

# Coil Spring 감쇠효과를 고려한 압축기 Loop-pipe의 동특성 해석

## Damping Effects of Coil Spring on Loop-pipe in a Compressor

전수홍†·이효재\*·정의봉\*\*

Soohong Jeon, Weuibong Jeong and Hyojae Lee

### 1. 서 론

압축기 loop-pipe에서 발생하는 진동을 줄이기 위하여 loop-pipe 주위에는 coil spring이 감겨져 있다. coil spring은 질량체 뿐만 아니라 감쇠체의 역할도 하게 된다. 본 연구에서는 coil spring의 감쇠효과를 고려한 loop-pipe의 동적 거동 해석을 수행함으로써, coil spring의 종류와 부착위치에 따른 특성을 알아보고자 한다.

### 2. loop pipe의 유한요소 모델링

#### 2.1 질량행렬

loop-pipe는 유한요소해석에서 사용되는 방법을 통하여 식(1)과 같이 운동에너지에 관한 식으로 나타낼 수 있다. coil spring이 감긴 부분은 질량을 고려하여 밀도를 적용하였고 면적은 고려하지 않았다. 여기서 면적(A)과 관성모멘트(I), 밀도(ρ)는 해당 요소의 성분이며, a는 요소길이의 1/2을 나타낸다.

$$K.E. = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}^T \frac{\rho A a}{3} \begin{bmatrix} 21 & \\ & 12 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \theta_{z1} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix}^T \frac{\rho I_z a}{3} \begin{bmatrix} 21 & \\ & 12 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_{z1} \\ \dot{\theta}_{z2} \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \theta_{z1} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix}^T \frac{\rho A a}{210(1+3\beta)^2} \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 & m_4 \\ m_2 & m_5 & m_4 & m_6 \\ m_3 & m_4 & m_1 & m_2 \\ m_4 & m_6 & m_2 & m_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_1 \\ \dot{v}_2 \\ \dot{\theta}_{z1} \\ \dot{\theta}_{z2} \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \theta_{y1} \\ \theta_{y2} \end{bmatrix}^T \frac{\rho I_y}{30a(1+3\beta)^2} \begin{bmatrix} m_7 & m_8 & m_7 & m_8 \\ m_8 & m_9 & m_8 & m_{10} \\ -m_7 & m_8 & m_{10} & m_8 \\ m_8 & m_{10} & m_8 & m_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{w}_1 \\ \dot{w}_2 \\ \dot{\theta}_{y1} \\ \dot{\theta}_{y2} \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{1}{2} \begin{bmatrix} w_1 \\ \theta_{y1} \\ w_2 \\ \theta_{y2} \end{bmatrix}^T \frac{\rho A a}{210(1+3\beta)^2} \begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 & m_4 \\ -m_2 & m_5 & m_4 & m_6 \\ m_3 & m_4 & m_1 & m_2 \\ -m_4 & m_6 & m_2 & m_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{w}_1 \\ \dot{\theta}_{y1} \\ \dot{w}_2 \\ \dot{\theta}_{y2} \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} w_1 \\ \theta_{y1} \\ w_2 \\ \theta_{y2} \end{bmatrix}^T \frac{\rho I_y}{30a(1+3\beta)^2} \begin{bmatrix} m_7 & m_8 & m_7 & m_8 \\ -m_8 & m_9 & m_8 & m_{10} \\ -m_7 & m_8 & m_{10} & m_8 \\ -m_8 & m_{10} & m_8 & m_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{w}_1 \\ \dot{\theta}_{y1} \\ \dot{w}_2 \\ \dot{\theta}_{y2} \end{bmatrix}$$

단,  $\beta = \frac{EI_z}{\kappa A G a^2}$

$m_1 = 156 + 882\beta + 1260\beta^2, m_2 = (44 + 231\beta + 315\beta^2)a$   
 $m_3 = 54 + 378\beta + 630\beta^2, m_4 = (-26 - 189\beta - 315\beta^2)a$   
 $m_5 = (16 + 84\beta + 126\beta^2)a^2, m_6 = (-12 - 84\beta - 126\beta^2)a^2$   
 $m_7 = 18, m_8 = (3 - 45\beta)a$   
 $m_9 = (8 + 30\beta + 180\beta^2)a^2, m_{10} = (-2 - 30\beta + 90\beta^2)a^2$  (1)

#### 2.2 강성행렬

loop-pipe의 강성행렬은 유한요소해석에서 사용되는 방법을 통하여 식(2)와 같이 위치에너지에 관한 식으로부터 유도할 수 있다. coil spring은 loop-pipe의 강성에 영향을 주지 않으므로 고려하지 않았다. 여기서 면적(A)과 관성모멘트(I, J), 탄성계수(E, G)는 해당 요소의 성분을 나타낸다.

$$P.E. = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}^T \frac{AE}{2a} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \theta_{z1} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix}^T \frac{GJ}{2a} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{z1} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \theta_{z1} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix}^T \frac{EI_z}{2a^3(1+3\beta)} \begin{bmatrix} 3 & 3a & -3 & 3a \\ 3a & (4+3\beta)a^2 & -3a & 3 \\ -3 & -3a & 3 & -3a \\ 3a & (2-3\beta)a^2 & -3a & (4+3\beta)a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \theta_{z1} \\ \theta_{z2} \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \theta_{y1} \\ \theta_{y2} \end{bmatrix}^T \frac{EI_z}{2a^3(1+3\beta)} \begin{bmatrix} 3 & -3a & -3 & -3a \\ -3a & (4+3\beta)a^2 & 3a & 3 \\ -3 & 3a & 3 & 3a \\ -3a & (2-3\beta)a^2 & 3a & (4+3\beta)a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \theta_{y1} \\ \theta_{y2} \end{bmatrix}$$

단,  $\beta = \frac{EI_z}{\kappa A G a^2}$  (2)

#### 2.3 감쇠행렬

비례점성감쇠행렬은 앞서 유도한 loop-pipe의 질량성분행렬과 강성성분행렬의 선형결합으로 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. 이 때, coil spring이 감긴 부분은 loop pipe만 있는 부분과

† 부산대학교 대학원 기계공학부  
 E-mail : jsh4188@pusan.ac.kr  
 Tel : (051) 510-3088, Fax : (051) 517-3805

\* LG전자  
 \*\* 부산대학교 기계공학부

다른 감쇠계수를 적용하였다.

$$[C]_{lp} = \alpha_{lp}[M]_{lp} + \beta_{lp}[K]_{lp} \quad (3)$$

각 모드별 감쇠는 식(4)와 같이 감쇠계수  $\alpha$ ,  $\beta$ 로 나타낼 수 있다. 이 식에서 저주파에서의 감쇠는  $\alpha$ 의 영향을 많이 받고, 고주파에서의 감쇠는  $\beta$ 의 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

$$\zeta_r = \frac{\alpha}{2\omega_r} + \frac{\beta\omega_r}{2}, \quad r = 1 \sim N \quad (4)$$

### 3. 결 과

#### 3.1 실험

coil spring의 종류와 위치에 따른 충격햄머 실험을 실시하였다. Table1과 같이 두 종류의 coil spring을 사용하였고, 길이는 각각 100, 200, 300(mm)로 하여 Fig.1에서 나타난 loop-pipe의 일부분에 위치시켰다.

Table1 실험에 사용한 coil spring의 사양

	length (mm)	outer diameter(mm)	thickness (mm)	density (kg/m <sup>3</sup> )
coil spring type1	100,200, 300	4.9	0.5	7850
coil spring type2	100,200, 300	5.3	0.8	7850

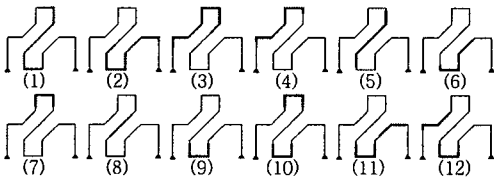


Fig.1 Coil spring의 부착위치

#### 3.2 감쇠특성

loop-pipe의 유한요소 모델링을 통하여 구성된 행렬식의 변수에 실험에서 사용한 모델의 정보와 구속조건 및 coil spring의 부착위치를 입력하고 해석을 수행하였다. 해석변수 중 감쇠계수  $\alpha$ ,  $\beta$ 를 바꾸어가며 해석을 수행하였고, 그 결과를 Fig.2와 같이 실험결과와 비교하여 잘 일치하는 경우의 감쇠계수를 구하여 Table2에서 정리하였다. 이 때, Table2의 case1~12는 Fig.1의 (1)~(12)에 해당한다.

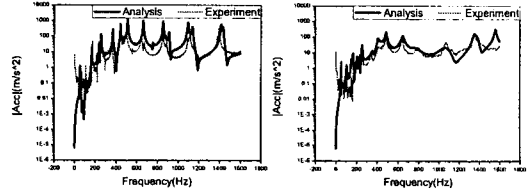


Fig.2 각 경우의 실험과 해석의 결과 비교

Table2 실험, 해석결과 비교로 구해진 coil spring의 감쇠계수

		coil type1		coil type2	
		$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
l=300(mm)	case1	10	0.00002	10	0.00005
	case2	10	0.0005	100	0.0001
	case3	50	0.0002	10	0.00001
l=200(mm)	case4	5	0.0002	10	0.00001
	case5	5	0.0003	50	0.00001
	case6	50	0.0003	100	0.00003
l=100(mm)	case7	50	0.0001	100	0.00005
	case8	100	0.0001	100	0.0001
	case9	10	0.0001	100	0.00005
l=100(mm) two pieces	case10	10	0.00008	10	0.00008
	case11	100	0.0001	10	0.00002
	case12	10	0.0002	10	0.00003
average		34.2	0.000183	50.8	0.000045

여기서 감쇠계수  $\alpha$ 의 평균값이 coil spring type2에서 약간 높음을 확인할 수 있었고, 감쇠계수  $\beta$ 의 평균값은 coil spring type1에서 더 높음을 알 수 있었다. 식(4)을 근거로 type2는 type1에 비하여  $\alpha$ 값이 커지기 때문에 저주파에 대한 감쇠영향이 커지고,  $\beta$ 값이 작아지기 때문에 고주파에 대한 감쇠영향이 작아진다는 것을 알 수 있었다.

### 4. 결 론

loop-pipe를 감고 있는 coil spring의 감쇠영향에 의한 동특성을 알아보기 위하여 충격햄머 실험과 유한요소해석을 실시하였다. 그리고 coil spring의 감쇠 특성을 규명하였다. 실험결과와 해석결과를 비교하여 유도해낸 감쇠계수의 경향을 통하여 coil spring의 굵기 및 질량이 커질수록 저주파에 대한 감쇠영향이 커지고, 고주파에 대한 감쇠영향이 작아진다는 것을 확인할 수 있었다. 앞으로 더욱 다양한 종류의 pipe와 coil의 조합을 구성하여 데이터를 구축할 필요가 있다.