2015년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2015. 7. 15 - 17

디젤엔진용 Urea-SCR 시스템의 Electrically Heated Line에 대한 전기적 설계 기법 연구

김동욱, **이상택**, 신덕식, 최정기*
전자부품연구원, 한일튜브*

A Study on the Electrical Design about Electrically Heated Line of Urea-SCR systems for Diesel Engines

Dong-Wook Kim, Sang-Taek Lee, Duck-Shick Shin, Jeong-Gi Choi*
Korea Electronics Technology Institute, Haniltube Corporation*

Abstract - 본 논문은 디젤엔진용 Heating Urea - SCR (Selective Catalytic Reduction) 시스템을 구성함에 있어 변화되는 Euro-6 규제에 근간하여 Electrically Heated Line에 대한 저항력, 전도성, 온도 특성 등 전기적 설계 기법에 관해 서술하였고 Heating Urea-SCR Line을 위한 열선 설계, 전기적 및 물리적 상수에 대해 서술하였다. 이러한 전기적 설계 기법이 향후 양산을 위한 가격, 성능, 신뢰성 부분 및 제품의 경쟁력 요소에 가장 핵심이 되는 부분이다. 본 논문에서는 이러한 설계 기법의 구현을 위해 설계 절차와 설계 결과 도출을 위한 프로그램을 구현하였다. 향후 시제품의 모의실험과 실제 제품 제작을 수행 예정이고 본 논문의 설계 결과와 실제품 결과의 지표를 비교하여 최적의 Heated Line을 개발 하고자 한다.

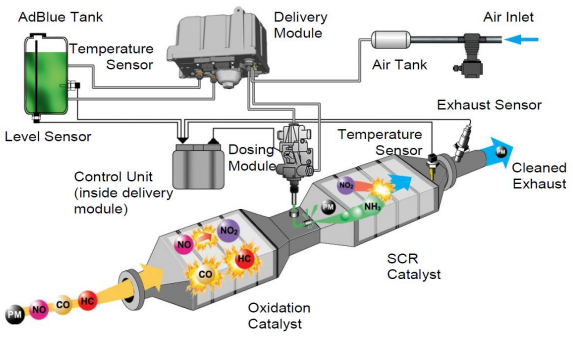
1. 서 론

최근 승용 디젤엔진의 배출가스 규제 강화 추세에 따라 2014년에 발표된 EURO-6 규제치는 2009년에 발표된 EURO-5 규제 대비 질소산화물(NOx) 규제가 약 56% 강화되었다. 또한, 현재 디젤 승용 자동차의 배출가스 규제는 NEDC(New European Driving Cycle)라는 평가 모드를 사용하고 있지만, 2017년까지는 실 주행 조건을 고려하고 배기가스 규제를 강화하는 측면에서 새로운 평가 모드인 WLTP(Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures) 모드가 제안되고 적용될 예정이다.[1]

디젤엔진은 가솔린 엔진에 비해 높은 출력과 연료 경제성 및 이산화탄소 배출량이 적어 많은 장점이 있으나 점차 강화되는 질소산화물(NOx) 규제에 대응이 필요한 시점이다. 따라서 SCR (Selective Catalytic Reduction), EGR등 차량회사마다 규제강화에 따른 대응 전략을 수립하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 SCR 시스템의 주요 부분인 Heat Line의 설계 지표에 관하여 서술하고 향후 제작을 위한 설계 근거를 수립하고자 한다.

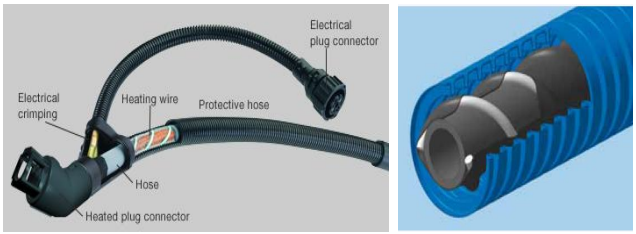
2. 본 론

2.1 SCR 시스템 및 Heated Line



<그림 1> 디젤엔진 Urea-SCR 시스템

강화되는 환경규제에 따라 차량회사마다 규제대응을 위해 SCR, EGR 등 시스템에 적용하고 있는 실정이다. 그림 1은 디젤엔진 Urea-SCR 시스템의 구성도를 나타낸다. SCR(Selective Catalytic Reduction) 시스템이란 사전적으로 선택적 촉매에 의한 감소라고 말할 수 있다. 다시 말하자면 차량의 배기가스에 Urea 요소수를 분사하여 규제물질인 NOx를 저감시키게 되며 이러한 SCR 시스템 구성 시 차량의 온도 및 주변환경의 변화에 강인하게 운용하며 고온에서의 냉각, 저온에서의 동결에 대응하고자 Cooling & Heating 라인의 구성이 필요하다. 그림 2는 Cooling & Heating Wire 라인의 구성 및 세부 구조를 나타내고 있다.



(a) Wire Line 구성 (b) 세부구조

<그림 2> Cooling & Heating Wire 라인구성 및 세부구조

2.2 저항의 정의 및 온도 의존성

저항이란 도체의 전류 흐름을 방해하는 성질을 가진 요소로써 저항이 클수록 도체의 발열이 커지고, 이에 따라 허용전류가 작아지므로 저항은 작을수록 좋다. 권선에 대한 저항은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며 도체의 저항은 온도의 함수로 밝혀져 있고 통상 상온 20℃를 기준으로 단위길이 (km) 당의 값으로 환산되어 나타난다.[2]

$$R = \frac{\rho L}{A} \tag{1}$$

$$a_t = \frac{1}{234.5 + t}\,[^\circ C^{-1}] \tag{2}$$

ρ = 절연체의 체적저항율, L = 전선의 길이, A = 유효단면적
$a_t = t^\circ C$의 저항의 온도 계수

식 (1)에서 저항의 온도계수인 a 는 국제표준으로 도전율을 100%로 하는 연동선의 값이고 우리가 케이블로 사용하는 것은 경동선이며, 도전율을 97%로 본다. 따라서 위의 a 값을 경동선에 적용할 경우 0.97을 곱해주어야 한다. 그리고 기준온도에서 측정한 저항 값을 가지고 다른 온도에서의 저항 값을 계산하는 경우에는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다. 식 (3)을 근거로 하여 Heating Line의 발열량을 계산하는데 주요 지표인 주위온도변화에 따른 저항 값을 산출할 수 있다.

$$\frac{R_t - R_0}{R_0} = a(T - T_0) \text{ or } R_t = R_0[1 + a_t(T - T_0)] \tag{3}$$

$R_o = 0[℃]$의 저항값 , $R_t = t[℃]$의 저항값

2.3 Wire Line의 정전용량

정전용량이란 절연체가 전기를 유도하여 축적하는 능력을 나타내는 것이며 이 값이 크게 되면 충전전류 문제 및 절연체의 성능저하가 촉진될 수 있으므로 작을수록 좋은 것은 당연하다. 이러한 정전용량의 값은 1 Core 케이블은 자신만의 정전용량이 존재하지만 3 Core 케이블의 경우에는 단일 Sheath에 3가닥의 케이블이 같이 내장되기 때문에 다른 상의 케이블과 상호 정전용량이 존재하게 되어 다르게 된다. 단심 케이블에 대한 정전용량은 식(4)와 같이 표현된다.

$$C = \frac{\varepsilon_r}{18 \times \mathrm{Ln}\frac{d_2}{d_1}}\,[\mu F] \tag{4}$$

C: 케이블의 정전용량 , ε_r : 절연체의 비유전율

2.4 Wire Line의 절연저항

절연저항은 전극 사이에 절연체를 놓고 직류전압을 인가했을 때 흐르는 전류와 인가전압의 비를 의미하며 절연성능을 나타내는 기본적인 지수로써 이 값이 클수록 좋다. 그리고 절연된 두 물체 사이에 전압을 가하면 절연이 되었으므로 어떤 전류도 흐르면 안 될 것 같지만 실제로는 아주 미세한 전류가 흐른다. 이것은 절연체의 내부를 통하여 흐르는 전류와 표면을 따라 흐르는 누설 전류의 합이 된다. 인가한 전압을, 이 미세한 전류 I로 나눈 값이 절연저항이다. 길이 L인 케이블의 절연저항 R_t 는 다음과 같이 주어진다.

$$R_t = (\frac{\rho}{2\pi L}) \times \log_{10}\frac{d_2}{d_1}) \; [M\Omega / km] \qquad (5)$$

d_1 : 도체의 외경 , d_1 : 절연체의 외경

위의 식 (5)를 보면 절연체를 두껍게 한다고 하여 절연저항이 현격히 좋아지는 것은 아니다. 식에서 알 수 있듯이 절연저항이 2배로 되려면 Log 안의 도체와 절연체의 비율이 제곱이 되어야하기 때문이다.

2.5 Wire Line의 절연저항 및 신뢰성 기준

Wire Line의 신뢰성 기준중 가장중요 요소는 절연저항이며 측정의 목적은 누전 상태를 확인하기 위함이며, 판정 기준은 표 1와 같다. 하지만 표 1에서와 같이 절연저항측정값의 법적 판정 기준은 상기와 같으나, 시스템 및 장비의 운용 차원에서는 10 MΩ 이상으로 관리하는 것이 바람직하다.

<표 1> 절연저항측정값의 법적 판정기준

전로 사용전압의 구분		절연 저항 (MΩ)
400V 이하	대지전압 150V이하	0.1
	대지전압 150V ~ 300V	0.2
	대지전압 300V ~ 400V	0.3
400V 초과		0.4

Wire Line의 신뢰성 기준을 만족하기 위해 다양한 기준안이 있으나 그중에서 허용전류, 전압, 절연 및 접촉 저항 등의 전기적 성능지표와 인장강도, 내 비틀림성등의 기계적 성능지표, 온도 습도, 염분등의 내환경 성능지표에 대한 기준이 있다. 이러한 기준은 자동차용 커넥터 신뢰성(RS R 0044) 기준안을 참조할 수 있다. 표2는 자동차용 커넥터의 시험순서 및 항목을 나타낸다.[3]

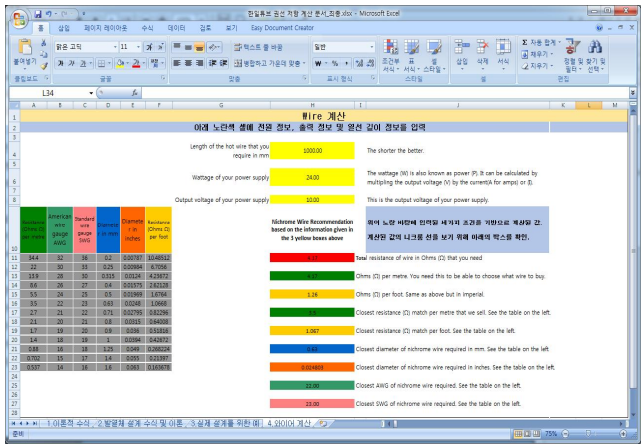
<표 2> 자동차용 커넥터의 시험순서 및 항목

시험 / 명칭		항목	시료 그룹/순서											
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	비방수 커넥터	절	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	방수 커넥터		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×
1	육안 검사	4.3	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	접촉 저항(전압 강하)	7.1	×					×	×	×	×	×	×	
3	삽입력	7.5	×											
4	이탈력	7.5		×										
5	체결장치 강도	7.6			×									
6	하우징에 대한 단자 이탈력	7.7				×								
7	도체 대 단자 접속부의 인장강도	7.8					×							
8	내비틀림성	7.4						×						
9	과전류 사이클	8.6									×			
10	온도 상승	8.1									×			
11	고온 방치	8.2											×	×
12	온습도 사이클	8.7							×					
13	방수성	8.4												×[a]
14	절연 저항	7.2							×					×[a]
15	내수성	8.5												×[a]
16	절연 저항	7.2												×
17	열충격	8.3	×											
18	내전압	7.3							×					
19	염수 분무	8.8								×				×
20	접촉 저항(전압 강하)	7.1						×	×	×	×		×	
21	분진	8.9						×						
22	고장율	9										×		
23	접촉 저항(전압 강하)	7.1	×					×				×		
24	육안 검사	4.3	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

a 이 시험을 마친 후 1시간 이내에 다음 시험을 실시한다.

2.6 Wire Line의 전기적 설계 프로그램

본 논문의 Urea Heated Line의 저항, 길이, 굵기, 발열량등 전기적 상수 계산을 위해 프로그램을 구성하였다. 그림 3은 전기적 상수 도출을 위해 구성된 프로그램의 표시화면이다.



<그림 3> Heated Line 전기적 상수 도출용 프로그램

3. 결 론

현재, 승용 디젤엔진의 환경 오염물질의 배출을 저감시키는 것을 위해 질소산화물(NOx) 규제가 강화되어 오고 있으며, 그중 한 가지 방안으로 Urea-SCR Line 시스템에 대한 연구개발이 증가하는 추세에 있다.

본 논문에서는 디젤엔진용 Heating Urea-SCR Line 시스템을 구성하기 위한 저항의 고유특성, 온도특성 및 절연특성을 정리함으로써 시스템을 위한 Electrically heated Line 설계가 가능하다. 향후 본 논문에서 정리한 개념과 프로그램을 기반으로 시스템 구성을 위한 제품 설계와 시스템에 적용할 수 있는 기준이 될 것이다. 향후 시제품 제작을 통해 설계치와 실제치의 비교검증을 수행할 예정이며 제품화 및 양산화를 위한 신뢰성 기준과 표준화와 관련된 추가의 연구가 필요하다.

본 논문은 클린디젤자동차 핵심부품산업 육성사업의 “승용 클린 디젤엔진용 Heating & Cooling Urea-SCR Line 기술개발” 과제의 지원으로 수행되었으며, 관계기관에 감사의 뜻을 표합니다.

[참 고 문 헌]

[1] 최요한, 김선욱, “EU, EURO 6 자동차 배출가스 규제 시행 보고서”, 한국생산기술연구원, 2013
[2] 강대하, 김민수, 이덕출, 이준웅, 한상옥, 황명환, “전기응용”, 동일출판사, 1998
[3] 신뢰성전문위원회, “자동차용 커넥터 (RS R 0044)”, 산업통상자원부 기술표준원, 2006