

고도정수처리(DAF) 정수장 전력설비 적정 설계를 위한 고조파 현장 측정 및 분석

김동룡*, 김기태*, 한병옥*, 한상옥**
 한국수자원공사*, 충남대학교**

The diagnosis and analysis for the correct design of electrical system in water treatment plant(Dissolved Air Flotation Process).

Kim Dong-ryong, Kim Gi-tae, Han Byong-ok, Han Sang-Ok
 Kwator, Chung-nam Univ.

Abstract - In these days there are many troubles - system data error, control malfunctions, cable overheating - in water treatment plant. Specially DAF(Dissolved Air Floation Process) plant has high frequency than previous water treatment process. DAF plant has diverse equipment, nonlinear loads for the precise control. But there is no sufficient overall study about harmonics condition of water treatment plant, just taking a following partial action without a fundamental solution. On designing of power system, designer should have regard to harmonics condition, but there is no guide reflected harmonics condition on DAF plant. This study says what is the result of guideless design about harmonics. With the result of diagnosis and analysis in DAF plant, economical efficiency and safety of plant will be upgraded in the next design.

1. 서 론

국민의 생활수준 향상으로 맑은 물에 대한 국민들의 기대치는 높아지고 있으나, 산업발달과 인구증가로 인한 원수오염 증가 때문에 기존 정수처리 공정만으로는 정수 생산의 어려움이 가중되고 있어 이에 대한 대책으로 고도정수처리 공법을 도입하는 정수장이 건설되고 있다. 고도정수처리 설비는 기존의 정수처리 공정에 비해 정밀 제어를 위한 각종 기기의 도입으로 비선형부하가 많이 사용되어 변압기, 케이블, 차단기 등 기기 선정 시에 이를 고려한 설계가 이루어져야 하나, 아직 국내에는 고도정수처리 공정의 운영자료 및 특성을 반영한 설계 기준이 정립되어 있지 않다.

최근 인버터, UPS 등 전력전자부품 사용 기기의 증가로 비선형 부하에 의한 고조파가 상당히 발생하고 있으며, 이에 대한 영향으로 변압기 열화, 기기 수명 단축, 제어설비 노이즈 발생 등 여러 가지 문제가 발생하고 있다. 비선형부하가 많은 고도정수처리공정을 도입한 신설 정수장에서도 원격제어설비 오동작, 중성선 전류 증가 등 유사한 문제들이 나타나고 있으나, 정수장의 고조파 환경에 대한 전반적인 연구 자료가 미흡하여 근본적인 대한 제시 없이 단편적인 사후 대책만 제시되고 있는 실정이다.

최근의 고조파관련 연구는 주로 공동결합점(PCC)의 고조파 분석에 대해 이루어지고 있으나 이는 한전 및 타 수용가와 의 계통 안전성을 중심으로 한 연구이므로 다양한 설비로 이루어진 정수장의 고조파 대책을 위해서는 현장 실측을 통한 정밀 분석 자료가 필요하다.

정수장 설비의 오작동, 손실 증가 등의 문제 해결을 위해서는 기존의 PCC 지점만을 측정하는 방식으로는 정확한 부하 특성분석이 어려우므로 이번 연구에서는 정수장내 각 설비의 고조파 특성을 조사하기 위해 20여 지점

을 측정하여 3상 비선형부하, 단상 비선형부하, 선형부하가 조합된 전력 설비의 특성을 분석 후 각각의 대책을 제시하고 사례 대상 정수장의 수전용량 적정 설계 여부를 검토하였다.

본 연구에서는 개별 설비의 고조파 특성 분석을 통한 합리적 개선 방안을 제시하였으며 실측에 의한 K-factor 상수를 제시하여 고도정수처리공정(DAF) 정수장의 수전 설비 설계에 활용할 수 있게 하였다.

국내에서 고도정수처리 공정을 도입하는 정수장이 증가하고 있으므로, 본 연구 결과를 통해 기존 설계의 문제점을 비교하면 경제성과 설비 안정성을 고려한 고도정수처리공정 설계가 이루어질 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 사례 정수장 전력설비

사례 연구 정수장은 한전변전소에서 22.9kV 3상4선식 배전선로 2회선을 수전하고 있으며 정전 시에 대비하여 3상 380/220V 75kW의 비상발전기가 설치되어 있다. 설비용량은 2,500kVA로 변압기는 설비동(3Φ 1,500kVA×2대) 및 DAF동(3Φ 1,000 kVA×2대)으로 분리되어 있으며 전력설비 현황은 다음과 같다.

표 1. 전력설비 현황

	현 황
변전소	<ul style="list-style-type: none"> ■ 주 전 원 : A 변전소 a D/L ■ 예비전원 : A 변전소 b D/L
수전용량	<ul style="list-style-type: none"> ■ DAF동 변압기 : 3상 4선식 22.9kV/380-220V 1,000kVA ■ 설비동 변압기 : 3상 4선식 22.9kV/380-220V 1,500kVA

고도정수처리(DAF) 정수장은 응집공정 이후에 침전지 대신에 용존공기부상설비를 운영하고 있다. DAF 설비 중 순환수펌프의 Speed Control을 인버터로 제어하고 있으며 이로 인해 고조파가 발생하고 있고 사무용 PC부하 및 제어설비가 많은 설비동에서도 고조파가 발생하고 있다. DAF 설비와 설비동 전기실의 각 부하들의 고조파 발생 여부를 측정, 분석하여 국제규격(IEEE)에서 제시하는 기준값 만족여부를 검토하고 기준을 상회할 경우 적절한 저감대책이 필요하다.

2.2 고조파 측정 방법

고조파 발생량의 국제기준(IEEE-std 519) 만족 여부를 판단하기 위해 최대수요전류를 기준으로 고조파 함유량을 계산하는 TDD를 적용하여 정확한 분석을 하였고, 개별 부하특성에 맞는 고조파 대책을 세우기 위해 각각의 MCC에서 전류THD를 분석하여 부하별 전력품질 특성

을 분석하였다. 그리고 고조파발생으로 인해 변압기 내량에 미치는 영향을 검토하여 안정적인 운영이 가능한지 검토하였다.

측정에 사용된 전력품질분석기는 HIOKI 3196을 사용하였으며 측정 항목은 전압THD, 전류THD, 부하불평형 등이다. DAF동 전기실 부하는 주·야간 부하 특성이 유사하므로 주간 1회 측정하였고, 설비동 전기실 부하 중 관리본관은 주·야로 나누어 측정하였다. 전류 TDD는 설계자료와 측정값을 이용하여 계산하였으며 그림과 같이 3개 지점에서 계산하였다.

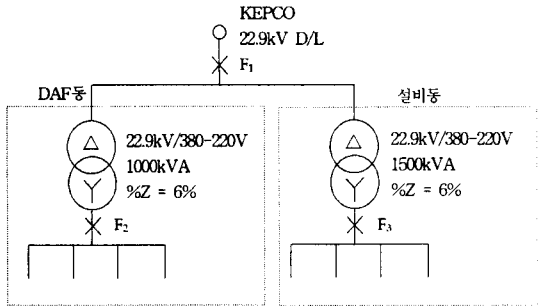


그림 1. 전류TDD 계산 지점

전력간선계통도 및 측정 지점

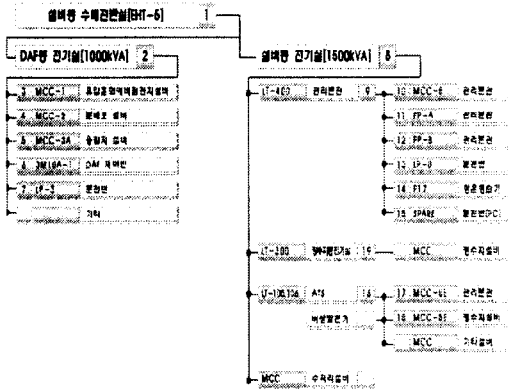


그림 2. 전력간선 계통도 및 고조파 측정 지점

2.3 고조파 측정 결과 및 분석

그림3 ~ 그림10은 전력품질분석기(HIOKI 3196)를 이용하여 전력품질 특성을 측정된 자료의 일부이고 표3 ~ 표5는 측정된 데이터를 요약한 자료이다.

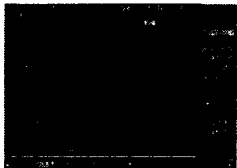


그림 3. 전력 파형

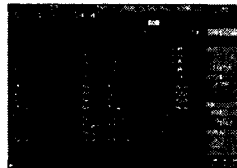


그림 4. 전력 측정

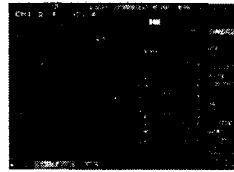


그림 5. 전압전류 벡터도

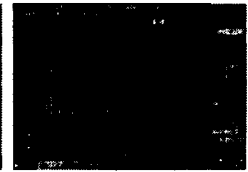


그림 6. 전압전류 스펙트럼



그림 7. 전압 THD

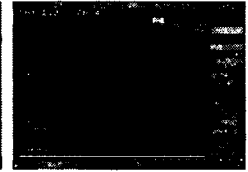


그림 8. 각상 전압 파형

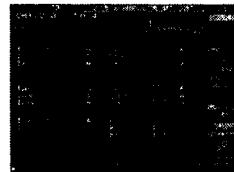


그림 9. 각 상 전류 THD

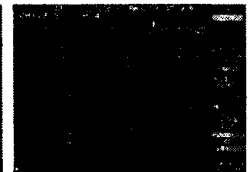


그림 10. 각 차수 전류 THD

표 2. F1, F2, F3 고조파전류(TDD) 분석결과

구분	부하계대전류(I ₁)	측정값비(HIOKI 3196)					TDD 규제값 (%)	판정
		신전류(I ₁)	기본과 전류(I ₁)	고조파 전류(I _n)	[THD (I _n /I ₁) (%)	[TDD (I _n /I ₁) (%)		
F _{1(R)}	9.9	9.5	9.48	0.62	6	6.3	8	만족
F _{2(S)}	183.7	198	192.96	44.59	23	24.16	12	초과
F _{2(S)}	183.7	153	146.13	45.33	31	24.68	12	초과
F _{3(R)}	419.1	460	456.72	54.83	12	13.08	8	초과
F _{3(S)}	419.1	156	119.45	100.34	31	23.94	8	초과

표 3. 전력품질분석 결과표(1)

구분		MAIN							설비동
		1	2	3	4	5	6	7	
		EHTS	LT-201	MCC-1	MCC-2	MCC-3 A	3M10 A-1	LP-3	
전압	kW	350	101	5.8	1.3	10.9	82	3.3	245
	kVA	360	111	6.2	1.4	15.6	89	3.5	248
	kvar	100	45	1.5	0.6	11.2	35	0.02	40
	PF	0.96	0.91	0.93	0.91	0.69	0.92	0.94	0.99
	R	23kV	221	217	219	219	380	219	217
전압	S	23kV	221	218	220	220	380	220	218
	T	23kV	220	217	219	219	380	219	216
	N	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vavg(V)	23kV	221	228	219	219	379	219	217
	Wmk(%)	0.3	0.13	0.1	0.17	0.18	0.11	0.13	0.13
THD (%)	R	0.8	1.9	1.9	1.9	1.7	1.7	2.0	0.9
	S	0.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.7	2.0	1.0
	T	0.8	1.8	1.8	1.8	1.6	1.7	1.8	1.0
	N	-	-	-	-	-	-	-	-
	R	9.5	198	24	6	24	139	15	460
전류	S	9.6	153	2	0	25	134	1	334
	T	8.1	130	3	0	23	133	0	349
	N	-	54	22	6	24	-	15	156
	Iavg(A)	9	167	10	2.1	24	135	5	381
	Ihmk(%)	11	12	80	90	4	3	99	10
THD (%)	R	6	25	3	10	100	28	5	12
	S	6	31	19	71	104	29	7	9
	T	7	31	18	27	96	29	384	6
	N	-	5	4	10	330	-	5	84
	주요 부하		- DAF동 전기실 - 설비동 전기실	DAF 설비	- 초기 혼화원프 -삼수원프 -난방기	분배조 원부 -생물림 원프	용집기 제어반 -DAF 제어반 혼화원프	-DAF 주제이 반	DAF동 본관반

표 4. 전력품질분석 결과표(2)

구분	설비동								
	9		10		11		12		
	LT-400		MCC-8		PP-A		PP-B		
	관리본관 배전주반	아간	관리본관 주반	아간	관리본 관 주반	아간	관리본 관 주반	아간	
전력	kW	92	41	26	17	21	0	28	2
	kVA	93	42	27	18	22	2	29	3.7
	kvar	10	5	7.8	5	3	2	4	2.5
	PF	0.99	0.99	0.96	0.94	0.99	0	0.99	0.54
전압	R	213	215	217	215	217	215	217	214
	S	220	216	222	216	222	216	222	217
	T	215	215	218	214	219	215	219	215
	N	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vave(V)	216	215	219	215	219	215	219	215
THD (%)	R	2.4	1.7	2.3	1.7	2.4	1.7	2.3	1.8
	S	2.2	1.7	2.1	1.7	2.2	1.6	2.1	1.7
	T	1.7	1.3	1.7	1.2	1.7	1.2	1.7	1.3
	N	-	-	-	-	-	-	-	-
전류	R	203	38	61	24	12	3.2	78	3.8
	S	112	87	32	27	37	3.0	32	2.9
	T	116	69	30	31	48	2.8	23	10.6
	N	94	47	39	15	33	1.5	52	9.3
	Iave(A)	143	65	41	27	32	3	45	6
	Iunb(%)	21	21	22	14	33	3	39	46
THD (%)	R	11	29	32	49	7	18	3	19
	S	11	6	27	15	11	17	5	17
	T	7	7	19	16	5	15	17	36
	N	42	40	86	306	14	218	12	49
주요부하	-냉난방 -설비실 -제어실 -사무실	-설비실 -관리본 관본전반 -식당 -운수기	-설비실 본전반	-냉난방 설비			-냉난방 설비		

표 5. 전력품질분석 결과표(3)

구분	설비동							
	13	14	15	16	17	18	19	
	LP-8	P17	SPARE	LT-105	MCC-8E	MCC-5E	LT-300	
	본전반	시험실	본전반	ATS 부하	관리본관	정수저장 비	정수저장 비	
전력	kW	8.8	-	15	51	9	24	28
	kVA	9.2	-	16	61	12	26	28
	kvar	0.5	-	3.8	21	8.5	9	0.1
	PF	0.95	-	0.92	0.94	0.72	0.93	0.99
전압	R	218	215	214	216	216	215	214
	S	222	220	220	217	216	217	216
	T	219	216	215	215	217	215	215
	N	-	-	-	-	-	-	-
	Vave(V)	220	-	216	216	217	216	215
THD (%)	R	2.6	-	2.4	1.1	2.5	1.1	1.0
	S	2.2	-	2.2	1.1	2.3	1.0	1.1
	T	1.7	-	1.8	1.0	2.3	0.9	1.0
	N	-	-	-	-	-	127	121
전류	R	6	37	31	99	28	46	62
	S	14	24	20	106	27	35	39
	T	22	37	24	77	2	38	28
	N	16	28	23	51	38	13	33
	Iave(A)	14	33	25	94	19	40	43
	Iunb(%)	35	14	15	9	38	10	23
THD (%)	R	80	54	51	24	82	10	3
	S	18	38	47	18	93	8	10
	T	14	14	30	23	10	7	1
	N	13	199	380	169	128	48	15
주요부하	-수해실 본전반	-평온방수기 UPS	-사무실 PC부하	-LT105,106 -정수저장비 -제어실 -인물부일설비 -DAF설비	-관리본관 본전반 UPS	-감원승수 펌프 -정수처리 펌프 -UPS	-역세량프 로펌프 -정수처리 본전반	

전력품질 측정 결과 3상비선형 부하가 집중된 DAF동 설비와 단상비선형부하와 선형부하가 조합된 설비동 모두 국제 기준을 크게 초과하는 고조파가 발생되고 있고, PCC 지점의 고조파도 전류TDD 6.3%로 국제 기준값 8%에 근접하고 있어, 향후 부하 변동 시 이에 대한 검토가 필요하다. 단, PCC 지점의 전압THD는 1%이하로 한전에서 제시하는 기준을 만족하고 있다.

정수장의 MCC별 전류THD측정 결과 비선형 부하로만 구성된 MCC에서는 고조파가 높게 측정되었으며, 인버터 등 3상 부하를 가지고 있는 MCC와 PC, UPS등 단

상 비선형부하를 가진 MCC의 중성선 전류 특성이 구별되었다. 또한, 선형부하가 혼합된 MCC에서는 부하불평형으로 인해 고조파의 발생이 가중되고 있다.

일반적으로 고조파 제거를 위해서는 능동형 필터를 고조파 발생기기의 전원 측에 설치하는 방법이 가장 효율이 좋다. 이 방법은 한전 및 타 수용가와와의 영향을 방지하는데 효과가 있으나 공통결합점(PCC) 부근에 설치 시에는 설비 용량의 증가로 고조파 제거설비 비용이 과대하게 된다. 또한 고조파 발생원에서 PCC지점의 필터까지는 고조파의 영향을 받게 되므로 수용가 내부의 설비 보호에는 한계가 있다. 따라서, 본 연구에서는 개별 부하 특성을 분석하여 부하별 대책을 적용하였다.

표 6. 부하 특성에 따른 고조파 대책

구분	고조파 발생원	측정 결과	대책
DAF동	-DAF설비	-전류 TDD 24%	-수동필터
설비동 주요부하	LT-400	-냉난방설비 -설비실 설비 -제어실 설비 -사무실 부하	-중성선 THD42% -주아간부하 변동 -중성선 영상분 고조파 제거 장치
	LT-105	-DAF 설비 -UPS -관리본관 본전반	-중성선 THD 169% -중성선 영상분 고조파 제거 장치
	LT-300	-단상 선형부하	-부하불평형 23% -단상 선형부하 재분배

고조파 발생부하에 대한 설계 시 부하특성을 고려하여 분배를 하면 수동필터와 중성선 영상분 저감장치만으로도 고조파 관리가 가능하여 Active Filter사용으로 인한 비용을 절감할 수 있다.

정수장내의 MCC별 부하불평형을 측정한 결과 3상 부하를 사용하는 MCC는 부하불평형률이 낮았으나, 단상부하를 사용하는 MCC에서는 부하불평형률이 높았다. 이는 부적절한 부하분배와 신설 기기 결선 시 순환적인 R상 이용으로 인한 것으로 설계와 운영 시 고려해야 할 사항이다.

사례연구 정수장에서 실측된 고조파를 통해 계산된 K-factor를 적용하여 변압기 용량을 산정한 결과 설계값의 47%~64%로 이용율이 감소되었으나, 설계 시 수용율의 과다 적용으로 현재의 부하사용량이 설계값의 20%내외가 되어 변압기 용량 과대로 인한 손실 비용이 발생하고 있다. 따라서, 새로운 공정에 대한 정확한 설계를 위해서 새로운 고조파 특성 및 수용율에 대한 실측 자료 분석이 반드시 필요한 것으로 나타났다.

3. 결 론

최근 전력설비의 디지털화와 부하설비의 고기능 적용으로 정수장의 고조파 환경도 변화하고 있으나 이에 따른 정확한 실측 자료가 없어 전력 시스템 설계는 과거의 기준을 적용하고 있다.

DAF공정 정수장의 전력품질을 분석한 결과 공정의 특성상 인버터 설비와 원격제어를 위한 각종 제어설비의 증가로 3상비선형, 단상비선형 부하 특성을 가진 고조파들이 발생하고 있다.

본 연구 결과는 실측에 의한 데이터 분석으로 기존의 설계가 어떤 문제를 갖고 있는지 비교할 수 있는 자료가 될 것이며, 이와 같은 자료가 누적 될 경우 새로운 고조파 환경에 대한 설계 기준적립에 활용이 가능할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국수자원공사 이은춘, "고조파 및 Surge로부터 수도전기설비 보호방안(2차년도), p169-172, 2003.12
- [2] 한국수자원공사 안효원, "DAF 공정을 적용한 정수처리 기술", 도서, p281-290, 2006.1
- [3] S. Kawamura, "INTEGRATED DESIGN AND OPERATION OF WATER TREATMENT FACILITIES", p189-193, 2000