

차상 ATO/TWC 안테나 설계 및 제작에 관한 연구

A Study on On-board ATO/TWC Antenna Design and Manufacture

유성호¹⁾, 박종천²⁾, 강리택³⁾, 조영완⁴⁾, 차기주⁵⁾

Yoo, Sung-Ho Park, chong chon Kang, Lee-Taeg Cho, Young-Wan Cha, Ji-Ju

Keyword : loop Antenna, ATO, TWC, PSM, Tag, RFID, Tele-powering, DTG

ABSTRACT

Existing ATC/ATO/TWC system has a ATC(Automatic Train Control) antenna for receiving the speed code, a ATO(Automatic Train Operation) antenna for obtaining the exact distance to go to platform and TWC(Train and Wayside Communication) antenna for communication between on-board and wayside system.

This paper proposes the ATO/TWC antenna with tele-powering module, telegram transmitter/receiver module. This antenna communicates with a passive type tag(wayside Precision Stop Marker) for the information of distance from the stop position and a active type tag for the door command and status in the platform.

1. 서론

최근의 철도신호시스템(ATC/ATO/TWC 시스템)은 ATC 안테나, ATO 안테나 그리고 TWC 안테나를 사용하여 차상신호 장치와 지상신호 장치 간에 데이터를 송수하는데, ATC 안테나는 주파수 Pick Up 방식으로 레도로부터 속도코드를 수신하고, ATO 안테나는 지상의 PSM(정밀정차마커)과의 유도결합을 이용하여 거리정보를 인지하는데 이용되며, TWC 안테나는 열차가 플랫폼에 정차 시 지상신호 장치와 데이터 송수신 한다.

이러한 안테나들을 이용하여 자동운전 및 무인운전을 할 수 있는 기능이 이미 구현되어 있으나, DTG 방식의 열차제어방식에 적용하기에는 다소 부족한 면이 있다. DTG 방식의 열차제어란, 지상자를 통해 지역정보와 지상신호기 현시정보를 차상으로 전송하면 차상장치는 열차길이, 제동력, 열차 중별 등의 차상정보와 결합하여 목표속도와 제동목표거리를 계산한 후, 최적의 상태에서 열차를 운행하는 시스템을 말하는데, 이러한 DTG의 기능을 수행하기 위해서는 단순한 유도결합에 의한 인지방법이 아니라, 무선 데이터 송수신에 의하여 보다 많은 정보의 교환이 가능해야 한다.

본 논문에서는 열차주행 중 역간에 설치된 무전원 지상자의 구동을 위해 전력파를 송신하고 정보파를 수신하며, 지상의 유전원지상자(Active type tag)와 데이터를 송수신하여 DTG 방식의 열차제어에 적용이 가능한 ATO/TWC 안테나의 설계 및 제작에 관해 기술하고자 한다.

-
- 1) (주)로템 전장품개발팀 연구원, 비회원
 - 2) (주)로템 전장품개발팀 책임연구원, 정회원
 - 3) (주)로템 전장품개발팀 선임연구원, 비회원
 - 4) (주)로템 전장품개발팀 주임연구원, 비회원
 - 5) (주)로템 전장품개발팀 주임연구원, 비회원

2. 차지상 인터페이스 구성

차지상 인터페이스는 차상 안테나, 차상신호장치 그리고 지상자, 지상 신호 장치로 구성되어진다. 차상 신호장치 및 지상 신호 장치는 FSK(주파수 천이 변조 방식)변조 방식을 이용하여 열차와 지상설비 간의 통신을 하는데 사용되어지며, 차상 안테나는 지상자와 송수신을 하는 매개체로 사용되어진다.

지상자에는 무전원지상자와 유전원지상자가 있으며, 무전원지상자는 트렉정보 및 정확한 거리정보를 전송하며 유전원지상자는 열차운행에 필요한 정보를 송수신 하는데 사용되어진다. 차상 안테나는 이러한 무전원지상자 및 유전원지상자에 모두 인터페이스 되어 열차 주행 중에 트렉정보 및 거리정보를 수신하게 되고, 정차 시에는 열차 출입문에 관한 정보를 송수신하게 된다. 이를 위해 차상 안테나 및 지상자는 충분한 대역폭을 확보하여 주파수 왜곡현상이 생기지 않도록 하여야 한다.

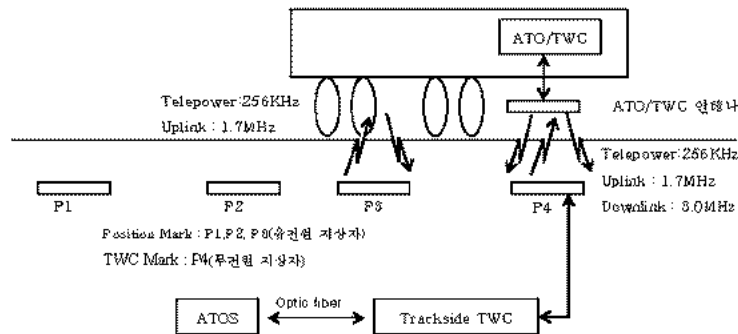


그림 1 차지상 인터페이스 구성

2.1 무전원지상자

그림1에 표시된 P1, P2, P3 로 정의되어진 무전원지상자는 열차의 자동운전(ATO)시 위치정보를 전송하기 위해 사용되며, 정차위치까지의 거리정보가 설정되어 있다. 차상 안테나가 지상자를 통과할 때 ATO 위치정보를 차량에 전송한다.

무전원지상자는 자체에 전원을 갖지 않으며 차상 안테나로부터 송신되는 전력파를 수신하여 전원을 얻고 저장된 데이터를 차상으로 전송하는 역할을 한다.

2.2 유전원지상자

유전원지상자는 그림1의 P4로 정의되어져 있으며 열차가 역의 정위치에 도달하였을 때, 차상안테나와 송수신할 수 있는 위치에 설치된다. 열차의 자동운전 시 차량의 정위치 정차를 위해 사용되며, 정차 시에는 출입문에 관한 정보, 열차번호 등의 열차 운영에 필요한 여러 가지 정보를 차상 안테나와 송수신하는 기능을 수행한다. 유전원지상자는 전원을 공급받으며 차상 안테나로부터 송신되는 전력파를 수신하여 열차의 정위치 정차 여부를 확인하고, Up-link 및 Down-link 통신을 통하여 차지상 데이터 통신의 매개체 역할을 한다.

2.3 차상 ATO/TWC 안테나

차상 ATO/TWC 안테나는 차량 하부에 장착되는 구조로 제작되며, 외부의 충격에 의한 파손을 방지하기 위해 유리섬유 강화 플라스틱 및 에폭시 수지로 성형한다. ATO/TWC 안테나의 전체적인 외형은 그림 2와 같다. 차상 ATO/TWC 안테나는 송수신 모듈과 헬로 구분할 수 있으며, 송수신 모듈은 전력파(256kHz) 송신 모듈, 정보 전송모듈(3.0MHz) 및 정보 수신모듈(1.7MHz)로 구성되며, 지상자의 유무와 관계없이 전력파와 정보파를 상시 발생하며, 열차 운행 중 지상자가 인식할 수 있는 적절한 범위내 존재하게 되면 데이터 송수신을 시작하게 된다.



그림 2 2T0/2WC 안테나

3. 안테나 설계 및 제작

좌상 2T0/2WC 안테나는 지상 레도 간에 설치된 지상자와 송수신하며, 송수신되는 지상자가 휘저하는 방향이 일정하기 때문에 지향성 특성이 우수한 특성을 가지는 루루프 안테나로 제작하며, 원형파(256kHz) 인송모듈과 정보파(3.0MHz/1.7MHz) 송수신 모듈로 구성한다. 안테나의 성능을 좌우하는 요소로 안테나의 크기와 권선수가 있는데, 이들을 적절한 조정하여 안테나의 지향성 및 인식거리를 조절한다.

3.1. 루루프 안테나 해석

루루프 안테나의 자기장은 도체내부를 흐르는 전류의 상태를 나타내는 양력이 법칙에 의하여 도체 주위에 발생한다. 자계에 의해 발생하는 루루프 안테나를 그림 3에 나타내었는데, 일정한 거리를 가진 원형 도체 주위에 나타난 전류에 의해 형성된 자기장 B_0 를 식1에 나타내었다.

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r} (\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1) \quad [W/m^2] \quad (1)$$

I : 전류

r : 도체 중심으로부터의 거리

μ_0 : 자유공간의 투자성 $4\pi \times 10^{-7} (H/m)$

무제한적으로 긴 원형도체라고 가정하면, $\alpha_1 = -180^\circ$, $\alpha_2 = 0^\circ$ 일 때 이상적인 각도를 가지게 되므로 식1은 아래의 식2와 같이 다시 쓰일 수 있다.

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad [W/m^2] \quad (2)$$

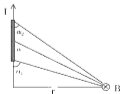


그림3. 전류에 의한 자기장

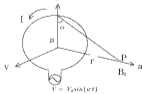


그림4. 원형도선 상의 전류에 의한 자기장

루우프 안테나에 의해서 만들어진 자기장은 다음과 같이 B_z 를 그림4에서와 같이 구할 수 있다.

$$B_z = \frac{\mu_0 I N a^2}{2(a^2 + r^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I N a^2}{2r^3} \quad [\text{단, } r^2 \gg a^2] \quad (3)$$

a : 루우프 반지름
N : 코일의 감은 횟수

식3에서 보듯이 자기 장력은 $1/r^3$ 만큼 감소하며 인식 가능한 범위를 계산하기 위해 사용되어진다.

3.2. 임피던스 정합

차상 ATO/TWC안테나 각 모듈의 로드 임피던스는 각각 $0.5\Omega(256\text{kHz})$, $180.0\Omega(1.7\text{MHz})$, $90.0\Omega(3.0\text{MHz})$ 으로 제작되어졌으나, 안테나의 특성임피던스는 78Ω 으로 임피던스 불균형이 생긴다. 이러한 임피던스 불균형은 신호의 반사와 같은 신호 손실이 발생하므로 신호반사를 없애고 효율을 높이기 위한 임피던스 정합모듈의 삽입이 요구된다.

표 1 단계별 임피던스 변환

256kHz	(a)	$0.399 + j29.187$
	(b)	$0.399 + j0.000$
	(c)	$78.000 + j0.000$
1.7MHz	(e)	$2.377 + j185.997$
	(d)	$0.997 + j77.994$
3.0MHz	(f)	$1.426 + j93.356$
	(g)	$1.188 + j77.803$

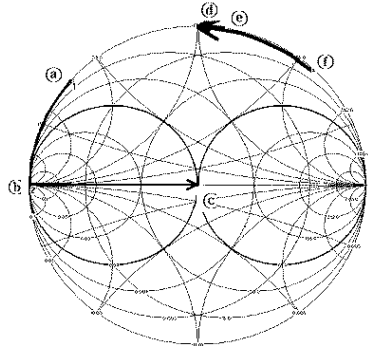


그림5. 스미스 차트를 이용한 임피던스 정합과정

임피던스 정합회로를 설계할 위해 스미스 차트를 사용하였는데, 스미스 차트 상의 점은 반사계수와 임피던스가 동일한 관계가 성립되기 때문에, 로드 임피던스점이 일정한 궤적을 그리도록 특성 임피던스를 의미하는 중심점으로 이동시키면, 그 과정 자체가 특성 임피던스와 로드 임피던스 간의 반사계수를 점 점 줄이는 정합과정이 된다. 표1 및 그림5에 스미스 차트를 이용한 임피던스 정합과정을 나타내었다.

전력과 전송모듈에서는 효율을 높이기 위해 주파수 선택도를 높게 하였고, 정보와 송수신 모듈은 대역을 넓게 하여 FSK 송수신시 왜곡현상이 생기지 않고 안전한 송수신이 가능하도록 설계하였다.

3.3. 안테나 제작

차상안테나의 구성품은 안테나의 정중앙에 위치하도록 안테나성형작업 시 코일을 안테나 쉘의 중앙에 위치하도록 고정해야 한다. 자기장에 영향을 주지 않고, 화학적 변형이 생기지 않는 재료를 사용한다. 코일은 권선용 지그를 이용하여 감아야 하며, 이때 동선 끝 부분은 절연물을 제거하여 전기가 도통 될 수 있도록 해야 한다. 구성품 조립 완료 후 쉘 내부는 충전제로 충전 하고 충분히 건조 시키며, 충전제 주입 시에는 기포나 균열이 생기지 않도록 처리하였다. 그리고, 차상 안테나는

열차하부에 설치되는데 열차 진동으로 인한 쉘의 파손을 방지하고자 스테인레스 부싱(Bushing)을 사용하였다.

4. 성능확인 시험

차상 ATO/TWC 안테나의 성능확인을 위해 표준 코일을 제작하였다. 이 코일은 부산3호선의 무전원 지상자 코일과 동일한 크기를 가지며 동일한 인덕턴스를 가지도록 제작하였다. 각 모듈의 기능을 확인하기 위해, 전력파 수신레벨 확인을 위해 '8'자 모양의 표준코일(STD-A)과 정보파 송수신을 위한 '0'자 모양의 표준코일(STD-B)을 준비하였다.

그림6에 안테나 성능확인 시험을 나타내었다. 차상 ATO/TWC 안테나와 지상자의 이격거리를 230mm로 하여, 전력파 및 정보파 송수신 기능을 확인하였다.

전력파 전송기능 확인 시 단자 C의 전류를 1.27A_{pp}를 유지하고 STD-A 코일 양단에서 유기레벨을 하고, Down-link 기능시험은 단자B에 9.0V_{pp}를 송신하고, STD-B코일에서의 유기전압을 측정한다. 그리고 Up-link 기능시험은 STD-B에 0.0dBV 입력하고, 단자 A에서의 유기전압을 확인하였다.

표2. ATO/TWC 유기전압

측 정	전력파(256kHz)		Down-link		Up-link	
	입력(단자 C)	측정(STD-A)	입력(단자 B)	측정(STD-B)	입력(STD-B)	측정(단자 A)
전 압	1.27A _{pp}	1.27V _{pp}	-48.4 dBV	-30 dBV	-0 dBV	-35.2 dBV

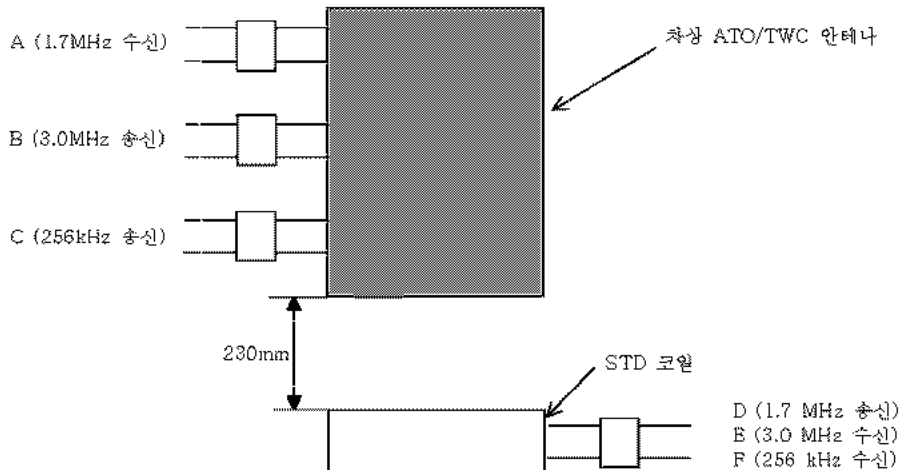


그림 6. ATO/TWC 기능 확인 시험

차·지상 인터페이스 확인을 위해 차상 ATO/TWC 안테나를 무전원지상자 위에 위치하고 전력파 및 Down-link 전문을 송신하는데, 여기서 통신방식은 FSK 전이중 통신방식으로 구현하였다. 그림 7에 차상신호장치 내의 수신 필터 출력단의 파형을 나타내었다.

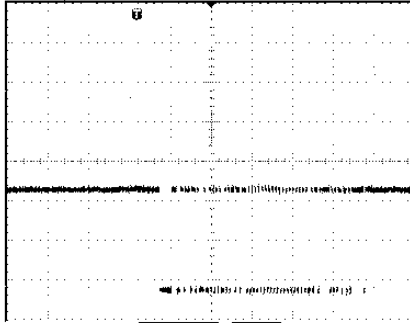


그림 7. FSK 송수신

5. 결론

본 연구에서는 차상 ATO/TWC 안테나를 제작하여 무전원 지상자와의 인터페이스 시험을 하였다. 먼저 차상 안테나 고유의 기능을 시험하기 위해 STD-A 및 STD-B 코일을 이용하여 안테나 고유의 기능을 확인하고, 지상의 무전원지상자와의 무선데이터 송수신 시험을 수행하였다.

지상자 구동을 위한 256kHz 전력파를 전송하여 무전원지상자의 동작을 확인하였고, 차상 ATO/TWC 안테나에서 3.0MHz 정보파를 송신한 후 유전원 지상자에서 이에 대한 응답으로 1.7MHz 정보파를 수신하여 차상 ATO/TWC 안테나의 성능을 확인하였다.

또한, 전력파전송 모듈은 안테나의 효율을 높여 지상자에 보다 많은 전력파가 도달하도록 하였으며, 정보송수신 모듈은 대역을 넓혀 차상 신호장치가 지상자가 없는 상황에서도 안테나의 성능을 확인할 수 있도록 하였다.

루우프 안테나로 개발된 차상 ATO/TWC 안테나는 균일한 인덕턴스 특성을 관리하기 위해 코일권선 시 전문가의 경험에 의지하고 있으며, 높은 주파수 사용 시에는 균일한 특성관리가 용이한 정밀 지그제작과 고주파에서도 균일한 특성을 보장할 수 있는 마이크로 스트립 안테나와 같은 방식의 안테나제작이 요구되며, 안테나의 빔 패턴의 분석이 향후과제로 요구된다.

참고문헌

1. Hayt, William H., Jr., Buck, John A., "Engineering Electromagnetics", McGraw-Hill College, 6th Edition, 2000.
2. Constantine A. Balantis, "Antenna Theory: Analysis and Design", John Wiley & Sons, 2nd Edition, 1997
3. Colonel Wm. T. McLyman, "Magnetic Core Selection for Transformers and Inductors", Marcel Dekker, Inc., 1997
4. 강리택, 이종성, 김경식, 박계서, "차상 ATC/ATO/TWC 시스템의 열차 자동운전 구현의 현차 시험 결과고찰", 한국철도학회 추계학술대회, 2000
5. 김종환, 강리택, "ATO장치의 자동열차 속도 조절 알고리즘에 관한 연구", 한국철도학회 추계학술대회, 1998.
6. 김경식 강덕원, 강리택, 이종성, "ATC장치에 의한 자동운전 및 고장 추적에관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회, 2002.
7. 장민수, 이동선, 이기서, "134.2kHz 대역의 RFID 루프안테나 설계에 관한 연구.", 한국철도학회논문집, 제4권, 제3호, pp.102-109, 2001.