



극지연구소장 귀하

본 보고서를 " 극지 산·연 공동연구프로그램(PIP사업)"에 관한 연구 "극지 빙하 코어 전기 전도도 측정기 개발"과제의 최종보고서(극지 빙하 코어 전기 전도도 측정기 개발 최종 보고서)로 제출합니다.



- 연구기관명 : ㈜로펨솔루션
- 연구책임자 : 김 재 형
- 참여연구원 : 박 가 람

요 약 문

- . 제 목
 국지 빙하 코어 전기 전도도 측정기 개발
- II. 연구개발의 목적 및 필요성 극한 환경인 빙하 코어 채취현장에서 사용할 수 있는 실외 휴대용 빙하 코어 전기 전도도 측정기를 개발하여 연구의 효율성과 편리성을 향상시켜 대한민국 극지 연구에 이바지 하고자 한다.
- III. 연구개발의 내용 및 범위
 실외 휴대용 빙하 전도도 측정기의 전기/전자회로 보드 개발, 구동 Firmware 개
 발, 기구 개발 그리고 PC 用 모니터링 프로그램 개발하고 과제 목표에서 제시된
 정량적/정성적 목표를 달성하도록 한다.

디연구소

IV. 연구개발결과

고전압 생성, 미세 전류 측정, 미세 거리 측정, 온도 측정에서 본 과제 목표의 정량적/정성적 목표를 달성하였으며 실외 극한환경에서 사용할 수 있는 휴대성 과 내구성을 보장하는 기구를 설계 제작하였다. 기기의 방수성과 계측 부품의 정밀도 유지 그리고 무엇보다도 측정 中 측정 대상 시료인 빙하 코어의 절연 유지를 위해 부득이 빙하 코어 거치대를 포함하는 추가 설계로 전체 개발품의 크기와 무게에서 다소 목표 수준을 초과 하였으나 휴대성을 저해하지 않는 범위 이다.

V. 연구개발결과의 활용계획

보다 활발한 극지 연구를 위해 극지 현장에서 적극 활용될 예정이며 확보된 기술로 다른 계측장비에 응용할 수 있으며 향후 제품화 과정을 거쳐 다른 나라 극지연구소로의 수출도 모색할 수 있다.

모		

차

제	1 장 서론 ••••••••••••••••••••••••••••	5
제	2 장 국내외 기술현황 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	6
제	3 장 연구개발수행 내용 및 결과·············	7
	제 3 장 1 절 PECM (Portable Electric Conductivity Measurement) 개발 사양서	7
	제 3 장 2 절 PECM 제어보드 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	8
	제 3 장 3 절 전기/전자 회로 설계 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 11
	제 3 장 3 절 1 항 전원부 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	• • • • 11
	제 3 장 3 절 2 항 MCU부 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 14
	제 3 장 3 절 3 항 빙하 전압, 전류 데이터 수집부 ······	· · · · 16
	제 3 장 3 절 4 항 빙하 길이 데이터 수신부 ······	· · · · 20
	제 3 장 3 절 5 항 빙하 온도 데이터 수신부 · · · · · · · · · · · ·	· · · · 21
	제 3 장 3 절 6 항 키패드 수신부 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 23
	제 3 장 3 절 7 항 Display 회로부 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 23
	제 3 장 3 절 8 항 Buzzer 회로부 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 26
	제 3 장 3 절 9 항 RS-232 통신회로부 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 26
	제 3 장 4 절 Firmware ····································	· · · · 28
	제 3 장 4 절 1 항 펌웨어 구조	· · · · 28
	제 3 장 4 절 2 항 주요 작업 루틴 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 29
	제 3 장 4 절 3 항 ECM State Machine · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 31
	제 3 장 4 절 4 항 키패드 구성 ·············	· · · · 32
	제 3 장 4 절 5 항 디스플레이 메뉴 구성 ㆍ · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 33
	제 3 장 5 절 PC Monitoring Program · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	· · · · 37
	제 3 장 6 절 기구 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	• • • 39
	제 3 장 6 절 1 항 기구 디자인 ·············	· · · · 40
	제 3 장 6 절 2 항 기구 디자인 특장점 ··········	• • • • 42
	제 3 장 6 절 3 항 실제 기구 형상 ·············	• • • • 45
제	4 장 연구개발목표 달성도 및 대외 기여도 • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • 45
제	5 장 연구개발결과의 활용계획 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	54
제	6 장 참고문헌 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	55

제 1 장 서론

기존에는 빙하 채취현장에서 다수의 빙하 코어를 채취하고 이를 헬리콥터를 이용하여 연 구 기지로 이송하고 이를 실내 빙하 전기 전도도 측정기를 이용하여 측정 후 연구 시료로 서 가치가 없는 빙하 코어를 선별하여 폐기하는 형태로 연구를 진행해 왔다. 이런식의 연 구방식은 다수의 빙하 코어를 이송하여 기지 內에서 판별해야 함에 따라 연구의 효율성이 떨어지고 시간과 노력, 이송 비용에서 많은 손실이 발생한다. 그러므로, 빙하 코어 시추 현 장에서 빙하 코어의 전기 전도도를 정밀측정하여 빙하 시료를 선별하여 이송할 수 있다면 관련 연구의 효율성과 편리성이 증대되는 이점이 있다. 이에 따라 실외 휴대용 빙하 전기 전도도 측정기 개발의 필요성이 증대되고 있다.

그러므로, 본 개발을 통해 실외 휴대용 빙하 전기 전도도 측정기와 전용 PC 用 모니터링 프로그램을 개발하고 내재화하여 관련 극지 연구의 효율성과 편리성을 향상 시키고자 한 다.



제 2 장 국내외 기술개발 현황

고전압을 생성하여 이를 측정대상에 인가하고 이 때 흐르는 미세전류를 측정하여 측정 대상 의 임피던스 (Impedance)를 측정하는 절연저항계는 Isolation Tester, Megger, Megaohmmeter 등의 이름의 계측기로 시중에 다수의 제품들이 있으며 이를 제작하는 업체도 국·내외 다수 존 재한다. 이러한 제품들은 주로 일반 건설현장이나 공장, 기타 다른 제품 생산시 절연저항을 측 정하기 위해 사용되고 있다. 초창기에는 극지 빙하 코어 연구시 관련 전용 계측기가 없어 일반 절연저항계를 이용하여 빙하 코어의 전기 전도도를 측정하였으나 기능과 구조, 사용환경 등에서 극지 연구에 적합하지 않았다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 캐나다의 Icefield Instruments Inc 社 에서 Handheld ECM Unit,Ver3 가 출시 되었고 이는 빙하 코어 전기 전도도를 측정하 기 위한 전용제품으로 세계 여러 나라의 극지 연구소에서 현재 주로 많이 활용되고 있다.

국내에는 극지 연구가 걸음마 단계이며 빙하 코어 전기 전도도 측정 전용 계측기 개발을 추진 한 업체는 현재까지는 없다. 그러므로, 본 연구를 통해 기존의 국외 타사 제품의 장단점을 분석 하여 이를 개선하는 차별화 전략을 수립하여 국외 타사 제품 대비 기능과 성능이 우세한 국산 빙하 코어 전기 전도도 측정기를 최초로 개발하여 극지 연구에 활용하고자 한다.

극지연구소

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 3 장 1 절 PECM (Portable Electric Conductivity Measurement) 개발 사양서

본 연구에서 기존 국외 타사 제품의 장단점을 분석 후 기능과 성능를 향상할 수 있는 개발 사양을 정리하였고 이는 아래 표 1 과 같다.

표 1. PECM 개발 사양서

항목	세부항목	사 양
외형	크 기	1530 x 290 x 160 mm
	무 게	10.45kg
	IP	IP65 (생활 방수)
전원	소비전력	3.86W _{Max}
사양	사용시간	24Hr (베터리 구동 時)
	입력전원	· 리튬인산철베터리 26650 (내부) : 3.2V/3200mAh x 3 EA (Serial) • 12Vdc/2A 전원 아답터 (외부)
	충전방식	리튬인산철 베터리 충전회로 내장
기본	출력기능	500 ~ 1200 Vdc (4 Step : 500V, 800V, 1000V, 1200V)
사양 	입력기능	 빙하 고압 측정 : 0 ~ 1200 Vdc (24Bit) 빙하 전류 측정 : 0 ~ 60 uA (24Bit) 빙하 거리 측정 : 0 ~ 1.3m, (0.03mm resolution) (14Bit) 빙하 온도 측정 : -200 ~ 550 °C, (with PT100) (15Bit) 보드 온도 측정 : -55 ~ 125 °C 베터리 전압 측정 : 0 ~ 12 Vdc (12Bit)
	제어기능	 제어주기 : 2ms 제어방식 : Anti-windup 을 가지는 PI Controller 를 이용한 고전압 출력 전압 Close-loop 제어
	표시기능	4 x 20 Line OLED Display Module LED Bar Equalizer (G : 10 EA), · System Status LED (R, G) Charger Status LED (R, G), · Test LED (R, G) High Voltage On/Off LED (B)
		· Buzzer (R) Red, (G) Green, (B) Blue
	통신기능	Isolated RS-232 통신 (19200 Baud Rate)
	저장기능	2Mbit 256kByte EEPROM
	입력버튼	·전원 On/Off 버튼, · 화살표 Key Pad, · 숫자 Key Pad
	보호기능	전류 제한 저항에 의한 고전압 모듈의 단락 방지
사용	운전환경	실외 극지
환경	냉각방식	전폐 자냉형
	사용온도	-40 ~ 80 °C
	보관온도	-40 ~ 80 °C

제 3 장 2 절 PECM 제어보드

그림 1은 제어보드의 Top 면을 나타낸다. 각 커넥터는 표시된 기능을 위해 제어기 본체 내부 하네스와 연결되게 된다.



그림 1. 제어보드 Top 면

- Power On 커넥터는 기구 본체에 장착된 Power On Swtich 와 연결된다. On 되면 시스템에 전원이 투입된다.
- 12Vdc Adapter 커넥터는 외부 아답터와 연결되며 베터리를 충전하며 시스템에 전원도 공급 한다.
- Debugger 커넥터는 개발 중에 Firmware 를 다운로드 하거나 각종 파라메터를 모니터링 할 때 사용된다. 일반 운용에는 사용되지 않는다.
- Buzzer 는 고압 운용시 고압 Terminal 에 Short 가 발생시 Buzzer 를 울린다.
- 화살표 Key Pad 커텍터는 기구 본체 상판의 화살표 Key Pad 와 연결된다. 화살표 Key

Pad 는 메뉴 이동시 또는 파일 이름 입력시 주로 사용된다.

- Wire Sensor 커넥터는 외부 Wire Sensor 와 연결되어 빙하의 길이를 측정하게 된다.
- RTC Coin Battery CR1220 커넥터는 RTC (Real Time Clock) 기능을 유지시키기 위한 Coin Battery 가 장착된다. 주로 3V CR1220 을 장착한다.
- High Voltage Terminal 커넥터는 외부에 고압 단자와 연결되며 여기서 500V/ 800V/ 1000V/ 1200V 가 출력되게 된다.
- 숫자 Key Pad 는 각종 숫자를 입력할 때 사용되며 * 버튼은 [선택], # 은 [메인 메뉴로의 이동] 을 할 수 있다.
- PT100 커넥터는 기구물에 장착되어 있는 D-SUB 9PIN 커넥터를 통해 외부 PT100 3-Wire 와 연결된다. 빙하의 표면 온도를 측정시 사용된다.
- RS-232 커넥터는 기구물에 장착되어 있는 D-SUB 9PIN 커넥터를 통해 외부 PC 와 연결되 게 된다. 모니터링 프로그램과 연결되어 데이터를 송,수신한다.

그림 2 는 각 LED 배치를 나타내고 있다.



그림 2. 각 LED 배치

- Status LED 는 System 의 상태를 나타낸다. 정상상태는 Green 이고, Fault 상태는 Red 이다.
- HV On LED 는 High Voltage 가 출력되고 있는지를 나타낸다. 고압이 생성되면 Blue LED 가 On 되어 시각적으로 알 수 있다.
- Test LED 는 제품 개발 중 Test 용으로 사용되며 향후 추가 기능이 있을 때 임무가 배당 된다.
- 충전 상태 LED 는 베터리 충전 중일 때는 D4 의 Red LED 가 On 이 되며, 완충이 되면 D5 의 Green LED 가 On 된다. Sleep 모드에 도달하면 모두 Off 된다.
- LED Bar 는 10 개의 LED 로 이루어져 있으며 빙하 전류의 양을 나타낸다. 각 1uA 씩 배당되어 10 개의 LED 가 모두 켜지면 10uA 이다.

그림 3 은 제어보드 Bottom 면을 나타내고 있다. 리튬인산철 베터리 26650 베터리 홀더 3개 가 배치되어 있다. 이 베터리는 아래와 같은 극성으로 장착해야 한다.



그림 4는 리튬인산철 베터리 26650 을 나타내고 있다. 3.2V/3200mAh 이다.



그림 4. 리튬인산철 베터리

제 3 장 3 절 전기/전자 회로 설계

제 3 장 3 절 1 항 전원부

PECM 의 전원부 블록도는 아래와 그림 5와 같다. 계통전원 (100 ~ 240Vac, 50 ~ 60Hz) 은 외부 아답터를 통해 12Vdc 로 변화되어 시스템에 입력된다. 이 12Vdc 전원은 파워 스위치를 통해 각 SMPS 로 전달되며 이와 동시에 베터리 충전회로를 통해 베터리를 충전하게 된다. 베 터리 충전 중에는 D4 의 LED RED 가 점등하며, 완충되면 D5 의 LED GREEN 이 점등한다. 계통 전원이 제거되면 리튬인산철 베터리로 구동되게 되는데 이 때 전원은 9.6Vdc 이다. 베터 리 전원은 MCU 에서 2msec 마다 모니터링 된다.

입력된 전원은 3.3V, 5V, 12V 로 변환되는데 특히 12V 는 5V 를 다시 승압해서 생성하여 입 력 전원이 변화해도 항상 일정한 전압을 만들 수 있도록 하였다.

High Voltage DC/DC Converter 는 500V, 800V, 1000V, 1200V 를 출력하는데 이를 위해서는 High Voltage DC/DC Converter 의 전원과 Control Pin 전압을 같이 조절해 줘야 한다. 먼저 500V, 800V 는 2.61V 의 전원을 인가한 상태에서 Control Pin 전압을 조절하여 구현하 고, 1000V, 1200V 는 4V 의 전원을 인가한 상태에서 Control Pin 전압을 조절하여 구현한다. 이를 위해 전원 조절은 I2C 통신으로 조절되는 가변저항이 장착된 SMPS가 사용되며 High Voltage DC/DC Converter 의 Control Pin 은 MCU 의 DAC 의 출력으로 조절한다. MCU 의 DAC 최대 출력은 2.5V 이므로 이를 차동 Amp 로 2배 스켸일 증폭하여 5V 까지 Swing 할 수 있도록 하여 High Voltage DC/DC Converter 의 Control Pin 에 입력한다.

12Vdc		12Vdc			SMPS 3.3V/2A	D3.3P		
	Battery Charger BT	9.6Vdc 1	D1 D2	Power On Switch	SMPS 5V/2A	D5P	SMPS 12V/1A	D12P
	BT	2			SMPS ADJ/1A	D2.61P~D4P	HV SMPS 1200V/ 0.83mA	D1200P
	BT	3			I2C		DAC	
		G	ND					

그림 5. 전원부 블록도

그림 6 은 실제 리튬인산철 베터리 충전회로를 나타내고 있다.

충전을 시작하면 D4 RED LED 를 On 시키고, 정전류 모드 1A 로 충전하다가 완충 전압의 90% 에 도달하면 정전압 모드로 운전모드를 전환하여 충전한다. 충전이 완료되면 D4 를 Off 하고 D5 GREEN LED 를 On 시켜서 완충을 표시하고 충전을 중단한다. 아답터가 빠지면

Sleep 모드로 변환되고 이 때 D4, D5 LED 는 모두 Off 되게 된다.



리튬인산철 베터리의 충전전압은 3.4V x 3 (Serial) = 10.2V 이다. 그러므로, 아래 식 (1) 에 의해 9.996V 를 완충전압으로 설정하였다.

 $V_{BAT} = 2.1V \times \left[1 + \frac{(R10 + R13)}{R16}\right] = 2.1V \times \left[1 + \frac{(75k + 301k)}{100k}\right] = 9.996V \quad ----- \quad (1)$

그림 7은 SMPS (Switched Mode Power Supply) 회로를 나타내고 있다. 3.3V, 5V, 12V, ADJ 전압을 각각 생성하는 회로이다.

특히 High Voltage DC/DC Converter 의 조절 전압을 위해 CAT5171TBI-00GT3 의 I2C 통신 의 가변저항이 사용 되었다.



그림 7. SMPS 회로

시스템에 모든 부품이 Full Power 를 소비할 때 3.859W 가 소비 된다. 그림 8은 시스템의 소 비전력을 나타내고 있다. 일반적일 때는 최대 소비량의 1/3 정도가 전력 소비된다. 만약 최대 전력 소비형태로 시스템 운영시 베터리 전원으로 1 Day 를 견딜 수 있음을 알 수 있다.

BATT [V]	DC/DC	[V]	PARTS	[EA]	[W]	SUM [W]	SUM [A]
			XMC4200-F64F256,TQFP-64,INFINEON	1	2.640E-01	2.640E-01	
			M24M02-DRMN6TP,SO8,ST	1	8.250E-03	8.250E-03	
9.6			LM75ADP,TSSOP8,NXP	1	3.300E-03	3.300E-03	
			TXB0104PWR,TSSOP14,TI	1	1.650E-05	1.650E-05	
			TXB0102YZPR,DSBGA8,TI	2	1.980E-07	3.960E-07	
		2.2	EA OLEDM204-GGA, DISPLAY VISIONS	1	2.211E-03	2.211E-03	
	(2 2)//2A)	5,5	TLC6C5912QPWRQ1,TSSOP20,TI	1	5.610E-04	5.610E-04	
	(3.3V/2A)		TCA8418RTWR,WQFN24,TI	1	5.049E-04	5.049E-04	
			CAT5171TBI-00GT3,SOT23-8,ONSEMI	1	6.600E-06	6.600E-06	
			MAX31865AAP+T,TSSOP20,MAXIM	1	1.155E-02	1.155E-02	
			ADS131M04IPWT,TSSOP20,TI	1	1.200E-02	1.200E-02	
			MAX4238AUT,SOT23,MAXIM	5	2.805E-03	1.403E-02	
			3.164E-01	9.589E-02			
	TPS563231DRLR,SOT563,TI		TXB0104PWR,TSSOP14,TI	1	2.500E-05	2.500E-05	
			MAX3087ESA,SO8,MAXIM		5.000E-03	5.000E-03	
			TXB0102YZPR,DSBGA8,TI		1.700E-05	3.400E-05	
			ADM3251EARWZ,SOIC20,ANALOG		0.725	7.250E-01	
		5	LED		0.027	3.567E-01	
	(5V/2A)		KEY PAD	8	0.011	8.712E-02	
			BUZZER (CMT-1203-SMT-TR,CUI)	1	0.025	2.500E-02	
			EANE2215X (5) To 12)0 EA OLEDM204-GGA, DISPLAY VISIONS	1	0.144	1.440E-01	
			D8.6A1.0125.M322.G222	1	1.200	1.200E+00	
		5V TOTAL CONSUMPTION POWER [W]					5.086E-01
	TPS561201DDCR,SOT6,TI	HV_DCD	CAG12P5,EMCO	1	1.000E+00	1.000E+00	
	(VARIABLE/1A)	(HV_DCDC TOTAL CONSUMPTION POWER [W]			1.000E+00	2.000E-01
41		S	YSTEM TOTAL CONSUMPTION POWER [W]			3.859	4.020E-01

그림 8, 시스템 소비전력

제 3 장 3 절 2 항 MCU 부

그림 9 은 MCU (Micro Control Unit) 부의 블록도를 나타내고 있다.

- SWD 통신은 개발용 통신이며 개발 중 Firmware 를 다운로드하거나 내부 변수를 모니터링 할 때 사용한다.
- RTC 코인 베터리에 의한 3V 전원 공급으로 전원이 꺼져서 날짜와 시간을 연속해서 카운팅 할 수 있다.
- BUZZER 와 각 종 LED 은 Output Port 로써 제어된다.
- I2C 통신에는 EEPROM, 보드 온도 센서, Key Pad, ADj SMPS 가변저항이 연결되어 있다. 각각의 Address 로 각각을 제어 할 수 있다.
- SPI 통신 1 은 24Bit ADC, PT100 Sensor IC, OLED 가 각 CS (Chip Selector) 로 연결 되어 있다. 그러므로, CS 로 각각 선택하여 제어할 수 있다.
- SPI 통신 2 는 Wire Sensor 와 단독으로 연결되어 빙하의 길이 데이터를 수신한다.
- UART 통신은 Isolated RS-232 IC 와 연결되어 외부 PC 와의 통신을 구현한다.



그림 10 는 MCU 부 회로도를 나타내고 있다. 베터리 전압 모니터링은 MCU 에 내장되어 있 는 12Bit ADC 를 활용하였다. 그리고 High Voltage DC/DC Converter 의 Control Pin 제어를 위한 DAC 도 MCU 내부 DAC 를 활용하였다. CR1220 의 Coin Battery 도 MCU 내부의 RTC 에 전원을 공급하게 되어 있다.



그림 10. MCU 부 회로도

제 3 장 3 절 3 항 빙하 전압, 전류 데이터 수신부

고전압을 발생시키기 위해서 High Voltage DC/DC Converter (A12P5, EMCO) 를 사용한다. 이 High Voltage DC/DC Converter 는 600kHz 로 스위칭하며 출력전압을 제어하며 최대 출력 은 0.83mA 이다.

500V/ 800V/ 1000V/ 1200V 의 고전압 모드가 있으며 500V/ 800V 는 2.41V 의 전원을 High Voltage DC/DC Converter 에 인가한 상태에서 Control Pin 의 전압을 제어하여 만들 수 있으며, 1000V/ 1200V 는 4.0V 의 전압을 인가한 상태에서 Control Pin 의 전압을 제어하면 만들 수 있다.

High Voltage DC/DC Converter 의 인가 전압은 ADJ SMPS 의 출력전압 피드백 가변저항 을 I2C 통신으로 제어하여 만들 수 있다. Control Pin 의 전압은 MCU 내부의 DAC 를 활용하 여 만들 수 있다. MCU 내부 DAC 의 최대값은 2.5V 이므로 이를 차동 증폭기로 스케일을 2 배로 증폭하여 5V 까지 Swing 할 수 있도록 하여 Control Pin 에 인가한다. 인가전원과 Control Pin 전압은 5V 레벨으므로 이를 차동 증폭기로 3V 레벨로 스케일 다운시켜 MCU 내 부 ADC 에 입력하여 모니터링 할 수 있도록 하였다.

High Voltage DC/DC Converter 의 출력전압을 Close-Loop Control 하기 위해서는 출력전 압을 적절히 Feedback 하여야 한다. 100MQ 과 68kQ 의 고압 정밀저항을 활용하여 저항분압 회로를 구성한 후 68kQ 저항 양단에 걸리는 전압을 Voltage follower 를 거쳐 24Bit ADC 에 입력한다. Voltage follower 를 사용하는 이유는 입력 임피던스가 무한대여서 측정대상에 접속 되어도 영향(누설전류)을 주지 않는다. 그리고 신호의 전류증폭을 통해 노이즈에 강인하게 만 들어 주는 장점이 있으며 Gain 은 1 이다. 위 내용을 수식으로 나타내면 아래와 식 (2) 과 같

그러므로, 1200V 에서 0.815V 가 피드백 된다. 24Bit ADC Converter 는 최대 1.2V 까지 입력 받을 수 있으므로 최대전압에서 ADC 입력범위를 충족한다. 그림 11 은 고전압 피드백 수신부를 나타내고 있다.



그림 11. 고전압 피드백 수신부

High Voltage DC/DC Converter 는 출력 단자를 통해 외부 빙하와 접속하여 빙하에 고전압 을 인가하고 이는 빙하의 내부저항과의 상관관계에 의해 미세전류가 되어 흐르게 된다. 이를 피드백하여 모니터링 함으로써 빙하의 전기전도도를 측정할 수 있게 되는 것이다. High Voltage DC/DC Converter 는 최대 0.83mA 를 출력할 수 있다. 그런데, 외부 출력 고전압 단

다.

자가 외부에서 서로 단락 될 경우 단락전류가 흘러 High Voltage DC/DC Converter 가 소손 될 수 있다. 그러므로 이를 방지하기 위해 출력단에 전류제한 저항을 Default 로 삽입한다. 그림 12 는 마이크로 암페어 전류 피드백 수신부를 나타내고 있다. 전류제한 저항 설정은 아래 식 (3) 와 같다. 외부 고전압 단자가 서로 접속되었을 경우라도 저 항 1MΩ, 499kΩ, 10kΩ 에 의해 795uA 의 전류로 전류가 제한되어 High Voltage DC/DC Converter 의 최대 출력 전류 830uA 를 넘지 않게 되므로 High Voltage DC/DC Converter 를

$$110uA \le \left(\frac{1200}{(1M+499k+10k)} = 795uA\right) \le 830uA_{------} (3)$$

보호할 수 있게 되는 것이다.

외부 고압 단자에 빙하가 접속되면 위의 전류제한 저항들과 직렬로 연결되게 된다. 그리고 고압이 인가되면 빙하를 관통하여 흐르는 전류는 아래 10kΩ 을 지나게 되는데 이 10kΩ 은 고 압 정밀저항으로 Shunt 저항으로써 Shunt 저항 양단에 흐르는 전류에 의해 생성된 전압의 크 기로 전류량을 알 수 있다. 검출 사양상 최대 60uA 일 때 Shunt 저항의 양단 전압은 1V가 된 다. 이는 비반전 증폭기를 거치게 되는데 Gain 은 2 이다. 비반전 증폭기는 입력임피던스가 무 한대이고 증폭률이 1이상으로 운영할 수 있고 신호의 전류증폭으로 노이즈에 강인하게 만드는 기능이 있다.



그림 12. 마이크로 암페어 전류 피드백 수신부

본 제품에서 24Bit ADC 의 입력수신 범위가 1.2V 이므로 Gain 은 2 로 설정하였다. 그러므로 최대전류 60uA 가 흐를 때 24Bit ADC 에는 1.2V 가 걸리게 되므로 요건을 충족하게 된다. 관련 수식은 아래 식 (4) 과 같다.

$$uA_{jb} = (10k\Omega \times 60uA) \times \left(1 + \frac{1k\Omega}{1k\Omega}\right) = 1.2V$$
(4)

그러므로, 빙하에 인가되는 전압과, 전류를 피드백하는 전체 회로는 아래 그림 13 과 같다. 24Bit ADC 는 ADS131M04IPWT,TI 를 활용하였다. 4ch ADC 를 동시 수신할 수 있는 IC 인데 빙하의 전압과 전류인 2ch 만 동시 수신하여 활용하였다. 측정 주기는 2msec 이고 EEPROM 저장주기는 메모리 용량을 고려하여 50msec 로 설정 하였다.



그림 13. 24Bit ADC 수신 전체 회로

제 3 장 3 절 4 항 빙하 길이 데이터 수신부

빙하의 전압과 전류를 측정할 때 빙하의 길이 위치도 같이 측정한다. 빙하의 길이 측정으로 는 Wire Sensor (D8.6A1.0125.M322.G222, Kubler) 를 활용하였다. 선정된 Wire Sensor 는 Single Turn 12Bit 와 Multi Turn 12Bit 로 총 24Bit Resolution 이다. 정밀도는 0.03mm 이다. 총 길이 1.25m에 정밀도 0.03mm 이므로 개발사양(1.25m, resol. 0.25mm) 을 만족한다. SSI 통 신 속도는 100kHz 로 설정하였다. 그림 14은 Wire Sensor 수신회로를 나타낸다. SSI 통신을 지원하므로 SPI 포트에 연결한다. Level Shifter IC 로 전압 레벨을 올리고 차동 드라이버를 거쳐 차동 신호로 연결된다. 그리고 각종 IO는 Transistor 를 활용하여 전압 레벨을 12V 레벨 로 변환하였다. 그림 15는 Wire Sensor (D8.6A1.0125.M322.G222, Kubler) 를 나타낸다.



그림 14. Wire Sensor 수신 회로



Figure 15. D8.6A1.0125.M322.G222

제 3 장 3 절 5 항 빙하 온도 데이터 수신부

빙하 온도를 측정하기 위해서는 PT100 RTD 센서를 활용한다. PT100 수신 전용 IC (MAX31865AAP+T,MAXIM) 를 활용하였다. SPI 통신으로 연결되며 내부에 정전류원 회로를 포함하고 있다. 그림 16 은 빙하 온도 수신 회로이고, 그림 17 은 외부에 장착되는 PT100 RTD 센서를 나타내고 있다. 스테인레스 판 (40 x 20mm) 이 있어 빙하 표면에 올려 놓고 측 정하기 편리하게 구성하였으며 상위면은 스티로폴로 감싸 상위면 위에 부는 바람에 의한 온도 오차를 줄이고자 하였다.



그림 17. PT100 (40 x 20)

PT100 은 섭씨 0°C에서 100 Ω을 가지며 온도가 점점 올라갈수록 저항값은 증가하여

629°C에서 322.86 Ω을 나타낸다. 온도가 영하로 내려가서 - 200°C가 되면 18.49 Ω을 나타 낸다. 이러한 특성에 따라 RTD 저항값 변화에 따른 온도변환 수식은 아래 (5),(6)과 같다.

 $R_{RTD}(t) = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100^{\circ}C)t^3] \quad (for \ t < 0^{\circ}C) \quad -----(5)$ $R_{RTD}(t) = R_0 [1 + At + Bt^2] \quad (for \ t \ge 0^{\circ}C) \quad -----(6)$

여기서,

t = RTD temperature[°C] R_{RTD(t)} = r = 온도에 따른 RTD 저항값 R₀ = 0°C 에서의 RTD 저항값 A = 3.9083 x 10^{-3°}C⁻¹ B = -5.775 x 10^{-7°}C⁻² C = -4.183 x 10^{-12°}C⁻⁴

0°C 를 포함하지 않는 영상의 온도에서는 아래 수식 (7),(8)로 온도변환을 수행한다.

$$(a 7) \lambda_{1}^{3}$$
,
 $Z_{1} = -A = -3.9083 \times 10^{-3}$
 $Z_{2} = A^{2} - 4 \times B = 17.58480889 \times 10^{-6}$
 $Z_{3} = (4 \times B)/R0 = -23.10 \times 10^{-9}$
 $Z_{4} = 2 \times B = -1.155 \times 10^{-6}$

0°C 를 포함하는 영하의 온도에서는 아래 수식 (9)로 온도변환을 수행한다.

$$T_{RTD}(r) = -242.02 + 2.2228 \times r + 2.5859 \times 10^{-3} \times r^{2}$$

-4.8260×10⁻⁶×r³ - 2.8183×10⁻⁸×r⁴ + 1.5243×10⁻¹⁰×r⁵ - - - - (9)

위 온도 변환 수식 관련 세부내용은 아래 싸이트를 참조한다.⁽¹⁾

제 3 장 3 절 6 항 키패드 수신부

키패드는 실외 영하의 온도에서 사용되는 만큼 낮은 온도에서 경화되기 쉬운 고무패드 재질은 제외하였다. 실외 극지의 영하온도, 외부 충격에 대한 강인성, 방수성 등을 종합고려하여 STORM 社의 1K12T103, 1K0411을 선정하였다. 키패스 수신 IC 로는 TI 社의 TCA8418를 적용하였다. 각 열에 전원을 순차적으로 인가하고 이때 각 행에 접속 유무를 센싱하여 이를 I2C 직렬통신으로 MCU 에 전달하는 구조이다. Key Pad 수신 회로는 아래 그림 18에 나타나 있다.



그림 18. Key Pad 수신회로

제 3 장 3 절 7 항 Display 회로부

빙하 전기 전도도 측정기에는 다양한 LED 가 장착되어 있다. 우선 빙하에 흐르는 전류의 크기를 직관적으로 관찰하기 위해 10개의 LED로 구성된 LED BAR 가 있다. 0~ 100uA 까지 각 10uA당 1개씩 순차적으로 점등하여 인가전압 레벨 설정에 도움을 줄 수 있도록 했다. 그리고 LED1 의 Status LED 가 적용 되었다. System 이 정상동작시 Green LED 가 점등되고 각종 Fault 나 System이 비정상적인 상황에 놓이게 되면 Red LED 가 점등된다. 이들 총 12 개의 LED 는 TI 社의 TLC6C5912 라는 Shift Registor 와 Latch를 이용한 Port 확장 IC를 사용하여 총 5개의 IO Port 로 12 개의 LED를 제어할 수 있도록 설계하였다. 그리고 D21 은 Blue LED 인데 탐침 단자에 고전압이 인가되면 Blue LED가 점등되어 시각적으로 확인 가능하게 하였으며 Blue LED 는 독립적인 IO Port 제어 된다. Test LED 2개는 개발 도중에 사용되는 LED 이나 향후 추가 기능을 위해 Spare 로 先배치하였다.



그림 20 는 각 LED 배치를 나타내고 있다.



그림 20. 각 LED 배치

각종 메뉴 상태와 메뉴 이동 및 각종 변수의 실시간 표현을 위해서 4x20 Line OLED 가

사용되었으며 -20°C에서 정상동작을 확인하였다. 메뉴 Display 및 하위 카테고리는 Software Part에서 상세히 설명하기로 한다. 아래 그림 21 은 OLED Display Module의 회로도를 나타내고 있다.



아래 그림 22는 OLED Display Module 의 배치를 나타내고 있다.

OLED Display Module



그림 22. OLED Display Module 배치

제 3 장 3 절 8 항 Buzzer 회로부

고전압이 운용중인 상태에서 탐침단자에 흐르는 전류가 60uA를 넘서서면 외부에서 Short 가 발생한 것으로 간주하여 Over Current Fault를 발생시키고 Buzzer를 울리게 하 였다. Buzzer 는 단일음으로 구성되어 있으며 위급상황시 Buzzer 음과 동시에 Status Red LED 가 발광하여 위험을 알리게 된다. 아래 그림 23 은 Buzzer 회로를 나타내고 있다.



제 3 장 3 절 9 항 RS-232 통신회로부

PC 와의 통신은 RS-232를 사용한다. 빙하 코어 전기 전도도 측정기에서 3.3V Level 의 TTL 신호로 Tx, Rx를 발생시키면 이 시그널은 Analog 社 의 ADM3251EARWZ을 통해 12V Level 의 RS-232 시그널로 변환되어 위부로 출력된다. 그러면, RS-232 To USB Cable 에 의해 USB 시그널로 변환되어 PC 에 입력되게 된다. 이 때 빙하 전기 전도도 측정기의 GND Level 과 PC의 GND의 전위가 동일하지 않으면 GND 끼리 접속시 대량의 전류가 순간적으로 흘러 PC 의 Motor Board를 손상시킬 수도 있다. 그러므로, 절연된 RS-232 회로를 구성하여 GND 의 전위차가 발생하더라도 내부 회로의 손상을 원천적으로 차단하게 하였다. 아래 그림 24는 절연된 RS-232 통신회로를 나타내고 있다.



그림 24. 절연된 RS-232 통신회로

아래 그림 25 는 Dsub-9 Pin Map을 나타내고 있다. RS-232, Charger, RTD 등의 시그널들이 사용시 아래 Pin Map 에 맞게 체결되어 사용된다.



그림 25. D-Sub 9 Pin Map

제 3 장 4 절 Firmware

제 3 장 4 절 1항 펌웨어 구조

본 PECM 펌웨어는 아래 그림 26. 과 같은 구조를 가진다. Infineon사의 XMC 시리즈 MCU를 사용하여 Infineon에서 제공하는 기본 XMC Library를 사용한다. 각 장치들과의 기능 연결을 위해서 SPI 및 I2C, UART 통신과 그밖의 Digital IO를 통해서 주변 장치들 을 제어한다. 기본적인 각각의 주변장치와의 통신 라이브러리를 바탕으로 필요한 각각의 기능들에 대한 함수를 작성하고, 통합적으로 제어하는 시스템 제어 함수를 작성한다. 그것 들을 바탕으로 메인 루틴과 인터럽트 서비스 루틴에서 PECM을 통합적으로 제어한다.



그림 26. Firmware Architecture



메인 루틴에서는 기본적으로 ADC, DIO, KEYPAD, WireSensor, EEPROM등을 초기화하는 과정과 반복 구문에서는 측정된 데이터를 저장하는 것 정도의 작업만 수행 한다. Keypad와 AD Converter는 기본적으로 DRDY(Digital IO가 Low로 내려가면 읽기 가능)을 가지므로 DRDY핀에 Pin Interrupt를 걸어놓고 DRDY가 Low로 내려갈 때만 작업을 수행 한다. 2ms의 타이머 서비스 루틴을 사용하여 2ms 간격으로 시스템의 주요 장치들을 제어 한다. 2ms 타이머 서비스 루틴에서는 빙하에 High Voltage를 인가하여 측정된 전압 및 전 류를 ADC 내부에서 읽어들인 상태에서, ADC DRDY핀이 Low로 내려가고, 2ms 루틴에서 는 그 측정된 값을 읽어들여 uA 및 V 단위로 환산하여 저장한다. Wire Sensor, System Temperature, HV Control, Keypad Control등을 순차적으로 2ms 타이머 루틴에서 실행한 다.

위의 것들 외에 따로 10ms 타이머 루틴을 사용하여 시리얼 통신이 연결될 경우 데이터 가 수신 되었는지 체크하고 내려온 명령어에 해당되는 함수들을 실행하여 그에 맞는 데이 터들을 다시 송신해준다.



그림 28. Interrupt Service Routine

주요 인터럽트 서비스 루틴은 그림 28. 과 같이 두 가지를 사용하는데, ADC와 Keypad는 DRDY핀을 사용하여 각각의 칩의 결과 데이터를 읽어들일 시기를 정해준다. ADC는 SPI 통신을 사용하고 Keypad는 I2C 통신을 사용하여 각각의 리소스가 달라서 같은 루틴에서 순차적으로 실행 해줄 필요가 없지만, ADC는 독자적인 SPI 통신을 사용하는 것이 아닌 Display 및 PT100 제어 칩과 같이 같은 SPI 리소스를 공유한다. Display와 Keypad가 서로 긴밀하게 동작을 번갈아 수행하여, 만약 ADC를 다른 루틴에 넣는 순간, ADC와 Display의 SPI 통신이 겹쳐 통신 오류가 발생한다. 따라서 위와 같은 이유로 ADC 및 Keypad는 같은 루틴에서 순차적으로 실행되어야 전체적으로 시스템 오류를 피할 수 있다.

만약 High Volatge를 아이스 코어에 인가하여 발생하는 현재 Voltage값과 Ampere값을 ADC로 변환하는 값을 내부 저장소에 저장하고 있고, 저장이 완료되면 내부 DRDY핀의 상 태를 High에서 Low로 바꾼다. ADC READY Interrupt Service Routine에서는 DRDY핀이 Low로 바뀌는 순간 실행되어 ADC를 읽기 금지 상태에서 읽기 가능 상태로 변경시킨다. 2ms 타이머 서비스 루틴에서는 ADC가 읽기 가능인 상태에서만 측정된 데이터를 읽어 들 여 환산한다.

KeyPad는 각각의 버튼을 누를 때마다 상태가 바뀌는데, 각각의 버튼이 누르고 있는 상 태와 누르고 가만있는 상태, 눌르고 있다 떼는 상태가 각각의 값이 다르게 읽히는데, 현재 시스템에서는 키패드를 누르는 순간의 값을 기준으로 키패드 입력을 감지한다. 각각의 키 패드 입력시의 사람 손으로 누르는 것이라 실행 주기가 빠르지 않아도 되지만, Display와 의 상호 동작 때문에 2ms 타이머 루틴에서 돌릴 필요가 있다.

제 3 장 4 절 3항 ECM State Machine



본 PECM은 그림 29.와 같은 System State Machine을 가지는데, State:NORMAL은 평 상시 구동 상태로 PT100 센서와 High Volatage Output을 차단하고 있고, 나머지 센서의 입력 및 키보드 입력만 받고 있는 상태이다. State: ICE TEMP은 Ice Temperature 센서를 온한 상태로 주요 메뉴에서 아이스 코어 온도 측정을 선택하면 이 상태로 바뀐다. 이 상태 에서도 High Voltage Output은 차단 되어 있다.

메인 메뉴에서 ECM 측정 메뉴를 선택하면 State : HV STANDBY 모드로 진입 하는데, 이 상태에서 측정된 데이터를 담을 파일의 이름 등을 선택한다. 일단 이 상태에서 측정 버 튼을 누르면 State: HV OP모드로 바뀐다. 이상태에서 High Voltage Output이 On이 되고 HV Control을 통해 전압을 안정화 시키는 루틴을 반복하면서 Input 전류를 측정한다. 측정 이 끝나고 완료 버튼을 누르면 State : HV SAVE 상태로 바뀌고 측정된 데이터를 장치의 EEPROM에 저장하는 과정을 거친다. 저장이 끝나면 State: HV END 상태로 변하고 각종 다른 변수를 Off 시키고 다시 State : NORMAL 상태로 돌아가게 된다. 각각의 State에서 각각의 이상상태를 2ms 타이머 루틴에서 계속 감시하고 Error가 발생 할 경우 State : FAULT로 바뀐다. Fault 상태에서는 비상 LED가 On이 됨과 동시에 부저 가 울리게 된다. 이상태에서 빠져 나올 방법은 전원 버튼을 껐다 켜는 방법외에는 존재하 지 않는다. 껐다 키면 메뉴상에 Fault List 메뉴가 존재해서 이전에 Fault가 났던 원인이 기록 되어 있다.



제 3 장 4 절 4 항 키패드 구성

키패드는 그림 30.과 같이 구성되어 있다. 각각의 키패드는 원래 각각 하나의 키값을 가지 고 있지만, 특정 상황에서 다른 킷값을 입력받을 수 있도록 구성했다.

위의 키 배열 구성은 기본적으로 예전부터 사용해 왔던 전통적인 키 배열을 사용하였다. 1 버튼은 기본적으로 숫자 1 이외에는 다른 기능이 없다. 그러나 다른 키는 특정 상황에서 연속해서 눌렀을 경우 숫자 아래에 적힌 알파벳을 입력 받을 수 있다. 가령 2번을 한번 누 르면 숫자 2로 인식하지만 제한된 시간 내에 다시 2를 누를 경우 알파벳 a, 다시 한번 2를 누를 경우 알파벳 b, 또 한 번 누를 경우 알파벳 c를 입력 받는다. 여기서 다시 2를 누르게 되면 숫자 2를 입력 받고 반복적으로 순환 되는 구조이다. 만약 다른 입력을 받는 순간 그 상태의 키 값을 저장하고 다음 입력으로 넘어간다. 만약 일정 시간이 초과 되면 자동으로 커서가 넘어가서 현재값이 저장된다. 위의 상황은 측정된 데이터의 파일이름을 지정할 때 만 동작하고, 그 이외에는 하나의 키 값만을 사용한다. 일반적인 상태에서의 입력은 1,2,3,4,5,6,7,8,9,0과 Star버튼은 Enter 값을 Sharp버튼은 Cancel 값을 가진다.

제 3 장 4 절 5 항 디스플레이 메뉴 구성

메뉴는 다음과 같은 키를 기본 설정으로 한다.

★ : 들어가기 및 확인 ← : 뒤로 가기 or 취소 ↑ : 위로 가기 ↓ : 아래로 가기 # : 메인 메뉴

ENTER MENU	*
2019/12/11 11:13:55 14.8V ,-10°C HV : 1200V	

장치 전원 버튼을 켰을 경우 초기화면은 그림 31과 같이 구성된다. 첫 번째 줄은 날짜 및 시간을 나타낸다. RTC(Real Time Clock)을 사용하여 사용자가 날짜와 시간을 변경할 수 있고, 전원을 꺼도 내부적으로 계속 시간을 측정하고 있기 때문에 한번 셋팅할 경우 다시 변경할 필요가 없다.

두 번째 줄의 첫 번째 항목은 시스템 전원의 전압 상태를 표시 한다. 이 전압 상태를 보고 배터리를 충전 해야 할지 알 수 있다. 두 번째 항목은 시스템의 온도로서 본 PECM은 영 하 20도까지의 동작을 보장한다.

세 번째 줄은 현재 시스템에서 기본적으로 셋팅되어 있는 High Voltage 셋팅을 나타낸다. 이 상태에서 들어가기(★) 버튼을 클릭하면 메인 메뉴 화면으로 들어간다.

 ► MAIN MENU 4.FA 1.MEASURE ICE TEMP 2.ECM RUN 3.CLEAR MEMORY ↑↓ 	AULT LIST SERIAL COM CONTROL SYSTEM SETTING ↑↓
--	---

그림 32. 메인 메뉴 화면

그림 32.은 메인 메뉴 화면으로 진입시 항목을 나타낸다. 각 항목은 다음과 같다.

- 1) 아이스 코어 온도 측정
- 2) ECM 측정
- 3) 메모리 클리어
- 4) Fault List
- 5) 시리얼 통신 모드
- 6) 시스템 셋팅

► ICE CORE TEMP. : CONNECT PT100 1. RUN	#	► ICE CORE TEMP. RUNING 1.13 °C	←★	► ICE CORE TEMP. MEASURE. COMPLETE AVG : 1.13 °C	#
				► ICE CORE TEMP. MEASURE FAIL CHECK FAULT LIST	#
	그림	님 33. 아이스 코어 :	옥도 측정 화면	구성	

그림 33.는 아이스 코어 온도 측정를 선택할 경우의 화면 구성을 보여준다. 우선 PECM에 PT100센서를 연결하고 메인 메뉴에서 1번을 선택시 그림 32.의 첫 번째 화면이 나타난다. 여기서 1을 누를 경우 측정을 시작하고, 온도를 측정 및 표시해준다. 온도가 포화되서 안정 화 될 때까지 계속 측정하고 포화 될 시에 확인(★) 버튼을 누르면 세 번째 화면이 나타나 고 최종 측정된 온도를 표시해준다. 만약 센서 이상 등으로 측정이 불가시 에러 화면이 나타 나게 된다.

► ECM RUN FILE NAME [20 CHAR] : ★ #	► ECM RUN DATA COLLECTION : 1. RUN ← #	► ECM RUN RUNING 1210.10 V 1.5 uA ←★	► ECM RUN SAVING DATA #
	► ECM RUN SUCCESS #	► ECM RUN FAIL CHECK FAULT LIST	#
	그림 34. ECM 측정	화면 구성	

그림 34.는 ECM 측정을 선택할 경우의 화면 구성이다. 우선 측정 준비를 마치고 메인 메

뉴에서 2번을 선택시에 위의 화면으로 진입한다. 처음 화면은 저장할 데이터의 이름을 지 정하는 화면으로 1~0a~z까지의 문자로 최대 20자리의 파일 이름을 지정할 수 있다. 이름 지정 후 확인(★) 버튼을 누르면 측정 준비 화면으로 넘어가고 여기서 측정을 시작할 경우 1 을 누르면 측정을 시작한다. 측정을 시작하면 현재 인가 되고 있는 High Voltage의 전압 변화 와 전압을 인가한 아이스 코어로 부터의 미세 전류를 실시간으로 화면에 보여준다. 측정이 완 료 되면 확인(★) 버튼을 누르고 측정을 종료한다. 이상이 없을시 데이터를 저장하는 화면으 로 넘어가고 성공 종료 화면으로 넘어간다. 만약 이상시 에러 메시지를 나타낸다.



FAULT LIST	
1. OVER VOLTATGE	
2. OVER CURRENT	
3. LOW TEMP.	↑↓#

그림 36. Fault List 화면 구성

그림 36.은 시스템 에러시 각종 에러 원인을 저장하고 그것을 EEPROM에 저장하였다가. Fault List 메뉴 호출시 발생했던 오류를 알려 준다.

 SERIAL COM CONTROL START 	► SERIAL COM CONTROL CONNECTING	 SERIAL COM CONTROL CONNECTED 	
#	#		#

그림 37. 시리얼 통신 화면 구성

그림 37.은 RS232통신을 사용하여 PC상의 모니터링 프로그램과 연동 시에 사용하는 메뉴 이다. 시리얼 통신을 사용하기 위해서는 위의 메뉴를 선택하고 1번을 누른다.

PC상의 모니터링 프로그램에서 연결 버튼을 누르고 연결 성공 시 마지막 화면이 표시된다.

SYSTEM SETTING 1. HIGH VOLT. SET 2. DAY TIME SET 3. VERSION INFO. #	_	 ► HIGH VOLTAGE SET : 1. 500V 2. 800V 3. 1000V 4. 1200V 	← #				
		 DAY TIME SET DAY SET TIME SET 	← #	► DAY TIME SET YEAR :	←★#	► DAY TIME SET MONTH :	←★ #
				► DAY TIME SET DAY :	←★#	DAY TIME SET	←★#
				► DAY TIME SET MINUTE :	←★#	► DAY TIME SET SECOND :	←★#
		► VERSION INFO. Ver. 1.0	← #	_			
		그림 38.	시스템	설정 화면 구성			

그림 38.은 시스템 설정 화면 구성을 나타낸다. 1번은 High Votage 설정 2번은 시간날짜 설정, 3번은 펌웨어 버전을 표시한다.

1번 High Voltage 설정시 여기서 설정 변경시 그림 31.의 초기화면의 HV 설정도 같이 변 경 된다.





그림 39. 모니터링 화면 구성

PC 모니터링 프로그램 그림 39.와 같이 구성 되어 있다.

CONNECT	
	CONNECT

그림 40. 시리얼 통신 및 연결 버튼

그림 40.은 PECM 장치와 시리얼 케이블로 연결하여 제어하는 메뉴로서, Setup버튼을 누를 경우 그림 41.과 같은 화면이 나타난다.

ON COMPICUP	ATION		OBTIONS	
DKT CONTIGOR	ALL MALE	10	OPHONS .	ок
Port			Append nothing	
Baud Rate 11520 Data Bits 8	115200		Append CR	CANCEL
	8		O Append CR-LF	
Parity	None	•		
Stop Bits	One			

그림 41. 통신 설정

Port는 시리얼 케이블 연결시 컴퓨터에서 알아서 셋팅하는 값이기 때문에 장치관리자에 할당된 포트를 선택한다. BaudRate는 115200, Data Bits는 8, Parity : None, Stop Bits 1bit로 설정하고 Options 항목은 Append CR-LF를 선택하면 된다. OK 버튼을 누르면 다시 메인 화면으로 돌아가게 되고, CONNECT 버튼을 누르면 그림 39.의 통신 상태 표시 창에 연결 상태가 표시 된다.

연결 후 시스템 체크 버튼을 누르면 현재 PECM 장치의 전압과 시스템 온도를 실시간으로 볼 수 있다.

그후 High Voltage 설정에서 원하는 출력 전압을 선택한 후 오른편 통신 커맨드 및 상태 표시창에 원하는 셋팅값이 설정 된 것을 확인 후, START 버튼을 누르면 측정을 시작한 다. 측정된 그래프는 맨 아래 그래프 창에 실시간으로 표시 되며, 데이터는 2ms 간격으로 값을 받아 올 수 있다. 측정된 데이터는 SAVE FILE 버튼을 사용하여 저장할 수 있다. 만약 기존에 측정된 데이터 파일이 존재 할 경우, OPEN DATA 버튼을 눌러 원하는 데이 터 파일을 불러올 수 있고, 그 결과는 아래 그래프 창에 나타나게 된다.

제 3 장 6 절 기구

제 3 장 6 절 1 항 기구 디자인



PECM 장치의 전체 기구 디자인은 그림 42. 과 같이 디자인 되어 있다. 크게 PECM 장치 본체와 빙하를 고정하고 측정할 수 있는 레일이 있는 지지기구로 나뉠 수 있다.



그림 43. PECM 본체 디자인 (Top, Bottom)

그림 43.은 PECM 본체의 기구 디자인을 보여주고 있다. 각종 정보를 표시하는 디스플레이 부와 키입력을 할수 있는 키패드, 길이 측정을 위한 와이어센서, 빙하의 전류를 측정하기 위한 탐침부로 나뉠 수 있다.



그림 44. PECM 본체 디자인 (Side)

그림 44.는 본체의 상단 부분을 보여주는데, 시리얼 통신 및 PT100 센서, 충전선을 연결하 는 시리얼 포트와 전원 스위치가 존재한다.

제 3 장 6 절 2 항 기구 디자인 특장점



그림 45. 안전을 위한 힌지 구조

PECM 본체의 탐침은 아이스코어에 높은 전압을 인가할수 있으므로 안전에 유의해야 한다. 따라서 사용자의 안전을 고려하기 위해서 사용하지 않을 시에는 탐침을 안쪽에 놓여 있고, 사용시에는 그림 45. 와 같이 힌지 구조로 손잡이를 장착하여 아이스코어로 사용자가 내려서 측정 가능하다.



그림 46. 빙하 고정 장치 및 와이어 고정 고리

그림 46.에서 보는것과 같이 하단 빙하 고정 지지대에는 빙하의 위치를 고정할수 있는 빙 하 스토퍼와 와이어센서 측정을 위해 사용하는 고정 고리가 존재한다. 사용자는 빙하 길이에 따른 스토퍼 위치를 조정하여 사용할 수 있다.

PECM 본체는 방수 등급 IP65을 만족하도록 상판 및 하판 연결 부위에 고무 실링 및 하판 배터리 커버 부분과 상판 디스플레이 부분에 모두 고무실링으로 처리하여 IP65등급을 만족 시키는 디자인을 하였다.

제 3 장 6 절 3 항 실제 기구 형상



그림 47. 완성된 기구 전체 모습 (측면)



그림 48. 완성된 기구 전체 모습 (등각도)

그림 47.,48.은 완성된 기구의 전체 모습을 보여준다.



그림 49. PECM 본체



그림 50. 힌지 구조 실제 동작 모습

그림 50.에서 평소에는 탐침이 안쪽에 들어가 있다가 손잡이를 연결후 사용자가 임의로 조 절하여 탐침의 높낮이를 조절 할 수 있다.



그림 51. 힌지 구조 실제 동작 모습

극지연구소

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

본 연구개발에서 빙하의 저항을 모사하기 위해 Resistor Test Bed Board를 만들고 고전 압 정밀저항을 직병렬로 연결하여 다양한 저항값을 설정할 수 있게 하였다. 아래 그림 52 는 빙하 코어 저항 테스트 베드 전자도면이 나타나 있다.



그림 52. Ice Core Resistor Test Bed 전자도면

그림 53 은 빙하 코어 저항 테스트 베드의 사진이 나타나 있다.



그림 53. Ice Core Resistor Test Bed 보드

아래 표 2 는 저항 직병렬 점퍼 설정별 설정 저항값이 나타나 있다.

	500V	800V	1000V	1200V	Sub Total
0uA	open	open	open	open	
20uA	25Mohm	40Mohm	50Mohm	60Mohm	
	10M = 2EA (S) 10M = 2EA (P)	10M = 4EA (S)	10M = 5EA (S)	10M = 6EA (S)	
Jumper Setting	J11,J4,J5,J13,J14,J15,J1 6	J11,J4,J1 <mark>3</mark> ,J6,J7,J8,J10	J1 <mark>1</mark> ,J4,J13,J6,J15,J16	J11,J4,J13,J6,J15,J8,J10	
40uA	12.5Mohm	20Mohm	25Mohm	30Mohm	
	10M = 1EA (S) 10M = 4EA (P)	10M = 2EA (S)	10M = 2EA (S) 10M = 2EA (P)	10M = 3EA (S)	
Jumper Setting	J11,J12,J4,J13,J5,J14,J6, J7,J8,J10	J11,J4,J5 <mark>,</mark> J6,J7,J8,J10	J11,J4,J5,J6,J13,J14, J15,J16	J11,J4,J13,J14,J15,J16	
60uA	8.33Mohm	13.33Mohm	16.67Mohm	20Mohm	
	10M = 3EA (P) 10M = 2EA (P)	10M = 3EA (P) 10M = 1EA (S)	10M = 6EA (3P+3P) 10M = 1EA (S)	10M = 2EA (S)	
Jumper Setting	J9,J11,J12,J5,J13,J6,J14, J7,J8,J16	J9,J11,J12,J13,J6,J7, J14,J15,J8	J11,J12,J3,J4,J13,J6, J7,J14,J15,J8	J11, J4, J5, J6, J7, J8, J10	
Total					10M = 7EA

표 2. 빙하 저항 테스트 베드 저항 설정 테이블

위 저항 테이블이외에 브레드 보드 등을 추가로 이용하여 20 ~ 2000 MQ 까지 10MQ 씩 증가시키면서 인가전압 1000V 에 대해 부하저항에 흐르는 전류를 계산하고 측정하여 계산 치와 측정치간의 오차율을 구하고 이를 Fitting 함수를 이용하여 측정치가 계산치에 근접 할 수 있도록 재설정 하였다. 우선 Auto Calibration 기능이 동작하여 자동 영점 조절을 한 후 측정 전류는 Digital Lowpass Filter를 거쳐서 노이즈 성분을 제거한 후 Fitting 함수를 거쳐 최종 결과값으로 Display 되게 된다.

Digital Lowpass Filter 는 RC 로 이루어진 Lowpass Filter 회로를 전류의 흐름에 따른 차분방정식으로 유도하고 이를 라플라스 S 변환하고 이를 Tustin Method를 이용하여 Z 변환하고 이를 Discrete Time 영역으로 변환하여 이 수식(10) 을 C code 로 구현한다. 그러므로 Digital Lowpass Filter Code 는 아래와 같다.

$$y[t] = -a_{1}y[t-T] + b_{0}x[t] + b_{1}x[t-T] - ----(10)$$

$$\left(x[t-T] = z^{-1}X[t]\right)$$

$$\left(a_{1} = \frac{-2 + \omega_{c}T}{2 + \omega_{c}T}, \ b_{0} = \frac{\omega_{c}T}{2 + \omega_{c}T}, \ b_{1} = \frac{\omega_{c}T}{2 + \omega_{c}T}\right) \qquad \qquad \omega_{a} : \text{Analog frequency}$$

$$\omega_{d} : \text{Digital frequency}$$

$$\omega_{a} = \frac{2}{T} \tan\left(\frac{\omega_{d}T}{2}\right) \rightarrow \Pr e - Warping effect$$

Digital Lowpass Filter Code를 이용하여 차단 주파수 16Mhz 로 설정시 아래와 같은 노 이즈 차단효과를 나타낸다. ADC_MicroAmpere (파란색) 값은 Lowpass Filter 입력값을 나 타내고, ADC_LF_MicroAmpere (빨간색) 는 Lowpass Filter를 거쳐서 필터링 된 값을 나 타낸다.

샘플링 주기 2msec에서 x축은 200count/div 에 y축은 2uA/div를 나타내고 있다. 그러므로 응답속도는 1msec 내에 정상상태로 도달하며 노이즈 진폭에 대한 Peak to Peak 는 0.8uA 에서 0.1uA 로 줄어들었음을 알 수 있다.



그림 54. 실측정치와 Lowpass Filter 결과 비교

적용된 Fitting 함수는 저항 테스트 배드에 구성된 저항 (20M ~ 2000M)에 의해 측정되어 야 하는 전류값은 계산이 가능하므로 그 값들을 기준으로 ADC의 Raw 값들을 측정하고 계산값을 기준으로 5차 Fitting 함수를 구하였다.

$$\begin{aligned} x &= ADC Raw 데이터 & -----(11) \\ y &= 계산된 전류값 (Idear Value) \\ a_b &= Coefficient \\ \end{aligned}$$
$$y &= a_1 x^5 + a_2 x^4 + a_3 x^3 + a_4 x^2 + a_5 x^1 + a_6 \end{aligned}$$

식(11)은 5차로 구성된 Fitting 함수이다 우변의 계수값들을 구하기 위해서 다음과 같이 행 렬로 구성 할 수 있다.

$$y = [n \times 1] \quad (n : Fi) \cap Fi \not i \uparrow) \quad -----(12)$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}}_{Y} = \underbrace{\begin{bmatrix} x_1^5 \cdots 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_n^5 \cdots & 1 \end{bmatrix}}_{M} \underbrace{\begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_6 \end{bmatrix}}_{A}$$

식(12)을 계산하기 위해서 행렬 M의 역행렬 값을 구해야 한다. 그러나 정방행렬이 아니기 때문에 Pseudo-Inverse 방식을 사용해 역행렬을 구한다. 우리가 원하는 값은 행렬 A를 구하는것이므로 다음과 같이 계산된다.

$$A = M^+ Y$$
(13)

식(13)에 의해서 본 시스템에서 사용된 최종값은 다음과 같다. 계측된 값의 구간별 불규칙을 구분하여 0 ~8uA 구간과 8uA에서 60uA 의 두 구간의 두 개 의 Fitting 함수를 적용하였다.

표 3. 구간별 Fitting 함수 계수

전류	0 ~ 8uA	8uA ~ 60uA
al	-7.32E-05	6.20E-08
a2	0.0064702	-6.15E-06
a3	-0.097079	0.00016104
a4	0.50462	-0.0016019
a5	-0.18434	0.9716
a6	0.68373	-1.6312

위 기술을 적용한 결과 실측정시 최대오차율은 37.04% 이었으나 Fitting 함수를 적용시킨

결과 최대오차율이 2.719% 로 34.321% 의 개선을 보였다.

아래 표 4 와 그림 55 는 각 저항별로 계산치, 측정치, 계산치-측정치 間 오차율, Fitting 결과값, 계산치-Fitting 오차율을 나타내고 있다. 측정결과 본 제품의 전류측정 정밀도는 ±3% 이내 임을 알 수 있다.

Ŧ	4.	설정	저항별	측정	전류	및	Fitting	결과
---	----	----	-----	----	----	---	---------	----

Output V [V]	ice Core R [MQ]	계산치 [uA]	PECM 측정치 [uA]	PECM 오차율 (%)	Fitting 추정 계산값 [uA]	Fitting 추정 오차 (%)	Fitting 측정값 [uA]	Fitting 측정 오차%)
	20	46.49216607	52.74	13.438466	46.492	-0.0003572	46.52	0.059868
	30	31.73696404	35.45	11.699405	31.731	-0.0187921	31.78	0.135602
	40	24.09116095	26.89	11.617701	24.124	0.1363116	24.18	0.368762
	50	19.41408298	21.81	12.341129	19.383	-0.1601053	19.42	0.030478
	60	16.25778341	18.49	13.730141	16.219	-0.2385529	16.26	0.013634
	70	13.98425373	16.14	15.415526	13.961	-0.1662851	13.99	0.041091
	80	12.26858384	14.43	17.617487	12.311	0.3457299	12.32	0.419088
	90	10.92788687	13.08	19.693772	11.007	0.7239563	11.02	0.842918
	100	9.851343231	11.93	21.100237	9.8959	0.45229131	9.92	0.696928
	110	8.967886	11	22.6599	8.9969	0.32353221	9	0.3581
	120	8.229843057	10.17	23.574653	8.1947	-0.42701977	8.19	-0.484129
	130	7.604042309	9.34	22.829405	7.3927	-2.77934157	7.38	-2.946358
	140	7.066688338	8.89	25.801501	6.9579	-1.53945289	6.96	-1.509736
	150	6.600267971	8.58	29.994722	6.6585	0.88226765	6.66	0.904994
	160	6.191605421	8.27	33.567943	6.3591	2.70518819	6.36	2.719724
	170	5.830597811	7.93	36.006637	5.8358	0.08922222	5.84	0.161256
	180	5.509368681	7.55	37.039295	5.5053	-0.07385023	5.51	0.011459
1	190	5,221686709	7.14	36,737426	52144	-0.13954704	5.23	0.159207
	200	4.962557504	6.7	35.01103	4.9535	-0.18251685	4.98	0.351482
	210	4,727931199	6.31	33,462179	4.7478	0.42024302	4.76	0.678284
	220	4.514489253	5.84	29.361256	4.5107	-0.08393537	4.55	0.786595
	230	4.319486499	5.48	26.866932	4.3249	0.12532741	4.36	0.937924
	240	4.14063244	5.16	24.618644	4.15	0.226235	4.17	0.709253
	250	3,976000859	4.86	22 233374	3.9741	-0.04780831	4	0.6036
	280	3.82396017	4.62	20.817158	3.8235	-0.01203385	3.85	0.680965
1000	270	3.68311916	4.41	19,735469	3.6837	0.01577033	3.7	0.45833
1000	280	3.552284296	4.21	18.515289	3.5435	-0.24728585	3.56	0.217204
	290	3.430425819	4.04	17.769636	3.4187	-0.34181817	3.43	-0.012413
	300	3.316650581	3.88	16.985492	3,2968	-0.59851288	3.32	0.100988
	310	3.210180123	3.75	16.815875	3.1945	-0.48844995	3.22	0.305898
	320	3.110332837	3.64	17.029276	3.1058	-0.14573478	3.11	-0.010701
	330	3.016509356	3.54	17.354186	3.0236	0.23506124	3.02	0.115718
	340	2.928180516	3.43	17.137587	2.9316	0.11677844	2.93	0.062137
	350	2.844877372	3.34	17.404006	2.855	0.3558195	2.85	0.180065
	360	2.766182861	3.25	17.490425	2.7774	0.40550966	2.77	0.137993
1	370	2.69172483	3.16	17_396844	2.699	0.2702791	2.7	0.30743
	380	2.621170143	3.07	17.123263	2.6196	-0.05990236	2.63	0.336867
	390	2.554219699	3	17.4527	2.5574	0.12451166	2.56	0.226304
	400	2.490604196	2.93	17.642137	2.4949	0.17248041	2.49	-0.024259
	410	2.430080509	2.87	18.103083	2.441	0.4493469	2.43	-0.003313
	420	2.372428584	2.81	18.444029	2.3868	0.60576812	2.37	-0.102367
	430	2.317448767	2.74	18.233466	2.3235	0.26111615	2.31	-0.321421
	440	2.264959491	2.69	18.765921	2.2782	0.58458038	2.26	-0.218966
	450	2.214795275	2.63	18.746867	2.2237	0.40205633	2.2	-0.66802
	460	2.166804981	2.57	18.607813	2.1691	0.10591719	2.14	-1.237074
	470	2.120850291	2.51	18.348759	2.1145	-0.29470686	2.1	-0.98311
	480	2.07680438	2.46	18.451214	2.0692	-0.36615772	2.05	-1.290655
	490	2.034550741	2.41	18.453669	2.0238	-0.52840858	2	-1.6982
	500	1.993982162	2.34	17.353106	1.9605	-1.67916055	1.96	-1.704236
	1000	0.998493274	1.15	15.173535	1.0026	0.41129234	1	0.1509
	2000	0	0		9) ()			



그림55. 1000[V] 인가시 저항 전류 계산치, 측정치, Fitting 치 비교

위 실험결과 정량적 목표 및 달성내역은 아래 표 5 와 같다.

표 5. 정량적 목표 및 달성내역

항목	과제 목표	개발 결과	달성 유무	비고
측정전류 범위	0 ~ 60uA	0 ~ 60uA	0	
측정 주기	6.25Hz (160msec)	20Hz (50msec)	0	
고전압 출력 정밀도	500V,1000V,1200V±10%	500V,800V,1000V,1200V ±3%	0	
미세 전류 측정 정밀도	0 ~ 60uA±25%	0 ~ 100uA ±3%	0	
빙하 길이 측정 정밀도	0.3mm	0.03mm	0	
연속 사용 시간	1 Hour	1 Day	0	
크기	제어기 : 200x150x100mm (엔코더, 빙하 거치대 미포함)	제어기 : 275x240x67mm 빙하 거치대 포함 : 1530x290x1600mm	х	- 실외용 방수 제품은 각 개별 부 품의 크기가 크고 무게가 무거움.
무게	제어기 : 1kg 이하 (엔코더, 빙하 거치대 미포함)	제어기:2.28kg Wire Sensor:420g 제어기+Wire Sensor + 빙하 거치대 : 10.45kg	x	· 경골도 영경 및 영어 고어의 선 기적 절연유지를 위해 빙하 거치 대를 포함하는 설계로 변경될 수 밖에 없었음.
IP 등급	54	65 (생활방수)	0	
사용환경	실내	실외	0	

본 개발품을 이용하여 실제 빙하 코어의 전기전도도를 측정하고 기존 캐나다 産 장비와 실험결과를 비교하면 아래와 같다.

그림 55 는 본 개발장비를 이용하여 실제 빙하는 측정하는 모습이다.



그림 55. 실제 빙하 측정 시험

그림 56 과 57 은 신규 개발 PECM 과 기존 ECM 의 빙하 측정 결과를 나타내고 있다. 빙하의 11, 36, 58 [cm] 위치에서 3uA 이상의 전류 봉우리가 측정됨을 알 수 있다. 빙하의 길이 측정 부품과 접촉 단자의 누름 정도의 차이로 완전히 동일한 데이터를 취득할 수는 없지만 거의 유사한 결과를 도출할 수 있음을 알 수 있다.



그림 56. 신규 개발 PECM 의 빙하 측정 결과



그림 57. 기존 ECM 의 빙하 측정 결과

본 연구개발의 정성적 연구성과로는 출력 고전압, 측정 미세 전류, 측정 길이 측면에서 기 준 목표를 능가하는 정밀도를 확보하였다. 그리고 실외환경에 대한 방수기능과 외부 충격 에 대한 강인성을 갖추고 있어 내구성이 우수하다. 그리고 2인 1조가 아닌 1인 단독이 연 구를 수행할 수 있는 구조이며 무엇보다도 전기 전도도 측정기와 온도 측정기 그리고 리튬 인산철 베터리 충전기를 통합한 통합 시스템으로 개발되어 사용의 편리성을 향상 시켰다. 과제 기획 초기 측정 중 측정 시료인 빙하의 절연 유지 문제를 간과하였으나 개발 도중 빙 하 절연 유지의 필요성을 인지하여 빙하 절연 유지를 위한 빙하 거치대를 포함하는 설계로 설계 변경을 하였고 이로 인해 부득이 크기와 무게 측면에서 과제 목표를 초과하게 되었으 나 측정 품질 유지를 위한 조치였다. 그리고, 기구 구조 관련하여 국내 특허 출원 1건이 진 행되었다.



제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구개발 결과물은 향후 대한민국 극지 연구에 빙하 전기 전도도 측정을 위해 활발하 게 사용되어 연구에 이바지 할 것이며 향후 다양한 극지에서 사용되는 연구장비 개발에 응 용할 수 있으며 제품화를 통해 외국 극지 연구소로의 수출도 모색할 수 있다.



제 6 장 참고문헌

(1) https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN709_0.pdf



