

## 파이프 신속결합장치 틸-슬리브에 미치는 응력분포 연구

표진수\*, 강진우\*\*, 최광석\*\*, 김윤제\*\*\*

### A Stress Analysis on the Split-sleeve of Quick Pipe Coupling

Jin-Soo Pyo\*, Jin-Woo Kang\*\*, Kwang-Suk Choi\*\*, Youn-Jea Kim\*\*\*

**Key Words** : Pipe Quick Coupling(신속결합장치), Split-sleeve(틸-슬리브), Sealing-Pad(씰링-패드), Finite Element Method(유한요소법)

#### Abstract

Due to continuous difficulty of human power supply, it is necessary to develop an equipment which is good to saving cost and time at a construction site. A quick pipe coupling method is the kind of mechanical joint system using split-sleeve and sealing-pad at pipe groove without welding. In hence, it provides restrained pipe joint which is simple, safe, and dependable without environmental pollutions. It is more useful scheme than the other ones. The purpose of this study is to find out the main design factors and the optimum shape of split-sleeve. The stress analyses were carried out under various shapes of pipe groove configuration, materials and internal pressures with a commercial software, ANSYS workbench which uses FEM(finite element method). Results are graphically depicted with various parameters.

#### 기호설명

$\alpha_x^{se}$	secant coefficient of thermal expansion in the x direction(temperature-dependent coefficient of thermal expansion)
$\epsilon$	total strain vector
$\epsilon^{th}$	thermal strain vector
$T$	current temperature at the point in question
$T_{ref}$	reference (strain-free) temperature
$E_x$	Young's modulus in the x-direction
$\nu_{xy}$	major Poisson's ratio
$\nu_{yx}$	minor Poisson's ratio
$G_{xy}$	shear modulus in the xy-plane

#### 1. 서론

노동시장의 급변으로 인한 인력 수급난이 심각한 상황에서 건설 현장에서의 시공경비와 시간을 단축하기 위한 수단으로 보다 쉽고 안전하면서도 확실하게 작업을 도와줄 수 있는 설비자재의 필요성이 대두되고 있다. 또한 각종 재난에 대비하여 기반 시설 및 생활 편의시설 등의 신속한 복구 및 유지 보수를 위한 제품에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있으며, 특히 시스템이 가동중일때도 복구가 가능한 제품을 개발하여 가동중단으로 인한 손실을 최소화하는 것은 매우 중요한 문제이다.

이러한 추세속에 파이프나 배관부속을 연결함에 있어서 나사식이나 용접식이 아닌 신속결합장치라고 불리는 홈 커플링 방식에 대한 관심이 높아지고 있다. 선진국에서는 활발한 연구 개발을 통해 다양한 제품들을 선보이고 있지만 국내에서 제조되는 제품 수준은 아직 미흡한 상태이다. 세계적으로 보편화 되고 있는 비용접식 배관 연결 장치의 흐름에 발맞추어 높은 수준의 신뢰성을 가진 비용접식 배관연결 장치의 개발이 시급한 실정이다.



Fig. 1 Quick pipe coupling.

\* 성균관대학교 대학원, jsys0204@skku.edu

\*\* 연우GST(주),

bullsane@empal.com, choigs@younwoo.co.kr

\*\*\* 성균관대학교 기계공학부, yjkim@skku.edu



Fig. 2 Gasket.

홈 커플링을 사용한 배관 접속을 위해서는 4가지의 기본 구성요소가 필요하다. 우선 파이프 끝단에 홈을 만들어야 하고, 밀봉 역할을 하는 개스킷(gasket), 또 그 개스킷을 감싸 조여주는 하우징(housing), 그리고 하우징을 서로 연결하는 볼트, 너트로 구성된다. Fig. 1에 국내 A사의 신속결합장치를 도시하였다.

파이프를 연결시킨 부분은 내압 또는 외압을 견딜 수 있는 기밀성과 압축력이나 정하중 및 동하중을 견딜 수 있어야 한다. 압축력이나 기타의 인장응력을 견딜 수 있도록 하기 위해 하우징이 있고 파이프 끝단에 홈을 파서 하우징의 턱이 이 홈에 걸려 외력에 의하여 파이프가 서로 빠져나가거나 밀려 들어가는 현상을 막아 주고 있다. Fig. 2에 도시한 바와 같이 개스킷의 단면은 C자 형상으로 되어 있고 전체 외관은 환구조를 하고 있으며, 내압에 잘 견디게 만들어져 있고 밖에서는 하우징이 꼭 붙잡고 있게 된다. 내부 작동유체가 흘러나올 수 있는 통로는 파이프 외벽과 개스킷 사이의 틈새가 되는데, 이러한 틈새는 개스킷 자체의 인장력과 하우징의 결속력 그리고 개스킷 형상에서 얻은 파스칼의 원리에 의해 차단된다.

본 연구에서는 ANSYS workbench를 이용하여 파이프 홈의 형상변화에 따른 하우징과 파이프의 응력분포를 보고자, 내압을 달리하여 하우징과 파이프 부분의 응력해석을 수행하였다.

## 2. 수치해석

### 2.1 지배 방정식

신속결합장치의 하우징과 파이프부분의 응력 변형을 해석을 위해 사용된 지배방정식은 다음과 같다.

$$\sigma = D\varepsilon^{el} \quad (1)$$

여기서 응력  $\sigma$  는 벡터로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma = [\sigma_x \ \sigma_y \ \sigma_z \ \sigma_{xy} \ \sigma_{yz} \ \sigma_{xz}]^T \quad (2)$$

$D$ 는 응력 변형을 행렬을 나타낸 것이며,  $\varepsilon^{el}$ 은 탄성 변형을 벡터로 응력의 발생으로 인한 변형율이다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\varepsilon^{el} = \varepsilon - \varepsilon^{th} \quad (3)$$

변형을  $\varepsilon$  은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\varepsilon = [\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \varepsilon_z \ \varepsilon_{xy} \ \varepsilon_{yz} \ \varepsilon_{xz}]^T \quad (4)$$

위의 (1)식을 변형하면,

$$\varepsilon = \varepsilon^{th} + [D]^{-1}\sigma \quad (5)$$

이고,  $\varepsilon^{th}$ 를 3차원 열변형을 벡터로 나타내면, 다음과 같다.

$$\varepsilon^{th} = \Delta T[\alpha_x^{se} \ \alpha_y^{se} \ \alpha_z^{se} \ 000]^T \quad (6)$$

이때  $\Delta T$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta T = T - T_{ref} \quad (7)$$

$D$ 는 탄성을 나타내는 것으로 유연성  $[D]^{-1}$ 로 표현할 수 있으며, 이를 전개하면 다음과 같다.

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/E_x & -\nu_{xy}/E_x & -\nu_{xz}/E_x & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{yx}/E_y & 1/E_x & -\nu_{xz}/E_y & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{zx}/E_z & -\nu_{xy}/E_z & 1/E_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{xy} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{yz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{zx} \end{bmatrix} \quad (8)$$

### 2.2 해석모델 및 해석방법

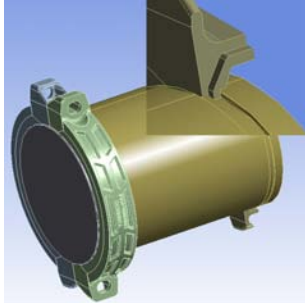
본 연구에서는 국내 A사의 신속결합장치에 사용되는 파이프 홈의 형상변화에 따른 하우징과 파이프의 응력해석을 수행하였다. 이 제품의 특징으로 관경이 350A이상인 경우에는 일반적으로 하우징 3개를 사용하여(Type 1) 하우징의 응력집중을 방지하나, 관경이 300A 이하인 경우는 2개의 하우징을 사용한다.(Type 2) 해석모델의 하우징은 덕타일, 파이프는 스테인리스스틸을 사용하였다. Table 1에 덕타일(구상흑연주철, GCD450)과 스테인리스스틸의 재질을 나타내었고, Fig. 3에 두가지 타입의 하우징 모델과 격자계를 도시하였다.

Table 1 Property of materials.

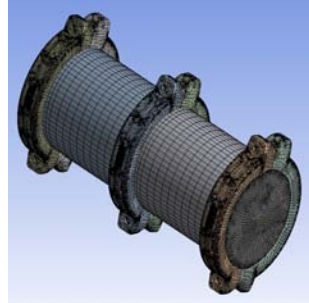
	Ductile	Stainless steel
Young's modulus(GPa)	172	193
Poisson ratio	0.275	0.31
Density(kg/m <sup>3</sup> )	7400	7750
Yield strength(MPa)	280	207
Ultimate strength(MPa)	450	586



(a) Type 1



(b) Type 2



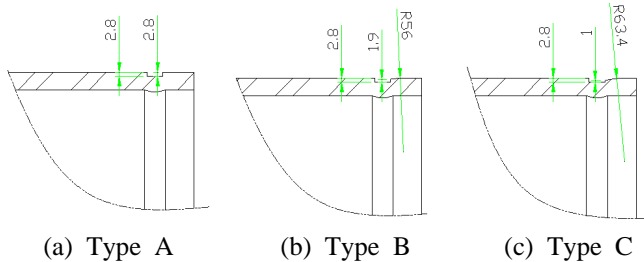
(c) Grid system

Fig. 3 Both types of housing and grid systems.

모델의 파이프 부분은 Mapped face meshing, Hex dominant method를 사용하였고, 하우징 부분은 형상이 복잡하여 자동메쉬를 이용하였으며, Node수는 293903개, Element수는 159149개의 모델이 생성되었다. 물성치는 Table 1의 값을 사용하였고, 하우징의 바닥에 접하는 부분을 고정면, 볼트의 체결력 3MPa, 중력 조건과 내압조건으로 선형구조해석을 수행하였다. 내압실제모델의 정수압 강도 시험은 사용압력(약 20bar)의 5배에 해당하는 100bar의 수압을 가할 때 파손되지 않아야 한다. 이에 사용압력의 3.5배에 해당하는 60bar, 80bar, 100bar의 내압조건으로 수행하였다. 파이프 홈을 만드는 방식으로 절삭식 grooving작업은 파이프 자체를 그대로 유지시켜주고, 파이프 홈의 단면이 사각형상으로 형성되기에 형상만으로는 하우징과 파이프의 결합력이 우수하나, 홈의 깊이가 얇아 그 한계가 있다. 또 금속을 깎아내지 않고 냉간 성형하는 방식인 전조식 grooving작업은 홈의 깊이가 깊으나, 파이프의 내부가 블록해진다는 단점이 있다. 이러한 특징을 절충하여 Fig. 4에 나타난 것처럼 파이프 홈의 형상을 3가지로 변화시키며 해석을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 Type 1-A인 경우의 내압을 60bar, 80bar, 100bar로 두었을때의 응력분포를 나타낸 것이다. 하우징간의 결합부위 근처와 파이프 홈 주변에 내압의 50-100배에 해당하는 응력이 집중됨을 알 수 있다. 하우징 타입, 파이프 홈의 형상, 내압의 변화에 상관없이 공통적으로 이와 유사한 응력분포를 나타낸다.

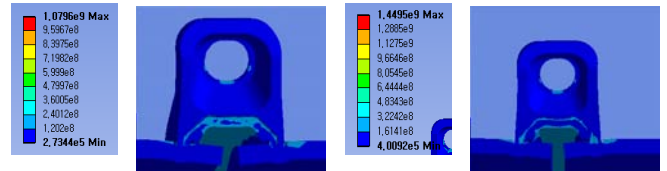


(a) Type A

(b) Type B

(c) Type C

Fig. 4 Various types of pipe groove model.

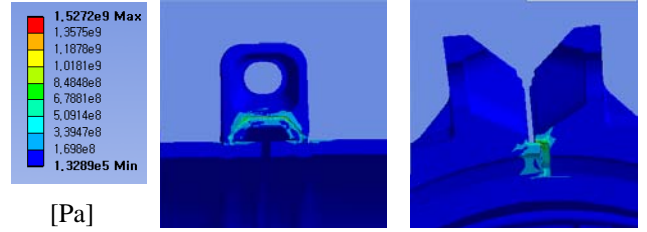


[Pa]

[Pa]

(a) Internal pressure 60bar

(b) Internal pressure 80bar

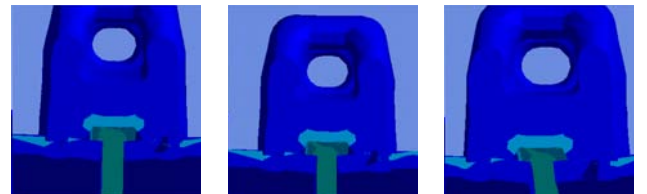


[Pa]

(c) Internal pressure 100bar

Fig. 5 Stress distributions of model Type 1-A.

Fig. 6은 Type 2-A, 2-B, 2-C의 경우 60bar, 80bar, 100bar의 압력을 주었을때의 응력분포를 나타낸 것이다. 내압이나 파이프 홈의 형상에 관계없이 하우징과 하우징의 결합부위와 파이프 홈 주변에 응력이 집중되는 것은 앞의 Type 1의 경우와 유사하였다. 하지만 응력의 크기는 Type 1과 달리 내압의 20-40배에 해당하는 응력이 집중되었다. Type 2-A, 2-B, 2-C의 순서로 홈의 깊이가 깊어서 홈의 바닥에는 응력이 적게 작용하였고, 홈의 양 옆면에 응력이 상대적으로 크게 작용하였다. 또 같은 순서로 홈의 한쪽 옆면의 모서리가 둥글어서 응력이 적게 작용하였다.



(a) Type A(60bar, 80bar, 100bar)



(b) Type B(60bar, 80bar, 100bar)



(c) Type C(60bar, 80bar, 100bar)

Fig. 6 Stress distributions of the model Type 2.

#### 4. 결론

본 연구에서는 파이프 홈의 형상변화에 따른 하우스징과 파이프의 응력분포를 수치적으로 모사하였으며 얻어진 결과들을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구에 사용된 모든 모델의 경우, 100bar의 압력을 가했을 때 파손되지 않았기 때문에 정수압 강도 시험을 만족함을 알 수 있다.

(2) 하우스징의 개수차이나 내압, 파이프 홈의 형상이 달라도 모든 경우 하우스징과 하우스징이 결합하는 부위와 파이프 홈 주변에 응력이 집중된다는 공통점을 알 수 있다.

(3) 파이프 홈의 형상이 다를 경우 홈의 깊이가 깊을수록 홈의 바닥에 응력이 적게 작용하였고 상대적으로 홈의 양 옆면에 응력이 집중되었다.

(4) 파이프 홈의 한쪽 옆면 모서리의 곡률반지름이 커질수록 응력이 분산되어 작게 작용하였다.

(5) 전체적으로 변수에 따른 해석결과의 차이가 크지 않았으므로 변수의 폭을 크게 하여 추가적인 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] 이교삼, "환경친화적 무용접 배관 시공법", 설비저널 제 30권 제2호(2001), pp. 12-17
- [2] 김태훈, "Victaulic 무용접 배관 System", 대한설비공학회, 하계학술대회 논문집(1997), pp. 933-941
- [3] 오윤택, "Victaulic Groove System", 대한설비공학회, 하계학술대회 논문집(2001), pp. 43-50
- [4] Lee, K. H. and Park, J. H., "Evaluation of construction Operating and Design Properties of CLSM for Corrugated Pipe in Underground", Journal of Korean Society of Pavement Engineers, Vol. 8, No. 2(2006), pp. 63-74.
- [5] Kim, J. M., Cho, S. D., Cho B. H. and Oh, S. Y., "Site Monitoring Analysis of the Corrugated Steel Pipe Using Geosynthetics", Pros of the Korean Society of Civil Engineers(2000), pp. 605-608
- [6] Ahn, W. C., Han, T. H., Lim, N. H. and Kang, Y. J., "Buckling Behavior of corrugated Steel Pipe Under External Uniform Pressure", Journal of Korean Society of Steel Construction, Vol. 15, No. 1(2003), pp.33-40
- [7] Hwang, W. S., Wi, Y. M. and Jeong, D. A., "Tensile Behaviors of corrugated Steel Plates in the Wave-Direction", Journal of KSCE, Vol. 23, No. 6(2003), pp. 73-76