

건축용 배관의 설계, 시공 및 경년변화에 따른 점검 보수

백 수 곤 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

최근의 건축설비는 업무효율 향상을 위한 기능뿐만 아니라 쾌적한 주거 환경을 보장하기 위한 감성 설계를 중시하게 되었다. 이에 본 란에서는 최적 건축설비 관리를 위한 배관의 설계에서부터 시공, 유지보수에 이르기까지 관련 기술규격을 바탕으로 설명하고자 한다.

건축용 배관에는 급수 및 급탕설비, 위생설비를 포함한 배수설비, 공기조화용 냉난방설비, 가스설비 및 소화설비용 배관으로 크게 분류할 수 있다. 본 장에서는 건축용 배관중에서 공기조화용 난방설비를 위주로 설명하고자 한다.

IV. 유한요소법을 이용한 열응력 해석

1. 열전도 지배 방정식

정지된 연속체에 적용되는 비정상 열전도 문제의 지배방정식⁽⁵⁾은

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right] + Q \quad (1)$$

재료가 등방성인 물체에 대하여는 $k_x = k_y = k_z = k$ (일정)이므로 식 (1)은

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + Q \quad (2)$$

윗식은 열전달 방식의 종류에 따라 Fourier's law($q = -k \partial T / \partial n$)를 이용하여 다음과 같은 경계 조건식⁽¹⁾이 적용된다.

1) 온도가 일정한 경계에서는

$$T = T_r \quad (3)$$

여기서 T_r 는 일정온도를 의미한다.

2) 열유속 q_0 가 유출(입)하는 경우

$$q = q_0 \quad (4)$$

3) 열전달이 일어나는 경우

$$q = h(T - T_0) \quad (5)$$

여기서 T_0 는 외부온도를 나타낸다.

4) 열복사가 일어나는 경우

$$q = bF(T^4 - T_r^4) \quad (6.1)$$

여기서 T_r 은 복사원 온도를 의미한다.

윗식은 비선형이므로 선형으로 취급하기 위하여

$$\alpha_r = bF(T + T_r)(T^2 + T_r^2) \quad (6.2)$$

따라서

$$q = \alpha_r(T - T_r) \quad (6.3)$$

2. 변분법에 의한 유한요소법

요소내의 온도분포를 형상함수와 절점의 온도 벡터로 표현하면⁽¹⁾

$$T(x, y, z, t) = [N(x, y, z)] \{\phi(t)\} \quad (7)$$

와 같이 表示할 수 있다. 여기서 $[N]$ 는 절점온도와 요소내 온도를 연결하는 형상함수이고 $\{\phi\}$ 는 시간 t 에서 요소의 절점온도 벡터를 표시한다.

식(2)에 경계조건 (3)-(6)을 고려하여 범함수를 도입하면⁽¹⁾

$$\begin{aligned} I \pm \int_V \left[\frac{1}{2} k \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right\} - \left(Q - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) T \right] dV + \int_{S_2} q_0 T dS + \int_{S_3} \frac{1}{2} h (T^2 - 2T_c T) dS + \int_{S_4} \frac{1}{2} \alpha_r (T^2 - 2T_r T) dS \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 V 는 요소의 영역을 s_2, s_3, s_4 는 요소의 경계를 표시한다.

이 식을 단위 요소에 적용하면

$$\begin{aligned} I^e = \int_V^e \left[\frac{1}{2} k \left\{ \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right\} - \left(Q - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) T \right] dV + \int_{S_2}^e q_0 T dS + \int_{S_3}^e \frac{1}{2} h (T^2 - 2T_c T) dS + \int_{S_4}^e \frac{1}{2} \alpha_r (T^2 - 2T_r T) dS \end{aligned} \quad (9)$$

위 식(9)에 식(7)을 대입하면

$$\begin{aligned} I^e = \{\phi(t)\}^T \int_V^e \left[\frac{1}{2} k \left[\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} + \frac{\partial [N]^T}{\partial z} \frac{\partial [N]}{\partial z} \right] \{\phi(t)\} - [N]^T \left[Q - \rho c [N] \frac{\partial \{\phi(t)\}}{\partial t} \right] \right] dV + \{\phi(t)\}^T \int_{S_2}^e [N]^T q_0 dS + \{\phi(t)\}^T \int_{S_3}^e \frac{1}{2} h [N]^T ([N] \{\phi(t)\} - 2T_c) dS \end{aligned}$$

$$+ \{\phi(t)\}^T \int_{S_4}^e \frac{1}{2} \alpha_r [N]^T ([N] \{\phi(t)\} - 2T_r) dS \quad (10)$$

$\{\phi(t)\}$ 에 대해서 변분을 취하면

$$\begin{aligned} \delta I^e = \delta \{\phi(t)\}^T \int_V^e k \left[\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} + \frac{\partial [N]^T}{\partial z} \frac{\partial [N]}{\partial z} \right] dV \cdot \{\phi(t)\} + \{\phi(t)\}^T \int_{S_2}^e q_0 [N]^T dS - \delta \{\phi(t)\}^T \int_V^e Q [N]^T dV + \delta \{\phi(t)\}^T \int_V^e \rho c [N]^T [N] dV \cdot \left\{ \frac{\partial \{\phi(t)\}}{\partial t} \right\} + \delta \{\phi(t)\}^T \int_{S_3}^e h [N]^T dS \cdot \{\phi(t)\} - \delta \{\phi(t)\}^T \int_{S_3}^e h T_c [N]^T dS + \delta \{\phi(t)\}^T \int_{S_4}^e \alpha_r [N]^T [N] dS \cdot \{\phi(t)\} - \delta \{\phi(t)\}^T \int_{S_4}^e \alpha_r T_r [N]^T dS \end{aligned} \quad (11)$$

$\delta I^e = 0$ 이라 하면 위 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$[k] \{\phi\} + [c] \left\{ -\frac{\partial \phi}{\partial t} \right\} = [f] \quad (12)$$

여기서

$$\begin{aligned} [k] &= \int_V^e k \left[\frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} + \frac{\partial [N]^T}{\partial z} \frac{\partial [N]}{\partial z} \right] dV + \int_{S_3}^e h [N]^T [N] dS + \int_{S_4}^e \alpha_r [N]^T [N] dS \\ [c] &= \int_V^e \rho c [N]^T [N] dV \\ [f] &= \int_V^e Q [N]^T dV - \int_{S_2}^e q_0 [N]^T dS + \int_{S_3}^e h T_c [N]^T dS + \int_{S_4}^e \alpha_r T_r [N]^T dS \end{aligned} \quad (13)$$

위식을 전체 해석 대상에 확대하면 다음과 같은 유한요소식을 얻는다.

$$[K] \{\Phi\} + [C] \left\{ -\frac{\partial \Phi}{\partial t} \right\} = \{F\} \quad (14)$$

여기서 $\{\Phi\}$ 는 전체의 절점온도 벡터, $[K]$ 는 열전도 매트릭스(Heat conductivity matrix), $[C]$ 는 열용량 매트릭스(Heat capacity matrix), $\{F\}$

는 열유속 벡터(Heat flux vector)이며 다음과 같다.

$$\{\phi\} = \sum_e \phi [K] = \sum_e k [C] = \sum_e c \{F\} = \sum_e f \quad (15)$$

식 (14)를 해석하기 위하여 시간에 대한 유한 차분법^(26,27)을 적용한다. 두개의 연속한 시간에 대한 온도를 선형보간하여

$$\theta\{\phi\}_{n+1} + (1-\theta)\{\phi\}_n = \frac{\{\phi\}_{n+1} - \{\phi\}_n}{\Delta t_{n+1}} \quad (16)$$

여기서 θ 는 2/3로서 Galerkin 방법을 이용한 가중치이다. 시간 t_{n+1} 과 t_n 에 대하여 근사식 (16)을 유한요소식 (14)에 적용하면

$$[C]\{\phi\}_{n+1} = [C]\{\phi\}_n + \theta\Delta t_{n+1}(\{F\}_{n+1} - [K]\{\phi\}_{n+1}) - (1-\theta)\Delta t_{n+1}(\{F\}_n - [K]\{\phi\}_n) \quad (17)$$

윗식을 $\{\phi\}_{n+1}$ 과 $\{\phi\}_n$ 에 관하여 정리하면

$$([C] + \theta\Delta t_{n+1}[K])\{\phi\}_{n+1} = [[C] - (1-\theta)\Delta t_{n+1}[K]]\{\phi\}_n + \Delta t_{n+1}[\theta\{F\}_{n+1} + (1-\theta)\{F\}_n] \quad (18)$$

이것은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$[C]\{\phi\}_{n+1} = \{F\}_{n,n+1} \quad (19)$$

여기서

$$[C] = [C] + \theta\Delta t_{n+1}[K]$$

$$\{\bar{F}\}_{n,n+1} = [[C] - (1-\theta)\Delta t_{n+1}[K]]\{\phi\}_n + \{F\}_{n,n+1}$$

$$\{F\}_{n,n+1} = \Delta t_{n+1}[\theta\{F\}_{n+1} + (1-\theta)\{F\}_n]$$

3. 열응력

고체의 열응력에 관한 기초방정식⁽¹⁾은 평형 방정식, 변형율-변위 관계식, 응력-변형율 관계식이 있으나 근사해법에서는 평형 방정식에 가상의 원리를 적용하여 해를 구할 수 있다. 여기서 적용되는 온도는 열전도 해석에서 얻어진 결과를 이용하게 된다.

1) 가상의 원리

평형방정식은

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + F_i^v = 0 \quad (20)$$

임의의 물체의 표면에 작용하는 표면력 F^a , 물체력 F^v 와 평형을 유지하는 임의의 응력장을 σ_{ij} 로, v_i 를 임의의 연속적 속도장이라 하면

$$\int_V F_i^v v_i dV + \int_S F_i^a v_i dS = \int_V \sigma_{ij} \epsilon_{ij} dV \quad (21)$$

윗식에 변분을 취하여 matrix형태⁽¹⁾로 나타내면

$$\int_V \delta\{U\}^T \{F^v\} dV + \int_{S_s} \delta\{U\}^T \{F^a\} dS = \int_V \delta\{\epsilon\}^T \{\sigma\} dV \quad (22)$$

여기서 $\{\sigma\}$ 는 응력 벡터, $\{\epsilon\}$ 는 변형율 벡터, $\{U\}$ 는 변위 벡터, $\{F^v\}$ 는 단위체적에 작용하는 물체력 벡터, $\{F^a\}$ 는 단위면적에 작용하는 표면력 벡터, V 는 물체의 체적, S_s 는面積, $\delta\{\}$ 는 가상 변화량, $\{\}^T$ 는 벡터의 전치를 나타낸다.

2) 변형율-변위의 관계식

$$\{\epsilon\} = [A]\{U\} \quad (23)$$

[A]는 미분 연산자이다.

3) 응력-변형율의 관계식

$$\{\epsilon\} = \{\epsilon^e\} + \{\epsilon^t\} \quad (24)$$

열에 의한 변형율은

$$\{\epsilon^t\} = \{\alpha\Delta T\} \quad (25)$$

$$\{\sigma\} = [D^e]\{\epsilon^e\} \quad (26)$$

여기서 $[D^e]$ 는 탄성응력-변형율 matrix이다.

$$\{\sigma\} = [D^e](\{\epsilon\} - \{\alpha\Delta T\}) \quad (27)$$

여기서 물체를 유한요소로 분할하여 유한요소 내부의 변위벡터 $\{U\}$ 를 미지량의 절점 변위 $\{d\}$ 를 이용하여 정리하면

$$\{U\} = [N]\{d\} \quad (28)$$

[N]은 형상함수 matrix(shape function matrix)라 부른다.

식을 정리하면

$$\{\epsilon\} = [A][N]\{d\} = [B]\{d\} \quad (29)$$

여기서 [B]는 변형율-변위 matrix(strain-displacement matrix)를 의미한다.

식(22)에 식(27),(28),(29)를 대입하면

$$\int_{V^e} \delta \{d\}^T [B]^T [D^e] ([B] \{d\} - \{\epsilon^t\}) dV - \int_{V^e} \delta \{d\}^T [N]^T \{F^v\} dV - \int_{S_s^e} \delta \{d\}^T [N]^T \{F^a\} dS = 0 \quad (30)$$

여기서 V^e, S_s^e 는 요소의 체적 및 요소의 면적을 나타낸다.

$$\delta \{d\}^T \int_{V^e} [B]^T [D^e] [B] dV \{d\} = \delta \{d\}^T \int_{S_s^e} [N]^T \{F^a\} dS + \delta \{d\}^T \int_{V^e} [N]^T \{F^v\} dV + \delta \{d\}^T \int_{V^e} [B]^T [D^e] \{\epsilon^t\} dV \quad (31)$$

여기서 $\{d\}$ 는 임의의 가상 절점 변위 벡터를 의미하며 윗식이 성립하려면

$$\int_{V^e} [B]^T [D^e] [B] dV \{d\} = \int_{S_s^e} [N]^T \{F^a\} dS + \int_{V^e} [N]^T \{F^v\} dV + \int_{V^e} [B]^T [D^e] \{\epsilon^t\} dV \quad (32)$$

가 필요하게 된다.

그러므로 요소의 평형방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$[k] \{d\} = \{f_s\} + \{f_v\} + \{f_t\} \quad (33)$$

$[k]$ 는 요소의 강성 matrix(Stiffness matrix)이고 $\{f_s\}, \{f_v\}$ 는 표면력과 체적력에 관한 절점하중벡터(Nodal force vector)이며 $\{f_t\}$ 는 열변형을에 따른 절점하중벡터(Pseudo nodal force vector due to thermal strain)이다.

여기서

$$[k] = \int_{V^e} [B]^T [D^e] [B] dV \quad (34)$$

$$\{f_s\} = \int_{S_s^e} [N]^T \{F^a\} dS \quad (35)$$

$$\{f_v\} = \int_{V^e} [N]^T \{F^v\} dV \quad (36)$$

$$\{f_t\} = \int_{V^e} [B]^T [D^e] \{\alpha \Delta T\} dV \quad (37)$$

V. 열응력 해석 사례

1. 배관해석 모델 및 운전조건

배관계의 유한요소 해석에는 Beam 요소가 사용된다. Beam 요소에는 직선배관의 모델링에 사용되는 직관요소와 Elbow, Bend와 같은 곡선배관의 모델링에 사용되는 곡관 요소가 있다. 이 배관 Beam 요소는 인장 및 압축, 비틀림 그리고 굽힘을 받을 수 있으며 각 요소는 두 개의 절점을 지니고 각 절점은 6개의 자유도를 지닌다. 따라서 내압, 외압, 온도구배 등을 포함한 외력 및 모멘트에 의한 굽힘응력, 축응력, 접선응력 등이 발생하게 된다.

금번 해석에는 영남화력 제2호기의 Boiler Header Nozzle에서 Turbine에 이르는 주증기관의 배관 및 지지장치도(Isometric drawing)를 대상으로 주증기관에 대한 유한요소 모델링을 하여 해석하였으며 주증기관의 운전조건 및 크기는 표3-3과 같다.

위 표에서 알수 있듯이 주증기관은 보일러부터 나와 Stop valve, Turbine casting, Flash tank 등으로 이어지면서 각 부위의 크기 및 사용 온도, 압력이 다르다.

주증기관의 재질은 14MoV63으로서 0.5Cr-0.5Mo-0.25V강이며 기계적, 물리적 성질 그리고

표3-3. 주증기관의 크기 및 운전조건

Pipe 위치	크 기	온 도(°C)	압 력(ata)
Boiler ~ Stop valve	220 ID × 33.0t	535	206
Stop v/v ~ TBN Casting	330 ID × 46.5t	535	196
TBN Casting ~ TBN	220 ID × 31.0t	535	196
Stop v/v ~ Flash Tank	155 ID × 23.5t	535	206

화학적 조성은 표3-3,3-4와 같다. ANSI B31.1 Power Piping Code에서 정의된 Cold 상태에서 의 허용응력(S_c)와 Hot상태에서의 허용응력(S_h)

개수가 주증기관의 위치에 따라 표3-7에 각각 나타내어 있다.

배관 자중해석에서는 배관 자체하중, 배관 유

표3-4. 영남화력 2호기 주증기관 재질(14MoV63 : 0.5Cr-0.5Mo-0.25V)의 물성치

영 울(GPa)	200
열팽창율(m/m °C)	14.0×10^{-6}
비 중(kg/m ³)	7870
인장강도(MPa)	420

표3-5. 주증기관 재질(14MoV63 : DIN 17175)의 화학적 조성(% weight)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V
0.1~0.18	0.4~0.7	0.1~0.035	0.35이하	0.035이하	0.3~0.6	0.5~0.7	0.22~0.32

표3-6. 주증기관의 최대 허용응력(ANSI B31.1)

SC : Cold 상태	103.4(MPa)
Sh : Hot상태	40.7(MPa)

는 표4에 표시된 것과 같이 각각 103.4MPa, 40.7MPa이다.

4. 자중해석

배관하중은 지속적인 기계적 하중(Sustained mechanical loads)으로서 작용하중과 평형을 이루기 위하여 일차응력(Primary stress)을 발생

체하중, 배관 보온재의 하중 그리고 밸브, 플랜지 등의 집중하중을 고려하지만 본 해석에서는 배관 자체하중과 보온재 하중만을 고려하였으며 배관지지 장치가 수압 시험시의 물의 하중을 견딜 수 있도록 요구되는 경우에는 해석 결과에 일정한 비례치를 가산하여 배관지지 장치의 용량을 결정할 수 있다. 배관 보온재로서는 비중

표3-7. 주증기관에 부착된 배관지지장치의 구분

지지장치 형식	주증기관			
	BLR-Stop v/v	Stop v/v-TBN	Flash Line	Total
RIGID	7	11	4	22
CONSTANT	4	5	0	9
SPRING	4	6	4	14
TOTAL	15	22	8	45

시킨다. 배관지지물은 열팽창에 대한 배관유연성을 떨어뜨리지 않는 범위에서 배관자중의 과도한 처짐, 과도한 굽힘응력과 전단응력을 방지할 수 있는 간격으로 위치가 선정되어야 한다.

영남화력 제 2호기 주증기관의 자중해석은 기존의 주증기관 제작사의 배관 및 지지장치도(Isometric drawing)를 기준으로 수행되었으며 주증기관에 설치되어 있는 지지장치의 종류와

240kg/m³, 두께 220mm의 Silica가 사용되었다.

자중해석에서 얻어진 배관 지지장치의 반력 및 모멘트는 다음장에서 언급될 열변형에 의한 배관 지지장치의 이동량(travel)과 함께 배관 지지장치 선정시 신중히 고려되어야 한다.

5. 열변형 해석

5.1 열팽창에 의한 배관변형

배관은 계통온도의 증기에 따라 형상에 따른 선형팽창을 한다. 만일 온도변화가 균일하다면 팽창하는 양은 모든 방향에 따라 균일하게 되지만 배관 열변형 해석에서는 배관의 축방향 팽창이 계수 그리고 온도차이의 곱에 비례하게 된다. 영남화력 2호기 주증기관의 Cold상태의 온도 35℃를 기준으로 표1에 표시된 것과 같이 535℃를 운전온도로 하여 열변형 해석이 수행되었으며 배관의 열변형 전의 Cold상태의 형상과 열변형 후 Hot상태의 형상이 그림1에 각각 점선과 실선으로 표시되어 있다.

X방향의 최대 변위는 MSH-21 부근의 절점

보일러측(Boiler Header~StopValve)주증기관에서는 MSH-10에서 MSH-14사이 구간에서 +X, -Z방향으로 100mm이상의 열팽창에 의한 변위가 발생하고 있으며, 터빈측 주증기관의 Stop Valve에서 Turbine Casting에 이르는 긴 배관의 ±방향으로 큰 변위가 발생하고 있으며 Flash Tank line에서는 심각한 열변형이 없다.

5.2 열팽창에 의한 배관응력 및 반력

배관의 열팽창을 제한하고 통제하는 배관지물이 설치되어 있는 상황에서는 열팽창 구속에 의한 배관응력이 발생한다. 열팽창에 의한 허용응력 범위는 ASME/ANSI B31.1 Power Piping

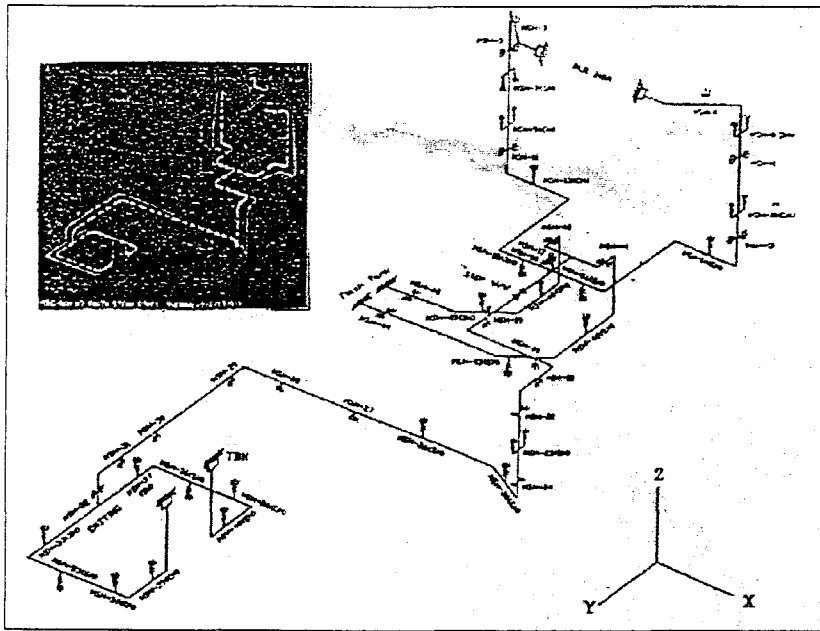


그림3-2. 영남화력 주증기관의 열변형도

87에서 +142mm가 발생하고 있으며, Y방향의 최대 변위는 MSH-29 부근의 절점 107(Elbow)에서 -122mm가 발생하고 있으며, Z방향의 최대 변위는 MSH-14 부근의 절점 21(Elbow)에서 -104mm가 각각 발생하고 있다.

Code에서 다음과 같이 정의되어 있다.

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h)$$

영남화력 2호기 주증기관 재질인 14MoV63 (0.5Cr-0.5Mo-0.25V)의 경우, $S_c=103.4\text{MPa}$, $S_h=40.74\text{MPa}$ 이다. 기동정지에 의한 온도 사이클

횡수가 700보다 작을 경우, 응력 감소계수 f_n 는 code로부터 1.0으로 정의되어 있으므로 위의 식

의해 배관강체 지지물(Rigid support)반력과 모멘트가 발생하게 되며 영남 2호기 주증기관의

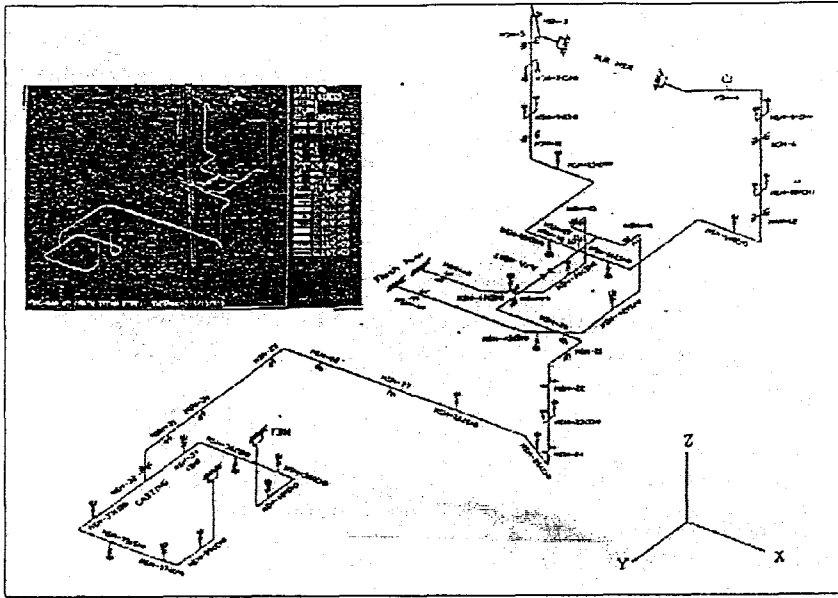


그림3-3. 영남화력 주증기관의 열응력

을 사용하면 허용응력 범위는 139.44MPa이 된다.

열팽창에 의한 배관응력 해석결과는 그림2와 같이 배관응력 수준에 따라 색으로 구분되어 나타나 있다. 그림 3-2로 부터 알수 있듯이 T-joint(Anchor)에서 Flash Tank로 열결되어 부위의 배관응력이 허용응력 범위에 접근하거나 초과하고 있다. 최대응력은 Flash line의 159번 절점에서 1604MPa이 발생하고 있으며 절점번호 34의 T-joint에서는 128MPa이 발생하고 있다. Flash line의 큰 응력은 배관 지지장치인 X-rigid guide(MSH-41, 45)의 열팽창 구속에 기인 하며 Flash line은 정상상태에서는 운전되고 있지 않으므로 본 보고서에서는 Flash line의 응력은 고려하지 않는다. 따라서 T-joint부에서 가장 큰 응력이 발생하며 이곳이 주증기관 중 가장 취약한 부분으로 고려되어야 한다. 열팽창 구속에

Rigid support 및 Anchor점에 발생되는 반력 및 모멘트가 계산되었으며 MSH-3,4 T-joint(MSH-17,18)와 MSH-27,28의 Rigid support에서 상당히 큰 반력이 발생하였다.

6. 배관지지장치의 하중 및 변위

배관을 지지하기 위한 전형적인 지지장치에는 Rod Hanger, Sway Strut, Guide, Anchor등과 같은 강성지지장치(Rigid support)와 Spring Hanger, Constant Hanger등과 같은 스프링 지지장치(Rigid support)그리고 배관운동 속도를 통제하고 가속도를 정지시키는 스너버(Snubber)가 있다. 강성지지 장치는 일정한 방향으로의 배관이동을 구속하는 지지장치이며, 스프링 장치는 배관자중을 지지하면서 열팽창에 의한 배관의 이동을 허용하는 지지장치이다. 스너버는 열팽창에 의한 운동을 허락하고 지진운동이나 진동을

억제하는데 사용된다.

영남화력 주증기관 지지장치는 총 45개의 배관 지지장치로 구성되어 있으며 2개의 Rod Hanger, 20개의 Guide로 구성된 22개의 강성지지장치와 9개의 Constant Hanger, 14개의 Spring Hanger로 구성된 23개의 스프링 지지장치가 있다. 배관 지지장치의 지지하중은 자중해석으로 부터 얻어지며 배관지지장치의 변위(Travel)는 열변형 해석으로 부터 결정되어진다.

7. 배관지지장치의 변경

열팽창에 의한 배관응력해석에서 이미 언급되었듯이 T-joint부근의 배관부에서 가장 높은 응력이 발생하고 있으며, 이러한 높은 응력의 발전소 기동정지에 따라 반복적인 작용으로 피로 파괴 가능성이 가장 크다. 따라서 배관의 파손을 방지하기 위해서는 배관의 응력을 되도록 낮게 할 수 있는 방법을 강구하여야 한다.

유연성(Flexibility)을 증가 시킴으로서 T-joint부의 응력감소를 도모하였고 MSH-15,16의 Spring Support를 Rigid Support로 변경함으로써 주증기관의 열변형에 의해 발생하는 굽힘 모멘트가 T-joint부의 굽힘 응력으로 전달되지 않도록 하였다.

또한 아랫방향(-Z)으로 배관이동을 억제하고 있는 MSH-3,4의 Rigid Hanger를 Constant Hanger로 변경하여 배관자중을 지지할 수 있도록 하였다. 표6에는 MSH-15,16(SH), MSH-5,6, 11,12 (Y-rigid) 그리고 MSH-3,4(Z-rigid)를 각각 변경시켰을 경우 발생하는 배관응력이 나타내어 있다.

표3-8로 부터 지지장치 조정방법 4는 T-joint부 및 MSH-15,16의 Rigid Support부의 배관응력을 가장감소 시킴을 알수 있으며 이때 T-joint부에서 약 43%의 응력 감소를 얻었다. 표6의 2번째 배관지지장치 조정방안은 T-joint부에서 약 30%

표3-8. 배관 지지장치 조정에 따른 주증기관 열응력 변화

방 법	변 경 사 항		배 관 응 력(MPa)		
	변 경 전	변 경 후	T-joint	Rigid Support	BLR HDR
1	MSH-15,16 :	Z-rigid	111.5	92.9	93.0
	Spring Support				
2	MSH-3,4 : Z-rigid MSH-5,6,11,12 : Z-rigid	Constant Hanger Sunbber	92.4	-	80.9
3	MSH-5,6,11,12:Y-rigid MSH-15,16 : Spring Support	Sunbber Z-rigid	79.8	87.1	70.0
4	MSH-3,4:Z-rigid MSH-5,6,11,12:Y-rigid MSH-15,16 : Spring Support	Constant Hanger Sunbber Z-rigid	74.0	80.0	87.5

본 연구에서는 현재의 배관 Layout을 변경하지 않고 배관지지 장치를 변경, 조정함으로써 T-joint부의 응력을 감소시키는 방법을 택하였다. 우선 MGH-5,6,11,12의 Guide Restraint를 Sunbber로 변경하여 열팽창에 대한 배관계의

의 배관응력 감소를 보이고 있어서 방법 4와 비교하여 응력 감소도는 적으나 MSH-15,16의 Spring Support를 Rigid Support로 변경해야 하는 어려움이 없이 쉽게 배관 지지장치를 조정할 수 있다.

8. 결론

가. 자중 및 열팽창 해석으로 부터 얻어진 배관지지장치의 용량 및 이동량은 영남화력 현장에서 측정된 배관 지지장치의 용량 및 이동량과 비교하였을 때 매우 근사한 값을 보였다.

나. 배관계의 열팽창에 의하여 발생하는 배관응력은 T-JOINT 용접부와 FLASH TANK LINE에서 ASME/ANSI B31.1 POWER PIPING CODE에서 정의된 허용응력 140MPa에 근접하거나 초과하고 있다.

다. FLASH TANK LINE에서의 과도한 응력은 MSH-41,44의 GUIDE RESTRAINT에서 배관의 열팽창을 허용할 수 있도록 간격을 둠으로

써 해소될 수 있다.

라. STOP VALVE에서 TURBINE에 이르는 배관자체에 발생하는 응력수준은 ASME/ANSI B31.1 POWER PIPING CODE를 만족하고 있다.

마. T-JOINT 부위에서의 열팽창에 의한 응력을 감소시키기 위하여 배관지지장치를 변경하여 해석을 수행한 결과로 부터 MSH-3,4의 Z-RIGID HANGER를 CONSTANT HANGER로 MSH-5,6,11,12의 Y-RIGID GUIDE를 SNUBBER로, MSH-15,16의 SPRING SUPPORT를 RIGID SUPPORT로 변경하였을 경우 T-JOINT부위에서 약 43%의 응력 감소를 얻었다.

도시가스사업법 시행령·시행규칙 관련 질의 및 회신

도시가스사업법시행규칙 별표 3-8-가

(21)[배관의 접합]

[질의내용]

1994년 3월중에 건축승인을 받고 1996년 1월에 기술검토승인을 받은 시공중인 신축 아파트의 도시가스공급시설일 경우 1995년 7월 31일에 고시된 법령에 의거해 80A 이상의 배관 용접부에 대해 비파괴검사를 실시하여야 하는지의 여부?

[회신내용]

도시가스사업법시행규칙 별표 3 제8호 가목(21)의 규정에 의하여 가스공급배관 내경이 80mm 이상의 저압배관이나, 중압 이상의 배관은 모든 용접부에 대하여 비파괴검사를 실시하여야 한다. (1996년 2월 3일 안전공사 시설 910-0514)

도시가스사업법시행규칙 별표 5-4-거

[밸브기지]

[질의내용]

경북 관내 천연가스 공급배관망중 Valve Station(V/S)에 대한 시공감리 및 정기검사 수수료의 적용기준이 없으므로 어느 기준을 적용해야 하는지?

[회신내용]

LNG도시가스 밸브기지는 도시가스사업법 제15조 제17조의 규정에 의한 시공감리 및 정기검사 대상시설로서 동법 시행규칙 별표 5 제4호의 정압기지 검사기준과 동일하므로 시공감리 및 정기검사 수수료는 정압기지에 준하여 징수하는 것이 바람직하다. (1996년 8월 3일 안전공사 시설 910-3971)