

6펄스 컨버터를 사용한 대용량 전해조의 입력 필터 설계

민완기*, 민병국**, 서길모***, 임양수****, 조금배**
 *조선이공대학, **조선대학교, ***한화석유화학, ****서강정보대학

Design of an Input filter for Large Electrolyzer using 6-Pulse Converter

Min Wan Ki*, Min Byoung Guk**, Seo Gil Mo***, Lim Yang Su****, Cho Geum Bae**
 *Chosun College of Science & Tech., **Chosun University,
 Hanwha Chemical, *Seokang College

ABSTRACT

The design of tuned filters for six-pulse thyristor converter is discussed. For electrolyzer system, the design procedure of tuned filters of AC 14.4kV power system are proposed by dynamic simulation. It is shown that these harmonic filters can meet most operational requirements. By careful specification of the transformer reactance, very low harmonic content and high power factor may be achieved at a specific operating point. The the proposed design procedure is verified with the simulation results.

1. 서 론

화학공장에서는 전해조의 운용에서 가장 많이 전력이 사용된다고 해도 과언이 아니다. 이러한 전해조는 대용량 6 펄스 사이리스터 위상제어 정류기를 사용하여 염소와 가성소다를 전기분해하는 공정을 사용한다. 전기분해시 낮은 역률에서의 운전으로 인해 입력 계통에 전압강하를 야기하고 이러한 전압 강하와 낮은 역률은 생산비용의 증가를 초래하게 된다. 또한 동작 중 규정치 이하의 역률 운전으로 인해 별도의 추가적인 패널티를 부담하게 된다. 따라서 전기로의 입력계통에 역률을 개선하기 위하여 역률 보상용 진상 커패시터의 설치가 필수적이라 할 수 있다. 이러한 커패시터의 설치는 입력 역률을 증가시켜 계통의 전압강하를 보상할 수 있고 시스템 손실 또한 감소시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다^[1]. 그러나 전기분해를 하는 화학공장 공장에서는 전해조에 의해 발생하는 고조파가 계통에 유입된다면 역률 보상을 위해 설치된 진상용 커패시터는 고조파에 의해 오동작을 하게 된다. 그리고 이러한 고조파는 시스템 속으로 유입되어 접지와 낮은 임피던스 패스를 형성하여 또 다른 전압 강하를 야기하고 60[Hz]에 섞여 있는 전압 고조파는 시스템 전압의 왜형을 발생시킨다. 이러한 영향은 같은 계통에 연결된 다른 부하에 영향을 주게 되고 이로 인해 전류고조파가 발생되어 더욱 전압 왜형이 증가하게 된다. 따라서 이러한 고조파를 제거하기 위한 필터의 설치가 필수적이라 할 수 있다^[2].^{3]}. 여러 방식의 많은 필터 중 동조 선트 필터는 산업 전력 시스템에서 비선형 부하에 의해 발생하는 전압 왜곡을 적은 비용으로 최소화하는데 가장 많이 사용되는 효과적인 방법이다.

위와 같은 결과를 기준으로 하여 필터의 설계가 이루어져야

한다. 본 연구에서는 동조필터의 설계 시 다이내믹 시뮬레이션을 통하여 인건계통 및 부하의 관계를 고려하여 동조필터를 설계하는 새로운 기법을 제시하였다. 그리고 운전조건별 고조파를 예측하여 그 영향을 분석하고, 가장 최적의 운전형태를 제시하고자 한다.

2. 전해조시스템

2.1 6펄스 위상 제어 정류기

그림 1은 전해조용 6펄스 컨버터이다. 교류입력 전압은 300V이고 직류 전류 i_d 66kA가 흐르고 직류전압은 330V정도 전압이 전해조에 공급된다. 평균 직류 출력 전압은 V_{dc} 식(1)과 같다.

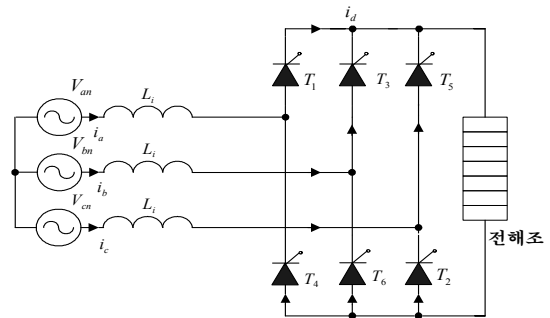


그림. 1 전해조용 6 펄스 컨버터
 Fig.1 6-pulse converter for Electrolyzer

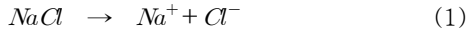
$$V_{dc} = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\pi/2 + \alpha} v_{ab} d(\omega t) = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\pi/2 + \alpha} \sqrt{3} V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{6}) d(\omega t) \quad (1)$$

$$= \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \cos \alpha$$

2.2 전해조 시스템

낮은 구조적 전압 강하, 전해액의 높은 혼합도, 전해조 내부에서의 가스 성분의 자연스러운 분리에 의하여 전해조를 6[kA/m²]에서 운전 가능하며 최대6.2[kA/m²]에서 운전을 한다. 따라서 고전류 밀도의 운전을 한다.

염소와 가성소다를 생산하기 위하여 설계된 이온교환막 전해조에서 다음과 식 (1) 같은 반응에 의하여 가성소다는 생성된다. 소금은 다음 반응식에 의하여 소금물속에서 용해되어 유리된다.



양극 표면에서의 반응은 Cl^- 이온이 산화되어 염소 가스를 생성한다.



양극실내의 Na^+ 이온은 이온교환막을 통과하여 물과 함께 음극실로 이동하고, 물은 음극실내에서 다음과 같은 반응식에 의하여 전기 분해된다.



양극실내에서 반응은 H^+ 이온이 수소 가스와 하이드록사이드 이온(OH^-)를 생성한다.

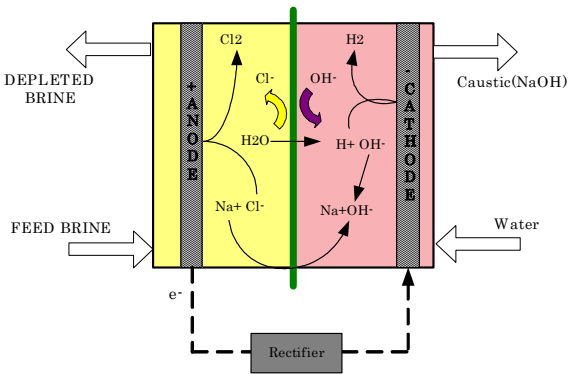


그림 2. IEM공정의 원리
Fig. 2 Principle of IEM process

3. 시뮬레이션

그림 3은 전해조시스템의 계통도를 보여 주고 있고 모의실험은 케이스1~6 연구를 통한 6펄스 전해조의 운전시 계통임피던스 데이터를 입력하여 과 5, 7, 11, 13, 17차 필터를 표 1과 같이 설계하였다. 정상 투입 시의 고조파 모의계산 결과로서 데이터를 비교 하였다.

전해조와 설계된 필터의 정상운전 시, 154kV 입력지점의 5대의 전해조 운전 시 변압기의 위상변위에 의해 36펄스 운전시 발생하는 고조파 차수는 35, 37차가 된다. 상호 모의 계산결과 그 발생량에서 차이점이 다소 있는데 이는 35, 37차 전압 고조파는 그 차수의 전류 고조파의 적은 변화에도 계통의 임피던스의 영향으로 전압 고조파 발생량이 크게 변화된다. 시뮬레이션결과로 그림 4는 154kV계통의 입력 측 전압과 전압 THD를 보여주고 있다. 그림 5, 6은 각각 전해조 측 14.4kV의 전압과 전압 THD의 파형들이다. 시뮬레이션결과 IEEE Std 519-1992 전압기준 154kV 계통의 전압 THD 2.5[%] 미만으로 정하고 있는데 전압 고조파 함유율 1.5[%] 미만이었다. 14.4kV 계통은 전압THD 5[%] 미만인데 시뮬레이션 결과 전압 고조파 함유율 3[%] 미만으로 확인되었다. 부하운전 또는 계통 조건에 따라 고차 전압 고조파가 상승할 수 있다고 판단된다. 역률은 CASE 1~6의 결과 모두 154kV 입력에서 95%이상을 보여주고 있다.

표 1. L-C파라메타설계
Table L-C parameter design.

고조파 차수	Value	XC(C)		Voltage[KV] (Phase to Neutral)
	설계치[Ω]	설계치		
		[Mvar]	[kV]	
5	5.3592	11.3	18.72	18.72
7	2.6372	4.62	22.11	22.11
11	1.03	4.81	22.43	22.43
13	0.734	4.25	21.05	21.05
17	0.424	6.86	18.89	18.89

표 2. 전압 및 전류 THD의 시뮬레이션 결과
Table 2. Simulation results of voltage and current THD

계통	항목	Voltage		Current		PF[%]
		THD[%]	RMS[V]	THD[%]	RMS[A]	
154kV	입력측	0.39	157001	1.33	651	96.2
M. TR #1	14.4kV Main	2.19	14467	5.23	1425	97.6
M. TR #2	14.4kV Main	5.94	14037	0.91	3083	94.8

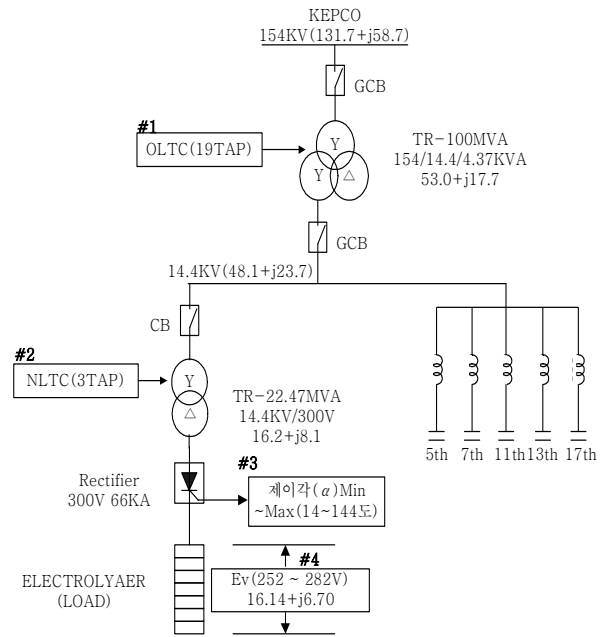


그림 3 전해조 시스템 계통도
그림 3 Power Line of Electrolyzer

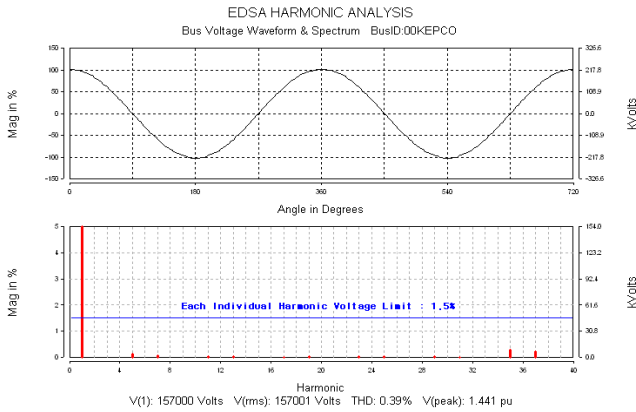


그림 4. 154kV계통의 전압 및 THD
Fig 4. Voltage and THD of 154kV power line.

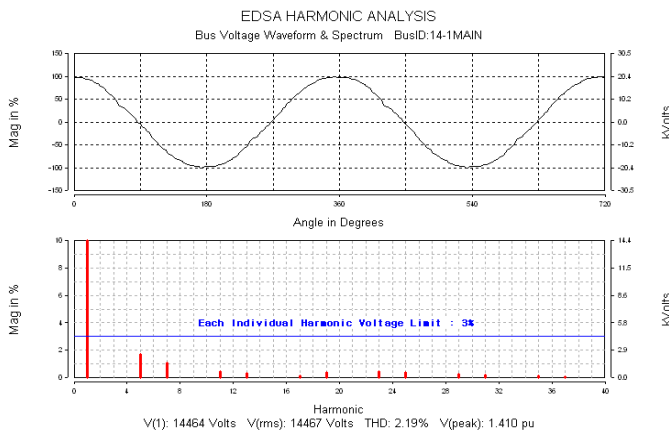


그림 5. 14.4kV 계통의 전압 및 THD(Y결선)
Fig 5. Voltage and THD of 14.4kV power ine.(Y-connection)

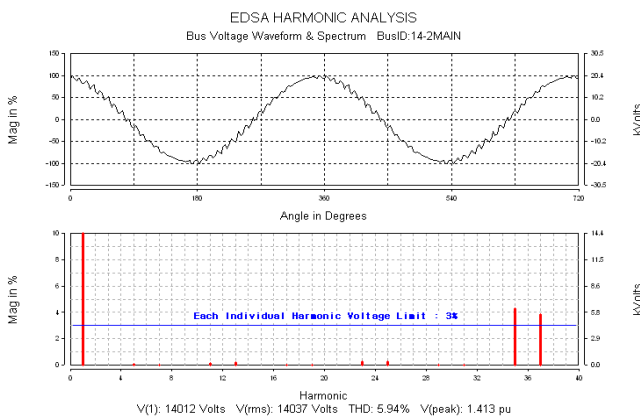


그림 6. 14.4kV 계통의 전압 및 THD(Δ -결선)
Fig 6. Voltage and THD of 14.4kV power ine.(Δ -connection)

36펄스 정류방식으로 변환됨과 동시에 5, 7, 11, 13, 17차 고조파 투입으로 인하여 35차보다 낮은 차수의 고조파는 저감되었다. 단, 36펄스 정류방식의 특성상 35, 37차 고조파는 제거되

지 않았다. 각 운전형태별 고조파전류 및 전압을 계산한 결과 정류기 5대를 동일한 모션에서 운전할 경우 전류왜형률은 1.93%, 전압왜형률은 5.66%로 최소가 된다.

3. 결론

화학플랜트에서 전기분해장치인 전해조의 전원공급장치인 6 펄스 위상제어 정류기가 동작시에 고조파가 발생하게 되고 이러한 고조파가 계통에 유입되어 역률 보상을 위해 설치된 진상용 커패시터의 오동작과 ground와 낮은 임피던스 패스를 형성하여 발생하는 전압강하로 인해 시스템 전압의 왜형을 발생시킨다. 본 연구에서 동조필터 설계의 목적은 이러한 영향을 제거하기 위한 연구로 가장 적은 비용으로 최대의 효과를 얻고자 하는 것이다. 동조필터 설계 시 다이내믹 시뮬레이션을 통하여 L-C파라미터를 선정하였다.

본 연구에서는 변압기의 위상변위를 통하여 계통에 유입되는 고조파를 최소화하였고 시뮬레이션결과 낮은 총고조파 왜형률과 고역률로 유지됨을 확인하였다. 차후 과제로는 동조 필터 파라미터들을 사용하여 실증시험 및 구현을 진행하고 있다. 예상되는 기대효과로는 설비 이용률의 개선은 물론 역률 93%초과분에 대하여 전력요금을 보상받아서 생산비의 절감이 가능할 것으로 판단된다. 그리고 전해부의 154kV, 100MVA 변압기가 고조파 유입에 의한 변압기의 이상 과온도 상승으로 인하여 고장이 발생되고 수명이 단축되는 문제가 발생되었는데 필터를 설치하여 유사한 고장이 예방될 것으로 기대가 된다.

참고 문헌

- [1] D. A. Gonzalez and J. C. McCall, "Design of filters to reduce harmonic distortion in Industrial power systems", IEEE Transactions on Industry Application, Vol.IA-23, no. 3, pp 504-511, May/June 1987.
- [2] N. S. VilchecJc and D. A. Gonzalez, "Measurements and simulations combined for state harmonic analysis", IEEE /IAS Conference record of 1988 Annual Meeting, Part II, pp 1530-1534, Oct. 1988.
- [3] E.B. Shahrodi, S.B. Dewan, "Steady-State Characteristics of the Six-Pulse Bridge Rectifier with Input Filter", IEEE Trans. Ind. Appl., IA-21, pp. 1418-1423, 1985.