JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 18, No. 8 : 1854~1860 Aug. 2014

역률보상회로를 이용한 이동통신 중계기의 에너지 절감에 관한 연구

임병철[1] · 윤원식[2*]

Study on the energy savings in the mobile communication repeater using a power factor correction circuit

Byoung-chul Lim[1] · Wonsik Yoon[2*]

[1]R&D Center., FRTEK CO.,LTD. Anyang-Si, Gyeonggi-do, 431-755, Korea
[2*]Department of Electrical and Computer Eng., Ajou University, Suwon 443-749, Korea

요 약

본 논문에서 이동통신 중계기를 위한 에너지 절감방법에 대한 연구를 수행하였다. 현재 실제 현장에서 서비스하고 있는 DB(Dual Band)소형 중계기에 있는 SMPS(Switching Mode Power Supply)에 PFC(Power Factor Correction)를 추가하여 전력소모를 감소하였으며, 이를 실제 구현하여 검증함으로써 실증된 결과를 도출하였다. 실증결과 장비 1식당 약 38.9% 피상전력 개선효과를 확인하였으며, 이를 연간으로 환산해 보면 약 230.43kWh의 에너지 절감효과가 있다.

ABSTRACT

In this paper, the energy saving on mobile communication repeater is studied. DB(Dual Band) small repeater, which is currently used in the field for indoor coverage, is adopted as a test unit. For reducing the power consumption, PFC (Power Factor Correction) is included on SMPS (Switching Mode Power Supply) of the DB small repeater. The test results show that approximately 38.9% of the power consumption is reduced comparing with the repeater without PFC. It means that approximately 230.43kWh per unit can be saved annually.

키워드 : 이동통신 중계기 , 스위칭모드 전원공급장치, 역률보상, 피상전력, 에너지 절감

Key word : mobile communication repeater, switching mode power supply, power factor correction, apparent power, energy saving

접수일자 : 2014. 06. 13 심사완료일자 : 2014. 06. 23 게재확정일자 : 2014. 07. 10

* **Corresponding Author** Wonsik Yoon (Email:wsyoon@ajou.ac.kr, Tel:+82-31-219-2371)
Department of Electrical and Computer Eng., Ajou University, Suwon 443-749, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.8.1854 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근 몇 년 동안 전 세계적인 화두로 환경문제, 저탄소 배출, 에너지 절약 등이 대두되었다. 우리나라는 2009년 12월 덴마크 코펜하겐에서 이상기후 방지를 위한 전 세계적인 차원의 기후협약을 체결하였고 온실가스 배출량 30% 감축목표를 제안하였다. 이후 전 세계적으로 모든 분야에서 온실가스를 줄이기 위한 많은 연구와 노력을 해오고 있으며, 우리나라 역시 정부가 주관이 되어 저탄소 녹색성장이라는 목표를 설정하고 관련 조직구성 및 관련 법률제정 등 많은 노력을 해오고 있다. 이에 IT(Information Technology) 분야에서도 에너지절감을 위한 연구를 활발히 진행하여 왔으며, Green IT라는 신조어는 이미 낯설지 않은 전 세계적인 화두가 되었다[1-5].

IT 분야 중에서 대표적인 한 분야가 이동통신 서비스 및 장비 분야이며, 우리나라는 전 세계가 인정하는 이동통신 서비스 및 장비에 관한 기술력과 노하우를 가지고 있다. 또한 이동통신 서비스를 위한 장비분야 중에서도 서비스 커버리지 확장 및 음영지역 해소를 위한 이동통신 중계기는 전 세계적으로 대부분의 이동통신 서비스 사업자가 채택하여 운용중에 있으며, 그 동안 많은 기술적인 발전과 시장의 성장을 이루어 왔다[6, 7].

표 1은 국내 이동통신 서비스 사업자별 주파수 사용현황 및 서비스 현황으로 최근 LTE(Long Term Evolution) 서비스를 도입하면서 경쟁적으로 전송속도를 높이기 위해 서비스 사업자간 많은 경쟁과 노력을 하고 있는 상황이며, 이에 CA(Carrier Aggregation) 서비스 또한 경쟁적으로 도입하고 있는 상황이다. 이는 여러 개의 주파수 대역을 동시에 사용하여야 하는 Multi Band/Multi Services로 진화하고 있음을 알 수 있으며, 이동통신 중계기 또한 Multi Band/Multi Services를 지원하는 고출력 중계기로 진화하고 있다. 따라서 중계기가 Multi Band/Multi Services를 지원하기 위해서는 그만큼 소모되는 전력 또한 증가할 수밖에 없으며, 탄소배출량이 증가하고 운용비용 또한 증가한다[8-12].

이처럼 이동통신 서비스에 있어 중요한 역할을 담당하고 있는 이동통신 중계기는 최근 상기와 같은 이유로 에너지 절감에 대한 이동통신 서비스 사업자의 요구가 증가하고 있으며, 이에 따른 연구 역시 활발하게 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이동통신 중계기에 현실적으로 적용 가능한 효율적인 에너지 절감방식을 제안한다.

표 1. 국내 이동통신 서비스 사업자별 주파수 보유현황
Table. 1 Domestic usage of frequencies by mobile service providers

구분	KT	SKT	LGU+
800M	0 (미정)	0 (CDMA/LTE)	0 (LTE)
900M	0 (LTE)	-	-
1.8G	0 (LTE)	0 (LTE)	0 (CDMA)
2.1G	0 (WCDMA)	0 (WCDMA)	0 (LTE)
2.3G	0 (WiBRO)	0 (WiBRO)	-
2.6G	-	-	0 (LTE)

출처 : 뉴데일리경제 2013.12.31일자

본 논문의 내용은 다음과 같다. 2장에서 연구의 범위 및 방향을 제시하고, 실 제품에 역률보상회로를 적용한 에너지 절감방식에 대해 기술하며, 3장에서는 에너지 절감효과에 대한 성능평가 결과를 제시한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 역률보상회로를 적용한 에너지 절감방식

2.1. 연구범위 및 방향

이동통신 중계기의 에너지 절감 효과는 중계기에서 소모되는 전력 사용량 감소와 직접적인 연관이 있으며, 본 논문에서는 중계기의 SMPS에 PFC를 적용함으로써 역률개선을 이루고 이로 인하여 피상전력 감소로 에너지 절감을 이루고자 한다[13, 14].

본 방식에 대한 세부적인 연구방식은 다음과 같다.

- ▣ 이동통신 서비스 사업자별 중계기 채택현황 및 SMPS에 PFC 적용 현황 조사
- ▣ 연구모델 선정 및 SMPS 주요 규격 조사
- ▣ 선정 모델의 SMPS와 호환 가능한 PFC 회로가 내장된 SMPS 제작
- ▣ 선정 모델에 PFC 미적용 SMPS와 PFC 적용한 SMPS를 교체하면서 주요 성능비교시험을 통해에너지 절감 효과 검증

본 논문에서는 이동통신 중계기의 SMPS에 PFC 회

로를 추가함으로써 개선되는 에너지 절감효과를 분석하고자 한다.

첫번째 단계로 표 2과 같이 2013년도 기준으로 국내 이동통신 서비스 사업자별 주요 중계기 사용현황 및 PFC 적용여부를 직접 조사하였다.

표 2. 국내 이동통신 서비스 사업자별 중계기 사용현황 조사결과
Table. 2 Domestic mobile service provider by using a repeater Survey Results

이통사	구분	제품명		PFC 적용여부
KT	광중계기	WaLTS	WCDMA+LTE	미적용
		TMR	WCDMA+LTE+ WiBRO	미적용
		SLOT	LTE	미적용
	RF	DB중형	WCDMA+LTE	미적용
		DB소형	WCDMA+LTE	미적용
		댁내형	WCDMA+LTE	미적용
SKT	광중계기	MiBOS	CDMA+WCDMA +LTE	미적용
	RF	Trio	CDMA+WCDMA +LTE	미적용
		Speed	WCDMA+LTE	미적용
LGU+	광중계기	UDOR	CDMA+LTE	미적용
		OTDOR	CDMA+LTE	미적용
	RF	IBS 소형	CDMA+LTE	미적용
		IBS 중형	CDMA+LTE	미적용
		IBS 대형	CDMA+LTE	미적용

출처 : 자체조사

본 논문에서 제안한 방식을 실제 제품에 적용하여 에너지 절감효과를 검증하기 위해 표 2의 제품들 중에 KT의 DB소형 중계기를 선정하여 연구를 진행하였다.

2.2. 역률보상의 기본 개념

표 2.1에서와 같이 국내 이동통신 서비스 사업자들이 채택하여 운용중인 중계기들은 다양한 제품들이 있으며, 이들 제품에는 전원을 공급하는 SMPS가 필수적으로 장착되어 있으나 PFC회로가 적용되어 있지 않다. PFC회로에는 많은 구현 방식이 있으며, 본 논문에 적용한 PFC회로는 DCM(Discontinuous Conduction Mode) 방식을 적용하였다.

이동통신 중계기에 사용되는 SMPS는 일반적으로 2상의 AC 전원을 입력받아 필요한 DC 전압을 만들어 사용하며, 이렇게 만들어진 DC 전압은 중계기를 구성하고 있는 각각의 모듈에 필요한 전압을 공급하는 역할을 한다. 그림 1은 해당 SMPS의 요구 규격이나 기능에 따라 다소 차이가 있을 수 있지만 일반적인 이동통신 중계기에 사용하는 SMPS의 블록도이다.

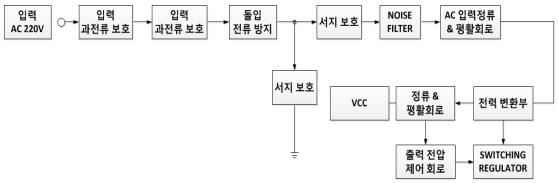

그림 1. 일반적인 이동통신 중계기용 SMPS 블록도
Fig. 1 SMPS block diagram of a typical mobile communication repeater

이때 그림 2와 같이 한전에서 송출한 AC가 여러 가지의 긴 전송로를 통해 부하에 공급되는 과정에서 전류와 전압의 위상차가 발생하고, 또한 중계기용 SMPS 1차측의 고압콘덴서로 인해 그림 2와 같은 펄스성 전류가 발생하고, 이로 인하여 역률 저하 현상과 고조파 전류가 발생한다[13, 14].

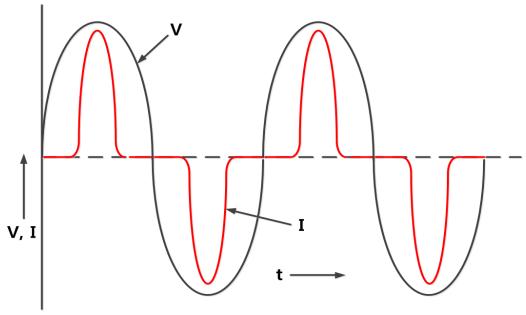

그림 2. SMPS의 입력측에 인입되는 펄스성 전압과 전류의 위상차가 발생한 예시 그래프
Fig. 2 The phase difference between the voltage and the current at the input of SMPS

상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 그림 3과 같이 SMPS에 역률보상회로를 추가하여 그림 4와 같이 AC 입력측의 전압과 전류의 위상차를 보상하여 역률저하 현상을 개선함으로써 피상전력의 감소효과를 얻을 수 있다[13, 14].

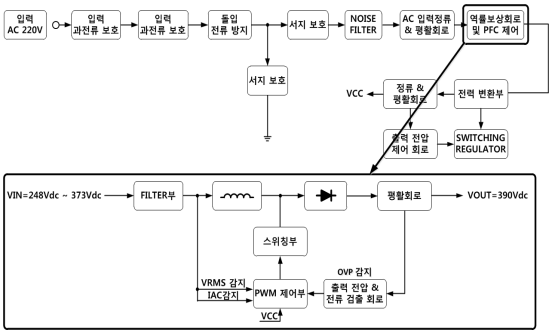

그림 3. SMPS에 PFC 회로를 추가한 블록도
Fig. 3 Block diagram of SMPS with PFC

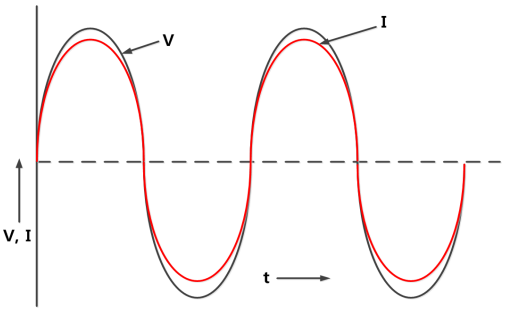

그림 4. PFC회로에 의한 SMPS 입력측 전압과 전류의 위상차를 보상한 예시 그래프
Fig. 4 The phase compensation between input votage and current at SMPS with PFC

2.3. PFC회로가 적용된 이동통신 중계기용 SMPS 설계 및 적용

본 논문에서 제안한 PFC회로가 적용된 이동통신 중계기용 SMPS는 기존 SMPS와 동일한 외부 인터페이스를 갖으며, 동일한 기구도면으로 설계 및 제작하였다. 그림 5는 DB소형 중계기의 PFC회로가 미적용된 SMPS이며, 그림 6은 PFC회로가 적용된 SMPS 사진이다.

그림 5. PFC회로를 미적용한 기존 SMPS
Fig. 5 SMPS without PFC circuit

그림 6. PFC회로를 적용한 SMPS
Fig. 6 SMPS with PFC circuit

그림 7은 DB소형 중계기의 PFC회로가 미적용된 SMPS 블록도이며, 그림 8은 PFC회로가 적용된 SMPS 블록도이다. 그림 7과 그림 8에서 볼 수 있듯이 PFC회로가 미적용된 SMPS 블록에서 AC입력 정류/평활회로와 전력 변환부 사이에 PFC회로 및 제어회로를 추가하였다[13, 14].

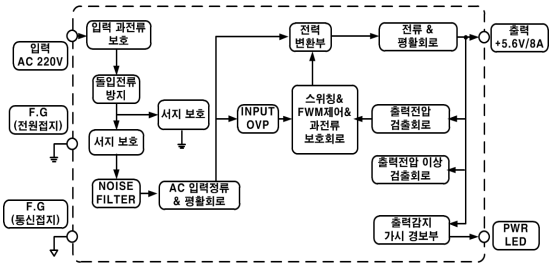

그림 7. PFC회로를 미적용한 SMPS 블록도
Fig. 7 Block diagram of SMPS without PFC circuit

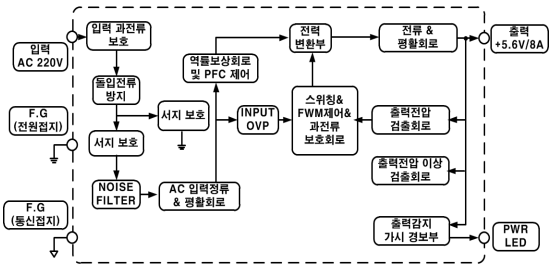

그림 8. PFC회로를 적용한 SMPS 블록도
Fig. 8 Block diagram of SMPS with PFC circuit

상기 SMPS 사진 및 블록도와 같이 PFC회로 추가에 따른 내부 구성 부품의 추가는 불가피하며, 이는 어느 정도의 사이즈 및 가격 상승으로 나타난다. 이는 현재 지속적으로 장비 사이즈에 대한 소형화와 장비 가격이 인하되고 있는 상황에서 이동통신 중계기용 SMPS에 PFC 회로를 적용하는 것에 대한 부담이 있는 것은 사실이다.

Ⅲ. 성능평가

3.1. PFC회로를 적용한 DB소형 중계기용 SMPS 단품 성능시험

상기에서 언급한 DB소형 중계기에 기존 SMPS와 동일한 외부 인터페이스를 갖는 PFC가 적용된 SMPS를 설계 및 제작하여 그림 9와 같이 상온에서 Full 부하 조건에서 우선 SMPS의 단품에 대한 성능을 비교하였다.

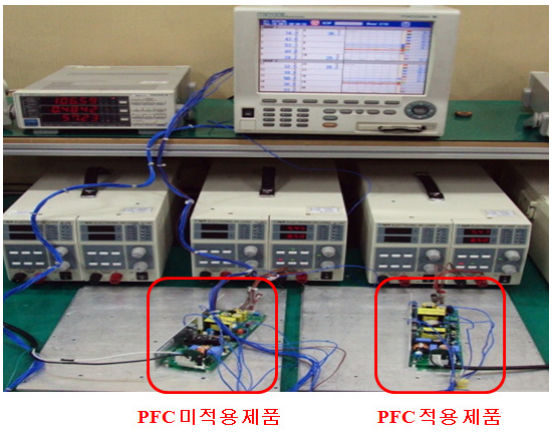

그림 9. SMPS 단품 성능 비교시험
Fig. 9 SMPS performance comparison test

SMPS의 단품에 대한 성능을 비교한 시험결과는 표 3에 있다. 모든 항목에 있어 PFC 미적용 SMPS와 PFC 적용 SMPS가 측정오차 범위 내에서 동일한 성능을 갖는다는 것을 알 수 있다.

3.2. DB소형 중계기 SMPS에 PFC 적용여부에 따른 에너지 절감효과 비교시험

상기에서 언급한 것과 같이 PFC회로를 적용한 SMPS를 설계 및 제작하여 DB소형 중계기에 장착하고, SMPS에 PFC회로 적용 유무에 따른 중계시스템 전체의 에너지 절감 효과를 비교 시험하였다. 그림 10에서 PFC회로가 미적용된 SMPS와 PFC회로가 적용된 SMPS가 장착된 DB소형 중계기 내부 비교 사진을 도시하였다.

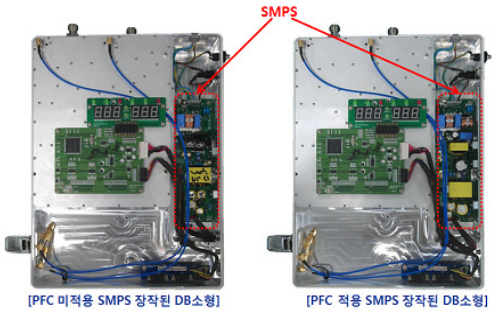

그림 10. DB소형 중계기 내부 비교
Fig. 10 Internal comparison of DB small repeater

정확한 시험 결과를 도출하고자 하나의 DB소형 중계기를 사용하여 기존 PFC가 미적용된 SMPS와 PFC가 적용된 SMPS를 교체하면서 동일한 조건에서 시험을 진행하였으며, 입력전압, AC소모전류, 역률, 유효전력, 피상전력을 측정하여 비교하였다. 그림 11은 기존 PFC가 미적용된 SMPS와 PFC가 적용된 SMPS의 성능 비교시험을 하는 사진이다.

표 3. SMPS 주요 규격 및 성능 비교
Table. 3 SMPS specifications and performance com- parison

No.	시험항목	규격	PFC 미적용 PSU 시험결과	PFC 적용 PSU 시험결과
1	AC 입력 과전압 보호기능	AC270V 이상에서 보호기능 동작	차단 : 284.59V 복귀: 266.02V	차단 : 287.59V 복귀: 266.22V
2	380V AC 입력 보호기능	AC 380V, 5분간 입력시 이상무	OK	OK
3	서지	4KV	OK	OK
4	내압	3KV/60Sec, 10mmA 이하	3.1mA	5.1mA
5	접지분리	통신접지/전원접지 분리	OK	OK
6	휴즈 교체 용이	휴즈 외부에서 교체가 용이 할 것	OK	OK
7	누설전류	3.5mA 이하	0.2mA	0.3mA
8	절연저항	100MOhm 이상	무한대	무한대
9	돌입전류 방지	돌입전류 100A이하	27.8A	27.6A

그림 11. DB소형 중계기 성능 비교시험
Fig. 11 Performance comparison test of DB small repeater

PFC회로 적용유무에 따른 DB소형 중계기 에너지 절감효과를 비교한 시험 결과는 표 4와 같다.

표 4. PFC회로 적용유무에 따른 DB소형 중계기 에너지 절감 효과 비교시험 결과
Table. 4 Energy savings of a small DB repeater with and without PFC circuit

구분	입력 전압 [V]	AC 소모전류 [mA]	역률 [%]	유효전력 [W]	피상전력 [VA]
PFC 미적용	220	309.7	55	37.4	68.45
PFC 적용	220	189.6	91	37.9	41.78
개선 효과	-	120.1 감소 (38.7% 감소)	36% 개선	0.2W 증가 (동등함)	26.67 감소 (38.9% 감소)

표 4에서와 같이 DB소형 중계기에 PFC회로를 구현한 SMPS 적용시 AC소모전류가 약 38.7% 감소하였으며, 역률이 약 36% 개선되었고, 피상전력 또한 약 38.9%로 에너지 절감효과를 나타내고 있다. 그 외의 항목은 측정 오차 범위로 PFC 적용 유무에 따른 성능차이가 없다. 표 5에서와 같이 SMPS에 PFC 회로를 추가하여 운용된다고 가정하고, 현장에서 운용하고 있는 장비의 수량을 10,000식 이라 가정하여 시뮬레이션 하면 연간 약 2,304,288kWh의 에너지 절감효과가 예상된다. 이를 전기요금 (100원/kWh)으로 계산해 보면 연간 약 2.3억원의 비용절감 효과를 예상할 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문은 이동통신 중계기의 SMPS에 PFC 회로를 적용함으로써 역률개선을 이루고, 이로 인하여 피상전력을 감소시켜 에너지를 절감하는 방식을 제안하였으며, 제안한 방식에 대하여 실제 제품에 구현하여 검증함으로써 실증된 결과를 도출하였다.

실증결과 장비 1식당 약 38.9%의 피상전력 절감효과가 확인되었다. 또한 이를 기준으로 PFC회로 적용유무에 따른 에너지 절감 시뮬레이션 결과 DB소형 중계기의 경우 중계기 1식당 연간 약 230.43kWh의 소모전력 절감 효과가 있을 것으로 예상되며, 현장 운용 장비가 10,000식이라고 가정하면 연간 약 2,304,288kWh의 에너지 절감효과가 있다. 이를 전기요금 (100원/kWh)으로 계산해 보면 연간 약 2.3억원의 비용절감 효과를 얻을 수 있다. 그러므로 이동통신 서비스 사업자들은 자사가 운용하고 있는 모든 중계기에 본 논문에서 제안한 방법을 적용한다면 많은 에너지 절감 및 비용절감을 이룰 수 있을 것으로 사료된다.

본 논문에서 제안한 에너지 절감방식에 대해 중장기적으로 볼 때 비용 절감 및 전 세계적인 화두인 Green IT 부합이라는 관점에서 유용한 기술로 자리매김할 것이다.

표 5. PFC회로 적용유무에 따른 에너지 절감 시뮬레이션 결과
Table. 5 PFC circuit applies the simulation results with and without the energy savings

구분	피상전력 [VA]	일 소모전력 [kWh/일]	월 소모전력 [kWh/월]	연간 소모전 [kWh/년]	전체 장비운용 수량 [식]	연간 소모전력량 [kWh/년/식]
PFC 미적용	68.45	1.64	49.28	591.41	10,000	5,914,080
PFC 적용	41.78	1.00	30.08	360.98	10,000	3,609,792
개선효과	26.67	0.64	19.20	230.43	-	2,304,288

REFERENCES

[1] Shin Jung Hyun, “Technological Trends in Green IT”, *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 27(11), pp. 30~41, 2009.

[2] Kim Yong Seog, Kwag Seung Woog, “Profiling Green IT Leaders Quantitatively and Qualitatively", *Industrial Engineering & Management Systems An Official Journal of APIEMS*, 12(2), pp.118-129, 2013.

[3] Ahn Joong Ho, Kim Tae Ha, Park Chul Woo, "A Thought on the Right Green IT Policy Direction for Korea", *The Journal of Society for e-Business Studies*, 15(2), pp. 77-91, 2010.

[4] Park Jin Woo, Jo Hyeon, Kim Min Kyung, Kim Soung Hie, "A Study of Strategy for Spread of Green IT", *The Journal of Society for e-Business Studies*, 17(2), pp. 39-62, 2012.

[5] Kim Tea Hwan, "The Effect of the Green IT to the IT Users' Perception and Re-use Intention", *International commerce and information review*, 14(4), pp. 49-59, 2012.

[6] Lim Byung Chul, Jung Ki Bum, Chung Yeon Choon, “Improvement of Electromagnetic Environment Effects in a Lift System by Installing a Mobile-Communication Repeater”, *The journal of Korea Electromagnetic Engineering Society*, 22(11), pp.1125-1132, 2011.

[7] Kim Sun Geun, Lee Young Sup, Kim Ki Mun, “A Study on Transmit Performance of Repeaters in 1x EV-DO Networks”, *The journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences*, 8(3), pp. 598-604, 2004.

[8] Hwang Ho Young, Hong Jung Wan, Kim Seung Cheon, Roh Kwang Hyun, “Trends and Analysis of 4G Wireless User Access Networks Issues”, *The Journal of Society for e-Business Studies*, 16(3), pp. 145-158, 2011.

[9] Kim Dae Jung, Chung Kwang Sue, "Study on coexistence through interference evaluation between 2.1GHz band and adjacent band for LTE-Advanced service", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, 18(1), pp. 32-41, 2014.

[10] Lee Byung Ju, Lim Chae Man, Shim Byoung Hyo, "Recent Trend of the Technology Development for Multiuser MIMO based on LTE-Advanced Standard", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, 49(4), pp. 18-25, 2012.

[11] Yonghoon Choi, Yonggyu Lee, Kapseok Chang, Choi Yonghoon, Lee Yonggyu, Chang Kapseok, *ETRI Journal*, 34(5), pp. 759-762, 2012.

[12] Pochun Yen, Hlaing Minn, "Low complexity PAPR reduction methods for carrier-aggregated MIMO OFDMA and SC-FDMA systems", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking Volume*, 1(1), pp. 1-13, 2012.

[13] Jo Jeong Gu, “A power factor correction circuit for communication power system”, *The journal of the Korean Institute of Communication Sciences*, 15(8), pp. 51~60, 1998.

[14] Cho Younghoon, Mok Hyungsoo, Lai Jih-Sheng, "Analysis of the Admittance Component for Digitally Controlled Single-Phase Bridgeless PFC Converter", *Journal of power electronics*, 13(4), pp. 600-608, 2013.

임병철(Byoung-Chul Lim)

2006년 한국산업기술대학교 전자공학과(공학사)
2013년 ~ 현재 아주대학교 IT융합대학원 석사과정
2000년 ~ 현재 (주)에프알텍 이사
※ 관심분야 : 무선통신 시스템

윤원식(Wonsik Yoon)

1984년 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)
1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1994년 ~ 현재 아주대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 무선통신 및 무선네트워크