

A Design of Air Compressor Remote Control System Using USN Technology*

USN 기술을 이용한 공기압축기 원격관리 시스템 설계

¹ Moon-Young Hwang(황문영)

^{1, First Author} Dept. of Logistics & Distribution Management, Daejeon Institute of Science and Technology, Korea, E-mail : myhwangs@gmail.com

Received: Dec 23, 2017. Revised: Jan 02, 2018. Accepted: Jan 15, 2018.

Abstract

Compressed Air is an important energy source used in most factories nowadays. The automation trend using air compressor has been gradually increasing with the interest of the 4th industry in recent years. With the air compressor system, it is possible to construct the device at low cost and easily achieve automation and energy saving. In addition, With trend of FA, miniaturation and light weight manufacturing trend expand their use in the electronics, medical, and food sectors. Research method is to design the technology for the remote control of the following information as USN base. Development of flexible sensing module from real time observation module for fusion of IT technology in compressed air systems, design and manufacture of flexible sensing module, and reliability assessment. Design of real-time integrated management system for observation data of compressed air system - Ability to process observation data measured in real time into pre-processing and analysis data. This study expects unconventionally decreasing effect of energy cost that takes up 60~70% of air compressor layout and operation and maintenance management cost through USN(Ubiquitous Sensor Network) technology by using optimum operational condition from real time observation module. In addition, by preventing maintenance cost from malfunction of air compressor beforehand, maintenance cost is anticipated to cut back.

Keywords : USN Technology, Air Compressor Design, Remote Control System.

1. 서론

1.1. 개발대상 기술의 개요

압축공기(Compressed Air)는 오늘날 거의 모든 공장에서 사용하고 있는 중요한 에너지 매개체이며, 최근에는 산업구조의 고도화와 경쟁력 제고 및 생산성 향상을 위하여 각 산업분야에서 생산설비의 자동화 추진을 가속화하고 있다. 이러한 자동화 방법의 한 가지로 공기압을 이용한 자동화 추세는 점차 급속한 증가 추세에 있다. 공기압 시스템을 이용하면 저가로 장치를 구성할 수 있고 쉽게 자동화와 에너지절약을 이룰 수 있으며, FA의 추진과 소형화 및 경량화 되어 가는 추세와 함께 전자, 의료, 식품 분야와 그 용도가 4차 산업으로 확대되고 있다.

* Funding for this paper was provided by Daejeon Institute of Science and Technology.

이러한 압축공기를 만드는 공기 압축기(Air Compressor)는 외부의 동력을 이용하여 로터(Rotor)의 회전 작용으로 인해 가스 상태인 작동유체의 전압(Total Pressure)을 증가시켜 압축작업을 수행하는 유체기계로 정의된다.

입구와 출구를 통하여 작동유체의 밀도상승분이 대략 7% 이상인 경우를 압축기라고 말하고, 그 미만인 경우에는 팬(Fan)이나 송풍기(Blower)로 분류한다.



<Figure 1> Typical Air Compressor Devices

현재 국내 관련 기술수준은 미국, 독일, 일본 등의 선진 기술에 의한 공기압축기의 설계나 제작을 아직은 따라가지 못하고 있어 공기압축기 분야에서는 뒤쳐져 있는 상황이다. 하지만 일부 단품이나 냉매용 압축기의 생산에 있어서는 상당한 수준으로 해외 시장에서도 경쟁력을 가지고 있으므로 향후 융복합 기술을 통한 통합 시스템 개발 등의 신개념 기술 분야로 지속적인 투자가 이어진다면 머지않아 기술 선진국의 이미지도 얻을 수 있을 것으로 예상된다



<Figure 2> Examples of air compressors in various fields: medical (left) and construction (right)



<Figure 3> Modular integrated air compressor system (left) and integrated control module (right)

또한 최근 시장 환경이 IT, BT, NT 등 지식혁명과 기술혁신으로 인해 급속도로 변화되고 있는 가운데, 이제는 누가 빨리, 보다 정확한 정보를 입수하여 얼마나 효과적으로 활용하는가 하는 것이 국가 경쟁력 강화의 관건이 되고 있다. 최근의 4 차 산업 기반의 패러다임은 정보사회를 거쳐 지식사회로 급속히 이동해 가고 있으며, 기업의 활동무대는 세계로 넓어지고 있고, 이제 디지털 네트워크 경제의 시대 상황이다.

이러한 기술변화와 시장 환경에 적극적으로 대처하기 위해서는 공기 압축기(Air Compressor) 기술과 IT 기술을 융합할 수 있도록 해주는 USN 기반의 압축공기 시스템 실시간 관측 모듈기술 개발로 압축공기 시스템의 관리 또는 제어가 가능하도록 해야 할 필요가 있다 (Bang, 2005).

1.2. 기술개발의 필요성 및 중요성

USN 기반의 “IT 적응형 압축공기 시스템 실시간 관측 모듈”을 활용한 공기압축기의 원격관리 시스템 설계기술은 공기 압축기 설치 및 유지 관련 비용 중 가장 큰 비중을 차지하는 에너지 비용과 유지 관리 비용을 획기적으로 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

현재 공기 압축기 설치 및 유지 관련 비용 중 에너지 비용은 60~70%로 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 실시간 관측이 가능하다면 통합 관리 기술을 통해 최적의 운용조건 도출 및 적용을 통해 소요 에너지를 최소화할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 고정밀도의 부품들로 이루어지고, 극한 환경 하에서 구동되는 공기 압축기의 특성상 공기 압축기의 고장 및 성능 저하 등의 큰 문제발생으로 인한 생산문제를 일으킬 수 있는 경우가 많으므로 시스템 유지비용도 전체의 20~30%를 차지하는 부분이다(Shin, Jeong, W., & Joo, 2004).

이러한 시스템 유지비용의 대부분은 문제 발생 후 대처하는 경우가 많은 상황으로 “IT 적응형 압축공기 시스템 실시간 관측 모듈”을 통해 USN 기반의 실시간으로 시스템의 상태를 관측할 수 있는 기반을 마련하고 이를 관리시스템으로 구축함으로써 문제를 사전에 감지/대응이 가능하다(Beutel, 2004).



<Figure 4> Costs related to air compressor installation and maintenance

또한 공기 압축기 시장은 현장 대응형 기술군으로 분류가 되고 있으며, 이로 인해 기술 인력의 업무환경은 매우 열악한 상황이다.

생산 공정과 직결되는 중요 장비인 공기 압축기 시스템의 특성상 시스템의 문제 발생 후 대처하는 상황으로 인해 기술적 대응 가능 시간 단축이라는 스트레스 요인 발생이 가장 큰 문제점으로 대두되고,

고정밀 부품으로 구성된 복합 구조 시스템이라는 특성으로 인해 문제 발생요인 분석과정이 매우 복잡하다.

이러한 업무 환경 개선 측면에서도 지속적인 실시간 시스템 상태 관측 및 데이터 분석을 통해 시스템 문제 능동 대응 및 정확하고 빠른 문제 요인 분석이 가능하므로 산업적으로 그 파급효과는 매우 클 것으로 예상된다.

1.3. 국내.외 관련 기술의 현황

반도체 산업을 기반으로 하는 산업의 확대와 발전은, 산업 작업환경의 개선 및 고정밀도의 생산품을 제조하기 위한 제조공장 등의 압축공기 에너지원 사용처가 점차로 늘어나는 경향이다.

또한 경제성과 작업의 편리성을 추구하는 경향이 더욱 높아지면서 공기 압축기의 수요는 기존의 왕복운동식이나 Screw 방식에서 기름의 오염이 없는 Turbo 방식으로 점차 바뀌어가고 있다.

이러한 기술변화 추세에 따라 국내외 공기압축기 제조사에서는 이러한 Turbo 방식 압축기에 대한 연구개발을 통해 성능개선 및 신기술 창출을 실현하고 있는 상황이다.

최근의 공기 압축기의 개발방향은 이와 같이 청정공기의 생산과 효율성의 제고에 관심을 두고 있는데 앞으로는 효율의 제고와 함께 생산 가능한 여러 방식의 조합을 통한 가변 용량형 공기압축기 및 IT 기술 융합을 통한 신기술 개발에 맞추어져 있다.

소음진동 없이 80,000 회전까지 낼 수 있는 고속 모터를 적용한 고압 및 저압 공기압축기를 국내 최초로 개발하여 공기압축에 있어서 높은 기술 수준을 보유한 회사가 나타나고, 이 기술은 국내에서 최초로 에어베어링 직결형 고속모터를 사용하여 기존 제품의 1/20 크기로 만들어 동일한 성능 아래에서 30% 이상의 전력 절감효과를 실현한 기술이다.

단축 프로세스 압축기의 진동특성을 향상하기 위한 공력설계 기술과 관련해서는 Atlas Copco 사의 제품에 적용된 가변형 디퓨저 베인 기술이 있으며, 이 기술은 기존의 IGV 와 함께 디퓨저 베인의 설치각도를 제어함으로써 부분 부하 특성을 향상시켜 운전범위를 더욱 확장할 수 있다고 알려져 있다.

IHI 사는 기존의 Screw 압축기와 맞대결을 위해 약 100~150 마력급의 소형 터보 공기압축기를 자체 개발하였고, 대략적으로 600 마력급의 고속회전수가 약 50,000rpm 이라고 볼 경우, 100 마력 급이면 최소한 100,000rpm 정도가, 그리고 50 마력급이면 최소한 120,000rpm 정도가 필요하다.

스위스의 Sulzer Turbo 사가 개발한 터보 가스압축기 Mopico 에는 고속 induction 모터를 사용하여 증속기어 기술로 100,000rpm 이상의 고속을 낼 수 없었던 문제점을 해결하였고, 고속 induction 모터와 함께 VFD(Variable Frequency Drive)와 마그네틱 베어링을 채택하여 임펠러와 모터를 터보냉동기의 경우와 같이 밀폐구조로 하여 소형화를 달성하였다.

이러한 상황에서 국내기술로 이러한 원천적 기술문제의 접근 보다는 보다 획기적인 차원의 기술개발의 필요가 절실하여, USN 기반기술을 토대로 관리 운영적 측면의 효율에 접근해 공기압축기의 효율을 높이고자 한다.

1.4. 국내.외 시장규모

전체적으로 미국, 유럽 등 서구 선진국 제품이 공기 압축기 시장을 석권하고 있는데 주요 브랜드로는 미국산 Ingersoll Rand, Compare, Sullair, 스웨덴산, Atlas Copco, 독일산 Bauer, Kaeser, Borsig GMBH, 영국산 Compare, 일본산 Mitsubishi, Hitachi, 이탈리아산 Ermer-ELZ, Fini, 인도산 Elgi 등이 있다.

<Table 1> Air compressor industry by country

Company	Productions	Remarks	
U.S.A.	Copeland	1.5-26 HP	1.5 million units/year
			2 million units/year
			Begin in 1998 Copeland 51%, Trance 24.5%, Lennox 24.5%
	Carlyle-Carrier	3.9 HP	Begin in 1992 Joined the Bristol in 1995
	Trane	5-15 HP	Installation in own air Conditioners
	Tecumseh	4-6 HP	Begin in 1997
Japan	Hitachi	A: 2-12 HP B.: 1-5 HP	Begin in 1983

	Matsushita	B.: 1-5 HP	500,000 units/year 1 hp class inverter horizontal scroll compressor
	Daikin	A: 2.5-10 HP B.: 2-4.5 HP	Jointed the Trane (Initial : 4-10 HP)
	Toshiba	1-10 HP	Twin scroll compressor in 1991
	Sanyo	8-10 HP	Begin in 1989
	Mitsubishi	5-10 HP	
EU	Maneurop	9-15 HP	Begin in 1992
		6-10 HP	Begin in 1997
3.5-6 HP		Begin in 1998	
Copeland	7.5-15 HP	300,000 units/year	
	1.5-6.75 HP	500,000 units/year	
Korea	LG Electronics	2.5-4 HP	Begin in 1996, 150,000 units in 1998, 500,000 units in 2000
	Century	2-6 HP	Begin in 1997 40,000 units in 1998 200,000 units in 2000
<A : Constant speed scroll compressor, B: Inverter Scroll Compressor >			

국내 공기 압축기 산업은 타 산업분야에 비해 대기업의 시장 진출이 미미하고, 현재 중소기업들의 각축장이 되고 있는 분야임.

공기 압축기의 세계시장 규모가 지난 2016 년 350 억 달러를 넘어 2024 년 까지 매년 3%이상의 꾸준한 성장을 지속할 것으로 예측하고 있는 가운데 국내 공기 압축기 시장의 규모도 꾸준히 상승하여 지난 1.5 조 이상의 시장을 기록하고 있다.

그러나 국내의 공기 압축기 시장은 해외업체들이 대부분 장악하고 있는 실정이어서 국내업체들의 지속적인 노력이 부단히 요구됨.

<Table 2>Market share of the world's six major air compressor manufacturers

Company	US market	Internal Market
Ingerso-Rand	30%	25%
Cooper	20%	30%
Atlas Copco	10%	10%
Elliott	10%	30%
Dresser-Rand	5%	N/A
IHII(Japan)	N/A	5%

2. 연구 내용 및 방법

연구 내용은 전 연구에서 개발된 압축공기 시스템의 운용 데이터를 실시간 Monitoring 할 수 있는 IT 적응형 Sensing Module 개발을 통해 USN 기반의 압축공기 실시간 데이터 통합 관리 시스템을 설계하고자 한다. 이러한 하드웨어 기술과 소프트웨어 기술이 융·복합화된 USN 기반의 압축공기 시스템 실시간 관측 모듈의 주요 특징인 능동적 데이터 관리 및 선 대응 제품 관리 체계를 구축하여 시장을 확대하고자 하고, 실시간 데이터 전처리 및 분석을 가능하게 해주는 시스템 설계를 구현하고자 한다.

연구방법은 다음의 정보를 USN 기반 으로 원격 통제하고 하는 기술을 설계하는 것이다(Chen, 2007).

압축공기 시스템의 IT 기술 융·복합을 위한 실시간 관측 모듈개발에서 구축된 압축 공기 시스템 유연 Sensing Module 개발(온도, 습도, 진동, 압력전압)과 Flexible Sensing Module 설계/제작, 신뢰성 평가

압축공기 시스템 관측 데이터 실시간 통합 관리 시스템 설계 - 실시간으로 측정되는 관측 데이터들을 전처리(pre-processing)하여 분석할 수 있는 형태의 데이터로 가공할 수 있는 기능 통계적 방법 및 데이터마이닝방법을 이용한 분석기능 - 사전에 정의된 사례에 대한 학습을 통한 미래 고장 예측

2.1. 기술개발의 평가방법

<Table 3 >Evaluation table

Evaluation items (Performance Spec.)	Unit	Weight (%)	World-class (country/company)	Domestic level	design Target value	Test Method
1. Sensing Module Applicable system	Ea	30	1 [Single application] system (Germany/KAESER)	-	1 or More (Applicable system)	System applicability evaluation (At least 80%)
2. Sensing Data Conversion transmission success rate	%	20	- [Do not release data] (Germany,KAESER)	-	95	-Conversion rate: Comparison data -Transfer rate: Transmission / reception data comparison analysis
3. Number of analysis tools	Ea	30	20 (USA/SPSS)	-	2	Develop statistical / artificial intelligence perspective analysis tool
4. Template for data analysis	Ea	20	3 (USA/SPSS)	-	3	Number of templates provided by scenario

3. 개발방법 및 연구성과

3.1. 국내소재 K 공기압축기 제조사 테스트

압축공기 시스템 관련 고장요인 및 관측 필요 신호 등의 실 데이터 관리 및 제공을 통한 통합 관리 시스템 설계하여 적용 시험 테스트 결과, 압축공기 시스템의 구조 및 모델별 관측 최적 위치 선정 및 유연 Sensing Module 설계 및 자료 수집되었고, 압축공기 시스템의 다양한 현장 적용 환경에 따른 압축공기 시스템 관측 데이터 처리용 통합 Controller 구성에 관한 설계 개발이 요구되어졌다.

3.2. 연구 활용

실시간으로 취득되는 데이터들 가운데 분석에 필요한 항목과 그렇지 않은 항목을 구분하고 분석에 필요한 전처리 작업 Procedure 가 수행되었고, 기업 압축공기 시스템에 관련된 고장요인을 파악하고 이를 지식 베이스화하여 사용자로 전달될 수 있었다(Kim, Lee, Kim, Chong, & Kim, 2008).

실시간 통합 관리 시스템 구축을 위한 사용자 수준에 따른 요구사항 도출 하고 이를 반영하여 개인화된 화면 설계 및 분석도구가 요구 되었다.

프로토타입 개발 시, 분석에 필요한 실제 데이터들을 저장하고 사용할 수 있는 USN 기반의 원격 관리 시스템 설계를 구성해 보았고, 차후 시뮬레이터 개발과 구축이 과제이다.

3.3. 연구 성과

3.3.1. 기술적 성과

압축공기 시스템의 IT 기술 융·복합을 통한 차세대 신기술 보유 및 IT 융합 기술력 확보 되었고, IT 적응형 압축공기 시스템 실시간 관측 통합 관리 기술의 적용 가능과 타 산업분야로의 기술영역 확대 될 것으로 판단된다.

3.3.2. 경제적 산업적 성과

압축공기 시스템 관련 산업의 새로운 사업 영역구축 및 능동대응 기술/제품을 통한 고객 신뢰 확보 전략 수립 가능해진다.

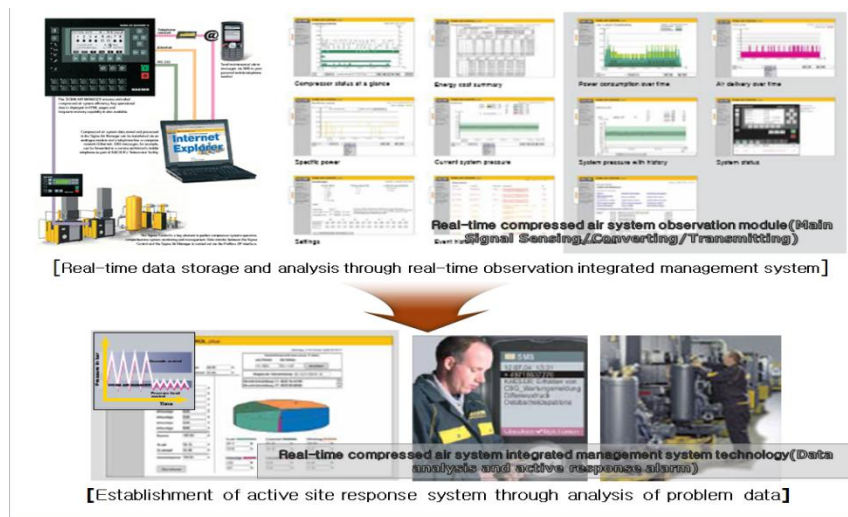
관련 산업의 능동 대응 기술 적용을 통한 간접적 생산성 및 생산 안정성 확대가 가능하다.

관련 국내 기술 확보를 통한 해외 유사기술 대응 능력 강화된다.

3.3.3. 활용방안

USN 기반의 IT 적응형 압축공기 시스템 실시간 관측 모듈 개발을 통해 다양한 형식의 압축공기 시스템에 적용 가능한 Flexible Sensing Module 및 실시간 데이터 통합 관리 시스템을 사업화 하여 국내외 관련 시장에 제품경쟁력 강화될 것이다(Nam, 2009).

하드웨어 기술과 소프트웨어 기술이 융·복합화된 USN 기반의 IT 적응형 압축공기 시스템 실시간 관측 모듈의 주요 특징인 능동적 데이터 관리 및 선 대응 제품 관리 체계를 구축하여 고객을 확대하고자 한다(Cho, & Kim, 2010).



<Figure 5 > Design of air compressor remote control system

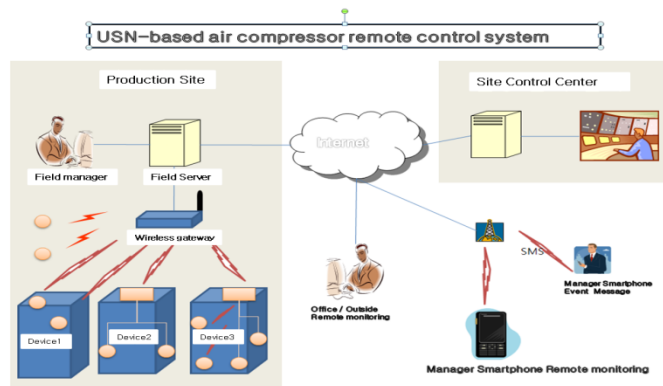
4. 연구결과

본 연구는 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술을 이용하여 실시간 관측 모듈을 통해 얻어진 최적의 공기압축기 운용조건을 도출하여, 공기압축기 설치 및 유지관리 비용 중에서 60~70%를 차지하는 에너지 비용의 획기적 감소효과가 기대되고, 또한 공기압축기의 오작동으로 발생하는 유지보수 비용의 대부분을 사전에 예방할 수 있게 됨으로써 유지보수 비용이 감소될 것으로 판단된다(Chung et al., 2014).

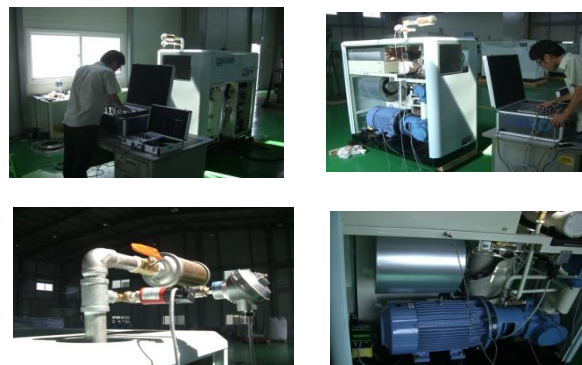
USN 기반의 압축공기 시스템의 IT 기술 융·복합을 위한 실시간 관측 모듈설계로, 다양한 종류의 압축 공기 시스템 적용 가능한 IT 적응형 Sensing Module 설계(온도, 습도, 진동 등의 데이터 관측 IT 적응형 Sensing Module 설계 및 개발)와 USN 기반의 압축공기 시스템 관측 데이터 실시간 통합 관리 시스템 프로토타입 설계되어진다(Pyo, Jeong, Kim, Oh, & Park, 2011).

또한 실시간으로 측정되는 관측 데이터들을 전처리(pre-processing)하여 바로 분석할 수 있는 형태의 데이터로 가공할 수 있는 기능으로 통계적 방법 및 데이터마이닝방법을 이용한 분석기능과 사전에 정의된 사례에 대한 학습을 통한 미래 고장 예측 기능이 요구된다(Lopez, 2007).

이상의 융합 연구를 통해서 공기압축기 환경을 스마트화 함으로써 4차 산업시대에 필요한 스마트 제조의 근간을 이룩하게 되었고, 기존의 보전 활동 과 인력 관리 및 운용에 새로운 패러다임이 창출 될 것이다. 특히 본 연구의 수행 중 인력과 지식의 인식 전환에 대한 K 사 CEO 의 적극적 협조는, 새로운 시대의 비즈니스 블루오션을 선점하고자 하는 강소중소기업의 이상이다.



<Figure 6 > USN-based air compressor remote control system





<Figure 7> Field test work and data

References

- Bang, M. (2005). Design Requirements for Ubiquitous Computing Environments for Data Professionals. *Studies in health technology and informatics*, 20, 1416-1420.
- Baqer, M. (2010). Enabling collaboration and coordination of wireless sensor networks via social networks. 6th IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems
- Beutel, J. (2004). Prototyping Wireless Sensor Network Applications with BT nodes. Proceedings of the *European Workshop on Sensor Networks (EWSN 2004)*, vol. 2920 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 323-338. Springer, Berlin.
- Chen, J. (2007). *Distributed Fault Detection of Wireless Sensor Networks*. New York: ACM Press.
- Cho, M. K., & Kim, S. (2010). LED Streetlight System based on USN with Remote Control and Power Saving. *Korean institute of Communication and Information Sciences*, 10(11), 483-484.
- Chung, E. T. (2014). Design and implementation of light-weight smart home gateway for Social Web of Things. Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), Sixth International Conference, pp.425-430.
- Domingo, M. C. (2011). A context-aware service architecture for the integration of body sensor networks and social networks through the IP multimedia subsystem. *IEEE Communications Magazine*, 49(1), 102-108.
- Hadim, S., & Mohamed, N. (2006). Middleware Challenges and Approaches for Wireless Sensor Networks. *IEEE Distributed Systems Online*, 7(3), 1-23.
- Han, Y. S., Lee, J. L., Hwang, S. K., & Jeong, H. S. (2016). Study on Industrial Air Compressor Flow and Efficiency Analysis System Development. *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers of Korea*, 16(6), 1009-1013.
- Huddleston, C. (2006). *Intelligent Sensor Design using the microchip dsPIC*. Boston: Elsevier.
- Kim, D. Y., Lee, J. U., Kim, J. E., Chong, P. K., & Kim, J. S. (2008). A Real-time Flood Monitoring System with Ubiquitous Sensor Networks. *Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, 8(11), 128-131.
- Kim, K. Y., Shin, S. Y., Bae, K. S., & Chae, S. (2014). Design and implementation of NMEA 2000 based universal gateway. *KICS*, 39(2), 191-198.
- Kim, S., Pakzad, S., Culler, D., Demmel, J., Fenves, G., Glaser, S., & Turon, M. (2007). Health monitoring of civil infrastructures using wireless sensor networks. *6th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*, 2007.
- Kim, Y. B. (2009). u-Data Service Based on a USN Middle ware Platform, INC, IMS and IDC, NCM. *5th International Joint Conference*, pp. 673-678.
- Kuorilehto, M., Hännikäinen, M., & Hämäläinen, T. D. (2005). A Survey of Application Distribution in Wireless Sensor Networks, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 20(5), 774-788.

- Lee, K. (2010). A Middleware for Data Processing and Information Sharing in EPC Sensor Network. *Journal of KISSE*, 37(2), 19-22.
- Lopez, S. T. (2007). A Context Middleware Based on Sensor and RFID Information , Pervasive Computing and Communications Workshops, 2007. PerCom Workshops, *5th Annual IEEE International Conference*, pp. 331-336.
- Nam, S. H. (2009). Review Paper: Control and acquisition system for USN sensors. *Korean Studies Information Service System*, 18(6), 409~416.
- Park, D. (2008). Current Status of Applying RFID, USA Technologies in Medical Services. *Journal of Communications and Networks*, 25(10), 50-57.
- Park, S. (2009). Design and Implementation of a Framework for Developing Effective Applications over EPC Sensor Network, *2009 KIIE Conference*, pp. 14-16.
- Pyo, C. S., Jeong, W. C., Kim, M. H., Oh, S. W., & Park, J. S. (2011). A Study on the Potentiality and international standardization trend for RFID/USN Fusion Technology. *Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, 28(9), 10-20.
- Shin, C. S., Jeong, C. W., & Joo, S. C. (2004). Applying TMO - Based Object Group Model to Area of Distributed Real - Time Applications and Its Analysis. *Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, 31(7), 432-444.