

저전력형 반영구적인 갈바니 전원장치 개발

배정호, 김대경, 하태현, 이현구, 최상봉, 정성환
한국전기연구소

The Development of the Low Power Consumption and Long Life Battery using a Galvanic Series

Jeong Hyo Bae, Dae Kyeong Kim, Tae Hyun Ha, Hyun Goo Lee,
Sang Bong Choi, Seong Hwan Jeong

Abstract - In general, analog tester or strip chart recorder have been used to measure the corrosion potential of structures such as gas pipelines, oil pipelines, hot water pipelines, power cables etc. Recently, automatic digital data logger substitutes for these manual equipment because using these manual equipments are tedious and time consuming. However, digital data logger also has a shortcoming, that is, short measuring time because of the short lifetime of batteries.

Therefore, we developed a long lifetime and low power loss battery taking advantage of galvanic series. In this paper, the results of development for power generator using two metals and DC/DC converter in order to obtain enough voltage for the operation of digital data logger. DC/DC converter operates with 0.5[V]. Its output voltage is 3.5[V] and output current is from 60[mAh] to 1,200[mAh].

Key Word : Low Power Loss Battery, Galvanic Series

1. 서론

일반적으로 금속 구조물들은 시간에 따라 여러 요인에 의해 필연적으로 부식을 하며, 이 부식은 경우에 따라 심각한 대형사고를 유발시킬 수 있다. 더우기 요즈음의 기간시설물들은 약 60년대에 건설된 것들이 대부분이므로 자연부식으로 인해 제 기능을 상실할 시점에 도달하였고, 또한 시설물의 주위 환경이 부식측면에서 더욱 가혹해졌다. 따라서 시설물 소유자들은 부식(腐蝕)으로부터 설비의 수명을 연장시키고 대형사고를 예방하기 위해 방식시설(防蝕施設)인 전기방식(Cathodic Protection) 설비를 시급히 갖추거나 기존 전기방식시설을 보강하고 있다.

최근에 발생한 한국가스공사의 서울 아현동 공급기지 폭발사고와 대구 및 서울 마포에서 발생한 도시가스 폭발사고, 울산-대구-경인을 연결하는 대형 송유관에서의 기름유출사고, 성수대교의 붕괴, 부천 가스충전소 폭발사고 등은 국가 기간시설물의 안전관리에 대한 중요성을 인식 시켜주는 좋은 계기가 되었다. 그러나 안전관리에 관한 목소리만 높을 뿐 특별한 대책이 없어 그냥 지나가는 것이 상례였다.

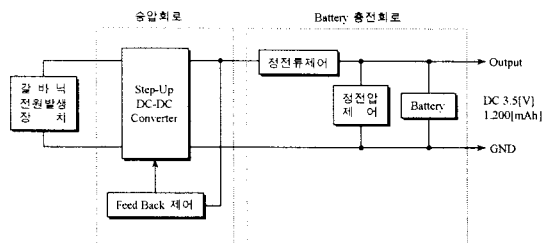
이하 금속 매설물을 소유하고 있는 시설물 소유자들은 부식으로부터 설비의 수명을 연장시키기 위해 여러 가지 방식시설(防蝕施設)을 갖추고 있으며 안정적으로 시설물을 유지하기 위해 정기적인 점검을 하고 있다. 기존의

유지 점검 방법은 범용 테스터를 사용하여 부식의 정도를 측정하는 수동적인 방법으로써 많은 인력과 시간이 소요되어 경제성이 떨어지고 측정의 신뢰성에도 문제가 있다. 이를 개선하기 위한 측정 단차함 인입형 부식 감시 장치가 개발되어 상용화되었지만 2차 배터리를 사용하므로 수명에 제한이 있어 3개월마다 배터리를 교체하여야 한다. 이로 인해 유지 및 점검이 쉽고 부식 감시장치를 수거 및 설치하는데 따른 인력과 배터리 교체가 없는 반영구적인 전원을 발생하는 장치를 개발하여 매설형 부식 감시 장치의 전원 장치로 사용할 필요가 발생하였다.

따라서 본 연구에서는 전기방식(電氣防蝕)분야에 사용되는 금속(Mg, Graphite, Al, Zn 등)이 가지고 있는 고유한 전위의 차이로부터 전원을 얻고 이 전원을 전력 변환 장치를 통하여 전압 레벨을 승압시킴으로써 부식감시시스템 뿐만 아니라 일반적으로 야외에서 사용되고 있는 저전력형 기자의 전원으로 사용할 수 있는 갈바니 계열을 이용한 반영구적인 저전력형 전원장치를 개발하고자 한다.

2. 시스템 구성

매설형 갈바니 전원 장치의 개략적인 구성도는 (그림 1)과 같이, 양극 및 음극의 전극을 구성하는 두 금속간 자연 전위의 상대적인 차이를 이용하여 전기에너지를 발생시키는 전원 발생부; 상기 전원 발생부에서 발생된 저전압 출력을 적정 전압으로 승압하고, 일정하게 출력하는 승압회로부; 및 상기 승압 출력되는 전압을, 피전원 공급장치(예를 들면 부식감시장치 등)의 동작여부에 따라 정전압 제어에 의해 배터리에 충전시키는 배터리 충전회로부를 포함하여 구성되어 있다.

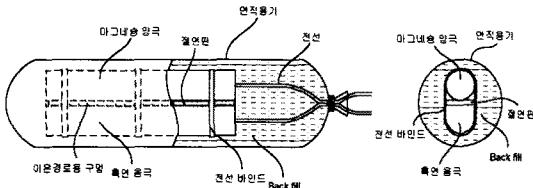


(그림 1) 매설형 갈바니 전원장치의 전체구성도

3. 전원 발생 장치

반영구적인 수명을 갖는 전원장치를 구현하기 위해서는 전원 발생장치의 양극 및 음극 두 전극에 최적의 재료를 선택해야 하는 것은 물론, 선택된 재료를 사용하여 실제 장치를 구현함에 있어서도 각 전극의 무게 및 전극간 거리 등 세부적인 구조 또한 최적의 조건으로 설정하여야 한다.

본 연구에서 제작된 갈바닉 계열을 이용한 지전력형 전원장치는 (그림 2)와 같이, 상호간의 자연 전위값에 대해 상대적인 차이를 갖고 있는 마그네슘(Mg) 양극 및 흑연(Graphite) 음극; 상기 마그네슘 양극 및 흑연 음극의 사이에 구비되어 상호 접촉면을 절연시키되, 각 양극간에 이온의 이동을 가능하게 하는 이온경로용 구멍이 다수개 형성된 절연판(insulation plate); 상기 마그네슘 양극과 상기 흑연 음극 및 상기 절연판을 그 외측에서 전체적으로 고정 지지하는 전선 바인드(cable tie); 상기 마그네슘 양극 및 흑연 음극 각각에 일단이 연결된 전선(cable); 및 상기 각 구성 요소들을 내부에 수납하되, 수납 후 나머지 공간에는 석고, 황산나트륨 및 벤토나이트 등으로 형성된 충진물(back fill)이 충전되는 면직용기(cotton bag)를 포함하여 구성되어 있다.



(그림 2) 전원 발생 장치의 구조

갈바닉(galvanic) 전원 발생장치란 양극 및 음극의 전극을 구성하는 두 금속간 자연 전위의 상대적인 차이를 이용하여 전기에너지를 발생시키는 장치로서, 최적의 장치를 개발하기 위해서는 갈바닉 컵홀 시험법 등을 통해 여러 금속과 분극 특성을 시험하여 최적의 양극 및 음극 재료를 선택하여야 한다. 그러나, 일반적으로 갈바닉 전원 발생장치에 있어서, 양극과 음극 사이에 흐르는 전류는 수 μ A에서 수 mA 단위에 불과하므로 측정 오차가 클 수 있으며, 무엇보다도 현장에 설치될 주변환경, 계절별 혹은 습도에 따른 토양비저항의 차이, 경년 변화에 따른 양극과 음극의 특성 변화 등을 실험실에서 모의적으로 수행한다는 것이 사실상 매우 어려운 상황이다.

따라서 본 연구에서는 실제 매설될 크기의 양극과 음극을 현장에 직접 매설하여 경년 변화에 따른 특성, 즉 양극과 음극의 자연 전위, 양단 개방 전압, 양단 단락 전류 등을 장기간(약 1년)에 걸쳐 측정·분석하였다.

(표 1) 실험용 전원발생장치 종류별 사양

종류	Mg 양극 무게(Lb)	흑연양극 크기(inch)	절연판 크기 ((inch)×(mm)×(mm))
0905	9	26	26×70×05
0930	9	26	26×70×30
0950	9	26	26×70×50
1405	14	41	41×70×05
1430	14	41	41×70×30
1450	14	41	41×70×50
1705	17	50	50×70×05
1730	17	50	50×70×30
1750	17	50	50×70×50

실험용으로 제작된 다양한 형태의 전원 발생 장치의 각 사양은 (표 1)과 같다. (표 1)의 종류 항목에 사용된 숫자 중 첫 번째 두 자리는 마그네슘 양극의 무게를 파운드(Lb) 단위로 나타내며, 두 번째 두 자리는 마그네슘 양극과 흑연 음극간의 거리를 mm 단위로 나타낸다. 예를 들어, 종류 "0905"의 경우 "09"는 마그네슘 양극의 무게가 9(Lb)라는 것을, "05"는 마그네슘 양극과 흑연 음극간의 거리가 5(mm)라는 것을 나타낸다.

전원 발생 장치를 상호 약 2미터의 이격 거리를 갖도록 임의의 장소에 약 2미터의 깊이로 매설하고, 매설된 각 전원 발생장치로부터 측정선을 인출한 후, 지면 위로 약 1미터 가량 돌출되도록 설치한 측정 단자함(Test Box)에 연결하여, 이 측정 단자함을 통해 약 1년 동안 46차에 걸쳐 각 양극의 자연 전위 변화, 양단의 개방회로 출력전압 및 단락회로 출력 전류를 측정하였다.

측정결과, (표 2)와 같이, 실험에 채택된 전원 발생부의 개방 회로 출력 전압은 몇 개의 예외적인 경우를 제외하고는 전반적으로 1,500(mV)를 상회하였으며, 양호한 흑연을 사용할 경우에는 출력 전압이 보다 더 커질 것으로 기대된다. 또한 마그네슘 양극의 무게 및 마그네슘 양극과 흑연 음극간의 절연 간극 거리에 대해 출력전압/출력전류가 비례하는 특성을 가지고 있지 않음을 알 수 있다.

따라서 반영구적인 전원발생장치의 정격은 아래와 같이 결정 되었다.

- 정격 출력 전압 : 0.5[V] 이상
- 정격 출력 전류 : 60[mAh]

(표 2) 전원발생부 현장시험 종합 결과표

	Mg [mV/CSE]			Graphite [mV/CSE]			Vmg-gr [mV]			I [mA]					
	최저	평균	최대	최저	평균	최대	최저	평균	최대	초기치		최종치			
										최저	평균	최저	평균	최저	평균
0905	-1620	-1595	-1362	-73	-19	+31	1544	1577	1619	124	16	24	74	100	145
0930	-1616	-1582	-1537	-66	-40	+5	1513	1545	1619	91	13	21	37	61	107
0950	-1650	-1621	-1520	-124	-77	-44	1493	1548	1580	19	22	26	113	121	136
1405	-1619	-1586	-1563	-156	-120	90	1439	1468	1498	16	21	28	51	65	97
1430	-1604	-1567	-1531	-250	-189	-143	1354	1380	1431	15	19	27	32	47	83
1450	-1622	-1588	-1558	-185	-68	266	1432	1659	1830	13	18	30	34	58	128
1705	-1544	-1521	-1493	-98	99	218	1439	1624	1748	12	17	25	40	59	105
1730	-1546	-1584	-1637	+35	631	-324	897	954	1032	67	9	15	33	44	98
1750	-1606	-1586	-1562	-179	-133	-56	1415	1456	1539	15	27	31	55	74	120

4. 전력 변환 장치

전력변환장치는 Boost 컨버터의 회로적인 해석과 모델링을 통해 기본적인 특성을 파악하고, ORCAD사의 시뮬레이션 툴인 Pspice을 통해 회로의 소자들 결정하고 그 결과를 바탕으로 Proto Type을 제작하여 실험실에서 성능을 보완하여 최종 완제품을 제작하였다.

Pspice 시뮬레이션에서 입력 전원은 갈바닉 전극이지만 DC 전원으로 가정하고, Boost 컨버터의 소자들은 Pspice 라이브러리에 속하여 있지 않으므로 본 과제에 적절한 소자를 모델링하여 사용하고, 또한 Boost 컨버터의 open loop 이득과 위상을 보상하기 위한 보상기를 OPamp를 이용하여 구성하고 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션은 Boost 컨버터의 입력 전압이 미소전압이기 때문에 Boost 컨버터의 회로에서 주파수가 높음으로 가장 손실을 많이 발생하는 스위치와 정류 다이오드의 선정과 Boost 컨버터의 선택된 구성 소자들의 적정 여부를 판단하는데 중점을 두었다.

Boost 컨버터의 설계를 위해서 시뮬레이션을 한 결과, 동작 사양은 (표 3)과 같고 이를 만족하는 소자들은 (표 4)와 같이 설계되었다.

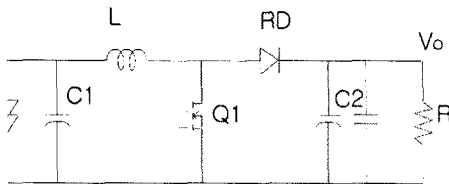
〈표 3〉 Boost 컨버터 사양

항 목	범 위	단 위
입력 전압	0.6 이상	V
출력 전압	3.65 ~ 4.0	V
출력 전류	0 ~ 10	mA
출력 전압 리플	0.036 (1%)	V

선택된 소자

	소 자	회 사
3FET(Q1)	IRLMS1902	IR
인덕터(L)	4.7 μ H	TDK
다이오드(RD)	MBR0520	MOTOROLA
캐패시터(C2)	10 μ F, 47 μ F	
캐패시터(C1)	47 μ F	
Control IC	TL5001	TI
버퍼	MC14049B	MOTOROLA

결과를 바탕으로 설계한 실제 회로도(그림 3)에서, 여기서 입력 캐패시터(C1)의 부가는 미소 입력의 안정화를 위한 것이며 전체 소자들은 하이브리드형으로 하기 위하여 SMD type으로 선택하였다.



(그림 3) Boost 컨버터 실제 회로도

과, 부하의 증가에 따른 입력 전압의 변화 과정. 부하의 증가에 따라 입력 전압이 증가함을 알다. 부하는 저항 부하로서 실험하였으며, 최대 6V/10mA일 때 입력 전압은 0.6V로서 충분함 있었다.

4)에서 입력 전압이 1.5V 이상이 되면 Boost 불연속 인덕터 전류 모드로서 동작됨을 알 수

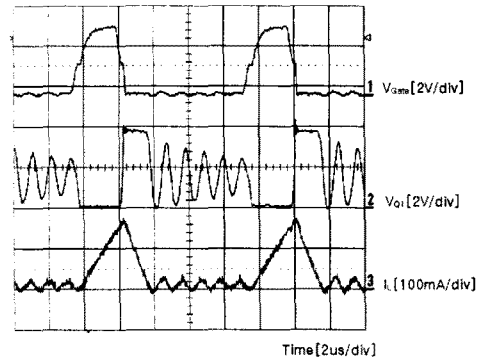
5)는 부하에 대한 효율 그림으로서 효율은 입력 1V에서 최고 80%정도이다. 그리고 입력 전압 질 때는 Boost 컨버터의 특성과 저전력 소자의 문에 효율이 낮아지는 것을 볼 수 있다.

6)은 실제 제작한 하이브리드 IC형 Boost 컨버터 SMD type의 소자를 선택함으로써 크기가 현

7)은 제작된 Boost 컨버터를 실제로 입력측의 전극에 연결해서 실험하기 위해 제작한 것으로 압을 조정하기 위한 가변저항과 배터리, 그리고 도로서 가변저항을 추가하였다.

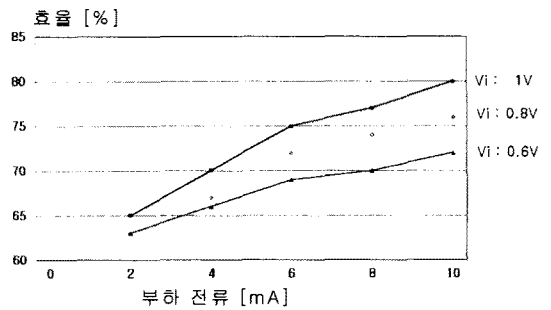
비용을 종합하면, 저전압 입력 저전력형 전력변정격은 아래와 같이 정리 된다.

- 입력 전압 : 0.5[V]
- 출력 전압 : 3.5[V]
- 출력 전류 : 60 [mAh]
- 출력 전류 : 1200[mA]



입력 전압 : 1.5V, 출력 전압/전류 : 3.6V/10mA

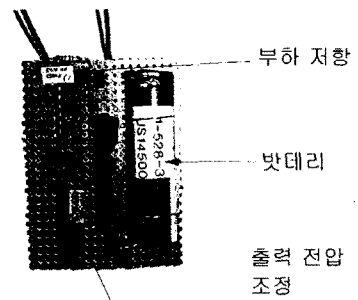
(그림 4) 부하의 증가에 따른 실험 결과 파형



(그림 5) 효율



(그림 6) 제작한 Boost 하이브리드 컨버터 실제 사진



(그림 7) 실제 실험 장치

5. 결론

반영구적인 전원 발생 장치는 전기방식(電氣防蝕) 분야에 사용되는 금속(Mg, Graphite, Al, Zn 등)이 가지고 있는 고유한 전위의 차이로부터 전원을 얻었으며, 전원 발생 장치는 실제 지하에 매설하여 실험하였다. 전원 발생 장치는 갈바닉 계열의 특성상 얻어지는 전위의

차이가 발생하나, 부하의 임피던스에 따라 전위의 특성이 크게 변하게 된다.

그리고, 발생된 전원으로부터 전압을 승압시키는 전력 변환 장치는 Boost 컨버터를 사용하였다. Boost 컨버터는 입력 전압이 미소 전압이기 때문에 Boost 컨버터의 소자에서 소비되는 power를 최소로 하기 위해서 Boost 컨버터의 해석과 모델링을 통해서 소자를 선택하였다. 또한, 선정된 소자로 Boost 컨버터를 구성하여 입력 전압을 0.295V에서 1.5V까지 가변하여 실험하였다. 또한, Boost 컨버터는 실제 지하에 묻힐 때의 공간을 감안하여 모든 소자를 SMD type으로 선정하여 하이브리드형으로 제작하였다. Boost 컨버터의 효율은 입력 전압 1V에서 최대 80% 정도를 얻었다.

6. 연구 개발 결과의 기대 효과

금속 매설물의 상시 부식진단과 이로 인한 설비의 안전과 수명을 예측할 수 있는 야외 매설형 무선 감시 시스템(RF-ID)의 필수 전원으로 사용함으로써 대형 사고에 의한 경제적인 손실을 미연에 방지하고, 전기방식 점검 인력을 감소시켜 효율적으로 지중 설비를 운용하고 기타 야외형 기자재의 전원으로 광범위하게 활용할 수 있다. 기대효과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 개발품은 현장에 상용 AC전원의 공급이 불가능한 일 반적인 저전력형 기자재의 전원으로 사용 가능
- ② 부식 감시 인력 등 경제적 손실 감소(약 1조 4,000 억원/년)
- ③ 관련기업의 원가절감으로 기업 이윤 증대
- ④ 상시 부식감시 가능으로 인한 설비 보수로 수명 연장
- ⑤ 대형폭발사고 예방(가스배관 폭발사고 예방)
- ⑥ 환경오염 예방(토양 및 지하수 오염방지)
- ⑦ 수출증대효과 및 중소기업의 기술 진흥
- ⑧ 관련산업의 국제경쟁력 강화

[참 고 문 헌]

- [1] A.W. Peabody, "Control of Pipeline Corrosion", NACE, 1967
- [2] C.A. Brebbia, "Topics in Boundary Element Research Vol. 7 Electrical Engineering Applications", Springer-Verlag, 1984
- [3] H.P. Hack, "Galvanic Corrosion Test Methods", NACE International, 1993
- [4] D.A. Jones, "Principles and Prevention of Corrosion", Prentice Hall, 1997
- [5] Application report designing with the TL5001 PWM controller, TI Literature number SLVA034A
- [6] Application report designing fast response synchronous Buck regulators using the TPS520, TI Literature number SLVA044
- [7] V. Vorperian, R. Tymerski, and F. C. Lee, "Equivalent circuit models for resonant and PWM switches," IEEE Transactions on power electronics, Vol. 4, No. 2, pp. 205-214, April 1989.
- [8] V. Vorperian, "Simplified analysis of PWM converters using the model of the PWM switch: Parts I and II," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-26, pp. 490-505, May 1990
- [9] E. van Dijk, et al., "PWM-Switch modeling of DC-DC converters," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 10, No. 6, pp. 659-665, November 1995.
- [10] R. D. Middlebrook and S. Cuk, "Low-Frequency characterization of switched DC-DC converter power stages," International Journal of

Electronics, Vol. 42, No. 6, pp. 521-550, June 1977.

- [11] E. Rogers, "Control loop modeling of switching power supplies," Proceedings of Eetimes Analog and mixed-signal applications conference, July 13-14, 1998. San Jose, CA.