

# 수소수를 위한 수소분리 및 생성기 성능 평가

김귀정\*, 한정수\*\*

건양대학교 의공학과\*, 백석대학교 정보통신학부\*\*

## Performance Evaluation of Hydrogen Separation and Generator for Hydrogen Water

Gui-Jung Kim\*, Jung-Soo Han\*\*

Department of Biomedical Engineering, Konyang University\*

Division of Information & Communication, Baeseok University\*\*

요 약 본 논문에서는 수소수 생성기 구조설계를 최적화하여, 세계 최고 수준의 용존수소량(1,000~1,200 ppb)을 보유한 수소수생성기를 개발하여 평가하였다. 평가는 용존수소량, 산도, 최대수압, 산화환원전위 등 4가지로 나누어 각각의 목표치를 잡아서 평가하였다. 실험결과는 4가지 모두 5차례의 실험을 통하여 시행하였고, 모두 목표치 범위 안에서 결과가 나타나 그 우수성을 입증하였다. 또한 기능성 평가에 있어서도 그 결과는 기능성은 25/30점, 유지보수성은 17/20, 사용성은 26/30점, 효율성은 19/20점으로 나타났으며, 특히 효율성이 높게 나타나서 본 연구의 타당성을 증명하였다. 본 논문은 이러한 수소수 생성기를 즉시 출수 가능한 시스템으로 개발하여 정수기 대체재로 사용 가능하도록 하였다.

주제어 : 수소수, 수소분리, 용존수소, 산도, 수압, 산화환원전위

Abstract In this paper, we optimized the structure of hydrogen water generator and assessed by developing a generator with dissolved hydrogen amount(1,000~1,200 ppb) of world-class level. Evaluation is divided into four types, such as dissolved hydrogen amount, pH, maximum pressure, redox potential, and it was evaluated for each of the targets. It was performed through the experiment of four in all five times and all of them show superiority results appearing in the target range. In addition, the assessment got 25/30 functionality, 17/20 maintainability, 26/30 usability, and 19/20 efficiency. In particular, we proved the validity of this study in high efficiency. We developed this hydrogen water generator system as possible to be substitution of water purifier.

**Key Words** : Hydrogen Water, Hydrogen Separation, Dissolved Hydrogen, Acidity, Water Pressure, Redox Potential

### 1. 서론

최근 수소수에 대한 관심과 함께 수소수를 음용할 수 있는 수소수생성기에 대한 관심도 증가하고 있다. 수소

수가 활성산소와 반응하여 무해한 물을 생성하기 위해서는, 물에 용해되어 있는 용존수소의 농도가 높아야 한다. 그러나 수소는 비극성 기체이므로 물에 대한 용해도가 매우 낮다. 따라서 효율적으로 물을 분해하여 수소를 많

Received 1 August 2016, Revised 31 August 2016

Accepted 20 September 2016, Published 28 September 2016

Corresponding Author: Jung-Soo Han(Division of Information & Communication, Baeseok University)

Email: jshan@bu.ac.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

이 생성시키는 기술도 중요하지만, 생성된 수소 손실을 최소화하고 물에 효율적으로 용해시키기 위한 수소수생성기의 구조설계도 중요하다. 시중에 판매되는 수소수기는 2종류로, 수조에 정수된 물을 보관 후 수소를 물에 여과시키는 제품과 수소 발생하는 필터를 이용하는 제품이다. 기체여과식의 경우 즉시 출수가 되지 않으며, 1L 물을 수소수로 만드는데 30분가량의 시간이 소요된다. 필터 여과식은 즉시 출수가 가능하나, 기체 여과식 보다 용존 수소량이 30% 적으며, 일정한 양의 수소수가 제공되지 않는다[1,2,3].

현재 사용하는 수소수의 품질 기준은 물을 전기 분해하여 음극측에서 나오는 물은 수소가 함유된 pH가 9.0 이상인 환원수이며 이는 알칼리이온수인 음료수로 사용되며, 양극측에서는 산소가 함유된 pH가 5.0 이하인 산화수로서 살균수로 사용되고 있다. 수소수는 3가지 조건(DH/ORP/pH)을 모두 충족해야하는데 강력한 항산화력을 제공하기 위한 고농도의 용존수소농도(DH)와 환원력이 우수한 음전위(-)값의 산화환원전위(ORP), 그리고 무해하고 안전한 수소수임을 입증하는 중성의 수소이온농도(pH) 값을 모두 충족해야 고성능 제품이라 할 수 있다.

본 논문에서는 수소수 생성기 구조설계를 최적화하여, 세계 최고 수준의 용존수소량(1,000~1,200 ppb)을 보유한 수소수생성기를 개발하여 평가하고자 한다. 평가는 용존 수소량, 산도, 최대수압, 산화환원전위 등 4가지로 나누어 각각의 목표치를 잡아서 평가하였다. 또한 즉시 출수 가능한 시스템으로 개발하여 정수기 대체재로 사용 가능하도록 하여 개발에 성능이 좋을 경우 기존 이온수기 해외판로 시장뿐만 아니라 최근 수소수에 대한 관심이 급등하고 있는 일본 수소수 시장에도 침투할 수 있으리라 판단된다.

본 논문은 서론에 이어 제2장에서는 수소수 관련 국내외 시장 현황을 기술하고, 3장에서는 전기분해로 수소수 생성 시스템을 설계한다. 4장에서는 개발된 수소수 생성기를 세계기준을 통한 제품 테스트로 그 성능을 평가하고, 끝으로 결론을 맺는다.

## 2. 국내·외 관련 시장 현황

### 2.1 국내 시장 현황

국내 정수 제품 기술현황은 가정에서 수도를 정수하는 정수기가 출시된 후 건강을 위한 기능성 제품들이 출시되고 있다. 이러한 제품들은 정수기, 이온수기, 탄산수기, 수소수기 등 다양한 제품으로 출시되었으며, 체내 활성산소를 제거하는 수소수에 대한 소비자 선호도가 증가하고 있다. 수소수생성기 시장 초기 단계서 국내 수소수생성기 시장은 아직 초기 단계이나, 수소수 효능에 대한 객관적 연구 성과가 다양한 매체에서 홍보되고 있기 때문에 시장 선점 기회로 작용하고 있다. 또한 일부 학회에서 수소수 관련 업계 초청 강연(한국공업화학회, 2013) 등을 실시하여 수소수에 대한 학문적 관심도 점진적으로 증가하고 있는 실정이다. 이는 수소수기 증가 원인은 피부질환, 탈모 등의 질병을 앓는 환자가 증가하며, 질병의 원인인 활성산소를 제거할 수 있는 수소수 이용자가 늘기 때문이다. 또한 암과 같은 중증질환의 원인인 활성산소를 제거하여 질병을 예방하려는 이용자 증가, TV, 기사 등에 수소수기의 효능이 보도되어 건강관리를 위한 이용자가 증가하기 때문이다. 더불어 피부과병원 및 피부클리닉센터에서도 수소수기 사용 증가하며 수소수로 세안 시 녹화억제, 트러블개선, 수분공급 등 피부질환을 예방 및 치료가 가능하기 때문이다. <Table 1>은 국내에 시판되고 있는 외국 업체의 수소수 생성 제품에 대한 가격 비교이다. <Table 2>는 국내 벤처업체가 시판하고 있는 알칼리 이온수 판매 현황이다[4,5,6].

<Table 1> Compare the price [8,9,10,11]

Company	Product	Price(KRW)
New Frontier	Potable Hydrogen water generator	275,000
ARUI INC	H2 maker	680,000
PAINO INC	Hydrogen water generator	1,480,000
Handong Hydro	Hydractron water generator	990,000

<Table 2> Alkaline water ionizer Sales(A company)

Company [8,9,10,11]	Price (KRW)	Sales/year (KRW)
PT.CITRA ABADI DIRECT INDO	500	263,000
MEGLIO IN SALUTE (Italy)	500	11,800
ERHAPRESTIGE CIA. LTDA(Ecuador).	500	8,400

## 2.2 국외 시장 현황

국외에서는 일본을 중심으로 시장이 확대되고 있다. 수소수 관련 논문을 유명 저널(Nature Medicine)에 투고한 동경대를 중심으로 활발한 연구가 진행 중이며, 단순한 수소수생성기 뿐만 아니라, 후쿠시마 원전사태 이후로는 알루미늄 팩이나 알루미늄 병에 담겨 있는 수소수 제품들이 일반 편의점에 등장할 정도로 깊은 시장 침투 진행 중이고, 현재 일본 전체 음용수 시장의 10% 이상이 수소수가 차지하고 있다. 국외에서는 연수기 시장이 줄고, 수소수기 시장이 급성장 하는 추세이며 특히, 일본에서는 수소수기가 대중화 되었으며, 2012년 일본 최대 히트상품이 수소수기가 선정 될 만큼 일본국민은 수소수기에 대한 관심이 높다. 국내 수소수기 판매량은 1,000대/월로 아직 큰 시장이 형성되어 있지 않으나, 일본은 전체 식음료 시장의 약 10% 이상을 차지하고 있다[7,8].

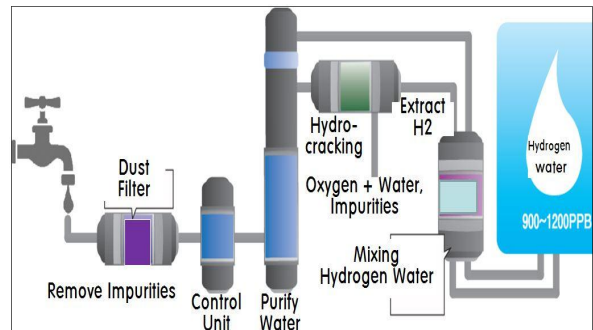
## 3. 전기분해 수소수 생성 시스템 설계

### 3.1 수소수 생성기 설계

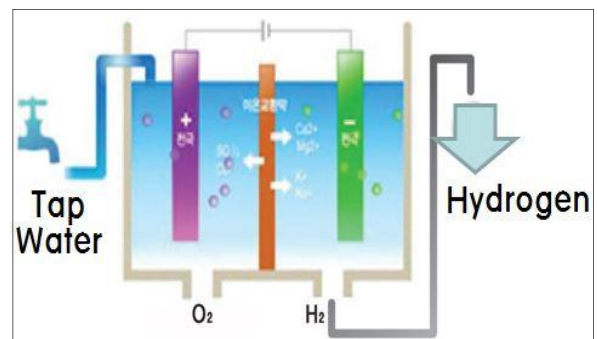
기존 시장에 출시되어 있는 수소수기가 대부분 기능적 요소에 주력하고 있으나, 본 연구에서는 디자인 요소를 고려하여 metallic plastic case로 외관 구성을 하고, 대부분의 특허들이 수소 생성에 초점을 맞추고 있으나, 본 연구에서는 수소의 효율적 보관을 통한 수소용존을 향상에 중점을 둘 것이다. 본 연구에서 제안하는 전기분해 출수 수소수 생성 시스템은 [Fig. 1]에서처럼 상수도에서 공급되는 물(H<sub>2</sub>O)을 전기로 분해하여 수소(H)를 추출하고, 추출된 수소를 물에 여과하는 기술이다. 이는 용존 수소 량이 높으며, 즉시 출수 가능한 제품으로 생산될 것이다. 이를 위해서는 수소 추출 장치 (물을 전기분해하여 수소를 추출하는 장치), 수소수 생성장치 (출수 과정에서 수소와 물을 결합하는 장치), 수소수기 컨트롤 회로(PCB), 수소수기 전용 사용자 인터페이스, 제품 포장 기구장치 (제어회로, 필터 등을 보관하는 외부 케이스), 그리고 정수 장치 (필터를 이용하여 상수도의 공급되는 물을 정수하는 장치)가 필수 요소이다.

수소 추출기는 전력을 이용하여 물에서 수소를 추출하는 방식이다. 수소수 생성기는 [Fig. 2]처럼 정수된 물에 수소를 여과시켜 수소수를 생성하는데 이때 필요한

제어 원리는 물에 수소를 분리하는 전기 제어회로이며 추출된 수소를 정수된 물에 여과시켜 수소수를 생성한다. 여기서 정수필터의 사용량을 측정하는 RFID 제어회로가 필요하며 출수량, 용존수소량 등 조절 가능한 컨트롤러가 필요하다. 끝으로 사용자 컨트롤러는 디지털 버튼을 이용하여 수소수기의 동작을 제어하고, 사용자의 설정에 따라 용존 수소량 조절이 가능하도록 하며 LED 디스플레이를 이용하여 정수필터의 수명을 안내하도록 한다.



[Fig. 1] Hydrogen Water Generation System



[Fig. 2] Hydrogen Separation Principle

### 3.2 제품개발 및 신뢰성 분석

전기분해 출수 수소수 생성 시스템은 시제품이 최종 제품 형태로 완성되기 위해서는 제어회로, 필터 등을 보관하기 위한 제품포장 기구장치, 필터를 이용하여 상수도에 공급되는 물을 정수하는 정수장치 연결이 필수적이며, 신뢰성 (Reliability) 인증을 위해 제품의 평가항목은 크게 용존수소량, 산도, 산화환원전위, 최대수압 등이 있으며, 모든 평가는 한국환경수도연구원의 평가를 통해 시험성적으로 이루어 져야 한다. 수소수 생성기의 내구성에 대해서는 아직 업계 표준으로 정해진 것은 없으나,

사용시간에 따른 용존수소량 변화를 분석하는 것이 가장 합리적 기준일 것으로 판단된다.

<Table 2>의 A업체를 기준으로 SWOT 분석을 해보면 강점(Strengths)은 기존 제품보다 뛰어난 성능과 기존 제품 대비 짧은 시간 소요, 편리성 증가, 다양한 수출 판로 확보 (현재 미국, 유럽, 동남아) 등으로 나타났으며, 약점(Weaknesses)은 신생기업, 부족한 오프라인 매장, 낮은 인지도, 적은 인력으로 평가 하였다. 그러나 기회(Opportunities)로는 건강관리에 대한 관심도 증가, 건강 관리용품 시장 증가, 국내 및 해외의 수소수에 대한 관심도 증가, 해외시장 진출 기회 (일본의 수소수기 시장 활성화) 등으로 나타났고, 위협(Threats)으로는 다양한 경쟁 제품(타사 수소수기, 이온수기, 탄산수기), 많은 경쟁사의 수, 경쟁제품의 가격우위, 경쟁제품의 높은 시장 점유율 등으로 평가 되었다[12, 13, 14, 15].

#### 4. 수소수 생성 장치 성능 평가

##### 4.1 실험

본 논문에서는 개발 내용의 평가항목을 <Table 3>처럼 크게 용존수소량, 산도, 최대수압, 산화환원전위 등 4가지로 나누어 각각의 목표치를 잡아서 평가하였다. <Table 4>의 산도(pH) 평가는 시제품 제작 후 본 실험실에서 보유한 pH 측정기를 통해 5번의 자체 테스트 결과 산도 측정이 개발 목표치 범위 내에서 측정이 되어 환경보건기술연구원에게 시험 성적서를 의뢰하여 환경보건기술연구원에서 테스트 결과 개발 목표치 범위 내에서 측정값이 나와 목표치 달성에 인증을 받았다. <Table 5>의 용존수소량(ppb) 평가는 자체 테스트를 진행하여 본 연구에서 보유한 용존수소 측정기로 5번의 테스트를 진행한 결과 5번 테스트 모두 개발 목표치 범위(1,000ppb ~ 1,400ppb) 내에서 측정값이 나왔다. <Table 6>의 산화환원전위 평가도 본 실험실에서 보유한 ORP 측정기를 이용하여 5번의 테스트를 진행한 결과 5번 테스트 모두 pH 7.5 ~ pH 8.5의 개발 목표치 범위 내에서 측정값이 나왔고, 최대 수압 평가도 압력계를 이용하여 5번의 테스트를 진행한 결과 5번 테스트 모두 <Table 7>과 같이 개발 목표치 범위 내에서 측정값이 나왔다.

<Table 3> Evaluation Items

Evaluation	Unit	Ratio (%)	World Class (Country / Enterprise)	Previous Level	Goal
Dissolved hydrogen amount	ppb	40	1,000~1,200 (Japan/PAINO INC)	600~800	1,000~1,400
Acidity(pH)	N/A	20	7.5~8.5	-	7.5~8.5
Maximum water pressure	kgf/cm <sup>2</sup>	15	-	<0.3	>1
Redox potential	mV	15	-350~-550 (Japan/PAINO INC)	-	-350~-550

<Table 4> Acidity Measure

Division	pH Goal	Measured Concentrations(pH)
Sample 1	pH 7.5 ~ pH 8.5	7.89
Sample 2	pH 7.5 ~ pH 8.5	8.03
Sample 3	pH 7.5 ~ pH 8.5	7.9
Sample 4	pH 7.5 ~ pH 8.5	7.99
Sample 5	pH 7.5 ~ pH 8.5	7.74

<Table 5> Dissolved Hydrogen Amount Measure

Division	Development Goal	Measured Concentrations(ppb)
Sample 1	1,000ppb ~ 1,400ppb	1,250
Sample 2	1,000ppb ~ 1,400ppb	1,256
Sample 3	1,000ppb ~ 1,400ppb	1,322
Sample 4	1,000ppb ~ 1,400ppb	1,301
Sample 5	1,000ppb ~ 1,400ppb	1,306

<Table 6> Redox Potential Measure

Division	Development Goal	Redox potential(mv)
Sample 1	-350 ~ -550	-453
Sample 2	-350 ~ -550	-472
Sample 3	-350 ~ -550	-485
Sample 4	-350 ~ -550	-447
Sample 5	-350 ~ -550	-464

<Table 7> Maximum Water Pressure Measure

Division	Development Goal	Maximum Water Pressure
Sample 1	3.3 > 1	3.0 ~ 3.4
Sample 2	3.2 > 1	3.0 ~ 3.4
Sample 3	3.3 > 1	3.0 ~ 3.4
Sample 4	3.3 > 1	3.0 ~ 3.4
Sample 5	3.2 > 1	3.0 ~ 3.4

### 4.2 제품의 품질 평가

본 연구에서 개발한 수소수 생성기의 품질평가는 <Table 8>처럼 4가지 부류(기능성, 유지보수성, 사용성, 효율성)로 나누었고, 각 세부 분야로 10가지로 각 기능들을 나누어서 평가하였다. 각 기능 평가의 의미는 아래와 같다.

- ① 기능구현 완전성 - 개발된 장치가 요구하는 기능이 모두 갖추어 있는지 평가
- ② 기능구현 정확성 - 개발된 모든 기능들이 정상적으로 동작하는 여부를 평가
- ③ 상호 운용성 - 다른 장비 또는 시스템과의 연동가능여부 평가
- ④ 기능학습용이성 - 도움말, 매뉴얼 등을 통해 제품 기능 정보를 제공하여 학습이 용이한지 여부 평가
- ⑤ 사용자 인터페이스 일관성 - 동일하거나 유사한 기능 수행을 위해 일관된 또는 통합된 인터페이스를 제공하는지 여부를 평가
- ⑥ 진행 파악 용이성 - 현재 진행상태에 대한 내역을 사용자에게 용이하게 제공하는지 평가
- ⑦ 반응시간 - 시스템 반응시간 충족정도 평가
- ⑧ 처리율 - 제품에서 요구하는 환경에서의 시스템이 처리할 수 있는 데이터 처리량 평가
- ⑨ 환경설정변경가능성 - 시스템의 확장 또는 효율적 운영을 위한 환경설정 변경이 가능한 여부 평가
- ⑩ 업데이트용이성 - 제품의 기능 또는 성능 향상을 위한 업데이트가 용이한지 여부를 평가

<Table 8> Quality Evaluation

	Items	Weight	Unit	Total	# of Sample
Function	Completeness	10	8	25/30	20
	Accuracy	10	9		
	Usefulness	10	8		
Maintainability	Deformability	10	9	17/20	(Stakeholders 20 persons)
	Updating	10	8		
	Learning	10	9		
Usability	UI Consistency	10	9	26/30	30
	Progression	10	8		
	Reaction Time	10	10		
Efficiency	Throughput	10	9	19/20	(Group 30 persons)

평가 결과 <Table 8>에서처럼 기능성은 25/30점, 유지보수성은 17/20, 사용성은 26/30점. 효율성은 19/20점

으로 나타났다. 본 평가에서 모두 우수하게 나타났으며 특히 효율성이 높게 나타나서 본 연구의 우수성을 증명하였다. 본 평가는 설문지를 제작하여 평가 하였으며, 평가 일자는 5월 2일 ~ 5월 6일에 진행되었으며, 최종 결과는 87점으로 실험성공으로 판단되었다. 이해관계자는 PCB관련 업체 관계자, 디스플레이 관련업체 관계자, 업계 관계자 등 총 20명으로 진행하였고, 일반 그룹은 총 30명의 대학생들을 대상으로 진행하였다.

### 5. 결론

사용하는 수소수의 품질 기준은 물을 전기 분해하여 음극측에서 나오는 물은 수소가 함유된 pH가 9.0 이상인 환원수이며 이는 알칼리이온수인 음이온수로 사용되며, 양극측에서는 산소가 함유된 pH가 5.0 이하인 산화수로서 살균수로 사용되고 있다. 추가적으로 수소수는 3가지 조건(DH/ORP/pH)을 모두 충족해야하는데 강력한 항산화력을 제공하기 위한 고농도의 용존수소농도(DH)와 환원력이 우수한 음전위(-)값의 산화환원전위(ORP), 그리고 무해하고 안전한 수소수임을 입증하는 중성의 수소이온농도(pH) 값을 모두 충족해야 고성능 제품이라 할 수 있다.

본 논문에서는 수소수 생성기 구조설계를 최적화하여, 세계 최고 수준의 용존수소량(1,000~1,200 ppb)을 보유한 수소수생성기를 개발하여 평가하였다. 평가는 용존수소량, 산도, 최대수압, 산화환원전위 등 4가지로 나누어 각각의 목표치를 잡아서 평가하였다. 실험결과는 4가지 모두 5차례의 실험을 통하여 시행하였고, 모두 목표치 범위 안에서 결과가 나타나 그 우수성을 입증하였다. 또한 기능성 평가에 있어서도 그 결과는 기능성은 25/30점, 유지보수성은 17/20, 사용성은 26/30점. 효율성은 19/20점으로 나타났으며, 특히 효율성이 높게 나타나서 본 연구의 타당성을 증명하였다. 본 논문은 이러한 수소수 생성기를 즉시 출수 가능한 시스템으로 개발하여 정수기 대체재로 사용 가능하도록 하였다.

향후 연구에 있어서 수소수 생성기의 내구성에 대해서는 아직 업계 표준으로 정해진 것은 없으나, 사용시간에 따른 용존수소량 변화를 분석하는 것이 가장 합리적 기준일 것으로 판단된다. 본 기술개발을 통해 점진적으로 신뢰성에 대한 표준이 정해져야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] Alex Izgorodin, "Toward efficient hydrogen production via water splitting", LAP LAMBERT Academic Publishing, pp. 126-138, 2012.

[2] Angelo Basile, Adolfo Iulianelli, "Advances in Hydrogen Production, Storage, and Distribution", Woodhead Publishing, pp. 36-48, 2014.

[3] Ahmed Sobhy, "Nanobubble Enhanced Forth Flotation Process", Scholars Press, pp. 111-124, 2014.

[4] Chi Eun Sang, "Hydrogen Generation", Health Newspaper Company Publishing, pp. 212-231, 2009.

[5] Chi Eun Sang, "Hydrogen Water Business", Health Newspaper Company Publishing, pp. 47-49, 2011.

[6] In Hyuk Chi, "Hydrogen Water", PyungDan Publishing, pp. 100-113, 2015.

[7] Dong Soo Im, Seo Gon Kim "The Answer is just Hydrogen Water", SangSang Wood Publication, pp. 81-87, 2015.

[8] DOI : <http://luxmen.mk.co.kr>

[9] DOI : <http://paino.co.kr/>

[10] DOI : <http://www.arui.co.kr>

[11] DOI : <http://www.n-frontier.kr>

[12] Lark Sang Kim, "Convergence of Information Technology and Corporate Strategy", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 6, pp. 17-26, 2015.

[13] Ki-Bong Kim, "A Market Status of Message Chair and Technical Analysis of Future IT Convergence", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 3, pp. 29-36, 2015.

[14] Seong-Hoon Lee, "Actual Cases and Analysis of IT Convergence for Green IT", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 6, pp. 147-152, 2015.

[15] Hyojik Lee, Onechul Na, Soyoung Sung, Hangbae Chang, "A Design on Security Governance Framework for Industry Convergence Environment", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 4, pp. 33-40, 2015.

김 귀 정(Kim, Gui Jung)



- 1994년 2월 : 한남대학교 전자계산 공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 한남대학교 전자계산 공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 전자계산 공학과(공학박사)
- 2001년 9월 ~ 현재 : 건양대학교 의 공학과 교수

- 관심분야 : CRM, 의공학, 3D Printing
- E-Mail : [gjkim@konyang.ac.kr](mailto:gjkim@konyang.ac.kr)

한 정 수(Han, Jung Soo)



- 1990년 2월 : 경희대학교 전자계산 공학과 (공학사)
- 1992년 8월 : 경희대학교 전자계산 공학과(공학석사)
- 2000년 8월 : 경희대학교 전자계산 공학과(공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

- 관심분야 : IT 에너지, 3D 모델링, 융복합 콘텐츠
- E-Mail : [jshan@bu.ac.kr](mailto:jshan@bu.ac.kr)