

정수장 응집설비의 효율증대 방안연구

전복수* , 이은웅** , 임수생** , 최재영** , 김홍권***
대전광역시 수도사업본부* , 충남대** , 한국전력공사***

The Efficiency Improvement of Flocculation Facilities in Water Treatment Plants

Bok-Su Jeon* , Eun-Woong Lee** , Su-Saemg Lim** , Jae-Young Choi** , Hong-Kwon Kim
Taejon metropolitan city Waterworks Authority * , Chungnam Nat'l Univ.** , KEPCO***

Abstract -In the cleaning-water treatment process, the flocculation machine is operated by the V.S motor when the coagulation-facility of the coagulation-process is operated. But after the flocculation machine is stopped by an instantaneous power failure, the transient takes place when the coagulation facility is re-started. To improve the transient state, we developed the reinforcement-circuit which had the function of soft-start and adapted to the field. As a result of this study, we reduced the damage of facilities and had the safety in maintaining the quality of water and improved the efficiency in the maintenance and the management.

1. 서 론

정수장(water treatment plant)에서 원수(raw water)를 정수하여 안정적이며 편리하게 취할 수 있는 음용수(Drinking water)를 시민들에게 공급하기 위해서는 여러 단계의 정수처리 공정을 반드시 거쳐야 된다 [1][2][3]. 공정에서 가장 중요한 응집공정은 앞 공정인 급속혼화공정(rapid mixing process)에서 형성된 작은 Sweep Flocc들을 크고 무겁고 견고한 Floc으로 성장시키는 공정이다[4]. 수류 체내의 Sweep Floc을 성장시키는것은 수류 자체의 운동에너지만으로 Floc의 충분한 성장을 기대할 수 없다. 따라서 필연적으로 외부에서 수류 체내에 기계적 에너지를 인위적으로 투입해야 한다. 이 에너지는 미세한 Sweep Floc입자들간의 상호 충돌결합횟수를 증가시키고, 중력에 의한 자연침강이 가능한 최적의 Floc으로 성장시킨다. 성장된 Floc은 다음 공정한 침전공정에서 분리되어 양질의 수돗물을 생산하게 된다. 수류 체내에서 최적의 Floc을 효과적으로 성장시키기 위해서는, 기계적 에너지로 최적의 수류전단력을 수류 체내에 최종적으로 전달해야 한다. 이 작용은 VS전동기에 직결된 4개의 아암(arm)과 각각의 아암에서 4개의 패들(paddle)로 이루어진 응집기의 패들작동에 의해서 이루어진다. 이때, 수류 체내에 투입되는 최적의 기계적 에너지는 항상 일정하지 않고, 유입되는 원수의 수질이나 응집약품투입을 또는 수리적 부하 등에 따라 변화된다. 응집기에 직결된 VS전동기는 정지했다가 재 가동될 때 속도가 급상승하는 과도현상이 발생한다. 이러한 과도현상은 응집설비의 안전성을 저해하고 기 성장된 Floc을 파괴시켜 침전수의 수질을 악화시키는 등 저해 작용을 한다.

따라서, 본 연구에서 장치된 응집기를 재 기동할 때, 소프트기동 제어에 의해 응집기를 기동시켜 일정한 시간이 경과된 후에 이미 설정된 속도로 유지되도록 하였다. 이를 통해 수질을 악화시키는 것없이, 근무자가 현장을 순시하면서 응집기를 재 가동시킬 때의 인력손실을 보완하는 등 응집설비의 효율적인 운영관리에 역점을 두었다.

2. 가변속 응집기의 특성과 원리

2.1 가변속 응집기 개요

가변속 응집기는 유도 전동기와 와전류 전자커패를 결합하여 여자전류를 가감하는 전자식으로, 회전속도를 제어할 수 있는 VS전동기를 구동원으로 하고 있다. 구동설비는 구동용 3상 유도전동기, VS커패, 감속기, 변속기와 패들(회전교반날개) 및 패들축 등으로 구성되어 있다. 이 전동기는 전기적, 기계적 구조가 간단하고 다양한 제어능력을 가진 교류가변속 전동기로 냉각 방식에 따라 보호형인 공랭식과 밀폐형인 수냉식으로 분류된다. 본 정수장에서는 공랭식을 사용하고 있다.

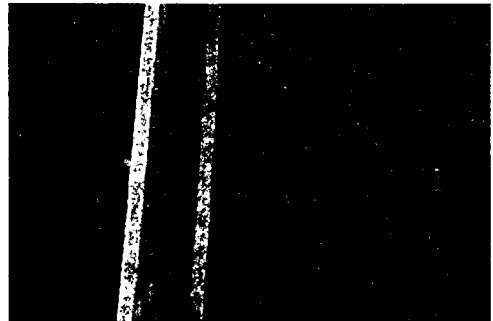


그림 1. 응집지 Floc 성장(사진)

2.2 가변속 응집기의 특성과 원리

일반적으로 정수장의 응집기는 플록성상의 효율이 높은 기계식 교반장치로 수평패들형을 많이 사용하고 있다. VS전동기 제어특성은 미소의 전력으로 제어되므로 후단으로 속도 제어할 수 있고, 속도 범위는 연속정격에서 10:1로 가감속되며 150rpm에서 최고 1500rpm까지 운전할 수 있다. 속도변동은 부하토크가 10%에서 100%로 변화하는 범위내에서 VS전동기(E형)는 2%이내로 된다. VS 부하토크가 전부하 토크의 5%이하의 평부하가 되면 제어성이 나빠져서 소량의 속도를 얻기가 곤란하고 응답속도가 늦어진다.

VS전동기의 구동원리는 구동용 유도전동기를 운전하여 VS커패에 직류여자 전류를 흘려 자속과 와전류를 발생시킨다. 이로 인해 전동기의 부하축에 토크가 전달되어 회전하게 되는 것이다. 이때 여자전압을 가감하여 속도를 변화하고, 부하축에 취부된 속도검출 발전기의 전압을 Feed Back시켜 여자코일의 전압을 제어한다. 그 결과 정속도로 유지되어 설정된 속도로 계속 회전하게 된다.

3. 정수장 응집설비의 효율 증대

3.1 기존 가변속 응집기 컨트롤러

대부분의 정수장이 경제성과 간편성 때문에 가변속 VS전동기를 사용하고 있는 실정이다. 그러나 급전계통의 정전이나, 순간정전, 자체정전 후 재 가동할 때, 원격제어로 인한 과도현상을 막아주는 시스템이 없으므로 기존 가변속 응집컨트롤러를 현장에서의 수질변화에 따라 회전속도를 인위적으로 조절하여야 하는 문제점이 있다. 또한 응집설비를 재 가동할 때, 과부하에 의해 전동기나 감속기 등의 구동장치가 파손이 되고 기형성된 플록을 파괴시켜 침전수의 수질을 악화시키고 있다.

3.1.1 가변속 응집기의 컨트롤러 동작

응집기를 운전할 때 먼저 조작제어반의 전원을 ON시킨다. 이때 3φ 유도전동기가 회전하는 동시에 시퀀스 조작회로에 따라 컨트롤러의 1번과 2번 단자를 통하여 220V AC전원이 인가되어 회로가 동작한다.

- TNR은 써지에 대한 회로 보호기이다.
- D16은 역기전력 방지용 다이오드이다. 전동기가 회전을 하다가 정지되었을 때 역기전력이 발생하고, 이때 전동기가 역으로 회전을 하여 회로에 영향을 주기 때문에 이를 방지하는 역할을 한다.
- ZD는 정격전압 12V를 유지시킨다.
- 속도조정기(8, 9, 10번 단자에 연결됨)를 0위치에서 서서히 증가시키면 전동기가 구동된다.
- 전동기가 구동되면 TG에 의해 전동기의 구동속도가 감속되고, 브리지 회로에 의해 정류된 검출전압을 발생시킨다.
- 검출전압은 9, 10번 단자의 설정전압과 8, 10번 단자의 기준전압을 비교하여, Tr Q3을 구동시킨다.
- 기준전압보다 검출전압이 크면 Tr Q3을 Off시켜 SCR Q1이 Off되고, 변압기를 차단한다. 또한 SCR Q2의 Off로 전동기의 전원이 차단되어 전동기속도가 점점 떨어진다.
- 이에 따라 TG에 의한 검출전압은 낮아지게 되며, 설정 전압보다 검출전압이 낮게 되면 Tr Q3을 On시킨다.

- Tr Q3의 On은 SCR Q1을 On시키고 변압기에 전압이 인가되어 SCR Q2를 On시킨다. 따라서 전동기에 전원이 인가되어 속도가 상승한다.
- 전동기가 구동하게 되면 TG에 의한 검출전압은 높아지게 되며, 설정전압보다 검출전압이 높아지게 되면 Tr Q3이 Off된다.

위의 과정을 반복하면서 전동기가 설정된 속도에 맞게 구동하게 된다.

3.1.2 응집기의 이상현상

응집기가 초기 기동할 때의 과도현상을 분석하기 위해서, 300~1,500rpm의 회전수에 따라 표1의 측정값을 얻었고 타코전압 출력파형에 과도현상이 나타남을 알 수 있었다.

표 1. 응집기 VS 전동기 컨트롤러의 측정 데이터

회전수(rpm)	300	600	900	1,200	1,500
Tacho 전압(VPP)	7	14	21	27	32.2
Tacho 정류후 전압(VDC)	7.5	16	24.5	30.9	36.8
속도조정기 저항값(Ω)	335.6	537	726	868	1,000
속도조정기 양단전압(VDC)	3.92	6.11	8.24	10.1	11.72
상승시간(ms)	300	400	600	700	

VS 전동기는 부하의 회전수에 상관없이 전원이 On됨으로써 유도전류가 흘러 그림 3과 같이 1,000ms~1,800ms 내에서 Overshoot 후 설정치로 수렴함을 알 수 있었다. 이러한 현상은 플록형성지에 이미 성장된 플록을 파괴시켜 수질을 악화시키고, 정지된 물을 과도하게 회전시킴으로 전동기의 과부하에 따른 과열과 진동을 유발시키는 것으로 분석되었다.

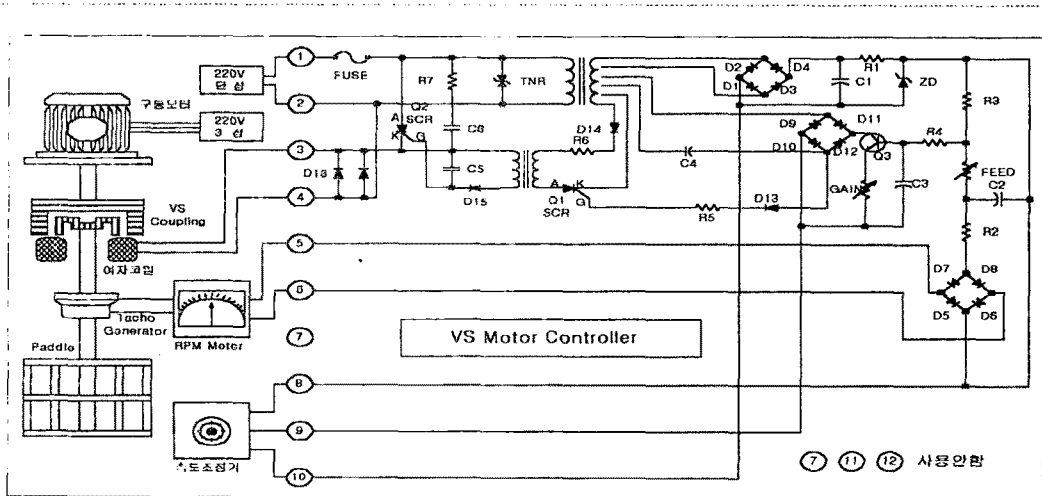


그림 2. VS전동기의 제어 계통도

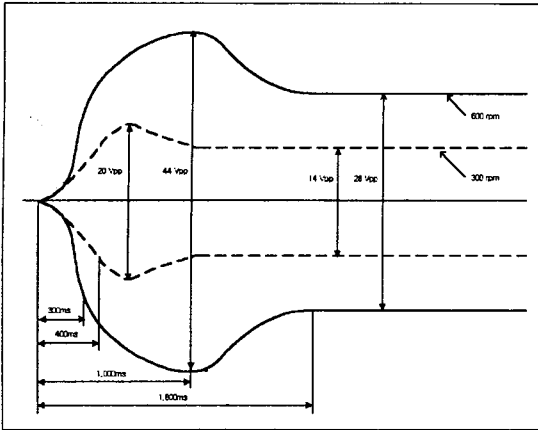


그림 3. VS전동기의 타코전압 출력

3.2 소프트 기동회로

응집기를 순간 정전 등으로 정지 후 다시 기동시킬 때, 근무자가 현장에 직접가지 않고도 전동기는 소프트 기동된다. 즉 일정한 시간(안정화 시간)이 경과된 후에, 이미 설정된 속도를 유지하도록 한다. 이러한 소프트 기동을 보장하여 근무자에 대한 인력 손실을 방지한다.

과도현상을 개선하는 소프트 기동 회로를 위해 다음과 같은 사항을 고려하여, 그림 4의 시간지연을 갖는 회로를 설계·제작하였다.

VS 전동기의 현장 제어반 내의 속도조절용 내부기판 제어회로를 변경하지 않고, 시간 지연을 갖는 회로에 별도의 전원을 공급하지 않으면서 기존회로의 전원을 사용한다. 또한 기존 제어반 콘트롤러에 부착설치가 용이하고 제작구조가 간단하면서 유지보수가 쉬워야 하는 회로로 설계·제작하였다.

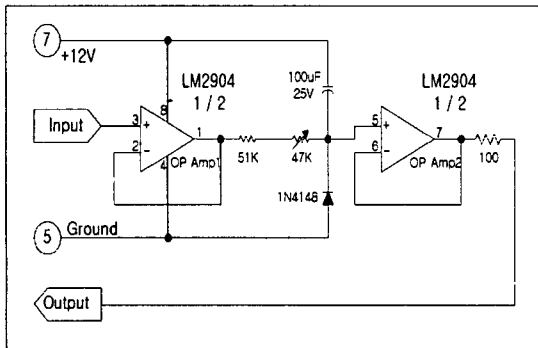


그림 4. 응집컨트롤러의 보강회로

3.3 실험 결과

본 연구결과의 유용성을 확인하기 위하여 본 정수장 1단계 응집침전지의 콘트롤러에 설치하여 그 측정결과를 그림 6에 나타내었다.

콘트롤러의 초기 기동 시간에서 응답시간을 15초, 30초의 시간지연을 줌으로써 전압파형이 서서히 증가하여 시스템이 안정되게 수렴되는 것이 관측되었다. 일반적으로 Feed Back 제어에서 응답을 빠르게 하려면 제어계는 과도현상이나 헌팅이 생기고, 이것을 없애려면 응답이 느려지는 특성이 입증됨을 알 수 있었다.

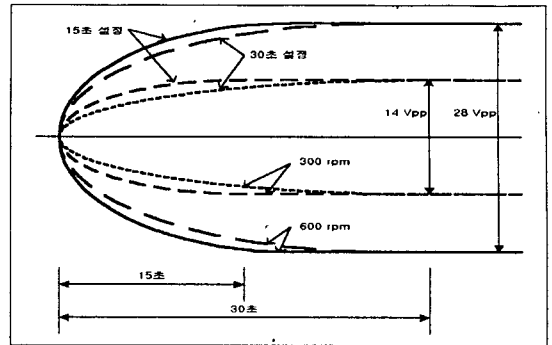


그림 5. 소프트 기동회로 보강에 의한 타코전압 출력

그림 6과 같이 기존 VS전동기 콘트롤러 카드의 하드웨어를 변경하지 않고 현장에 간단하게 설치 할 수 있도록 하여 실용성을 향상시켰다.

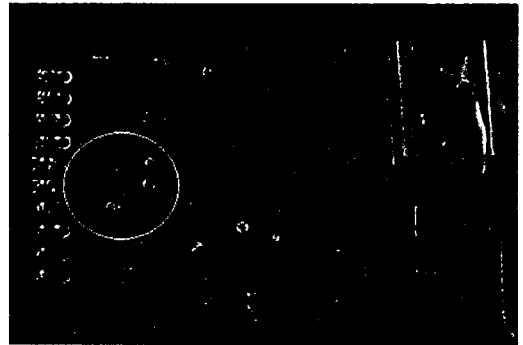


그림 6. 보강된 응집기 속도 컨트롤러(사진)

4. 결 론

정수장 응집설비에 대한 VS전동기 콘트롤러의 기능을 개선하는 실용화 연구로서, 기존 콘트롤러의 하드웨어를 변경하지 않고 경제적이면서 유지관리 및 보수가 간단한 소프트 기동 기능을 연구개발하여 적용하였다. 이로 인해 응집기의 신뢰성이 향상되었고 향후 중앙제어실에서 원격조작이 가능하게 되었다. 그리고, 본 연구결과를 현장에 적용함으로써 인력에 의존하던 순간 정전시 재기동 문제를 해소할 수 있었다. 또한 응집기의 과부하시 발생하는 소음과 진동을 줄일 수 있었고 응집기의 과도현상을 해소함으로써 수질관리와 안전성 면에서 효율 증대를 기대할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국수도협회, "상수도 시설 기준", 한국수도협회, 1997.
- [2] 한국수자원공사 연구원, "수도 기전반 교재", 대전문화사, 1997.
- [3] 도화종합기술공사, "월평정수장 3단계 확장사업 운영 및 유지지침서", 도화종합기술공사, 1998.
- [4] Camp T. R., "Floc Volume Concentration", Jour. AwwA, 1968.