

자동차 배기관용 V-Insert 클램프의 축하중 성능 평가 Axial Load Capacity of V-Insert Clamp for Automobile Exhaust Pipes

*황영은¹, 오진오¹, 박은용², #윤성호³

*Y. E. Hwang¹, J. O. Oh¹, E. Y. Park², #S. H. Yoon (shyoon@kumoh.ac.kr)³

¹금오공과대학교 기계공학과, ²(주)테스크, ³금오공과대학교 기계공학부

Key words : V-Insert clamp, Axial load capacity test, Automobile exhaust pipes

1. 서론

V-Insert 클램프는 원형 단면을 가진 서로 다른 소재나 동일 소재를 서로 체결할 경우 쉽게 탈거 및 부착이 용이하기 때문에 여러 산업분야 널리 적용되어져 왔다. 특히 자동차 산업에서는 차량 배기관 간의 연결, 배기가스저감장치 섹션간의 연결, 엔진의 배기다기관(Exhaust-Manifold)와 배기관의 연결시 적용된다. 또한 전형적인 과급기(Turbocharger)에서 배기관의 터빈 하우징과 흡기관의 컴프레서 하우징 사이를 플랜지로서 체결하는데 적용된다. V-Insert 클램프를 사용하여 서로 분리되어 있는 파이프를 체결할 경우 V-Insert 클램프는 파이프 간의 체결을 유지해야 하고 파이프 내부 압력 유지 등의 성능이 요구된다. 이러한 체결력과 실링 성능은 V-Insert 클램프에 작용하는 축방향으로 발생하는 하중을 통해 평가할 수 있다.

본 연구에서는 자동차 배기관에 적용되는 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 이론적으로 예측하고 하중시험기를 적용하여 클램프의 축방향 하중 시험을 통해 얻어진 결과와 비교 평가하고자 한다.

2. V-Insert 클램프의 축방향 하중 계산

Fig. 1에는 V-Insert 클램프를 사용하여 각각의 파이프를 클램프의 T-Bolt로 체결할 경우 클램프 내에 발생하는 하중들을 나타내었다. T-볼트로 체결을 하게 되면 클램프의 V 밴드는 인장으로 인해 반경 방향의 하중이 분포된다. 반경 방향의 하중으로 인해 파이프와 V 밴드는 서로 접촉하게 되고 이로 인해 V 밴드는 썸기 작용(Wedging action)으로 z 방향의 하중을 발생시킨다. 이러한 z 방향의 하중은 V-Insert clamp의 축방향 하중이며 플랜지 간의 체결 및 기밀성을 유지시키는 하중요소이다.

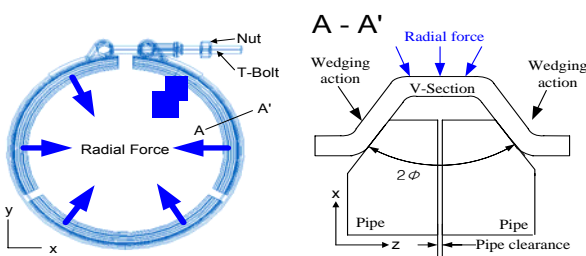


Fig. 1 Schematic diagram of the V-Insert clamp.

아래에 나타낸 식 (1)는 V-Insert 클램프의 T-볼트 죄임으로 인해 V 단면에 굽힘 작용이 발생한 경우 클램프의 축방향 하중을 나타낸 식이며 식 (2)는 파이프 간의 간격이 서로 벌어지는 경우 클램프의 축방향 하중을 나타낸 식이다[1,2].

$$F_a = \frac{(1 - \mu \tan \phi) F_\beta (\mu \cos \phi + \sin \phi)}{\mu (\mu + \tan \phi)} \left[1 - \exp\left(\frac{-\mu \beta}{(\mu \cos \phi + \sin \phi)}\right) \right] \quad (1)$$

$$F_a = \frac{(1 + \mu \tan \phi) F_\beta (\sin \phi - \mu \cos \phi)}{\mu (\tan \phi - \mu)} \left[1 - \exp\left(\frac{-\mu \beta}{(\sin \phi - \mu \cos \phi)}\right) \right] \quad (2)$$

여기서 β 는 클램프 내 V 밴드의 절반에 해당하는 각, ϕ 는 V 단면의 절반에 해당하는 각, μ 는 V 단면과 파이프 간의 마찰계수, F_β 는 T-볼트 내 인장하중을 나타낸다.

3. V-Insert 클램프의 축방향 하중 지지 성능 시험

Fig. 3에는 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 평가하기 위한 시험장치가 나타나 있다. 여기서 보면 상부 파이프는 하중시험기(Zwick/Z100, Germany)의 로드셀(Loadcell)과 서로 체결이 되어 있고 하부 파이프는 하중시험기의 크로스헤드(Crosshead)와 서로 체결되어 있다. 상부와 하부 파이프를 V-Insert 클램프로 체결하여 클램프의 T-볼트에 토크를 가하면 로드셀에서 축방향 하중을 측정할 수 있다. 이때 토크를 가하기 위해 토크렌치(Tonichi, Japan)를 사용하였다.

본 연구에서는 2 종류의 조건을 적용하여 시험이 진행되었다. 첫 번째 시험조건은 파이프 간의 간격을 고정시킨 후 클램프에 토크를 적용한 경우에 클램프의 죄임효과(Tightening effect)에 따른 축방향 하중을 측정하는 것으로 이론식 (1)과 관련되어 실험적으로 평가되었다. 이때 파이프 간의 간격은 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5 mm를 고려하였고 토크는 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 N·m를 적용하였다. 두 번째 시험조건은 이론식 (2)와 관련되어 클램프에 일정한 토크를 적용한 후 파이프 간의 간격을 증가시키는 것으로 클램프의 축방향 하중효과>Loading effect)를 평가하였다. 이때 토크는 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 N·m를 적용하였고 각 토크에서 파이프 간의 간격을 1mm에서 2 mm까지 0.2 mm씩 증가시켰다. 파이프 간의 간격을 증가시키기 위해 하부 파이프를 크로스헤드의 변위제어를 통해 1mm/min 속도로 이동시켰다.

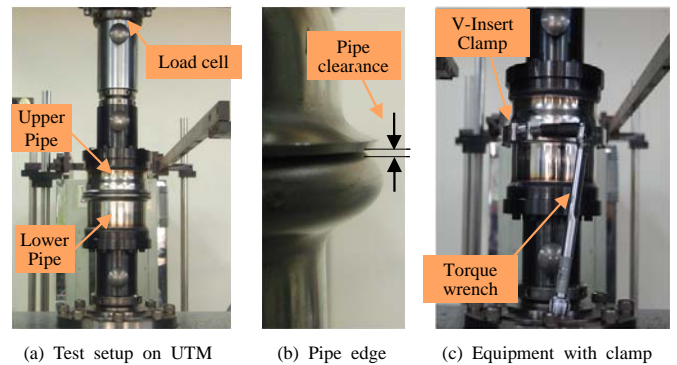


Fig. 2 Experimental test of axial load capacity for V-Insert clamp.

4. 결과 및 고찰

Fig. 3은 상부 파이프와 하부 파이프 간의 주어진 간격에서 토크에 따른 V-Insert 클램프의 축방향 하중에 대한 시험 결과와 이론에 따른 결과를 각각 나타내었다. 이론에 대한 결과는 식(1)에 의해 계산 되었으며 V 홈의 각 ϕ 는 20°와 30°, V 밴드와 파이프의 접촉 마찰력 μ 는 0.1과 0.2가 각각 고려되었다. 이론에 의한 결과를 보면 V 홈의 각과 마찰계수가 클수록 V-Insert 클램프의 죄임으로 발생하는 축방향 하중은 낮게 나타난다. 시험에 의한 결과를 보면 모든 파이프 간의 간격 범위에서 토크가 증가할수록 클램프의 축방향 하중은 이론에 의한 결과 범위 내에 분포함을 알 수 있다. 또한 클램프의 축방향 하중은 토크가 증가할수록 파이프 간의 간격이 2mm 까지 점차적으로 증가하는 양상을 나타내지만 파이프 간의 간격이 2mm 보다 더 높은 간격에서는 간격이 증가할수록 클램프의 축방향 하중은 점차적으로 감소하는 양상을 나타낸다. 따라서 파이프 간의 간격이 2mm인 경우 모든 토크의 범위에서 가장 높은 축방향 하중을 나타낸다. 파이프

간의 간격이 좁을수록 파이프 끝단(Edge)은 클램프의 V홈 내부로 이동하고 파이프와 V 밴드의 접촉 부분이 V 홈의 평탄 부분으로 다가갈수록 V 밴드에 발생하는 굽힘 모멘트가 더 크게 작용하기 때문에 클램프의 축방향 하중은 높게 나타난다. 하지만 시험결과에서는 파이프 간의 간격이 2mm보다 작은 경우 클램프의 축방향 하중이 낮게 나타내는데 이는 작은 토크 범위에서도 파이프의 끝단(Edge)이 클램프의 V 홈 내부 평탄 부분에 접촉이 일어나기 때문이다. 이러한 접촉은 V 밴드의 쉐기 작용을 방해하는 요소로 토크가 증가하더라도 클램프의 축방향 하중을 감소시키기 때문에 다른 간격들에 비해 축방향 하중이 낮게 나타난다. 마찬가지로 파이프 간의 간격이 2mm보다 큰 경우에서도 클램프의 축방향 하중이 간격 2mm 보다 낮게 나타내는데 이는 V-Insert 클램프를 죄이는 경우 파이프와 V 밴드의 접촉이 2mm 간격에서보다 V 홈의 내부로부터 더 떨어진 거리에서 시작하기 때문에 V 홈의 각이 토크가 증가함에 따라 커지기 때문에 비교적 낮은 축방향 하중을 나타낸다.

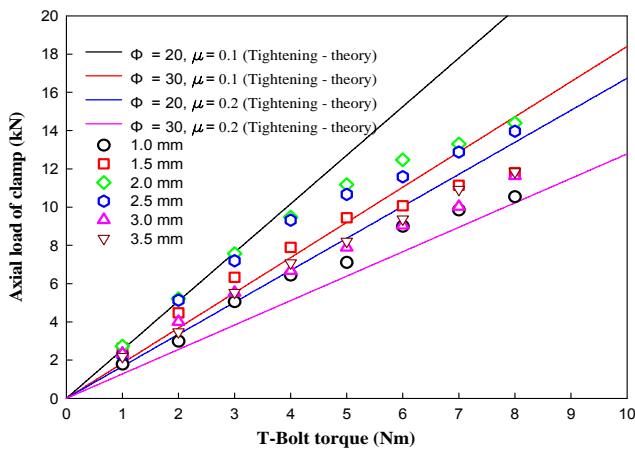


Fig. 3 Test results of axial load capacity for V-Insert clamp in case of tightening clamp.

Fig. 4에는 V-Insert 클램프에 일정한 토크를 적용한 후 파이프 간의 간격을 2mm까지 증가시킨 경우 시간에 따른 클램프의 축방향 하중을 나타내었다. 여기서 보면 파이프 간의 간격과 토크가 증가할수록 클램프의 축방향 하중은 증가함을 알 수 있다. Fig. 5는 클램프의 죄임효과와 하중효과에 따른 시험 결과와 이론에 따른 결과를 각각 나타내었다. 이때 죄임효과는 식(1)에 의해 계산되었고 하중효과는 식(2)에 의해 계산되었다. 여기서 이론에 의한 결과를 보면 일정한 토크에서 하중효과에 따른 클램프의 축방향 하중이 죄임효과에 비해 매우 크게 나타남을 알 수 있다. Fig. 4에서 얻어진 결과를 통해 이론에 의한 결과와 비교해보면 낮은 토크의 범위에서는 이론적으로 예측한 결과와 유사한 양상을 나타낸다. 하지만 높은 토크의 범위에서는 비교적 큰 편차를 나타낸다. 높은 토크가 적용된 후에 파이프의 간격을 늘리게 되면 클램프의 V 밴드 내에 과도한 인장 하중이 발생하여 T-볼트의 너트가 풀려지는 현상이 관찰되었다. 이로 인해 높은 토크의 범위에서 클램프의 축방향 하중이 더 이상 증가하지 않는다.

5. 결론

본 연구에서는 자동차 배기관에 적용되는 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 이론적으로 예측하고 시험을 통해 얻어진 결과와 비교 평가하였다. 죄임효과 시험에서 클램프의 축방향 하중은 이론에 의한 결과 범위 내에 분포함을 알 수 있었고 파이프 간의 간격이 2mm인 경우 모든 토크의 범위에서 가장 높은 축방향 하중을 나타내었다. 하중효과 시험에서 클램프의 축방향 하중은 낮은 토크의 범위에서는 이론적으로 예측한 결과와 유사한 양상을 나타내었지만 높은 토크의 범위에서는 너트풀림현상으로

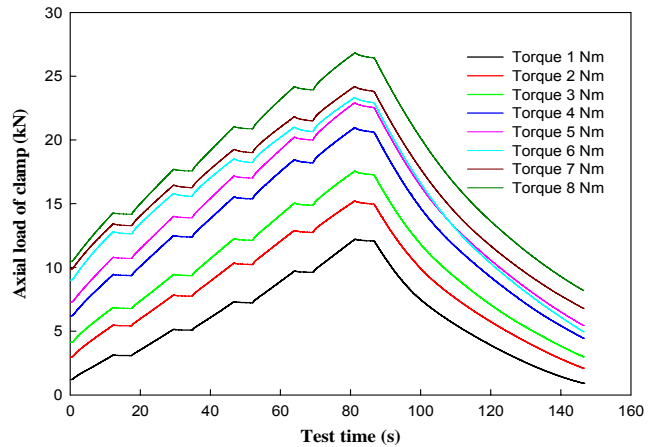


Fig. 4 Test results of axial load capacity for V-Insert clamp in case of load applied.

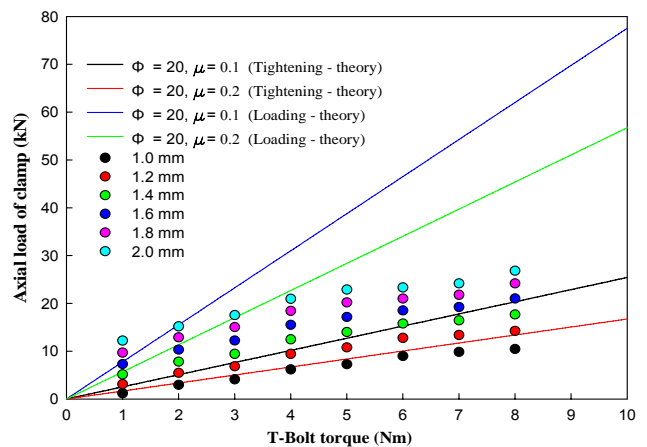


Fig. 5 Comparison of results in case of tightening and loading clamp.

인해 비교적 큰 편차를 나타내었다. 죄임효과 시험으로 얻어진 파이프 간격 범위는 V-Insert 클램프의 실링 성능을 높이기 위한 개스킷 적용에 활용할 수 있으며 하중효과 시험에 의해 얻어진 결과는 V-Insert 클램프의 체결 성능을 향상시키기 위한 설계 자료가 될 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 경상북도, 중소기업청에서 지원하는 17차 (2009년도) 금오공과대학교 산학 공동기술개발과제로 수행된 논문입니다.

참고문헌

1. Shoghi, K., Barrans, S. M. and Rao, H. V., "Stress in V-section band clamps," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 218, 251-261, 2004.
2. Shoghi, K., Barrans, S. M. and Ramasamy, P., "Axial load capacity of V-section band clamp joints," 8th International Conference on Turbochargers and Turbocharging (London), 8, 273-285, 2006.