

부식 배관의 경계조건이 파손확률에 미치는 영향

이역섭(인하대 기계공학부), 편장식*(인하대 대학원 기계공학과)

Effect of Boundary Conditions on Failure Probability of Corrosion Pipeline

O. S. Lee(School of Mech. Eng., InHa Univ.), J. S. Pyun(Graduate School, InHa Univ.)

ABSTRACT

This paper presents the effect of internal corrosion, external corrosion, material properties, operation condition, earthquake, traffic load and design thickness in pipeline on the failure prediction using a failure probability model. A nonlinear corrosion is used to represent the loss of pipe wall thickness with time. The effects of environmental, operational, and design random variables such as a pipe diameter, earthquake, fluid pressure, a corrosion rate, a material yield stress and a pipe thickness on the failure probability are systematically investigated using a failure probability model for the corrosion pipeline.

Key Words : Failure Probability (파손확률), Buried Pipeline (매설배관), Corrosion(부식), Boundary Condition(경계조건)

1. 서론

기계기술의 지속적인 발달과 신기술의 개발로 인해 산업전반의 기반기술인 기계 장치산업은 점점 복잡해지고 또한 다양화되면서 장치시설을 건전하고 신뢰성있게 유지하고 관리하는 문제가 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 그 가운데 특히 에너지의 원료인 가스나 오일을 수송하는 압력용기 시스템의 건전성 유지는 이것의 파손사고가 미치는 경제적, 사회적 손실이 지대하기 때문에 매우 중요하게 인식되고 있다. 가스 및 오일을 운송하는 배관은 설치한지 오래되면 여러 가지 환경적 영향에 의해 부식과 같은 결함이 발생되고 이 결함이 성장하여 임계크기에 도달하여 대형 재난사고로 발전한 경우가 자주 보고되고 있다.^[1,2]

부식에 의해 손상된 배관의 파손강도 및 수명을 예측할 수 있는 기술은 배관의 설계시 부식여유를 결정할 때 필수적으로 필요한 설계정보이며 특히, 경년 노후된 배관의 안전수명 점검 시에 응용될 수 있는 매우 중요한 기술정보이다. 따라서 배관의 환경적인 조건에 따라 손상 및 파손에 대한 연구가 절실하게 요구되고 있다.

배관에서의 부식발생은 그 재료의 강도 등을 현저히 저하시켜서 전체시스템의 건전성을 저하시킨다. 따라서 경년에 대응하는 부식의 형태 및 위치에 따른 응력상태의 변화와 파손수명의 감소 등을 예측하여 위험한 파손사고들을 예방할 수 있는 기준의 필요성이 대두 되었다.

지금까지 존재하는 기준은 ANSI/ASME B31G에서 상세히 다루었고^[3], 이 방법을 수정한 MB31G 코드의 평가방법은 오일 및 가스산업에서 널리 이용되고 있다.

위에서 약술한 바와같이 배관에는 여러 가지 형태의 부식등과 같은 결함이 존재한다. 부식된 배관의 경계조건은 배관시스템의 건전성에 큰 영향을 미치게 되며, 이들의 영향을 구체적으로 규명하는 연구가 필요하게 되었다. 예를 들면 외부에서의 충격하중이 부식된 배관에 작용하는 경우 원래 의도한 설계하중보다 높은 응력이 발생할 가능성이 있게 된다. 이러한 여러 외부 요소들은 파손해석에 불확실성을 발생시키므로 이런 경우의 파손해석은 결정론적보다는 확률론적으로 고찰되어야 한다고 사료된다.

본 연구에서는 토질, 지진, 내압, 온도, 차량하중, 내부부식, 외부부식등 매설배관의 응력에 영향을 미치는 여러 가지 경계조건들이 매설배관의 파손확률에 미치는 영향을 체계적으로 규명하였다.

2. 배관 응력에 영향을 미치는 경계조건

2.1 축방향 응력

2.1.1 토질온도의 변화

축방향으로의 변형률 $\epsilon_{\mu} = \alpha \Delta T$ 인 사실을 기억하고 Hooke의 법칙을 적용하면 구속을 받는 배관의 온도가 변화할 때 발생하는 축방향 응력은

$$\sigma_u = E\alpha\Delta T \quad (1)$$

여기서

σ_u : 축방향 구속을 받는 매설배관에 온도가 변화할 때 발생하는 축방향 열응력

E : 배관재료의 탄성계수

α : 열팽창계수

ΔT : 온도변화

2.1.2 내압의 영향

내압 p 에 의해서 축방향으로 구속된 배관에 유기되는 축방향응력, σ_y 는 내압에 의한 축방향응력과 구속에 의한 팽창 혹은 수축 때문에 발생하는 프아송의 효과를 고려한 응력을 중첩하면

$$\sigma_y = \mp \frac{pr}{2t} \quad (2)$$

여기서

σ_y : 축방향 구속을 받는 배관의 내압에 의한 축방향 인장응력

ν : 프아송의 비

p : 내압

r : 배관의 내경

t : 배관의 두께

용접이음된 매설배관의 길이가 매우 길면, 배관의 단부가 축방향 구속되지 않더라도 토질마찰등에 의해서 구속되므로 온도감소나 내압에 의해서 인장응력이 발생하게 되므로 온도감소나 내압에 의해서 인장응력이 발생하게 된다.

2.1.3 축방향의 굽힘응력

원래 직선인 매설배관에 경계조건의 영향(토질의 이동이나 불균일한 배관설치) 등으로 인한 굽힘이 발생할 때 축방향으로 발생하는 최대 응력, σ_b 는 다음과 같다.

$$\sigma_b = \frac{Er_o}{R} \quad (3)$$

여기서

σ_b : 최대 축방향 응력

R : 매설배관의 굽힘 곡률반경

r_o : 매설배관 단면의 외부반경

매설 배관이 원래 곡률반경 R' 을 갖는 곡선배관일 경우에는 축방향으로 발생하는 최대응력, σ_b 을 다음식으로 구한다.

$$\sigma_b = Er \left(\frac{R' - R}{RR'} \right) \quad (4)$$

경계조건의 영향에 의한 굽힘은 축방향 최대 응력, σ_b 를 매설배관에 발생시키는데 이 굽힘은 모

멘트를 유발시키게 됨으로 이 모멘트에 의한 축방향 응력, σ_{lm} 을 다음과 같이 산정한다.

$$\sigma_{lm} = \frac{Mr_o}{I} \quad (5)$$

여기서

σ_{lm} : 유기된 모멘트에 의한 축방향 응력

M : 배관에 유기되는 모멘트

I : 배관단면의 도심에 대한 2차 모멘트

차량하중 및 외부하중에 의한 굽힘이 작용하는 동안 발생하는 축방향의 응력을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_b = Er\chi \quad (6)$$

여기서 χ 는 굽은 배관의 뒤틀림 정도를 나타낸다.

2.1.4 토질 마찰의 영향

가스켓 조인트 매설배관에서는 배관 길이가 매우 길지 않으면 온도와 프아송 효과는 무시된다. 그러나 배관 길이가 매우 길면 온도와 프아송 효과는 상당한 축방향 응력을 야기시킨다. 매설배관과 토양의 마찰이 매설배관에 발생시키는 구속 때문에 야기되는 축방향 응력, σ_{μ} 는 다음과 같다.

$$\sigma_{\mu} = \frac{LH_s\gamma\mu}{2t} \quad (7)$$

여기서

σ_{μ} : 토질 마찰 때문에 매설배관에 발생하는 축방향 응력

L : 배관의 길이

H_s : 배관위의 토질 커버의 높이

γ : 토질 커버의 단위 무게

μ : 배관과 토질 사이의 마찰계수

2.1.5 지진하중의 영향

지진에 의해 발생한 탄성파가 배관에 미치는 영향은 매설배관과 토질사이에 미끄럼이 없다는 가정 하에서 배관에 발생하는 축방향 변형률, ϵ_a 을 다음과 같이 산정할 수 있다⁽⁴⁾.

$$\epsilon_a = \pm \frac{v}{V_a} \quad (8)$$

여기서

ϵ_a : 축방향 최대 변형률

v : 입자속도

V_a : 탄성파의 속도

따라서 축방향 최대 응력, σ_b 는 다음과 같다.

$$\sigma_{ks} = E_p \varepsilon_a \quad (9)$$

최대 축방향응력(σ_l)은 축방향으로 발생하는 응력의 합으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_l = \sigma_{lt} + \sigma_{lf} + \sigma_{lb} + \sigma_{lm} + \sigma_{l\mu} + \sigma_{ks} \quad (10)$$

2.2 원주방향 응력

2.2.1 내압의 영향

내압 p 가 작용하는 배관에서 내압에 의해 원주방향으로 발생하는 응력은 배관의 지름 방향으로 일정하게 발생한다. 내압이 작용할때의 원주방향응력은⁽⁸⁾

$$\sigma_{cf} = \frac{pr}{t} \quad (11)$$

여기서

σ_{cf} : 원주방향 구속을 받는 배관의 내압에 의한 원주방향 인장응력

2.2.2 토질하중의 영향

토질의 하중은 배관을 둘러싸고 있는 지반에 의한 하중을 말하는데, 여기서는 지반과 지반위의 도로에 의한 하중을 나타내는 것으로 정의한다. 큰 토질의 하중에 의해 발생하는 원주방향의 응력은⁽⁸⁾

$$\sigma_{cs} = \frac{6k_m C_d \gamma B_d^2 E t r}{E t^3 + 24k_d p r^3} \quad (12)$$

여기서

C_d : 토질압력계수

γ : 토질의 비중

B_d : 트랜치 폭

E : 배관재료의 탄성계수

k_m : 굽힘 모멘트 계수

k_d : 휨 계수

토질의 하중이 배관에 미치는 영향을 정확히 파악하기 위하여 여러 단계의 매설 작업의 영향을 고려하여야 한다.

2.2.3 차량하중의 영향

지하에 매설되어 있는 배관은 토하중과 내압외에도 지표면의 차량에 의한 동적 하중의 영향을 받게 된다. 차량의 하중이 배관에 미치는 영향은 원주방향과 축방향으로 발생하는 응력이 다르며, 일반적으로 원주방향 응력이 발생할 때 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 차량하중에 의해 원주방향으로 발생하는 응력은⁽⁸⁾

$$\sigma_{cl} = \frac{6k_m I_c C_t F E t r}{L_e (E t^3 + 24k_d p r^3)} \quad (13)$$

여기서 I_c : 충격계수

C_t : 표면하중계수

F : 차량하중

L_e : 배관의 길이

2.2.4 트랜치 폭의 영향

매설배관의 모양이 원형에 가까우면 일반적으로 트랜치 폭은 배관직경의 2배를 넘지 않게 한다. 또한 링-처짐량이 5% 미만일 경우에는 링-처짐량의 영향은 무시한다. 이러한 경계조건하에서 매설배관 벽에 발생하는 압축응력은 다음과 같다.

$$\sigma_{cr} = \frac{Pr}{t} \quad (14)$$

여기서

σ_{cr} : 배관벽내의 압축응력

P : 배관의 수직압축 ($= P_l + P_d$)

P_l : 생하중(surface live load)

P_d : 사하중(dead load pressure) ($\approx \gamma H$)

t : 배관의 두께

r : 배관의 반경

최대 원주방향응력(σ_c)은 원주방향으로 발생하는 응력의 합으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_c = \sigma_{cf} + \sigma_{cs} + \sigma_{cl} + \sigma_{cr} \quad (15)$$

2.3 부식의 영향

2.3.1 배관의 전체 부식

지하 매설배관의 부식 등의 결함발생은 그 재료의 강도 등을 현저히 저하시키고 결함부분에 응력이 집중되며 결함이 성장하여 임계크기에 도달하면 파괴에 이르게 되는 것이다. 따라서 부식 등의 결함의 형태 및 위치에 따른 응력상태나 파손수명 등을 예측하여 위험한 파손사고들을 예방할 수 있는 기준이 필요하게 되었다. 공학적으로 많이 사용하고 있는 부식된 배관의 두께 감소량은 P 는

$$P = kT \quad (16)$$

여기서

P : 배관의 두께 감소량

k : 부식률

T : 배관의 사용년도

부식이 매설배관의 전체에 영향을 미친다고 고려하여 배관의 두께를 다음과 같이 산정할 수 있으며 이 두께에 대한 강도계산을 수행하여야 한다.

$$t' = t - kT \quad (17)$$

여기서

t' : 부식된 배관의 두께

t : 부식되기 전의 배관의 두께

2.3.2 국부 부식

부식 배관의 건전성을 평가하기 위해서는 배관의

부식부위의 기하학적 형상을 단순화 시켜야 한다. Fig. 1은 부식모델을 나타낸것이고 이 부식모델의 표면 결함의 기하학적 양상을 Fig. 2와 같이 단순화 시켜서 이론해석이 용이하게 하였다.

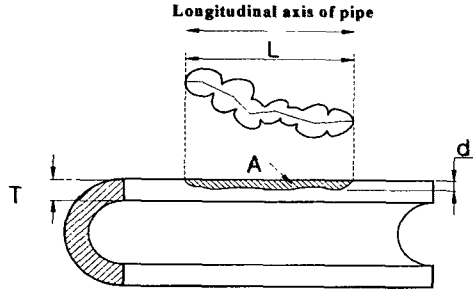


Fig. 1 A simplification of a corroded surface flaw in a pipeline

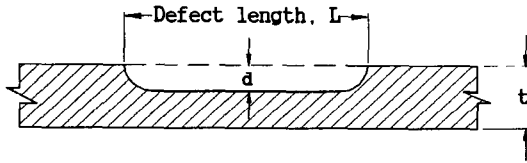


Fig. 2 Section through an idealized corrosion defect

2.1 ANSI/ASME B31G code

부식된 파이프라인에 대한 파손 식은 폭발실험의 데이터에 기준을 두고 작성되었으며, 다음과 같이 제안되고 있다.^[3]

$$\sigma_f = \frac{\sigma}{\left[\frac{1 - (A/A_0)}{1 - (A/A_0)M^{-1}} \right]} \quad (18)$$

Fig. 2은 외부부식된 파이프의 단면을 보여주고 있으며, 식(1)은 부식에 대한 파손응력을 구하는 식이다. 여기서, σ_f 는 파손응력(MPa), $\bar{\sigma}$ 는 재료의 유동응력(MPa), A 는 투영된 부식의 단면적(mm²), A_0 는 $L \times t$ (mm²), L 은 투영된 부식길이(mm), t 는 벽의 두께(mm), d 는 최대 부식 깊이(mm), M 은 Folias 벌징계수(bulging factor)이다.

식 (1)은 다음 두 가지 조건을 고려하여 수정되었다.^[3] 첫째, 최대 원환(hoop)응력은 재료의 항복강도를 초과할 수 없다. 둘째, 상대적으로 짧은 부식은 포물선 모양으로 투영되며 긴 부식은 사각형 모양으로 투영된다. 파이프의 부식에 대한 수정된 파손 식은 포물선 모양과 사각형 모양으로 나누어지며 다음과 같다.^[3]

i) 포물선 모양

$$\sigma_f = 1.1\sigma_{\min} \left[\frac{1 - (2/3)(d/t)}{1 - (2/3)(d/t)M^{-1}} \right]$$

$$\left(\sqrt{0.8 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \left(\frac{D}{t} \right)} \leq 4 \text{ 인 경우} \right)$$

ii) 사각형 모양

$$\sigma_f = 1.1\sigma_{\min} [1 - (d/t)]$$

$$\left(\sqrt{0.8 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \left(\frac{D}{t} \right)} > 4 \text{ 인 경우} \right)$$

여기서, D 는 파이프의 외경(mm), σ_{\min} 은 최저항복강도(MPa)라 하며, 벌징계수(M)는 다음과 같이 정의된다.^[3]

$$M = \sqrt{1 + 0.8 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \left(\frac{D}{t} \right)}$$

$$\left(\sqrt{0.8 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \left(\frac{D}{t} \right)} \leq 4 \text{ 인 경우} \right)$$

$$M = \infty$$

$$\left(\sqrt{0.8 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \left(\frac{D}{t} \right)} > 4 \text{ 인 경우} \right)$$

2.2 MB31G(Modified B31G) code

Kiefner와 Vieth는 ANSI/ASME B31G 기준에서 부식된 파이프라인 Grade X52의 유동응력($\bar{\sigma} = 1.1\sigma_{\min}$)과 벌징계수(M)에 대해 문제점을 지적하고, $\bar{\sigma} = 1.1\sigma_{\min} + 69$ (MPa)을 새로운 유동응력으로 제시하였고, 새로운 벌징계수(M)를 다음과 같이 정의하였다.^[3]

$$M = \sqrt{1 + 0.63 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \left(\frac{D}{t} \right) - 0.0034 \left(\frac{L}{D} \right)^4 \left(\frac{D}{t} \right)^2}$$

$$\left(\left(\frac{L}{D} \right)^2 \left(\frac{D}{t} \right) \leq 50 \text{ 인 경우} \right)$$

$$M = 3.3 + 0.032 \left(\frac{L}{D} \right)^2 \left(\frac{D}{t} \right)$$

$$\left(\left(\frac{L}{D} \right)^2 \left(\frac{D}{t} \right) > 50 \text{ 인 경우} \right)$$

Bubenik등은 원래의 B31G 코드와 수정된 B31G(MB31G) 코드를 사용하여 얻은 파손압력을 비교한 결과 수정된 유동응력과 벌징계수가 파손 압력에 미치는 개선 영향은 그리 크지 않으나, 유효면적의 개념은 보수적인 설계개념을 크게 개선시킨다는 사실을 규명하였다.^[3]

파이프라인에서 부식은 여러 가지 모양으로 나타나며, 보통 부식 피트(pit), 부식 밴드(groove) 그리고 일반적인 부식으로 구분한다. 부식 밴드는 일반적인 피트의 열(row)로 형성되고, 일반적인 부식들은 파이프 벽에 원주 방향으로 넓게 퍼져서 군집하고 있는 피트들을 의미한다. B31G 및 MB31G 코드는 포물선 모양이나 사각형 모양 중 하나만을 선택하여 평가하게 되어 있으며, 부식의 폭은 고려하지 않음을 유의해야 한다.

Table 1. Random variables and their parameters used in the example.

Variable Symbol	Mean	Coefficient of variation	Variable Symbol	Mean	Coefficient of variation
E	201MPa	0.033	V _a	762m/s	0.1
α	10.5×10 ⁻⁶ °C	0.1	k _m	0.225	0.15
ΔT	10°C	0.15	C _d	1.32	0.2
p	5MPa	0.1	B _d	760mm	0.1
r	225mm	0.04	k _d	0.108	0.15
t	8mm	0.06	I _c	1.25	0.2
χ	-1.0×10 ⁻⁶ rad/mm	0.1	C _t	0.12	0.15
L	10000mm	0.11	F	170kN	0.13
H _e	700mm	0.1	L _e	1000mm	0.1
γ	18.9×10 ⁻⁶ N/mm	0.11	k	0.02	0.56
μ	0.3	0.1	n	0.53	0.26
v	3.425m/s	0.12	σ _y	400MPa	0.05
d	0.1mm	0.13	d _o	0.11mm	0.13

3. 파손확률이론

본 연구에서 제안한 매설배관의 파손확률 모델은 아래식과 같은 Von-Mises의 파손평가기준에 기초를 두고 있다.

$$\sigma_c^2 - \sigma_c\sigma_l + \sigma_l^2 \gg \sigma_y^2 \quad (19)$$

여기서, σ_c , σ_l : 원주방향, 축방향 응력

σ_y : 항복응력

범함수 z 를 항복응력과 주응력의 함수로 다음과 같이 놓으면

$$z = \sigma_y^2 - (\sigma_c^2 - \sigma_c\sigma_l + \sigma_l^2) \quad (20)$$

파손확률 P_f 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_f = \int_{-\infty}^{-\beta} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad (21)$$

여기서, β 는 신뢰도 지수이며 z 의 평균값(u_z)와 z 의 표준편차 σ_z 로 나타낼 수 있다.

$$\beta = \frac{u_z}{\sigma_z} \quad (22)$$

여기서,

$$u_z = z(L_e^*, B_d^*, \dots, \Delta\theta^*) + (\bar{L}_e - L_e^*) \frac{\partial z}{\partial L_e} + \dots + (\bar{\Delta\theta} - \Delta\theta^*) \frac{\partial z}{\partial \Delta\theta} \quad (23)$$

$$\sigma_z^2 = (\sigma_{L_e} \frac{\partial z}{\partial L_e})^2 + \dots + (\sigma_{\Delta\theta} \frac{\partial z}{\partial \Delta\theta})^2 \quad (24)$$

\bar{L}_e , \bar{B}_d , \bar{c}_d , ..., $\bar{\Delta\theta}$ 과 L_e^* , B_d^* , c_d^* , ..., $\Delta\theta^*$ 은 각각의 평균값과 검사점의 값이다. σ_{L_e} , σ_{B_d} , σ_{C_d} , ..., $\sigma_{\Delta\theta}$ 는 각각의 표준편차이다.

각각의 변수에 대한 표준편차는 각각의 변수의 평균과 "편차계수(cov)"의 곱이다.

4. 부식배관의 사례연구

여러 가지 경계조건을 갖는 배관의 파손확률이 각각의 변수에 의해 어떤 영향을 받는지 알아보기 위해 Table. 1에 나온 변수와 그 값을 이용하였다⁽⁵⁾.

본 연구에서는 부식배관은 내압, 토질하중, 지진, 차량하중 외에는 다른 작용력이 없다고 가정하였다.

5. 결과 및 고찰

Table. 1의 모든 변수값에 의해 산정한 부식배관의 파손확률의 사용 년수에 대한 변화 양상을 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보면 부식이 된 후 약 20년후부터는 파손확률이 조금씩 증가를 하다가 30년 후부터는 파손확률이 크게 증가함을 알 수 있다.

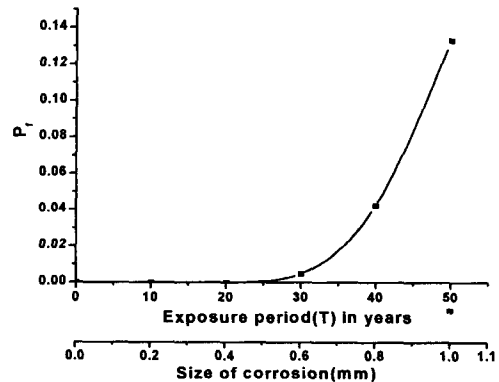


Fig. 3. A relationship between failure probability(P_f) and exposure period(T)

Fig. 4에서는 배관의 두께가 두꺼울수록 파손확률이 감소하는 것을 알 수 있지만 파손확률을 낮추기 위해 배관의 두께를 무조건 두껍게 할 수는 없다.

Fig. 5은 두께가 같은 배관의 직경 크기에 따른 파손 확률을 나타낸 것으로 직경이 작을수록 파손확률이 작음을 알 수 있다. Fig. 6는 배관의 항복응력에 따른 파손확률의 변화를 나타낸 것으로 사용초기에는 항복응력에 따라 파손확률의 변화가 크다는 것을 알 수 있고, 30년 후에는 사용초기보다는 파손확률의 변화가 작다는 것을 알 수 있다.

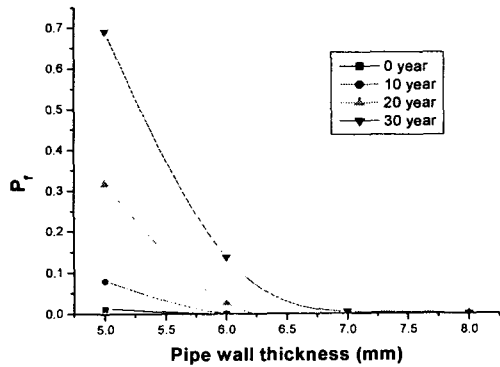


Fig. 4 Relationships between failure probability(P_f) and pipe wall thickness(t) for varying exposure periods(T)

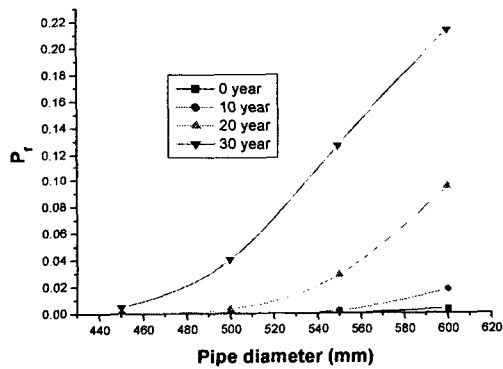


Fig. 5. Relationships between failure probability(P_f) and pipe diameter(D) for varying exposure periods(T)

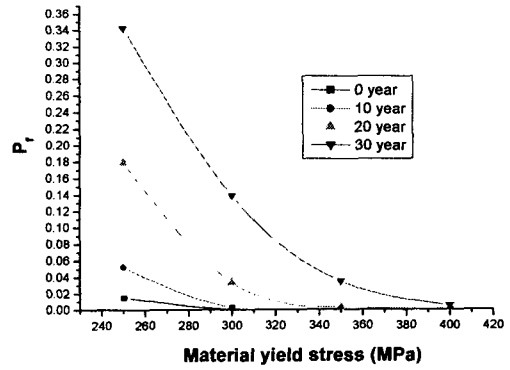


Fig. 6. Relationships between failure probability(P_f) and material yield stress for varying exposure period(T)

Fig. 7은 배관의 사용압력에 따른 파손확률의 변화를 나타낸 것으로 사용압력이 7MPa인 경우 사용년수에 따라 파손확률의 증가가 크다는 것을 볼 수 있고, 사용압력이 4MPa인 경우 사용초기의 파손확률은 작지만 사용년수에 따라 파손확률의 증가가 작다는 것을 알 수 있다. Fig. 8은 부식률이 증가할수록 파손확률이 증가함을 나타내고 있다. Fig. 9은 부식률의 변화비율에 따라 파손확률의 변화를 나타낸 것으로 변화비율이 커질수록 파손확률 증가 비율이 커지는 것을 알 수 있다. Fig. 10은 배관이 매설된 지역에 지진이 발생할 경우 지진에 의한 파손확률을 나타낸 것으로 진원지에 가까워 지면 탄성파의 크기가 커지고 토질의 입자 속도가 커지게 되는데 Fig. 10은 입자 속도가 클 때 사용년수에 따라 파손확률이 증가하는 것을 볼 수 있다.

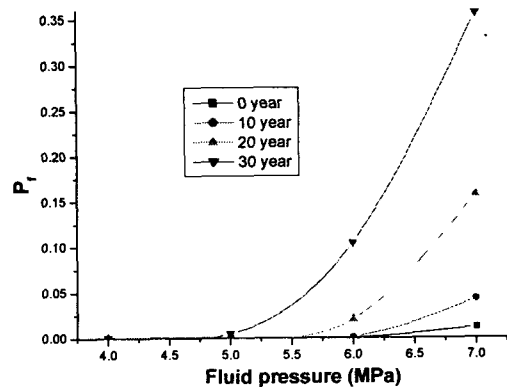


Fig. 7. Relationships between failure probability(P_f) and fluid pressure(p_a) for varying exposure periods(T)

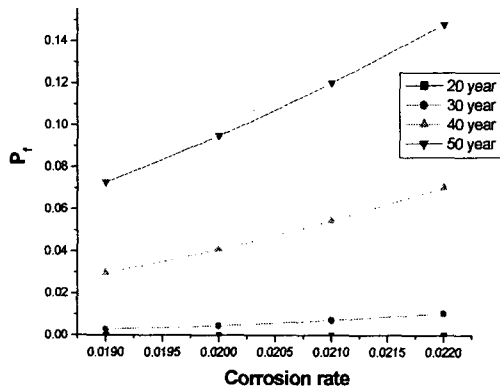


Fig 8. Relationships between failure probability(P_f) and corrosion rate(R_d) for varying exposure periods(T)

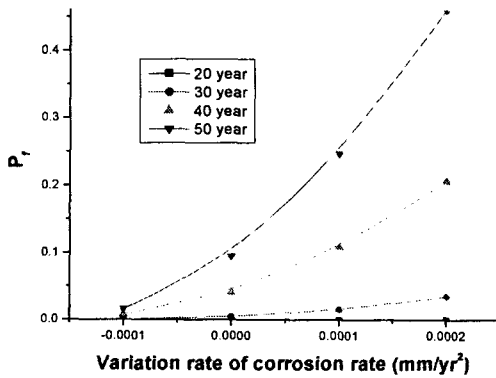


Fig 9. Relationships between failure probability(P_f) and variation rate of corrosion rate for varying exposure periods(T)

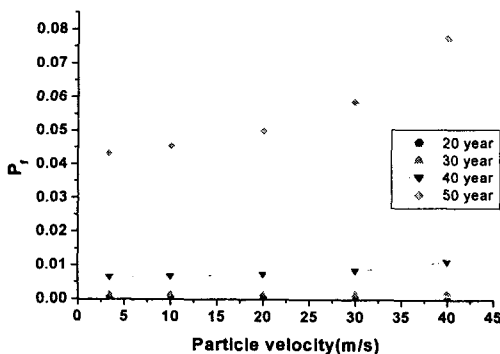


Fig 10. Relationships between failure probability(P_f) and particle velocity(v) for varying exposure periods(T)

Fig.12는 내부부식과 외부부식을 고려한 파손확률

을 나타낸 것으로 각각이 같은 부식률이라면 외부부식 보다는 내부부식이 파손확률에 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

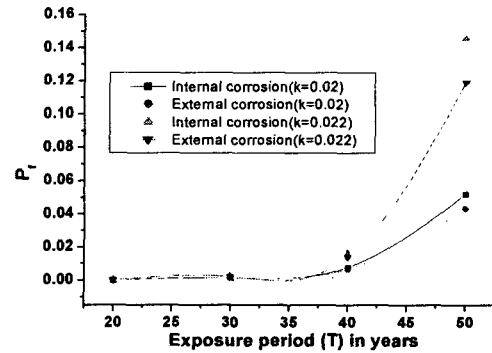


Fig 11. Relationships between internal corrosion and external corrosion for varying exposure periods(T)

6. 결론

본 연구에서는 매설배관의 여러 가지 경계조건이 파손확률에 미치는 영향에 대하여 체계적으로 규명하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 배관의 두께, 직경, 항복응력은 파손확률에 큰 영향을 주며 특히 배관 두께의 변화가 파손 확률에 미치는 영향이 더 크다. 그러므로 설계시 부식을 고려하여 배관을 사용하는 장소에 따라 부식여유를 다르게 주어야 한다.

2) 여러 가지 작용하중에 의해 발생하는 응력중에 내압에 의해 발생하는 응력이 가장 크며 토질에 의한 경계조건이 파손확률에 미치는 영향도 무시할 수 없다는 사실을 밝혔다.

3)차량하중에 의한 축방향 굽힘이 축방향 응력에 미치는 영향이 매우 크다는 사실도 규명하였다.

4) 부식깊이보다 부식깊이의 변수가 파손확률에 더 큰 영향을 주므로 배관의 건전성 평가시 부식깊이를 더 상세히 고려하여야 한다.

5) 배관의 사용수명이 길어질수록 부식에 관련된 변수들이 파손확률에 큰 영향을 준다는 사실을 규명하였다.

6) 배관의 사용시 사용장소에 따라 부식률은 다르므로 장소의 특성을 고려하여 사용하여야 한다. 부식률의 변화비율이 증가하면 파손확률은 급속도로 증가한다. 그러므로 부식률을 낮추어 파손확률의 증가를 억제 할 수도 있지만 부식률이 증가하지 않도록 억제하여 파손확률을 억제 할 수 있다.

7) 지진의 진원지와 일정거리 이내에서는 배관의 파손확률이 크게 증가하는 것을 볼 수 있으며 진원지와 배관사이의 토질의 탄성계수가 클수록 배관의 파손확률에 큰 영향을 미친다.

후기

본 연구는 한국과학재단산하 성균관대학교 산업설비안전성연구센터(SAFE)의 연구지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

1. S.H. Kim, J.W. Kim, K.J. Kim, "Three-Dimensional Dynamic Analysis of Underground Openings Subjected to Explosive Loadings", Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol. 10, No.2, pp. 171~178, 1997.
2. S.C. Choi, "Coating Flaw Prevention of Underground Buried Pipeline", Gas Safety Journal, Vol. 26, No. 5, pp. 25~33, 2000.
3. ANSI/ASME B31-1985, 1985, "Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipeline." - Supplement to ANSI/ASME B31G Code for Pressure Piping. The American Society of Mechanical Engineers, New York.
4. O. S. Lee, H. J. Kim, "Effect of External Corrosion in Pipeline on Failure Prediction", Proceeding of Korean Society of Mechanical Engineering, Vol. 23, No. 11, pp. 2096-2101, 1999.
5. M. Ahammed, R. E. Melchers, "Probabilistic Analysis of Underground Pipelines Subject to Combined Stresses and Corrosion", Engineering Structures, Vol. 19, No. 12, pp. 988-994, 1997.
6. Y. Chen, "Simplified and Refined Earthquake Analyses for Buried Pipes", Mathl. Comput. Modelling, Vol 21, No. 11, pp47-60, 1995.
7. O. S. Lee, H. J. Kim, "Effect of External Corrosion in Pipeline on Failure Prediction.", Proceeding of Korean Society of Mechanical Engineering, Vol. 23, No. 11, pp. 2096-2101, 1999.
8. M. G. Spangler, R. L. Handy, "Soil Engineering", 4th edn, Harper and Row, New York, 1982.
9. M. Ahammed, "Probabilistic Estimation of Remaining Life of a Pipeline in the presence of active corrosion defects", International Journal of Pressure Vessels and Piping 75, pp. 321-329, 1998.