

스위벨 밸브 튜브 커플러 개발을 위한 해석 연구

이준호[#], 성재경^{*}

An Analytical Study on the Improvement of the Performance of Swivel Valve Tube Couplers

Jun-Ho Lee[#], Jae-Kyeong Sung^{*}

(Received 30 November 2010; received in revised form 8 March 2011; accepted 11 May 2011)

ABSTRACT

This study focused on the localization of swivel type tube couplers, which all depend on imports. In this study, a computer application analysis was performed using a finite element method as a preliminary study. In the major developments related to the objective of this study, the air brake system produced by car makers represents a different in the installation point of an air tank according to the type of cars or in the length and direction of its hoses and that leads to cause lots of problems. For solving such problems, the design of the major elements in a swivel type tube coupler was analyzed using a finite element method, and its validity was also verified. In the process that verifies the validity of this study, it was necessary to investigate how much external force affects the desorption of the tube support, which is the most important element in swivel type tube couplers. For achieving the investigation, a pressure test was implemented for the tube support according to the Federal Motor Vehicle Safety Standards(FMVSS). In the results of the pressure test, all samples satisfied the FMVSS. In addition, several tests were implemented by installing the sample of the developed swivel type tube coupler to an actual vehicle. In particular, rotation tests with various angles were applied by welding the swivel type coupler to an air tank through an argon welding process. In the results of the installing test for an actual vehicle, it was verified that the designed structure was determined as a structure that is able to endure the eccentric torque and deformation pressure applied to several directions that are the major problems in such fixed type tube couplers. Therefore, in the comparison of the performance of the developed product with the product of PARKER, it was possible to verify that the localized swivel type tube coupler developed in this study shows more excellent than that of the existing products by PARKER.

Key Words : Swivel Type Tube Couplers(스위벨 방식 튜브커플러), Localization(국산화), Finite Element Method (유한요소법), Air Brake System(에어브레이크 시스템), Tube Support(튜브서포트), Federal Motor Vehicle Safety Standards(미연방 자동차 안전기준)

1. 서 론

* 한국폴리텍VII대학 창원캠퍼스 자동차시스템과
교신저자 : 한국폴리텍 I 대학 서울정수캠퍼스
LCD반도체시스템과
E-mail : leeyj@chol.com

최근 유한요소법을 이용한 컴퓨터응용해석기법을 도입하여 외부에서 작용하는 여러 가지 부하에 대한 제품의 안전성을 검토하는 방법이 사용되고 있다. 완

제품이 생산되기 전에 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 수행하여 부품의 안전성과 간섭 체크 및 부하에 대한 변형을 예측할 수 있다. 시뮬레이션 대상물의 기계적 성질과 물성, 마찰 계수, 부하 등을 유한요소법으로 예측할 수 있으므로 실제 제작 상황과 거의 유사한 결과도 얻어 낼 수 있다. 자동차 에어브레이크시스템을 구성하는 각종 밸브와 부품은 튜브 커플러를 이용하여 연결한다. 현재 국내에서 생산하는 에어브레이크시스템용 튜브 커플러는 대부분 생산이 용이한 고정 나사방식이다^[1-4]. 고정 나사방식의 문제점으로 토목 건설 공사용 대형 트럭이 비포장도로에서 운전하는 상황에서는 편심 토크와 변형의 위험을 상시 받고 있다^[5,6]. 국내에서 생산하고 있는 스위벨 방식의 튜브 커플러는 합성수지를 사출공법으로 제조하고 있다. 가격은 저가이지만 정밀도가 낮고, 보안기능이 미비하여 일정기간이 경과하면 누설이 발생한다. 국외에서는 미국의 PARKER사의 스위벨 방식 튜브 커플러를 사용하고 있다. 현재 국내 대부분의 자동차 생산메이커는 이 제품을 수입하여 사용하고 있다^[7-9]. 따라서 본 연구에서는 현재 전량 수입에 의존하고 있는 스위벨 방식 튜브 커플러를 국산화하기 위하여 유한요소법 Ver.10을 이용하여 해석한다^[10,11].

2. 스위벨 방식 튜브 커플러의 모의설계와 해석

고정 방식 튜브 커플러는 아르곤 용접으로 에어탱크에 고정하며 다음 Fig. 1 점선내부와 같이 결합된다^[2].



Fig. 1 Fixed tube coupler

고정 방식 튜브 커플러의 문제점을 보면 자동차 메이커가 생산하는 차종에 따라 에어 탱크의 설치 위치가

다르다. 그러므로 튜브 커플러에서 에어 브레이크와 연료분사기로 연결하는 호스의 길이와 방향도 각각 다르게 된다. 이 문제를 최소화하기 위하여 고정 방식 튜브 커플러를 -자, T자, L자 등 여러 종류로 제작하지만 한계가 있다^[12]. 그러므로 일관 생산방식으로 운영되는 자동차 생산 공정에서 튜브 커플러를 고정하는 작업이 상당한 부담이 될 수 있다. 차체가 진후좌우로 과격하게 흔들림이 발생하거나 공압 호스의 방향이 바뀔 때 따라 발생하는 편심 토크와 변형 위험에 효과적으로 대응하기 위해서는 고정 나사방식 보다 연결된 두 부분 중 한 쪽은 고정시키고 다른 한 쪽의 회전이 용이한 스위벨 방식의 튜브 커플러가 훨씬 다양하게 적용할 수 있음을 알 수 있다^[1,7]. 고정 방식 튜브 커플러는 외부의 힘이 가해졌을 때 다음 Fig. 2와 같이 다양한 방향의 편심 토크와 변형 압력을 받는다^[13].

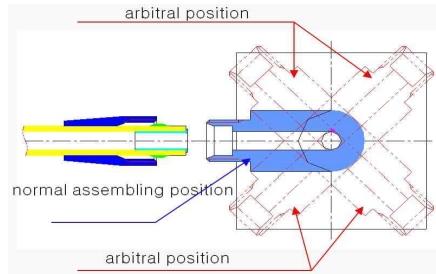


Fig. 2 Eccentric torque and transformation pressure

스위벨 방식 튜브 커플러는 차량에 장착할 때 다양한 방향으로 편심토크와 변형압력을 받으므로 바디에 대한 응력해석을 수행한 다음 부품을 제작하면 문제점을 최소화 할 수 있다^[13]. 다음 Fig. 3은 스위벨 방식 튜브 커플러가 조립된 형상모델이다^[12].

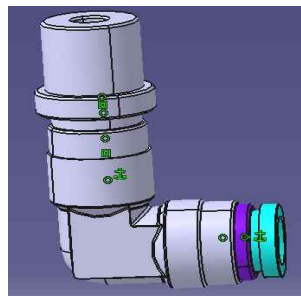


Fig. 3 Assembled shape model in the tube coupler swivel manner

2.1 밸브 바디 응력해석

해석에 사용된 바디의 인장시험편은 4호이다. 재질과 해석조건은 미연방 자동차 안전기준 D.O.T FMVSS106를 고려하여 다음 Table 1과 같다^[5-9,12].

Table 1 Material of body

Topics	Unit	Data	Test methods
Tensile strength	N/mm ²	432	KS B 0802 : 2003
Elongation	%	37	KS B 0802 : 2003
Cu	%	59.44	KS D 5101 : 2003
Fe	%	0.16	KS D 5101 : 003(CPI)
Sn	%	0.26	KS D 5101 : 003(CPI)
Pb	%	1.54	KS D 5101 : 003(CPI)
Zn	%	Remainder	KS D 5101 : 2003

- ① Module of elasticity E=110[GPa]
- ② Poisson's ratio $\nu=0.375$
- ③ Yield strength $\sigma_y=515$ [MPa]
- ④ Pressure P=1.21[MPa]

다음 Fig. 4는 스위벨 방식 튜브 커플러 조립 형상 모델을 이용하여 와이어 프레임과 솔리드 모델을 유한요소법으로 표현한 것이다^[10,11].

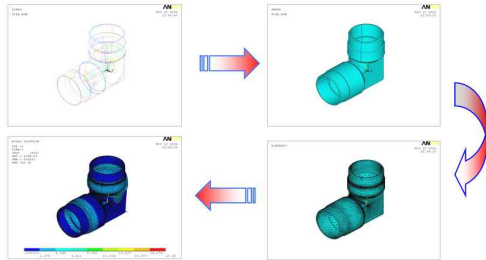


Fig. 4 Process of the analysis of the swivel valve

다음 Fig. 5는 결과를 나타내는 것으로 응력에 대한 변화를 확인할 수 있다^[10,11].

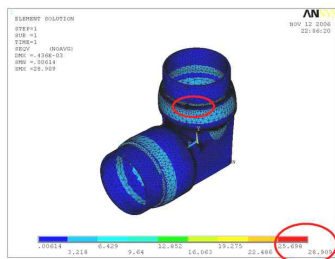


Fig. 5 Maximally generated stress was 1.2[MPa]

이 결과에서 최고발생응력은 25.698[MPa]으로 나타나고 있다. 이 값은 황동 재질의 항복강도가 517[MPa]에 비하여 현저하게 작다. 그러므로 온도의 영향을 고려하지 않더라도 편심 토크와 변형 압력에 안전하다는 것을 알 수가 있다^[13].

2.2 튜브 서포트의 외부하중에 대한 영향과 이탈여부 검토

스위벨 방식 튜브 커플러의 튜브서포트가 차량 운행 중 이탈될 경우 에어브레이크시스템 자체가 동작할 수 없는 큰 문제를 야기할 수 있다. 따라서 외부하중에 대한 안정성과 내부발생압력으로 인하여 이탈되는가 하는 문제를 규명해야 한다. 다음 Fig. 6은 튜브서포트 형상이다^[10,11].

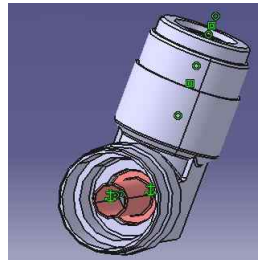


Fig. 6 Tube support in the tube coupler swivel manner

튜브서포트의 재질과 해석조건은 D.O.T FMVSS106에 따라 다음 Table 2와 같다^[5-9,12].

Table 2 Material of sweep valve tube support

Test item	Unit	Result
Tensile test	N/mm ²	505
C Max	%	0.08
Cr	%	18~20
Fe	%	66.345~74
Mn Max	%	2
Ni	%	8~10.5
P Max	%	0.045
S Max	%	0.03
Si Max	%	1

- ① Module of elasticity E=193~200[GPa]
- ② Poisson's ratio $\nu=0.29$
- ③ Yield strength $\sigma_y=215$ [MPa]
- ④ Tensile strength $\sigma_{max}=505$ [MPa]

모델링 요소는 45 브릭-8-노드로 설정한다. 결과는 다음 Fig. 7과 같다^[10,11].

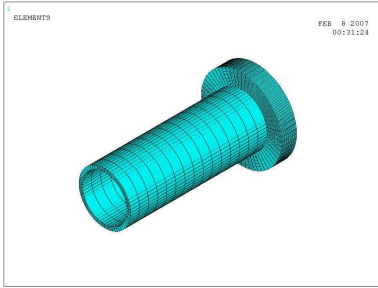
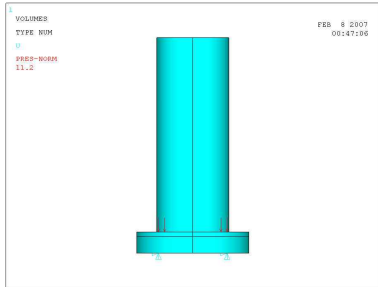
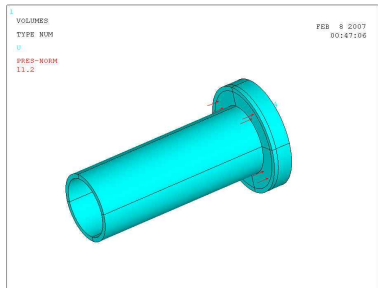


Fig. 7 Model of the tube support

다음 Fig. 8은 밑 부분과 원주방향으로 구속한 조건과 외부하중을 균일분포하중으로 가한 것을 표현한다.



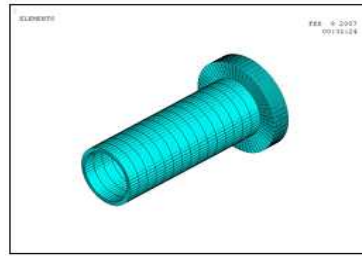
(a) On the bottom and circumferential restraint



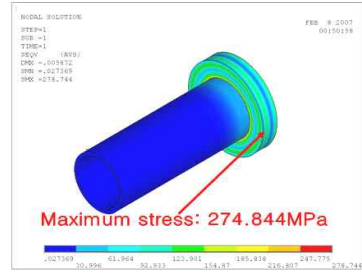
(b) Uniformly distributed load restraint

Fig. 8 External loads of tube support

D.O.T FMVSS106규정에 따라 스위벨 방식 튜브 커플러에 50[Kg]과 100[Kg]의 외부하중이 가해질 때 안정성 여부를 확인한다. 다음 Fig. 9는 50[Kg]의 외부하중이 가해질 때 나타나는 변위와 응력이다^[10].



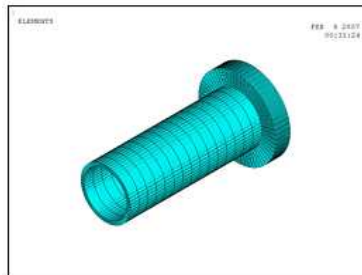
(a) Displacement



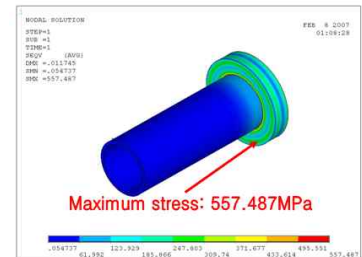
(b) Stress

Fig. 9 50[Kg], when the displacement and stress caused

Fig. 9에서 274.844[MPa]의 응력이 발생한다. 다음 Fig. 10은 외부 힘 100[Kg]이 작용 할 때의 변위와 응력이다.



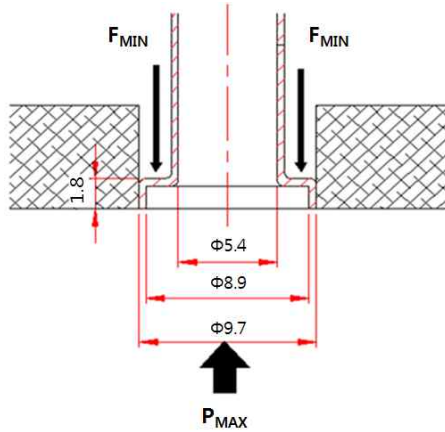
(a) Displacement



(b) Stress

Fig. 10 100[Kg], when the displacement and stress caused

Fig. 10에서 557.487[MPa]의 응력이 발생한다. 따라서 SUS재질 인장강도가 505[MPa]이므로 100[Kg] 이상의 외부하중에는 불안정하다는 것을 알 수 있다. 다음 Fig. 11은 튜브서포트에 작용하는 외력과 압력을 나타낸 것이다^[11].



- ① External loads $F_{MIN} = 50[\text{Kg}]$
- ② Pressure $P_{MAX} = 30[\text{Kg}/\text{cm}^2]$

Fig. 11 Forces acting in the tube support

다음 Fig. 12는 튜브서포트의 이탈여부를 확인하기 위하여 내부공급압력과 벽면에 작용하는 마찰력을 표현한 것이다^[5-9,11].

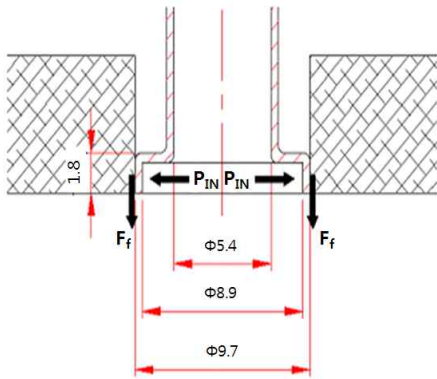


Fig. 12 Internal and external pressure on tube support

Fig. 12에서 압력 P_{MAX} 에 의한 힘 F_v 은 다음과 같이 구한다^[11].

$$F_v = 0.3 \times \frac{\pi}{4} (8.9^2 - 5.4^2) = 11.792[\text{Kg}] \quad (1)$$

외부하중으로 발생하는 응력 σ_y 은 다음과 같다.

$$\sigma_y = \frac{F_{MIN}}{\frac{\pi}{4} (9.7^2 - 8.9^2)} = 41.9279[\text{MPa}] \quad (2)$$

후크의 법칙에 따른 변형률은 다음과 같이 구한다.

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 내부발생압력 P_{IN} 은 다음과 같이 구한다.

$$P_{IN} = \frac{\nu \sigma_y}{1 - \nu} = 17.125[\text{N}/\text{mm}^2] \quad (4)$$

식 (4)를 이용하여 내부 발생압력에 의한 힘 F_{PIN} 은 다음과 같다.

$$F_{PIN} = P_{IN} \times \pi \times 9.8 \times 1.8 = 939.344[\text{N}] \quad (5)$$

식 (5)를 이용하여 벽면에 작용하는 마찰력 F_f 을 구하면 다음과 같다.

$$F_f = \mu \times F_{PIN} = 31.144[\text{kg}] \quad (6)$$

따라서 내부발생압력 P_{IN} 이 11.792[kg]임에 비하여 벽면에 작용하는 마찰력 F_f 은 31.144[kg]이므로 이탈되지 않는다는 것을 알 수 있다^[5-9].

3. 시뮬레이션에 대한 시험 평가

개발을 완료한 스위벨 방식 튜브 커플러는 1/4인치와 3/8인치가 있다. 본 연구에서는 1/4인치를 중심으로 시험 평가한 결과를 표시한다^[12,13]. 1/4인치의 경우 만족해야 하는 시험규격은 조립 후 50LBS, 3/8는 150LBS 이내에서 분리가 되면 안된다^[5-9]. 다음 Table 3은 D.O.T FMVSS106규정에 따라 시험한 결과이다^[13].

Table 3 Pull tensile test

Sample No.	Pull tensile test		
	Load LBS	Extension mm	Failure type
1	89.53	3.51	Tube tear
2	90.95	4.98	Disunion
3	88.89	3.21	Disunion
4	91.22	5.15	Disunion
5	88.59	4.15	Disunion

이 Table 3과 같이 내부에 가해지는 최고압력을 40.184[kg/cm²]에서 40.610[kg/cm²]까지 적용한 결과 모든 샘플이 시험조건을 만족하고 있으므로 튜브서포트 탈착에 대한 모의설계와 해석이 타당한 것으로 판단된다. 본 연구는 내용의 특성상 2개의 논문으로 구분되어 있다. 시뮬레이션에 대한 평가와 연구 결과를 입증하는 실험에 대한 내용은 참고문헌 13에 수록되어 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 현재 전량 수입에 의존하고 있는 스위벨 방식 튜브 커플러를 국산화하기 위한 선행 과제로 유한요소법을 이용한 컴퓨터응용해석을 수행하였다. 주요 개발 내용을 정리하면 다음과 같다.

1. 차종에 따라 에어 탱크의 설치 위치가 다르거나 호스의 길이와 방향이 다른 문제점에도 적절하게 대응할 수 있음을 알 수 있었다.
2. 튜브서포트 탈착에 대한 모의설계와 해석에 대한 타당성을 입증하기 위해 미연방 자동차 안전기준 D.O.T FMVSS106에 맞추어 압력 시험을 수행한 결과 모든 조건을 만족하였다.
3. 차량에 장착한 다음 다양한 각도로 회전 시험한 결과 고정 방식 튜브 커플러의 주요 문제점인 다양한 방향의 편심 토크와 변형 압력에 견딜 수 있는 구조로 판명되었다.
4. 기존의 고정 방식 튜브 커플러의 주요 문제점을 개선할 수 있는 구조를 개발하여 성능을 비교한 결과 PARKER사보다 우수한 제품이라는 것을 입증할 수 있는 근거를 마련할 수 있다.

참고문헌

1. Rechnitzer, G. and Lane, J., "Roll Over Study Vehicle Design and Occupant Injuries", Monash University Accident Research Centre Report No. 65. 1997.
2. <http://www.sae.org/>
3. Kahane, C. J., "An Evaluation of Door Locks and Roof Crush Resistance of Passenger Cars", NHTSA Report Number Dot HS 807 489. 1989.
4. Willke, D. T., "Status of NHTSA's Roof Crush Research", SAE Government Industry Meeting. 2004.
5. <http://www.badatek.co.kr/>
6. <http://www.raufoss.no/ny/>
7. <http://www.nitta.co.kr/>
8. <http://kari.hmc.co.kr/Public/default.aspx>
9. <http://www.nhtsa.dot.gov/>
10. I-DEAS FEMTH User's Guide Manual, SDRC.
11. Chang F. S and Hallquist J. O., "Finite Element Analysis of Low Density High-Hysteresis Foam Materials and the Application in the Automotive Industry", SAE 940908, pp. 699-707, 1994.
12. Chang F. S and Hallquist J. O., "Finite Element Analysis of Low-Density High-Hysteresis Foam Materials and the Application in the Automotive Industry", SAE 940908, pp. 699-707, 1994.
13. J. H Lee and J. K Sung., "A Comparative Study on the Improvement of the Performance of Swivel Valve Tube Couplers", The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. Vol. 9, No. 5, pp. 20-27(2010.10)