www.calsec.or.kr
http://dx.doi.org/10.7838/jsebs.2013.18.2.223

RFID 기반 물류관리의 신뢰성 향상을 위한 상황인지 시스템 개발

A Context-Aware System for Reliable RFID-based Logistics Management

진희주(Hee-Ju Jin)*, 김훈태(Hoontae Kim)**, 이용한(Yong-Han Lee)***

초 록

RFID(Radio Frequency Identification)는 모니터링 하려는 인식대상물에 태그를 부착하여 무선주파수를 이용하여 인식대상물의 데이터를 인식하는 기술로서 최근 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 물류 및 제조에서 많은 도입이 시도되고 있다. 4RFID는 특정 인식지역 내의 모든 태그들을 인식한다. 이러한 점이 RFID가 갖는 장점 중 하나이다. RFID의 인식 메커니즘은 복수 태그들을 동시에 인식하는 것에 초점이 맞춰져 있다. 따라서 RFID 하드웨어만으로는 인식되는 태그의 이동방향, 순서, 적합성 등을 판단하기 어렵다. 이러한 문제점들은 실제 RFID 현장 적용 시에 예기치 못하는 문제점들을 발생시키는 원인이 되어왔다. 그 중 대표적인 문제점으로 단일 RFID 게이트에서의 입/출고 판단의 어려움과 서열화된 인식대상의 서열 판단의 어려움, 그리고 고스트 인식을 들 수 있다. 고스트 인식이란 협소한 장소에서 태그가 부착된 인식대상이 이동할 때 정해진 프로세스와는 무관한 RFID가 해당 인식대상을 인식하여, 혼란을 야기시키는 것을 말한다. RFID 개발자는 이러한 문제를 적용 사례마다 분석하여 해결해야 하며, 프로그램을 통해 해결하지 못하는 경우에 RFID 시스템을 다시 설치해야 하는 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 인식대상의 방향인지, 서열인지, 인지 적합성 검증과 관련하여 인식대상을 인식할 때 획득되는 기본 데이터들을 이용하여 문제를 해결할 수 있는 알고리즘과 이를 모듈화하여 현장 적용 시에 캡처링 애플리케이션의 개발 시간을 단축할 수 있는 시스템을 개발한다.

ABSTRACT

RFID(Radio Frequency Identification) is use of an RFID tag applied to object for the purpose of identification and tracking using radio waves. Recently, it is being actively researched and introduced in logistics and manufacturing. RFID portals in supply chains are meant to identify all the tags within a given interrogation zone. Hence the hardware and software mechanisms for RFID tag identification mostly focus on successful read of multiple tags simultaneously. Such mechanisms, however, are inefficient for determining moving direction of tags, sequence of consecutive tags, and validity of the tag reads from the viewpoint

이 논문은 농림수산식품부가 지원한 “지능형 농식품 포장 연구센터”의 일환으로 수행되었습니다.
* Ph.D. Candidate Department of Industrial and Systems Engineering, Dongguk University-Seoul
** Professor, Department of Industrial and Management Engineering, Daejin University
*** Corresponding Author, Associate Professor, Department of Industrial and Systems Engineering, Dongguk University-Seoul(E-mail : yonghan@dongguk.edu)
2013년 04월 15일 접수, 2013년 05월 16일 심사완료 후 2013년 05월 21일 게재확정.

of workflow. These types of problems usually cause many difficulties in RFID portal implementation in manufacturing environment, there by having RFID-system developers waste a considerable amount of time. In this research, we designated an RFID portal system with SDO(Sequence, Direction, and Object-flow)-perception capability by using fundamental data supplied by ordinary RFID readers. Using our work, RFID system developers can save a great amount of time building RFID data-capturing applications in manufacturing environment.

키워드 : RFID, 포탈, 상황인지, UHF, 서열, 방향, 워크플로우
RFID, Portal, Context Awareness, UHF, Sequence, Direction, Object Flow

1. 서 론

RFID(Radio Frequency Identification)는 무선 주파수를 이용하여 다량의 태그 데이터를 인식하거나 태그에 데이터를 저장할 수 있는 기술이다. 근거리에서만 인식이 가능한 바코드와는 달리 3~5m의 원거리 및 시선(line of sight)이 확보되지 않는 상황에서도 태그의 인식이 가능하기 때문에 다양한 응용분야에서 적용사례가 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 추세에 힘입어 국내의 RFID 하드웨어 및 소프트웨어 시장은 2010년 2.17조 원 수준에서 2018년에는 13.36조 원까지 성장할 것으로 전망되고 있다[8]. 특히 자동차 및 전자산업이 중심이 된 국내 제조산업에서는 RFID 적용 효과에 대한 검증이 완료되어 본격적인 확산 단계로 접어들고 있으며, 주로 조달물류 및 제조공정 관리 프로세스에 활발히 적용되고 있다[4].

제조 현장에 구축되는 RFID 시스템의 구성요소 가운데 핵심적인 부분은 RFID 리더로서, 주로 리더 본체와 안테나, 그리고 호스트 컴퓨터가 하나의 시스템을 이루게 되는데, 흔히 'RFID 포탈'(portal)의 형태를 취한다. RFID 포탈이란 출입구를 통해 들고 나는 태그부착 개체들을 인식하기 위해 RFID 안테나와 리더를 배치한 장비를 의미하며, <Figure 1>은 전형적인 형태를 보여준다. RFID 포탈은 입출고되는 아이템들을 인식하기 위한 목적으로 주로 설치되지만, 공장 내부에서 특정 구역들 간에 이동하는 아이템들을 인식하는 목적으로도 많이 활용된다[3]. 본 연구에서는 제조 물류에서 아이템 추적에 활용되는 고정형 RFID 리더 시스템들을 포괄적으로 RFID 포탈로 정의한다.

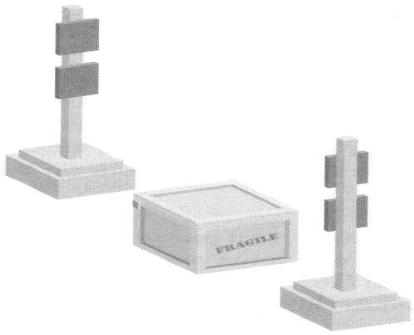
제조 물류를 포함하여 다양한 물류관리에 널리 활용되는 RFID 기술은 UHF 대역의 수동형(passive) 태그로서, 전형적인 제조환경에서 인식성능에 많은 방해 요소들이 존재한다. 기본적으로 RFID 리더 모듈은 인식범위 내에 들어 온 RFID 태그를 가능하면 모두, 최대한 신속하게 인식하도록 설계되어 있다. 그러나 아래와 같이 실제 제조현장의 열악한 상황에서는 여러 가지 문제가 발생할 수 있다.

- 좁은 작업장 및 창고 공간 때문에 RFID 포탈 간 거리가 충분히 확보되지 않는 경우
- 동일한 RFID 포탈을 통해서 입고 및 출고가 모두 이루어져야 하는 경우

따라서 제조 물류 및 공정에 RFID를 적용하는 데는, 제조산업 고유의 프로세스적 요구조건을 충족해야 하고 열악한 인식 환경을 극복해야 하는 문제가 존재하게 된다. 이로 인해서, RFID 시스템을 제조환경에 구축하는 과정에서 수많은 시행착오와 장기간의 안정화 작업이 요구되고, 결과적으로 RFID 도입의 주요한 저해요인이 되고 있다.

RFID 적용이 활발히 이루어지는 제조 분야 중 자동차 산업은 대표적인 종합 제조산업으로서, 개발, 생산, 유통, 판매, 서비스 단계에서 많은 산업과 관련하여 연관 효과와 기술 파급 효과가 매우 큰 사업이다. 특히, 2만 개 이상의 부품을 가진 완성차를 신속히 조립하는 것이 중요하기 때문에 조립라인의 많은 부분이 자동화되어 있다. 이러한 자동 조립공정에 RFID를 적용시키게 된다면 정확한 생산 계획 및 통제를 위한 실시간 작업 정보를 얻을 수 있으며, 작업자의 실수를 줄이게 되어 더 안정적인 조립공정 자동화가 이루어 질 수 있다[9].

자동차 제조공정의 한 가지 특징으로서, 완성차는 하나의 조립라인에서 다양한 차종과 사양이 동시에 조립되기 때문에 옵션이 다양한 부품의 경우에는 부품 납품 단계에서부터 조립라인에 투입되는 순서에 맞춰 서열(sequence) 작업 후 납품하게 된다. 그러나 최종 생산계획이 2시간 이내의 여유를 가지고 부품업체에 전달되기 때문에, 신속한 서열화 작업과 확인이 요구된다. 예를 들어, 현재 G사에 납품하는 C사는 서열화 작업 후 바코드를 이용해 작업자가 직접 확인 작업을 수행하고 있다. 그러나 촉박한 납품 시간을 맞추기 위해서 이러한 서열 확인 작업을 생략하는 경우가 빈번히 발생된다. 이로 인하여 조립라인에서 서열오류가 발생하는 경우, 조립라인 가동이 전면 중단되고, 분당 40만 원 이상의 금전적 손실이 발생하게 된다. 따라서 RFID 기술과 같은 자동인식 기술을 활용하여 서열오류를 자동으로 검증할 수 있다면 인건비 절감 및 서열오류로 인한 비용을 크게 절감할 수 있게 된다.



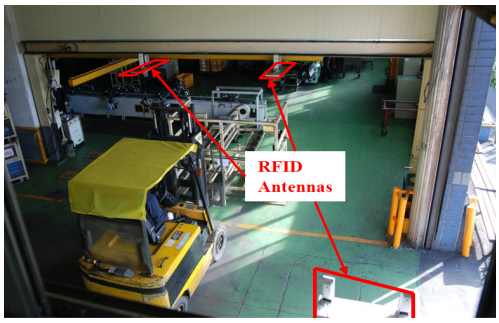
〈Figure 1〉 RFID Portal

이러한 배경 하에, 본 연구는 국내 대표적 제조산업인 완성차 및 부품공급 업체들이 조달 및 제조물류 프로세스에 RFID 시스템을 적용하는 과정에서 겪고 있는 RFID 태그 인식과 관련된 주요 문제점들을 분석하여 이를 해결하기 위한 솔루션으로서 제조환경에 특화된 상황인지 RFID 포탈 시스템을 설계하고 개발하는 것을 목적으로 연구를 수행되었다.

2. 시스템 요구 분석

실제 완성차 제조사인 G사와 부품 제조사 C사 간의 부품 공급 프로세스에 RFID 기술을 적용하는 과정에서, UHF 대역 RFID 기술의 특성으로 인한 여러 문제점들이 발견되었는데, 특히 <Figure 2>에서 볼 수 있는 바와 같이 좁은 지역에 다수의 RFID 안테나들이 설

치되는 경우가 많이 존재하는 것으로 파악되었다.



〈Figure 2〉 Loading Zone and Gateway of a Typical Manufacturing Plant

이 경우, 단일 태그가 다수의 RFID 안테나에 중복 인식됨으로써 태그가 부착된 부품의 추적이 불가능해지고 전체 RFID 시스템의 로직 오류가 발생되는 등, 인식된 데이터의 신뢰성이 떨어지게 된다. 이를 해결하기 위하여 RFID 안테나 설치지점 간의 거리를 충분히 확보하거나, 현재의 작업장 레이아웃을 변경함으로써 인식영역(interrogation zone)의 중첩을 제거하여야 한다. 그러나 이러한 대안은 많은 투자를 초래하게 되어, 결국 RFID 도입을 저해하게 된다. 자동차 제조 물류 프로세스에 RFID 적용하는 과정에서 빈번히 발생되는 대표적인 문제들이 다음과 같이 파악되었다.

2.1 서열 판단

<Figure 3>의 예와 같이, 자동화된 조립라인에 부품을 투입하기 위해서 부품 납품업체에서는 조립업체의 생산계획에 따라 부품들의 서열을 맞추어 납품한다. 조립라인에서 부품 서열오류가 발생할 경우에는 조립라인의 전반적인 작동이 중지되며, 전체 공정을 지연시켜 큰 손실을 발생시킨다. 따라서 현재 부품 납품업체에서는 부품 서열에 대하여 바코드를 이용하여 서열을 확인하고 있거나 생산스케줄에 맞춰 생산된 부품들을 순서대로 적재하여 서열을 맞추고 있다. 그러나 바코드를 이용하거나 작업자가 직접 확인하는 작업은 작업자가 부품의 서열 순서대로 직접 바코드 리더기로 스캔하거나 일일이 눈으로 확인하기 때문에 많은 시간이 소요되며, 작업자의 실수로 인한 서열 오류 발생이 때때로 발생하게 된다. 이러한 문제점을 RFID 시스템을 이용한 자동화 서열 검사 방식으로 해결할 수 있다. 그러나 일반적인 RFID의 기능을 사용하여 해당 부품의 태그의 인식 순서를 이용하여 서열을 판단하는 방법은, 부품간의 간격이 좁고, 금속 제품의 전파왜곡 현상 등으로 인해서 태그의 부착 순서와는 다르게 인식 순서가 뒤바뀌는 현상이 발생하게 되고, 결과적으로 서열 확인이 불가능한 기술적 어려움이 존재한다.

〈Figure 3〉 Sequenced Parts in Racks

2.2 이동 방향 판단

RFID 시스템을 입고 또는 출고 게이트에 설치하게 되면, 인식대상물이 해당 RFID 시스템의 인식범위를 통과할 때 자동으로 입고 또는 출고로 인식할 수 있다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 실제 공장 환경에서는 동일한 게이트를 통해서 입고 및 출고가 모두 처리되고 있고, 공장 내부에서 이동하고 있는 RFID 부착 부품의 경우에 게이트 근처를 이동하면서 의도하지 않게 인식되는 경우도 자주 발생하기 때문에 게이트를 확실히 통과하고 있는 부품인지, 그리고 현재 입고 방향으로 이동 중인지 아니면 출고 방향으로 이동 중인지를 명확히 판단할 수 있는 RFID 포탈 시스템에 대한 요구가 크다.

게이트를 통과하지 않는 RFID 태그의 오인식 문제를 해결하기 위해서 일반적으로 게이트 입구에 센서를 부착하여 지게차의 움직임을 인지하는 방법이 활용되기도 하지만, 이 경우 서로 다른 방향에서 동시에 진입하는 상황에서 이동 방향을 파악할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로, 두 개의 안테나에 수신되는 전파의 강도와 지연시간을 이용하여 태그와 안테나의 거리를 추정하고 이를 바탕으로 이동 방향을 판단하는 방법이 제안된 바 있으나[7], 두 개의 안테나 사이의 충분한 거리 확보가 필요하기 때문에 넓은 설치 공간이 필요하고, 전파의 반사 등에 따른 수신 강도의 부정확성으로 인하여 금속소재 설비가 많이 존재하는 자동차 제조 공장 등에 적용하기 어렵다는 문제점을 가지고 있다.

2.3 인식 적합성 판단

RFID의 인식 오류의 유형은 <Table 1>과 같이 미인식과 오인식으로 구분될 수 있다. 제한된 장소에 다수의 RFID 인식영역이 존재하는 경우, 또는 인식대상이 이동 중에 의도하지 않은 RFID 인식영역에 들어가는 경우에는 해당 프로세스에서 작업이 이루어지지 않았음에도 불구하고 RFID 시스템은 해당 프로세스를 완료하였다고 판단하는 오류가 발생하게 된다. 앞서 언급한 바와 같이, 이와 같이 인식하지 말아야 할 태그를 인식하는 오류(오인식)는, 인식해야 할 태그를 인식하지 못하는 오류(미인식) 만큼이나 중대한 문제를 초래한다. 이러한 오류를 해결하기 위해서는 역시 인식영역 간의 충분한 거리 확보, 차폐막 설치, 레이아웃 변경 등 고비용의 투자를 필요로 하며, 대부분의 경우 RFID 도입을 위해서 공장 내부의 물리적인 환경을 변경하는 것은 현실적으로 용인되기 어려운 상황이다.

〈Table 1〉 Types of RFID Read Error

	Definition	Typical solutions
Missing Read	Failure to read the tag which should be read.	To increase the RF power. To adjust the number, direction, or location of antenna.
Misconceive Read	Reading the tag which shouldn't be read.	To decrease the RF power. To install RF shields.

3. SDO 판단 알고리즘

일반적으로 RFID 시스템을 현장에 설치하는 과정에서 인식범위 설정, 인식률 향상 등을 위해 전파출력, 안테나 방향 등에 대한 세부 튜닝 작업을 수행하게 된다. 그러나 방향판단, 서열판단, 인식 적합성 판단과 같은 문제들은 단순한 RFID 하드웨어 튜닝만으로 해결되기 어렵다. 본 연구는 서열(Sequence), 이동방향(Direction) 판단 알고리즘을 RFID 인식 특성에 따른 휴리스틱 방법을 사용하여 개발하고, 인식적합성(Object flow) 판단 알고리즘[6]과 통합하여 SDO(Sequence, Direction, and Object) 판단 알고리즘을 개발하였다. 태그 및 RFID H/W의 고장으로 인한 미인식(Missing Read)은 존재하지 않는다고 가정하였다.

3.1 서열 판단 알고리즘

앞서 설명된 바와 같이, 서열 확인 작업은 정해진 수량의 서열부품들을 전용 적재용기에 주어진 순서대로 적재하게 되고, 서열에 따라 적재된 부품들이 서열 확인 RFID 안테나를 통과하면서 서열을 확인하는 방식으로 구현될 것이다. 대부분의 RFID 시스템 적용에서 최초의 태그 인식을 기준으로 처리하고 있다. 그러나 인식범위가 근소하게 변하기 때문에 근접한 위치에 존재하는 부품들의 서열을 최초 태그 인식으로 판단할 때에는 순서가 뒤바뀌는 경우가 자주 발생하게 된다. 따라서 인식범위에 인식대상이 자나갈 때 획득되는 데이터를 기반으로 서열을 판단 할 만큼 충분한 데이터가 누적시키고 인식 시간에 대한 평균으로서 서열을 판단하는 알고리즘을 제안한다. 세부 로직은 <Figure 4>와 같다.

```
batch_size: the number of targets needed perception of sequence
limit_count: the count decided valid reading about the target
CHECK_FULL : checking the number of arrays of which size
                is equal to limit_count
READ : It queries tagID and readtime from RFID reader and
                return them.
// tagID = x, readTime = t
WHILE{
   READ
   IF x has never been read before THEN
      CREATE array x
      INPUT t INTO array x
   ELSE
      IF size of array x != limit_count THEN
         INPUT t INTO array x
   ENDIF
   IF CHECK_FULL = batch_size THEN
      OUTPUT tagIDs / meanTimes ORDER BY mean of array
                ASC
      Do not READ tagIDs / meanTimes included OUTPUT
                anymore
      DELETE all arrays
   ENDIF
}
```

〈Figure 4〉 Sequence Checking Algorithm

서열 판단 알고리즘을 적용하기 위해서 먼저 batch_size와 limit_count를 설정한다. batch_size는 서열 판단의 대상이 되는 아이템의 개수로써, 하나의 앞의 <Figure 3>의 예와 같이 하나의 컨테이너 혹은 랙에 적재된 인식대상의 수량이다. 예를 들어 생산라인에 특정 부품을 투입할 경우, 전용 컨테이너 또는 랙에 정해진 수량만큼 적재하여 투입하여야 한다. 이때 정해진 수량이 batch_size의 설정값으로 사용된다. limit_count는 인식대상이 정상적으로 인식범위를 통과하였다고 보장할 수 있는 최소한의 인식 데이터 개수로서, 동시 인식되는 최대 인식대상의 수, 인식대상의 형태 및 재질 등 인식률에 영향을 미치는 요소들을 고려하여 사전 실험을 통하여 적절한 값을 도출하여 설정하여야 한다. batch_size와 limit_count가 설정되고 인식 데이터가 획득되었을 때, 해당 인식대상의 최초 인식 여부를

판단하고 최초 인식일 경우에는 인식대상의 해당 태그ID를 이름으로 갖도록 생성한다. 이때 배열은 해당 태그ID가 인식될 때마다 배열의 크기를 확장하여 인식시간을 저장하게 된다. 즉, 특정 태그ID를 가지는 배열의 크기를 확인하면 해당 태그ID에 대한 총 인식 횟수를 파악할 수 있게 된다. 최초 인식이 아닐 경우에는 해당 태그ID의 이름을 가지는 배열을 확장한 후 인식 시간을 저장하게 된다. 인식대상의 데이터 저장이 완료되면 생성된 모든 배열들의 크기를 검사하여 limit_count와 동일한 배열의 개수를 확인하고 그 개수가 batch_size와 동일한 경우일 때, 해당 배열들에 저장되어있는 시간들의 평균 인식 시간을 구한다. 계산된 평균 인식 시간을 기준으로 배열들을 오름차순으로 나열하여, 평균 인식 시간과 함께 전달함으로써 서열을 판단한다. 즉, 나열된 배열의 이름의 순서가 해당 RFID 시스템을 지나는 인식대상들의 서열이 되고, 평균 인식 시간들은 해당 인식대상의 인식 시간이 된다. 이후 서열 판단이 완료된 인식 대상들의 데이터는 서열 판단이 완료되었어도 인식범위를 완전히 통과하지 않고 지속적으로 인식이 이루어질 수도 있기 때문에 서열 판단이 완료된 인식대상들은 더 이상 인식이 되지 않도록 한다.

3.2 이동 방향 판단 알고리즘

방향판단을 위한 RFID 안테나는 창고나 공장 등의 입출고 게이트에 설치된다. 입・출고 게이트는 운송장비의 이동이 빈번하게 이루어지고 사고의 위험성이 존재하기 때문에 최소한의 공간에 설치되어야 하는 제약이 존재한다. 또한 UHF 대역의 RFID는 최대 3~4m의 넓은 인식범위를 가지기 때문에 입・출고 게이트와 근접한 부분에서 입・출고와 상관없는 이동이 발생할 시에 인식범위를 지나갈 수 있으며, 이때 RFID 시스템에서 이를 입고 또는 출고로 판단하게 되는 오류가 발생 될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 일반적으로 출입문 전・후에 포토센서를 설치하여 방향성을 확인한다. 그러나 특정 인식대상이 출입문을 통과할 때, 인근의 다른 인식대상이 인식되면 이를 구별하지 못하며, 동시에 들어가고 나가는 인식대상들을 구별하지 못한다는 단점이 존재한다. 따라서 RFID 안테나가 방향성을 가진다는 점을 이용하여, 서로 다른 방향을 유지하면서 최소한의 설치 공간을 위하여 두 개의 안테나를 일렬로 위치시킨 후 안테나 사이의 각도 Θ를 변화시키는 방법을 선택하였다. 이때 안테나 사이의 각도는 안테나의 후면부(안테나가 태그를 인식하는 면의 반대면)를 기준으로 측정하였다. Θ가 작아질수록 두 개의 안테나의 방향의 차이가 커지게 되어 태그가 통과할 때, 각 안테나의 인식범위가 명확히 분리되기 때문에 방향판단에 필요한 데이터를 얻기에 용이한 반면에 통과하는 태그와 안테나의 각도는 커지게 되어 인식률이 낮아지게 된다. <Table 2>는 기존 연구에서 태그와 안테나의 각도에 따른 인식률을 보여준다.

〈Table 2〉 Ratio of Successful Reads with respect to Antenna-Tag Angle[10]

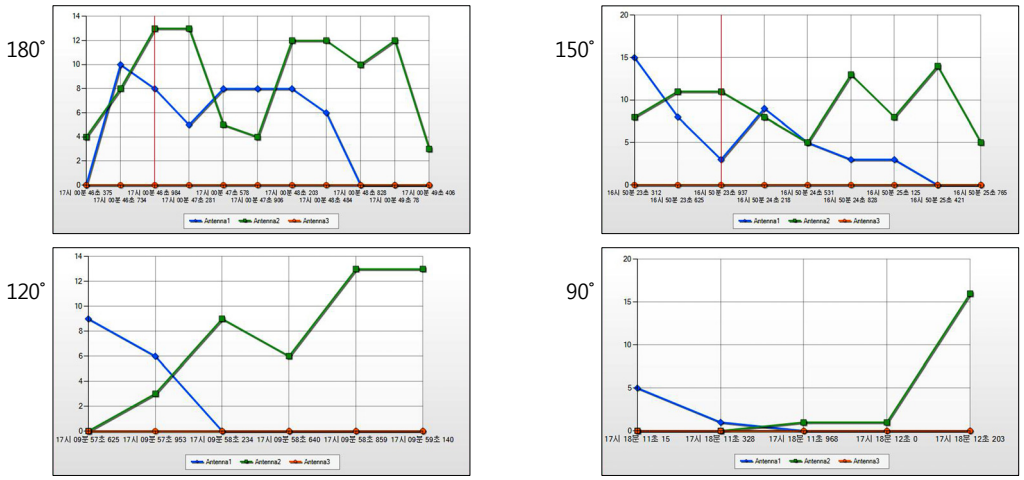
Angle	Read rate(%)	Angle	Read rate(%)
0	100	50	19
10	100	60	16
20	93	70	15
30	88	80	5
40	75	90	0

Θ가 작아지게 되면 인식 범위가 넓어져 인식대상이 이동해야 할 거리도 길어지는 반면 태그의 인식률이 떨어지는 문제가 존재한다. 그리고 인식 범위가 넓어질 경우 입출고 게이트 주변에서의 인식이 많아지게 되어 잘못된 판단을 내릴 가능성이 커지게 된다. 따라서 알고리즘의 개발에 앞서 이러한 안테나간 각도에 대한 인식 데이터 프로파일의 변화 양상을 확인하기 위한 사전 실험을 진행하였다. 실험은 두 개의 안테나를 설치한 후, 안테나의 각도 차이에 따라 태그가 부착된 박스를 통과시키면서 각 안테나에서 인식된 모든 이벤트에 대한 시간을 저장하는 방식으로 진행하였다. 실제 현장에서 지게차를 이용하여 컨테이너 또는 랙을 이동하는 것을 고려하여 3개의 속도 구간을 기준으로 10회 반복 실험을 진행하였다. 실험결과 Θ에 따라 평균 인식횟수는 <Table 3>과 같이 Θ에 따라 많은 영향을 받는 것을 확인하였다.

〈Table 3〉 Number of Successful Reads with respect to Θ

Speed(m/s)	180°	150°	120°	90°
0.5~0.8	153.0	126.0	135.0	30.7
0.9~1.5	127.7	91.3	73.3	37.7
1.6~1.9	121.7	122.3	62.3	24.7

방향판단을 위해서는 인식범위를 인식대상이 통과할 때, 이를 인식하는 안테나가 달라져야 한다. 외부를 바라보는 안테나 1과 내부를 바라보는 안테나 2가 설치되어 있다고 가정하면, 인식대상이 외부에서 내부로 이동할 경우에 이를 인식하는 안테나는 안테나 1에서 2로 변하게 되며 외부에서 내부로 인식대상이 이동한 것으로 판단할 수 있다. 이때 안테나는 하나의 RFID 리더에 같이 설치되어 있어야 하며, 각 안테나의 번호는 RFID 리더의 안테나 설치 포트를 의미한다. 위치 변화에 따라 인식대상이 인식되는 안테나의 변화



〈Figure 5〉 Reads-Profiles with Respect to Θ(x-axis : time, y-axis : read count. blue line : reading count of antenna port 1, green line : reading count of antenna port 2)

를 알아보기 위하여 안테나 간 각도에 따른 안테나 별 인식패턴을 측정하였다. <Figure 5>와 같이 안테나 간 각도가 작아질수록 인식패턴이 명확해 지는 것을 확인하였으며, 각도 Θ를 120°와 150°사이에서 안정적인 인식 횟수와 안테나 간 서로 구분되는 인식패턴을 가지며, 이러한 실험 결과를 바탕으로 안정적인 알고리즘을 개발할 수 있었다.

그러나 <Figure 5>의 120°와 150° 실험 프로파일과 같이 두 안테나의 인식 프로파일이 명확히 구분되는 실험결과는 이동개체가 정해진 한 방향으로 그것도 일정한 속도로 이동하는 경우에만 적용 가능하다. 하지만 실제 제조환경에서는 쉽게 이러한 가정을 하기 어렵다. 따라서 방향 판단 알고리즘은 아래 두 경우도 처리할 수 있도록 개발되어야 한다.

- 이동 중 급격한 속도 변화가 발생하는 경우
- 이동 방향이 일시적으로 변화하는 경우

급격한 이동 속도에 대한 오류는 인식 데이터 집합을 특정 개수의 구간으로 나누어 처리하는 단순한 알고리즘에서 발생될 수 있다. 따라서 제안된 알고리즘에서는 인식 데이터 집합을 특정 구간으로 구분하지 않고 순차적으로 인식 데이터들을 처리함으로써 인식대상의 이동 방향을 판단하도록 하였다. 또한 이동 방향의 변화를 처리하기 위하여 인식대상의 이동 방향을 처음과 마지막의 상태 변화만 파악하는 것이 아니라 이동이 완료될 때까지의 모든 이동의 변화를 파악하도록 한다.

Pi,k = antenna port which has read tag i at thekth time. Where k=1,2,…,n
// Pi,k =0 or 1(0: inside, 1: outside)
tagIDi= {(Pi,k, readTimek)}
A = {(Pi,k, readTimek)|Pi,k ≠Pi,k+1, (Pi,k, readTimek) ∈ tagIDi},
B = {readTimek|(Pi,k, readTimek) ∈ A}
C = Exp[B]
tagIDi_R={(Pi,k,readTimek)| Pi,k ≠Pi,k+1, (readTimek+1-readTimek) > C, (Pi,k, readTimek) ∈tagIDi}

〈Figure 6〉 Data Acquisition Algorithm for Direction Detection

이동 방향의 일시적 변화에 따른 안테나 간 중복인식 제거는 진입방향 안테나와 이탈방향 안테나의 인식범위가 중복되는 구간에서는 양방향의 안테나가 특정 인식대상을 빠른 시간에 모두 인식한다는 특성을 이용하였다. 우선 알고리즘에 전달된 인식 데이터 집합을 분석하여 진입방향과 이탈방향 안테나가 연속해서 인식된 데이터들을 추출하여 진입방향에서 이탈방향으로 또는 이탈방향에서 진입방향으로 변화된 시간들의 평균을 구하여 이들 평균보다 시간 간격이 적을 경우에 관련 인식 데이터를 제거하며 <Figure 6>과 같이 나타낼 수 있으며 중복인식이 제거된 데이터 집합 tagIDi_R을 얻게 된다.

전달된 인식 데이터 집합에 대하여 연속된 데이터 중 안테나가 서로 다른 데이터들을 추출하여 이와 관련된 인식 시간들의 평균을 구한다. 이후 전달된 인식 데이터에서 연속해서 안테나 포트가 변경되면서 인식 간격이 평균 시간 간격 C보다 작은 값들을 제거한다. 유효 데이터 집합은 인식대상이 인식 범위를 이동할 때, 이동 방향의 변경이 이루어진 것에 대하여 유효하다고 판단되는 데이터를 추출하여 인식대상의 이동 방향을 다음 <Figure 7>과 같이 판단할 수 있다.

<Figure 7>에서 볼 수 있듯이 중복인식 데이터가 제거된 데이터 집합에 대해서 진입방향 또는 이탈방향 안테나 포트의 연속성을 확

```
m(tagIDi_R) = the number of elements in set(tagIDi_R)
//q = Sequence of new set;
q = 0;
tagIDi_0 = {(Pi,1, readTime1)}
FOR(j=2; j < m(tagIDi_R )+1; j++){
  IF(Pi,j-1 = Pi,j) THEN
    (Pi,j, readTimej) → tagIDi_q
  ELSE
      q++;
    (Pi,j, readTimej) → tagIDi_q
  ENDIF
}
FOR(j=2; j < q; j++){
    IF(m(tagIDi_j-1) > m(tagIDi_j) && m(tagIDi_j+1) >
                    m(m(tagIDi_j))
        DEL tagID i_j
        q--
    ENDIF
}
Pi,1 → D
FOR(j=2; j<q+1; j++){
    IF Pi of tagIDi_j-1 == Pi of tagIDi_j  THEN
        Pi → D
    ENDIF
}
```

〈Figure 7〉 Direction Detection Algorithm

인한다. 인식 데이터 집합 tagID_R의 전·후 데이터의 안테나 포트가 동일할 경우에 이전 데이터와 이후 데이터를 첫 번째 집합의 원소로 포함시키고 만약 동일하지 않을 경우에 이후 데이터에 대하여 새로운 집합을 생성시킨 후 생성된 집합의 원소로 포함시킨다. 이러한 방법으로 중복인식 데이터가 제거된 데이터 집합에 대하여 시간에 따라 연속되는 q개의 집합으로 나눈다. 다음은 q개의 집합의 원소의 개수를 비교한다. 나누어진 집합은 전·후 집합과 비교해 보면, 항상 다른 안테나 포트를 가지게 된다. 이때 나누어진 집합의 원소의 개수가 전·후 집합의 원소의 개수보다 적을 경우에는 해당 안테나 포트가 나타내는 방향으로의 이동으로 보기 어렵다고 판단하여 해당 집합을 제거함으로서 유효한 데이터 집합을 얻게 된다. 각 집합은 유일한 안테나 포트를 가지게 된다. 유효한 데이터 집합 별로 시간 순으로 해당 안테나 포트를 나열하고, 나열된 안테나 포트 중 연속적으로 동일한 안테나 포트를 나타내는 것에 대하여 한 개의 안테나 포트로 변환하면 결과적으로 나열된 안테나 포트가 인식대상의 이동 방향을 나타내게 된다.

3.3 인식 적합성 판단 알고리즘

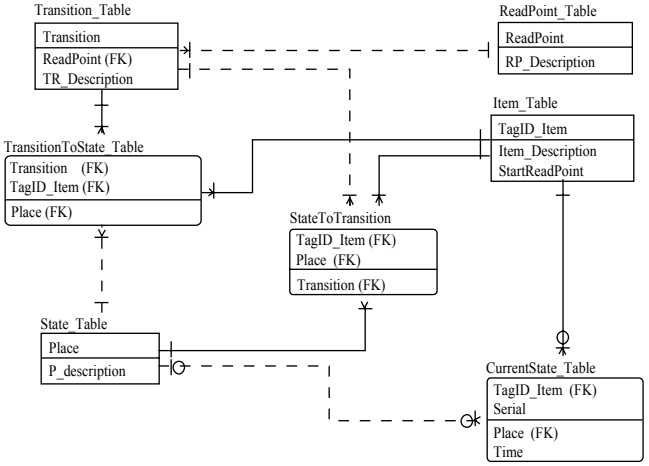
인식 대상 객체의 흐름(이하, 객체 흐름 또는 Object Flow)의 모델링은 프로세스 상의 RFID 시스템 구축 지점을 중심으로 인식대상의 흐름을 페트리 넷을 이용하여 정의하는 논리적 모델링 부분과 이를 애플리케이션에서 사용 가능하도록 데이터베이스의 테이블 형태로 모델링을 하는 물리적 모델링으로 구분할 수 있다. 우선 논리적 모델링을 하기 위하여 페트리 넷의 기호들이 RFID 객체 흐름에서 가지는 의미를 <Table 4>와 같이 정의할 수 있다.

〈Table 4〉 Meaning of Petri-Net Elements for RFD Object Flow Modeling

Notation	Name	Signification on the O/F Model
○	place	The context of reading of an object
□	transition	The moment of changing a state of the object(RFID read-point)
•	token	An object
→	arc	Flow of an object

플레이스는 인식대상이 RFID 포탈을 통과하기 이전과 이후의 인식대상의 상태를 나타낸다. 트랜지션은 인식대상이 RFID 포탈을 통과하는 과정에서 인식대상의 상태가 변화되는 시점(또는 이벤트)으로서 실질적인 RFID 포탈이 적용된 지점이라고 할 수 있다. 객체(token)는 인식대상을 나타낸다. 즉 객체가 존재하는 플레이스는 인식대상의 현재 상태를 나타낸다. 객체 흐름은 인식대상의 물리적인 상태를 모델링하고 이를 통해 인식대상의 현재 상태를 모니터링하여 인식된 지점의 적합성을 검증한다. 그리고 객체 흐름은 단 하나의 인식대상의 흐름만을 모델링하므로 여러 개의 인식대상물은 각각 독립된 객체 흐름을 가지게 된다. 따라서 객체 흐름에서 토큰은 물리적인 인식대상 하나만을 나타내기 때문에 병합 또는 분기는 정의되지 않는다. 만약 병합이나 분기가 발생되면 기존의 인식대상의 객체 흐름은 종료되고 이후 새로운 인식대상으로 간주하고 새로운 객체 흐름을 적용한다. 즉, Aalst et al.[2]이 정의한 바 있는 워크플로우 패턴 가운데 6개 분기 및 병합 패턴 중에서 하나의 객체 흐름에서 사용되는 분기와 병합은 implicit OR-split과 implicit OR-join만을 이용하여 모델링된다. 모델링 단계에서 explicit OR-split과 explicit OR-split을 이용하여 인식대상의 흐름에 대한 조건을 주어 흐름을 명확히 할 수도 있지만 본 연구에서는 RFID 인식지점에서 인식되는 데이터를 기반으로 인식대상의 상태 변화의 적합성을 판단할 수 있는 조건만을 제시한다.

모델링 단계에서 인식대상의 흐름에 대한 조건을 정의하게 되면, 잘못된 모델링에 의해 발생되는 오류는 다른 RFID 인식지점의 캡처링 애플리케이션(capturing application-RFID 데이터를 읽어 들여서 적절한 처리를 거쳐 이벤트 데이터베이스에 전달하는 말단 응용 프로그램)에도 영향을 주게 되며, 이를 수정하기 위하여 모델링 단계부터 수정이 이루어져야 한다. 따라서 캡처링 애플리케이션 개발자에게 RFID 인식을 통한 인식대상의 상태 변화 가능성만을 제시하는 것을 목적으로 한다. 개발자는 이를 참조하여 각각의 RFID 인식지점의 캡처링 애



〈Figure 8〉 Entity Relationship Diagram for Object-Flow Algorithm〔6〕

플리케이션이 비즈니스 로직을 따르도록 인식 대상의 흐름을 제어한다. 따라서 오류 발생 시 이를 담당하는 캡처링 애플리케이션의 비즈니스 로직만 수정하여 처리할 수 있다.

인식대상에 대한 인식 적합성 판단은 RFID 인식 데이터를 이용하여 객체 흐름에 따라서 인식 적합성을 검증하게 된다. 이러한 인식 적합성 판단을 수행하기 위해서 관련 정보들을 저장 및 검색 할 수 있도록 <Figure 8>과 같이 인식 적합성 판단 데이터베이스 테이블이 필요하며, 이를 바탕으로 알고리즘이 정의될 수 있다. Kim and Lee(2010)는 인식 적합성 테스트 방법의 기본적인 알고리즘을 제시한 바 있다[6]. 이하에서는 알고리즘의 세부내용을 설명하였다.

<Figure 8>에 정의된 7개의 데이터베이스 테이블에 대한 세부 정의는 아래와 같다.

1) Item_Table(TagID_Item, Item_Description, StartReadPoint)

아이템의 정보를 저장하고, 각 아이템들의 모니터링이 되는 지점을 저장하는 테이블이다. 저장된 데이터 이외의 EPC(Electronic Product Code)가 인식되었을 경우, 해당 EPC를 필터링 하는 기준 정보가 된다.

2) ReadPoint_Table(ReadPoint, RP_Description)

현장에 설치된 RFID 시스템에서 정의된 모든 인식지점(read point)들을 저장하고 인식지점들의 역할 또는 설명을 저장한다.

3) Transition_Table(Transition, ReadPoint, TR_Description)

논리적 모델링에서 정의된 트랜지션들의 정보와 해당 트랜지션에 대한 RFID 시스템에서의 인식지점들 간의 맵핑 정보를 저장한다. 이 정보들은 RFID 시스템을 통해 인식이 이루어질 때, 이를 객체 흐름에 적용할 수 있도록 해준다.

4) State_Table(Place, Place_Description)

논리적 모델링에서 정의된 모든 플레이스들을 저장하고 플레이스에 대한 상태 정보를 저장한다.

5) StateToTransition_Table(TagID_Item, Place, Transition)

논리적 모델링에서 플레이스와 트랜지션의 관계를 정의한 테이블로서 해당 플레이스에서 다음 플레이스로 토큰을 전이시키기 위해서 거쳐야 하는 트랜지션들을 정의한 테이블이다.

6) TransitionToState_Table(Transition, TagID_Item, Place)

StateToTransition 테이블과 마찬가지로 플레이스와 트랜지션의 관계를 정의한 테이블로서 트랜지션의 전이 조건이 만족될 때 도달 가능한 플레이스들을 정의한 테이블이다.

7) CurrentState_Table(TagID_Item, Serial, Place, Time)

논리적 모델에서 인식대상이 위치하고 있는 플레이스와 해당 플레이스에 도달한 시간을 저장하는 테이블이다.

인식 적합성 판단 알고리즘은 방금 인식한 RFID 부착 객체가 사전에 정의된 프로세스 흐름상 적합한 인식판단인지 아닌지를 판단하게

된다. 우선 해당 객체의 객체흐름 데이터가 존재하는지를 검사하면 되는데, CurrentState 테이블에서 해당 객체의 아이템 수준 EPC와 시리얼 번호가 존재하는 가를 검색함으로써 파악할 수 있다. 만약 객체의 객체 흐름이 존재하지 않는다면, 객체의 인식 지점의 객체 흐름 시작지점 여부를 판단하여, 시작지점일 경우에는 CurrentState_Table에 객체 흐름 시작과 관련된 데이터를 입력함으로써 객체 흐름을 생성하고 캡처링 애플리케이션에게 인식이 적합하다는 정보를 전달한다. 그러나 객체 흐름 시작지점이 아니라면 인식이 적합하지 않다는 정보를 전달한다. CurrentState_Table에 해당 객체의 데이터가 존재하면, 인식지점의 데이터를 통하여 전이가 가능한 트랜지션을 검색하고 이 트랜지션이 객체를 인식하면서 획득한 인식지점과 대응되는 트랜지션과 동일한지 비교하여 동일한 경우에는 인식이 적합하다는 정보를 전달하고, 동일하지 않다면 인식이 적합하지 않다는 정보를 전달하게 된다. 세부 알고리즘은 <Figure 9>에 정리된 바와 같다[6].

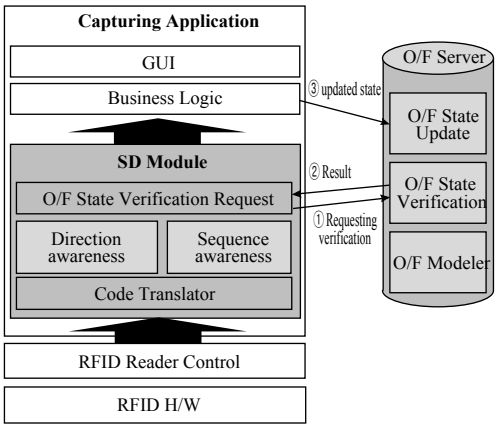
```
Tag=(id, rp, time): read tag data
//When target is requested validation,
InitialReadPoint=SELECT StartReadPoint FROM ReadPoint_Table
                    WHERE ReadPoint = rp
IF InitialReadPoint equals"0"THEN
  InitialState = SELECT State FROM StateToTransition_Table
                    WHERE Transition = (SELECT Transition
                    From
                                        Transition_Table Where
                    ReadPoint = rp)
  INSERT INTO CurrentState_Table(TagID_Item, Serial,
                    Current_State,

                    Time)
            VALUES(EPC_Item, Serial, InitialState, currentTime)
        OUTPUT "Invalid"
ELSE
  OUTPUT "Valid"
ENDIF
StateSearch = SELECT State FROM CurrentState_Table
                  WHERE TagID_Item = id.Item
TransitionSearch[]=SELEC Transition FROM Transition_Table
                      WHERE ReadPoint = rp
FromStateSearch=SELEC State FROM StateToTransition_Table
                    WHERE Transition = TransitionSearch[]
IF FromStateSearch exist in StateSearch THEN
  OUTPUT "Invalid
ELSE
  OUTPUT "Valid"
ENDIF
```

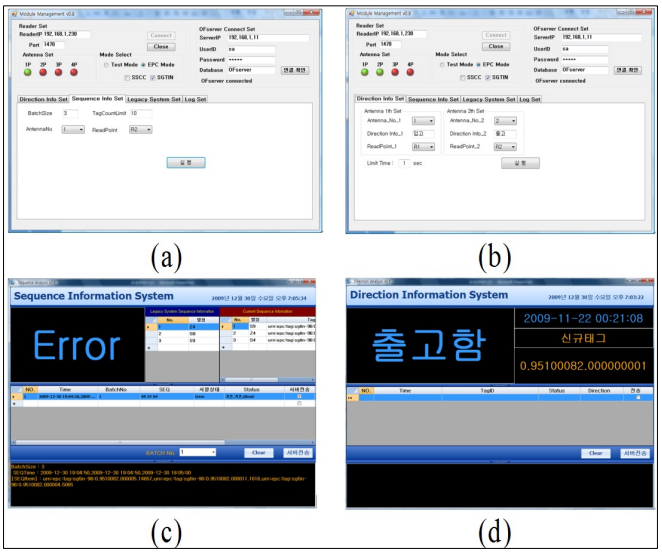
〈Figure 9〉 Object-Flow Checking Algorithm〔6〕

4. 시스템 구현

SDO 판단 알고리즘은 서열, 방향 판단 알고리즘과 인식 적합성 판단 알고리즘을 각각의 분리된 기능들로서 프로그램화하고 이들을 모듈화하여, 캡처링 애플리케이션 개발자가 이 기능들을 필요에 따라서 조합하여 사용할 수 있도록 개발하였다. 이는 서열 판단과 방향 판단은 캡처링 애플리케이션이 설치되는 지점에 설치되어 필요한 기능을 독립적으로 수행할 수 있지만, 인식 적합성 판단 모듈은 모든 캡처링 애플리케이션에서 인식대상을 인식할 때마다 적합성 판단을 수행하여야 하기 때문에, 모든 캡처링 애플리케이션에 설치될 경우 데이터 무결성에 위배될 수 있



〈Figure 10〉 System Architecture



〈Figure 11〉 Screen Shots of an SDO Algorithm-based RFID Gate Application [(a) Configuration Panel for Sequence Checking Algorithm, (b) Configuration Panel for Direction Detection Algorithm, (c)Sequence-Checking, (d)Direction-Detection]

다는 점을 고려한 설계이다. 이러한 배경으로 인식 적합성 판단 모듈은 O/F(Object Flow) 서버를 구축하여 캡처링 애플리케이션들이 인식 적합성 판단을 위하여 O/F 서버에 검증요청을 하고 O/F 서버는 그 결과를 알려주는 형태로 <Figure 10>과 같이 설계하였다.

방향과 서열 판단 알고리즘을 구현하기 위하여 C# 프로그래밍 언어를 사용하여 개발하였으며, 사용자가 관련 기능을 프로그램에서 구현할 수 있도록 DLL(Dynamic-Linked Library)의 형태로 제공된다. <Figure 11>의 상단 화면은 SD 모듈에서 서열 판단과 방향 판단 알고리즘과 관련된 파라미터를 설정하는 화면으로서, 사용자가 RFID 리더와 O/F 서버에 접속을 제어하고 해당 RFID 시스템 설치 거점에 관련된 리더 및 안테나 포트와 각 알고리즘에 필요한 파라미터를 설정한다. <Figure 11>의 하단 화면은 애플리케이션이 동작하는 화면이다. 좌측은 서열 판단 실행 화면이며, 생산 계획에 따른 인식대상의 서열 정보를 레거시 시스템으로부터 전달 받아 알고리즘 수행 결과와 비교하여 해당 제품의 서열이 올바르지 않았음("Error")을 표시해 주고 있다. 우측은 방향 판단 실행화면으로, 알고리즘 결과로 얻어진 인식 대상의 이동 방향에 따라 사용자가 설정한 프로세스 이름, 즉 "출고함"을 표시해 준다.

5. 시스템 검증 테스트

시스템을 검증하기 위하여 방향 판단과 서열 판단 알고리즘에 대하여 구현된 RFID 시스템을 활용하여 실험을 진행하였다. O/F 서버의 경우 정해진 규칙에 따라 다양한 상황에 따른 정해진

결과 값이 존재하고 단지 인식대상의 인식 실패의 경우에 영향을 받게 된다. 따라서 정확한 인식만 보장된다면, 정해진 결과를 도출하게 된다. 그러나 방향 및 서열 판단 알고리즘은 인식대상의 인식이 보장되더라도 매번 인식 패턴이 달라지기 때문에 다양한 조건에서 검증 실험을 진행하였다. 검증 테스트에 사용된 RFID 하드웨어는 <Table 5>에 정리된 바와 같이, 일반 물류에서 널리 활용되는 EPCglobal Class-1 Gen2 표준을 준용하는 하드웨어를 활용하였다.

〈Table 5〉 RFID Hardware Specification for Test

	Product name	Manufacturer	Spec
Reader	REM900-R 01	CEYON Technology	900MHz
Antenna	FSC-06	CEYON Technology	Circular
Tag	ALL-9460-02	ALIEN	Passive Tag

먼저 서열 판단 알고리즘을 다양한 조건에서 검증하기 위하여 안테나와 인식대상 간의 거리, 인식 대상들 간의 간격, 인식대상의 수, 인식 유효 횟수를 변화시키면서 테스트를 진행하였다. 인식대상의 이동은 속도 조절이 가능한 컨베이어를 사용하여 지정된 위치를 일정한 속도로 통과하도록 하였다. 다음으로 방향 판단 알고리즘을 검증하기 위해서는 안테나와 인식 대상의 거리와 인식 대상의 이동 속도를 변화시키면서 테스트를 진행하였다. 이동 속도는 일반 남성의 일반적인 걷기(0.5~0.8㎧), 빨리 걷기(0.9~1.5㎧), 달리기(1.6~1.9㎧)의 형태로 실험을 진행하였다. 마지막으로 인식 적합성 알고리즘은 자동차 산업에서의 부품의 물류 프로세스를 기반으로 오류 발생 시나리오를 수립하여 가상의 데이터를 입력하여 나오는 결과를 통하여 확인하였다. 이들 테스트의 결과는 <Table 6>에 정리된 바와 같으며, 테스트 조건에 대한 설명은 아래와 같다.

〈Table 6〉 SDO Algorithm Test Results

Function	Test setting	Success rate
Sequence awareness	A. distance between objects and antenna : 20㎝, 30㎝ B. distance between objects : 15㎝~50㎝ C. speed of moving objects : 0.5㎧ D. the number of a series of objects : 3, 4, 5 E. test place : laboratory	100%, where B ≥ 30cm (85.7% in average)
Direction awareness	A. distance between objects and antennas : 0.5m~2.5m C. speed of moving objects : 0.5㎧~1.9㎧ F. the number of objects : 1~6 E. test place : laboratory	100%, where A < 2.0m (85.7% in average)
Object Flow awareness	H. the number of read-point : 5 I. implemented scenario : delivery of components in automobile manufacturing industry E. test place : laboratory	100%

A. 안테나와 인식 대상의 거리
- 인식 대상이 정해진 루트를 통하여 인식범위를 통과할 때의 안테나와 인식 대상의 최단거리

B. 인식대상 간의 거리
- 부품 적재를 위한 컨테이너 구조에 따른 부품 간의 거리

C. 인식 대상의 이동 속도
- 자동화 시스템의 일정한 속도 또는 지게차의 이동속도

D. 연속적인 인식 대상의 수
- 컨테이너에 적재 가능한 부품의 수량

E. 테스트 장소
- 다양한 조건에 대한 실험을 진행하기 위하여, 실험실에서 테스트 진행(현장에서는 작업 운선이기 때문에 다양한 조건에 대한 테스트 진행 불가)
  H/I 인식지점의 수/적용 시나리오
- O/F 검증을 위하여 C사와 G사의 물류 프로세스 적용

서열 판단 알고리즘은 예상대로, 인식 대상 간의 거리가 좁을수록, 연속적인 인식 대상의 수가 증가할수록 서열 판단의 성공률은 급격히 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 단, 인식 대상 간 간격이 30cm 정도 확보되는 경우에는 서열 판단 알고리즘이 100% 성공하는 성능을 보여 주었다. 방향 판단 알고리즘은 안테나와 인식 대상의 거리가 0.5~1.5m까지는 100%의 방향 판단 성공률을 보인 반면, 2.0m 이상 멀어질 경우에는 급격히 실패율이 증가하였다. 실패한 경우의 데이터를 분석한 결과, 실패의 주요 원인은 RFID 인식률 자체의 저하였다. 인식률의 저하로 인해 알고리즘에 필요한 충분한 개수의 인식 데이터를 제공하지 못하게 된다. 인식거리 1.5m의 경우에도 100%의 성공률을 보였지만, 데이터의 인식 횟수가 15~20 정도로 매우 적은 경우들이 존재하여 알고리즘의 실패 가능성을 내포하고 있다고 할 수 있다. 이외에도 별도로 인식대상에 부착된 태그와 안테나의 각도를 변화시키면서 진행한 실험에서도 인식이 안정적일 경우에는 성공률을 보장하였지만, 인식률이 좋지 않게 나오는 태그-안테나 간 각도의 경우 성공률이 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로, 인식 적합성 판단 알고리즘은 예상대로 RFID 인식이 실패하지 않는 한 100% 성공률을 보여 주었다.

6. 결론 및 향후 과제

본 연구의 결과물인 SD 모듈과 O/F 서버 시스템은 제조현장에서 요구되는 부품서열, 이동방향, 인식적합성 판단을 위한 효과적인 솔루션으로서, RFID 시스템 개발자가 해당 문제를 해결하고 캡처링 애플리케이션을 개발하는데 소요되는 노력을 상당부분 감소시킬 수 있다. 특히 방향 판단과 인식 적합성 판단은 RFID의 현장 적용에서 환경적인 어려움을 해결할 수 있도록 해줌으로써, RFID 도입을 위한 환경을 재구성의 부담과 시스템 개발의 어려움을 해소해 줄 수 있다. 또한 기존 RFID에서 제공할 수 없었던 서열판단 기능을 제공함으로써 자동화된 제조공정의 정확성 및 신속성을 제공해 줄

수 있으며, 서열의 판단을 필요로 하는 많은 응용 분야에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제안된 SDO 알고리즘은 하드웨어의 이상적인 성능을 가정하여 실험실에서 검증을 하였다는 것에 많은 제약이 존재한다. 테스트 진행 시, 현장에서 발생할 수 있는 모든 조건들을 충분히 반영하였다고는 보기 힘들다. 따라서 SDO 알고리즘과 관련된 조건들에 대한 추가적인 조사와 테스트가 진행되어야 할 것이다. 하드웨어적인 관점에서도 제조현장의 열악한 환경적 변수들로 인해서 RFID 하드웨어의 성능은 안정적인지 못한 경우가 많다. 제안된 알고리즘에 사용하는 RFID 인식 데이터는 하드웨어 성능에 종속적일 수밖에 없고, 현장에서 RFID 하드웨어의 성능 저하는 SDO 판단 오류를 야기시킬 수도 있다. 따라서 매우 열악한 제조현장에서 발생 할 수 있는 불안정한 하드웨어 성능에도 유연하게 대처할 수 있도록 알고리즘의 강직성을 향상시키는 연구가 요구된다.

References

[1] Aalst, W. M. P. van der, “The Application of Petri Nets to Workflow Management,” Journal of Circuit Systems and Computers, Vol. 8, No. 1, pp. 21-66, 1998.

[2] Aalst, W. M. P., van der, Hofstede, A. H. M., ter, Kiepuszewski, B., and Barros, A. P., “Workflow Patterns,” Distributed and Parallel Database, Vol. 14, No. 3, pp. 5-51, 2003.

[3] Glover, B. and Bhatt, H., RFID Essentials, O’Reilly, 2006.

[4] IPA, Research Report on RFID-Promotion Strategy for Automotive and Electronics Industry, Korea IT Business Promotion Association, 2011.

[5] Jeong, J.-H. and Lee, Y.-H., “Development of a Process Centered RFID Cost-Benefit Analysis Model and Tool,” The Journal of Society for e-Business Studies, Vol. 13, No. 3, pp. 172-188, 2008.

[6] Kim, H. and Lee, Y.-H., “Workflow Analysis for the Process Modeling of RFID Systems,” The Journal of Society for e-Business Studies, Vol. 15, No. 2, pp. 191-203, 2010.

[7] Oikawa, Y., “Tag Movement Estimation Metheds in an RFID Gate System,” IEEE ISWCS 2009, 2009.

[8] Park, Y. J., Rim, M. H., and Kim, G. J., “An Analysis on the Market Trends and Demand of the RFID/USN Services,” ETTRENDS, Vol. 24, No. 2, pp. 32-42, 2009.

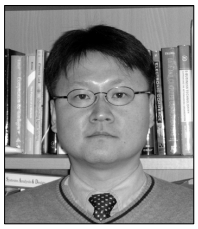
[9] Strassener, M. and Fleisch, E., The Promise of Auto-ID in the Automotive Industry, Auto-ID Center, 2003.

[10] Yoo, S. H., RFID in Ubiquitous Society, The Electronics Times, Seoul, Korea, 2005.

저 자 소 개

진희주 (E-mail : hjjin@dongguk.edu)
2008년 동국대학교 산업시스템공학과 (학사)
2010년 둥국대학교 산업시스템공학과 (석사)
2010년~현재 동국대학교 산업시스템공학과 박사과정 재학
관심분야 RFID, BPM, SCM

김훈태 (E-mail : hoontae@daejin.ac.kr)
1988년 서울대학교 산업공학과 (학사)
1990년 서울대학교 산업공학과 (석사)
1997년 서울대학교 산업공학과 (박사)
1997년~현재 대진대학교 산업경영공학과 교수
관심분야 프로세스 분석 및 통합, 시스템 운영관리



이용한 (E-mail : yonghan@dongguk.edu)
1988년 서울대학교 공과대학 산업공학과 (학사)
1990년 한국과학기술원 산업공학과 (석사)
2002년 Pennsylvania State University, I&ME (박사)
1991년~1997년 대우자동차 기술연구소 선임연구원
2003년~현재 동국대학교 산업시스템공학과 부교수
관심분야 RFID/USN, SOA, BPM, 멀티에이전트시스템