

원심식 압축기 구동용 모터 베이스 프레임의 콘크리트 타설에 따른 구조안전성 평가

김민진¹ · 이재훈¹ · 한정삼^{2*}

¹(주)대주기계 유체기계기술연구소, ²안동대학교 기계설계공학과

Structural Safety Assessment of a Concrete-filled Base Frame Supporting a Motor for Centrifugal Compressor Drives

Min-Jin Kim¹, Jae-Hoon Lee¹ and Jeong-Sam Han^{2*}

¹Fluid Machinery Technology & Research Center, DAEJOO MACHINERY CO., LTD., Daegu, 42721, Korea

²Dept. of Mechanical Design Engineering, Andong Nat'l Univ., Andong, 36729, Korea

Abstract

In this paper, we perform structural analysis for a base frame which is used to support a motor for large centrifugal compressor drives and a safety assessment according to the concrete placement. First, the structural analysis about four loading conditions for the motor base frame was conducted and the structural safety was evaluated through both the maximum distortion energy theory and Mohr-Coulomb theory. It was possible to perform a more reasonable safety evaluation against local stresses occurring at the discontinuous portion of the fragile structural members by applying the safety assessment through ASME VIII Div. 2. In addition, the motor base frames with and without the internal concrete placement were quantitatively compared by the structural analysis and safety evaluation using ASME code and it was found to improve the structural integrity due to the concrete placement.

Keywords : motor base frame, centrifugal compressor drive, maximum distortion energy theory, mohr-coulomb theory, ASME code VIII Div. 2, stress linearization

1. 서 론

원심식 압축기는 고속으로 회전하는 임펠러를 통하여 기계적 에너지를 유체의 압력 및 운동에너지로 변환하는 대표적인 산업용 유체기계로 산업현장에서 다양한 방향으로 사용된다 (Kang, 2014). 원심식 압축기의 구조는 크게 오일탱크, 모터, 압축기, 열교환기 등으로 분류된다. 이러한 압축기의 용량이 커질수록 운용 시 발생하는 소음과 진동 또한 비례적으로 증가하며, 운용 시 발생하는 진동저감을 위해 주로 강성 강화 및 다양한 방법의 진동저감 방안이 적용되고 있다. 그 중에서 모터 베이스 프레임은 압축기 구동용 모터부를 지지하는 구조물로 진동흡수 및 운용상에 생기는 여러 가지 하중을

흡수하는 역할을 가지고 있다. 왕복동 압축기 설비의 경우에는 일반적으로 API Standard 618(API, 2007)에 규정된 설계기준을 따르는데 반하여 원심식 압축기 설비의 경우에는 일반적으로 모터 베이스 프레임이 모터 제조사에서 제공하는 하중 조건에 대한 구조안전성을 확보하도록 요구한다. 이렇듯 모터 베이스 프레임은 모터부의 크기와 성능에 따라서 설계가 이루어지며 설계 시 특별한 기준이 아니라 엔지니어의 경험에 의한 데이터를 기준으로 제품화되고 있는 실정이다 (Kim, 2006). 실제로 설비 현장에서 부적절하게 설계 및 제작·설치된 모터 베이스 프레임은 모터의 급작기동을 견디지 못하고 파손이 되고 있다. 따라서, 설계 시 모터의 작동하중 조건 하에서 모터 베이스 프레임의 형상 및 설치조건이 구조적

* Corresponding author:

Tel: +82-54-820-6218; E-mail: jshan@andong.ac.kr

Received July 22 2015; Revised September 3 2015;

Accepted November 18 2015

©2016 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

안전성에 미치는 영향을 분석할 필요가 있을 뿐만 아니라 가급적 구조안전성을 향상시킨 모터 베이스 프레임 형상이나 설치조건에 대한 제안이 요구된다(Kishor, 2012).

본 논문은 원심식 압축기 구동용 모터 베이스 프레임의 구조해석을 위하여 상용 유한요소 프로그램인 ANSYS Design Modeler(ANSYS, 2015)를 이용하여 모터 베이스 프레임과 콘크리트의 형상을 모델링하고 ANSYS Mechanical을 사용하여 베이스 프레임 내부에 콘크리트 미타설 및 타설에 따른 구조안전성 평가를 진행하였다. 특히 구조적으로 취약한 부위에 대해서는 ASME Section VIII Div. 2를 이용하여 각 부재별 구조안전성을 평가하였다(Kim, 2011).

2. 관련 이론

2.1 최대 비틀림 에너지 이론

최대 비틀림 에너지 이론(maximum distortion energy theory)는 조합응력 상태의 비틀림 에너지가 단순 인장/압축 시험의 비틀림 에너지를 초과하면 항복(failure)이 발생하는 것으로 판단하며 연성(ductile) 재료에 적합한 평가기준이다. 최대등가응력이 재료의 단순 인장 항복응력에 도달할 때 항복이 발생하는 것으로 판단하며 일반적으로 von Mises 이론이라고도 한다. 본 논문의 대상체인 모터 베이스 프레임의 판재 및 빔 부재의 항복 판단 및 안전계수 계산에 이 항복 이론을 이용하였다(ASME, 2013).

$$F_s = \frac{S_{limit}}{\sigma_e} \quad (1)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

식 (1)에서 F_s 는 안전계수, σ_e 는 최대등가응력, $\sigma_{1,2,3}$ 는 주응력, S_{limit} 은 재료의 항복강도를 각각 나타내며, 이 값으로는 모터 베이스 프레임의 재료인 SS400의 항복강도인 205MPa를 사용하였다.

2.2 Mohr-Coulomb 이론

모터 베이스 프레임 내부에 타설되는 콘크리트의 파괴 판단에는 취성재료에 적합한 Mohr-Coulomb 이론을 사용하였다. Mohr-Coulomb 이론은 최대 주응력을 극한 인장강도로 나눈 값과 최소 주응력을 극한 압축강도로 나눈 값의 합이 1보다 크게 될 경우 항복이 발생한다고 판단한다(ANSYS,

2015).

$$F_s = \left[\frac{\sigma_1}{S_{tensile\ limit}} + \frac{\sigma_3}{S_{compressive\ limit}} \right]^{-1} \quad (2)$$

위 식은 이 이론을 이용할 때 안전계수를 의미하며, F_s 는 안전계수, $S_{tensile\ limit}$ 는 극한 인장강도, $S_{compressive\ limit}$ 는 극한 압축강도, $\sigma_{1,3}$ 은 각각 최대 및 최소 주응력을 나타낸다. 본 논문에서 콘크리트는 선형 물성을 가지는 일반적인 탄성체로 모델링하였고, Mohr-Coulomb 이론으로 파괴를 판단할 때에 극한 인장강도는 5MPa, 극한 압축강도는 41MPa로 설정하였다.

2.3 ASME 구조안전성 평가 기준

ASME Section VIII Div. 2 규정에서는 Fig. 1의 응력 분류표처럼 응력을 일차응력, 이차응력 그리고 피크응력으로 구분한다. 이는 모든 응력을 동일한 중요도를 가지는 것으로 취급하여 일률적으로 안전계수를 적용하는 것은 합리적이지 못하기 때문이며 여러 가지로 분류된 응력에 대하여 각각의 응력한계가 규정되어 있다(Kim, 2011).

일차응력(primary stress)은 외부로부터 가해지는 힘 또는 모멘트와 평형을 유지하기 위하여 발생하는 수직응력이나 전단응력을 의미하며 자체성(self-limiting)이 없으므로 일차응력이 항복점을 넘으면 큰 소성변형이나 파단이 발생하는 응력으로 다음과 같이 세분화된다. 첫째는 일반 일차 막응력(primary general membrane stress: P_m)으로 단면의 두께를 따라서 균일하게 분포되는 평균응력을 의미하며 항복이 일어날 경우 응력의 재분배가 불가능하기 때문에 큰 소성변형을 일으킬 수 있다. 둘째는 국부 일차 막응력(primary local membrane stress: P_L)으로 구조물의 불연속부에서 국부적으로 발생하는 막응력이며 주위의 구속을 받는 한 자체성이 있어 이차응력의 특징을 가졌으나 응력 재분배를 통해 주위에 하중을 전달하는 동안 큰 변형을 발생시킬 수 있다. 셋째는 일차 굽힘응력(primary bending stress: P_b)으로 수직응력 중 두께를 따라 선형적으로 변하는 응력 특성을 말하며 단면의 도심으로부터의 거리에 비례한다.

이차응력(secondary stress: Q)은 구조물의 자기구속(self-constraint) 또는 주변 부위의 구속에 의하여 발생하는 응력이다. 이것은 외부하중에 대한 평형을 이루기 위하여 생기는 것이 아니라 주어진 구조물 형태의 연속성을 만족시키기 위해서 생기는 응력으로 자체성을 가진다. 이차응력의 원인은 구조물의 국부적인 불연속부나 열팽창(thermal expansion) 등

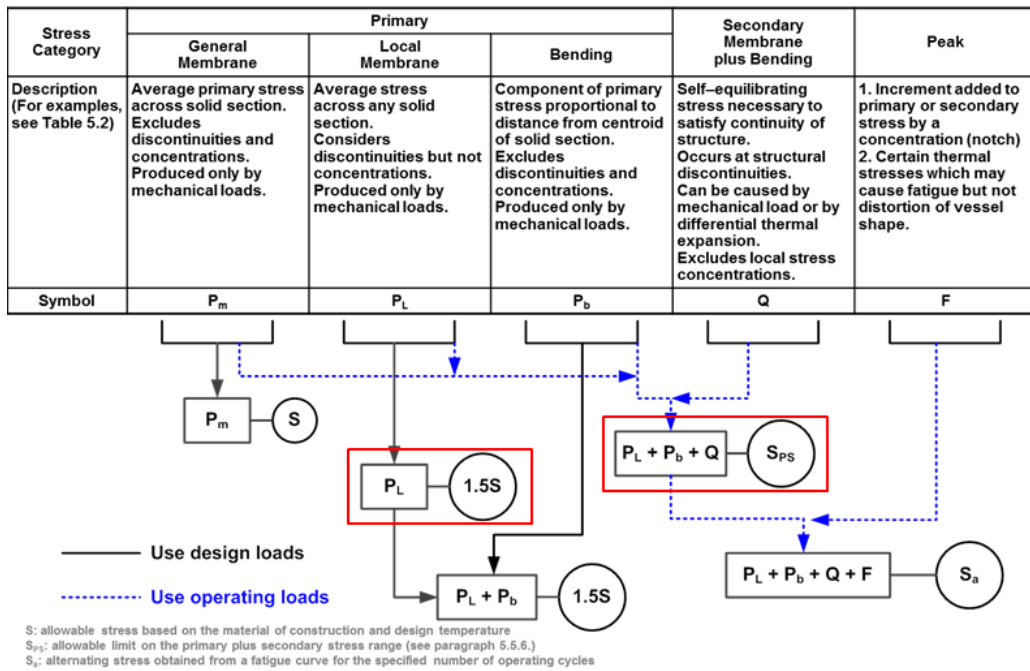
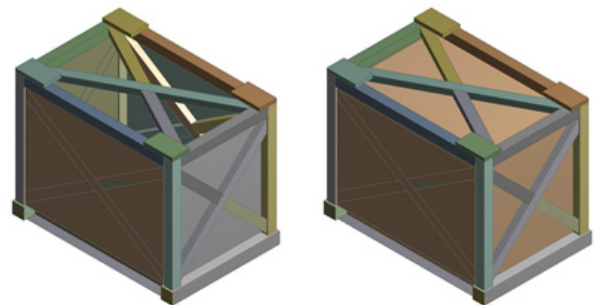


Fig. 1 Stress categories and limits of equivalent stress(ASME, 2013)

이며, 국부적인 항복 또는 작은 변형이 생기는 응력이 유리하게 재분배되므로 이 응력의 한번 작용으로 파괴가 일어나지는 않는다. 이차응력의 예로 일반적인 열응력(thermal stress) 및 전체적 구조 불연속부에서의 굽힘응력 등이 있다. 피크응력(peak stress: F)은 구조물에서 생기는 최대 응력으로 큰 변형을 일으키지는 않지만 피로균열이나 취성파괴 및 응력부식의 원인이 된다(Kim, 2002; ASME, 2013).

조건전성 평가를 수행하고 비교하였다(Fig. 2 참고).



(1,871×2,790×2,215mm³)

(a) Model A (b) Model B

Fig. 2 Models of the motor base frame

3. 구조해석 및 구조안전성 평가

3.1 형상모델링

본 논문에서 고려한 모터 베이스 프레임 모델은 15,000 마력급 원심식 압축기의 구동용 모터를 지지하는 구조물로서 각 모터 베이스 프레임의 빔 부재들은 사각 파이프(square pipe)와 C형(channel) 단면을 가진다. 모터 베이스 프레임의 전체 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 1,871, 2,790, 2,215 mm이다.

이러한 빔 부재들은 쉘(shell)요소를 사용하여 모델링하였고 베이스 프레임 내부의 콘크리트 및 모터부의 하중을 받는 위받침대 판재(top plate)는 고체(solid)요소를 사용하여 모델링하였다. 모터 베이스 프레임 모델에 사용된 빔 부재의 규격은 Table 1에 나타내었다. 모델 A는 베이스 프레임 내부에 콘크리트가 미타설된 모델이며, 모델 B는 베이스 프레임 내부에 콘크리트가 타설된 모델을 의미하여 두 모델의 구

Table 1 Sectional information of beam types

Beam type	Sectional size(mm)		
	H×B	t1(mm)	t2(mm)
Square pipe	200×200	9	-
	200×150	9	-
	150×150	9	-
Channel	200×150	8	13.5

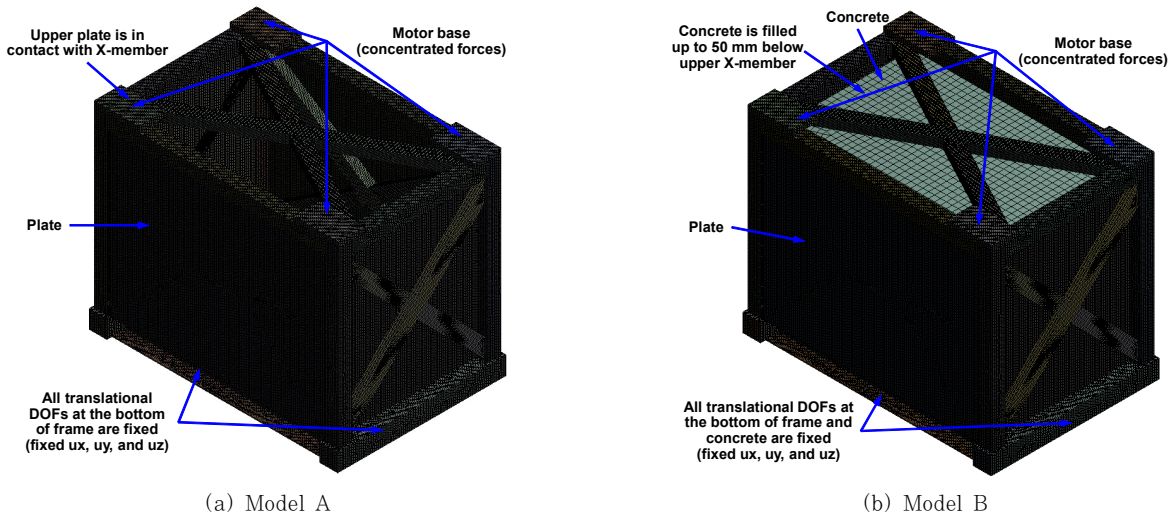


Fig. 3 Finite element models of the motor base frame

3.2 유한요소모델링

유한요소모델 생성에는 ANSYS Mechanical을 사용하였으며 모터 베이스 프레임의 판재 및 빔 부재에 대한 요소 크기를 결정하기 위하여 쉘 요소 크기가 5mm 및 10mm인 경우 해석결과의 수렴성을 확인하였다. 쉘 요소 크기가 5mm 및 10mm에서 해석 결과에 차이가 없는 것을 확인하여 최종적으로 요소 크기를 10mm로 선정하였다. 베이스 프레임 내부의 콘크리트 부위는 솔리드 요소 크기를 100mm로 설정하였다. 모터 베이스 프레임의 판재 및 빔 부재의 요소 종류는 SHELL181(4-node structural shell)을 사용하였으며, 콘크리트 및 하중을 받는 윗받침대 판재는 SOLID186(3-D 20-node structural solid) 요소를 사용하였다. 최종 유한요소모델에서 모델 A의 절점수는 567,929개, 요소수는 447,351개이며 모델 B의 절점수는 715,665개, 요소수는 487,663개이다(Fig. 3 참조).

3.3 하중 및 경계조건

모터 베이스 프레임의 해석 시 적용되는 하중조건은 모터 제조사에서 제공되는 총 네가지 조건으로 (a) Machine weight only, (b) Rated torque, (c) Biphas short circuit 및 (d) Re-feeding transitory torque)이다. 이 하중조건에는 이미 동적하중 요소가 포함되어 있으며, 각 하중조건은 Fig. 4에서와 같이 4개의 윗받침대 판재에 집중 하중으로 부여된다. 하중조건 (a)는 모터 베이스 프레임에 설치되는 모터의 순수한 무게만을 고려한 하중조건이며, (b)는 모터의 정상작동시 발생하는 토크로 모터 베이스 프레임에

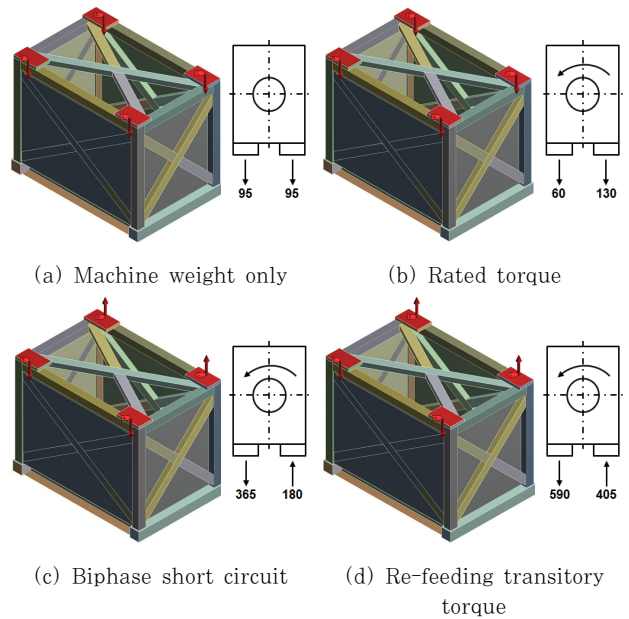


Fig. 4 Four load conditions for the motor base frame

발생하는 하중조건이다. 하중조건 (c)는 모터가 정상작동 중 급정지가 일어난 경우에 모터 베이스 프레임에 가해지는 하중 조건이며, (d)는 급정지 후 재가동이 되는 상황에서 모터 베이스 프레임에 발생하는 하중조건이다(Fig. 4 참고).

모터 베이스 프레임의 경계조건의 경우, 모델 A는 베이스 프레임의 밑면의 병진자유도를 구속하였으며 모델 B는 베이스 프레임의 밑면 및 콘크리트 밑면의 병진자유도를 모두 구속하였다(Fig. 3 참조). 프레임의 각 부재와 콘크리트의 경계면은 결합(Bonded)조건으로 모델링하였다. 모터 베이스 프레임의 모든 하중조건 및 경계조건은 Table 2에 각 경우별로 정리하였다.

Table 2 Load and boundary conditions for structural analysis

	Case	Loading condition	Boundary condition
Model A	A(a)	Machine weight only	Bottom of members: All translational DOFs are fixed
	A(b)	Rated torque	Bottom of members: All translational DOFs are fixed
	A(c)	Biphase short circuit	Bottom of members: All translational DOFs are fixed
	A(d)	Re-feeding transitory torque	Bottom of members: All translational DOFs are fixed
Model B	B(a)	Machine weight only	Bottom of members and concrete: All translational DOFs are fixed
	B(b)	Rated torque	Bottom of members and concrete: All translational DOFs are fixed
	B(c)	Biphase short circuit	Bottom of members and concrete: All translational DOFs are fixed
	B(d)	Re-feeding transitory torque	Bottom of members and concrete: All translational DOFs are fixed

Table 3 Structural analysis results of model A

Case	u_{max} (mm) (total)	σ_{max} (MPa) (beam)	SF_{min} (beam)	
Model A	A(a)	0.23	98	2.1
	A(b)	0.25	130	1.6
	A(c)	0.59	360	0.57
	A(d)	0.98	580	0.36

Table 4 Structural analysis results of model B

Case	u_{max} (mm) (total)	σ_{max} (MPa) (beam)	SF_{min} (beam)	
Model B	B(a)	0.07	16	13
	B(b)	0.07	22	9.5
	B(c)	0.13	59	3.5
	B(d)	0.19	94	2.2

3.4 구조해석 결과

모델 A 및 B의 네 가지 하중조건에 대한 구조해석 결과를 Table 3 및 4에 정리하였다. 전체적으로 가혹한 하중조건인 (c)와 (d)에서 더 큰 변위와 응력이 발생하여 구조안전성에 대한 면밀한 검토가 필요함을 확인하였다.

모터 베이스 프레임 내부에 콘크리트를 타설하지 않은 모델 A에 대하여 A(c)의 경우, 최대변위는 약 0.59mm 및 빔 부재에서 국부적으로 최대응력은 360MPa이 발생되었으며 최대 비틀림 에너지 이론에 근거한 안전계수는 0.57이다. A(d)의 경우, 최대변위는 약 0.98mm이며 빔 부재에서 국부적으로 최대응력 580MPa이 발생되었으며 안전계수는 0.36으로 구조적으로 취약한 결과를 확인하였다.

모터 베이스 프레임 내부에 콘크리트를 타설함으로 구조적 안전성을 향상을 꾀한 모델 B에 대하여 B(c)의 경우, 최대 변위는 약 0.13mm, 빔 부재에서 국부적으로 최대응력 59 MPa이 발생하며 최대 비틀림 에너지 이론에 근거한 안전 계수는 3.5이었다. B(d)의 경우, 최대변위는 약 0.19mm, 빔 부재에서 국부적으로 최대응력은 94MPa으로 안전계수는 2.2로 전체적으로 모델 A보다 변위, 응력, 안전계수 등 모든 결과에서 더 높은 구조안전성 결과를 보였다. 즉, 모터 베이스

프레임의 내부에 콘크리트를 타설하는 것이 콘크리트 미타설의 경우보다 구조안전성 측면에서 매우 효과가 있음을 구조해석을 통하여 확인하였다.

다음 절에서는 구조해석 결과에서 취약한 구조안전성을 보인 모델 A의 A(c) 및 A(d)와 콘크리트가 타설된 모델 B의 B(c) 및 B(4)에 대하여 부재들의 연결부 등 불연속적인 부분에서 발생하는 국부응력에 대한 ASME 구조안전성 평가를 수행하고 이를 비교·분석하였다.

3.5 ASME 구조안전성 평가

ASME BPVC Section VIII Div. 2를 이용하여 모터 베이스 프레임의 각 빔 형상 부재에 대한 구조안전성 평가를

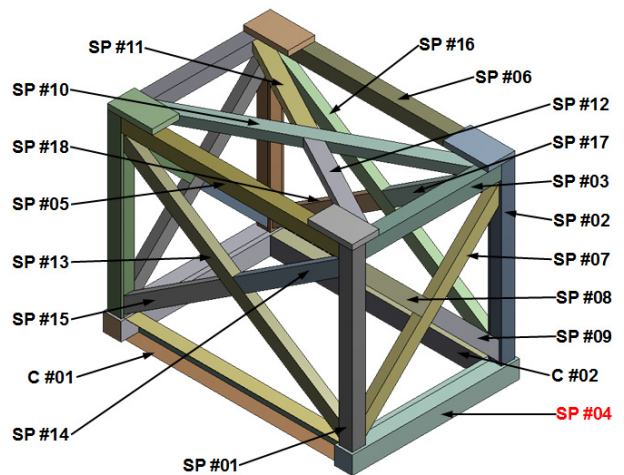


Fig. 5 The definition of member number for the motor base frame

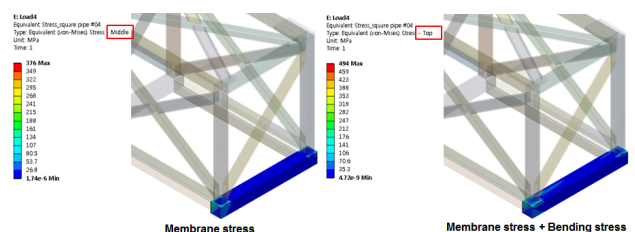


Fig. 6 Results of equivalent stress for member SP #04

Table 5 Results of structural analysis using criterion from ASME code for model A

A(c) Location	P _L		P _L +P _b +Q		Remark
	FEA (MPa)	Criteria (<1.5S)	FEA (MPa)	Criteria (<3.0S)	
Square pipe #01	138	292	215	585	Passed
Square pipe #02	66	292	103	585	Passed
Square pipe #03	67	292	82	585	Passed
Square pipe #04	233	292	307	585	Passed
Square pipe #05	65	292	74	585	Passed
Square pipe #06	30	292	34	585	Passed
Square pipe #07	26	292	25	585	Passed
Square pipe #08	28	292	37	585	Passed
Square pipe #09	10	292	9	585	Passed
Square pipe #10	44	292	59	585	Passed
Square pipe #11	24	292	30	585	Passed
Square pipe #12	46	292	62	585	Passed
Square pipe #13	41	292	47	585	Passed
Square pipe #14	41	292	47	585	Passed
Square pipe #15	39	292	39	585	Passed
Square pipe #16	20	292	23	585	Passed
Square pipe #17	20	292	23	585	Passed
Square pipe #18	17	292	17	585	Passed
Channel #01	88	292	127	585	Passed
Channel #02	41	292	59	585	Passed

Table 7 Results of structural analysis using criterion from ASME code for model B

B(c) Location	P _L		P _L +P _b +Q		Remark
	FEA (MPa)	Criteria (<1.5S)	FEA (MPa)	Criteria (<3.0S)	
Square pipe #01	23	292	29	585	Passed
Square pipe #02	11	292	15	585	Passed
Square pipe #03	41	292	51	585	Passed
Square pipe #04	14	292	17	585	Passed
Square pipe #05	43	292	57	585	Passed
Square pipe #06	20	292	27	585	Passed
Square pipe #07	6	292	7	585	Passed
Square pipe #08	11	292	14	585	Passed
Square pipe #09	1	292	2	585	Passed
Square pipe #10	25	292	30	585	Passed
Square pipe #11	13	292	15	585	Passed
Square pipe #12	25	292	32	585	Passed
Square pipe #13	12	292	12	585	Passed
Square pipe #14	12	292	12	585	Passed
Square pipe #15	2	292	2	585	Passed
Square pipe #16	6	292	6	585	Passed
Square pipe #17	6	292	6	585	Passed
Square pipe #18	1	292	1	585	Passed
Channel #01	5	292	8	585	Passed
Channel #02	3	292	4	585	Passed

Table 6 Results of structural analysis using criterion from ASME code for model A

A(d) Location	P _L		P _L +P _b +Q		Remark
	FEA (MPa)	Criteria (<1.5S)	FEA (MPa)	Criteria (<3.0S)	
Square pipe #01	223	292	347	585	Passed
Square pipe #02	152	292	237	585	Passed
Square pipe #03	108	292	132	585	Passed
Square pipe #04	376	292	494	585	Failed
Square pipe #05	105	292	120	585	Passed
Square pipe #06	69	292	80	585	Passed
Square pipe #07	41	292	40	585	Passed
Square pipe #08	45	292	59	585	Passed
Square pipe #09	25	292	22	585	Passed
Square pipe #10	73	292	92	585	Passed
Square pipe #11	52	292	59	585	Passed
Square pipe #12	75	292	97	585	Passed
Square pipe #13	65	292	76	585	Passed
Square pipe #14	65	292	76	585	Passed
Square pipe #15	62	292	62	585	Passed
Square pipe #16	44	292	52	585	Passed
Square pipe #17	44	292	52	585	Passed
Square pipe #18	40	292	40	585	Passed
Channel #01	141	292	203	585	Passed
Channel #02	94	292	135	585	Passed

Table 8 Results of structural analysis using criterion from ASME code for model B

B(d) Location	P _L		P _L +P _b +Q		Remark
	FEA (MPa)	Criteria (<1.5S)	FEA (MPa)	Criteria (<3.0S)	
Square pipe #01	37	292	46	585	Passed
Square pipe #02	25	292	32	585	Passed
Square pipe #03	65	292	81	585	Passed
Square pipe #04	22	292	28	585	Passed
Square pipe #05	70	292	92	585	Passed
Square pipe #06	46	292	61	585	Passed
Square pipe #07	12	292	15	585	Passed
Square pipe #08	18	292	22	585	Passed
Square pipe #09	2	292	2	585	Passed
Square pipe #10	41	292	49	585	Passed
Square pipe #11	29	292	34	585	Passed
Square pipe #12	41	292	52	585	Passed
Square pipe #13	19	292	19	585	Passed
Square pipe #14	19	292	19	585	Passed
Square pipe #15	3	292	3	585	Passed
Square pipe #16	13	292	13	585	Passed
Square pipe #17	13	292	13	585	Passed
Square pipe #18	2	292	2	585	Passed
Channel #01	8	292	13	585	Passed
Channel #02	6	292	9	585	Passed

수행하기 위하여 셸 요소에 대한 응력선형화를 진행하였다 (Fig. 5 및 6참고). ANSYS Mechanical에서 셸 요소의 등가응력은 Top, Bottom, Middle에서 결과가 출력된다. 셸 요소로 모델링된 모든 부재에서 Middle의 등가응력을 P_L 로 취하며 그 P_L 값이 1.5S보다 작으면 ASME 기준을 만족하게 된다(Fig. 1참고). P_L+P_b+Q 는 셸 요소의 Top 및 Bottom에서의 등가응력 결과 중 큰 응력값으로 정의하며, P_L+P_b+Q 는 ASME 응력분류표를 기준으로 3.0S보다 작으면 ASME code를 만족하게 된다(ASME, 2013). 여기서 S는 설계운도를 고려한 재료의 허용응력으로 $S=195\text{MPa}$ (from $S=0.95 \times \text{yield strength}$)로 취하였다.

Table 5는 모델 A의 A(c) 하중조건 하의 ASME 구조안전성 평가결과를 나타낸 표이다. A(c) 하중조건에 대한 구조해석 결과 안전계수가 0.57로 구조적으로 안전하지 않은 결과가 나왔지만 ASME code를 이용한 국부응력 평가에서는 모든 부재가 ASME Section VIII Div. 2 기준을 만족하는 결과가 나왔다. Table 6은 모델 A의 A(d) 하중조건에 대한 ASME 구조안전성 평가결과를 나타낸 표이다. A(d)의 경우, 하중조건의 구조해석 결과 안전계수가 0.36으로 구조적으로 안전하지 않은 것으로 확인되었으며 ASME 구조안전성 평가 결과도 Fig. 6에 표시된 것처럼 SP #4 부재에서 376MPa로 ASME의 기준값인 292MPa(1.5S)보다 높은 값으로 ASME 기준을 만족하지 못하는 것으로 평가되었다. Table 7 및 8은 모델 B의 B(c) 및 B(d) 하중조건에 대한 ASME 구조안전성 평가결과를 나타낸 표이다. 모델 B는 콘크리트가 모터 베이스 프레임 내부에 타설된 것으로 모델 A의 A(d) 하중조건에서 376MPa의 결과값을 보인 SP #4 부재에서 $P_L=22\text{MPa}$ 로 모델 A 보다 구조적으로 안전한 결과를 도출함을 다시 한번 확인하였다.

4. 결 론

모터 베이스 프레임은 모터를 지지하는 역할을 하며, 기기 운용상에서 발생하는 공진 및 집중하중에 대하여 설계단계에서 구조해석에 의한 구조안전성 평가가 수행되어야 하는 부분이다. 따라서, 본 논문에서는 모터 베이스 프레임에 대한 구조해석과 콘크리트 타설 및 미타설에 따른 구조해석 결과 및 ASME 구조안전성 평가를 수행하였다. 이를 통하여 모터 베이스 프레임 내부에 콘크리트 타설 및 미타설 시 모터 베이스 프레임의 구조안전성을 정량적으로 비교하였다.

- (1) 모터 베이스 프레임 내부에 콘크리트를 미타설한 경우 (모델 A)와 타설한 경우(모델 B)에 대한 구조해석 결과 모델 A에서 하중조건 A(c) 및 A(d)에서 안전

계수가 각각 0.57과 0.36으로 구조적으로 안전하지 않는 것을 확인하였다. 반면 콘크리트를 타설한 모델 B의 경우, 같은 조건에서 안전계수가 3.5와 2.2로 모델 A보다 높은 안전계수를 가짐을 확인하였다.

- (2) 구조해석결과 구조적으로 취약한 결과값이 나온 A(c) 및 A(d)와 콘크리트가 타설된 경우인 B(c) 및 B(d)의 조건에 대하여 ASME 구조안전성 평가를 수행하였다. ASME 구조안전성 평가 결과 A(c)에서는 ASME 기준을 만족하였으며 A(d) 하중조건에서는 ASME 기준을 만족하지 못하였다. 반면, 모델 B의 B(c) 및 B(d) 하중조건에서는 ASME 기준을 모두 만족는 결과를 도출하였다. 즉, 콘크리트 타설 시 구조적으로 콘크리트 미타설한 모터베이스 프레임 보다 안전성이 높다고 판단된다.

또한, 본 논문에서는 많은 빔 부재로 되어 있는 모터 베이스 프레임의 연결부 등 불연속적인 부분에서 발생하는 국부응력에 대한 ASME 구조안전성 평가를 적용함으로써 좀 더 합리적으로 구조안전성 평가를 수행할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 (주)대주기계-안동대학교 협력연구센터의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- American Petroleum Institute** (2007) Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services, ANSI/API Standard 618-2008, 5th Edition, Washington.
- ANSYS, Inc.** (2015) ANSYS Mechanical APDL Theory Reference, ANSYS Release 16.1, Canonsburg, USA.
- ASME** (2013) 2013 ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Rules for Construction of Pressure Vessels, Section VIII, Division 2., ASME, New York.
- Kim, H.G.** (2006) Shape Optimization for the Light Weight of Cooling Tower Support Part, *Proceeding of Korean Society Mechanical Engineers*, 66, pp.55~60.
- Kim, H.T.** (2011) Seismic and Structure Analysis on a Construction Temporary Rack Paddle of nuclear Power Plant, *Proc. Korean Soc. Mech. Eng.*, 35, pp.1265~1271.
- Kang, H.S.** (2014) Shape Optimization of Impeller Blades for 15,000 HP Centrifugal Compressor Using

Fluid Structural Interaction Analysis, *Proc. Korean Soc. Mech. Eng.*, 38, pp.547~556.

Kim, J.Y. (2011) Mechanical Performance Evaluation of a Top End Piece for Dual Cooled Fuels, *Proc. Korean Soc. Mech. Eng.*, 35, pp.417~424.

Kim, T.W. (2002) Analysis of Structural Design Criteria of Pressure Vessels Based on ASME Section VIII,

Proc. Korean Soc. Mech. Eng., pp.98~107.

Kishor, D.J. (2012) Design and Standardization of Base Frame & ANT Vibration Mounts for Balanced Opposed Piston Air Compressor, *Int. J. Appl. Res. Mech. Eng.*, 2, pp.2231~5950.

Sowinski, J.C. (2013) ASME Section VIII - Division 2 Example Problem Manual, PTB-3-2013, ASME.

요 지

본 논문에서는 원심식 대형 압축기 구동용 모터 베이스 프레임의 구조해석 및 콘크리트 타설에 따른 구조안전성 평가를 수행하였다. 먼저 모터 베이스 프레임에 적용되는 네 가지 하중조건에 따른 구조해석을 진행하고 최대 비틀림 에너지 이론 및 Mohr-Coulomb 이론을 통하여 구조안전성을 평가하였다. 구조해석 결과에서 취약한 구조안전성을 나타낸 연결부 등의 불연속적인 부분에서 발생하는 국부응력에 대하여 ASME VIII Div. 2에 따른 구조안전성 평가를 적용함으로써 좀 더 합리적으로 구조안전성 평가를 수행할 수 있었다. 또한, 모터 베이스 프레임 내부에 콘크리트 타설 및 미타설에 따른 구조해석 및 ASME 구조안전성 평가를 통하여 모터 베이스 프레임의 구조안전성을 정량적으로 비교하여 콘크리트 타설로 인한 구조안전성의 향상을 확인하였다.

핵심용어 : 모터 베이스 프레임, 원심식 압축기 구동, 최대 비틀림 에너지 이론, 모어-쿨롱 이론, ASME code VIII Div.2, 응력 선형화