

집적정보통신시설 전원 고조파 분석 및 다상화 효과 고찰

(Analysis of Harmonics Waveform Distortion for IDC(Internet Data Center) Power System and effect of multi-Phase)

서정석* · 이상중 · 이희영 · 박정규

(Jeoung Suk Seo, KT-IDC · Sang Joong Lee, Seoul National University of Technology ·

Hee-young Lee, KT. Joung-kyu Park, KT-IDC)

요 약

정보화 사회가 급속히 확산됨에 따라 국내의 비즈니스 환경 역시 급변하고 있다. 또한 분명한 서비스 품질 향상과 신뢰성의 확보를 위하여 국내의 IDC 사업자는 SLAs(Service Level Agreements) 제도를 시행 또는 추진하고 있다. 인터넷 서버, 계통 및 UPS등에 의한 전원품질은 인터넷 서비스 품질을 결정짓는 주요한 요소의 하나가 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 국내 IDC의 고조파 실태를 측정 분석하였고, 다상화(Multi-Phase)를 통한 고조파 저감 효과를 검증하였다.

Abstract

As Information society has expanded in large scale. In order to improve the reliability and Qos(Quality of service), domestic IDC(Internet Data Center) has adopted or will adopt the SLAs(Service Level Agreements). The power quality of internet hosting server unit, power system and UPS is very important for better internet service. Therefore, the higher reliability of power system is imperative for satisfying SLAs. This paper presents the status measurement of domestic IDCs harmonics and illustrates the reduction effect of harmonics through the multi-phase.

Key Words : Internet Data Center, Ups, Distortion Ampere-Voltage, Power Distribution Rack,

1. 서 론

최근 IDC사업자는 인터넷 집적 정보통신시설의 품질보증계약의 하나인 SLAs, 즉 서비스 품질보증 체결로 고객에게 신뢰성 확보에 노력하고 있으며, 이는 미국 통신사업자를 중심으로 IT(정보기술) 전반에 도입 시행 되고 있다. 이와 함께 국내 산업계에도 점차적으로 도입이 증가 하는 추세이며, 정보통신부는 2002년 8월부터 세계 최초로 초고속 인터넷 서비스 분야에 SLAs를 시행한다고 밝힌바 있다. 이러한 품질의 중요성을 고려할 때 초기의 무정전 개념에서 현대는 고품질의 전원을 이용한 인터넷 서비스 품질의 신뢰성과 안정성이 절실히 요구되고 있다. 또한 국내 통신용 전원의 고조파에 대한 연구가 미흡한 상태이며, 실시간 고조파에 대한 관리 또한 이루어지지 않고 있다. 따라서 IDC의 주요 부하체인 인터넷서버 장비의 고조파 발생과, 계통, 전원공급장비인 UPS등에서 발생하는 고조파 발생의 분석이 필요하며, 이의 분석과 함께 개선의 한 방법으로 다상화를 실험을 통하여 구현함으로써 고조파 저감 효과를 증명하였다.

2. IDC 전원 시스템의 특성

전력계통의 사고로부터 주요 인터넷 시스템을 지키기 위해서는 무엇보다도 무정전 시스템의 신뢰성 확보와 안정성, 그리고 경제적인 운영의 마인드가 필요하다. 인터넷 서버는 3~10ms이내의 무순단 조건을 만족해야 하며 전원시설 구성 측면에서도 수전방식, 배전방식, 백업전원을 고려한 전원시스템 구성, 운용의 자동화, 무보수화, 보수의 고도화, 부하운용의 탄력성 및 경제성등 종합적인 검토를 바탕으로 정보통신 기기와 매치 되는 전원 시스템 구성이 필수적이라 할 수 있다. 서버의 특징 중 하나는 순시전압강하, 순간정전이 10ms이상의 경우 CPU의 실행중인 data는 상실하게 된다. 이를 보완하기 위하여 정전감지 신호발신 장치가 내장된 서버의 경우 일정시간 후 자동복귀 되고 실행중 data는 메모리에 일시 저장기능을 갖는 서버 종류도 있다.

2.1 IDC의 UPS 전원시스템 구성

IDC 전원의 신뢰성 확보를 위하여 다양한 방법으로 UPS 시스템 구성이 연구 및 적용되고 있다. 이러한 측면에서 최근 국내, 외에서 연구에 초점이 되고 있는 것은 고조파의 최소화화 안정성 그리고 신뢰성이 고려된 시스템 구성을 추구하고 있다는 것을 알 수가 있다. 예를 들어 대형 인터넷서버 1차측에 입력전원을 이원화 또는 이중화를 채용하고 STS(Static Transfer Switch)를 통하여 무순단 전원을 공급하는 것과 UPS 1차 또는 2차측에 절연변압기(Isolation transformer)의 채택이 특징이라 할 수 있다. 이는 고속스위칭 소자를 이용한 무순단(4ms이내) 절체 기능과 1차 또는 2차측에 1:1 절연 변압기를 사용함으로 2차측 발생 고조파의 1차측 유입 방지 효과를 기대할 수 있다. 이는 고조파 전류발생의 저감을 위한 기본적인 저감책의 하나로 3상 브리지에서 입력 교류측과 출력 직류측에 리액터를 설치 하는 원리와 같은 방법으로 5차 고조파를 예로 들면 리액터가 없을 때는 65%, 교류측에만 설치 하였을 때 38%, 직류측에 설치 하였을 때 30% 교류, 직류측 모두 설치 하였을 때 28%로 고조파전류는 저감 하게 된다. 다중펄스(12-Pulse) 필터의 고조파 감쇄율은 5차, 7차, 9차 DA(%) $\approx 10 \sim 12(\%)$ 이며, 11차,13차,15차.....는 거의 효과가 없었다. 이의 원리는 정류기 입력전류는 델타-델타측에서는 단순한 장방형파 이나, 델타-와이 측에서는 30도의 위상차에 의한 전류파형이 되어 양자를 합치면 5차, 7차 성분을 포함 하지 않는 12펄스의 전류가 되기 때문이다. 위상제어에 의한 고조파 감쇄율은 5차, 7차, 17차, 19차(6kt1)에서 DA(%) $\approx 4 \sim 5(\%)$ 까지 감쇄할 수 있다. LC필터는 5차의 고조파 제거에 유용하며, 부분적으로 7차,11차,13차의 고조파를 다소 억제할 수가 있다. 특히 120°의 펄스인 경우 3차는 "0"으로 특정 고조파를 제거 할 수 있다. 현재 일반적인 LC필터의 모델 및 필터 유무에 따른 특징은 다음과 같다. LC 필터 유무에 따른 종합 고조파 전류(DA%)의 실측결과는 부하의 실효전류 22(%)의 경우에서 LC필터를 설치 하였을 경우 저부하 운전의 조건에는 대략 평균 50(%)정도 고조파 저감율을 보였으나, 기본적으로 고조파 필터의 설계는 100(%)의 부하를 고려하여 설계되는 것을 감안할 때 큰 효과는 없다고 할 수 있다. 왜냐하면 LC 필터의 경우 저부하 운전시 LC충전 전류의 과다로 인한 손실의 발생, 직렬리액터의 소손, 콘덴서 누액 등의 문제점이 발생될 가능성이 있으므로 대용량에서는 부적절 하다고 볼 수 있다[1~3].

2.2 IDC Server의 고조파 측정

2.2.1 측정방법

IDC 네트워크 시설 및 계통의 고조파 측정은 개별 유닛과 이들 개별 유닛에 전원을 공급하는 전원 분전반(PDR) 그리고 전원 분전반에 입력 전원을 공급하는 UPS까지 시설별, 계통별로 고조파의 특성을 측정 분석함으로써 IDC에서 가장 많이 발생하는 고조파와 그 함유량을 측정하여 분석하였다.

2.2.2 측정기 제원

측정계기는 Digital Power Analyzer(Italy)로서 측정불확도(정확도)는0.5%(표준계측기(Rotek Inc USA Model 8000의 비교시험)의 분석기를 사용하였다. 또한 512KB의 메모리 pack을 이용하여 발생 고조파에 대한 변화량을 정밀 측정할 수 있다

2.2.3 측정방법 및 결과

측정장소의 선정은 집적정보통신시설 보호지침(2001.9 정보통신부 고시)제8조에 의한 집적정보통신시설 기준 조건에 근접되는 국내 대형 IDC를 선별하여 선정하였으며, 측정위치는 서버유닛(A~C), 계통(D), UPS(E)등으로 구분하였고 실 부하운용 조건에서 고조파를 정밀 측정하였다. 측정 위치는 그림 1과 같으며 측정에 대한 결과는 다음과 같다. 그림 1의 "A"는 네트워크 스위치중 기가스위치 라우터의 측정치로서 3차가 대부분이며, 전류 왜형율(DA(%))는 12.26(%, 전압왜형율(DV(%))는 3.38(%)로서 기준치를 넘고 있다. 그 외 측정치는 다음과 같다.

가. "A" (GSR:기가스위치라우터)

Server Name	시설명	Rating(V/A)	DV(%)	DA(%)	Neutral DA(%)
GSR	Cisco2000s	200-240V/6A	3.38	12.26	12.26

나. "B" (중계 S/W)

Server Name	시설명	Rating(V/A)	DV(%)	DA(%)	Neutral DA(%)
중계 S/W	Blackdiamond	200-240V/12A	3.21	24.14	24.88

다. "C"(가입자서버)

측정번호 (No)	Server (Name)	Rating (V, A)	DV (%)	DA (%)	DA(%) (Neutral)	다량발생 지수
1	Blackdiamond (1U)	200-240V 15A(4.9A)	4.05	17.54	17.54	H3
2	Blackdiamond (2U)	200-240V 15A(6.5A)	2.83	0	0	0
3	HP Netserver LT8000r U3	200-240V 3.9A	3.64	31.12	31.12	H3
4	Cisco system	200-240V 2.1A	2.42	31.90	31.90	H3
5	ENTERPRISE 5500	200-240V 24A	3.14	40.95	40.95	H3
6	ENTERPRISE 3500	200-240V 12A	2.88	33.77	33.77	H3
7	PDR (그림 3.11의 "D") (부하율:14.7%)	380/220V 29.4A	R : 2.66 S : 1.26 T : 0.50	R : 21.67 S : 19.81 T : 15.23	90.31	H3 : 21.92 H5 : 3.28 H9 : 3.28
min			0.50	0	0	
max			4.05	40.95	90.31	H3

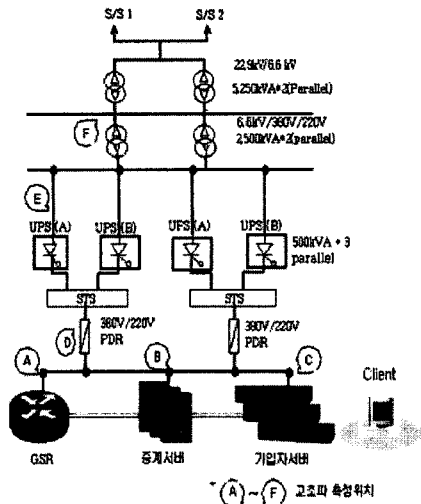


그림 1. IDC 네트워크 구성 및 고조파 측정 지점

라. "D" (PDR : Power Distribution Rack)

분전반(Power Distribution Rack)이란 각 인터넷 서버에 직접적으로 전원을 공급하는 분전반으로서 3상4선식 380V-220V 200A 60회로(NFB 30A)인 폐쇄 분전반으로 구성되어 있다. 분전반별 실효전류는 각각 평균 50~160A의 부하전류를 보이며, 실제 운용상에서 측정되었으므로 다소 오차가 있을 수 있다. 그림 2와 같이 고조파 전류는 3차가 15.52~22.04(%)로 가장 많은 함유량을 나타냈고, 특히 7차, 11차의 고조파 전류는 거의 존재하지 않는 것으로 나타났다. 전류 왜형율(DA(%))은 16.34~21.77(%)로 IEEE 519 Std와 비교시 기준치의 5.5배의 초과된 고조파가 발생되었고 특히 Neutral Line의 고조파전류 함유량이 상당히 발견되어 이의 개선을 위한 내량 보완이 필요함을 알 수 있다[4~6].

마. "E" (UPS)

1) Rectifier Harmonics(Input)

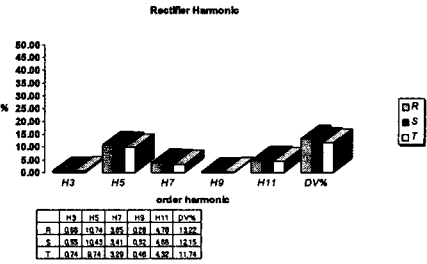
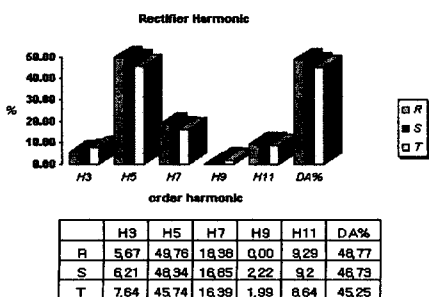


그림 2. 정류기 고조파 전압,전류 측정 결과

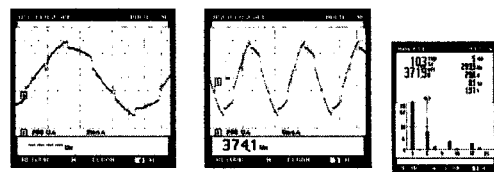
그림 2는 UPS 정류기의 입력측 고조파 측정(DA(%), DV(%))실측 결과를 나타낸다. UPS용량은 380V 500kVA로서 정류부 1차측의 고조파 특성을 나타낸다. 측정결과는 고조파 전류에서 5차가 45.74 ~ 49.76(%)로 가장 많은 분포로 나타났고, 7차 16.39 ~ 18.38(%), 3차 6.21 ~ 7.64(%)로 나타났으며 11차는 8.64 ~ 9.29(%)로 주로 나타나 주요 관리대상 조파가 5차임을 알 수 있다. 고조파 전압 역시 기준치를 5(%)로 하였을 때 최소 2.34(%), 최대 2.64(%)까지 증가된 유해 고조파 전압이 흐르고 있음을 알 수 있다.

2) Inverter Harmonics(output)

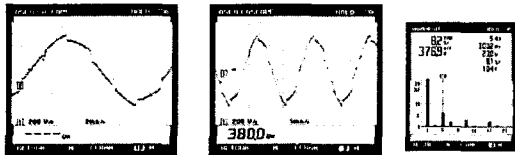
인버터부의 고조파 특성은 그림 2.11과 같으며, IGBT 스위칭 소자를 사용함에도 DA(%)는 L1이 43.78(%), L2가 42.79(%), L3이 64.62(%)로 정류부보다 10.23(%)정도 적은량의 고조파 전류가 흐를 뿐이며, DV(%)는 정류부보다 38.07(%)가 적은 고조파 전압으로 측정되었다. 즉 SCR-IGBT의 조합으로 구성된 UPS에서 인버터부(IGBT)보다 정류부(SCR)에서 고조파 성분의 유출이 심각한 것으로 나타났다.

3) UPS Harmonics

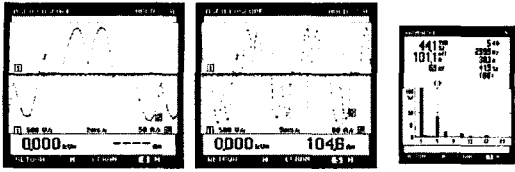
UPS의 측정은 부하율 22(%)의 인터넷 서버 운용조건에서 1차측에서 직접 측정하였으며, UPS의 LC Filter 개로시와 폐로조건에 대한 입력전류 파형을 측정 분석하였다[7~9].



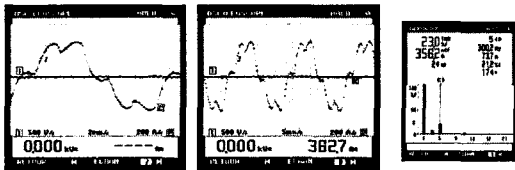
(a) 입력측 고조파 전압(LC 필터 없음)



(b) 입력측 고조파 전압(LC 필터 있음)



(c) 입력측 고조파 전류(LC 필터 없음)



(d) 입력측 고조파 전류(LC 필터 있음)

그림 3. UPS(500kVA)의 필터 유무에 따른 입력특성

LC Filter 개로 조건(그림 3의(a), (c))에서 고조파 전류왜형율(DA(%)) L1 33.72%, L2 34.38% L3 33.72%)으로 측정되었고, LC Filter 개로 조건에(그림 3의 (b), (c))서는 L1 17.86%, L2 17.69(%), L3 16.20%)로서 저감효과를 최대 52.74% ~ 최소 48.05%)까지 저감효과를 알 수 있다. DV(%)는 LC Filter 개로시에서 L1 10.53%, L2 9.17(%), L3 8.62%)이며, LC Filter 패로시에서는 L1 7.04%, L2 6.08(%), L3 8.62%)로 66.85%~70.53%)까지 고조파 전압을 저감 할 수 있다. 그러나 Reactive power(VAR)는 평균460%) 증가를 함으로서 무효손실이 과대하게 되고, 입력전압이 3.10%~3.50%)정도로 입력측 전압상승의 원인이 되어 많은 문제점이 있는 것으로 분석되었다.

3. 다중화(Multi-Phase) 실험

3.1 변압기 Δ-Δ 와 정류기 6 Pulse

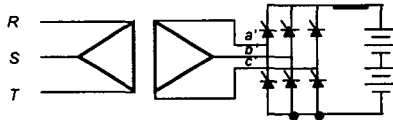


그림 4. 3상 델타-델타 브릿지(6펄스) 정류기 구성

변압기 3상 20kVA Δ-Δ(1대), Δ-(대)와 SCR 정류소자를 Bridge접속한 220VAC/48VDC(2조)를 회로별 구성하여 고조파의 변화를 측정 분석하였다. 그림 4의 구성과 같은 조건에서 실험 측정하였으며, 고조파 전류 파형은 그림 5와 같다.

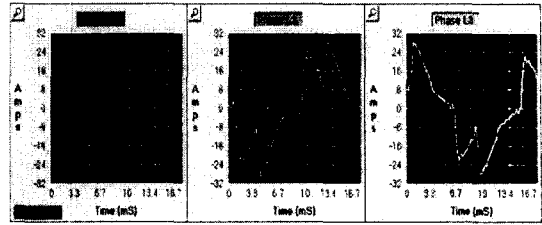


그림 5. 변압기 델타-델타 결선 전류 파형

기본 주파수에 대한 고조파 전류는 3차 6.2%, 5차 28.9%, 7차 16.7%)등으로 나타났으며, 고조파 전류는 5차가 가장 많이 존재하게 되는데 이는 Δ-Δ 결선의 전형적인 결과로 동일하게 확인되었다. 전류왜형율(DA(%))은 각 상(Phase)별 5%~8%), 고조파 전압은 각 상별 3차가 8~14%)로 많은 양이 분포되어 나타남을 알 수 있다. 전압왜형율(DV(%))는 각 상별 11%~20%)로 측정되었다.

3.2 변압기 Δ-Y 와 정류기 6 Pulse

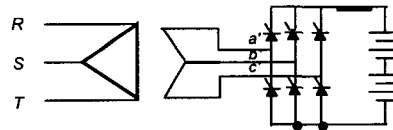


그림 6. 3상 델타-와이 브릿지(6펄스) 정류기 구성

그림 6의 회로로 구성하였을 때 고조파 전류 파형은 그림 7과 같으며, Δ-Δ의 경우와 비교하여 고조파 다량 발생 차수(5차)는 동일 하지만 그 발생량은 Δ-Y에서 많은 증가를 나타냈다. 즉 고조파 전류 3차는 3.33%, 5차 38.33%, 7차 16.65%)등 Δ-Δ와 거의 유사한 고조파 분포를 나타냈으나, 5차만이 다소 증가된 것으로 나타났다. 그 이유는 3상4선식에서 영상 고조파 전류는 각 상의 스칼라 합인 3배의 전류가 중성선에 흐르므로 Δ-Δ 경우보다 다소 증가된 고조파가 발생됨을 확인할 수 있었다. 실측 결과 중성선 전류(Neutral)에서는 각상 스칼라 합의 3배에 전류보다 다소 적은 1.5배~2배정도의 전류가 흐르는 것으로 나타났다.

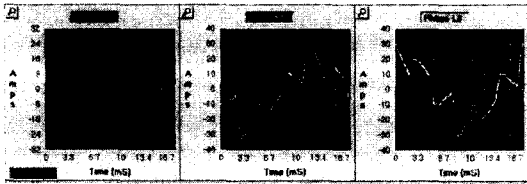


그림 7. 변압기 델타-와이 결선 전류 파형

3.3 변압기의 다상화(12Pulse)

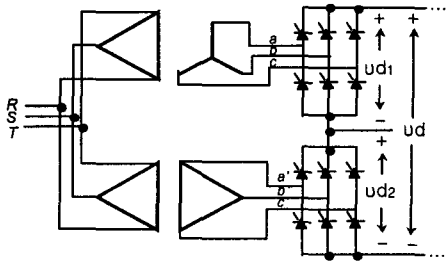


그림 8. 변압기 병렬과 12펄스 구성(다펄스화)

변압기의 다상화와 12 Pulse 시스템 구성(그림8)으로 시험한 결과 고조파 전류 3차는 5(%)~6(%), 5차 4(%)~6(%), 11차 12~13(%)의 결과치가 나타났으며, 전압은 3차 7(%)~13(%), 5차 5(%)~9(%), 7차 2(%)~5(%)로 상당히 감소된 고조파가 나타났음을 확인 할 수 있었다

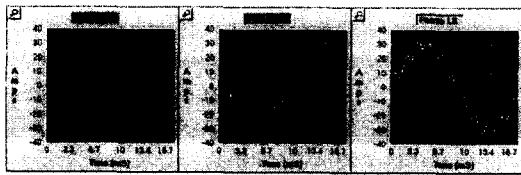


그림 9. 12펄스 전류 파형

3.4 회로 구성별 고조파 전류 측정 스펙트럼

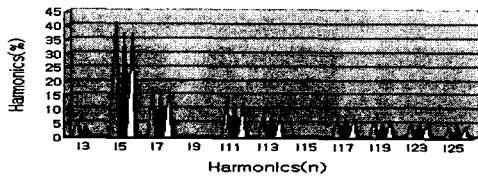


그림 10. 델타-델타 6펄스 고조파 전류 스펙트럼

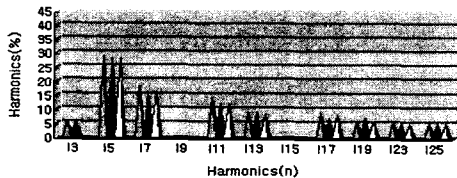


그림 11. 델타-와이 6펄스 고조파 전류 스펙트럼

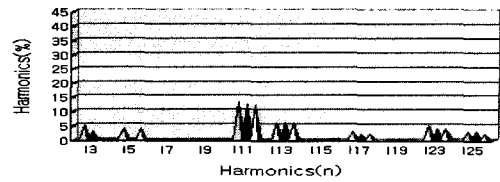


그림 12. 12펄스 고조파 전류 스펙트럼

4. 결론

4.1 IDC 계통별 고조파 측정 및 실험 결과

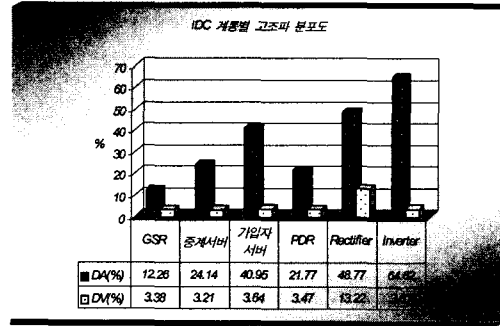


그림 13. IDC 고조파 분석 결과

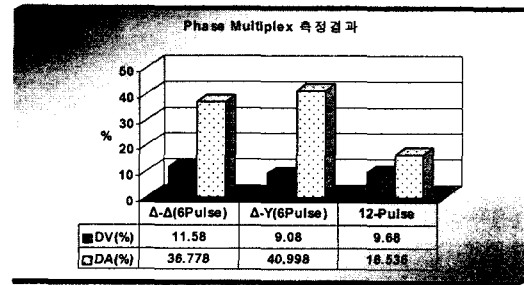


그림 14. 다상화 실험 결과 비교 분석

4.2 실험결과

본 논문에서 IDC 서버 및 전원기기에 대한 고조파 특성을 측정결과 및 저감방법의 분석 결과는 다음과 같다.

- 1) Isolation Transformer 구성을 통해 30.70%의 고조파가 억제되는 효과를 확인하였다.
- 2) IDC용 대용량 UPS의 LC 필터는 실효전류가 정격전류의 50% 이하 경우 1차측 전압증가의 요인이 됨을 확인하였다.
- 3) IDC에서의 고조파 발생 분포는 Server Units 52.30%, 배전계통 14.72%, UPS 32.98%로서 개별 서버 유닛과 UPS의 고조파 개선이 필요함을 확인 할 수 있다.
- 4) 중성선의 고조파 전류과다는 이론치와 같이 1.5배~2배(이론치:3배)로 일치함을 확인했다.

다상화(Multi-Phase)를 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

측정결과에서와 같이 전압왜형을 보다는 비선형 부하에서의 고조파 전류(전류왜형율)의 개선이 필요하며, 특히 서버 유닛과 UPS의 고조파 발생 문제가 심각한 것으로 나타났다. 이는 UPS 설계시 100(%) 부하를 고려한 고조파 필터를 설계 하지만 대부분 현장에서의 운용은 스위칭 소자의 특성을 고려하여 최적 운용율을 50(%)~60(%)으로 규정한 조건에서 고조파 필터의 역할은 기대할 수가 없다는 것이다. 또한 특정 고조파(3차,5차,7차)를 감쇄시키기 위해서는 무엇보다도 3상4선식에서는 부하 평형 유지가 중요하며, 또한 Neutral Line의 고조파 전류 함유량이 기본과 전류보다도 평균적으로 1.5 ~ 2배정도 많으므로 불평형, 발열등 많은 문제점을 안고 있다고 할 수 있다. 따라서 고조파 내량의 강화를 위한 설계 조건이 필요하며, 이는 고조파 전류에 의한 소손을 최소화 하는 방안이 될 수가 있다. 또한 현저한 고조파 저감 효과를 확인할 수 있었으며, 특히 영상고조파의 저감이 현저히 저감됨을 확인할 수 있었다. 향후 고조파가 통신시스템에 미치는 영향(TIF)등 전문적이고 지속적인 현장 연구 수행이 필요하다고 사료 된다.

참 고 문 헌

- [1] Rossi,J.C, "Experimental Analysis Harmonics Distortion Currents of Double-Exited Three-Phase Transformer".IEEE Vol.10,No,1,Feb,2000.
- [2] John.J.Grainger, William,D, Stevenson,Jr, "Power System Analysis", pp 330~333, 1994.
- [3] John G. Kassakian, Martin F. Schlecht, George C. Verghese, Massachusetts Institute of Technology, "Principle of Power Electronics", pp48~51, 1991.
- [4] IEEE 519-1992, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System",1993.
- [5] IEC 146-4 and IEC 146-5
- [6] IEC 62040(EN62040)-1-1&2
- [7] W.Mack Grady, Surya Santoso,"Understanding Power System Harmonics" IEEE Power Engineering Review, pp 8~11, November 2001.
- [8] 한국통신연구개발단,"UPS 운용 매뉴얼" 1992.
- [9] J.R.Donnalley, General Electric Company, "SCR manual, pp. 247~254, 1978.