

RFID/ZigBee 프로토콜을 활용한 가변구조 혼합형 모델 콕핏모듈 조립생산 시스템

구자록^{1*}

¹울산대학교 전기공학부

A Reconfigurable Mixed-Model Assembly System of Cockpit Module using RFID/ZigBee Protocol

Ja-Rok Koo^{1*}

¹School of Electrical Engineering, University of Ulsan

요약 자동차 조립산업에서는 다양한 제품의 요구사항에 신속히 대응하기 위해 혼합형 모델 조립생산 방식이 널리 활용되어 왔다. 그러나 이 모델은 부품의 혼동을 유발할 수 있는데, 혼합형 모델 조립라인에서 부품이 물리적으로 뒤바뀔 때 발생하는 조립오류의 원인이 될 수 있다. 최근 RFID와 ZigBee 무선센서네트워크와 같은 새로운 기술을 조립공정에 적용함으로써 이와 같은 생산 시스템에서 IT 인프라를 통한 실시간 정보를 활용할 수 있게 되었다. 본 논문은 혼합형 모델 조립라인에서 조립공정을 위한 RFID와 ZigBee 무선센서네트워크 활용을 제안한다. 먼저, 조립공정에서 정확한 부품을 선택하기 위해, 조립라인 상의 각 콕핏모듈에 RFID 태그를 부착하고, 이러한 태그를 RFID 리더기를 사용하여 스캔한 뒤 차량의 정보를 인식하고, 콕핏모듈의 각 부품은 바코드를 부착하여 바코드 리더기를 사용하여 스캔하여, 해당 부품이 조립될 차량의 콕핏모듈의 정확한 부품임을 확인한다. 다음으로 본 논문은 자동차 회사로부터의 다양한 주문과 신차 모델에 따른 조립라인에서의 공정의 변화와 재구성에 따라 발생하는 RFID 장치들과 IT서버 시스템 사이의 유선통신용 케이블 포설과 불편함을 제거함으로써 조립오류와 비용을 줄일 수 있는 가변구조 혼합형 모델 콕핏모듈 조립생산방식을 위해 ZigBee 무선센서네트워크 기반의 응용을 제안한다. 마지막으로 제안한 방식을 적용한 수년간의 운영 결과를 제시한다.

Abstract Mixed-model assembly line has been widely used in automotive assembly industry to quickly respond the diverse product demands. But, this model can lead to part confusion, which is a source for assembly errors when parts are physically interchangeable in a mixed-model assembly line. With the recent application of new technologies such as radio frequency identification (RFID) and ZigBee wireless sensor network (WSN) to the assembly process, real-time information has become available in this manufacturing systems through IT infrastructures. At first, this paper presents an RFID application for assembly processes, specifically, for a mixed-model assembly line. Thus, to ensure that parts be picked accurately, each cockpit module on the assembly line is attached with a RFID tag and the tag is scanned using a RFID reader and recognizes the vehicle, and each part of the cockpit module is attached with a barcode and the barcode is scanned by a barcode reader and each part is identified correctly for the vehicle. Second, this paper presents a ZigBee wireless sensor network (WSN) protocol-based application for a reconfigurable mixed-model assembly line of cockpit module to reduce the assembly errors and the cost of the change/reconfiguration on the assembly lines due to the various orders and new models from the motor company, avoiding the wiring efforts and inconvenience by wiring between the several RFID devices and the IT server system. Finally, we presents the operation results for several years using this RFID/ZigBee wireless sensor network (WSN) protocol-based cockpit module assembly line.

Keywords : Assembly errors, Cockpit Module, reconfigurable mixed-model assembly line, RFID, ZigBee wireless sensor network (WSN)

*Corresponding Author : Ja-Rok Koo(Univ. of Ulsan)

Tel: +82-52-259-2215 email: koorok@ulsan.ac.kr

Received September 14, 2015

Revised (1st November 9, 2015, 2nd November 18, 2015)

Accepted December 4, 2015

Published December 31, 2015

1. 서론

1980년 후반부터 모든 제조 산업에서 대량 맞춤형 제조 방식은 고객 맞춤형 제품을 대량 생산 비용에 근접하도록 제공하기 위하여 널리 사용되는 패러다임이 되었다. 대량 생산에서 대량 맞춤형으로의 패러다임 이동의 결과, 지난 수십 년 동안 소비 제품을 생산하는 제조업의 다양한 제품의 수는 지속적으로 증가하기에 이르렀다. 이러한 현상은 고객의 다양한 요구와 선호도뿐만 아니라, 세계 시장에서의 치열한 경쟁에 기인한 것이다.

제조 산업에서의 규모의 경제는 구성부품 수준에서 이뤄지는 반면, 다양한 제품에 대한 범위의 경제는 유연성과 가변구조형의 생산시스템을 사용하는 조립과정에서 얻을 수 있다[1].

이러한 다양한 제품 유형과 서로 다른 납품 시간과 같은 다양한 제품의 요구사항에 즉각적인 대응을 위하여 유연한 생산방식인 혼합형 모델 조립생산방식(mixed-model assembly lines)이 제조 산업에 널리 채택되고 있다. 혼합형 모델 조립방식은 다양한 부품, 복잡한 프로세스, 그리고 생산방식의 급속한 변화를 수반하여 생산관리에서의 어려움을 배가시킨다[2].

본 논문에서는 자동차산업에서의 고객의 다양한 요구에 따른 다양한 모델의 제품을 생산하는 혼합형 모델 조립생산에서 다양한 차종생산에 따른 비용절감과 오류방지를 위하여 RFID와 ZigBee 무선센서네트워크 기술을 활용한 유연하고 가변구조형의 생산시스템을 구현하는 것을 목표로 하고 있다. 울산에 소재한 완성자동차 협력업체인 D사의 혼합형 모델 카펫모듈 조립생산에서 오류방지를 위한 RFID 기반 시스템에 ZigBee 무선센서네트워크 기술을 접목한 가변구조 혼합형 모델 카펫모듈 조립생산시스템을 개발하여, 작업 중인 실시간 작업공정을 파악함은 물론, 신차 출시 시 발생하는 공정의 변경 및 이동에 따른 생산라인의 재구성과 케이블 포설 및 이동에서 예상되는 부품의 누락, 이종부품의 설치, 그리고 지연과 같은 품질의 문제점을 해결하여 제품의 생산성 및 품질향상, 비용절감을 추구하고자 하였다.

2. 기존 연구

2.1 혼합형 모델 조립생산방식

혼합형 모델 조립생산방식은 단일 조립라인에서 유사한 여러 제품들을 생산하는 수많은 생산환경에서 선호하고 있는 방식이다. 이러한 조립방식의 장점은 투자비용 절감과 고객의 요구에 따른 생산에서의 변동을 줄임은 물론, 소량 다품종 생산능력을 제공한다[3-5].

자동차 산업은 혼합형 모델 조립생산방식을 활용하는 조립공정에서 다양한 제품을 관리한다. 이것은 대개 생산과정에서 품질의 문제를 일으키는데, 부품의 혼돈으로 인한 오류는 단일조립 흐름에서 여러 제품의 종류가 조립이 되는 혼합형 모델 조립생산방식에서 더 자주 일어나는 경향이 있기 때문이다.

다양한 제품의 증가로 인한 생산의 복잡도 문제는 지난 수 년 동안 자동차 조립산업에서 해결해야 할 하나의 과제였다. 고객의 기대치와 혁신, 그리고 글로벌 시장의 안전규제 등으로 자동차 부품은 끝없이 발전하고 있다. 그러므로 기존의 제품과 신제품이 등장할 때마다 생산공정의 개선이 이뤄지고 있다. 또한 모듈 조립방식이 서로 다른 제품 유형들 가운데 공통의 구성요소로 인하여 수많은 동종의 제품을 생산할 수 있게 하였다. 모듈 조립방식의 대부분의 경우, 모양이나 구조가 비슷하여 육안으로 부품이나 동종의 제품을 구별하는 것이 어렵다. 이는 조립 라인에서 잘못된 부품의 제품을 조립하는 위험성이 있어서 제품의 품질에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

이러한 오류를 방지하기 위하여 정확한 제품이 조립될 수 있도록 적극적인 조치를 취해야 한다. 이는 제품개발의 초기 단계에서 제품과 생산의 품질을 보장하기 위하여 제품의 준비와 공정의 검증을 관리할 필요가 있음을 말한다[3, 6].

2.2 조립오류

수동의 혼합형 모델 조립생산방식에서 작업자의 오류는 조립오류의 근본적인 원인이며, 의도적인 오류이거나 의도하지 않은 오류일 수 있다. 의도적인 오류는 작업자가 자신의 작업방식이 더 좋고, 빠르며, 안전하다고 믿고 표준사양을 따르지 않을 때 발생하고, 의도하지 않은 오류는 예를 들면, 작업지시서를 읽지 않았거나 잘못된 해석으로 인한 틀린 부품을 조립하는 것과 같은 사전생각 없이 행해진 행위들이다. 대개 현장에서의 작업오류는 의도적인 오류와 의도하지 않은 오류가 혼재하여 발생한다. 이와 같이 혼합형 모델 조립생산방식에서 흔히 발생

하는 오류에는 누락오류, 잘못된 부품선택(이종오류), 부정확한 설치, 기타 부정확한 작업 등이 있다[3, 7, 8].

2.2.1 누락오류

누락오류는 혼합형 모델 조립생산방식에서 경험부족으로 일어나는 오류로써 매우 심각한 문제이다. 또한 작업자의 피로와 순환배치는 모든 제조환경에서 누락오류에 큰 영향을 미치고 있으며, 제품이 다양해짐에 따라 누락오류는 더욱 증가하고 있다.

2.2.2 잘못된 부품선택(이종오류)

여러 가지 요인으로 인해 잘못된 부품을 조립하는 오류가 발생한다. 작업자는 유사한 부품들의 상자에서 잘못된 부품을 선택하고, 이 잘못된 부품은 조립과정동안 작업자에게 건네져 조립이 되어 문제점을 발견할 수 없게 한다.

2.2.3 부정확한 설치

부정확한 설치는 수많은 오류에 의해 발생하는데, 잘못된 설치공구 또는 잘못된 공작물 고정장치(Jigs)의 사용, 그리고 모델마다 다른 설치위치 등이 대표적인 오류이다. 또한 각각의 모델마다 다른 설치 요구사항과 다양한 조립순서들 또한 부정확한 설치의 원인들이다.

2.2.4 기타 부정확한 작업

혼합형 모델 조립생산방식은 그 외에도 수많은 다른 문제들을 일으킨다. 이들 중 몇 가지는 생산계획과 자재 흐름에 연관되어 있다. 예를 들면, 작업자가 잘못된 제품 코드를 입력하면, 다른 제품에 관한 공정순서를 잘못 전달받게 되어, 잘못된 부품들이 작업자에게 전해짐에 따라 문제는 더욱 심각해질 수 있다.

2.3 자동차 산업의 RFID 기술 활용사례

RFID(Radio Frequency Identification)는 물리적인 접촉이 없이 RFID 태그를 부착한 물체와 RFID 리더기 사이에서 정보를 전송하는 무선 통신 기술이다. RFID 태그는 모든 물체를 컴퓨터로 하여금 자동으로 인식하고 고유하게 식별하도록 하여, 물체들을 추적하는데 널리 사용되고 있다. 이미 자동차 산업에서 RFID를 사용하고 있지만, 조립작업에서는 아직은 초기단계이다. 오늘날 크라이슬러, GM, Ford Motor Co., BMW, 폭스바겐과

같은 수많은 자동차 제조사에서 RFID 시스템을 이미 사용하고 있거나 테스트를 하고 있다.

GM은 RFID 기술을 사용하여 조립라인에서 부품을 식별하고 정렬하며, 완성차를 추적한다. 엔진, 샤시, 차체, 의자와 기타 조립품들에 대해 태그를 부착하여 신속하게 조립공정의 진행을 기록하고, 잠재적인 품질보증문제들을 추적한다.

Ford Motor Co.는 멕시코 공장에서 자동화된 조립생산라인에서의 제품의 품질을 향상시키기 위해 RFID 시스템을 성공적으로 구현하였다. Ford는 승용차와 트럭을 적기공급(Just-In-Time: JIT) 생산방식을 사용하고 있는데, 한 대의 차량이 생산공정을 지날 때마다 22개의 숫자로 이뤄진 일련번호를 참조하여 각 공정마다 필요한 부품을 알려준다. 이 기술은 RFID의 가장 큰 장점 중 하나이다. 이전의 각 확인서를 필요로 했던 수작업 코딩체계에서는 생산라인의 매 단위 작업 때마다 수작업으로 업데이트하던 과정을, RFID는 업데이트를 태그에 기록함으로써 작업자의 오류위험 없이 항상 일정하게 업데이트할 수 있게 한다.

BMW는 고객 주문 차량을 대량으로 생산하기 위해 RFID 기술을 조립라인에 적용하였다. BMW의 생산전략은 고객의 요구를 우선하는 방식에 기반을 두고 있다. 고객은 수많은 다양한 선택 중에서 선호하는 색상, 엔진과 타이어 스타일을 직접 택할 수 있어서, BMW 조립라인에서는 수백 가지의 서로 다른 자동차가 존재한다. 매우 잘 구성된 정밀한 제어 시스템이 없이는 이러한 복잡한 작업을 완료하기 힘들다. 이러한 문제를 해결하기 위해, BMW는 조립라인에 RFID 태그를 장착하여 자동차의 세부요구사항에 대해 태그를 반복적으로 사용하고 있는데, 모든 작업지점마다 RFID 태그 읽기/쓰기장치가 존재한다. 이렇게 함으로써 어떠한 실수도 없이 각 조립라인에서 자동차 조립을 마무리할 수 있다[9].

2.4 ZigBee 무선센서네트워크(Wireless Sensor Networks) 기술

ZigBee 무선센서네트워크는 계산능력과 무선통신, 그리고 센싱기능을 갖는 수많은 소형의 장치들로 구성되어 있고, 데이터양은 적지만 하나의 배터리로 1년을 사용할 정도로 저전력 규격이며, 소규모 공간(실내 30m 이내)의 네트워크에 적합한 개인영역 네트워크(Personal Area Network)의 무선통신 기술이다. 센서노드는 대개

관측지역에 흩어 놓는데, 관측지역에 있는 각각의 센서 노드는 주변 환경으로부터 데이터(예, 온도, 습도, 압력 그리고 빛의 밝기)를 수집, 처리하여 전송하는 한 개의 이상의 싱크노드를 거쳐 최종 사용자에게 보내게 된다.

무선센서네트워크 응용의 설계는 자원부족(예, 배터리, 메모리 그리고 프로세서), 통신모델과 응용요구사항에 매우 민감한 영향을 미친다. 무선통신에서, 신호의 힘은 거리의 제곱에 비례하여 감소하는데, 센서노드와 싱크노드 사이의 통신이 하나의 단일 홉으로 이뤄진다면, 네트워크에서 메시지 교환이 가능하기 위해 신호의 강도를 조절해야 할 필요가 있다. 이러한 과정은 전력 소모량을 증가시켜 네트워크의 수명을 단축시킬 수 있다.

하나의 해결방법은 다중 홉 통신을 채택하여, 몇 개의 중간 노드들이 메시지 송신지와 목적지 사이의 교량역할을 하도록 하는 것이다. 그러나 복잡한 ZigBee 무선센서네트워크에서는 다양한 노드들이 필요 없는 데이터의 중복과 전송을 자주 발생시키는 공통된 현상이 있다. 이러한 현상은 전력소모량을 매우 비관적으로 만드는데, 에너지를 절약하는 하나의 기법은 데이터 통합이다. 즉, 서로 다른 송신지로부터 오는 데이터를 취합하여 전송된 데이터의 중복을 제거하여 데이터의 전송량을 줄임으로써 에너지를 절약한다[10].

아직은 초기 단계이나 최근 자동차에 배치되는 센서의 수가 증가함에 따라 차량의 다양한 내부 환경에 ZigBee 무선센서네트워크 기술을 구현하는데 관심이 증대되고 있다. 또한 자동차 사고를 20-30% 줄일 수 있는 ZigBee 무선센서네트워크 기반의 지능형 운전자 보조시스템에서 비용절감과 저전력의 안전한 무선네트워킹 특징을 활용하는 연구뿐만 아니라, 자동차 산업에서 신속하게 재구성 가능한 모니터링과 제어를 위한 네트워크 프로세싱 노드를 설계하기 위해 ZigBee 무선센서네트워크 기술에 대한 연구가 진행되고 있다[11-13]

3. 본론

3.1 RFID 기반 혼합형 모델 카펫모듈 조립생산시스템

D사는 자동차 생산시스템의 카펫모듈을 생산하는 전문 부품업체이다. 일반적으로 카펫모듈(Fig. 1의 10)은 자동차의 운전석과 조수석을 구성하는데, 엔진룸 부위와

차량 실내 부위를 구분하는 인스트루먼트 패널에는 운전 에 필요한 차량의 정보를 운전자가 인식할 수 있는 각종 계기판이 설치되어 차실내의 쾌적한 환경을 위한 난방과 환기 및 공조시스템들이 장착되어진다. 카펫모듈은 인스트루먼트 패널과 이에 장착되는 여러 장치들의 조립을 위해 우선적으로 카울바와 다양한 형상의 브라켓들과 패널들을 미리 결합하게 되고, 이를 위해 카울바가 장착될 수 있는 공용기(Fig. 1의 11)를 이용해 고정된 상태에서 작업자가 장착할 여러 부품들을 조립하도록 한다. 공용기에 장착된 카펫모듈은 컨베이어(Fig. 1의 12, Fig. 2)를 따라 이동하면서 작업자에 의해 조립부품들이 장착되어 생산이 완료되는데, 작업자는 컨베이어를 따라 이동된 공용기 상의 카펫모듈을 육안으로 검사하여 차종에 따른 조립부품을 선택하여 조립한다. 또한 카펫모듈의 생산라인에는 입고, 조립, 검사 및 출고의 공정 순으로 진행되는데, 이때 각 공정을 해당 작업자가 책임지고 생산한다. 카펫모듈은 차량의 기종에 따라 상이하고, 각 기종마다 조립부품의 수가 상당히 많으므로 각 생산라인 작업자의 실수로 인해 불량품이 발생하거나 입고 및 출고가 잘못되는 등의 오류가 발생한다.

따라서 이러한 문제점들, 모듈관리 및 이종방지를 처리하기 위해 RFID 기반 혼합형 모델 카펫모듈 조립생산 시스템을 도입하게 되었는데, 우선 차량의 카펫모듈을 식별하기 위해 RFID 태그를 공용기(Fig. 1의 11)에 설치하고, 설치된 RFID 태그로부터 RFID 신호를 수신하기 위한 RFID 수신부는 컨베이어의 적정 위치에 설치하여, 카펫모듈의 입고, 조립, 검사 및 출고의 생산 공정 전 과정에서 RFID 신호를 수신하여 카펫모듈의 해당 차량식별정보(8자리 숫자로 이뤄진 일련 번호)를 확인해 가면서 조립생산 공정을 수행한다. 즉, 완성자동차로부터 받은 작업지시서의 사양과 조립부품의 사양이 일치하는지 확인하기 위하여, 부품 랙으로부터 각 카펫모듈에 장착될 부품들의 바코드와 카펫모듈의 RFID 태그 정보를 사용하여 각 공정에서 오류검사를 하는데, 이때 오류가 발생되면 경광등으로 오류발생을 작업자에게 알리는 등 조립부품을 정확하게 조립하기 위한 카펫모듈 생산제어 장치 및 그 방법을 제공한다[7, 14]. Fig. 2는 이와 같은 바코드와 RFID 기반의 혼합형 모델 카펫모듈 조립생산시스템의 전체 구성도를 보여준다.

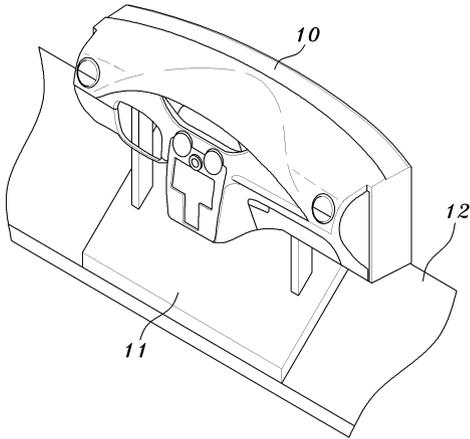


Fig. 1. Cockpit Module

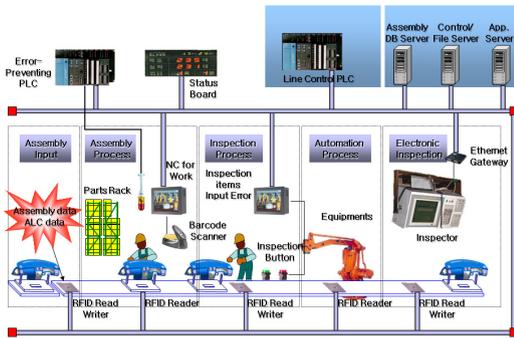


Fig. 2. System Configuration(Barcode/RFID)

3.2 ZigBee 무선센서네트워크 기반 가변구조 혼합형 모델 각펫모듈 조립생산시스템

그런데, 3.1절의 RFID 기반 혼합형 모델 각펫모듈 조립생산시스템을 설비함에 있어서, 자동차 회사로부터의 다양한 주문과 신차 출시 시 발생하는 조립공정의 변경 및 이동 때 각 공정마다 바코드 및 RFID 시스템에 관련된 유선통신용 케이블의 포설 및 이동을 새로이 해야 함에 따른 추가비용 발생은 물론, 케이블 포설의 구축이 원활치 않아 작업자의 생산성이 저하되는 문제점이 발생하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, RFID 기반 혼합형 모델 각펫모듈 조립생산시스템에 ZigBee 무선센서네트워크 기술을 적용한 ZigBee 무선센서네트워크 기반 가변구조 혼합형 모델 각펫모듈 조립생산시스템을 설계, 구축하여 생산 공정의 신규생성 및 변경에 유연성 있게 대처하여 생산성과 품질을 높이고자 하였다.

3.2.1 ZigBee 무선센서네트워크(Wireless Sensor Networks) 장비 테스트

우선, ZigBee 장비(Table 1) 테스트를 위하여 D사의 하나의 각펫모듈 조립공정에서, ID Information System사의 ZigBee 코디네이터 ZC100에서 주기적으로 패킷을 송신하고, 센서노드인 ZD110에 수신된 패킷의 RSSI(Received Signal Strength Indication: 수신신호세기) 값과 SEQ(Sequence: 패킷순서)를 로그로 저장하고, 저장된 로그의 RSSI 값과 SEQ를 분석하여 수신감도와 패킷 누락 현황을 체크하였다.

Table 1. ZigBee Test Devices

ZigBee Model	Hardware	Radio
ZC100 (ZigBee Coordinator)	<ul style="list-style-type: none"> Data Connection: TCP/IP, RS232 RS232 Data Rate: 1200~115200 bps Three LED: Power/Link/Data Operating Temp.: -40 to 85° C Power Volt.: DC 5V(Max 15V) 	<ul style="list-style-type: none"> Compliant to IEEE 802.15.4 & ZigBee Standard RF Freq. Range: 2.4 GHz RF Channel: 11~26Channel (2405~2480MHz) RF Data Rate: 250Kbps Distance: Indoor 30m /Outdoor 100m
ZD110 (ZigBee Wireless Device)	<ul style="list-style-type: none"> GPIO Port: DI(4)/DO(4)/ADC(3)/Count(2) RF Antenna: 3dBi Dipole Antenna Three LED: Power /Link/Data Operating Temp.: -40 to 85°C Power Volt: DC 5V(Max 15V) 	<ul style="list-style-type: none"> Compliant to IEEE 802.15.4 & ZigBee Standard RF Freq. Range: 2.4GHz RF Channel: 11~26Channel (2405~2480MHz) RF Data Rate: 250Kbps Distance: Indoor 30m /Outdoor 100m

3.2.2 테스트 결과

ZigBee 장비 테스트 결과는 다음 Table 2와 같다.

Table 2. ZigBee Test Results

	IEEE 802.15.4	Results	
Receiver sensitivity	-85 dBm above	average: -73 dBm	# of test packets: 90,000
Packets omitted	0	0	

테스트 결과 수신된 패킷의 평균 RSSI 값은 -73 dBm 으로 IEEE 802.15.4 표준 스펙에 제시되어 있는 -85

dBm 이상이고, 패킷 누락도 없는 것으로 보여 ZigBee 테스트 장비의 현장적용에 무리가 없을 것으로 판단된다. 저장된 로그 분석 결과 수신된 패킷의 RSSI 값이 불규칙적인 패킷이 발견되었으나 IEEE 802.15.4 기준을 벗어나지는 않아서 현장에 설치되어 있는 설비 및 무선장비를 고려하여 ZigBee 장비 설치 위치 선정에 주의를 하여야 할 것으로 판단된다[12].

한편, 본 시스템에서 적용한 ZigBee 장비의 무선주파수대역(RF Frequency Range)은 기본적으로 2.4GHz를 사용하고 있어서, 800MHz-1,000MHz의 2G, 2.1GHz의 3G, 1.8GHz의 LTE와 같은 휴대폰이나 900MHz의 무선전화기와는 혼선이 발생할 가능성이 없음을 확인하였다.

3.2.3 ZigBee 무선센서네트워크 기반 가변구조 혼합형 모델 카핏모듈 조립생산시스템

ZigBee 무선센서네트워크를 이용한 가변구조 혼합형 모델 카핏모듈 생산시스템은 우선, 카핏모듈 조립을 위한 다양한 부품에 부착된 바코드를 통해 부품정보를 판독하는 바코드리더기(Fig. 3의 100), 바코드리더기를 통해 판독된 부품정보나 RFID 태그로부터 읽어 들인 차량의 카핏모듈 정보를 제공받아 ZigBee 무선센서네트워크를 통해 무선 송신하거나 부품정보를 수신받는 ZigBee 무선디바이스(Fig. 3의 110), ZigBee 무선디바이스로부터 부품정보를 무선으로 수신받거나 송신하는 ZigBee 코디네이터(Fig. 3의 200), ZigBee 코디네이터를 통해 수신된 부품정보를 판별하고 해당 부품정보를 저장하는 부품정보서버(Fig. 3의 210), 카핏모듈 조립을 위한 다양한 부품별 정보를 저장하고, 부품정보서버로 부품정보를 제공해 주는 부품정보관리서버(Fig. 3의 220), ZigBee 코디네이터를 통해 수신받은 부품정보를 부품정보관리서버에서 조립대상 부품 여부를 확인하고 그에 따른 신호를 ZigBee 무선디바이스로 다시 송신하면, 작업자에게 바코드 리더기를 통해 판독한 부품이 조립 대상 부품인지 여부를 확인하기 위해 부품정보를 출력하는 모니터(Fig. 3의 121)와 조립대상이 아닌 부품의 경우 경고음을 출력하는 스피커(Fig. 3의 122)를 포함하여 구성된다 [16-18].

여기서 부품정보서버는 ZigBee 코디네이터로부터 수신된 데이터를 제공받아 해당 부품정보를 검색하는데, 바코드 리더기를 통해 판독된 부품정보가 해당 카핏모듈에 조립 대상인지 여부를 우선적으로 검색하고, 그 부품

에 해당 부품명칭, 입고날짜, 불량여부, 생산일자, 생산회사 등 부품에 대한 모든 정보를 포함할 수 있으며, 해당 부품이 조립 대상인지 여부를 우선적으로 판단한다. 예를 들어, A차종 카핏모듈에 조립되어야 할 A부품이 아닌 그와 유사한 다른 부품을 작업자의 착오나 실수로 조립하고자 할 경우에는 대상 부품 여부를 확인하여 주는 것이다. 이는 공용기를 통해 조립라인으로 입고되는 다양한 차종의 카핏모듈을 조립하는 작업자들의 혼선이 많이 발생할 수 있기 때문에 이를 효과적으로 방지하고자 함이다.

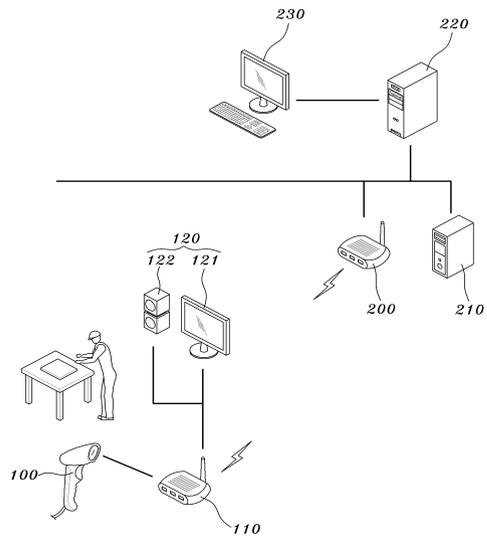


Fig. 3. ZigBee wireless sensor network based reconfigurable cockpit module production system

Fig. 4는 이와 같은 ZigBee 무선센서네트워크 기반의 혼합형 모델 카핏모듈 조립생산시스템의 전체 구성도를 보여준다.

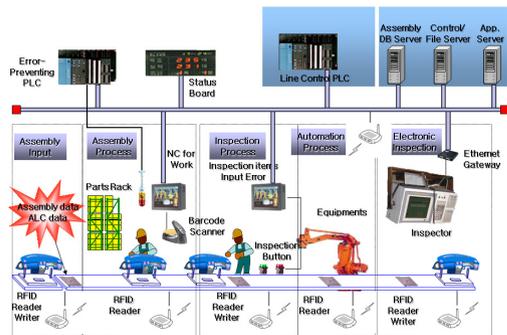


Fig. 4. System Configuration(Barcode/RFID/ZigBee)

Table 3은 2007년부터 D사에 바코드 및 RFID를 이용한 오류방지 기술을 혼합형 카펫모듈 생산시스템에 적용한 결과를 나타낸 것이다. 참고로 2006년까지는 바코드시스템만을 적용하였다. 그리고 2007년부터 2009년 7월까지의 바코드 및 RFID를, 그리고 2009년 말부터 기존의 바코드 및 RFID 시스템에 ZigBee 무선센서네트워크를 추가한 가변구조형 혼합형 카펫모듈 생산시스템을 적용한 결과 오류발생현황을 나타낸 것이다.

Table 3에서 보는 바와 같이, 바코드시스템과 RFID 시스템을 비교할 경우(2007년-2008년), 이중오류는 바코드시스템만 적용했던 2005-2006년과 별 차이가 없고, 누락오류는 현저히 감소했음을 확인할 수 있다. 바코드시스템과 RFID 시스템에 ZigBee 무선센서네트워크시스템을 추가한 2009년을 기점으로 살펴보면, 이중오류와 누락오류 모두 서서히 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 다시 말해 전체적인 오류발생현황은 RFID 시스템을 구축, 적용한 2007년부터 현저한 감소세를 확인할 수 있다. 그런데, 2008년의 오류증가는 당시 신차 출시 시 혼합형 모델 조립라인의 차종변경에 따른 조립공정의 변경으로 발생한 일시적인 현상이다. 기존 시스템에 ZigBee 시스템을 추가한 2009년부터는 오류발생현황이 전체적으로 감소하여 안정화 단계에 접어들고 있음을 알 수 있다. 오류발생 1회가 회사에 미치는 영향은 납품업체로부터의 손해배상청구를 받아 부품업체에 많은 경제적 손실을 가져오는 물론, 직간접적인 피해가 예상되기 때문에 회사의 입장에서는 그 영향이 매우 심각하다고 할 수 있다.

Table 3. Errors Occurred in the Mixed-Model Assembly Line

	05	06	07	08	09	10	11	12	13
wrong parts	8	5	8	6	3	2	1	2	2
omission	44	25	4	11	3	1	3	2	0
계	52	30	12	17	6	3	4	4	2

4. 결론

본 논문의 RFID 기반 카펫모듈 조립생산시스템에 ZigBee 무선센서네트워크를 이용하여 가변구조형 생산시스템을 구축함에 따라 무선환경을 통한 시스템 구축이 매우 용이하고 ZigBee 무선센서네트워크의 장점을 활용할 수 있으며, 생산라인의 혼합형 모델생산에 따른 다품

종 생산설비의 변경에 쉽게 대응하여 공장설비 이동으로 인한 공사비의 절감을 가능하게 함은 물론, 생산성을 향상시킬 수 있는 이점이 있다. 또한 카펫모듈 생산라인 즉, 입고, 조립, 검사 및 출고의 전 과정을 생산일정대로 진행할 수 있도록 제어가 가능하고, 바코드와 RFID를 이용하여 조립부품을 정확하게 조립하여 불량률 감소와 고품질의 생산시스템을 구축할 수 있으며, 불량 제품의 원인 분석뿐만 아니라 카펫모듈 생산시스템의 공정개선에도 유용하게 활용될 것이다.

References

- [1] S.J. Hu, J. Ko., L. Weyand, H.A. Elmaraghy, T.K. Lien, Y. Koren, H. Bley, G. Chryssolouris, N. Nasr, M. Shpitalni, "Assembly system design and operations for product variety", CIRP Annals-Manufacturing Technology, pp.1-19, 2011.
- [2] Zhixin Yang, Wei Xu, Pak-Kin Wong, Xianbo Wang, "Modeling of RFID-enabled Real-time Manufacturing Execution System in Mixed-model Assembly Lines", Mathematical Problems in Engineering, Article ID 575402, pp.1-40, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/137801>
- [3] Rasmus Personne, Victor Matinlassi, "Part assurance in a mixed-model assembly line", Master of Science Thesis, KTH Industrial Engineering and Management ITM, pp.1-65, 2014.
- [4] Nils Boysen, Malte Fliedner, Armin Scholl, "Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique", European Journal of Operational Research No.192, pp.349-373, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2007.09.013>
- [5] Jayashankar M. Swaminathan, Thomas R. Nitsch, "Managing Product Variety in Automobile Assembly: The Importance of the Sequencing Point", Interface vol.37, No.4, pp.324-333, July-August, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/inte.1060.0278>
- [6] Gaukler, Gary M. Hausman, Warren H., "RFID in mixed-model automotive assembly operations: process and quality cost savings", IIE Transactions, Nov., 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07408170802167654>
- [7] Jarok, Koo, "Error-Preventing Monitoring System using RFID in the Mixed-Model Automotive Parts Assembly Line", The Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.10, No.12, pp.3863-3869, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.12.3863>
- [8] Brent Cheldelin, Kosuke Ishii, "Mixed Model Assembly Quality: An Approach To Prevent Human Errors", Proceedings of IMECE, pp.1-12, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1115/imece2004-62279>
- [9] V. P. Jaganathan, N. Ganesh Kumar, "Implementation of RFID Technology in Assembly Line for Part Traceability", Proceedings of the National Conference on

- Manufacturing Innovation Strategies & Appealing Advancements, pp.1-8, April 19, 2013.
- [10] Suk-Keun Cha, Jeong-Hoon Lee, Han Gyu Kim, Joon Jae Yoo, Jung Hoon Kang, Dong Hoon Kim, Jun Yeob Song, "An Auto-Configuration of 4M Group Management Using Wireless Sensor Networks", Wireless Sensor Network, pp.402-410, 2010.
- [11] Hsin-Mu Tsai, Cem Saraydar, Timothy Talty, Michael Ames, Andrew Macdonald, Ozan K. Tonguz, "ZigBee-based Intra-car Wireless Sensor Network", IEEE Xplore, July, 2007
- [12] Suhas Chakravarty, Varun Jain, Nakul Midha and Prashant Bhargava, "Low-Cost Driver Assistance Using ZigBee/IEEE 802.15.4", <http://www.freescale.com/beyondbits>, pp.78-82.
- [13] K. Pavani, M.S. Madhan Mohan, "Implementation of CAN and ZigBee networks based industrial monitoring and control applications", International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), pp.1-5, July, 2012
- [14] Cha Jang Mok, "The Assembly Defect Preventing Monitoring System using RFID in the Cockpit Module", Master Thesis, Institute of e-Vehicle Technology, Univ. of Ulsan, 2006.
- [15] IEEE Std 802.15.4-2003, Wireless Mac and Phy Specifications for LR-WANS, pp.45-48.
- [16] Patent No.10-0783598, "Control device and method for Cockpit Module Production using RFID signals", 2007.
- [17] Patent No.10-0846453, "Cockpit Module Production Device using RFID signals", 2007.
- [18] Patent No.10-1178413, "Cockpit Module Production System and Production Methods using ZigBee Protocol", 2012.

구 자 록(Ja-Rok, Koo)

[정회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 계산통계학과 (이학사)
- 1987년 2월 : 서울대학교 계산통계학과 (이학석사)
- 1989년 7월 : 서울대학교 전산학과 (박사과정수료)
- 1989년 3월 ~ 현재 : 울산대학교 전기공학부 부교수

<관심분야>

인공지능, 다중에이전트 시스템, 전자상거래, 산업현장자동화 시스템