

DR 참여용량에 따른 민감 부하설비의 영향도 평가에 관한 연구

김경화^{*,**}, 진태환^{*}, 이인준^{*}, 조경철^{*}, 노대석^{**}

^{*}한국섬유기계융합연구원 에너지DX연구부

^{**}한국기술교육대학교

e-mail:khkim@kotmi.re.kr

A Study on the Impact Degree Assessment of Sensitive Facility According to Demand Response Capacity

Kyung-Hwa Kim^{*,**}, Tae-Hwan Jin^{*}, In-Jun Lee^{*}, Kyung-Chul Jo^{*}, Dae-Seok Rho^{*}

^{*}Energy DX Research Center, Korea Textile Machinery Convergence Research Institute

^{**}Korea University of Technology and Education

요약

최근, 정부의 탄소중립 로드맵과 전력수요 관리 정책에 따라, 제조·철강업 등 다양한 산업 분야에서 수요반응제도(demand response, DR)의 참여가 빠르게 확산되고 있다. 그러나, 수용가 내부의 민감 부하설비는 전압 변동이나 순간 정전과 같은 전기적 위해요인에 취약하며, 무분별한 DR 참여는 생산성과 설비 신뢰성에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 이에 따라, DR 참여에 의한 민감 부하설비의 전기적 특성에 미치는 영향을 분석하고, 안정적으로 부하를 제어할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 DR 참여용량에 따른 민감한 전기설비의 영향도를 분석하기 위하여, DR 제도에 실제 참여하고 있는 수용가의 운용특성을 제시하고, 이를 바탕으로 배전계통부, 일반 부하설비부, 민감 부하설비부로 구성된 DR 참여 수용가의 모델링을 수행한다. 상기에서 제시한 모델링을 바탕으로 DR 제도 참여에 따른 민감 부하설비의 영향도를 평가한 결과, DR 제도에 참여하는 용량에 따라 민감 부하설비의 전원공급에 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

1. 서론

최근, 정부의 탄소중립 로드맵과 전력수요 관리 정책에 따라 수요자원거래제도(DR) 참여는 제조업 등 다양한 산업 분야에서 빠르게 확산되고 있다[1]. 그러나, 공장 내부에서 일반적으로 사용되고 있는 프레스 설비와 같은 민감 부하설비는 전압 변동이나 순간 정전, 고조파, 순간 전압강하와 같은 전력품질 문제에 취약하여, 무분별한 DR 참여로 인해 전원공급에 이상이 생길 경우 생산성과 설비 신뢰성에 악영향을 줄 수 있다. 이에 따라, DR 참여가 민감 부하설비의 전기적 특성에 미치는 영향을 분석하고, 안정적으로 부하를 제어할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 DR제도에 실제 참여하고 있는 수용가의 구성을 제시하고, 이를 바탕으로 배전계통부, DR 제도 참여부, 민감 부하설비부로 구성된 수용가의 모델링을 수행한다. 여기서, 배전계통부는 배전용 변전소, 배전선로, 배전용 변압기 등으로 구성되고, 민감 부하 설비부는 440V를 사용하는 정형 프레스 설비로 상정하며, 일반 부하설비부는 DR 지령에 따라 소모 전력을 감소시키는 일반적인 부하들을 바탕으로 모델링한다. 상기

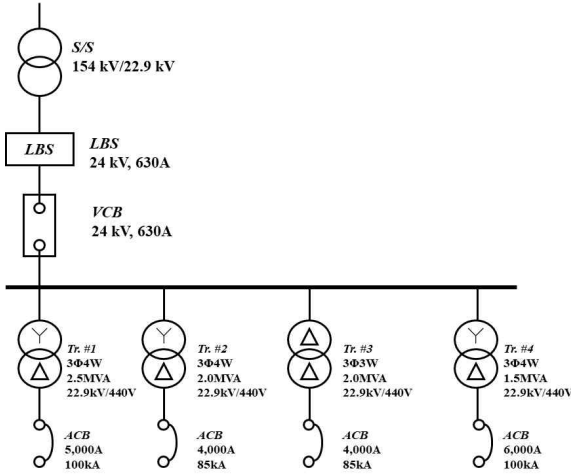
에서 제시한 구성 및 모델링을 바탕으로 DR 제도 참여에 따른 민감 부하설비의 영향도를 분석한 결과, DR제도에 참여하는 용량에 따라 민감 부하설비의 전력품질에 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

2. DR 참여 수용가의 운용특성

DR 제도에 참여하는 수용가의 구성은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, DR 제도 참여 수용가는 배전계통부, 민감 부하설비, 일반 부하 등으로 구성되며, 배전계통부는 배전용 변전소, 배전선로 및 배전용 변압기 등으로 이루어진다. 또한, 배전용 변압기는 3개의 Y- Δ 변압기와 1개의 Δ - Δ 변압기로 구성되며 용량은 각각 2.5[MVA], 2[MVA], 1.5[MVA], 2[MVA]로 이루어진다. 한편, 민감 부하설비부는 440[V]를 사용하는 정형 프레스 설비로써, 순간적으로 큰 전류를 소모하는 충격성 부하이기 때문에 전원공급에 대한 민감도가 높은편이다.

특히, 정형 프레스 설비의 PLC, 서보모터, 인버터 등의 부가설비는 $\pm 5\%$ 이내의 전원공급 안정도를 요구하는 경우가 대부분이

다. 또한, 일반 부하는 정형 프레스 설비를 제외한 공조시스템, 냉·난방기, 조명, 가공기 등의 일반적인 부하들을 의미하며, DR 참여 지령에 따라 일반 부하들의 사용을 차단함으로써 사용 전력을 감소시키는 방법으로 상정한다.

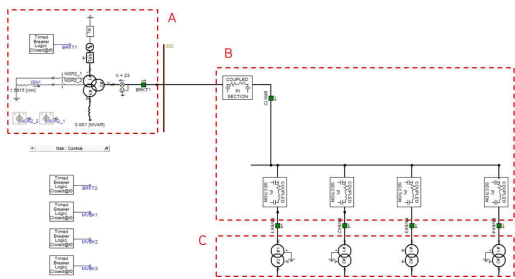


[그림 1] DR제도 참여 수용가의 수배전도

3. 민감 부하설비를 포함한 DR 참여 수용가의 모델링

3.1 배전계통부

배전계통부는 그림 2와 같이 나타낼 수 있으며, section A는 배전용 변전소, section B는 배전선로, section C는 배전용 변압기를 나타낸다. 여기서, 배전용 변전소는 154kV/22.9kV 변압기로 상정하며, 배전선로는 실제 수용가를 기준으로 FR-CN/CO-W 200[mm²]로 구성한다. 또한, 배전용 변압기는 3개의 Y-△ 변압기와 1개의 △-△ 변압기로 구성되며 용량은 각각 2.5[MVA], 2[MVA], 1.5[MVA], 2[MVA]로 모델링한다.

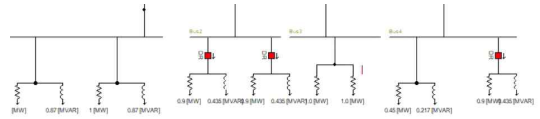


[그림 2] 배전계통부

3.2 일반 부하설비부

일반 부하설비부는 DR 참여 수용가에서 민감 부하설비를 제외한 공조시스템, 냉·난방기, 조명, 가공기 등의 일반적인 부하를 의미한다. 본 논문에서는 일반 부하설비부를 이용하여 DR 지령

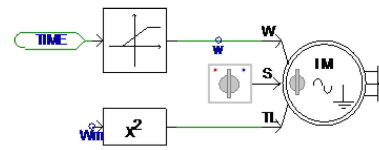
에 따라 수용가의 전력 소모를 감소시키는 역할을 수행하며, 1[MW] 단위로 감소시킬 수 있도록 모델링을 수행한다.



[그림 3] 일반 부하설비부

3.3 민감 부하설비부

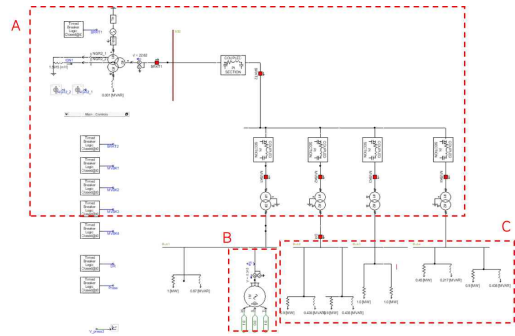
민감 부하설비부는 그림 4와 같이, PSCAD/EMTDC의 라이브러리에서 제공하는 induction motor를 바탕으로 실제 DR 참여 수용가에서 사용하는 설비용량에 따라 440[V], 250[A]의 정격을 가지고 있는 50T 정형 프레스를 바탕으로 상정한다.



[그림 4] 민감설비 부하설비부

3.4 전체 시스템

PSCAD/EMTDC를 이용하여 민감 부하설비를 포함한 DR참여 수용가의 전체 시스템을 모델링하면 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, section A는 배전계통부, section B는 민감 부하설비부 section C는 일반 부하설비부로 구성된다.



[그림 4] 전체 시스템 모델링

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 시뮬레이션 조건

DR 참여용량에 따른 민감 부하설비의 영향도를 분석하기 위한 시뮬레이션 조건은 표 1과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, DR에 참여하는 수용가의 전체 용량은 9.1[MVA]로 상정하고, 배전선로의 선종, 배전용 변압기의 용량 및 결선 방식 등은 실제 DR 제도에 참여하고 있는 수용가와 동일한 조건으로 상정한다. 또한, DR 참여 용량에 따라 영향도 평가 시나리오를 case 1, case 2, 그리

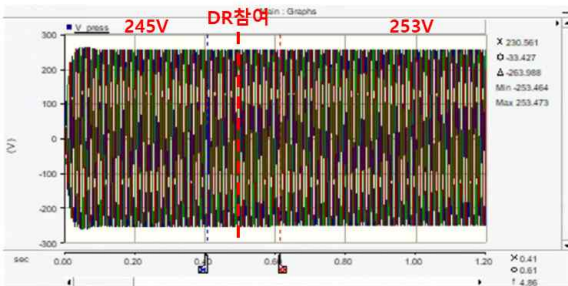
고 case 3으로 분류하여, 각각 1[MVA], 2[MVA]와 3[MVA]의 전력 소모 용량을 감소시키고, 이때 민감 부하설비의 전원공급에 미치는 영향을 분석한다.

[표 1] 시뮬레이션 조건

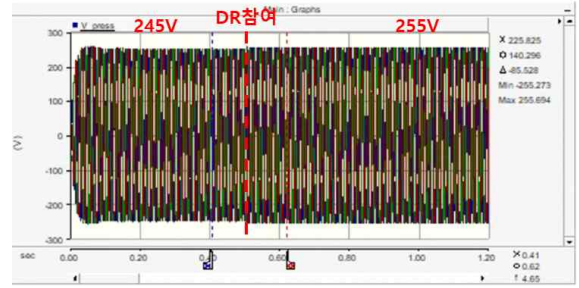
항 목		내 역
수용가 전체 용량		9.1[MVA]
배전선로		FR-CN/CO-W, 200[mm2]
배전용 변압기	Tr #1	2.5[MVA] (Y-△)
	Tr #2	2.0[MVA] (Y-△)
	Tr #3	2.0[MVA] (△-△)
	Tr #4	1.5[MVA] (Y-△)
민감 부하설비	정형 프레스	440[Vrms]/400[A]
DR 참여 용량	case 1	1[MVA]
	case 2	2[MVA]
	case 3	3[MVA]

4.2 DR 참여용량에 따른 민감 부하설비 영향도 분석

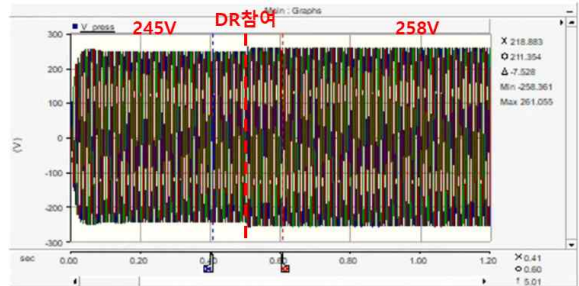
상기에서 제시한 모델링 및 시뮬레이션 조건을 바탕으로, DR 제도 참여 용량에 따른 민감 부하설비의 영향도를 분석하면 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 그림 5의 (a)는 case 1, (b)와 (c)는 각각 case 2, case 3의 민감 부하설비의 공급 전압 곡선을 나타낸다. 이 그림에서와 같이, case 1과 case 2의 경우, 공급전압이 각각 253[V], 255[V]로 상승하지만, case 3의 경우, DR 참여에 따라 공급전압이 245[V]에서 258[V]까지 상승하는 것을 알 수 있다. 특히, case 3의 경우, 공급 전압의 상승율이 5[%] 이상 발생하여 민감 부하설비인 정형 프레스 설비의 허용전압 이상으로 상승함을 알 수 있다. 따라서, DR에 참여하는 용량에 따라 민감 부하설비의 전원 공급에 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.



(a) DR 참여용량이 1MVA인 경우(case 1)



(b) DR 참여용량이 2MVA인 경우(case 2)



(c) DR 참여용량이 3MVA인 경우(case 3)

[그림 5] DR 참여에 따른 민감 부하설비 공급 전압특성

5. 결 론

본 논문에서는 DR 제도에 실제 참여하고 있는 수용가의 구성을 제시하고, 이를 바탕으로 배전계통부, DR 제도 참여부, 민감 부하설비부로 구성된 수용가의 모델링을 수행한다. 상기에서 제시한 구성 및 모델링을 바탕으로 DR 제도 참여에 따른 민감 부하설비의 영향도를 분석한 결과, DR 제도에 참여하는 용량이 3[MVA] 이상인 경우, 공급 전압의 상승율이 5[%] 이상 발생하여 민감 부하설비인 정형 프레스 설비의 허용전압 이상으로 상승함을 알 수 있다. 따라서, DR에 참여하는 용량에 따라 민감 부하설비의 전원 공급에 악영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

감사의글

This work was supported by the Technology Innovation Program (20031919) through the Korea Planning & Evaluation Institute of Industrial Technology(KEIT) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE, Korea)

참고문헌

- [1] 유영근, 송병건, 강승진. (2007). 수요반응자원의 전력시장 도입효과 분석. 자원·환경경제연구, 16(1), 99-127.
- [2] 남태양. (2023). 계통 신뢰도를 고려한 MVDC 계통 내 MMC 변환소의 여유율 산출 및 변환소 유지보수 우선순위 선정 알고리즘, 박사학위논문, 숭실대학교.