

# 주파수 합성을 이용한 ATS응동방법에 대한 연구

## A study on the reaction method of ATS system by frequency synthesis

김진옥\*      김봉택\*\*      안수관\*\*\*      이준환\*\*\*\*  
Kim, Jin Uk   Kim, Bong Taek   An, Su Kwan   Lee, Joon Hwan

---

### ABSTRACT

This document analyzed against the feature and a reaction method of ATS system of existing. It investigated the continuous transmission method which used the reaction method which used a regular oscillation frequency and a frequency synthesis objection and simulation, it led and application possibility in basic system of fact it confirmed. It advanced the test of the multi method which included the external error signal of option and the ATS system of existing result which it gsts it is complemented and transferred / the application confirmed is possible.

---

### 1. 서론

산업계에서의 눈부신 기술혁신으로 각종 시스템은 고성능화, 다기능화, 자동화로 진전되는 경향이 크다. 이와 더불어 시스템은 더욱 더 복잡해지고 있으며, 그 신뢰도, 안전도 유지, 효율적인 운용이 중요한 과제로 더욱 부각되고 있다. 철도 시스템에서도 차량 제어기기에서 제어의 고도화, 복잡화, 고밀도화가 진행되고 있는 상황에서 안전한 양질의 수송서비스 제공에 있어 신호는 중요하다고 하겠다. 열차운전은 신호기에 표시된 신호에 따라 승무원의 조작에 크게 의존하고 있다. 이는 인간의 시각에 의한 확인 작업과 이를 근거로 판단하여 운전함으로써 안전을 확보하는 것으로 경보를 통해서 주의를 환기시켜 올바른 운전조작을 할 수 있도록 한 것이다.

ATS<sup>1)</sup>장치는 기관사의 보조설비이며 ATS에 의한 안전운행의 조건은 정확한 ATS 지상설비의 동작과 차상설비의 정상적 유지가 필수적이다. 기존의 ATS 장치는 차상자를 통해 상시 발진 주파수(78kHz)를 발진하다가 해당 신호주의 지상자 'C'값에 영향을 받아 본래의 차상주파수가 소멸되고 완전히 새로운 주파수의 발진이 이루어지는데 이러한 발진 주파수의 경우 송·수신단의 주파수 파형을 관찰해 보면 외부 위해 요소에 의해 파형의 일그러짐 현상이 발생하기도 한다.

본고에서는 기존 ATS장치 주파수 송·수신단의 일그러짐 현상, 즉 외부 위해요소의 영향에도 정상적인 응동이 가능한 주파수 합성을 이용한 ATS 응동방식이 기존 ATS 장치의 새로운 대안으로도 가능성을 제시해 보고자 한다.

---

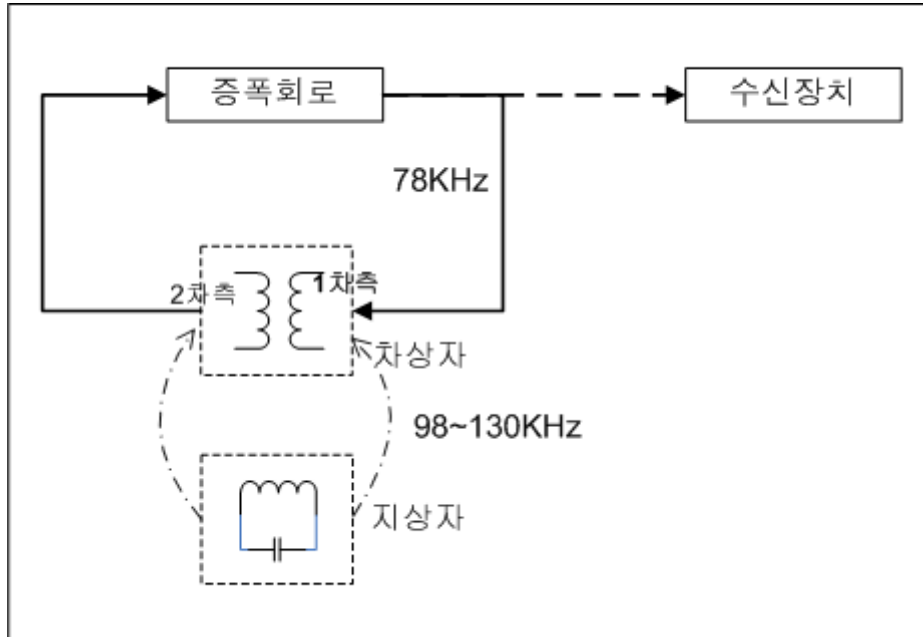
\*, \*\*\*\*살롬엔지니어링(주) 연구소 , 정회원

\*\* 살롬엔지니어링(주) 회장, 정회원, \*\*\* 살롬엔지니어링(주) 연구소장, 정회원

## 2. 본론

### 2.1 기존 ATS 시스템

#### 2.1.1 ATS 장치 구성



그림(1) ATS 장치 구성도

#### 2.1.1.1 차상장치의 구성 및 특징

구 분	내 용
구 성 품	차상자, 수신기, 경보기, 표시기, 확인단추등
차상자 특징	- 코일 임피던스 : $515 \pm 5 \mu\text{H}$ - 상호 인덕턴스 : $122 \mu\text{H}$

표(1) 차상장치

#### 2.1.1.2 지상장치의 구성 및 특징

구 분	내 용
구 성 품	지상자, 지상자 제어계전기 및 케이블
차상자 특징	- 코일 인덕턴스 : $300 \mu\text{H}$ - 공진주파수 : $130 \text{kHz} \pm 0.5 \text{kHz}$

표(2) 지상장치

차상자는 수신기 내부의 증폭회로, 필터, 차상자 등을 조합한 회로의 특성이 78kHz의 발진조건을 만족하도록 되어있어 이 주파수가 지속적인 발진을 하도록 되어있다. 여기에 공진주파수 130kHz의 지상자가 차상자에 접근하였을 때 지상자와 차상자가 전기적으로 결합하여 차상자의 전송특성이 변하여 종합적인 회로의 특성이 78kHz의 특성을 만족하는 상태에서 지상자의 공진주파수 130kHz를 만족시키는 상태로 된다. 이 현상은 원래 차상자의 1차 코일에서 2차코일에 이르는 78kHz의 발진회로에 지상자가 결합함으로써 1차코일→지상자코일→2차코일로 이루어지는 130kHz의 발진에 적합한 새로운 경로가 생긴다고 말할 수 있다.

### 2.1.2 사구간(절연구간) 예고장치

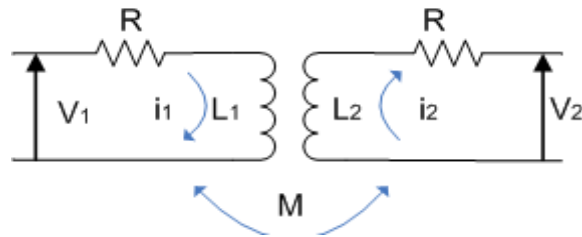
이 장치는 ATS 지상장치에 의한 직류-교류(AC/DC), 교류-교류(AC/AC)전력 사구간 예고 신호를 송신하는 예고장치로서 송신기에서 발생한 예고용 신호를 궤도에 설치된 지상자(송신코일)에 의하여 ATS 차상장치로 전송하고 차상에 탑재된 ATS 수신기에 의하여 이 신호를 수신하여 사구간의 위치를 예고하는 것이다. 사구간 전방에 예고장치를 설치하여 기관사에게 주의를 환기시켜 적절한 시기에 전원장치를 변환함으로써 열차의 안전운행을 도모하는데 그 목적이 있다. 지상설비는 기존의 ATS 차상설비에 영향을 주지 않기 위하여 LC공진이 아닌 단지 68kHz의 주파수를 송신하는 능동(Active)방식으로, 송신코일의 역할을 한다.

## 2.2 ATS 장치의 응답특성 분석

### 2.2.1 발진회로와 차상자의 관계

#### 2.2.1.1 차상자의 특징

궤환회로는 차상자와 수신기, 차상자간을 연결하는 케이블로 구성되어 있다. 이중에서 차상자가 주된 역할을 하는데 차상자는 같은 크기의 원형코일 2개를 상호 인덕턴스가 (-)가 되도록 결합시킨 것이다. 전기회로는 다음 그림(2)과 같이 표시된다.



그림(2) 1차회로만의 차상자 등가회로

차상자의 전기적인 특성은 다음과 같다.

$$V_1 = (R + j\omega L_1)i_1 - j\omega M i_2$$

$$V_2 = (R + j\omega L_2)i_2 - j\omega M i_1$$

여기서  $i_2 = 0$ 이라고 하면 출력비는

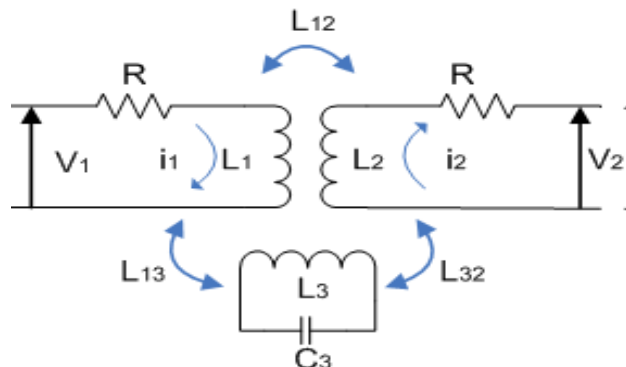
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{-j\omega M}{R + j\omega L} = \frac{-\omega^2 LM}{R^2 + (\omega L)^2} - j \frac{\omega RM}{R^2 + (\omega L)^2}$$

으로 된다.

### 2.2.2 지상자 결합시의 차상자 특성 해석

#### 2.2.2.1 지상자 결합시의 등가회로

지상자가 차상자에 접근해서 양자가 전기적으로 결합하면 차상자의 입력 임피던스, 입출력 전압 등에 변화를 일으켜 이것이 발진회로의 성격에 영향을 준다. 차상자와 지상자가 결합하였을 때 전기회로는 다음 그림(3)과 같이 된다.



그림(3) 2차회로 결합시의 차상자 등가회로

## 2.3 주파수 합성을 이용한 ATS 장치의 응동에 대한 이론적 고찰

### 2.3.1 이론적 배경

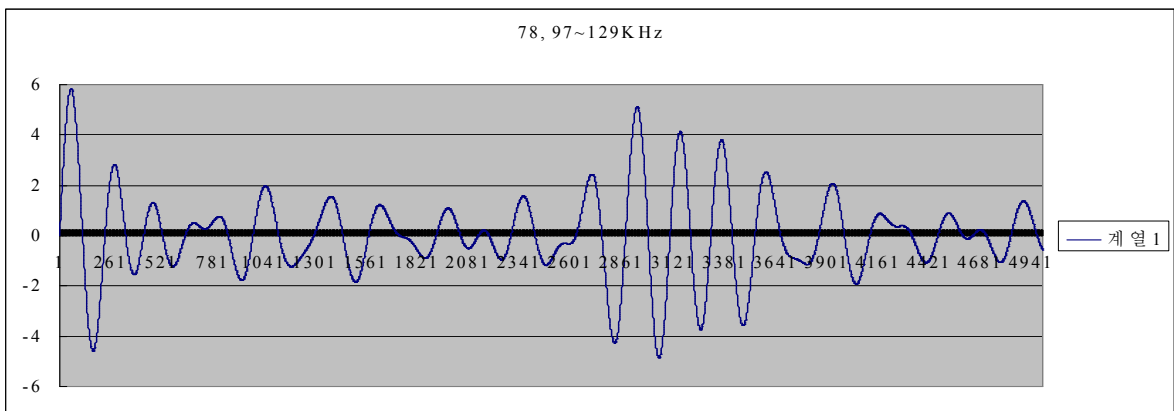
기존의 ATS가 상시발진을 통한 주파수 응동을 하는 장치라면 주파수 합성을 이용한 ATS 장치의 응동은 합성된 주파수를 차상장치를 통해 연속송신을 통해 해당 주파수를 읽어 들이는 방식이다. 즉, FFT(fast fourier transform)방식을 이용하여 time domain의 값 n개를 frequency domain의 합수 n개의 합으로 나타내어 송신된 주파수중 지상자의 송출주파수와 일치되는 주파수를 인식하여 신호를 처리하게 되는 것이다. 이를 정현파의 합으로 표현하면 아래 표(3)과 같다.

구 분	기존 ATS 주파수	합성 주파수
수 식	$f_i(x) = A_i \sin(\omega_i t + \theta_i)$	$f(x) = \sum_0^n A_i \sin(\omega_i t + \theta_i)$
설 명	$A_i$ : Amplitude $\omega_i$ : ATS주파수 $\theta_i$ : 위상지연	$A_i$ : 개별주파수의 Amplitude $\omega_i$ : ATS개별주파수 $\theta_i$ : 개별주파수의 위상지연

표(3) 합성주파수와 기존 ATS 정현파 비교

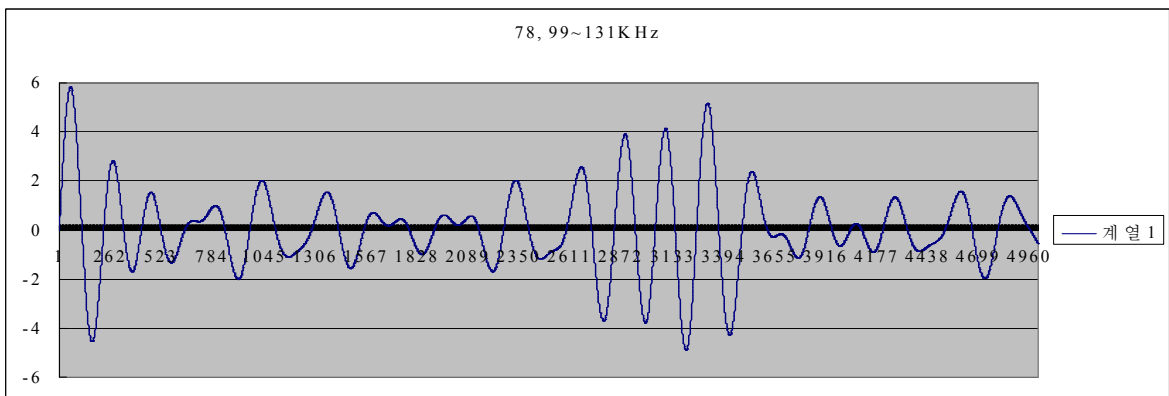
#### 2.3.1.1 주파수 합성 그래프 작성 결과(개별주파수 데이터의 합을 표현한 그래프 : Excel)

(1) 주파수 : 78kHz, 98kHz + 106kHz + 114kHz + 122kHz + 130kHz 에 대한 위의 합성주파수를 표현한 식으로 그래프를 작성한 결과는 다음 그림(4)와 같다.



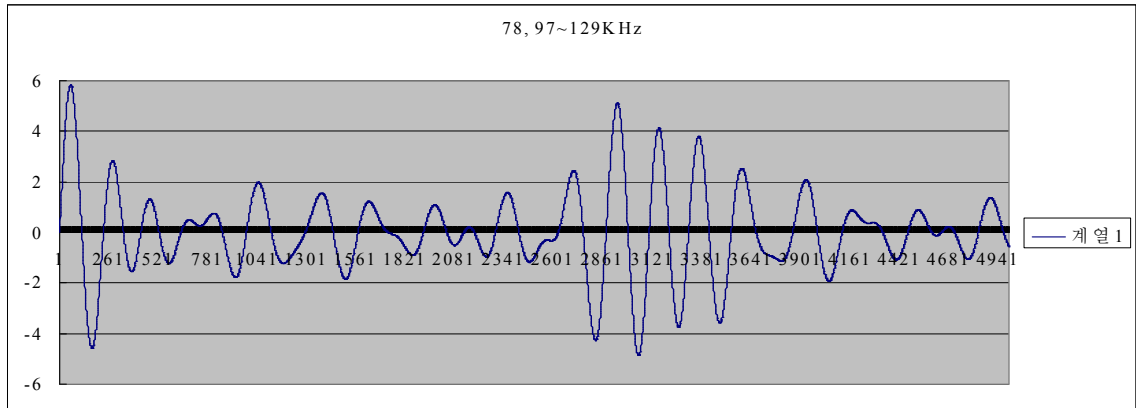
그림(4) 주파수 합성 시뮬레이션 결과

(2) 주파수 : 78kHz, 99kHz + 107kHz + 115kHz + 123kHz + 131kHz에 대한 위의 합성주파수를 표현한 식으로 그래프를 작성한 결과는 다음 그림(5)와 같다.



그림(5) 주파수 합성 시뮬레이션 결과

(3) 주파수 : 78kHz, 96kHz + 105kHz + 113kHz + 121kHz + 129kHz에 대한 위의 합성주파수를 표현한 식으로 그래프를 작성한 결과는 다음 그림(6)과 같다.



그림(6) 주파수 합성 시뮬레이션 결과

주파수 합성 공식을 이용해 아래 표(4)의 값을 적용하여 나타낸 그래프에서 98kHz ~ 130kHz의 범위에  $\pm 1$ kHz의 오차를 적용해 값을 얻은 그래프를 보면 차이가 없음을 알 수 있다.

아래의 표(4)는 위의 그래프 출력 DATA를 나타낸 것이다.

(4) 주파수 합성 DATA Sample

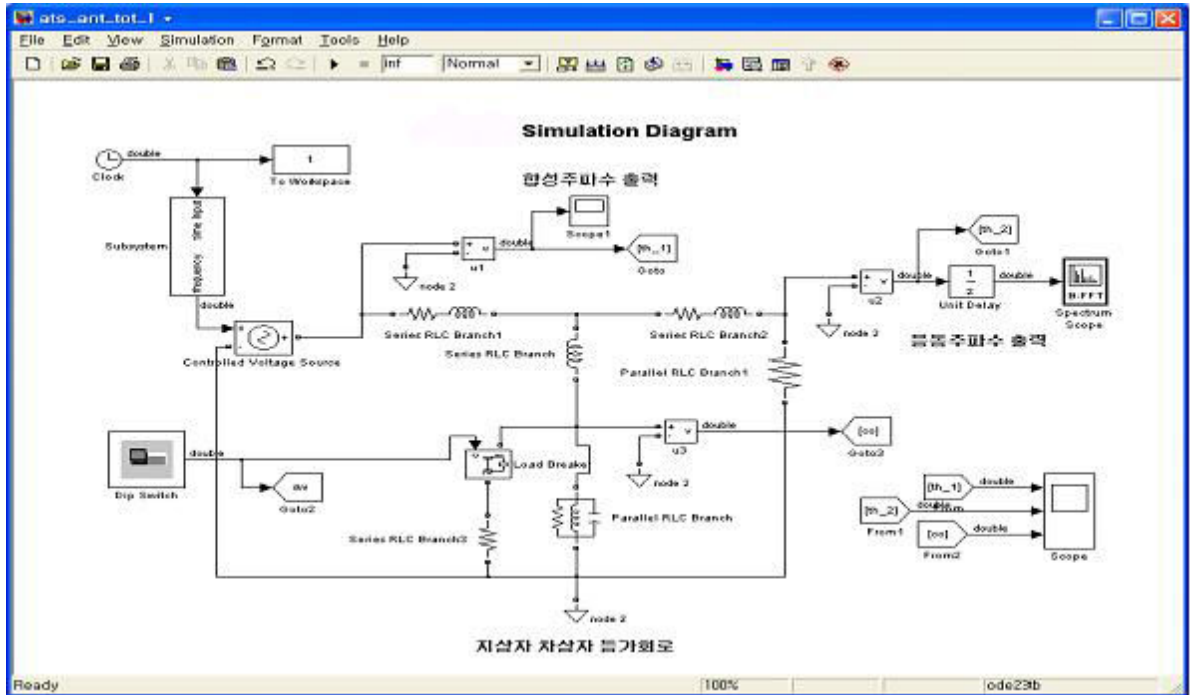
구 분	그림(4)의 값	그림(5)의 값	그림(6)의 값
1	0	0.000000	0.000000
2	0.162839	0.164095	0.161583
3	-0.27647	0.328058	0.323040
4	0.488002	0.491758	0.484246
5	0.65007	0.655063	0.645076
6	0.811624	0.817842	0.805406
7	0.972538	0.979965	0.965110
8	1.132684	1.141301	1.124064
9	1.291937	1.301722	1.282147
10	1.450169	1.461098	1.439234
11	1.607258	1.619302	1.595204
12	1.763078	1.776208	1.749937
13	1.917508	1.931690	1.903312
14	2.070426	2.085622	2.055211
15	2.221712	2.237884	2.205517
16	2.371247	2.388352	2.354113
17	2.518914	2.536908	2.500885
18	2.664597	2.683432	2.645719
19	2.808181	2.827808	2.788504
20	2.949556	2.969921	2.929131

표(4) 주파수 합성을 이용한 DATA

### 2.3.2 합성주파수 시뮬레이션

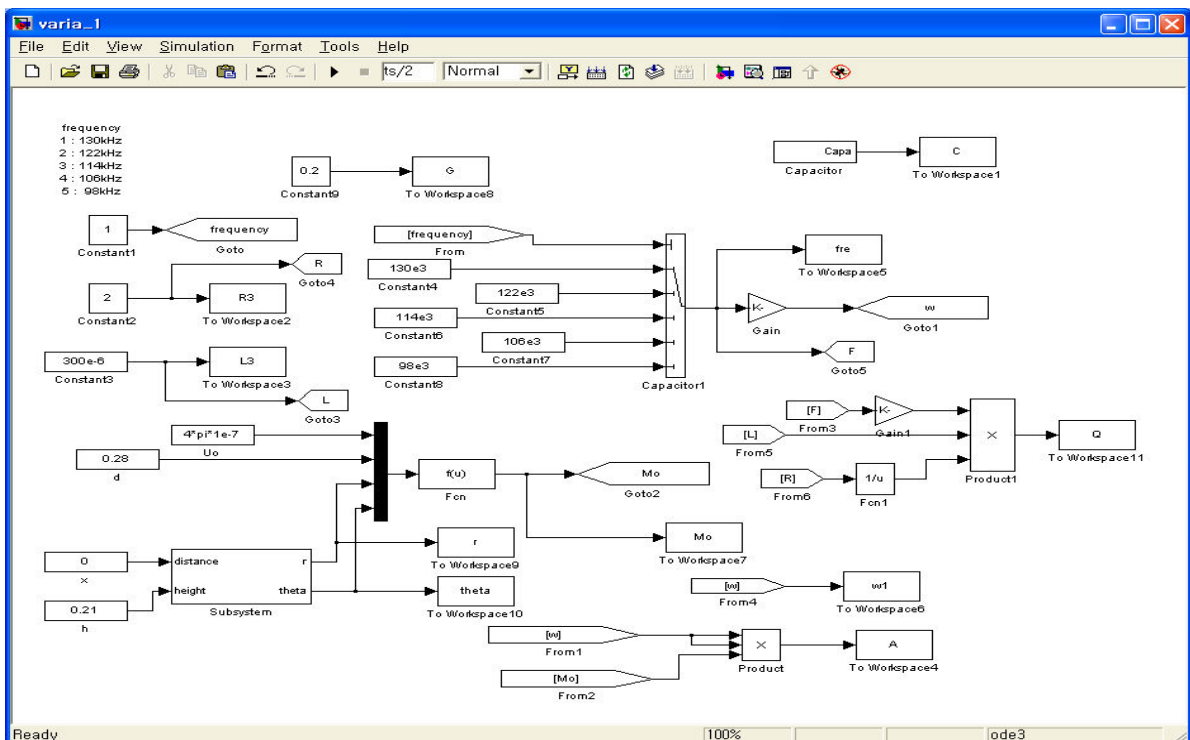
실험에 앞서 MATLAB을 이용하여 차상자에서 송신된 합성주파수와 지상자와의 응동 및 입출력 주파수를 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 조건은 실험에서 주어진 차상자와 지상자의 기본사양, 차상자와 지상자간의 거리(210mm)등 동일한 조건을 부여한 상태에서 실시하였다..

#### 2.3.2.1 Simulation Diagram



그림(7) Simulation Diagram

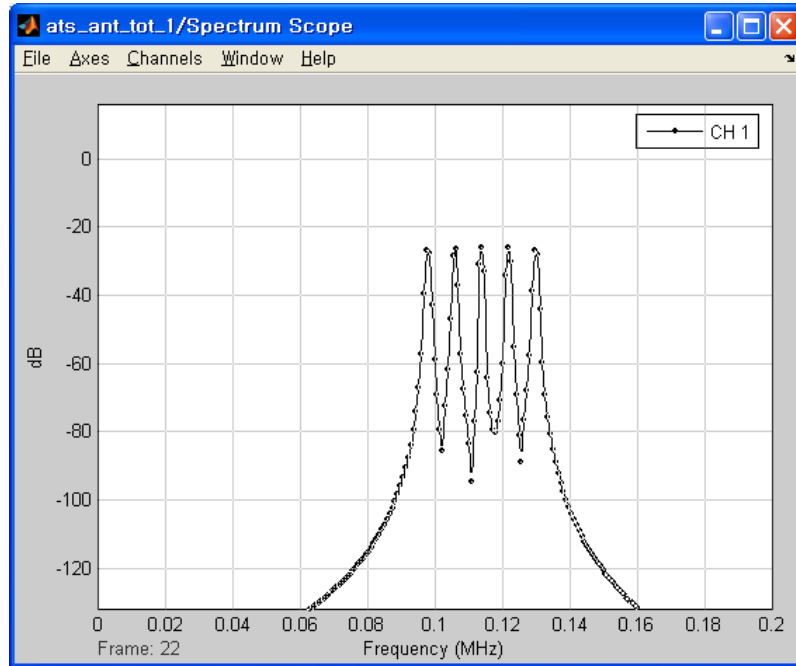
#### 2.3.2.2 변수설정 Diagram



그림(8) 변수설정 Diagram

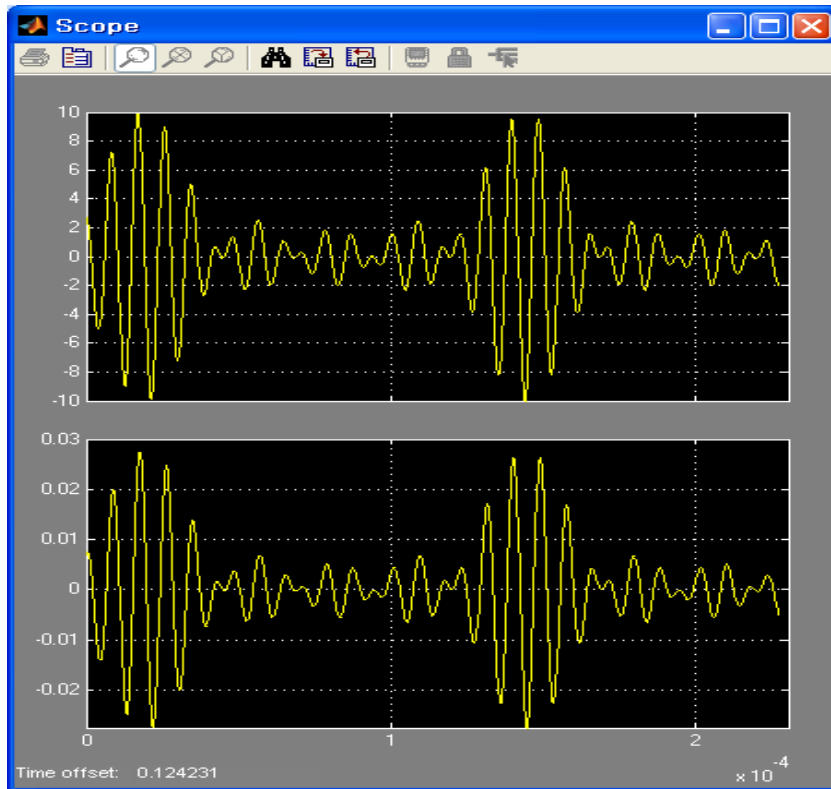
### 2.3.2.3 시뮬레이션 결과

#### (1) 지상자 응동전 출력 주파수



그림(9) FFT 출력

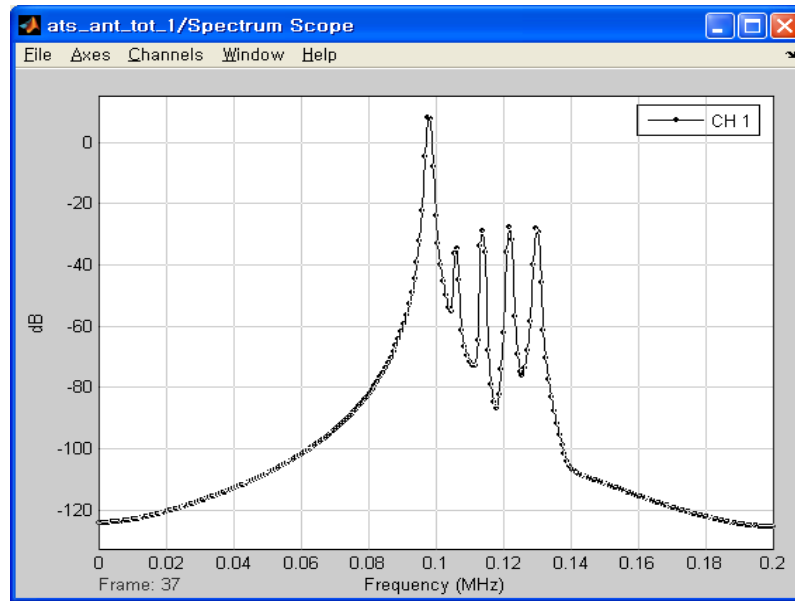
그림 (9)는 합성주파수의 FFT 출력 파형으로 98kHz+ 106kHz+ 114kHz+ 122kHz+ 130kHz의 순으로 파형이 생성되어 있음을 볼 수 있다.



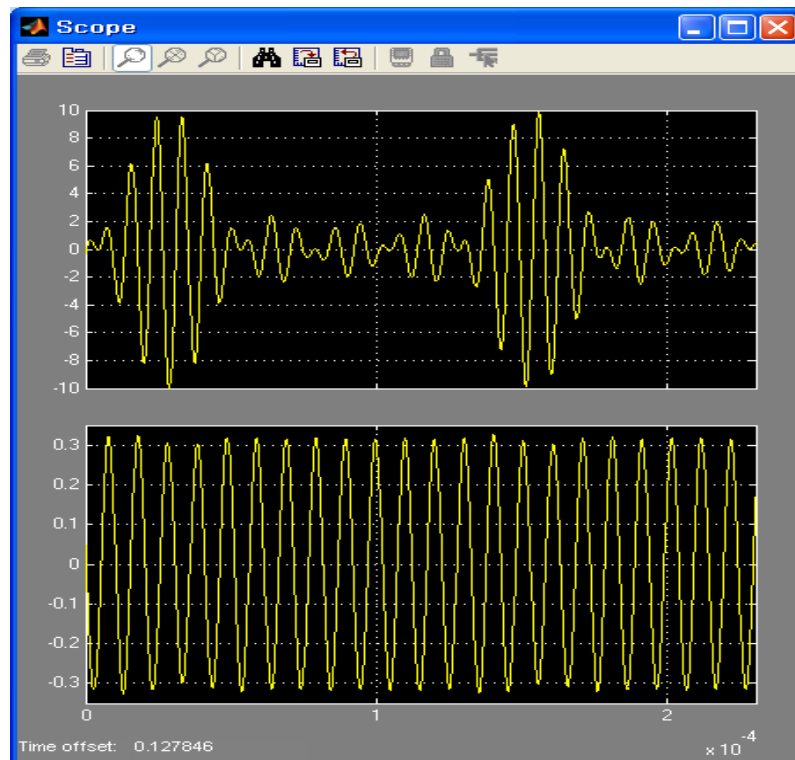
그림(10) 차상자의 1차측과 2차측의 출력파형

위의 그림(10)의 파형은 차상자의 1차측과 2차측의 연속송신시의 시뮬레이션 파형으로 상단은 1차측 송신파형이고 하단은 2차측 수신파형으로 아무런 수신 주파수가 없을 경우의 파형을 나타낸 것이다.

(2)출력 파형(지상자 98kHz)



그림(11) FFT 출력파형



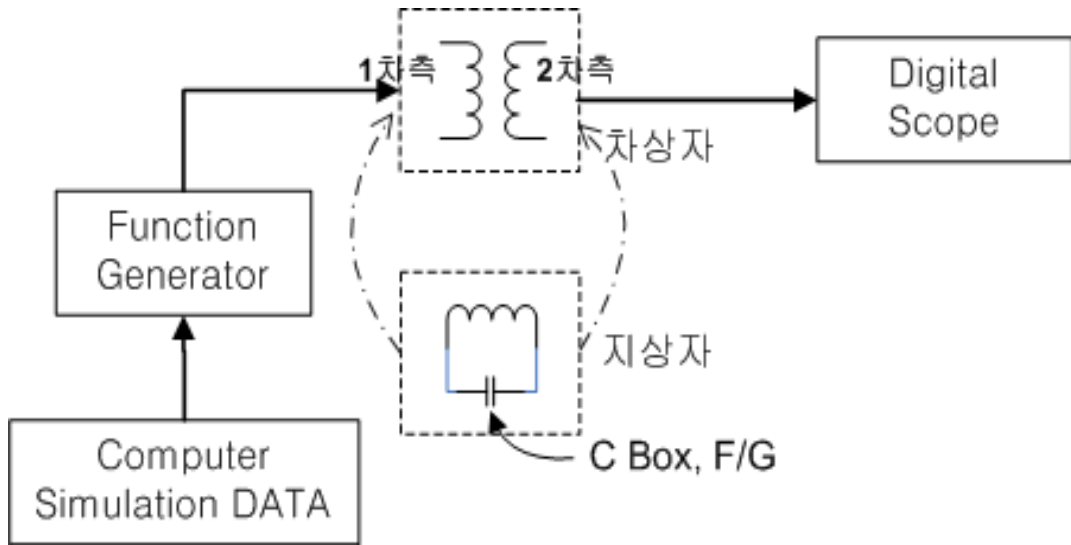
그림(12) 98kHz 응용시의 파형

위의 그림(12)에서 상단의 파형은 1차측의 출력파형을 나타내고 있고 하단의 정현파는 98kHz 주파수가 응용된 2차측의 입력파형을 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 것이다. 마찬가지로 106kHz, 114kHz, 122kHz, 130kHz 에서도 동일한 결과를 얻었고 시뮬레이션 결과를 참고하여 실제 실험을 진행하였다.



## 2.4 주파수 합성 실험결과

### 2.4.1 시험 진행



그림(13) 시험장비 구성

시험은 차상자와 지상자를 210mm 간격으로 수평이 되도록 설치하였으며 레벨은 차상자의 2차측 수신단의 레벨(V)을 측정하였다.

- (1) Simulation DATA : 합성주파수의 DATA값
- (2) Function Generator : Agilent 33250A Serial connection
- (3) C Box : 해당 주파수(98kHz ~ 130kHz)의 C 값 입력
- (4) 2차측의 레벨 및 주파수 측정장비 : Oscilloscope - Tektronics, NI Digitizer(PXI)

#### 2.4.1.1 차상자



그림(14) 차상자 구성

구분	L(H)	Z(Ω)	비고
1차측	0.51m	1.46	1차 2차측 임피던스 저항 병렬연결
2차측	0.51m	1.47	

표(5) 차상자 기본값

※ 임피던스  $Z = \sqrt{R^2 + (wL)^2}$

2.4.1.2 주파수별 Decade Capacitor Box Value(C Box)

구 분	응동 주파수 (KHz)	C값( $\mu$ F) C Box	주파수 최대값 (KHz)
98	97	50	96.6
	98	47	98
	99	45	98.9
106	105	33	105
	106	32	106.1
	107	29	107.2
114	113	20	113
	114	19	113.9
	115	17	115.2
122	121	10	120.7
	122	9	122.3
	123	8	123.1
130	129	1	128.8
	130	0	129.9

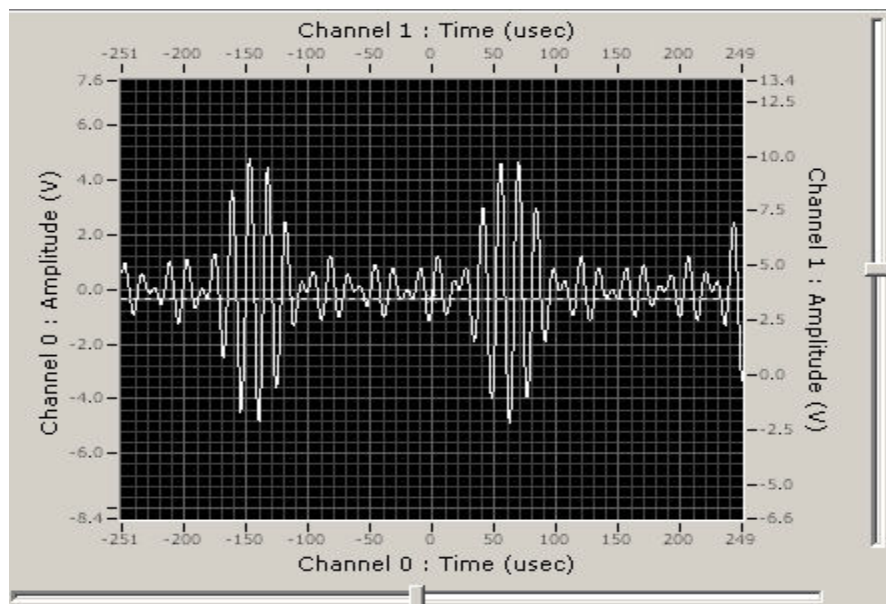
표(6) 응동주파별 C 값

2.4.2 합성주파수 시험결과

시험 진행 순서는 다음과 같다.

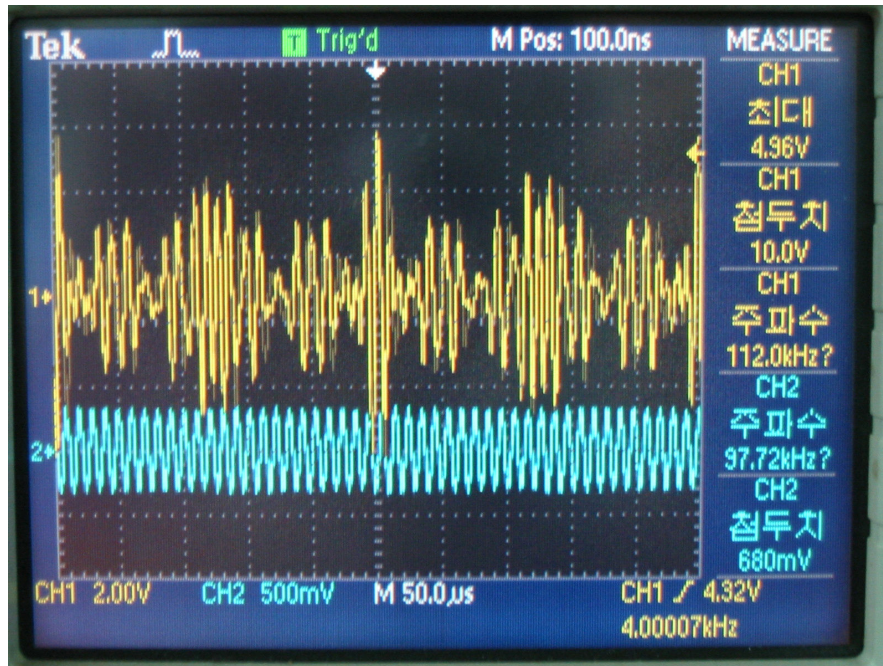
- (1) 98kHz+ 106kHz+ 114kHz+ 122kHz+ 130kHz 합성 주파수 응동시험
- (2) 68kHz 사구간(절연구간) 지상자 응동 시험
- (3) 외부 환경요소에 대한 시험

2.4.2.1 Simulation DATA에 의한 주파수 합성

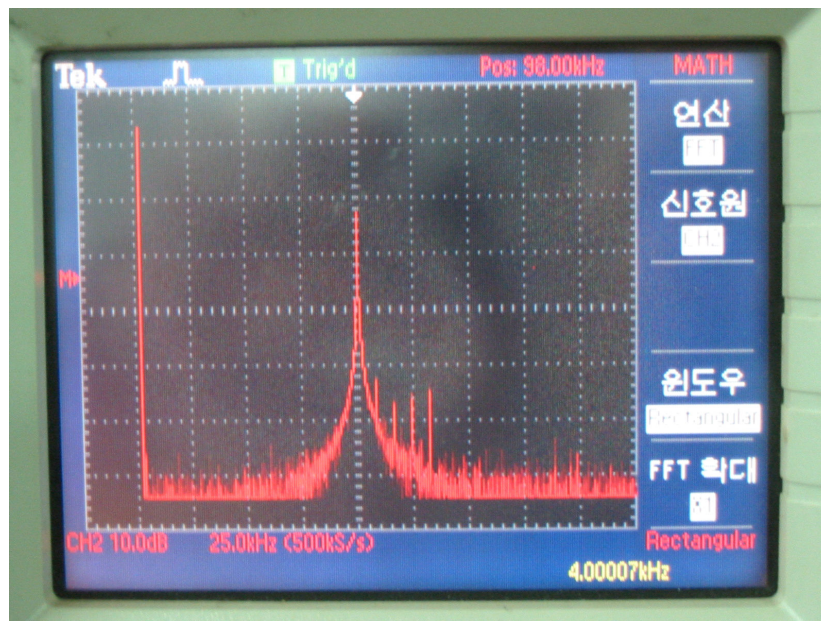


그림(15) 합성주파수 파형

2.4.2.2 지상자 98kHz의 신호 수신결과수신결과



그림(16) 98kHz 지상 신호 수신결과



그림(17) FFT 결과

- (1) 송신 주파수 Setting
  - 개별 주파수 레벨 : 0.2V
  - 위상 : 고정
- (2) 수신 주파수 측정
  - 합성 주파수 레벨 최대치 : 4.96V
  - 수신 주파수(98kHz) 레벨 최대치 : 1.3V

위의 그림(16)은 CH1의 합성주파수를 1차측 송신단에 연결하여 주파수를 송신한 결과 2차측 수신단을 측정한 결과 값이다. 주파수는 97.72kHz로  $\pm 2$ kHz 오차범위가 발생했으며 수신레벨은 680mV  $\pm 20$ mV로 측정되었다. 98kHz이외의 주파수, 106 ~ 130kHz의 주파수도 동일한 방법으로 실험을 실시하여 아래와 같은 데이터를 얻었다.

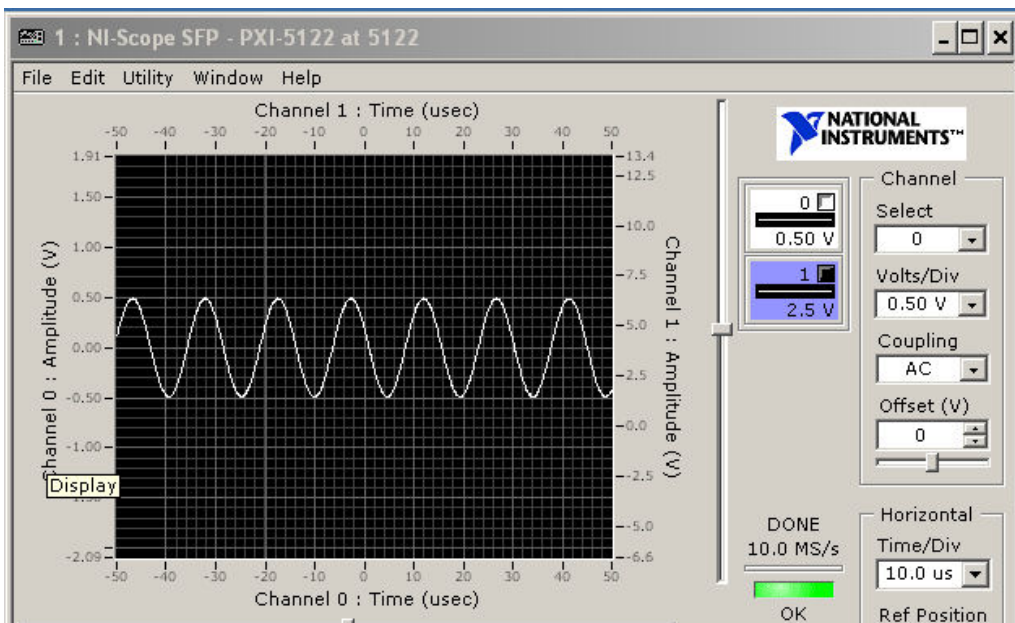
2.4.2.3 각 신호별 수신결과

주파수(kHz)	설정	출력레벨(V)	비고
	출력레벨(V)		
98	0.2V	0.320	레벨 pk-pk :0.680V 위상변화 없음
106		0.300	
114		0.310	
122		0.330	
130		0.320	

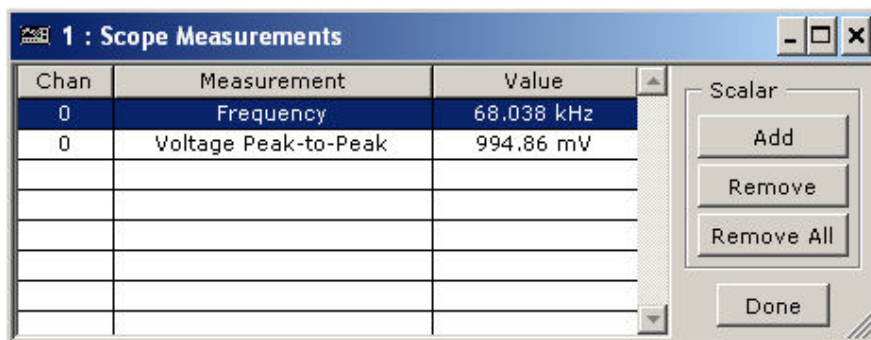
표(7) 주파수별 레벨값

2.4.2.4 사구간(68kHz,절연구간) 포함 합성 주파수 응답 실험 결과

(1)측정 결과



그림(18) 오실로스코프 측정결과



그림(19) 측정값

송신 레벨(V)	2차측 수신 레벨(V)	
	98~130kHz 혼합 송신시	비 고
10	994.86±10mV	지상자 68kHz 강제송신
주파수	68kHz±1kHz	.

표(8) 2차측 수신 주파수 레벨

사구간(절연구간) 지상자 응동실험 결과 합성주파수를 연속송신을 하는 동안 사구간 지상자 통과시 68kHz주파수는 이상없이 수신 가능함을 알 수 있었다.

2.4.2.5 주파수별 응동주파수 및 도체 근접특성표

구분 (Khz)	차상자 주파수	상단면 유도체 높이			
		없음	300mm	205mm	200mm
<b>98</b>	95	98	98	98	98
	96	98	98	98	98
	97	98	98	98	98
	<b>98</b>	98	98	100	100
	99	100	100	100	100
	100	100	100	100	104
	101	104	104	104	104
<b>106</b>	103	106	104	106	106
	104	106	106	106	106
	105	106	106	106	106
	<b>106</b>	106	106	106	106
	107	108	108	108	108
	108	108	108	108	108
	109	112	112	112	112
<b>114</b>	111	112	112	112	112
	112	114	114	114	114
	113	114	114	114	114
	<b>114</b>	114	114	114	114
	115	116	116	116	116
	116	116	116	116	116
	117	116	116	116	116

표(9) 주파수별 응동주파수 및 도체 근접특성표

위의 표는 개별 주파수를 송신할 때 도체를 차상자에 근접시킬때 발생하는 현상을 표로 작성한 것이다. 이와 같은 방법으로 합성 주파수를 연속송 신하는 동안 도체를 근접시킬 때 주파수 응동상태를 실험한 결과 주파수의 변화는 도체를 근접시키지 않을 때의 결과와 차이가 없었다.

### 3. 결론

이상과 같이 주파수 합성을 이용한 ATS 응답방식은 각 신호주에 맞는 지상신호와 사구간(절연구간) 지상자의 신호에 대해 정상적으로 인식하는 것을 확인하였다. 또한 제한적이지만 도체 및 자기의 영향에도 ATS 신호응동에 영향을 미치지 않는 것을 확인하였으나 현재까지의 실험은 안정적인 실험실내에서의 조건을 이행한 사항이며 앞으로는 외부 위해 요소에도 정상 응답이 가능한지 여부와 실제 차량에서의 정상응동 여부를 확인하는 추가적인 실험이 진행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. “ATS 보수지침서”, 사단법인 철도차량기술공사,1979
2. “속도조사식 ATS 차상장치(보수지침서)”, 철도청,살롬엔지니어링(주),1993
3. “ATS장치의 기능향상에 관한 연구”, 철도청,한국철도기술연구원,1997,1998
4. "ATS 장치“,교통공무원교육원, 직무전문과정 95-050-082,1995