

자동차 배기관용 V-Insert 클램프의 기밀성능 평가 Sealing Performance of V-Insert Clamp for Automobile Exhaust Pipes

*#윤성호¹, 황영은², 이재복², 박은용³

*S. H. Yoon (shyoon@kumoh.ac.kr)¹, Y. E. Hwang², J. B. Lee², E. Y. Park³

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

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

1. 서론

V-Insert 클램프는 파이프와 파이프 간을 연결할 경우 체결 및 분리가 용이하기 때문에 항공 우주산업, 자동차 산업 등에 널리 사용되어져 왔다. 최근에는 자동차의 매연 배출을 저감시키기 위한 후처리장치에 V-Insert 클램프가 적용되고 있다. 후처리장치에는 매연여과필터(Diesel particulate filter)가 내장되며 자동차가 장기간 운용되는 경우 후처리장치의 필터에 입자성 물질이 축적되면 배기배압이 증대하여 엔진의 출력을 저하시키고 연비가 나빠지며 최악의 경우 고가인 필터가 파손을 일으킬 수 있다. 이러한 문제를 방지하기 위해서는 주기적으로 필터를 교환하거나 청소하여야 한다. 이때 필터를 탈거하거나 재장착을 쉽게 하기 위해서 후처리 장치에 V-Insert 클램프가 적용된다. V-Insert 클램프를 사용하여 서로 분리되어 있는 후처리 장치의 배기관을 체결할 경우 V-Insert 클램프는 배기관 간의 체결을 유지해야 하고 배기관 내부 압력 유지 등의 성능이 요구된다. 이러한 체결력과 기밀성능은 V-Insert 클램프에 작용하는 축방향으로 발생하는 하중을 통해 평가할 수 있다[1-3].

본 연구에서는 하중시험기를 통해 자동차 배기관에 적용되는 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 실험적으로 조사하여 V-Insert 클램프의 체결력을 평가하고자 한다. 또한 기밀시험기를 적용하여 V-Insert 클램프의 기밀성능을 평가하고자 한다.

2. V-Insert 클램프의 체결력 평가시험

V-Insert 클램프를 적용하여 서로 분리된 각각의 배기관을 체결할 경우 V-Insert 클램프의 T-볼트에 토크(Torque)를 가함으로써 배기관 간의 체결이 이루어진다. T-볼트로 체결을 하게 되면 V-Insert 클램프 내에 있는 V 밴드는 인장으로 인해 반경 방향의 하중이 분포된다. 반경 방향의 하중으로 인해 배기관과 V 밴드는 서로 접촉하게 되고 이로 인해 V 밴드는 썩기 작용(Wedging action)으로 배기관들은 서로 압축되는 축방향의 하중이 발생된다. 이러한 하중은 V-Insert clamp의 축방향 하중이며 배기관 간의 체결 및 기밀성을 유지시키는 하중요소이다.

Fig. 1에는 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 조사하기 위한 시험장치를 나타내었으며 서로 분리된 2개의 배기관은 각각 하중시험기(Zwick/Z100, Germany)의 로드셀(Loadcell)과 크로스헤드(Crosshead)와 서로 체결되어 있다. 하부 배기관에 연결되어 있는 크로스헤드를 이용하여 상부 배기관에 하부 배기관을 근

접하게 이동시킨 후 V-Insert 클램프로 체결하여 T-볼트에 토크를 가하면 로드셀에서 축방향 하중을 측정할 수 있다. 이때 토크를 가하기 위해 토크렌치(Tonichi, Japan)를 사용하였다.

V-Insert 클램프의 체결력을 평가하기 시험 조건은 배기관 간의 간격을 고정시킨 후 V-Insert 클램프에 토크를 가하는 것으로 배기관 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.

3. V-Insert 클램프의 기밀성능 시험

V-Insert 클램프의 기밀성능을 조사하기 위해 공압기밀시험기(ATEQ F2P5, France)를 사용하였다. 공압기밀시험기는 공기를 매질로 하는 차압 감지 센서를 사용하여 시험시료부의 압력 감소치를 감지하는 계기이다. Fig. 2에는 V-Insert 클램프의 기밀성능 평가를 위한 시험장치를 나타내었으며 서로 분리된 각각의 배기관을 V-Insert 클램프로 체결한 후 압력을 주입하여 기밀성능을 평가하였다. 이때 체결된 배기관의 한쪽 단면은 용접을 통해 밀폐되었으며 다른 단면은 압력 주입구와 연결되도록 하였다. Fig. 3에는 체결된 배기관 내에 압력이 주입되는 조건을 나타내었으며 가압(Fill), 평형(Stabilization), 검출(Test), 배기(Dump) 순으로 진행된다. 검출 단계에서는 초당 압력감소가 표시되도록 하였으며 식(1)을 통해 누설량(Leak flow) F를 계산할 수 있다[4].

$$F(\text{cm}^3/\text{min}) = K \times V(\text{cm}^3) \times \Delta P(\text{Pa}/\text{s}) \quad (1)$$

K : Constant (0.0006 at cm^3/min)

V : Volume of the test sample

ΔP : Pressure drop

본 연구에서는 체결된 배기관 내 체적을 1080cm^3 , 주입 압력 100kPa , 가압시간 10초, 평형시간 20초, 검출시간 10초, 배기시간 5초로 설정하였으며 토크 증가에 따른 V-Insert 클램프의 기밀성능을 평가하였다. 이때 토크는 4, 5, 6, 7, 8 N·m를 적용하였다. 또한 배기관과 배기관 사이에 가스켓(Gasket) 적용유무에 따라 시험을 수행하였다. 가스켓(KSG-115, Korea Sealpac)의 두께는 1.2mm 이며 구성성분은 주석과 그래파이트(Graphite)로 이루어져 있다.

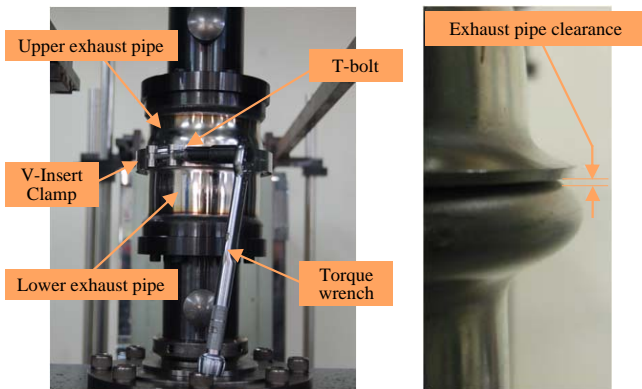


Fig. 1 Experimental test of axial load capacity for V-Insert clamp.

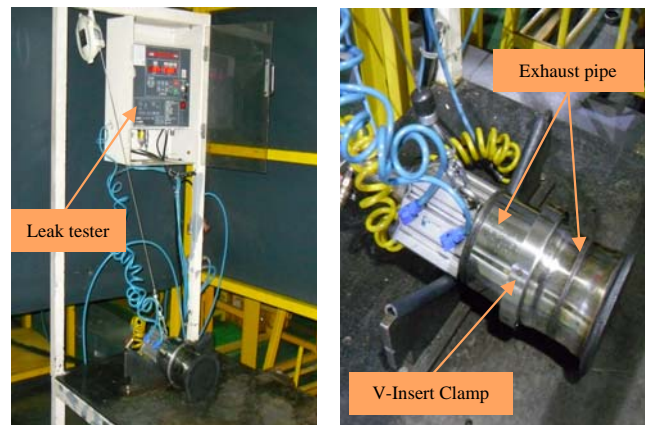


Fig. 2 Sealing performance test for V-Insert clamp.

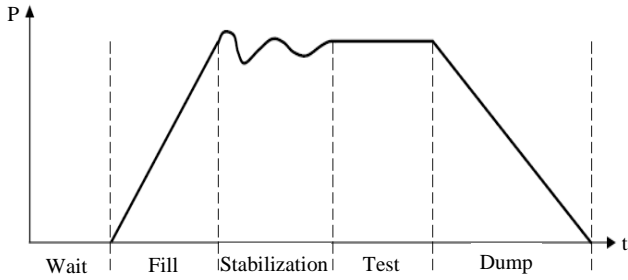


Fig. 3 Test conditions for sealing performance test.

4. 결과 및 고찰

Fig. 4는 상부 배기관과 하부 배기관 간의 주어진 간격에서 적용 토크의 증가에 따른 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 나타낸다. 여기서 보면 V-Insert 클램프의 축방향 하중은 토크가 증가할수록 배기관 간의 간격이 2mm 까지 점차적으로 증가하는 양상을 나타내지만 배기관 간의 간격이 2mm 보다 더 높은 간격에서는 간격이 증가할수록 클램프의 축방향 하중은 점차적으로 감소하는 양상을 나타낸다. 따라서 배기관 간의 간격이 2mm인 경우 모든 토크의 범위에서 가장 높은 축방향 하중을 나타낸다. 이때 배기관 간의 간격이 2mm인 경우 V-Insert 클램프의 하중값은 토크가 4N·m인 경우 9477N, 5N·m는 11180N, 6N·m는 12474N, 7N·m는 13300N, 8N·m는 14400N으로 나타났다.

배기관 간의 간격이 좁을수록 파이프 끝단(Edge)은 클램프의 V홈 내부로 이동하고 배기관과 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 배기관 간의 간격이 2mm보다 작은 경우 클램프의 축방향 하중이 낮게 나타내는데 이는 작은 토크 범위에서도 배기관의 끝단이 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 배기관 간의 간격이 2mm보다 큰 경우에서도 클램프의 축방향 하중이 간격 2mm 보다 낮게 나타내는데 이는 V-Insert 클램프를 죄이는 경우 배기관과 V 밴드의 접촉이 2mm 간격에서 보다 V 홈의 내부로부터 더 멀어진 거리에서 시작하기 때문에 V 홈의 각이 토크가 증가함에 따라 커지기 때문에 비교적 낮은 축방향 하중을 나타낸다.

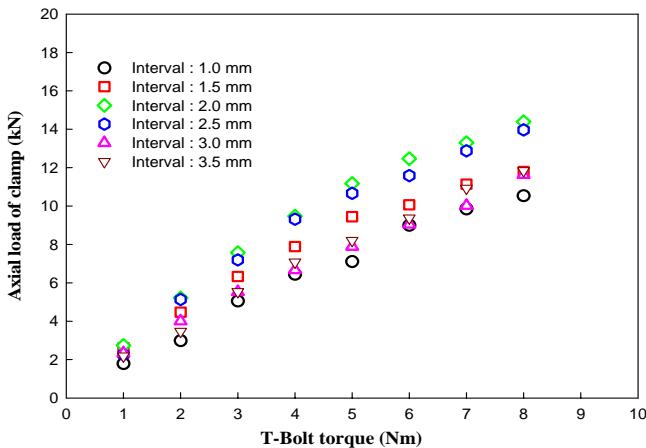


Fig. 4 Test results of axial load capacity with intervals between exhaust pipes for V-Insert clamp in case of tightening clamp.

표 1은 V-Insert 클램프의 기밀성능을 평가하기 위해 가스켓 적용유무와 토크 증가에 따른 배기관 내의 누설량을 나타내었다. 여기서 가스켓을 적용한 경우 모든 토크의 범위에서 누설되지

않음을 알 수 있다. 반면에 가스켓을 적용하지 않은 경우를 보면 V-Insert 클램프의 누설량을 측정되지 못함을 나타내는데 체결된 배기관 내에 주입되는 압력이 평형단계에서 일정하더라도 검출 단계에서 기밀성능시험기에서 설정된 초당 압력감소값을 초과했기 때문이다. 이때 초당 압력감소값은 최대값인 500 Pa/s로 설정되었으며 검출단계에서 V-Insert 클램프로 체결된 배기관의 누설정도가 설정 최대값을 초과하여 측정되지 않은 것으로 판단된다. 또한 가스켓을 적용하지 않으면 배기관 간의 사이는 밀착된 상태이지만 V-Insert 클램프의 축방향 하중 결과에서 알 수 있듯이 배기관의 간격이 2mm 보다 작은 경우 파이프의 끝단(Edge)이 클램프의 V 홈 내부 평탄 부분에 접촉하며 이러한 접촉은 토크가 증가할수록 배기관 간의 사이를 늘리기 때문에 배기관이 누설된다.

Table 1 Results of sealing performance test for clamped exhaust pipes.

| Torque (Nm) | Sealing performance | |
|-------------|---------------------|-----------------|
| | No gasket | Gasket |
| 4 | Leak | Perfect sealing |
| 5 | Leak | Perfect sealing |
| 6 | Leak | Perfect sealing |
| 7 | Leak | Perfect sealing |
| 8 | Leak | Perfect sealing |

5. 결론

본 연구에서는 하중시험기를 통해 자동차 배기관에 적용되는 V-Insert 클램프의 축방향 하중을 실험적으로 조사하여 V-Insert 클램프의 체결력을 평가하고 기밀성능시험기를 적용하여 V-Insert 클램프의 기밀성능을 평가하였다. V-Insert 클램프의 축방향 하중은 적용 토크가 증가할수록 점차적으로 증가하는 양상을 나타내었으며 배기관 간의 간격이 2mm인 경우 모든 토크의 범위에서 가장 높은 축방향 하중을 나타냈다. 두께가 1.2mm인 가스켓을 적용한 경우 V-Insert 클램프에 토크를 적용하면 배기관 간의 간격이 1.2mm 미만임을 알 수 있으며 1.2mm 간격에서 V-Insert 클램프의 축방향 하중이 배기관 간의 간격이 2mm인 경우보다 비교적 낮은 축방향 하중을 나타냄을 알 수 있다. 하지만 V-Insert 클램프의 기밀성능 시험을 통해 얻어진 결과를 보면 가스켓을 적용한 경우 배기관 내는 완전 기밀됨을 알 수 있다.

후기

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

참고문헌

1. Barrans, S., M. and Muller, M., "Finite element prediction of the ultimate axial load capacity of V-section band clamps," 7th International Conference on Modern Practice in Stress and Vibration Analysis (Cambridge), 2009.
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.
3. 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.
4. ATEQ F2P5 User manual, 2003.