

## 자동차 통신을 위한 광대역 커넥터 특성 연구

김병우<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>울산대학교 전기공학부

### A study on the characteristics of wide bandwidth connector for automotive communication

Byeong-Woo Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Ulsan University

**요약** 본 연구에서는 나선형 형태의 와이어를 자동차 무선통신(5.925GHz)용 차량 커넥터에 적용 가능성을 제안하였다. 이 나선형 와이어 형태의 커넥터 설계는 나선형 평균 반경, 나선형 피치, 나선형 와이어 자체의 반경, 나선형 와이어에서 접지 부분까지의 거리를 중요 설계인자로 판단하여 실시하였다. 이 같은 설계 해석 및 결과는 자동차 통신용 커넥터 설계를 위한 가장 적합한 나선형 와이어 치수 결정에 사용될 수 있을 것이다. 나선형 와이어가 삽입된 최적화된 자동차 WAVE용 커넥터는 삽입손실이 5.925GHz 대역에서 -0.76dB 이내로 발생되었다. 이 삽입손실 결과는 기존의 일반 커넥터에 비하여 21% 성능이 향상된 것이다. 따라서, 본 커넥터 해석결과는 자동차 통신을 위한 고주파 대역의 최적 커넥터 설계에 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

**Abstract** In this paper, helical wave wire have been proposed as the vehicle connector for the wireless access in vehicular environments(5.925GHz) communication. This helical slow wave connector is design by considering the properties of critical parameter like helical mean radius, helical pitch, helical wire radius and distance of helical wire to shield. The design simulation and results can be used to determine the most suitable helical wave wire dimensions for vehicle communication connector. The optimized WAVE connector inserted the helical wave wire has insertion loss less than -0.76dB at 5.925GHz. It provides 31% of insertion loss with good performance. Therefore, the simulated results can be effectively used for optimum design of high frequency connector for vehicle communication.

**Key Words** : FAKRA Connector, Bandwidth, Insertion Loss, Vehicular Communication, Helical Wave Wire

### 1. 서론

자동차로의 IT 기술 융합이 급진전되면서 자동차용 무선통신 시스템은 실시간 정보제공이 요구된다. 자동차 무선 통신 시스템을 활용하여 교통정보를 제공받게 되면 더욱 효율적이고 최적화된 길 안내를 제공받을 수 있을 것이다. 또한, 주행 중인 자동차 사이의 교통 및 사고 정보제공을 통하여 자동차 안전을 확보할 수 있을 것이다. 이 같은 차량 사이 통신과 차량과 노면 기지국 사이의 통신을 위해서는 대 용량 정보 처리를 위한 고주파수 및 광대역 통신 시스템 개발이 필요하다.

자동차용 통신시스템으로 적용되어 활발히 연구되고 있는 WAVE(Wireless Access Vehicle Environment) 기반의 통신 주파수는 5.925 GHz 까지의 고주파수 대역이 필요하다.[1] 자동차용 WAVE 통신 시스템을 구현하기 위해서는 안테나, 커넥터, 통신 모듈 등이 필요한데, 안테나 및 통신 모듈은 다양한 연구 및 상용화가 진행되고 있다.[2] 이와 달리, 자동차 WAVE 통신에 적용되는 커넥터는 고주파 대역에 적합한 전용 커넥터가 존재하지 않고 있기 때문에 일반적으로 텔레메틱스용으로 사용되고 있는 FAKRA(FachKReis Automobile) 커넥터를 사용하고 있다. 일반 파크라 커넥터는 통신 기능을 담당하는 통신

본 논문은 울산대학교 일류화사업 일환으로 수행되었음.

\*교신저자 : 김병우(bywokim@ulsan.ac.kr)

접수일 11년 10월 05일

수정일 (1차 11년 10월 18일, 2차 11년 10월 27일)

게재확정일 12년 01월 05일

와이어가 일반 와이어 형상으로 되어 있기 때문에 임피던스 매칭에 제한요인으로 작용하고 있다.[2] 일반 파크라 커넥터를 5.925GHz 대역의 WAVE 통신용에 적용하게 되면 미소한 임피던스 불일치에 의하여 4GHz 주파수 대역 이외의 고주파 대역에서는 손실이 대폭 증가하게 된다.

자동차 커넥터와 관련된 기존 연구에서는 자동차 진동 및 열과 같은 내환경 조건에서 강인성을 해석하고 검증을 실시하였다.[3] 또한, 커넥터 접합면에서 스크래치가 삽입손실에 미치는 영향에 대한 연구를 실시하였다.[4] 자동차 고전압용 커넥터인 경우에는 커넥터 하우징 재질에 의한 전자기 노이즈 방출을 해석하였다.[5]

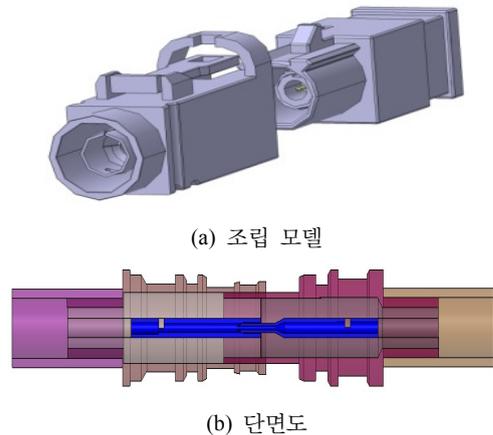
기존에 수행하였던 연구에서는 커넥터의 물리적인 체결력과 내구 신뢰성 측면의 기계적 특성연구와 정해진 통신 와이어에 대한 손실특성 및 전자기 노이즈 해석에 주안점을 두고 실시되었다. 따라서, 주파수 4 GHz 이상에서 삽입손실이 최소화될 수 있는 파크라 통신 커넥터에 대한 연구는 전무한 실정이다. 따라서, 자동차용 파크라 커넥터의 삽입손실 특성을 결정하는 통신 와이어의 구성 부품에 대한 설계 변수 다양화가 요구된다.

본 연구에서는 국제적인 표준화된 자동차용 파크라 커넥터의 기본 규격을 기반으로 하되 통신용 와이어의 형상을 일반 와이어에서 나선형 와이어로 형상 변경을 실시하였다. 이를 통하여, 자동차 WAVE에 활용 가능한 5.925 GHz 고주파 대역에서 삽입손실 저감효과를 검증하였다. 또한, 나선형 구조의 커넥터 세부 형상이 삽입손실에 미치는 영향을 정량적으로 규명하여 5.9GHz 고주파 대역의 커넥터 설계 가능성을 제시하였다.

## 2. 나선형 커넥터 특성 해석

### 2.1 기존 커넥터 특성 해석

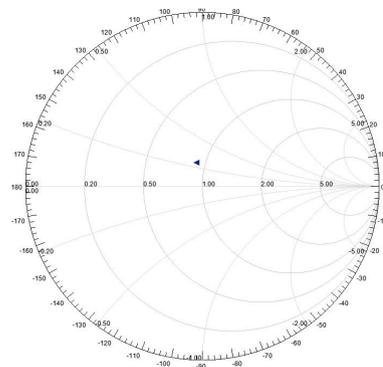
텔레매틱스를 비롯한 자동차 정보통신 시스템에 적용되고 있는 커넥터는 독일 DIN 규격의 파크라 커넥터가 사용되고 있다. 기존 자동차용 파크라 커넥터는 일반 와이어 형태를 취하고 있으며 4GHz 대역까지는 임피던스 저항이  $50\Omega$ 에 적합하게 매칭되어 기존 성능을 만족하고 있다. 반면, 6GHz 대역의 고주파수가 적용되는 WAVE 통신 대역에서는 파크라 커넥터의 삽입손실이  $-0.9\text{dB}$  까지 저하되어 성능 향상이 필요하다. 기존 파크라 커넥터의 구조는 아래 Fig. 1과 같이 외부 하우징은 체결 측면에서 설계변경이 가능하다.



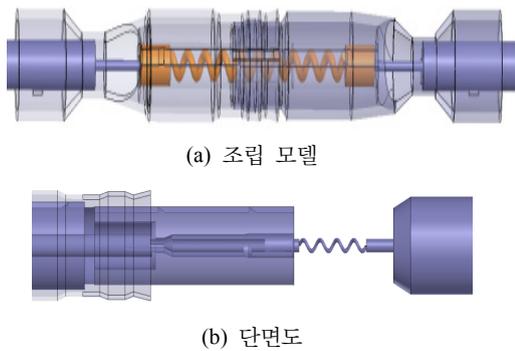
[그림 1] 파크라 커넥터 기존(상용) 모델  
[Fig. 1] Conventional Model of FAKRA connector.  
(a)assembly model (b)sectional figure

기존 자동차에 적용되고 있는 파크라 커넥터의 임피던스를 측정된 결과, 주파수 6GHz에서  $45+j11[\Omega]$ 의 임피던스 값이 측정되었다. 이와 같은 현상은 WAVE 주파수 대역에서  $50+j0[\Omega]$ 로 이상화시킬 수 있는 임피던스 매칭이 불완전하게 발생되었기 때문이라 판단된다. 스미스 차트를 이용하여 불완전한 임피던스 매칭을 해결하기 위해서는 커패시턴스 값  $C=2.5[\text{pF}]$ , 인덕턴스 값  $L=1.1[\text{nH}]$ 을 등가회로로 구성하면 될 것이다.

상기에서 언급한 C, L 성분들을 커넥터 내부에 삽입하는 것이 가장 간단한 방법이나 공간여유와 경제성이 문제시되기 때문에 파크라 커넥터를 구성하고 있는 통신 와이어, 실드 와이어, 유전체의 형상을 변경하여야 한다. 그러나, 기존의 파크라 커넥터에서는 통신 와이어의 형상이 연속선상으로 간단한 구조를 갖고 있기 때문에 형상 변경을 통한 C, L 값 조정에 제한요인으로 작용하게 된다.



[그림 2] 파크라 커넥터 스미스 차트  
[Fig. 2] Smith chart of FAKRA connector



[그림 3] 나선형 구조의 파크라 커넥터 모델  
 [Fig. 3] Helical model of FAKRA connector  
 (a) Assembly model (b) Side section



[그림 4] 상용 파크라 커넥터 시뮬레이션 모델  
 [Fig. 4] Simulation model of conventional FAKRA connector

이와 같은 임피던스 변경 제한성을 확인하고 본 연구에서 제안한 신 개념의 나선형 통신 와이어와의 임피던스 매칭 특성을 검증하기 위하여 HFSS 해석 Tool을 활용하여 시뮬레이션을 실시하였다. HFSS 프로그램을 이용하여 7GHz 대역까지 시뮬레이션 할 수 있도록 모델링하였고 커넥터의 전기적인 경계조건을 반영하였다.

Fig. 3은 본 연구에서 제안한 나선형 구조의 파크라 커넥터의 시뮬레이션 모델이고 Fig. 4는 본 연구 제안대비 기존에 활용되고 있는 상용 커넥터의 시뮬레이션 모델이다. 광대역 커넥터의 최적화 변수를 도출하여 시뮬레이션에 적용하였다. 나선 반경, 나선피치, 나선 와이어의 반경에 대한 최적화를 위한 설계인자를 도출하였고 이에 대한 모델링을 실시하였다.

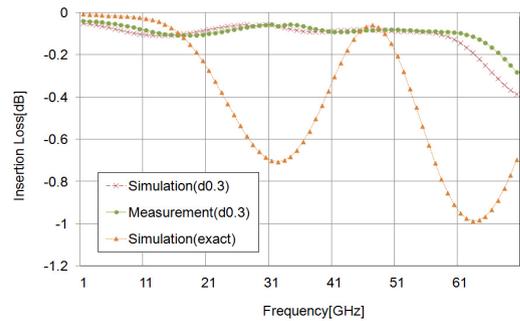
[표 1] 광대역 커넥터의 최적화 파라미터  
 [Table 1] Optimization parameters of wide bandwidth connector

	Symbol	Parameters			
Helical mean radius	a	0.7	0.8	0.9	1.0
Helical pitch	P	1	1.5	2	2.5
Wire radius	r	0.3	0.4	0.5	0.6
Shield distance	d	3	4	5	-

Table 1에서 a는 나선형 커넥터의 반경이고 P는 나선형 사이의 피치, r은 와이어 자체의 반경, d는 통신 도체에서 접지선까지의 거리를 나타내고 있다.

Fig. 5는 본 연구에서 중점적으로 실시하게 될 나선형 커넥터의 해석의 정확성 검증의 일환으로 삽입손실에 대하여 실험과 해석의 정확성을 비교 평가하였다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이, 기존에 자동차 정보통신용으로 적용되고 있는 파크라 커넥터는 4GHz의 주파수 대역까지 자동차 규격에서 요구하는 것을 만족시키고 있었다. 기존 파크라 커넥터인 경우, 주파수 2.4GHz 대역까지의 삽입손실은 0.25dB 이하로서 비교적 우수한 성능을 나타냈다. 반면에 주파수 2.4GHz 대역 이상의 고주파 대역으로 진행되면서 삽입손실이 지속적으로 증대되고 있었다. 정보통신 신호가 흐르는 도체에는 특정한 자장이 팽창과 수축 모드로 작용하게 되는데, 이 모드가 신호 전송을 방해하게 되기 때문이다.



[그림 5] 상용 파크라 커넥터의 삽입손실  
 [Fig. 5] Insertion loss of conventional FAKRA connector.

이는 모든 커넥터에서 발생하는 고주파 대역의 대표적 손실특성이라 할 수 있다. 기존 자동차 파크라 커넥터의 손실특성을 개선하기 위해서는 통신 와이어를 포함한 C, L 성분을 변경하여야 하나 기존 커넥터의 형상이 일직선상의 단조로운 구조이고 외부 하우징의 크기가 제한적이기 때문에 설계변경 범위가 제한적이다.

## 2.2 제안 광대역 커넥터 특성 해석

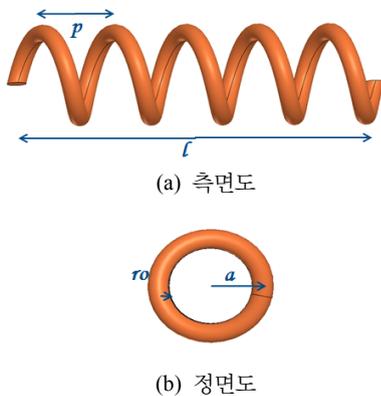
### 2.2.1 나선형 타입의 커넥터 모델

기존 파크라 커넥터의 6GHz 대역 임피던스 매칭문제를 해결하기 위하여 기존 커넥터의 통신 와이어를 일직선상의 일반 와이어 형태에서 탈피하여 Fig. 5와 같은 나선형 구조를 제안하였다. Fig. 5에서 알 수 있듯이, 나선형 와이어는 기존 일직선상의 통신 와이어를 탈피하여 나선형 통신 와이어 형태를 취하고 있기 때문에 설계변

경 범위를 확대시킬 수 있을 것이다. 이를 위하여, 연속적인 나선형 와이어의 피치형상, 와이어 반경 형상, 와이어 자체의 직경 변화, 접지선과 통신 와이어 사이의 거리 변화 등을 변경시켰다. 이를 통하여, 기존 파크라 커넥터에서 애로사항으로 존재하였던 임피던스 매칭의 설계변수를 확대시킬 수 있을 것이다.

### 2.2.2 나선형 타입 커넥터의 수학적 모델

자동차용 파크라 커넥터의 구조를 나선형 구조로 디자인하기 위한 최적화 등가식을 식 (1), (2)로 나타낼 수 있다. 커패시턴스와 인덕턴스 값을 갖는 나선형 구조를 제안하였고 커넥터 구조 형상 변화에 따른 특성을 조사하고자 하였다.



[그림 6] 나선형 구조  
[Fig. 6] Helical architecture (a) Side view (b) Front view

커패시턴스 C는 단위 길이에 따른 나선 반경과 나선 회전에 따른 커패시턴스 특성이다. 인덕턴스 L은 단위 길이에 따른 인덕턴스 특성이다. 커패시턴스 C는 동축선의 단위 길이당 커패시턴스 특성과 비슷하다. 이것은 나선형 태가 연속적인 내부 전도 표면에 적용되지 않기 때문이다.

$$C = \frac{\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\ln\left(\frac{d}{a}\right)} \left[1 + \frac{2r_0}{p}\right] \quad (1)$$

$$L = \frac{\mu_0 S N^2}{l} \quad (2)$$

$$S = \pi r_0^2 \quad (3)$$

$$l = N \cdot P \quad (4)$$

d : shield radius

S : helical 단면적

a : helical mean radius

l : helical 길이

r<sub>0</sub> : helical wire radius

N : helical turn 수

p : helical pitch

ε<sub>0</sub> : 공기의 유전상수 (8.854\*10<sup>-12</sup>)

μ<sub>0</sub> : 공기의 투자상수 (4π \*10<sup>-7</sup>)

ε<sub>r</sub> : 유전체의 유전율 (teflon = 2.2)

주요 관심 주파수에 대한 나선 구조의 평균 반경과 나선 간격에 대한 수식을 도출하였다. 나선 평균 반경 a는 위상이 π가 되는 특성주파수에 의해서 결정된다.

$$a \approx \frac{c}{4\pi f_\pi} \quad (5)$$

여기에서 f<sub>π</sub>는 π에서의 주파수, c=빛의 속도 나선형 커넥터 구조를 디자인하기 위한 파라미터를 도출하여 최적화 설계를 위한 기반을 마련하고자 한다.

## 2.3 FAKRA 커넥터 시뮬레이션

### 2.3.1 시뮬레이션 결과 분석

기존 파크라 커넥터의 구조와 대비되는 나선형 와이어의 평균 반경, 피치, 와이어 자체의 반경, 와이어와 절연선까지의 거리를 조절하여 삽입손실 특성을 해석하였다.

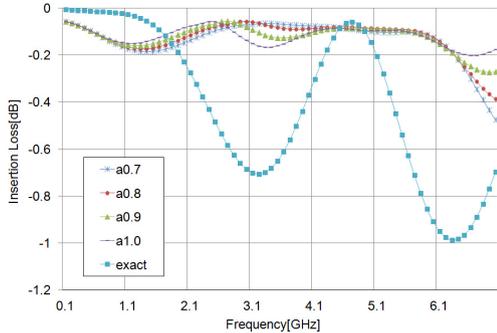
Fig. 7은 나선형 통신 와이어의 평균반경 변화가 삽입손실에 끼치는 영향을 나타낸 것이다. 기존 자동차용 파크라 커넥터 자체의 임피던스 매칭에 한계성이 존재하기 때문에 삽입손실이 -1.0dB까지 확대됨을 알 수 있었다.

이 같은 삽입손실 증대는 기존 커넥터에서 해석한 결과와 같이 커패시턴스 C와 인덕턴스 L의 부조화에 기인하는 현상이다. 이와 달리, 나선형 커넥터를 장착한 파크라 커넥터는 커패시턴스 C와 인덕턴스 L의 값 다양화를 통한 최적화 값 선정이 가능하였다. 즉, 주파수 6.0GHz 이내에서는 기존 파크라 커넥터에 비하여 삽입손실이 -0.2dB 이내에 포함되는 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

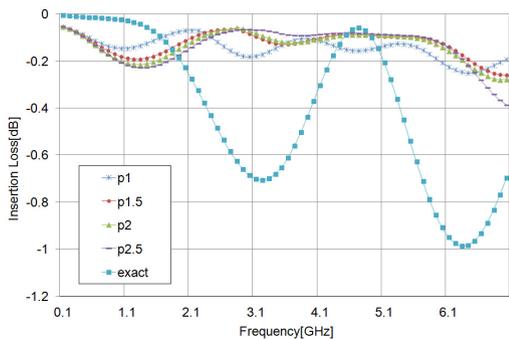
이 같은 현상은 통신 와이어의 반경변화가 확대됨에 따라서 커패시턴스 C와 인덕턴스 L 크기를 확대시켜서 삽입손실이 축소되기 때문이다.

Fig. 8은 파크라 커넥터에서 일반 와이어형과 나선형 와이어에 대한 삽입손실을 비교하여 해석한 결과이다. 나선형 와이어를 장착한 커넥터의 삽입손실이 주파수 6GHz 이하에서 -0.2dB로 나타나 일반 와이어형에 비하여 우수한 특성을 나타냈다. 이 같은 현상은 일반 와이어

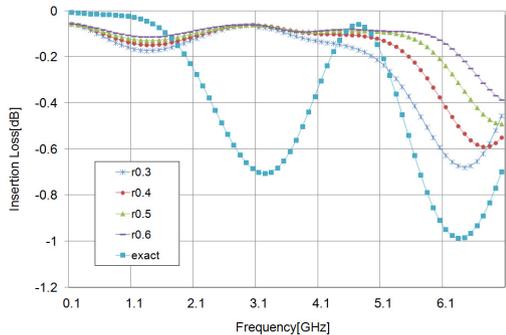
에 비하여 나선형 와이어는 일정 간격의 피치 배치에 따른 인덕턴스 L과 커패시턴스 C의 확대를 초래하여 임피던스  $50\Omega$  매칭에 기여하기 때문이다.



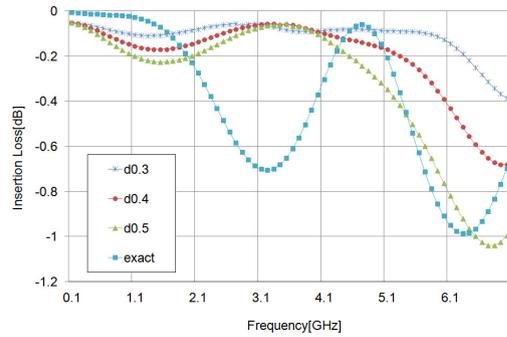
[그림 7] 나선형 와이어의 평균 반경에 따른 삽입손실 변화  
[Fig. 7] Variation of insertion loss due to helical mean radius



[그림 8] 피치에 따른 삽입손실 변화  
[Fig. 8] Variation of insertion loss due to helical pitch



[그림 9] 나선형 와이어 반경에 따른 삽입손실 변화  
[Fig. 9] Variation of insertion loss due to helical wire radius



[그림 10] 접지선과 통신 와이어 선 사이의 거리에 따른 삽입손실 변화  
[Fig. 10] Variation of insertion loss due to helix wire distance

Fig. 9는 파크라 커넥터에서 나선형 와이어 자체의 반경 변화에 따라서 삽입손실을 해석한 결과이다. 통신 주파수 3GHz 대역을 기준으로 저주파 대역에서는 반경이 작을수록 삽입특성이 향상되고 고주파에서는 반경이 클수록 특성이 향상되었다. 이 같은 현상은 특정 주파수를 기점으로 반복적으로 나타나는 공진현상에 기인하는 것이라 판단된다.

Fig. 10은 자동차용 파크라 커넥터를 구성하고 있는 나선형 통신 와이어와 접지선까지의 거리를 변화시켰을 때, 삽입손실을 나타낸 것이다. 통신 와이어와 접지선까지의 거리가 증가됨에 따라서 삽입손실이 1.5GHz 대역, 4GHz 이하의 고주파 대역에서 상대적으로 크게 확대됨을 알 수 있었다. 이 같은 현상은 앞서 해석한 조건과 달리, 본 해석조건은 통신 와이

어와 접지선의 거리가 확대되는 것이기 때문에 지속적으로 커패시턴스 C값의 저하되기 때문에 발생될 것이다. 특히, 고주파 대역에서 삽입손실이 상대적으로 악화된 것은 고주파 대역에서 커패시턴스 C에 영향을 크게 받는 RF 특성에 기인하고 있다.

자동차 커넥터에 대한 4가지 설계변수를 기준으로 삽입손실에 대한 영향을 해석한 결과, 기존 와이어형의 커넥터 대비 나선형 커넥터 구조는 커패시턴스 C와 인덕턴스 L을 이용한 임피던스 매칭이 가능하도록 다양한 변화가 가능하게 하였다. 따라서, 나선형 커넥터 형상을 파크라 커넥터에 적용하는 것만으로도 임피던스 매칭 성능향상에 큰 기여가 가능함을 확인하였다.

### 3. 결론

자동차 정보통신용으로 사용되고 있는 파크라 커넥터

의 최대 적용 주파수인 4GHz를 상회하고 WAVE 통신까지 적용 가능한 5.925 GHz 대역의 신 개념 나선형 커넥터를 제안하였다. 제안된 신 개념 나선형 커넥터의 삽입 손실은 기존 파크라에 비하여 정확한 50Ω 매칭이 가능하였기 때문에 21% 성능향상이 가능하였다.

- 1) 기존 파크라 커넥터는 통신 와이어가 일직선 형태로 구성되어 있는 것에 반하여 본 연구에서 제안한 커넥터는 나선형 와이어 구조이기 때문에 임피던스 매칭 시에 다양한 설계인자(와이어 피치, 와이어 직경, 와이어 도체 직경, 통신 와이어와 접지선과의 거리)를 활용할 수 있었다.
- 2) 나선형 파크라 커넥터의 형상 자체가 커패시턴스 C, 인덕턴스 L에 큰 영향을 끼치고 있음을 확인하였으나 표준화된 하우징 규격 하에서 와이어와 접지선의 세부적인 형상변수에 의한 영향은 적게 발생되었다.
- 3) 나선형 파크라 커넥터의 임피던스 매칭에 영향을 끼치는 인덕턴스 변화는 와이어 피치, 와이어 자체의 직경, 정전용량 변화는 와이어와 접지선 거리, 와이어 직경과 밀접한 관계를 나타냈다.
- 4) 자동차 커넥터의 공진 주파수 대역을 확장시키기 위해서는 특정 주파수대비 상대적으로 저주파수 대역에서는 인덕턴스 설계인자가 영향을 끼치고 고주파수 대역에서는 정전용량 영향이 크게 발생되었다.

본 연구에서는 자동차 WAVE 통신에서 활용 가능한 신 개념의 파크라 커넥터를 제안하여 커넥터 자체의 통신 전달능력을 성공적으로 평가하였다. 향후, 연구에서는 본 연구에서 개발한 커넥터를 실제 WAVE 통신 응용 시스템에 적용하여 응용 차원의 성능을 검증하고자 한다.

Conference, vol. 1, pp. 146-150, 1997.

- [5] Kim, H. L., Choi, J. W., Kim, S. W., Kang, N. J., "A study of electro magnetic shield effectiveness for automotive high voltage connector," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 1263-1264, 2010.

김 병 우(Byeong-Woo Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 기계공학과 졸업 (공학사)
- 1990년 2월 : 한양대학교 정밀기계공학과 (석사)
- 2002년 2월 : 한양대학교 정밀기계공학과 (박사)
- 1994년 9월 ~ 2006년 8월 : 자동차부품연구원 전장시스템실장
- 2006년 9월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 교수

<관심분야>

지능형 자동차, 텔레매틱스, 자동차 전자제어

## References

- [1] D. Jiang, L. Delgrossi., "IEEE 802.11p, Towards an international standard for wireless access in vehicular environments," Proc. IEEE VTC-Spring, May 2008.
- [2] Masahiro Kondo, Yuitsu Sakuraba and Takuya Osaki, Fujikura Ltd., "membrane circuit connector," SAE paper, 2009-01-1092, 2009.
- [3] M. Ohgren and S. Johnsson., "Dual frequency quadrifilar helix antenna," US Patent 6421028, Jul. 16, 2002.
- [4] Pachner, V., Roy, L. and Costache, G., "EMI measurement of small system using an absorbing clamp," IEEE Instrumentation and Measurement technology