
5	403.1	0.1934	0.8411	0.7260	0.3296
6	518.8	0.1824	0.3820	0.4442	0.2695
7	115.6	0.1331	0.9609	0.3527	0.4481
8	96	0.3675	0.8426	0.6228	0.3971

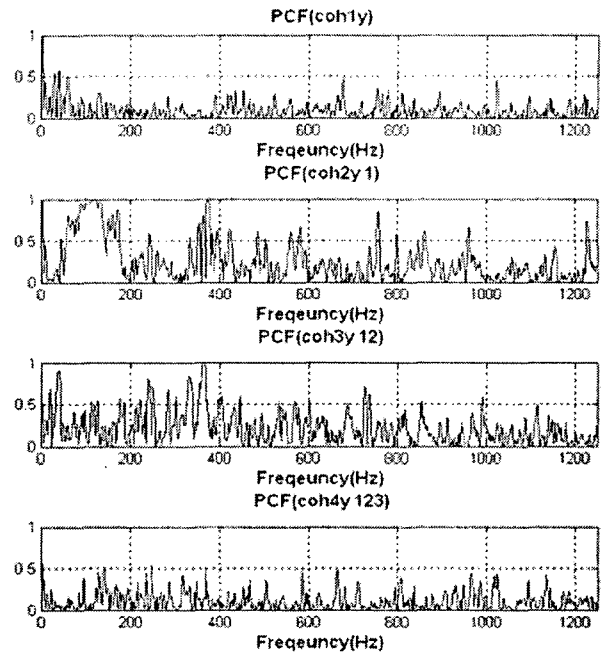


Fig.7 Partial coherence function at 600rpm

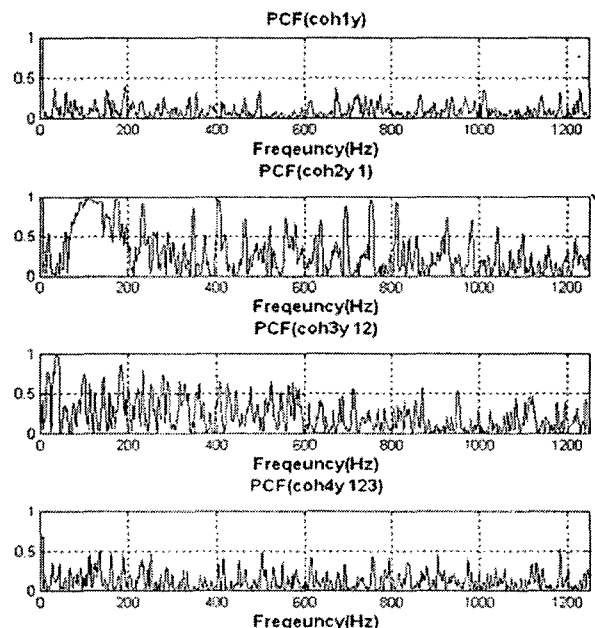


Fig.8 Partial coherence function at 1200rpm

특히 3 입력 1 출력의 경우에서 관심주파수의 MCF 값이 작았던 252.4Hz, 249.9Hz, 921.8Hz 에서는 캐비닛의 PCF 값이 다른 부품의 PCF 값에 비해서 큰 값을 가지는 것으로 볼 수 있으며, 이것으로 고려한 4 입력이 출력에 미치는 전체 기여도 값인 MCF 값이 향상될 것으로 예상할 수 있었다. 4 입력 1 출력에 대한 MCF 값은 Table6 과 Fig.9 에 나타내었다.

Table 6 Values of multiple coherence function .

$\gamma_{y:x}^2$					
600rpm			1200rpm		
1	240.9	0.8649	1	462.2	0.7960
2	252.4	0.7460	2	249.9	0.7284
3	363.7	0.9848	3	921.8	0.7682
4	737.5	0.6945	4	231.2	0.9400
5	155.1	0.7986	5	403.1	0.9660
6	120.2	0.9903	6	518.8	0.7472
Mean value	0.7475		7	115.6	0.9801
			8	96	0.9656
			Mean value	0.7542	

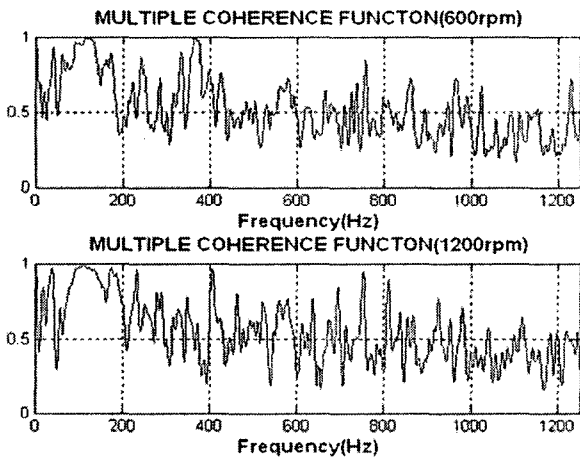
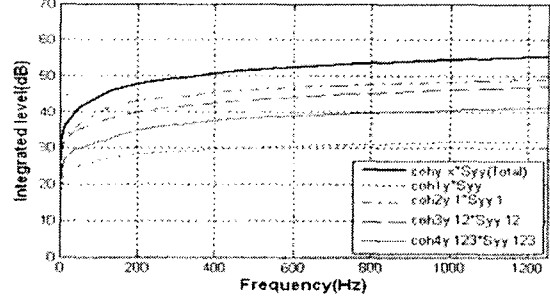


Fig.9 Multiple coherence function

3 입력 1 출력의 MCF 값과 비교했을 때 4 입력 1 출력의 MCF 값이 전체 관심주파수에서 0.7 이상의 큰 값을 가지며, MCF의 평균값 역시 3 입력 1 출력의 경우에는 0.6 미만의 값을 가지고 있었지만 4 입력을 고려했을 경우 0.7 이상의 높은 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로 인해 세탁기의 탈수 시 나오는 소음의 주된 소음원으로는 터브와 모터, 드럼, 그리고 캐비닛이 주된 소음원으로 작용하고 있음을 확인하였다.

4 입력으로 고려해서 나온 MCF와 PCF를 가지고 출력 스펙트럼과 부분기여 출력스펙트럼을 나타낼 수 있다. 다음은 기여출력 스펙트럼을 전주파수 영역에서 적분한 레벨값을 Fig.10과 Table 7에 나타내었다.

Comparisons of integrated coherence output power spectrum(600)



Comparisons of integrated coherence output power spectrum(1200)

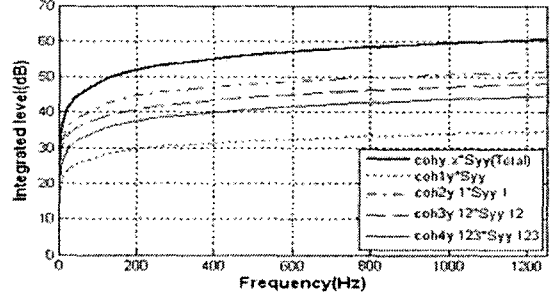


Fig.10 Comparison of intergrated coherence output power spectrum

Table 7 Overall level contributions estimated by coherence function

600rpm		
Overall level		Output (dB)
Measured level		56.8
Coherence function	$\int \gamma_{y:x}^2 S_{yy} df$	55.4
	$\int \gamma_{1y}^2 S_{yy} df$	32.1
	$\int \gamma_{2y,1}^2 S_{yy,1} df$	48.0
	$\int \gamma_{3y,12}^2 S_{yy,12} df$	45.5
	$\int \gamma_{4y,123}^2 S_{yy,123} df$	41.7
1200rpm		
Overall level		Output (dB)
Measured level		62.7
Coherence function	$\int \gamma_{y:x}^2 S_{yy} df$	60.7
	$\int \gamma_{1y}^2 S_{yy} df$	35.5
	$\int \gamma_{2y,1}^2 S_{yy,1} df$	52.1
	$\int \gamma_{3y,12}^2 S_{yy,12} df$	48.2
	$\int \gamma_{4y,123}^2 S_{yy,123} df$	45.3

실제 실험에 의해서 측정된 소음의 출력스펙트럼의 값과 기여도함수에 의해서 나온 출력스펙트럼의 차이는 실험시의 노이즈에 의한 영향과 세탁

기의 구동시 방사되는 다른 부품의 소음이 입력원으로 고려되지 않았기 때문이다. 하지만 그 값의 차이로 보아서 고려한 입력원이 출력에 대부분의 영향을 차지하고 있음을 알 수 있다. 그리고 부분 기여 출력스펙트럼의 값으로 보아서 각 소음원의 기여순위는 터브(#2), 모터(#3), 캐비닛(#4), 드럼(#1)의 순으로 되어 있음을 알 수 있다. 각 입력원 사이의 상관성을 고려하여 계산한 기여출력스펙트럼을 전 주파수에 걸쳐 적분함으로써 각 소음원의 기여순위를 보다 쉽게 결정할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

드럼 세탁기의 소음 방지 대책을 세우는 데 있어서 중요한 것은 실제로 구동시에 나오는 소음원들의 전달경로를 파악하고 소음원의 기여정도를 검출하는 것이다. 본 연구에서는 드럼 세탁기의 탈수 시 발생하는 소음원에 대해서 다차원 스펙트럼 해석법을 응용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Multi input single output(MISO)시스템에서 입력들간의 상관관계가 존재하고 있을 때 입력원의 출력에 대한 기여정도를 알아보기에 다차원 스펙트럼 해석법이 유효함을 검증하였다.
- (2) 본 실험에 사용된 드럼 세탁기의 탈수 시 나오는 소음에 대한 전달경로상의 부품들의 기여 정도는 터브, 모터, 캐비닛, 드럼 순서로 되어 있음을 알았다.
- (3) 고려한 입력원들이 출력에 충분히 반영이 되었음을 알았다.

후 기

본 연구는 LG 디지털 어플라이언스 세탁기 사업부 연구소의 연구비 지원으로 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Bendat, J.S., and Piesol, A.,G, "Random Data": Analysis and Measurement Procedures, 2nd Edition, Wiley-Interscience, New York, pp. 204~227, 1986.
- (2) Bendat, J.S, and Piersol, A.,G, "Engineering Application of Correlation and Spectral Analysis", John Wiley & Sons, Inc. 2nd Edition, 1993.
- (3) 서상현, 오계응, "가솔린 엔진의 소음원 검출에 대한 다차원스펙트럼 해석의 응용", 한양대학교 석사학위 논문, 1986
- (4) 강현석, "다차원 스펙트럼 해석을 이용한 자동차원가장치의 진동전달경로 규명에 관한 연구", 한양대학교 석사학위 논문, 2001
- (5) 조문갑 등, 2003, "다차원 해석법을 이용한 편심 회전체의 전달 기여도 평가", 추계학술대회논문집, 한국소음진동공학회, pp. 298~303.