



LPG Injector 컷솔 유동 특성 및 설계 변수 연구

이준식,¹ 임설,¹ 김상덕,² 송동주^{*3}

A STUDY OF FLOW CHARACTERISTICS AND DESIGN VARIABLES IN AN LPG INJECTOR

Joon Sik Lee,¹ Seol Lim,¹ Sang Dug Kim,² Dong Joo Song^{*3}

Fluid flow in LPG injector is delayed momentarily around nozzle and leaked accidentally, then engine operation becomes unstable. When attached cutsole injector that we can prevent fuel from leaking. Attaching additional devices cause loss of power and pressure. In this study, We has analyzed the performance of the LPG injector nozzle by changing cutsole geometry numerously by using Computational Fluid Dynamics.

Key Words : LPG, 전산유체역학(CFD), 인젝터(Injector), 컷솔(Cutsole)

1. 서 론

최근 환경오염에 대한 문제의식이 고조되고 전 세계적으로 배출가스 규제가 더욱 엄격해짐에 따라 대기오염의 주된 원인으로 인식되고 있는 가솔린, 디젤 자동차의 오염물질 배출량을 줄이기 위한 배출가스 저감의 엔진 기술 개발연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이러한 규제 강화의 대안 중 LPG는 기존연료들에 비해 단위 중량당 발열량이 많고 옥탄가가 높으며, 특히 유해 배기가스의 배출이 적어[1,2] LPG 엔진에 대한 연구가 많은 관심을 끌고 있다.

LPLI(Liquid Phase LPG Injection) 방식은 LPG 연료를 연료 펌프를 이용해 LPG의 포화 증기압보다 높은 압력으로 가압 공급하여 인젝터까지 액상상태를 유지한 후 이를 이송해 전자식 인젝터를 통해 고압 정밀분사 하는 방식이다. 그러나 인젝터 내부에서 액상상태로 존재하는 연료가 노즐부위에서 일시적으로 정체되거나 또한 이 정체된 연료가 예기치 않게 누출되게 됨으로서 엔진운전이 불안정하게 되는 경우가 있다. 인젝터 노즐의 끝부분에 컷솔을 부착하여 밀폐성을 강화시키면 이러한 예기치 않은 연료의 누출을 방지할 수 있으나, 부가적인 장치의 부착은 필연적으로 손실을 동반 하게 된다.

본 연구에서는 인젝터 컷솔 내의 LPG 유동현상을 해석하기 위한 전산유체역학 코드로 상용유체해석 프로그램 CFX를 이용했다. 컷솔을 부착한 LPG 인젝터의 내부손실을 최소화하기 위해 노즐 길이, 노즐 단면적, 컷솔 날개높이 등 여러 인자들을 고려해 인젝터 내부의 유동장 해석을 수행하여 동일한 입구압력에서의 출구압력과 컷솔 부위에서의 압력강하를 살펴보았다.

2. 연구 방법

본 연구의 해석에 사용된 인젝터의 형상은 Fig. 1과 같다. 여기서 각 번호는 유동해석을 수행한 후 압력을 측정하는 위치를 의미한다. 인젝터 컷솔내 LPG 유동현상을 해석하는데 사용한 CFX는 3차원, 비압축성, 압축성 층류 및 난류 유동장 해석에 적합하다. 인젝터 컷솔의 성능평가를 위해 동일한 입구압력에서 출구압력과 컷솔 부위에서의 압력강하를 살펴보고 설계변수로 유로단면적, 컷솔의 형상, 컷솔 날개 높이 등을 두었다.

2.1 전산유동해석 방법 (Computational methods)

복잡한 3차원 형상의 인젝터 내에서의 유동 해석은 유체의 유동을 지배하는 Navier-Stokes 방정식을 사용하였다. 오리피스 를 지나는 제트유동의 영향으로 난류 유동이 형성되며 난류 유동의 계산시 flow separation 및 swirl flow 해석에 적합한다

1 학생회원, 영남대학교 대학원 기계공학과

2 정회원, 대구대학교 자동차 산업 기계공학과

3 정회원, 영남대학교 기계공학과

* Corresponding author, E-mail: astro1228@ynu.ac.kr

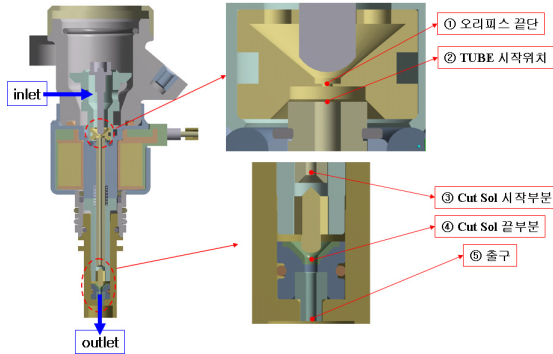


Fig. 1 Geometry of Injector cutsole and orifice

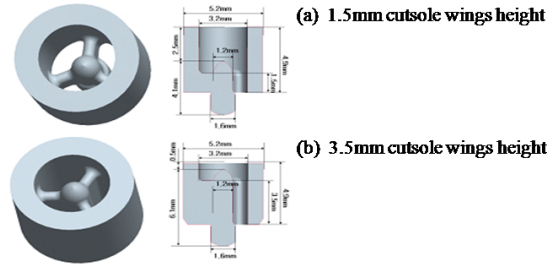


Fig. 3 Different types of cutsole wings height

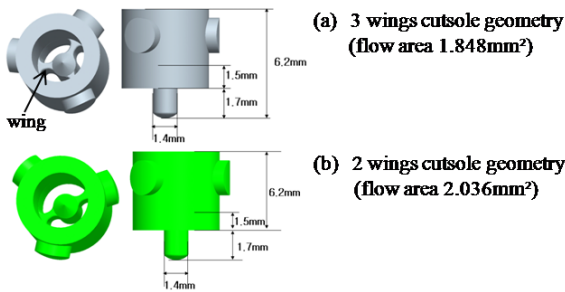


Fig. 2 Different types of cutsole wing geometries

[3,4] SST (Shear Stress Transport) 모델을 사용하였다.

2.2 Geometry, mesh생성

Fig. 1의 형상과 같은 3차원 solid model을 생성하고 복잡한 인젝터 내의 유동을 모사하기 위하여 프리즘 메쉬를 ICEM CFD를 이용하여 물체주변에 배치하였으며 이때 전체 element의 수는 모델에 따라 350만 ~ 400만개 사이를 유지하였다. 구체적인 유동특성 해석과 컷솔 형상의 설계는 Fig. 2, Fig. 3과 같으며, Fig. 2의 (a)는 wing이 3개이고 총 유로 단면적이 1.848mm² 이며, (b)는 2개의 wing의 형상을 한 유로 단면적 2.036 mm²의 컷솔이다. Fig. 3의 (a)와 (b)는 컷솔의 wing이 위치한 높이가 아래에서부터 각각 1.5mm와 3.5mm임 나타낸다. 컷솔 이외의 설계변수는 Fig. 4처럼 파이프 tube의 길이가 55.20mm, 55.65mm, 60mm와 컷솔 이후의 아랫단의 직경이 (1.2mm→1.0mm) 임을 나타낸다. 이때의 변수의 결정은[5] CFX 해석결과를 토대로 수행하였다.

2.3 Boundary/ Initial/ Solver conditions for all cases

작동유체는 액체상태의 LPG연료를 사용하였으며 입구에서 5기압의 전압 조건에서 인젝터로 유입 되도록 하였다. 출구의

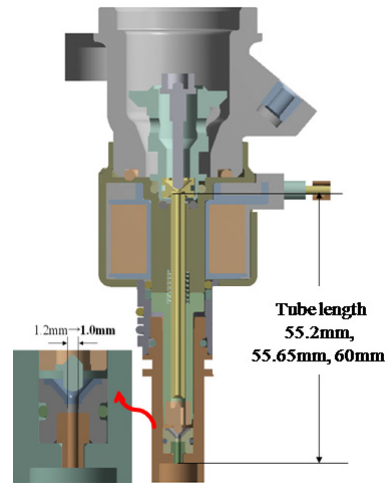


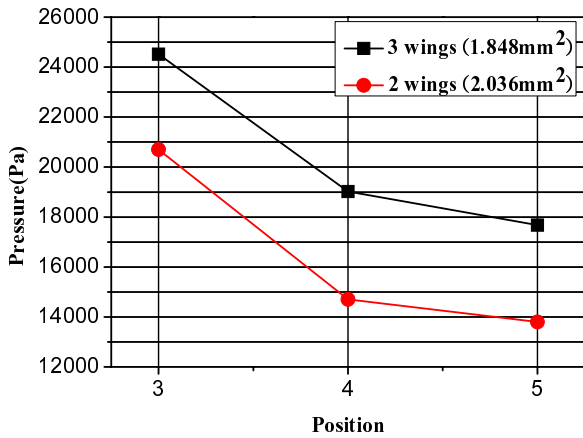
Fig. 4 Other injector design variable: tube length, exit diameter

경계조건으로는 외부의 압력으로 고정하여 주는 것이 일반적으로 사용되었다. 또한, 유량을 계산하여 일정하게 유지시키는 방법으로 출구에서의 압력을 계산에 의해 역으로 산출하여 인젝터 내에서의 압력손실이 가장 적은 형상을 찾아내고자 하였다. 초기조건은 Table 1에 나타나있다. 벽면의 경계조건으로 모든 벽면에 점착 조건(No-slip condition)과 단열 조건 (Adiabatic condition)을 주었다.

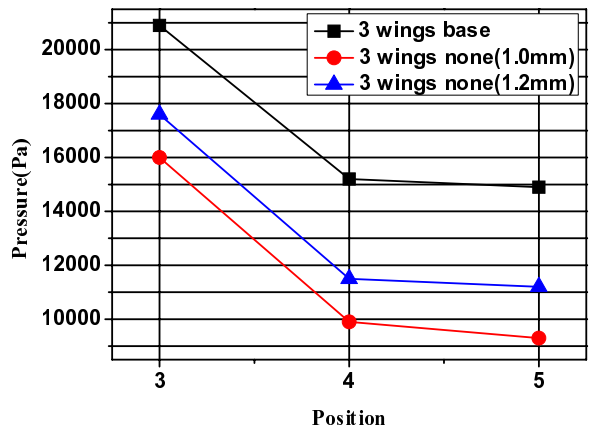
먼저 파이프의 길이와 유로 단면적, 컷솔 날개높이에 따른 설계변수를 고려하고 추가적으로, 파이프의 길이와 컷솔 이후단의 유무를 살펴 그에 따른 압력변화를 살펴보았다.

Table 1 Test condition

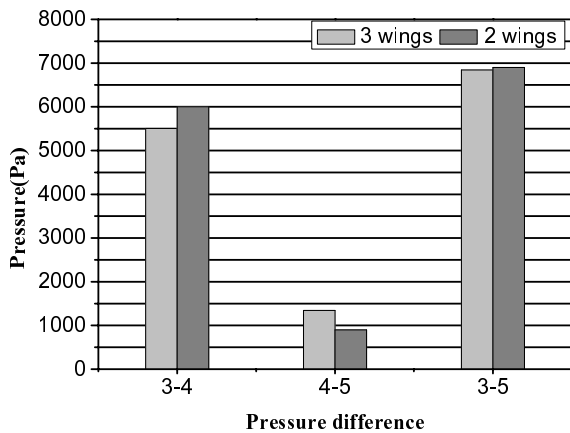
작동 유체	LPG
초기 압력	5 bar
유 량	1.16 g/sec
외부 온도	-20 °C



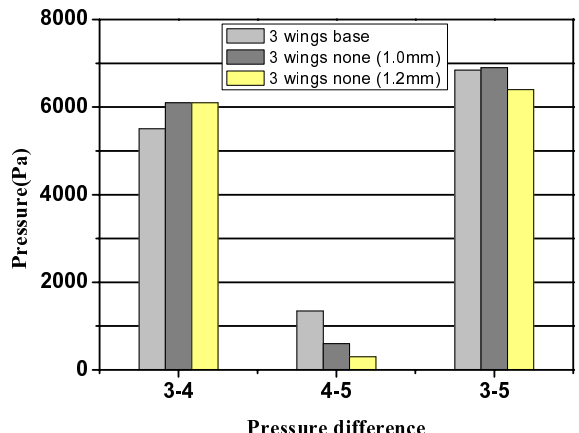
(a) Position pressure



(a) Position pressure



(b) Pressure difference



(b) Pressure difference

Fig. 5 Compare with position pressure

Fig. 6 Compare with position pressure

3. 결과 및 고찰

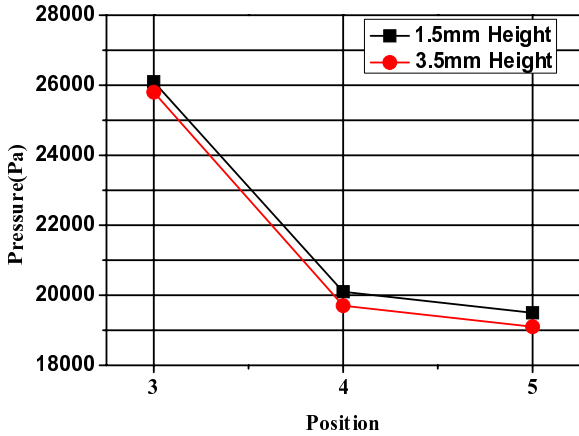
3.1 유로 단면적의 변화

유로 단면적의 변화는 파이프의 tube 길이가 55.2mm를 가지는 동일한 조건에서 Fig. 2의 (a)와 (b)의 형상의 컷솔의 단면 형상이 날개수가 2개와 (유로 단면적 1.828mm²) 날개수가 3개인 (유로 단면적 2.036mm²) 모델을 비교하여 압력강하에 미치는 영향을 살펴보았다. 유동해석을 통한 각 위치 지점 3,4,5에서의 압력 값을 비교했을 때 Fig. 5(a)에서 보듯이 컷솔의 날개수가 3개인 형상이 2개인 것보다 압력강하가 더 적게 일어나 성능이 더 좋은 것으로 나타났다. 날개수가 2개 달린 모델은 유로 단면적이 약간 더 넓으나 유동의 불안정성 등에 의하여 압력강하가 더 일어난 것으로 판단된다. Fig. 5(b)는 컷솔 전

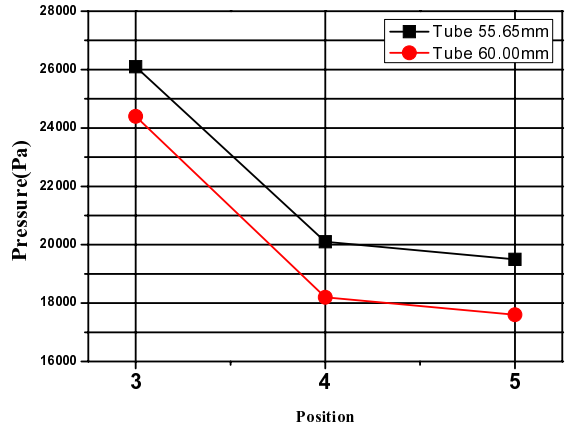
후의 압력강하와 컷솔 후와 노즐 끝부분 사이의 압력강하를 보여준다. Fig. 2(a)형상의 압력강하가 컷솔 내에서 더 낮게 나타났다.

3.2 컷솔 이후 아랫단 유무와 Outlet 직경에 따른 변화

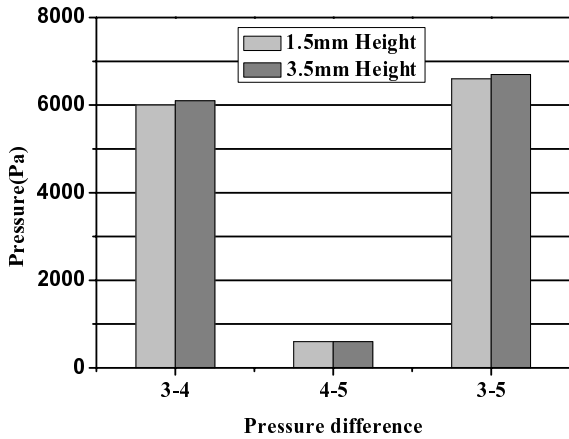
Fig. 2(a)의 3wings 형상을 기준으로 컷솔 이후 아랫단 유무의 영향과 없을 때의 outlet의 직경에 따른 영향을 살펴보았다. 먼저 아랫단의 유무가 압력강하에 미치는 영향을 보면 Fig. 6(a)에서 각 지점에서의 압력을 비교했을 때 아랫단이 있는 경우(1.2mm→1.0mm)의 압력강하가 가장 적음을 알 수 있고, 아랫단 없이 끝단의 직경 (각각 1.0mm, 1.2mm)은 클 경우가 작은 경우보다 압력 강하가 더 좋았다. Fig. 6(b)에서는 컷솔 전후에서 압력강하를 보면 전반적으로 아랫단이 없는 경우가 많이 작게 나타났지만 전체적인 성능으로 봤을때 아랫



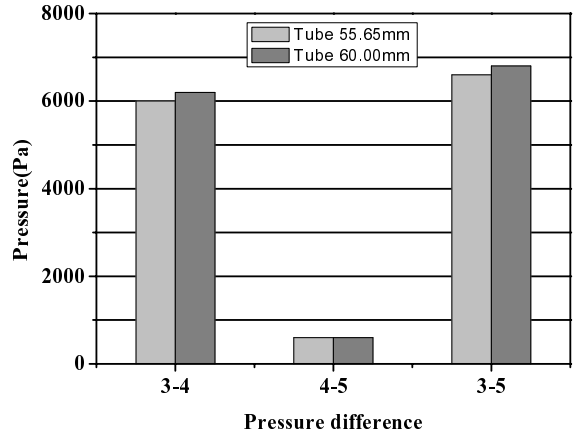
(a) Position pressure



(a) Position pressure



(b) Pressure difference



(b) Pressure difference

Fig. 7 Compare with position pressure

Fig. 8 Compare with position pressure

단이 있을 때가 더 좋음을 알 수 있다.

3.3 컷솔 날개의 높이에 따른 변화

Fig. 3(a)와 (b)의 형상에서 차이는 날개의 위치에 차이가 있다. Fig. 3(a)와 (b) 모두 컷솔의 지름이 1.6mm 이며, tube의 길이는 55.65mm로 동일하며 컷솔 날개의 단면형상도 같지만 날개가 위치한 높이가 다르다. Fig. 3(a)는 컷솔의 날개 높이가 1.5mm이고 (b)는 날개 높이가 3.5mm이다. 이 연구에서는 날개 높이가 압력강하에 미치는 영향을 보았을 때 Fig. 7(a)의 각 위치에서의 압력을 비교 해보면 컷솔의 날개 높이가 1.5mm인 경우가 3.5mm인 경우보다 전압력이 약간 더 높게 나타났다. Fig. 7(b)에서 보듯이 각 지점 사이에서의 압력 강하는 두 모델이 거의 동일한 수준으로 나타났다.

3.4 파이프 길이의 변화

Fig. 3(a)의 같은 형상에서 파이프의 길이를 다르게 하였을 때의 압력강하를 살펴보았다. 파이프 tube의 길이는 각각 55.65mm와 60mm으로 변수를 두고 비교하였다. Fig. 8(a)에 보이는 각 위치 지점에서의 압력강하를 비교해보면 tube 길이 55.65mm의 압력강하가 60mm보다 더 적게 나타나고 Fig. 8(b)에서도 컷솔 전후와 컷솔 후와 노즐 끝의 압력강하 차이를 보더라도 55.65mm의 짧은 형상이 더욱 효율적인 형상이라고 볼 수 있다.

4. 결론

Fig. 1의 인젝터 형상을 기준으로 하여 파이프의 길이 변



화와 유로 단면적, 컷솔 이후의 아랫단 유무에 따라 또 날개 높이에 따라서 각각의 형상에 따른 유동 해석을 수행하여 압력강하를 비교해 보았다. 해석에 있어서 가장 중요한 부분은 출구 부분의 압력인데 오리피스를 지나고 난 후 출구까지의 압력강하가 최소인 형상을 설계하는 것이 목적이었다. 전압력의 유동 비율이 컷솔에 의한 압력강하가 최소인 것이 가장 효율적인 형상임을 나타내는데 먼저 파이프의 길이에서는 설계에 있어 최적의 길이가 존재하는데 대체적으로 55.65mm의 경우에 가장 좋은 성능을 나타내었다. 컷솔부의 유로 단면적은 넓을수록 좋으며 아랫단이 있음이 없는 것보다 대체적으로 더 나은 결과를 보였지만 각 지점간의 압력강하 차이가 상반된 결과를 보여줌으로써 이러한 복합적인 요소를 고려해 설계인자로서 사용하여야 한다. 컷솔의 날개 높이는 본 연구에서는 1.5mm 정도의 날개 높이가 적당한 것으로 판단된다.

앞의 연구 결과를 토대로 하였을 때 Fig. 3(a)의 형상과 55.65mm의 길이를 가진 모델이 가장 효율적인 형상이었으며 인젝터에서 컷솔 형상의 설계에 있어 해석 결과를 토대로 한 복합적인 인자들을 고려해야 하며 이에 따른 최적 형상의 설계에 대한 추가적인 연구가 좀 더 필요하다.

후 기

본 연구는 (주) 모토닉의 지원에 의해 수행되었고, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 1998, Dardalls, D., Lewis, R.D. and Davis, K., "The Texas Project, Part 5- Economic Analysis: Cng and LPG Conversion of Light-Duty Vehicle Fleets," *Sae 982447*.
- [2] 2007 Park, C.W., Kim, C.U., Choi, N. and Kang, K.Y. "Characteristics of Icing Phenomenon With Droplet of an Injector for Liquid Phase LPG Injection System," *KSAE Vol.15, No.5*, pp.9-16.
- [3] 1997, Bardina, J.E., Huang, P.G. and Coakley, T.J., "Turbulence Modeling, Validation, Testing and Development," *NASA Technical Memorandum 110446*, (See also Bardina, J.E., Huang, P.G. and Coakley, T., "Turbulence Modeling Validation," *AIAA Paper 97-2121*).
- [4] 1984, Baughn, J.W., et al., "Local Heat Transfer Downstream of an Abrupt Expansion in a Circular Channel With Constant Wall Heat Flux," *Journal of Heat Transfer*, Vol.106, pp. 789-79.
- [5] 2005, ANSYS, CFX-5.10 Manual, ANSYS, Inc.