

## 고속 교반기의 진동소음, 열특성 평가를 위한 실험적 고찰

이진갑<sup>1\*</sup>

### Experimental Consideration for Vibration Noise, Heat Evaluation on High Speed Mixer

Jin-Kab Lee<sup>1\*</sup>

**요약** 최근, 교반기는 화학물질의 교반 및 탈포를 위해 디스플레이, 반도체 업체에서 광범위하게 사용되고 있다. 교반기는 일반적으로 축, 교반조, 감속기어 및 구동 모터로 구성되어 있다. 교반기 설계시의 주요 사항은 회전시의 동적 특성을 평가하는 것이다. 회전시의 동적특성은 진동, 소음 및 열방출로 나타난다. 본 논문은 고속 교반기의 동적 특성을 실험적으로 규명하였다. 진동을 유발하는 주 인자는 회전체의 불균형에 기인한 것임을 알 수 있었으며, 교반 용기 부위의 온도가 전체온도에서 상대적으로 제일 높음을 알 수 있었다.

**Abstract** Recently, mixers are being widely used in the display and semiconductor company in order to mix the chemical materials. The mixer normally consists of shaft, hub, reduction gear, and driving motor. It is one of the key design factors to evaluate the dynamic characteristics caused by the rotation. In this study, the dynamic characteristics of the high speed mixer, such as vibration, noise and thermal radiation, are verified by the experiment. Through the experiment, it is shown that the structural unbalance mass of high speed mixer is the important source of the severe vibrations and maximum temperature is mixer bowl.

**Key Words** : Mixer, Dynamic, Vibration, Noise, Balancing, Unbalance

#### 1. 서론

최근, 산업구조가 디스플레이, 반도체 중심의 첨단산업으로 개편되고, 이에 사용되는 전자제품들이 소형화, 고품질화 됨에 따라, 액정 디스플레이 및 PCB 기판 도료, 페인트 및 액체 분말입자 등 화학 재료의 혼합에 사용되는 교반기의 중요성이 이미 인지되어 왔다.

교반기는 회전으로 운동을 발생시켜 화학재료를 원활하게 혼합시키는 장치이다. 교반기는 임펠러를 이용한 기존 방식과 공전과 자전을 이용한 유성식의 신 방식으로 나눌 수 있다. 임펠러를 이용한 저속 교반기는 국내에서 개발되어 사용하고 있으나 구조적인 한계로 인해 교반 성능이 저하되고, 기포를 효과적으로 제거하지 못하는 한계가 있다. 최근, 일본에서 상용화되고 있는 공전과 자전을 이용한 고속 교반기는 기존의 임펠러 방식의 저속 교반기가 아닌 진공상태에서 공전과 자전의 메커니즘을 이용하여 고속작동을 하는 신개념의 교반기로 상기의 문제

점을 개선할 수 있는 제품이다. 이 제품은 고속 회전상태에서 공전과 자전에 의한 유체간의 교차와 마찰에 의하여 혼합이 이루어지고, 진공 방식을 채용해 작은 기포까지 제거할 수 있는 방식으로 고순도 제품제조에 적용하고 있다. 공전 및 자전 유성식 교반방식의 주 핵심과제는 자전과 공전의 구동 메커니즘 설계, 고속 회전 시 발생하는 진동 및 소음저감 설계, 대상유체의 혼합 성능을 향상하고, 부품이 신뢰성 확보를 위한 열방출 설계 등 복합적인 고도의 기술이 요구된다.

국내 업체에서는 기존의 스크류 형상의 교반기에 대해서는 제품이 개발되어 진동저감을 위한 연구[1] 등이 발표되어 있으나, 자전과 공전을 이용한 고속 진공교반기에 대해서는 국내에서는 시제품 개발 단계에 있으며, 주요 평가지표인 진동소음 및 열적 특성에 대한 평가는 물론 이와 관련된 자료가 없고, 다양한 연구가 국내에서는 아직 이루어지지 않고 있다.

본 연구는 공전과 자전을 이용한 유성식 교반기의 진

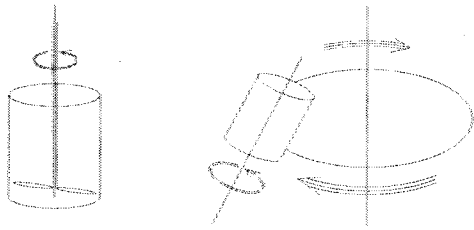
<sup>1</sup>경기공업대학 자동차로봇과

\*교신저자: 이진갑(ljk@kinst.ac.kr)

동소음 및 신뢰성 확보를 위한 사전 단계로써, 교반기의 동적 특성을 진동, 소음실험을 통해 정량적으로 평가하였고, 진동 발생원을 규명하였으며, 회전 시 열적 특성 평가를 위해 부위별 온도 측정을 실시하였다.

## 2. 교반기의 구조

기존 임펠러 방식의 교반기와 본 연구의 교반기의 개념도를 그림 1에 나타내었다. 임펠러 방식의 교반기의 구조는 유체를 구속시키는 교반조 속에 유체의 유동을 직접적으로 유발시키는 임펠러와 임펠러를 회전시키는 교반기축, 동력을 전달하는 모터와 감속기로 이루어져 있다. 교반기 축의 회전에 따라 유동을 발생시켜 오염 물질 제거를 위한 약품을 원활하게 혼합하는 역할을 한다.

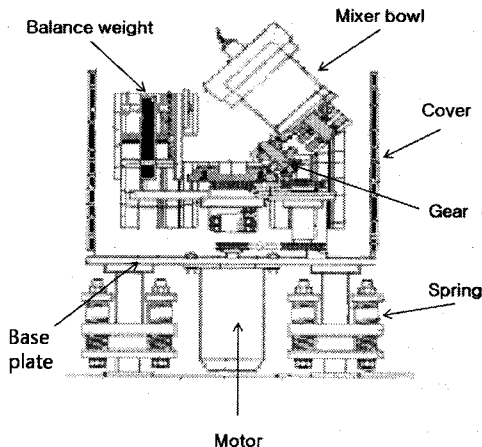


(a) 임펠러 타입

(b) 유성 타입

[그림 1] 교반기의 종류

유성식 교반장치는 진공상태에서 고속회전체에 의한 자전과 공전을 이용하는 방식으로 구조로 그림 2에 단면도를 나타내었다.



[그림 2] 교반기의 단면도

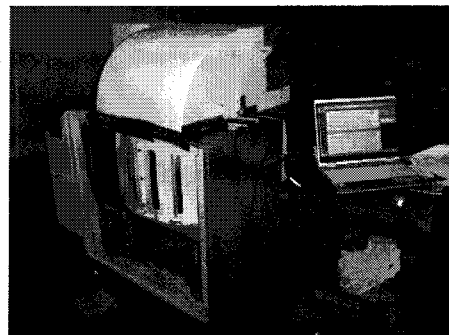
교반기는 하부에 위치한 모터 구동부, 교반용기(Mixer bowl)의 회전부, 교반용기의 불평형 질량을 보정하기 위한 밸런스 웨이트부(Balance weight), 자전과 공전운동을 형성하기 위해 기어로 구성된 운동전달부로 구분된다. 베이스 판(base plate)의 중심부 하측에 구동모터가 위치되어 있고 모터의 회전력이 벨트를 통해 고정 베벨기어와 고정 베벨기어와 맞물리는 회전 베벨기어로 전달된다. 액체가 담긴 교반용기는 회전 베벨기어 축에 위치되어 있으며, 모터의 회전이 베벨기어로 인해 공전 회전을 하게 되어 용기 내용물의 혼합 및 탈포작업을 할 수 있다. 각 회전 수단의 하측에는 베이스와 케이스를 연결하는 완충장치가 구비되어 기기의 작동시 발생하는 진동을 최소화할 수 있다. 또한, 교반용기의 반대방향에 위치한 밸런스 웨이트(Balance weight)는 불평형 질량을 보정하기 위한 것으로 왕복이동이 가능한 편심량이 구비되어 교반용기의 불평형량을 조정할 수 있다.

## 3. 진동 및 소음 특성 실험

본 실험은 회전시 발생하는 진동과 소음을 정량적, 정성적으로 평가하고, 주 진동원 규명을 위해 주요 부품의 동특성 평가를 수행하였다[2].

### 3.1 실험 장치

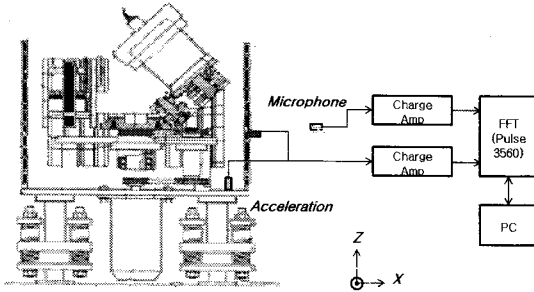
그림 3은 본 실험 대상인 교반기의 외관과 실험장치이다.



[그림 3] 교반기의 외관과 실험장치

진동소음 측정은 KS B ISO 10816[3], KS A ISO 11201[4]를 참조하였다. 진동측정은 가속도계를 사용하여 정상상태와 과도상태에서 측정하였으며, 소음은 정상상태에서 마이크로폰으로 측정하였다. 그림 4에 진동소음을 측정하기 위한 장치 구성도를 나타내었다.

가속도계는 베이스 판과 케이스와 부착하였으며, 소음을 측정하는 마이크로폰은 제품 표면에서 약 50cm 지점에 설치하였다. 부착된 가속도계와 마이크로폰의 신호는 전용 앰프와 연결하여 발생하는 신호를 FFT를 통하여 분석하였다. 사용한 주파수 분석기는 B&K PULSE 3560이다.



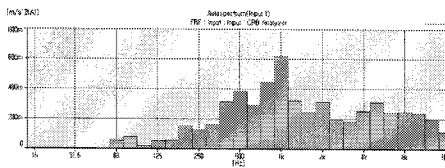
[그림 4] 실험 장치도

### 3.2 실험 결과 및 고찰

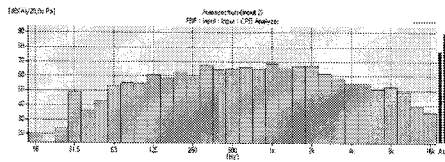
정상조건은 1000rpm에 도달한 이후에 측정하였고, 과도진동 측정은 전원 인가 후 정상조건 of 회전수에 도달하기 까지 약 25초 동안의 가속도 신호를 측정하였다. 각 부위의 동특성은 각 부위별로 충격 가진을 하여 신호를 분석하였다.

#### 3.2.1 정상상태의 진동소음

교반기의 외부 케이스에서 x방향에서 측정한 정상상태의 진동, 소음 측정치는 그림 5 와 같다.



(a) 진동



(b) 소음

[그림 5] 진동 과 소음 스펙트럼

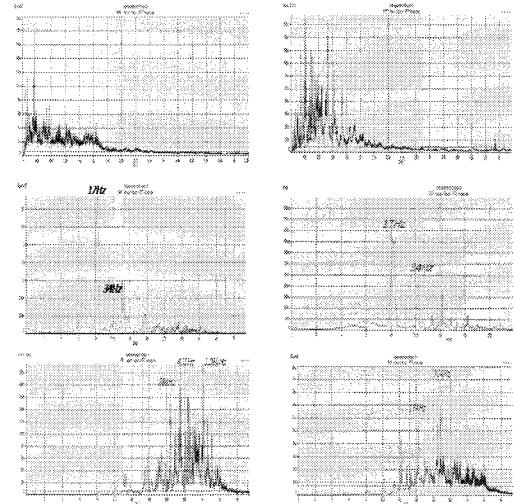
그림 5의 진동과 소음의 RMS 레벨을 표 1에 정리하였다. 외부 케이스 x 방향의 진동가속도는  $1.27\text{m/s}^2$  이며 소음은 74.4 dB(A), y 방향의 진동가속도는  $0.3\text{m/s}^2$  이며,

소음은 73.9 dB(A)이다.

[표 1] 진동과 소음 레벨

| 측정 방향 | 진동          |                           | 소음 (dB(A)) |
|-------|-------------|---------------------------|------------|
|       | 속도 (mm/sec) | 가속도 (m/sec <sup>2</sup> ) |            |
| X     | 0.67        | 1.27                      | 74.4       |
| Y     | 0.37        | 0.3                       | 73.9       |

베이스 판에서 측정한 정상상태의 x 방향의 진동과 제품 표면에서 측정한 소음의 주파수 특성은 그림 6과 같다. 그림 6의 상단은 리니어 스케일(linear scale)스케일, 중앙부는 x축을 로그 스케일(log. scale), 하단은 로그 스케일(log. scale)에 A weight를 한 것이다.



(a) 진동

(b) 소음

[그림 6] 진동과 소음 스펙트럼 (narrow band)

그림 6의 x, y 방향의 진동 및 소음의 주요 주파수를 표 2에 나타내었다.

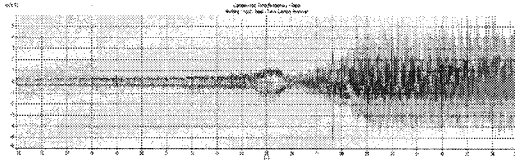
[표 2] 각부의 주요 주파수

| Direction | Vibration (Hz)         | Noise (Hz)   |
|-----------|------------------------|--------------|
| X         | 17, 284, 431, 1060     | 17, 134, 334 |
| Y         | 17, 200, 518, 612, 708 | 334          |

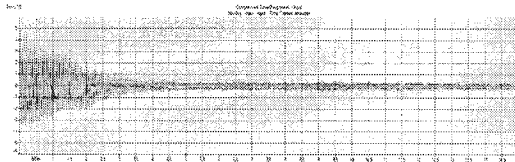
그림 6의 중앙에 보인 17Hz, 34Hz는 교반기 자체의 회전수(1040rpm)에 의해 발생하는 1x, 2x의 조화진동이다. 이 주파수의 진동레벨이 상대적으로 크기 때문에 회전 불평형(unbalance)으로 추정할 수 있다.

### 3.2.2 과도상태의 진동특성

교반기에 전원을 인가하고, 전원을 끌 때 일정한 시간 동안에 나타나는 동특성을 x방향에서 측정하였다. 그림 7은 시간영역에서의 가속도 특성과 그림 8은 시간영역에서의 주파수 특성을 나타내었다. 그림 7 (a)에서 보이는 25sec에서 발생하는 피크 성분은 그림 7 (b)에서는 나타나지 않고, 그림 8 (a)에서 볼 수 있듯이 대부분의 주파수 성분에 영향을 미치므로 교반기 내부의 이상 충격가진에 의해 나타나는 현상으로 유추할 수 있다.

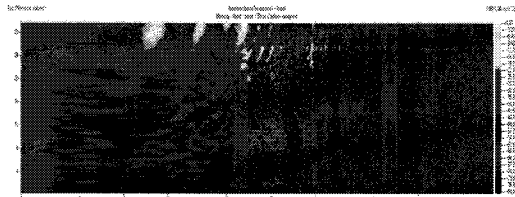


(a) start up

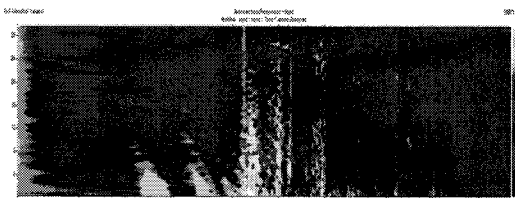


(b) shut down

[그림 7] 과도 응답 특성 (시간 : 가속도)



(a) start up



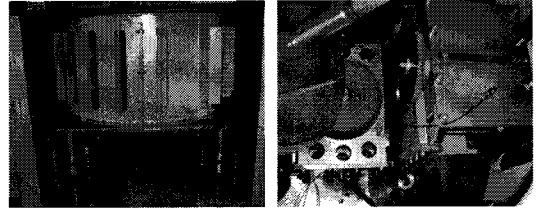
(b) shut down

[그림 8] 과도응답 특성 (주파수 : 시간)

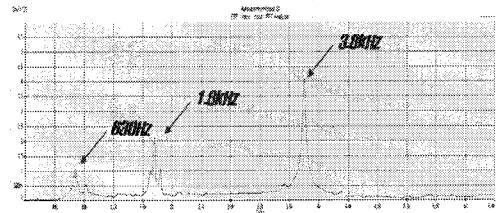
그림 8에서 회전주파수의 1x 성분인 17Hz의 주파수가 제일 크므로 주요 진동은 주로 언밸런스에 의해 가진됨을 알 수 있다.

### 3.2.3 구조물의 동특성

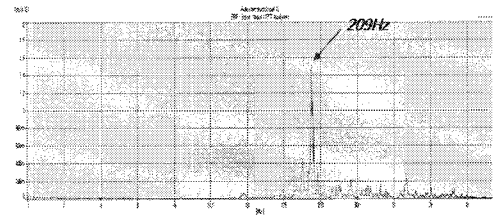
교반기의 주요 부위인 베이스 판 부위, 커버 부위, 밸런스 웨이터 부위별로 동특성을 측정하였다. 그림 9는 측정 부위의 사진, 그림 10은 각 부위별의 x방향으로 가진한 주파수 특성이다.



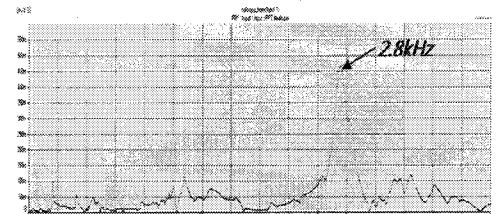
(a) 베이스, 커버 (b) 밸런스 웨이터  
[그림 9] 측정 부위



(a) 베이스 조립부



(b) 커버 조립부



(c) 밸런스 웨이트 조립부

[그림 10] 각 조립부의 주파수 응답 특성

각 부위별로 x, y 방향으로 가진한 피크 주파수는 표 3에 표시하였다. 표 2의 피크주파수 612Hz, 1059Hz는 베이스 판, 209Hz는 케이스의 공진 주파수이다.

[표 3] 각 부의 주요 주파수

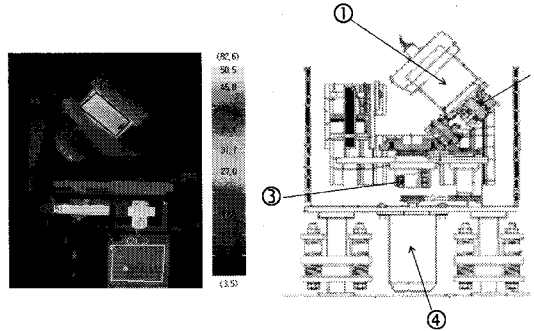
| 측정 부위      | 피크 주파수 (Hz)           |
|------------|-----------------------|
| Base Plate | 630, 1100, 1800, 3800 |
| Cover      | 209, 225, 450         |
| B/W Ass'y  | 320, 2000, 2800, 2150 |

#### 4. 교반기의 방열 특성 실험

교반기의 교반 유체의 성능향상 및 부품의 신뢰성 확보를 위해 회전시 주요부위의 온도 특성을 파악하는 것이 중요하다. 모터의 회전에 의해 발생하는 열과 베벨기어 등의 재료의 마찰에 의해 발생하는 열이 결합하여 모터와 베어링 부위의 내구성 부족으로 이어지고, 교반 성능의 저하를 초래한다. 따라서, 열에 대한 대책을 수립하기 위해서는 교반기 전체 온도에 어느 부위의 온도가 지배적으로 영향을 미치는지를 각 부위의 온도를 측정하여 정량적, 정성적으로 분석할 필요가 있다.

대부분의 온도측정은 측정 대상 물체의 표면온도를 접촉식으로 측정하는 방법인데, 이 방법은 측정물체가 회전하거나, 협소한 공간에 있어 접근이 어려운 경우 측정에 단점이 있었다. 적외선 열화상 장치는 비접촉 방식으로 온도를 측정할 수 있기 때문에 이런 단점을 대부분 해소할 수 있다. 이 장치는 물체에서 방사하는 열 적외선을 검출해 온도를 측정하고 측정된 온도 변화를 컬러 영상으로 처리해 측정자가 쉽고 정확하게 측정대상 물체의 온도값을 확인할 수 있다. 본 실험에 사용한 적외선 열화상 장치는 NEC(TH9100MV)이고, 대상물의 반사율을 일정하게 하기 위해 주요 측정부위를 흑색으로 채색하였다.

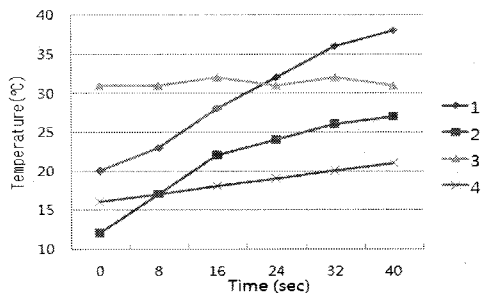
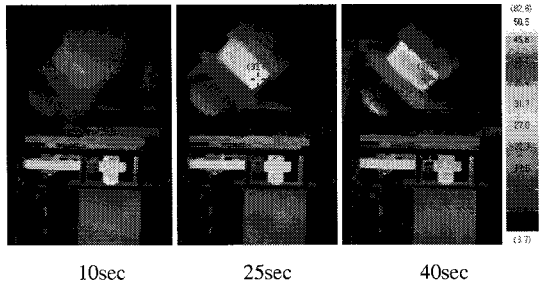
그림 11은 구동을 시작하여 정상조건에서 1분 후의 주요 부위별 온도분포를 보여주고 있고, 표 4는 각 부위별 온도를 나타내었다. 교반용기(1), 베벨기어(2) 기어(3), 모터(4) 중에서 교반용기(1)의 온도가 제일 높은 것을 알 수 있다. 그림 12는 구동 후 40초 동안의 온도분포 양상을 보여주고 있다. 교반용기(1)의 온도상승이 타 부위에 비해서 상대적으로 제일 높은 것을 알 수 있다. 교반용기(1)의 내부에 위치한 교반유체가 회전에 의해 온도가 상승하는 부분이 지배적이고, 타 부위인 기어부위의 마찰에 의한 열이 교반용기에 전달되어 상승작용을 한 것으로 유추된다.



[그림 11] 교반기의 온도 분포

[표 4] 각 부의 온도

| Nr.       | 1          | 2          | 3    | 4     |
|-----------|------------|------------|------|-------|
| Positon   | Mixer bowl | Bevel Gear | Gear | Motor |
| Temp.(°C) | 37.6       | 27.6       | 32.5 | 21    |



[그림 12] 시간에 따른 교반기의 온도양상

#### 5. 결론

본 논문에서는 피 처리물을 교반 및 탈포하기 위하여 사용하는 공전 및 자전방식 유성식 교반기를 대상으로

진동소음, 열적 특성을 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 교반기 진동의 주된 원인은 교반용기(mixer bowl)의 회전에 의한 불균형으로, 진동이 기어를 거쳐 케이스로 전달된다.
- 2) 교반기의 진동을 저감하기 위해서는 밸런스 웨이터(balance weight)의 최적설계가 요구되며 이를 위해 정확한 무게중심의 파악이 필요하다. 또한, 부품의 공진에 의한 진동을 줄이기 위해 베이스판과 케이스의 설계변경이 필요하다.
- 3) 교반기의 온도 분포는 교반용기(mixer bowl)부위의 온도가 전체온도에서 상대적으로 제일 높으며, 하단의 베벨기어부의 온도가 믹서 볼 부위에 전달되어 상승된다.

## 참고문헌

- [1] 박진호 외, “교반기 진동 해석 기술 개발”, 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 421-426, 2003
- [2] Goodwin, M.J., "Dynamics of Rotor-Bearing Systems," Unwin Hyman, London, 1989
- [3] KS B ISO 10816-1: 기계적 진동-비회전부의 측정에 의한 기계진동의 평가, 한국표준협회, 2001
- [4] KS A ISO 11201\_2002: 음향-기계 설비류에서 방사되는 소음-작업위치 및 그외 위치에서의 방사음압 레벨 측정방법, 한국표준협회, 2001

이진갑(Jin-Kab Lee)

[정회원]



- 1993년 4월 : Ruhr-University Bochum (독일, Dr.-Ing.)
- 1984년 ~ 2001년 : LG전자 책임연구원
- 2001년 ~ 현재 : 경기공업대학 자동화로봇과 교수

<관심분야>

진동소음, 회전체 동역학, CAE