

## 트래블러의 마찰·마모와 진동·소음과의 관계

### 1. 서 언

링정방기에서 방출된 실은 強力과 柔軟性에서 매우 우수하기 때문에 지금도 실 생산의 주류를 이루고 있다. 그러나 링정방기는 트래블러의 高速化라는 큰 과제를 안고 있다. 최근 정방기의 고속화를 위해 회전전달기구의 개량 등 하드웨어쪽의 개발과 변속조건의 개량 등 소프트웨어쪽의 개발이 병행하여 진행되고 있다.

정방영역에 대해서는 H. W. Krause 등이 벌루닝에 대한 역학적인 해석을 하고 있다. 또한 C. A. Prosino는 벌룬 스트레치의 길이와 링 직경 및 트래블러의 수명에 대한 실험결과를 발표하였다. H. Stalder는 링 및 트래블러의 形狀 개량으로 고속화를 도모하여 종래의 SU링을 개량한 Orbit링을 발표하였고, E. Sonntag는 T형 플랜지와 Oblique 플랜지에 트래블러를 길들이기 할 때의 응력을 해석하고, 트래블러의 塑性변화와 표면흡이 방출성능에 영향을 미친다는 결과를 발표하였다. 링 및 트래블러의 형상은 현재 T형 플랜지가 일반적으로 채용되고 있는데, 이것은 T형 링이 섬유의 종류와 실의 변수에 대해 범용성이 높다는 큰 이점이 있기 때문이다. 다만 T형 링은 고속화에 의해 트래블러의 불안정한 주행과 급속한 트래블러의 마모가 발생하기 쉽기 때문에 트래블러 상태의 계측과 관리가 특히 중요하다.

따라서 링정방기의 관리에서는 링과 트래블러의 안정성이 매우 중요하다. 현재 실험실 수준에서 정량적으로 검출할 수 있는 것으로는, 예를 들면 下間, 藤井 등이 고안한 실험장치로 방출장력, 링과 트래블러간 미끄럼마찰력(sliding frictional force), 링플랜지 內面の 전기저항値, 트래블러의 마모량 등이 있다. 이들은 모두 특별히 제작된 측정용

방적설비가 필요하거나, 사용 후에 측정평가하는 방식이기 때문에 생산현장에서 온라인으로 측정하고, 그에 의해 운전을 관리하는 데는 적합하지 않다.

경험에 의해 얻을 수 있는 평가의 한 인자로서 진동·소음이 있다. 경험적으로 소음이 큰 경우에는 마찰계수가 크므로 트래블러의 그을림, 마모 및 사절이 증가하는 경향이 있다. 여기서는 이러한 사실을 고려하여 진동과 소음에 대한 정량적 측정으로 트래블러 운동상태의 온라인평가를 계획하고 있다. 따라서 이들 측정평가법을 개발하기 위한 기초연구로서 트래블러의 주행중 발생하는 소음·진동과 제반 인자와의 관계를 연구하였다. 링과 트래블러의 진동에 대해서는 이미 藤野, 下間가 트래블러의 굴곡에 대한 고유진동주기를 계산하고, 그것이 링內面 波狀마모의 굴곡주기와 일치하는 것을 밝혔다. 또한 세번수인 경우와 트래블러가 가벼운 경우에는 진동주기가 작아진다는 결과를 얻었다. O. König는 트래블러의 발열과 진동 관계의 측정과 탄성진동에 대한 해석을 하였다.

여기서는 진동·소음을 계측하여 트래블러의 운동상태를 온라인으로 평가하는 시스템을 개발하기 위한 기초연구로서, 또한 진동·소음측정에 의한 트래블러의 성능평가 기법을 확립하기 위하여 각 회전속도에서 진동·소음, 방출장력, 링·트래블러간 미끄럼마찰력, 마모량과 그에 대응하는 진동·소음을 측정하고, 그들과의 상관관계를 검토하기로 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 실험용 정방기와 측정장치

측정에는 실험용 정방기를 제작하여 사용하였으며, 주요부분의 구조와 규격은 <그림 1>에 나타냈다. 방출장력은 <그림 1>의 프런트 로울러와 스네일 와이어 사이에 Tension meter pick-up(에이코測器 SP-15형)을 설치하여 트래블러·링의 미끄럼마찰력과 동시에 측정하였다. 트래블러 이외에

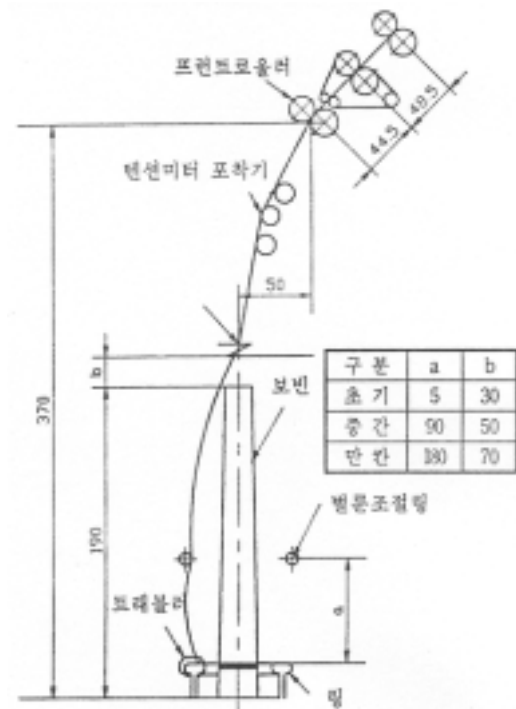
기인하는 진동은 壓電型진동계(IMV株 PS-2001)를 사용하여 측정하였다. <그림 2>에 나타난 것처럼 픽업을 링에 부착하여 진동가속도를 검출하였다. 또한 링레일로부터의 진동을 絶緣하기 위하여 주로 퍼플루오로에틸렌樹脂로 제작한 회전링用 홀더를 사용하였다.

소음측정에는 騒音計(리온社 NA-07)를 사용하였고, 콘덴서 마이크로폰을 <그림 3>에 나타난 위치에 설치하였다. 미끄럼마찰력에 대해서는 트래블러에서 링에 작용하는 마찰력을 <그림 4>에 나타난 것처럼 회전이 자유롭도록 볼베어링으로 지지되어 있는 링주위에 감긴 가는 끈에 걸리는 힘을 측정하여 구하였다. 끈 장력의 측정에는 3로올러식 장력계를 사용하였다. 보빈회전수(스핀들 회전수)는 500 30,000rpm의 범위에서 임의로 설정이 가능하지만, 본 실험에서는 15,000 20,000rpm의 범위에서 측정하였다. 진동과 소음 데이터는 전체값(overall値, OA値)과 함께 FFT분석기(다케다理研 TR9405)로 분석한 각 진동수의 성분을 산출하였다. 여기서 사용한 진동계는 1g의 가속도에 대해 60mV의 전압을 출력한다. 또 FFT분석기는 입력전압(V)에 대해  $20\log\{\text{입력전압(V)}\}$  dB를 표시한다. 본 연구에서는 이것을 진동수준으로 하여 사용하였다. 회전수 이외의 방출조건은 <표 1>과 같다.

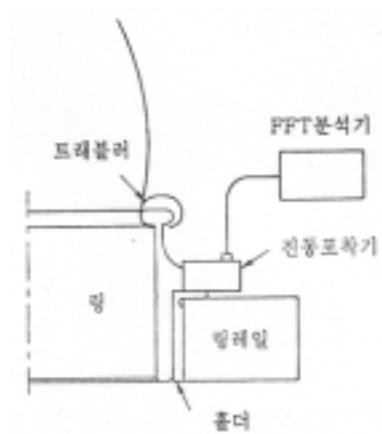
<표 1> 방출조건

| 항 목     | 조 건            |
|---------|----------------|
| 섬유종류    | 면              |
| 변수      | Ne 40(14.8tex) |
| 꼬임수     | 905 T/m        |
| 링 규격    | KS2 type, Ø41  |
| 트래블러    | MS/hf type     |
| 와인딩 리프트 | 275mm          |
| 와인딩 직경  | Ø38mm          |

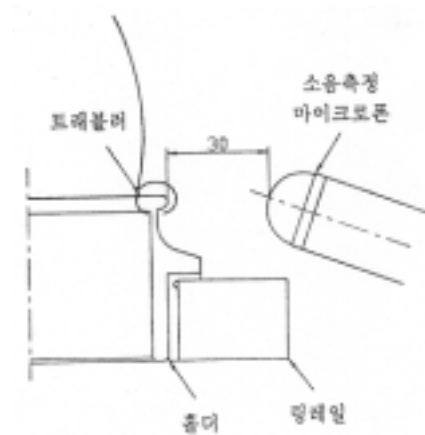
|       |       |
|-------|-------|
| 보빈 직경 | Ø23mm |
|-------|-------|



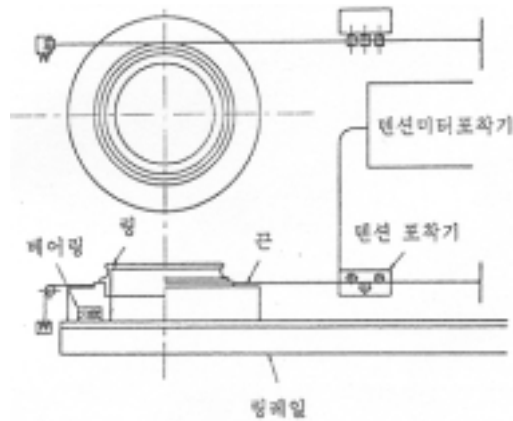
<그림1> Spinning zone(단위 : mm)



<그림2> 링진동(ring vibration) 측정방법



<그림 3> 소음(noise) 측정방법



<그림 4> 링과 트래블러간 마찰력 측정방법

## 2.2 트래블러

사용된 트래블러와 링의 규격은 <그림 5>와 같다. 트래블러는 MS/hf형으로 면사의 中변수방출에 가장 일반적으로 사용되고 있다. 트래블러의 재질은 硬鋼이고, 표면은 중심선 평균거칠기(Ra)가  $0.1\mu\text{m}$ 가 되도록 가공한 후, 硬質의 니켈도금( $5 \sim 8\mu\text{m}$ )을 하였다. 물론 각 속도에서 방출이 가능하며, 사용된 트래블러의 중량을 <표 2>에 나타냈다. 링의 재질은 크롬鋼이고, 규격은 플랜지 폭이 3.2mm, 內徑 41mm, T형 플랜지 링(KS 2형)으로 표면경도 Hv800 ~ 850, 표면거칠기는 중심선 평균거칠기(Ra)로  $0.1\mu\text{m}$ 이다.

<표 2> 트래블러중량

| 스핀들 속도(rpm) |                             | 15,000 | 16,000 | 17,000 | 18,000 | 19,000 | 20,000 |
|-------------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 트래블러<br>중량  | $\times 10^{-2}(\text{mN})$ | 4.14   | 3.75   | 3.44   | 3.16   | 2.79   | 2.63   |
|             | (mgf)                       | 42.2   | 38.1   | 34.9   | 31.8   | 29.7   | 28.1   |

| 구분   | 형태(단위 : mm)                                                                       | 재 질  | 규 격                                               |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------|
| 트래블러 |  | 高炭素鋼 | 타입: MS/hf<br>표면거칠기: Ra 0.1μm<br>硬니켈 도금            |
| 링    |  | 크롬鋼  | 타입: KS2<br>표면경도:<br>Hv 800 850<br>표면거칠기: Ra 0.1μm |

<그림 5> 트래블러와 링의 규격

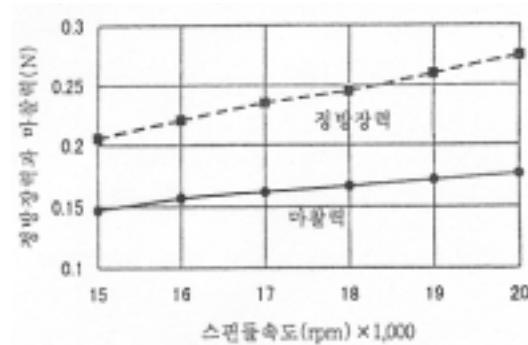
### 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 트래블러의 미끄럼마찰력과 마모

### 3.1.1 방출장력과 미끄럼마찰력

정방기의 운전제어관리를 온라인으로 하는 경우에 방출상태를 측정하는 중요한 요인의 하나는 방출장력이다. 실에 영향을 미치지 않도록 직접 온라인으로 방출장력을 측정하는 것은 곤란하지만 筆者는 트래블러가 링플랜지에 미치는 미끄럼마찰력을 계측하는 장치를 개발하여 사용함으로써 장력을 간접적으로 온라인제어하는 것이 가능하다고 생각하였기 때문에 운전중에 링플랜지가 받는 미끄럼마찰력과 텐션미터픽업에 의한 장력을 스피들 회전속도 15,000 20,000rpm의 사이에서 동시에 계측하고 그 결과를 <그림 6>에 나타냈으며, 미끄럼마찰력을 계측함으로써 방출장력을 간접적으로 온라인계측하는 것이 원리적으로 가능하다는 것을 알았다. 이

속도범위에서는 방출장력과 미끄럼마찰력은 모두 트래블러의 회전속도에 대해 거의 직선상태로 증가한다. 下圖의 실험도 역시 같은 경향을 나타낸다.



<그림 6> 링과 트래블러간 방출장력과 마찰력

### 3.1.2 마모량

트래블러의 마모에 따른 파손 및 열적 손상 등 운전중에 발생하는 문제점과 사품질 저하를 사전에 예방하기 위해서는 온라인에서의 트래블러의 마모량관리가 바람직하다.

신품의 트래블러를 사용하여 사용예정의 스핀들 회전속도 범위의 下限 15,000rpm 및 20,000rpm에서 2시간 방출한 후 트래블러의 마모량 측정결과를 <표 3>에 나타냈다. 당연한 결과로서 고속쪽이 마모량이 큰 것으로 나타났으며, 이는 고속인 경우가 원심력이 커서 링과 트래블러의 接壓力이 커지기 때문이라고 추정된다.

만약 ‘마모량이 미끄럼거리에 비례하고, 미끄럼거리당 마모량이 원심력에 비례한다’고 가정한다면 원심력은 스핀들 회전속도의 거의 2승에 비례한다고 볼 수 있으므로 마모량은 회전속도의 거의 3승에 비례하는 것이 된다.

<표 3>의 데이터에서는 두 회전속도비의 3승과 이에 대응하는 마모량의 비를 비교해 보면 매우 近似値가 된다. 그렇지만 다른 타입의 트래블러에

대해서 같은 측정을 해 보면 확실하게 마모량이 회전속도의 3승에 비례한다고는 말할 수 없기 때문에 일반적으로는 ‘스핀들 회전속도가 큰 쪽이 마모량이 커진다’라고 말할 수밖에 없다.

링과 트래블러의 마찰저항력과 마모량에 대한 日本綿業技術研究所의 연구논문도 같은 점을 설명하고 있다. 마모량은 미끄럼마모력 만큼 제반 인자와의 인과관계가 단순하지 않은 것 같다.

<표 3> 트래블러의 마모량(wear weight)

|               |                       |                       |
|---------------|-----------------------|-----------------------|
| 스핀들 속도        | 15,000rpm             | 20,000rpm             |
| 트래블러의 마모량(mN) | $2.01 \times 10^{-3}$ | $4.80 \times 10^{-3}$ |

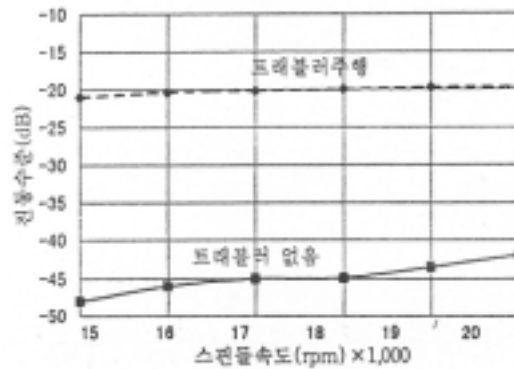
### 3.2 진동·소음수준

본 연구에서는 온라인으로, 또한 非접촉으로 트래블러의 상태를 측정할 수 있는 가능성이 있는 양으로서 진동·소음을 다루었으며, 측정결과와 고찰은 다음과 같다.

#### 3.2.1 진동수준

스핀들 회전속도와 트래블러의 진동수준과의 관계에 대한 측정결과를 <그림 7>에 나타냈다. 트래블러가 없는 경우의 진동수준이 있는 경우에 비해 20dB 이상 낮다. 이 점은 트래블러의 진동에 대해 링의 暗진동은 1/10 이하인 것을 의미한다. 따라서 링의 진동측정에 의해 트래블러에서 발생하는 각종 진동을 추측할 수가 있다.

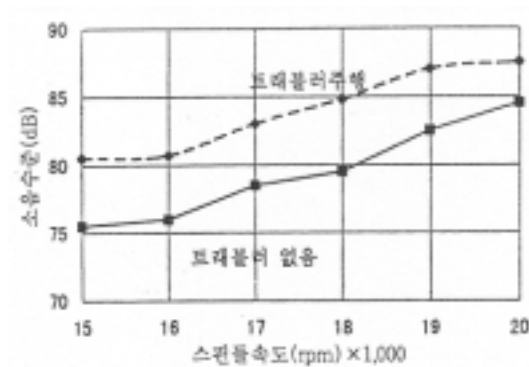




<그림 7> 링의 진동수준

### 3.2.2 소 음

스핀들 회전속도에 대한 트래블러 소음의 변화를 나타내면 <그림 8>과 같이 회전속도의 증가에 따라 소음이 증가하는데, 트래블러의 유무에 따른 소음수준의 차이는 약 5dB정도이므로 트래블러 주행시의 소음수준에는 트래블러의 주행에 기인하지 않는 소음이 꽤 포함되어 있는 것이 된다. 트래블러의 진동에 비해 트래블러에 기인하지 않은 진동을 많이 받아들이는 것은 먼 곳에 있는 발신원의 소음은 진동에 비해 減衰가 적고 잘 검출되기 때문이라고 생각할 수 있다.



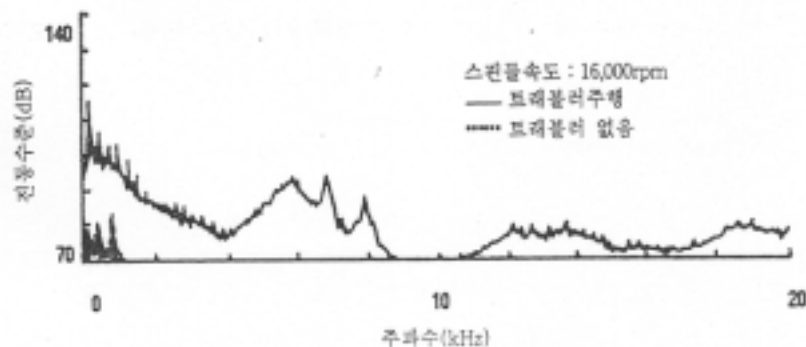
<그림 8> 링과 트래블러의 소음수준

### 3.3 진동·소음의 주파수분포

이상의 고찰에서는 진동·소음 모두 OA값으로 평가하였으나 각 주파수성분으로 보면 다음과 같다.

### 3.3.1 진동의 주파수분석

스핀들 회전속도 16,000rpm에서 측정한 진동을 주파수분석한 결과는 <그림 9>과 같다. <그림 7>의 결과에서도 트래블러 주행시의 경우에 비해 각 주파수성분의 어느 경우도 트래블러가 없는 경우에는 진동이 대략 25dB정도 작아진다. 따라서 트래블러 주행시에 측정된 70dB 이상의 진동은 대부분 트래블러에 기인하는 것임을 알 수 있다. 트래블러 주행시에 측정한 주파수 범위 내에서는 周期振動을 의미하는 불연속의 뾰족한 피크를 볼 수 있다. 4~9kHz 사이에서 완만한 모양의 큰 산이 몇개 나타난다. 10kHz 이상의 주파수영역에서는 수준(level)은 크지 않지만 진동이 발생하는 것을 알 수 있다.

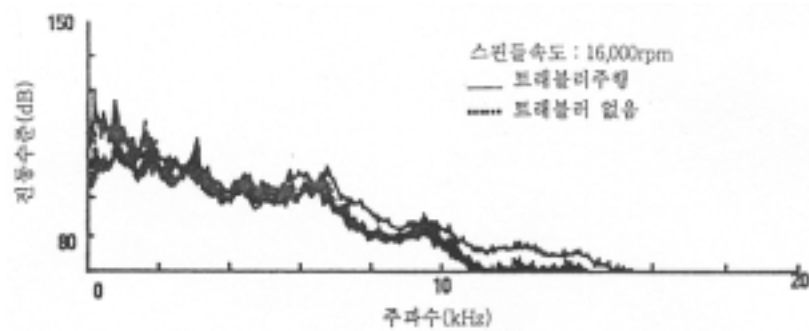


<그림 9> 트래블러 주행시 및 트래블러가 없는 경우, 링의 진동스펙트럼

### 3.3.2 소음의 주파수분석

<그림 9>와 동시에 측정한 소음 측정치에 대한 주파수 분석결과를 <그림 10>에 나타냈다. 진동의 경우와 달리 트래블러 주행시와 트래블러가 없을 때의 소음수준은 거의 쏠주파수에 걸쳐 그다지 차이가 없음을 알 수 있다.

트래블러 주행시와 그렇지 않은 경우의 소음수준에 대한 차이를 굳이 지적한다면 100Hz 이하의 낮은 주파수부분과 7kHz 이상 높은 주파수의 몇개 부분을 들 수 있다.



<그림 10> 트래블러 주행시 및 트래블러가 없는 경우에 대한  
링 소음스펙트럼

### 3.3.3 트래블러 강체(剛体)운동의 진동수

트래블러 주행시의 강체(rigid body)운동에 의한 진동에 대해서는 요잉(yawing), 로울링(rolling)의 주파수  $f_y$ ,  $f_r$ 로서 O. K nig가 다음 식을 제안하였다.

$$f_y = V_s / (2\pi) [2 / (3RS)]^{(1/2)} \quad \dots\dots(1)$$

$$f_r = V_s / (2\pi) [1 / (2RS)]^{(1/2)} \quad \dots\dots(2)$$

단,  $V_s$ 는 트래블러의 주행속도(mm/sec),  $S$ 는 트래블러 형상의 近似的인 반경,  $R$ 은 링의 반경이다. 본 실험의 경우  $R=20\text{mm}$ ,  $S=2\text{mm}$ , 트래블러의 회전속도=16,000rpm으로서, 이들 조건으로 계산을 하면  $f_y$  690Hz,  $f_r$  600Hz가 된다. 필자는 <그림 9>의 결과에서 이 주파수에는 트래블러에 기인하는 낮은 진동과 소음에 포함되어 있을 가능성이 있다고 생각한다. 높은 주파수에서의 소음에 대해서는 나중에 언급하기로 한다.

### 3.4 진동, 소음 및 마찰력의 상호관계

#### 3.4.1 진동과 소음의 주파수분포 비교

트래블러 주행시의 진동과 소음의 波形을 <그림 11>에 나타냈다. 진동이 낮은 위치에서 다음 낮은 위치까지가 트래블러가 링을 일주하는 시간과 거의 일치한다. 소음의 파형으로부터는 트래블러의 주행주기를 확실히 알 수는 없다. <그림 12>는 <그림 11>의 파형을 주파수분석한 결과를 나타낸다. 2kHz 이하의 주파수에 대한 진동과 소음에서의 요철은 서로 매우 잘 대응하고 있다. 5 ~ 8kHz에서 보이는 소음의 피크는 진동에서도 같은 피크를 볼 수 있다는 점에서 진동에 기인하는 것이라고 생각된다. 이보다 높은 주파수 범위에서는 진동과 소음수준이 반드시 대응하지는 않는다. 이것은 流体力學的인 소음이 발생하기 때문이라고 추측된다. <그림 9>와 <그림 10>의 진동·소음 데이터로부터 진동수준과 소음수준의 相關을 나타내면 <그림 13>과 같이 된다. 트래블러가 주행하는 경우와 트래블러가 없는 경우 모두 거의 직선관계를 보이고 있다.

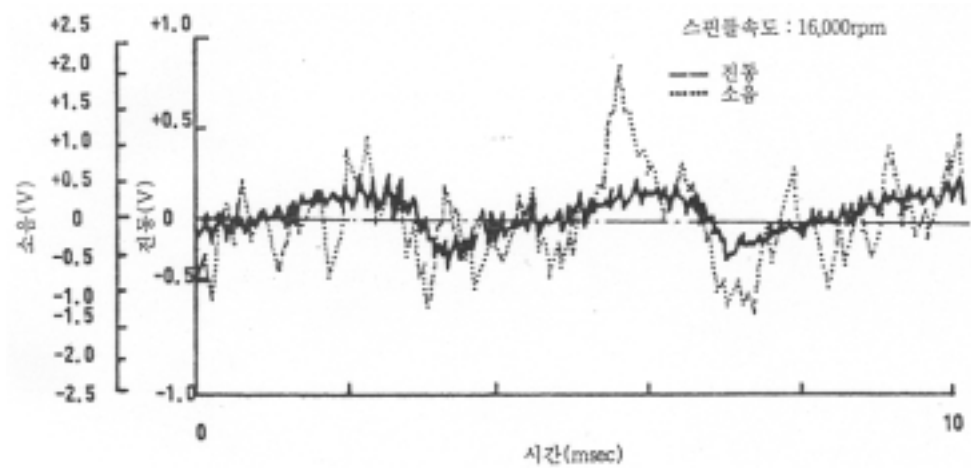
#### 3.4.2 마찰력과 진동수준

<그림 6>과 <그림 7>에서 마찰력과 진동수준의 관계를 표시하면 <그림 14>와 같이 된다. 마찰력 증가에 따라 진동수준은 거의 직선적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

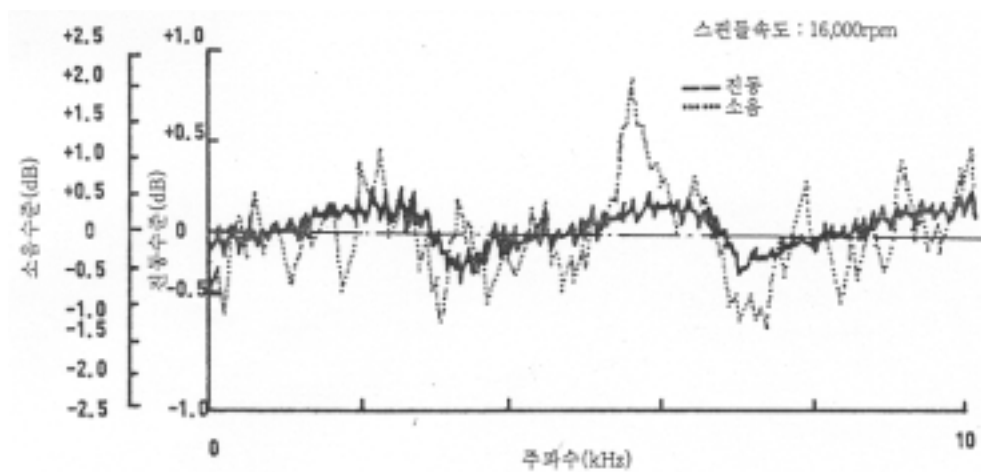
#### 3.4.3 마찰력과 소음수준

같은 식으로 마찰력과 소음수준의 관계를 나타내면 <그림 15>와 같이 된다. 마찰력과 소음간에도 진동과의 관계와 마찬가지로 직선적인 관계가 認知된다. <그림 14, 15>에 의하면 정방기 운전중에 진동과 소음을 측정함으로써 마찰력을 추정하는 것이 어느정도 가능하다는 것을 알 수 있다. 실제로 방적공장에서도 이상한 소음과 방출사의 진동을 사람의 감각에

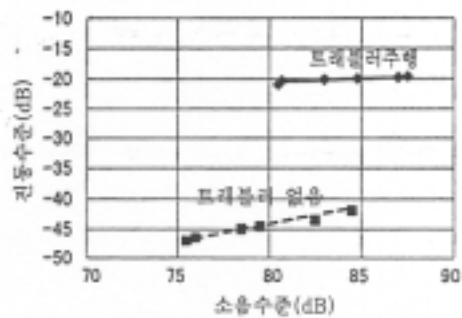
의해 인식함으로써 트래블러와 링의 마찰상황 및 거동을 추정하고 있지만, 위의 자료는 이들을 입증하는 데이터로서 의의가 있다.



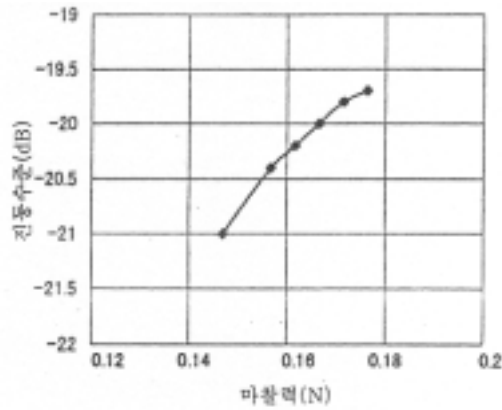
<그림 11> 진동과 소음의 파형



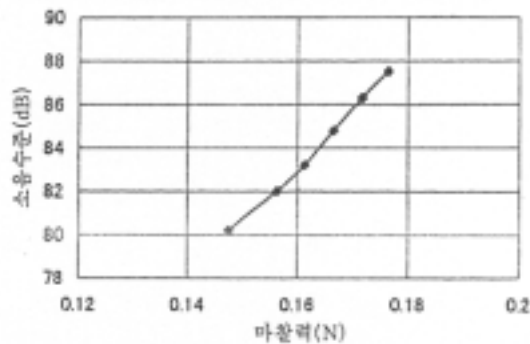
<그림 12> 진동과 소음의 스펙트럼



<그림 13> 진동과 소음과의 상호관계



<그림 14> 트래블러의 진동과 마찰력과의 상호관계



<그림 15> 트래블러의 소음과 마찰력과의 상호관계

### 3.5 진동 주파수분포의 성질

<그림 16>은 스피들 회전속도가 16,000, 18,000, 20,000rpm인 경우에 대한 진동 주파수를 비교하기 위해 나타낸 것이다. 그림으로는 알기 어렵겠지만 조사해 보면 낮은 주파수(2kHz 이하)에 대한 진동수준의 피크는 스피들 회전속도의 상승에 따라 매우 규칙적으로 그 간격이 커진다. 이에 비해 이보다 높은 주파수에서는 스피들 회전속도의 상승에 대한 규칙적인 변화는 보이지 않는다.

藤野, 下間은 트래블러의 탄성굴곡에 대한 고유진동수(Hz)를 계산하기

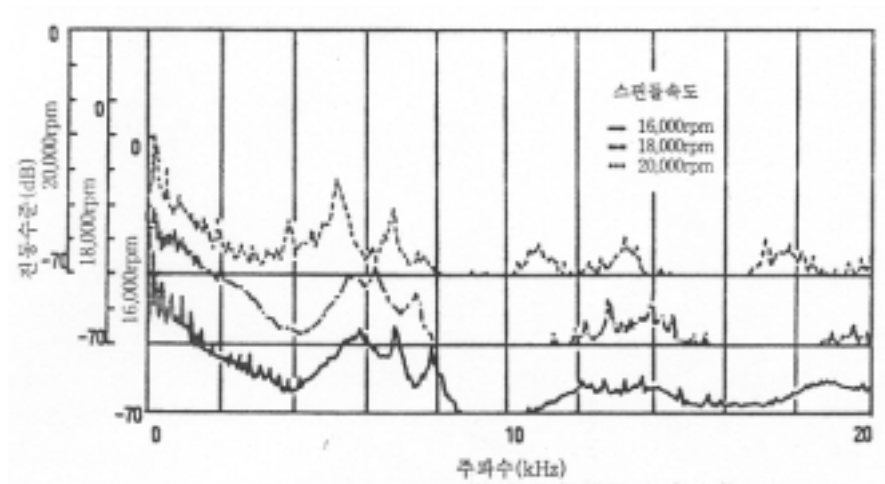
위해 다음 식을 제안하였다.

$$F=3.515h/(2\pi L^2)[E/12\rho]^{(1/2)} \quad \dots\dots(3)$$

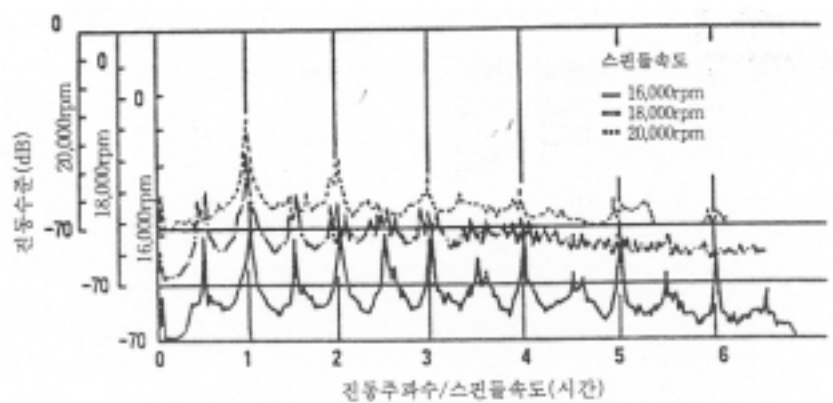
단, E는 트래블러의 縱탄성계수(N/m<sup>2</sup>), L, h는 트래블러의 유효길이와 굽기(m), ρ는 트래블러 재료의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)이다. 이번 실험에 대해 E=2×10<sup>11</sup>N/m<sup>2</sup>, ρ=7.9×10<sup>3</sup>kg/m<sup>3</sup>, L=6×10<sup>-3</sup>m, h=0.310<sup>-3</sup>m이라고 하면 f 6,770Hz가 된다. 따라서 5,000 8,000Hz의 주파수는 트래블러의 탄성굴곡 진동에 기인하는 진동일 가능성이 높다. 이 진동은 <그림 12>를 보면 그다지 소음의 원인은 되지 않는다고 판단된다. 이보다 높은 주파수에 대해서는 공기흐름에 기인하는 진동을 생각할 수 있다. 물체 후방에 발생하는 剝離흐름의 주파수는 일반적으로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$f=Vc/d \quad \dots\dots\dots(4)$$

단, V는 트래블러의 주행속도(m/sec), d는 代表깃수로서 트래블러의 내경(m), c는 Strouhal數이다. 만약 d=3×10<sup>-4</sup> 6×10<sup>-4</sup>m, c=0.15 0.2, 트래블러의 회전속도=16,000 20,000rpm, 링 직경 4×10<sup>-2</sup>m라고 한다면 f=8,400 28,000Hz가 된다. 따라서 10kHz보다 높은 주파수는 공기역학적인 원인으로 일어났을 가능성이 높다. <그림 16>의 낮은 주파수로 보이는 피크의 예를 검토하기 위하여 낮은 주파수에 대해 스핀들 회전속도 각각에 대한 횡축 주파수를 스핀들 회전주파수 fo를 기준으로 표시하면 <그림 17>이 얻어진다. 피크는 모두 어떤 스핀들 회전속도에서도 스핀들 회전주파수 fo의 정수배 위치에서 발생하고 있음을 알 수 있다. 트래블러의 회전속도는 스핀들 회전속도와 몇%밖에 차이가 나지 않는 것을 고려하면, 낮은 주파수부분의 피크는 트래블러의 주행주기와 일치하며, 트래블러가 링에 힘을 미침으로써 야기되는 진동에 의한 것임을 알 수 있다.



<그림 16> 진동스펙트럼의 피크위치



<그림 17> 진동스펙트럼과 스핀들 속도간의 상호관계

#### 4. 결 언

링정방기에서 트래블러 성능의 측정 및 온라인관리의 수단으로서 운동중의 진동과 소음을 측정하여 스핀들 회전속도, 방출장력, 트래블러의 마찰력, 마모량의 관계를 연구하고, 다음의 결과를 얻었다.

- ①방출장력과 링·트래블러의 미끄럼마찰력은 스핀들 회전속도의 증가와 함께 직선으로 증가한다.
- ②트래블러의 미끄럼마찰력이 클수록 마모량도 커진다.
- ③트래블러의 진동수준은 스핀들 회전속도와 함께 약간 증가한다.



④2kHz 이하 주파수에서의 진동과 소음수준의 요철은 서로 매우 잘 대응하지만, 8kHz를 초과하는 높은 주파수 범위에서는 대응하지 않는다. 이것은 유체역학적인 소음이 발생하기 때문이라고 추측된다.

⑤진동과 소음의 수준은 거의 직선적인 관계를 나타낸다.

⑥진동이 낮은 주파수의 진동수준은 스피들 회전속도의 상승에 따라 규칙적인 피크간격이 넓어 지는 반면, 높은 주파수의 진동수준에서는 이것을 볼 수 없다.

⑦5 8kHz의 주파수는 트래블러의 탄성굴곡 진동에 기인하는 진동일 가능성이 크다. 10kHz를 초과하는 높은 진동에 대해서는 공기흐름에 의한 진동이라고 생각될 수 있다.

⑧진동수 4kHz 정도까지는 주기적인 진동을 의미하는 피크가 보이는데, 이것은 트래블러의 주행으로 인해 발생한다고 생각할 수 있다.