

디젤기관용 Urea-SCR 시스템 펌프 기어에 관한 구조해석

이 홍 윤¹⁾ · 박 충 열¹⁾ · 김 형 민²⁾ · 김 세 진²⁾ · 최 두 석^{*3)}

공주대학교 대학원 기계공학과 · 코아비스 선행개발팀²⁾ · 공주대학교 기계자동차공학부

Structural Analysis of Pump Gear of Urea-SCR System for Diesel Engine

Hongyoon Lee¹⁾ · Chungyeol Park¹⁾ · Hyungmin Kim²⁾ · Sejin Kim²⁾ · Dooseuk Choi^{*3)}

¹⁾Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju National University, Chungnam 32588, Korea

²⁾Proactive Development Team, Coavis Co. Ltd., 117 Gongdan-ro, Yeonseo-myeon, Sejong 33058, Korea

³⁾Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 32588, Korea

(Received 23 March 2015 / Revised 31 August 2015 / Accepted 7 October 2015)

Abstract : This research was conducted structural analysis in order to analyze the impact of the gear in Urea pump when the water is frozen. Subject of study, gear was designed nine models, this gear is a spur gear, located in pump. Contact conditions and rotation conditions were set the gear's condition of restriction. Given 136 MPa pressure to external gear by water was set to the applied stress. The performing result of structural analysis, maximum stress and strain are appeared between two gears. At the same diameter, strain and stress are decreased gradually thicker. Because of the little part in crevice between gears, this parts of gears could be obtained conclusion to be generated maximum stress and strain.

Key words : Outer diameter and thickness(바깥지름과 두께), Pump gear(펌프 기어), Structural analysis(구조해석), Urea-SCR system(Urea-SCR 시스템), Stress and strain(응력과 변형률)

1. 서 론

1.1 연구 배경

2014년부터 유럽 디젤엔진 배출가스에 대한 환경 규제가 Euro V에서 Euro VI로 강화됨에 따라 기존 대비 56% 저감된 NO_x 배출규제를 맞추기 위해 국내·외 연구소 및 대학에서는 다양한 방식의 엔진연소 및 후처리 시스템 등의 연구가 진행 중이다.

현재 연구되고 있는 대표적인 DeNO_x 후처리 시스템에는 LNT(Lean NO_x Traps), LNC(Lean NO_x Catalyst), Urea-SCR(Selective Catalytic Reduction), HC-SCR(Hydrocarbon-SCR) 등 여러 촉매를 이용한 기술들이 있다.

그 중 본 연구의 주제인 선택적 환원 촉매 저감

(SCR) 시스템은 연소된 배출가스 상류에서 요소수를 환원제로 분사함으로써 NO_x를 선택적으로 환원하여 배출가스 내 NO_x를 저감시켜주는 시스템이다. 이는 탄화수소나 요소(Urea) 등 촉매를 분사 제어장치를 통해 분사시킨 후, NO_x를 정화시켜 일산화탄소와 매연 등 유해가스를 동시에 저감시켜주는 방식이다.

Fig. 1은 SCR 시스템에 대한 개략도이다. 이 시스템은 요소 공급을 위한 시스템 구축 및 암모니아 슬립 등의 문제가 있지만 엔진출력을 유지하며 90% 이상의 NO_x 저감을 보여주고 다른 시스템에 비해 상대적으로 NO_x 정화능력이 좋고 연비특성이 우수하며 촉매반응 온도 대역이 넓어 가장 유력한 기술로 주목받고 있고 이미 유럽을 중심으로 상용차량에 적용이 시작되고 있다.¹⁻³⁾

*Corresponding author, E-mail: dschoi@kongju.ac.kr

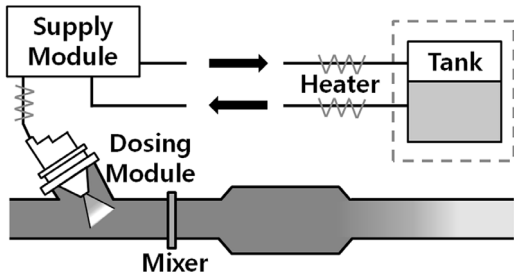


Fig. 1 The schematic diagram of SCR system

그 동안의 국내 연구를 살펴보면, 단순히 배출가스 특성 분석을 통해 NO_x 저감효과에 대해 확인하여 Urea-SCR 시스템의 성능을 비교·분석하는 연구^{4,5)} 또는 요소수 분사 시 반응에 참여하지 않는 NH₃로 인해 암모니아 슬립을 일으키기 때문에 이를 방지하기 위해 요소수 분포 특성에 관한 연구^{6,7)}가 많이 진행되고 있다.

하지만 요소수는 농도에 따라 어는점의 변화가 매우 크기 때문에 요소수의 최적 농도에 대한 많은 연구를 거쳐 현재는 32.5%의 요소와 67.5%의 물이 표준 자동차용 요소수로 사용되고 있는 실정이다. 이는 영하 11℃에서 동결되기 때문에 겨울철에 사용하기에는 다소 어려움이 있다. 요소수 동결로 인한 문제를 해결하기 위한 연구^{8,9)} 또한 많이 진행되고 있지만, 요소수 동결로 인해 기어에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되지 않고 있는 실정이다.

또한 펌프 내부에 있는 외접형 기어펌프는 구조가 간단하고 상대적으로 저렴하며 고압, 고유량의 성능을 가지고 있어 현대 산업에서 유압 구동방식의 펌프로써 기어펌프의 장점들을 극대화시켜 여러 방면에서 다양하게 사용 중이지만, 기어펌프에 대한 상세한 정보는 대부분 실험에 의존하고 있어 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.^{10,11)}

1.2 연구 목적

Fig. 2는 SCR 시스템 내부 펌프의 개략도이다. 요소수는 자동차 운행 시 펌프를 통해 들어오고 나가기를 반복하는데, 운행을 하지 않는 상태라면 펌프 안에 요소수가 잔류하게 된다. 이렇게 요소수의 출입과 밀접하게 관련된 펌프에도 히터가 장착되어 있지만, 펌프 안에서 구동을 도와주는 기어 사이에

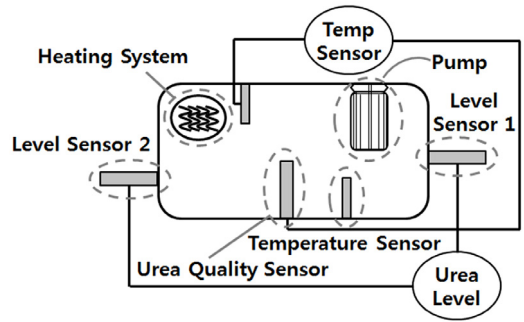


Fig. 2 The schematic diagram of the internal pump

도 요소수가 잔류하게 되어 문제가 발생된다.

만약 겨울철 차량 운행을 중단시킨다면, 기어 틈새에 잔류해 있던 요소수가 동결되기 때문에 기어 또한 많은 영향을 받을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 겨울철 기어 틈새에 잔류해 있는 요소수가 동결될 때 기어에 어떤 영향을 미치는지에 대한 결과를 도출하기 위해 Urea-SCR 펌프 모듈 내부 한 쌍의 스퍼기어에 대한 구조해석을 진행하여 요소수가 얼 때 기어에 가해지는 응력 분포를 확인하고자 한다. 해석 시 사용되는 소프트웨어는 범용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하였고, 여러 모델 중 최소 응력과 변형률을 나타내는 최적의 모델을 찾고자 한다.

2. 해석 방법

2.1 해석 모델

본 논문의 연구 모델은 Table 1과 같이 바깥지름과 두께를 달리하여 8가지 모델 별로 설계를 진행하여, Fig. 3과 같이 모델링을 하였다.

해석에 사용한 기어에 대한 물성치는 Ryton R-4-200(Polyphenylene Sulfide Resins)을 사용하였으며, Table 2는 Ryton R-4-200에 대한 물성치이다.

Table 1 Case for each diameter and thickness

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8
O.D (mm)	10.42		11.06			11.70		
t (mm)	6	8	6	7	8	6	7	8

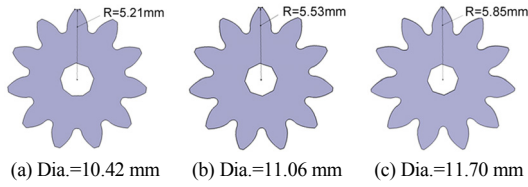


Fig. 3 Modeling gear by diameter

Table 2 Material property of Rytan R-4-200

Tensile strength, MPa	200
Compressive strength, MPa	276
Poisson's ratio	0.40

또한 본 연구의 Urea-SCR 시스템에서 사용되는 환원제에 대한 제원은 Table 3과 같다.

Table 3 Material Property of Urea 32.5%

Urea content	Urea 32.5 w-% Water 67.5 w-%
Chemical formula	$(\text{NH}_2)_2\text{COH}_2\text{O}$
Density @20 °C	1,335 kg/m ³
Freezing point	-11 °C
Melting point	132.7 °C

ANSYS를 이용하여 생성한 모델링에 대한 Mesh의 경우 정확성을 위하여 Elements는 약 430,000 개, Nodes는 약 1,800,000 개가 되도록 Fig. 4와 같이 육면체 요소분할을 하여 격자를 생성하였다.

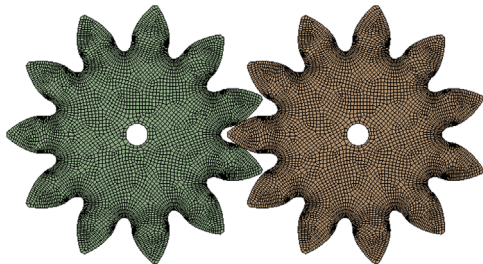


Fig. 4 Generated mesh in ANSYS

2.2 해석 조건

영하 11 °C에서의 Urea가 얼었을 때의 팽창력의 경우 Urea의 주성분인 물의 팽창력의 힘과 비슷하다고 가정하여 물의 팽창력을 계산하였다. 이때의 계산은 규소분자 간 반데르발스 힘을 이용하여 단

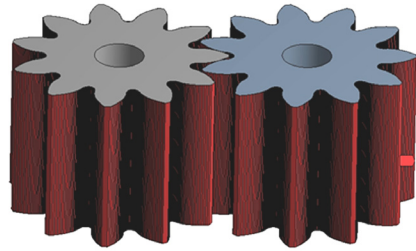


Fig. 5 Pressure applied to the gear

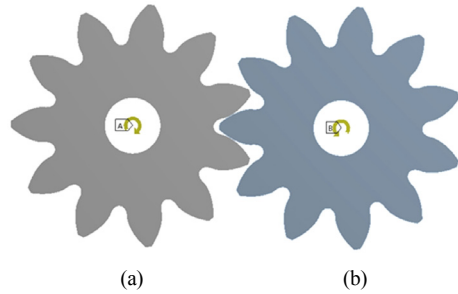


Fig. 6 Displacement restraint applied to the gear

위 면적당 136 MPa을 받는 것으로 계산하여 Fig. 5과 같이 Normal한 방향으로 압력이 가해지도록 경계조건을 설정하였다.

또한 다른 조건으로는 Fig. 6과 같이 Gear A는 시계방향으로, Gear B는 반시계방향으로 회전하는 모델이기 때문에 두 기어에 회전할 수 있는 변위구속을 설정하였다. 또한 기어 구동 시 맞닿는 면에 대한 접촉조건으로 마찰계수는 0이며, 접촉된 면이 미끄러질 수 있는 frictionless 조건으로 설정하였다.

3. 해석 결과 및 고찰

3.1 최대 변형량

지름이 10.42 mm, 11.06 mm, 11.70 mm 일 때, 두 계를 변수로 설정하여 해석을 수행한 후 최대 변형에 대해 분석하였다. 변형에 대해 분석한 이유는 부품에 응력이 지속적으로 가해질 경우 변형이 일어나는 정도를 알 수 있기 때문이다.

Fig. 7은 해석결과에 대한 변형에 대한 그림이며, 결과를 분석해 보면 단면적이 얇은 기어 잇 끝부분에서 수치가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 기어의 잇 끝부분일수록 면적이 좁아지게 되면서 작용되는 응력에 크게 영향을 받기 때문에 변형

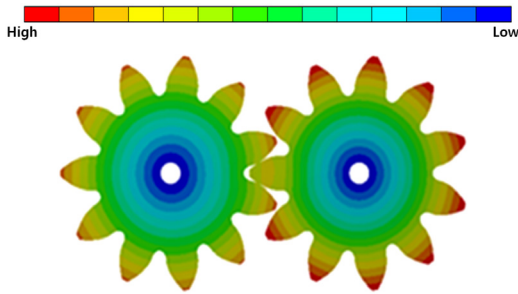


Fig. 7 Results of total deformation

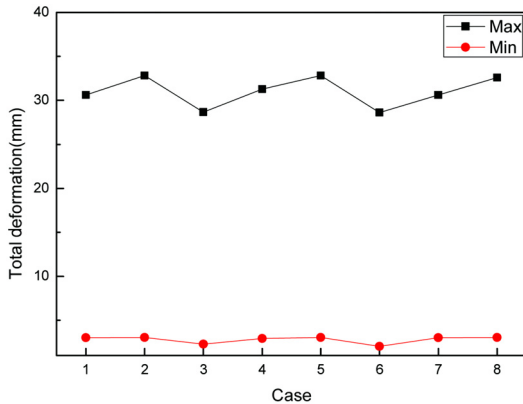


Fig. 8 Case - max total deformation and strain graph

이 많이 일어나는 것으로 판단되며, 그에 따라 변형의 수치도 크게 나타는 것이라 판단된다. 또한 기어의 중앙부분에 변형이 적게 발생하는 이유도 위와 같은 이유라 판단된다.

결과의 수치에 대한 그래프 Fig. 8을 보면 기어의 바깥지름과 두께가 증가할수록 최대 수치가 높게 나타난다. 그 이유는 기어 잇 끝부분에 가해지는 응력이 증가하기 때문에 변형도 많이 일어나는 것이라 판단된다.

3.2 최대 등가응력

등가응력에 관한 모델 또한 지름이 10.42 mm, 11.06 mm, 11.70 mm 일 때 두께를 변수로 설정하여 해석을 수행하였다. 등가응력에 대해 분석하는 이유는 높은 수치 값이 나타나면 부품에 가해지는 압력에 의해 내구성 부분에 문제가 발생되기 때문이다.

해석결과에 대해서는 Fig. 9와 같이 표시된 부분에 대해 결과를 분석하였다. 이는 분석결과 응력이

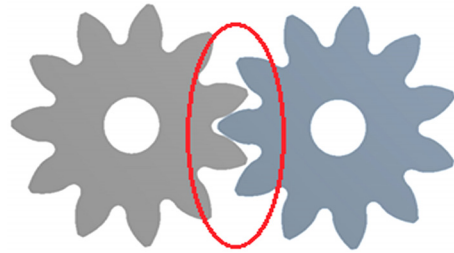


Fig. 9 Capture points for results

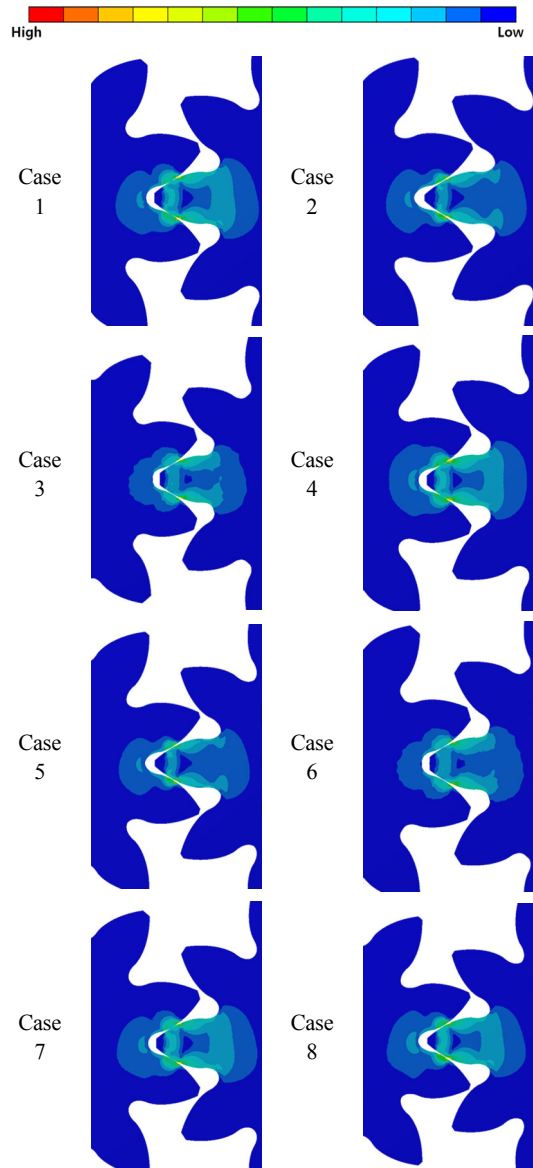


Fig. 10 Results of case - equivalent stress

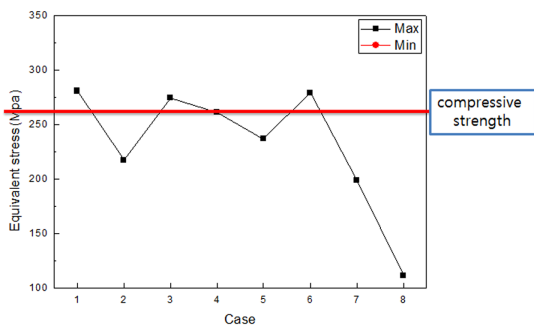


Fig. 11 Case - equivalent stress and strain graph

주로 발생하는 부분이 표시된 부분이기 때문이다.

Fig. 10은 Fig. 9에서 나타난 위치에서의 등가응력에 관한 해석결과이며, 그 결과를 분석해 볼 때 수치값이 크게 나타나는 이유는 팽창력에 의해 두 기어가 회전을 하면서 기어와 기어 사이에 접촉으로 인한 응력이 크게 발생하기 때문이라 판단된다.

또한 Case 별 등가응력에 관한 해석결과를 보면 모델링의 경우 두께가 커짐에 따라 등가 응력이 적게 발생하는 것을 확인할 수 있고, 바깥지름도 커짐에 따라 수치가 적게 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 두께와 바깥지름이 커짐으로써 물체의 강성이 커지기 때문이라 판단되었다.

Fig. 11은 Case 별 최대 응력에 관한 그래프이다. 본 연구에 사용된 재질인 Ryton R-4-200의 압축강도는 약 260 MPa이다. 이를 통해 기어의 바깥지름과 두께에 따라서 크게 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

겨울철 기어 틈새에 잔류해 있는 요소수가 동결될 때 기어에 어떤 영향을 미치는지에 대한 결과를 도출하기 위해 유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 Urea-SCR 펌프 모듈 내부 한 쌍의 스퍼기어에 대한 구조해석을 진행한 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 기어의 구조해석 결과, 기어가 서로 맞닿는 면에서 최대 응력이 나타나는 것을 확인하였으며, case 1에서 가장 큰 응력이 나타났고, case 8에서 가장 작은 응력과 변형률이 발생하는 것을 확인하였다.

- 2) Urea가 얼어 팽창하였을 때 기어에서 면적이 얇은 기어 잇 끝부분에서 변형에 대한 수치가 크게 나타나고, 기어의 중앙부분에서 수치가 작게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 기어의 바깥지름과 두께가 증가할수록 변형량은 높게 일어나고, 등가응력은 적게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.
- 4) 물이 응고될 때의 팽창력에 의해 응력이 많이 가해지기 때문에 기어 형상은 외력에 의해 변형이 생길 것으로 사료되며, 본 구조해석을 통해 얻은 결과를 활용하여 최적설계를 진행한다면 보다 최적의 모델을 찾을 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지역특화산업 육성(R&D)사업 세종시 기술개발 과제에 의해 연구되었음.

References

- 1) Y. S. Park, D. S. Choi, N. Y. Kim, Y. T. Choi, Y. W. Kim, H. S. Jung, S. H. Kim, Y. G. Cho and S. H. Lee, "Characterization of Urea-SCR System for a Mobile Diesel Engine," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.262-267, 2006.
- 2) Y. Y. Ham, S. H. Lee, H. S. Jung and D. H. Shin, "Experimental Study on DeNOx Characteristics of Urea-SCR System," Transactions of KSAE, Vol.17, No.2, pp.180-186, 2009.
- 3) H. H. Choi, H. S. Kim, Y. I. Jeong, I. H. Im, J. H. Park and J. W. Hwang, "A Study on the NOx Conversion Performance of an Urea-SCR Catalyst Coated Electrical Heater System," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.401-406, 2007.
- 4) J. H. Seo, S. W. Lee, Y. S. Cho and Y. S. Kang, "A Study on Effect of NOx and NH₃ Emission Characteristics by Urea-SCR Model for Euro-6 Emission Regulation in Diesel Engine," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.479-485, 2012.
- 5) J. G. Nam, "A Study on the Urea-SCR System for NOx Reduction of a Light-duty Diesel

- Engine,” Transactions of KSAE, Vol.13, No.5, pp.57-63, 2005.
- 6) S. J. Jeong and C. H. Lee, “A Study on the Injection Characteristics of Urea Solution to Improve deNO_x Performance of Urea-SCR Catalyst in a Heavy Duty Diesel Engine,” Transactions of KSAE, Vol.16, No.4, pp.165-172, 2008.
 - 7) Y. C. Lee and S. Y. Park, “Computational Study on the Ureasolution Distribution Characteristics of Urea-SCR System,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.2084-2087, 2013.
 - 8) S. Y. Lee, N. I. Kim, Y. B. Park and M. Y. Kim, “Numerical Investigation of Urea Freezing and Melting Characteristics Using Coolant Heater,” Transactions of KSME, Vol.37, No.8, pp.717-724, 2013.
 - 9) B. C. Choi, Y. K. Kim and H. N. Kim, “Frozen and Melting Characteristics of Urea-aqueous Solution for Urea-SCR System by Circulation of Engine Coolant,” Transactions of KSPSE, Vol.15, No.4, pp.42-47, 2011.
 - 10) Y. H. Yoon, B. H. Park, Y. O. Han, B. J. Hong and J. S. Shim, “Numerical Simulation of External Gear Pump Using Immersed Solid Method,” Transactions of KSME, Vol.38, No.1, pp.95-101, 2014.
 - 11) J. U. Cho and M. S. Han, “Structural Analysis on the System of Differential Gear,” Transactions of KSMTE, Vol.18, No.3, pp.279-284, 2009.