

다른계통으로 연계된 두개의 변전소의 배전계통 특성 연구

권오형, 문봉수, 김태옥, 강유원
한국전력공사 송변전처

Study on Distribution System Characteristic Of Two Substations Coupling Different Power Systems

KWON Oh-Hyung, MOON Bong-Soo, KIM Tae-Ok, KANG Yu-Won
Korea Electric Power Corporation

Abstract - 발전원이 다른 계통으로 연계된 춘천, 남춘천변전소의 배전선로간 Loop 시행시 일부배전선로가 Trip되는 현상에 대하여 PSSE 검토TOOL을 활용하여 계통을 모의하고 변압기 병렬운전조건에 대한 물리적 의미와 검토대상 배전선로 계통특성, 주변 발전원의 발전력과 상관관계를 기술검토를 통하여 계통특성을 분석함으로써 Loop시행이 가능한 계통여건을 파악, 선로 운영의 최적방안을 제시하고자 한다

경제적인 이유 등 여러 가지 사유로 인해 변압기를 병렬 운전해야 할 경우의 병렬운전이 가능 할 조건으로는 1,2차의 정격전압 및 극성이 같아야 한다. 변압기간의 상회전의 방향 및 각변위가 동일하여야 한다. 권선비가 같아야 한다. 임피던스 성분에서 저항과 리액턴스의 비율이 같아야 한다. 백분율 임피던스 전압강하차가 ±10% 이내여야 한다. 용량비가 3:1 이내여야 한다. 이상의 여섯가지 조건은 상식적으로 잘 알고있는 내용으로 필요에 의해서 변압기를 병렬운전하고자 할 때에는 우선적으로 검토되어야 할 사항들이다.

1. 서 론

전력산업에 대한 의존도가 높아지고 정보화사회가 고도화됨에 따라 전력의 안정적 공급과 질적 향상에 대한 요구가 날로 증대해 지고 있다. 따라서 전력계통에는 수많은 발·변전 설비 및 송배전설비가 복잡하게 서로 연계되어 있어 배전선로의 무정전 절체나 계통변경을 위한 부하절체시 발생할 수 있는 배전선로 Trip등의 고장현상에 대한 보다 심도 깊은 배전계통 특성분석이 필요하며, 대부분의 경우는 변압기 병렬운전 조건에 따른 Loop시행으로 병렬운전 변압기의 Trip 발생과 같은 고장상황이 야기되지는 않는다. 다만, 배전선로 Loop에 따른 병렬운전변압기간 부하의 차가 클 경우 부담분담이 Loop 시행선로의 과전류계전기 정정치를 초과하는 경우 Loop선로의 들다, 혹은 한 선로가 Trip 되는 경우가 발생할 수 있으며 또한 부하분담이 Loop 시행선로의 계전기 정정치를 초과하지 않더라도 다른계통으로 연계된 변전소의 배전선로간 연계시 상차각에 의한 송전전력이 Loop 선로를 흐름으로써 이때의 유효순환전류가 계전기 정정치를 초과하는 경우 선로Trip이 발생할 수 있다. 이러한 경우에는 변전소와 연계된 발전소의 발전력을 조정함으로써 배전선로간 Loop시행이 가능케 할 수 있으며, 실제로 동서울전력과 청평양수발전소와 연계된 남춘천변전소와 한강수력계의 화천, 춘천, 소양강 수력발전소와 연계된 춘천변전소의 배전선로간 부하절체시에는 주변 발전소의 운전상황에 따라 배전선로 연계가능 조건이 크게 달라짐으로 해서 Loop시행조건으로 소양강발전소가 발전하고있지 않는 시기에 두변전소간 배전선로Loop시행이 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 계통연계가 다른 두변전소간의 배전선로Loop시행조건을 살펴보기 위하여 조류계산용 Tool인 PSSE프로그램을 활용하여 주변 발전소의 발전력을 조정함으로써 실제 계통에서 발생하는 위상각차이에 따른 조류변동특과 공급변압기의 부하분담량을 검토하였으며, Loop 가능여부는 남춘천 및 춘천변전소간의 Loop대상선로의 배전선로 정정치를 고려하여 판단하였다.

2. 본 론

2.1 변압기 병렬운전 개요.

변압기 부하의 증가, 기기점검을 위한 부하절체, 또는

2.1.1 변압기 병렬운전 조건들의 물리적 의미

변압기의 병렬운전조건은 거의 상식에 가까운 내용이 나 물리적인 개념에 대한 정확한 이해와 정립된 개념이 있어야만 병렬운전시 예상되는 전기적 사항에 대한 정확한 진단과 문제발생시 대책수립이 가능하리라 생각된다. 따라서 이러한 각 병렬운전조건들의 물리적 개념을 간단히 살펴보면은 무부하상태에서 두 변압기의 2차측 전압의 위상차는 같으나 전압차가 날 경우, 전압차에 의한 두 변압기간의 순환전류가 흐르며 크기와 위상은 두변압기가 가진 임피던스에 따라 결정되지만 통상변압기의 임피던스는 리액턴스 성분이 대부분이므로 이 리액턴스 성분만을 고려하여 나타나는 순환전류는 전압차를 가진 전압원과는 90°의 위상차의 무효순환전류가 흐르게 된다. 이 무효순환전류의 역할은 전압이 낮은 변압기의 여자전류로 작용하여 전압이 낮은 변압기의 2차 전압이 높은 변압기와 같아지도록 하며 실제로 변압기의 리액턴스는 대부분 매우 작은 값이기 때문에 약간의 전압차에도 상당히 큰값을 갖게 된다 그리고 상회전이 다를 경우는 변압기 2차 전압간에 120° 또는 240°의 위상차가 발생하여 상간 단락과 같은 고장상황이 발생한다. 또한 병렬운전하고자 하는 변압기의 2차전압이 같고 위상차가 생겼을 경우는 위상이 앞선 변압기에서 전력을 발생하고 위상이 뒤진 변압기에서는 전력을 흡수하는 유효순환전류가 흐르게 된다. 이 유효순환전류는 발전기의 병렬운전시 나타나는 동기화 전력과 동일한 개념이다. 이 경우의 유효순환전력은 $P=(V^2/X)\sin\delta$ 로 나타낼 수 있으며, 이것은 전력방정식과 동일하다. 송수전단의 전압이 V_S, V_R 이고 두 전압의 상차각이 δ 일 경우의 전력방정식은 $P=(V_S \cdot V_R/X)\sin\delta$ 로 나타낼 수 있으며 두전압간의 위상차가 있을 경우 전력의 이동을 나타내는 가장 기본적인 식이다. 바로 이러한 전압차나 위상각 차이에 의해 순환전류가 흐르는 개념이 발전기의 여자전류를 조정하여 단자전압을 높임으로써 발전기에서 모선측으로 무효순환전류가 흘러나가 지상운전이 되고 발전기 가바나를 조정하여 속도를 증가시켜 위상차를 앞서도록 하면 유효순환전류가 모선측으로 흘러나가 발전기의 부하분담이 증가하게되어 출력이 증가하는 개념과 동일하다. 배전선로 Loop에 의한 변압기 병렬운전시에는 R:X Ratio가 다름으로 해서 연계지점의 부하전류는 서로 다른 위상각을 가지게 되어

두 변압기의 부하분담이 달라지고 선로의 전압강하가 다르게 되어 순환전류가 발생할 수도 있다. 병렬운전에 따른 변압기 부하분담은 %Z와 두 변압기의 용량이 따라 분담되며 용량은 같으나 %Z가 다른 경우 부하분담은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$P_A = \frac{\%Z_B}{\%Z_A + \%Z_B} P_L, P_B = \frac{\%Z_A}{\%Z_A + \%Z_B} P_L$$

P_A : A 변압기 공급부하, P_B : B 변압기 공급부하

P_L : $P_A + P_B$

$\%Z_A$: A 변압기 %임피던스

$\%Z_B$: B 변압기 %임피던스

여기서 두 변압기의 %Z와 용량이 같으면 서로 반반씩 부담하게 된다. 동일변전소에 설치된 두 대의 154kV 변압기의 2차측 22.9kV 모선을 통한 병렬운전시에는 먼저 변압기 2차전압을 맞추기 위하여 두 변압기의 OLTC를 수동으로 절제 후 변압기 TAP을 조정하고 모선간 연결차단기를 이용하여 변압기 Loop를 시행하며 기기점검을 위한 부하절제, 변압기간 부하이전 등 단시간 병렬운전에 국한하여 시행하고 있다. 동일변전소나 계통이 같은 두 변전소의 배전선로간 부하절제시에는 주로 두 변압기의 부하분담에 의한 조류의 이동으로 배전선로가 Trip될 수 있으므로 부하절제시 각별한 유의가 필요하다. 계통이 다른 두 변전소의 배전선로 절제시에는 보다 더 세심한 기술적 검토가 고려되어야 하며, 두 변전소 연계 배전선로의 상차각에 의한 조류변동에 대해서 충분히 검토한 후 Loop에 의한 부하절제를 고려하여야 한다.

2.2 다른계통으로 연계된 모의검토 대상 계통

본 논문에서 검토한 계통은 동서울계의 남춘천변전소와 한강수력계의 남춘천변전소 계통으로 두 변전소는 지리적으로 인접해 있으나 발전원이 다른 계통으로 연계된 대표적 변전소로서 계통구성은 그림1과 같다.

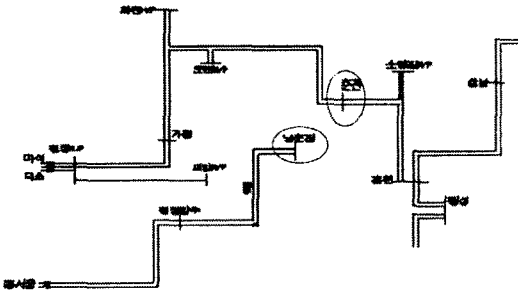


그림1 모의검토 계통도

이 두 변전소의 배전선로 계통특성은 변전소와 연계된 주변 발전소의 발전력의 크기에 따라 배전선로 위상각이 크게 차이가 나며 배전선로 Loop시행시 이러한 상차각의 크기에 따라서 Loop 시행 가능여부가 결정된다. 각 변전소의 배전선로간 연계가능성으로는 각각 4개의 배전선로로서 설비 및 계통구성 현황은 표1-2과 같다.

변전소명	Bank	전압비	용량	%Z	결선	검토부하량
춘천S/S	#1	154/22.9	45/60	15.4%	Y Y ⊥	28MW
	#2	154/22.9	45/60	15.72%	Y Y ⊥	37MW
남춘천S/S	#1	154/22.9	45/60	14.44%	Y Y ⊥	39MW
	#3	154/22.9	45/60	14.6%	Y Y ⊥	33MW
	#4	154/22.9	45/60	16.29%	Y Y ⊥	42MW

표1. 변전소별 연계가능 주변압기 제원

변전소명	Bank	D/L명	검토부하량	변전소명	Bank	D/L명	검토부하량
춘천	#1	석사	3.3MW	남춘천	#1	강원	9.0MW
		소양	7.6MW		#4	서상	5.9MW
	#2	역백	8.3MW		#4	신촌	7.7MW
	#1	효자	6.2MW		#3	공저	8.0MW

표2. 변전소별 연계가능 선로

검토전제 조건은 변전소 및 Bank, 배전선로별 검토부하량은 최대부하 평균치를 적용하였으며 PSSE 검토CASE는 2005년 하계Peak data를 기준CASE로 검토하였다. 검토CASE 튜닝을 위한 8개 배전선로의 선로정수는 표3과 같다

변전소명	D/L명	Z1	Z0	Y1	연계 대상선로
춘천	석사	15.525+j29.426	40.207+j85.119	j0.000497	강원간
	소양	96.603+j112.337	180.296+j301.636	j0.000426	서상간
	역백	60.084+j83.391	119.883+j230.098	j0.001491	신촌간
	효자	27.796+j49.170	83.191+j110.160	j0.001491	공저간
남춘천	강원	14.574+j26.322	34.744+j54.490	j0.000497	석사간
	서상	47.682+j89.322	115.461+j233.28	j0.001562	소양간
	신촌	88.337+j202.25	221.762+j529.082	j0.002769	역백간
	공저	16.521+j30.272	39.011+j68.317	j0.001775	효자간

표3. 변전소별 연계선로 선로정수 현황

검토방법은 청평양수발전소 및 소양강발전소의 발전력에 따라 배전선로 연계선의 각 변전소 1,2차모선의 위상각의 크기와 주변압기 부하(MW)를 계산하였고, 연계후 위상각 및 주변압기 부하변동량, 연계선로를 통하여 흐르는 조류의 크기를 계산하여 배전선로 계전기 정정치와 비교, Loop시 선로Trip 가능여부를 판단하였으며, 추가 청평양수발전소 펌핑시의 Loop 가능조건에 대해서도 비교 분석하였다.

2.2.1 춘천S/S 석사-남춘천S/S 강원간 연계(CASE1)

발전력 (MW)	춘천 154kV 모선	춘천S/S #1M.Tr 부하(MW)	춘천S/S 22.9kV 모선	춘천S/S 22.9kV 석사D/L	남춘천 22.9kV 강원D/L	남춘천 22.9kV 모선	남춘천 #1M.Tr 부하(MW)	남춘천 154kV 모선
청평0	-50.01	28.0	-56.29	-55.71	-63.13	-62.09	39.1	-54.80
소양강0	-50.28	37.7	-57.52	-59.48	-59.48	-59.79	29.5	-54.45
청평10	-43.76	28.0	-48.88	-49.29	-58.84	-57.82	39.1	-51.06
소양강10	-44.13	40.0	-51.63	-54.23	-54.22	-55.19	26.6	-50.61
청평20	-37.76	28.0	-42.83	-48.92	-58.40	-54.30	39.1	-47.57
소양강20	-38.21	44.4	-46.29	-49.47	-49.47	-50.99	23.3	-47.00
청평30	-42.66	28.0	-48.00	-48.43	-50.97	-49.91	39.1	-43.16
소양강30	-42.76	31.4	-48.77	-49.75	-49.75	-49.17	35.7	-43.05
청평40	-36.59	28.0	-41.78	-42.21	-47.15	-46.14	39.1	-39.61
소양강40	-36.77	34.6	-43.18	-44.78	-44.78	-44.83	32.6	-39.40
청평50	-30.68	28.0	-35.93	-36.37	-43.74	-42.74	39.1	-36.23
소양강50	-30.95	37.6	-37.96	-40.26	-40.26	-40.91	29.8	-35.92
청평60	-35.78	28.0	-41.21	-41.65	-39.73	-38.72	39.1	-32.18
소양강60	-35.71	25.4	-40.60	-40.66	-40.66	-39.30	41.8	-32.26
청평70	-29.79	28.0	-35.08	-35.52	-36.24	-35.23	39.1	-28.73
소양강70	-29.82	28.8	-35.24	-35.91	-35.91	-35.10	38.3	-28.70
청평80	23.97	28.0	-29.22	-29.65	-32.90	-31.90	39.1	-25.41
소양강80	-24.09	32.2	-30.09	-31.26	-31.26	-31.11	36.0	-25.28

표4. 석사-강원D/L Loop후 위상각(°) 및 M.Tr 부하변동량

2.2.2 춘천S/S 소양-남춘천S/S 서상간 연계(CASE2)

발전력 (MW)	춘천 154kV 모선	춘천S/S #2M.Tr 부하(MW)	춘천S/S 22.9kV 모선	춘천S/S 22.9kV 소양D/L	남춘천 22.9kV 서상D/L	남춘천 22.9kV 모선	남춘천 #4M.Tr 부하(MW)	남춘천 154kV 모선
청평0	-49.65	37.7	-56.49	-63.26	-66.57	-62.89	41.9	-54.60
소양강0	-49.72	39.4	-56.86	-65.22	-65.22	-62.60	40.4	-54.50
청평10	-43.43	37.7	-50.17	-56.40	-62.80	-59.15	41.9	-50.91
소양강10	-43.56	41.0	-50.85	-60.21	-60.21	-58.61	39.9	-50.83
청평20	-37.43	37.7	-44.32	-50.56	-58.39	-55.76	41.9	-47.29
소양강20	-37.38	42.1	-45.27	-55.16	-55.16	-55.00	38.3	-47.29
청평30	-42.36	37.7	-49.47	-56.82	-63.87	-51.23	41.9	-42.99
소양강30	-42.33	39.5	-49.20	-54.73	-54.73	-51.49	43.0	-43.02
청평40	-36.30	37.7	-43.20	-49.45	-50.26	-47.63	41.9	-39.44
소양강40	-36.31	38.1	-43.29	-49.92	-49.92	-47.55	41.9	-39.43
청평50	-30.40	37.7	-37.24	-43.47	-46.83	-44.22	41.9	-36.06
소양강50	-30.47	39.6	-37.65	-45.42	-45.42	-43.88	40.2	-36.01
청평60	-35.49	37.7	-42.52	-48.83	-42.85	-40.19	41.9	-32.01
소양강60	-35.37	34.5	-41.83	-45.37	-45.37	-40.81	44.8	-32.10
청평70	-29.30	37.7	-36.36	-42.39	-39.34	-36.70	41.9	-28.37
소양강70	-29.44	36.0	-36.02	-40.67	-40.67	-36.09	43.4	-28.61
청평80	-35.48	37.7	-42.52	-48.83	-42.85	-40.19	41.9	-32.01
소양강80	-35.37	34.5	-41.83	-45.37	-45.37	-40.81	44.8	-32.10

표5. 소양-서상D/L Loop후 위상각(°) 및 M.Tr 부하변동량

2.2.3 춘천/S/S 예맥-남춘천/S/S 신춘간 연계(CASE3)

발전력 (만kW)	춘천 154kV 모선	춘천S/S #2M.Tr 부하(MW)	춘천S/S 22.9kV 모선	춘천S/S 22.9kV 예맥D/L	남춘천 22.9kV 신춘D/L	남춘천 22.9kV 모선	남춘천 #4M.Tr 부하(MW)	남춘천 154kV 모선
	청평0	-50.01	37.5	-56.98	-60.25	-72.81	-63.13	42.8
소양강0	-50.18	42.8	-58.10	-64.67	-64.67	-61.99	37.6	-54.64
청평0	-43.80	37.5	-50.90	-54.27	-68.98	-59.37	42.8	-51.12
소양강10	-44.00	43.7	-52.23	-59.53	-59.53	-58.09	36.8	-50.92
청평0	-37.79	37.5	-44.82	-48.16	-65.40	-55.84	42.8	-47.62
소양강20	-38.02	45.0	-46.40	-54.32	-54.32	-54.33	35.8	-47.39
청평20	-42.74	37.5	-49.97	-53.41	-60.89	-51.30	42.8	-43.21
소양강0	-42.83	40.4	-50.58	-56.13	-56.13	-50.71	39.8	-43.12
청평20	-36.66	37.5	-43.70	-47.04	-57.37	-47.76	42.8	-39.66
소양강10	-30.80	41.8	-44.60	-50.71	-50.71	-50.71	38.5	-39.52
청평20	-30.76	37.5	-37.74	-41.06	-53.92	-44.34	42.8	-36.27
소양강20	-30.93	43.0	-38.89	-45.62	-45.62	-43.20	37.5	-36.10
청평40	-35.83	37.5	-41.99	-46.39	-50.41	-40.55	42.8	-32.23
소양강0	-35.88	39.1	-43.32	-47.81	-47.81	-40.19	41.2	-32.18
청평0	-29.85	37.5	-36.84	-40.17	-46.86	-37.05	42.8	-28.79
소양강10	-29.94	40.3	-37.43	-42.48	-42.48	-36.42	40.0	-28.69
청평40	-24.03	37.5	-31.00	-34.34	-43.49	-33.71	42.8	-25.48
소양강20	-24.14	41.3	-31.01	-37.52	-37.52	-32.87	39.8	-25.35

표6. 예맥-신춘D/L Loop후 위상각(°) 및 M.Tr 부하변동량

2.2.4 춘천/S/S 효자-남춘천/S/S 공지간 연계(CASE4)

발전력 (만kW)	춘천 154kV 모선	춘천S/S #1M.Tr 부하(MW)	춘천S/S 22.9kV 모선	춘천S/S 22.9kV 효자D/L	남춘천 22.9kV 공지D/L	남춘천 22.9kV 모선	남춘천 #3M.Tr 부하(MW)	남춘천 154kV 모선
	청평0	-49.96	28.1	-55.26	-56.57	-62.12	-61.02	33.1
소양강0	-50.14	34.1	-57.59	-59.70	-59.70	-59.71	27.3	-54.55
청평0	-43.76	28.1	-49.17	-50.52	-58.38	-57.28	33.1	-51.05
소양강10	-44.00	36.4	-50.99	-55.01	-55.01	-55.56	25.3	-50.78
청평0	-37.75	28.1	-43.12	-44.45	-54.85	-53.76	33.1	-47.56
소양강20	-38.07	39.2	-45.54	-50.39	-50.39	-51.49	22.7	-47.20
청평20	-42.67	28.1	-48.19	-49.56	-50.12	-49.07	33.1	-43.15
소양강0	-42.69	28.4	-48.21	-49.52	-49.52	-49.08	32.9	-43.14
청평20	-36.60	28.1	-41.97	-43.31	-46.53	-45.49	33.1	-39.60
소양강10	-36.70	31.3	-42.65	-45.19	-45.19	-44.88	30.0	-39.50
청평20	-30.70	28.1	-36.04	-37.36	-43.12	-42.08	33.1	-36.21
소양강20	-30.89	34.1	-37.31	-40.70	-40.70	-40.92	27.3	-35.02
청평40	-35.77	28.1	-41.23	-42.59	-39.12	-38.09	33.1	-32.19
소양강0	-35.66	24.2	-40.33	-40.63	-40.63	-38.95	37.1	-32.31
청평0	-29.79	28.1	-35.13	-36.46	-35.64	-34.61	33.1	-28.75
소양강10	-29.76	27.0	-34.88	-36.02	-36.02	-34.87	34.2	-28.78
청평40	-23.97	28.1	-29.28	-30.59	-32.31	-31.28	33.1	-25.44
소양강20	-24.03	29.8	-29.61	-31.60	-31.60	-30.98	31.5	-25.38

표7. 효자-공지D/L Loop후 위상각(°) 및 M.Tr 부하변동량

위의 CASE1~CASE4가 나타내는 바와 같이 두 변전소의 위상각은 전반적으로 춘천변전소가 남춘천변전소보다 앞선 위상각을 나타내고 있어 연계시 조류의 흐름은 춘천변전소에서 남춘천변전소 방향으로 흐를 것으로 예상할 수 있으며 앞선 위상각을 가진 춘천변전소의 발전원인 소양강발전소의 발전력이 클수록 두 변전소간 상차각(SINδ)이 더 커져 연계시 조류의 크기도 상차각의 크기에 비례하여 커짐을 예상할 수 있다. 다만, 청평양수발전소에서 40만kW 발전시에는 반대로 남춘천에서 춘천변전소로 조류방향이 바뀌어진다. 청평 및 소양강발전소의 발전력 차이에 따른 Loop 배전선로의 조류변동은 다음의 표8과 같다

발전력 (만kW)	CASE 1		CASE 2		CASE 3		CASE 4	
	춘천#1 식사D/L	남춘천#1 강원D/L	춘천#2 소양D/L	남춘천#4 서상D/L	춘천#2 예맥D/L	남춘천#4 신춘D/L	춘천#1 효자D/L	남춘천#4 공지D/L
청평0	3.3	9.0	7.6	5.9	8.3	7.7	6.2	8.0
소양강0	13.0	-9.5	10.0	4.5 (-1.4)	13.0	3.0 (-4.7)	12.3	2.3 (-5.7)
청평0	3.3	9.0	7.6	5.9	8.3	7.7	6.2	8.0
소양강10	16.2	-12.5	11.6	3.2 (-2.7)	14.8	1.2 (-6.5)	15.6	0.2 (-7.8)
청평0	3.3	9.0	7.6	5.9	8.3	7.7	6.2	8.0
소양강20	19.2	-15.9	12.7	2.4 (-3.5)	16.3	1.2 (-6.5)	17.4	-12.8
청평20	3.3	9.0	7.6	5.9	8.3	7.7	6.2	8.0
소양강0	6.7	5.6 (-3.4)	6.6 (-1.0)	6.9	11.7	5.1 (-2.6)	6.6	7.7 (-0.3)

발전력 (만kW)	CASE 1		CASE 2		CASE 3		CASE 4	
	춘천#1 식사D/L	남춘천#1 강원D/L	춘천#2 소양D/L	남춘천#4 서상D/L	춘천#2 예맥D/L	남춘천#4 신춘D/L	춘천#1 효자D/L	남춘천#4 공지D/L
청평20	3.3	9.0	7.6	5.9	8.3	7.7	6.2	8.0
소양강10	9.8	2.5(-6.5)	8.7	5.5 (-0.4)	13.1	3.9 (-3.8)	9.5	4.9 (-3.1)
청평20	3.3	9.0	7.6	5.9	8.3	7.7	6.2	8.0
소양강20	12.9	-9.6	10.2	4.3 (-1.6)	14.3	2.8 (-4.9)	12.3	2.3 (-5.7)
청평40	3.3	9.0	7.6	5.9	8.3	7.7	6.2	8.0
소양강0	0.7 (-2.6)	11.6	5.1 (-1.4)	8.7	10.4	6.3 (-1.4)	2.4 (-3.8)	11.2
청평20	3.3	9.0	7.6	5.9	8.3	7.7	6.2	8.0
소양강10	4.1	8.2 (-0.8)	6.2 (-1.4)	7.3	11.6	5.2 (-2.5)	5.2 (-1.0)	9.0
청평40	3.3	9.0	7.6	5.9	8.3	7.7	6.2	8.0
소양강20	7.5	4.8 (-4.2)	4.8 (-2.8)	8.7	12.6	4.3 (-3.4)	8.0	6.4 (-1.6)

표8. 배전선로 Loop 진,후의 조류변화량(MW)

청평양수 및 소양강수력의 발전력과 Loop시행시 연계 배전선로에 나타나는 조류의 크기와 방향을 계산한 결과로서 배전선로의 계전기 정정치(한시가 5Tap(400:5 Ratio)에 정정되어 있고 CT 및 계전기 오차, 계전기 동작안전을 등을 10%로 고려할 때 360A(14.2MW)이상의 조류가 흐를시에는 선로Trip의 우려가 있어 Loop시행이 불가한 것으로 나타났으며, 부하의 증가로 인해 배전선로의 부하가 검토후하량을 상회하여 운전 될 경우에는 루프시의 조류 크기도 비례하여 증가함으로 검토대상 배전선로 Loop 가능여부는 부하증가 사항을 고려함으로써 예측할 수가 있다. 전반적으로 소양강발전소의 발전력이 없을 경우에는 배전선로간 Loop가 가능한 것으로 나타났으며, 청평양수 및 소양강수력이 동시에 발전할 경우에는 일부선로의 급격한 부하증가가 수반되지 않는한 Loop시행이 가능하리라 판단된다. 그러나 청평양수가 펌핑하는 시기에는 춘천과 남춘천변전소간의 상차각이 더욱 커져 소양강수력이 발전을 병행하면 대체적으로 이때의 Loop 연계선로의 조류는 15MW를 초과하게 되어 배전선로 Trip의 우려가 있는 것으로 나타났다.

3. 결 론

본 논문에서는 계통이 다른 두개의 변전소의 배전계통에서 계통특성에 의한 배전선로 상차각의 크기가 배전선로 Loop 가능여부를 결정함을 실제계통을 모의함으로써 확인할 수 있었다. 전력방정식에서의 전송전력은 상차각(Sinδ)의 크기에 비례하여 커지고 그 크기가 배전선로간의 계전기 한시정정치를 초과하게 되는 경우에는 배전선로간 Loop 운전이 불가함을 PSSE TOOL을 활용하여 검증하였다. 결론적으로 계통모의 결과 춘천과 남춘천변전소의 배전선로간 Loop시행 가능시기는 소양강수력의 발전정지시와 청평양수발전소 소양강수력의 동시발전시에(예맥-신춘D/L의 일부선로 제외) Loop운전이 가능한 것으로 검토되었으며, 특히 청평양수발전소 펌핑시에는 소양강수력은 발전정지시에만 배전선로간 Loop시행이 가능한 것으로 확인되었다. 따라서 춘천과 남춘천변전소와 같이 다른 발전원과 연계된 변전소간의 Loop 운전시에는 변압기간 부하분담, 전압차 등의 병렬운전 기본 검토조건외에 주변 발전소의 발전력에 의한 연계선로 위상각에 대한 추가검토가 필요하다.

[참 고 문 헌]

[1] 이종수,한양대 전력계통 연구실 “현장 전기정비원을 위한 변압기 병렬운전과 부하분담”, 1999.12