

전식대책용 속도형 정류기

하태현 <한국전기연구원 전기동력학연구그룹>

1 서론

우리나라가 1970년대 이후 급격하게 경제발전이 이루어짐에 따라 대형화된 국가기간 시설물이 급증하고 있고, 특히 항만을 통한 수출입 물동량이 증가하고 있다. 그러나 이런 중요한 해양구조물(항만, 접안시설, 부두, 해상 다리, 해상 도로, 해저배관, 송유관, 탱크, 해양관련 구조물 등)에 대한 시설물의 관리 기준이나 진단법 등이 소홀히 취급됨에 따라 부식사고가 빈발하고 있으며, 이러한 부식으로 인한 직·간접적인 손실은 '97년 기준으로 연간 16조원에 이르고 있다.

현재 국내에서는 이러한 국가기간시설물의 부식을 방지하기 위한 전식대책용 정류기들이 전기방식업체에 널리 사용되고 있다.

본 글에서는 이러한 전식대책용 정류기의 현황에 대하여 개략적으로 기술하고자 한다.

2 전식대책용 정류기 현황

현재 국내 전기방식분야에서 방식대상물(가스배관, 송유관, 상하수도관, Tank, 열교환기, 복수기, 부두강관 파일, 기타 지하 및 수중 금속매설물 등)을 소유하고 이는 소유자는 방식대상물에 대한 부식방지를 위하여 전기방식을 적용하고 있다. 특히 도시가스

사업자는 의무적으로 방식대상물에 대한 전기방식설비를 갖추고 정기적인 방식점검활동 결과를 보고(산 업자원부 고시 제1993-44)하도록 되어 있다.

이러한 전기방식시설 중 별도의 전원을 필요로 하는 외부전원식 방법에 정류기가 설치된다. 현재 사용 중인 전기방식용 정류기는 탭 조정 또는 위상제어형 정류기를 사용하고 있으며, 이로 인하여 저 효율에 따른 전력의 낭비가 많고 크기가 크고 중량이 무거워 설치 및 운영에 어려움이 많다.

2.1 탭 조정형 정류기

탭 조정형 정류기는 그림 1과 같이 변압기와 정류기로 구성되어 간단하고 매우 견고하다. 출력전압의 조정은 '탭'이라는 변압기의 여러 개 독립권선을 선택하는 스위치를 사용하여 행한다.

변압기로부터 감소된 교류전압은 브리지 회로를 통해 전류가 정류되어 직류출력으로 변환된다. 변압기와 정류기로 구성된 장치로부터 나온 출력은 순수한 직류가 아니라 정류된 교류이므로 매우 낮은 전압에서도 감전의 위험이 있으므로 주의해야 한다.

일반적으로 양극 재질은 리플이 많은 전류를 흘릴 수록 손상이 크게 된다고 알려져 있다. 따라서 허용 리플의 양은 전기방식용 정류기의 중요한 특성이므로 사양에 명시를 하고 있다.

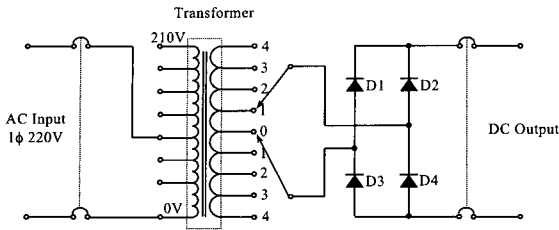


그림 1. 탭 조정형 정류기 회로도

2.2 위상제어형 정류기

현재 가장 일반적으로 사용되는 전기방식용 정류기는 위상을 제어하는 방식이며, 이러한 위상제어형 정류기는 전기방식 시스템에 공급하는 전류와 전압을 조정하기 위하여 피드백 제어가 가능하다. 또한 위상제어형 정류기에 일반적으로 사용되는 반도체 소자로는 SCR(Silicon Controlled Rectifier)이며 위상을 제어하는데 있어서 SCR은 스위치 역할을 한다. SCR이 정류기의 입력단자와 출력부하단자 사이에 삽입되어 부하에 공급되는 에너지량을 임의의 설정값으로 공급되도록 하며, 부하에 공급되는 에너지량은 SCR이 도통되는 시간에 비례하므로 SCR의 게이트 신호를 위상에 따라 변화시키면 부하에 공급되는 전력 또는 에너지량은 변화한다.

위상제어형 정류기는 그림 2와 같이 입력전원은 변압기를 거쳐 일정 전압으로 강압된 후 SCR과 Reactor를 통하여 직류출력으로 변환된다.

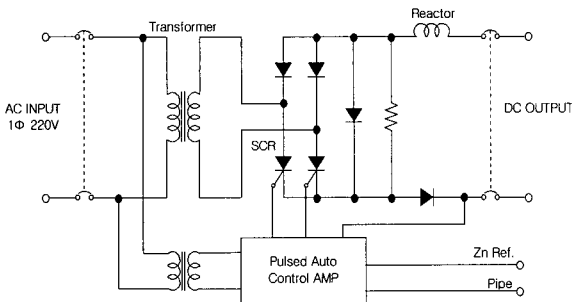


그림 2. 위상제어형 정류기 회로도

위상제어형 정류기가 가지는 중대한 결점으로써, 도통기간이 길 때 펄스는 깨끗하게 필터링 되어지지 만 도통기간이 짧을 때는 펄스가 깨끗하게 필터링 되어지지 않는다. 따라서 필터가 정상적으로 동작하면서 원하는 직류출력전압을 얻기 위해서는 입력전압이 높아야 되고, 한정된 제어범위를 가질 수밖에 없다. 결국 전압이 높아야 피드백 제어가 안정화되므로 이러한 위상제어형 정류기는 낮은 전류와 전압을 제어하는데는 적절하지 않다.

위상제어형 정류기의 장단점은 다음과 같다.

<장점>

- ① 수 백 [kW] 용량까지 제작이 가능하며 대용량에 유리하다.
- ② 일반적으로 널리 보급된 기술로 범용화되어 제작이 용이하다.

<단점>

- ① 외형이 커서 기기 설치공간이 많이 소요되며 중량이 무거워 취급 시 많은 인력과 장비가 소요되고 설치비용도 많이 든다.
- ② 대용량의 기기는 비교적 효율이 높으나 소용량에 맞는 기기는 효율이 낮다.
 - 단상 : 60[%] 이하
 - 삼상 : 75[%] 이하
- ③ 역률이 낮다.
 - 단상 : 90[%] 이하
 - 삼상 : 90[%] 이하
- ④ 소자 및 제어특성에 한계가 있어 정밀도가 낮다.
- ⑤ DC 출력 형태가 맥류에 가까워 양질화에 한계가 있다.
- ⑥ 주파수 및 소재에 한계가 있어 소형화가 불가능하다.
- ⑦ 발열과 저 효율로 인한 전력소모가 많다.
- ⑧ 기술개발에 한계가 있다.

2.3 속응형 정류기

지하철의 표유전류에 의한 전식대책으로써 강제배류법을 적용하는 것은 레일의 부식 및 타시설물에 간섭을 유발하고 또한 전식대책 효과도 미미하므로 적절하지 못하다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 향후 강제배류기를 철거하였을 경우에 대한 전식대책법으로서 기존의 방식용 정류기의 성능을 개선한 속응형 정류기를 개발하였다.

2.3.1 시스템 구성

정류기 시스템의 전체 구성은 그림 3에서 보이는 것처럼 구성되어 있다. 입력 3상 220[VAC]의 입력이며, 이 입력은 3상 강압 트랜스를 통해서 220[VAC]의 전압이 58[VAC]로 강압이 된다. 이렇게 강압된 전압은 AC/DC 정류부와 LC필터를 통해서 양방향 정류기의 DC 링크 전압을 만들어 주고 양방향 정류기에 의해서 출력이 생성되게 된다. 또한 이러한 일련의 동작을 위한 제어는 DSP 제어보드에 의해서 수행된다.

정류기 시스템의 동작 데이터는 전면 패널의 디스플레이에 의해서 표시 되고, 정류기 시스템의 제어에 필요한 입력은 패널의 키패드에 의해서 입력 받게 된다. 그리고 정류기 시스템의 동작과 모든 데이터들은 원격지에서도 통신을 통하여서 제어할 수 있게 구성 되어 있다.



그림 3. 정류기 시스템의 구성 블록도

표 1은 속응형 정류기의 사양을 나타낸 것이다.

표 1. 속응형 정류기의 사양

입력 전압	3상 220[VAC] ± 10[%]
출력 전압	60[V] ± 3[%]
출력 전류	40[A]
스위칭 주파수	15[kHz]
효율	85[%]
출력 맥동률	2[%]이내
기준전압 조정방식	자동 및 수동
통신	RS232

2.3.2 하드웨어 설계

정류기의 특성은 양방향의 출력 특성을 가져야하므로 전력회로 중 풀 브리지 타입을 선정하였다. 정류기의 스위칭 소자로서 게이트 구동과 냉각이 쉬운 IGBT(FM2G100US60)를 사용하였다. 인버터의 스위칭 주파수를 올리면 성능도 좋아지고, 소음도 적어진다. 여기서는 모든 상황을 고려하여 스위칭 주파수를 15[kHz]로 정하였다. 리액터의 설계는 출력전류에 의해서 피크전류를 정하고 전류리플 정격에 따라서 인덕턴스 값을 정하면 된다. 리플전류는 12.2[A] 정도이고, 스위칭 주파수가 15[kHz]인 경우의 인덕턴스 값은 다음 식에 의해서 정해진다.

$$L_o = \frac{V_{dc}I_2}{di/dt} = \frac{80/2}{12.2/22u} = 72uH \quad (1)$$

여기서, $dt=1/3[fs]$ 이다.

DC-link 커패시터는 입출력전류에 의해서 생기는 전압리플을 주어진 사양에 들도록 하기위하여 250[V]/1,000[uF] 커패시터 6개를 병렬로 연결하였다.

2.3.3 정류기 제어

정류기는 부하에 최종적으로 제어하고자 하는 기준 전위가 부하에 무관하게 일정하게 유지할 수 있어야 한다. 그러므로 정류기에서의 제어는 기준전위 지령치의 v_o^* 와 기준전위의 실제값 v_o 간의 오차를 PI제어하고, 그 결과가 정류기의 전류 지령치가 된다. 전류 지령치는 정류기의 출력전류간의 오차를 P제어하여 각각의 스위치의 PWM신호를 발생시킨다. 그림 4는 정류기의 제어 블록도를 나타낸다.

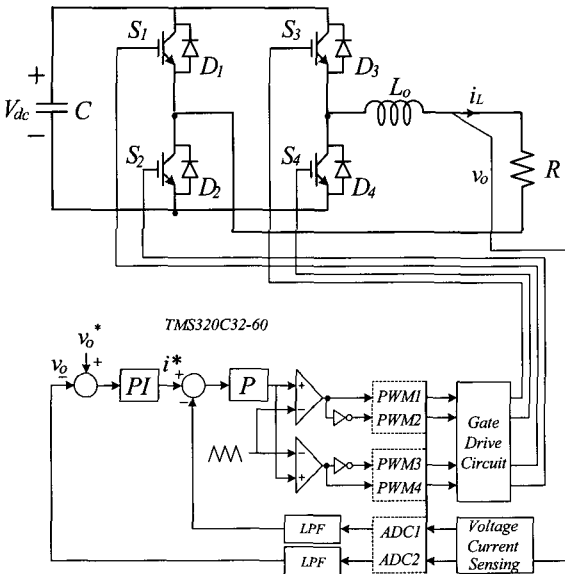


그림 4. 정류기의 제어 블록도

그림 5는 정류기의 부하전류가 20(A)일 때의 정류기 출력 파형으로서 구형파형이 출력전압이고 삼각파형이 출력전류 파형이다. 그림 6은 정류기 출력이 양방향일 때 방식전위와 전류 지령치에 따라 실제로 제어되는 정류기의 출력전류 파형을 보인다. 파형은 지령치와 실제 전류를 반대로 보이게 하였다. 실제 전류의 +방향이 평평한 부분은 전류 센서의 사양 (20(A))에 의하여 20(A)이상은 전류 파형이 보이지 않는다.

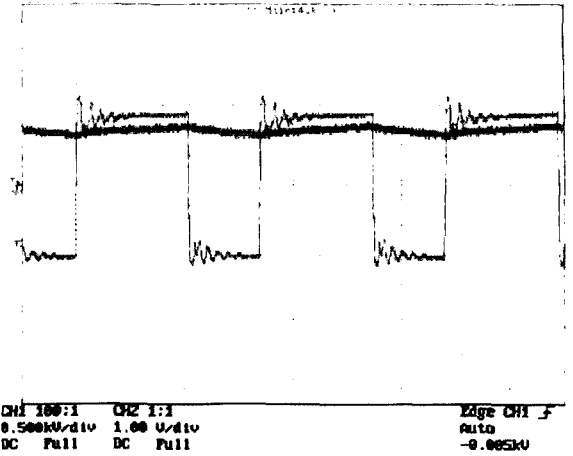


그림 5. 부하전류 20(A)일 때의 정류기 출력 전압, 전류 파형(50(V/div), 10(A/div), 20(us/div))

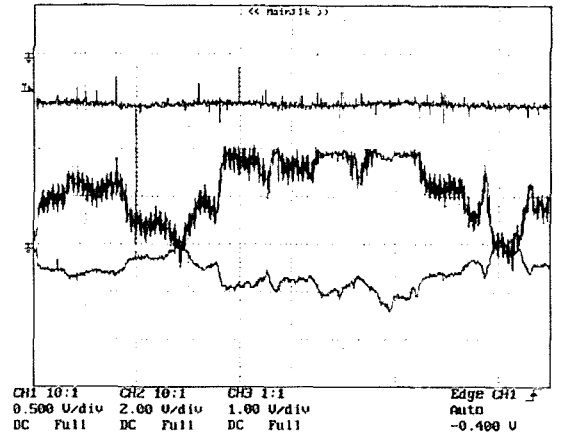


그림 6. 정류기 출력이 양방향일 때의 방식전위와 전류지령치, 출력전류 파형(1.0(V/div), 10A(/div), 5(s/div))

속응형 정류기의 특성을 파악하기 위하여 가스배관에 접속되어 있는 강제배류기를 전부 분리시키고 주변의 울타리를 임시 양극으로 사용하여 가스배관의 방식전위를 IR Free 기준전극(Cu/CuSO₄) 대비 -1.2(V)로 설정하여 속응형 정류기를 동작시켰을 때 가스배관의 전위는 그림 7과 같다.

참고문헌

- [1] “지중 POF 케이블 부식방지에 관한 연구” 한국전력공사 기술연구원, 1989.
- [2] “신판 전식, 토양부식해드복” 전식방지연구위원회, 1988.
- [3] “부식과 방식기술(기초과정)” 한국건설방식기술연구소.
- [4] John Morgan, “Cathodic Protection”, NACE, January 1993.
- [5] “제13회 부식 및 방식 강습회” 한국부식학회, 1994.
- [6] 중소기업청, “전기방식 최적제어장치 개발”, (주)삼공사, 1998.
- [7] 김기준, 문경민, 이명훈 등, “해양환경하 강구조물의 최적음극방식에 관한 연구”, 한국해양대학교 연구보고서, 1998.
- [8] 하태현 외 4명 “IR Free 전극을 이용한 전위측정에 관한 연구” 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, D권, pp. 2735-2737, 2003.

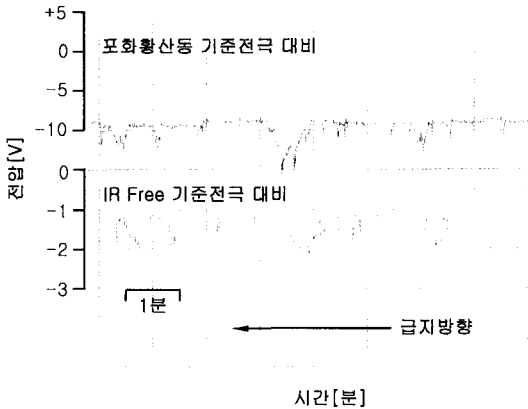


그림 7. 속응형 정류기의 전식대책 효과

IR Free 기준전극으로 측정된 가스배관의 전위를 보면 전압변동은 -2.2~-1.2[V]로써 속응형 정류기가 가스배관을 항상 방식상태로 유지하는 것을 알 수 있다. 여기서 가스배관의 전위가 -1.2[V] 이하로 떨어진다는 것은 가스배관을 통해 표유전류가 들어온다는 것을 의미하므로 이 부분은 코팅 결함부를 보강하면 해결된다.

3. 결 론

본 논문에서는 현재 사용되고 있는 각종 전식대책용 정류기에 대한 특성과 장단점을 비교하여 제시하였다.

그 결과 지하철주변의 지하매설배관에 대한 적식대책용 정류기는 속응형 정류기를 채택함이 적절하며, 현장의 실증실험을 통해 그 효과를 검증하였다.

향후 본 전식대책용 속응형 정류기에 대한 상용화 및 기술이전을 통해 관련업체에 보급하고자 한다.

◇ 저 자 소 개 ◇



하태현 (河泰玟)

1962년 12월 20일생. 1987년 동아대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재 한국해양대 대학원 기관시스템공학과 박사수료. 1989년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기동력학연구그룹 책임연구원.

E-mail : thha@keri.re.kr