

블록체인의 스마트계약을 이용한 콜드체인 서비스 품질 측정 방안에 대한 연구

A Study on the Measurement Method of Cold Chain Service Quality Using Smart Contract of Blockchain

김창현(ChangHyun Kim)*, 신광섭(KwangSup Shin)**

초 록

최근 전자상거래의 발전과 온라인 구매 품목의 변화에 따라 제한된 온도 범위 내에서 특별한 보관 및 운송 방식에 대한 요구 사항이 증가하고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 콜드체인에 대한 수요가 급격하게 증가하고 있다. 특히, 콜드체인은 복잡한 네트워크 구조를 가질 뿐만 아니라 각 단계별 상품별 관리해야 하는 기준이나 수준이 달라지기 때문에 전체 과정을 투명하게 모니터링하고 품질을 측정하기 위한 방법이 필요하다. 본 연구에서는 블록체인 기술을 기반으로 실시간 데이터 측정 및 공유를 통해 위험 요인을 사전에 예방할 수 있는 콜드체인의 구현을 위해 서비스수준협약 체결을 위한 평가 지표 제안, 블록체인기반 스마트계약 적용 방법, 블록의 구조, 서비스 플랫폼, 응용방안에 대해 제안하였다. 또한, 서비스수준협약 지표를 기준으로 스마트계약을 통해 블록에 측정된 지표와 서비스 이용자의 평판 정보를 기록하는 방식을 제안하였으며, 이를 통해 서비스 제공자뿐만 아니라 서비스를 이용하는 사용자 입장에서도 합리적 의사결정을 내릴 수 있는 정보를 실시간으로 확보할 수 있게 된다. 본 연구에서 제안하는 프레임워크를 활용하기 위한 서비스 플랫폼을 구축 및 운영한다면 정보의 투명성과 실시간성을 확보할 수 있고, 위험 요인에 선제적으로 대응할 수 있을 것이다.

ABSTRACT

Due to the great advances in e-Marketplace and changes in type of items purchased from the online market, it has been dramatically increased the demand of the storage and transportation under the special conditions such as restricted temperature. Especially, the cold chain needs the way to transparently measure and monitor the entire network in realtime because it has a very complicated structure and requires totally different criteria at the every different steps and items. In this research, it has been presented the performance evaluation metrics to make contract using service level agreement (SLA), the way to apply the smart contract based on blockchain, the structure of blocks, service platform and application in order to build cold chain which can prevent the risk factors by measuring and sharing information in realtime using block chain technology. In addition, we have

* First Author, Graduate School of Logistics, Incheon National University(surveya@naver.com)

** Corresponding Author, Graduate School of Logistics, Incheon National University(ksshin@inu.ac.kr)

Received: 2019-01-23, Review completed: 2019-07-25, Accepted: 2019-08-05

proposed the way to store the measured performance and reputation of each player in the block using smart contract based on SLA. With the presented framework, all players including service providers as well as users can secure the information for making the rational decisions. When the service platform is actually built and operated, it seems possible to secure the information in transparently and realtime. Also, it is possible to prevent the risk factors or prepare the preemptive plans to react on them.

키워드 : 콜드체인, 블록체인, 서비스수준협정, 스마트계약

Cold Chain, Blockchain, Service Level Agreement, Smart Contract

1. 서 론

2020년 국제 콜드체인 시장은 2,719억 달러로 증가할 것으로 전망되며, 이는 2015년부터 연평균 13.9%의 성장세를 유지한 결과이다. 특히 중국의 콜드체인시장의 규모는 2017년 290.4억 달러 대비 2020년에는 580.6억 달러로 두 배 가까운 수준의 성장이 예상 된다[6]. 그러나, 콜드체인이 필요한 식품의 경우 전 세계에서 매년 평균 생산량 55억 톤 중 32%에 해당하는 약 18억 톤은 냉동을 전혀 하지 않은 상태로 유통되고 있다. 그리고 개발도상국들은 콜드체인 서비스의 부족으로 식품의 손실률이 23%에 달한다[19]. 우리나라 농산물 유통시스템 역시 대부분 상온 상태에서 운영되는 재래식 유통시스템에 의존하고 있으며, 이 과정에서 발생하는 쓰레기의 양도 증가하고 있다. 예를 들어, 가락동 도매시장에서 연간 발생하는 쓰레기가 21만 톤, 처리비용은 45억 원이다[11].

콜드체인은 온도 변화에 민감한 제품의 온도 관리를 통해 물품의 품질과 안전을 보장하는 저온 유통시스템이다[5]. 우리나라 농산물의 콜드체인은 복잡한 다단계 유통을 거치기 때문에 품질 관리 및 추적이 어렵다. 특히, 유통 비중의 53%를 차지하는 전통적인 도매시장의 콜드체인은 일반적으로 생산자에서 산지 유통인을 거

쳐 도매시장으로 전달되며, 중도매인과 소매상인을 거쳐 최종 소비자에게 전달되어 최소 5단계 이상을 거치도록 설계되어 있다[18]. 주로 생산단계에서 콜드체인 시스템을 활용한 품질관리체계는 존재하지만, 생산 단계 이후 유통단계에서도 동일한 수준의 품질관리체계를 구성한 사례는 찾아보기 어렵다. 만일 콜드체인의 여러 단계중 하나라도 관리 범위를 벗어나면 서비스 품질이 저하되거나 실패한다. 특히 신속성을 요구하는 콜드체인의 특성 상 이미 발생한 문제들을 사후에 처리하는 수동적인 방식보다는 사전에 발생 가능한 요인을 식별하고, 이를 예방할 수 있는 방안이 필요하다. 이를 위해서는 콜드체인 내 여러 단계별로 다양한 제품의 품질 수준을 측정할 수 있는 지표가 정의되어 있어야 하며, 전체 공급망 내에서 이루어지는 계약 역시 서비스수준협약을 포함하고 있어야 한다[7].

콜드체인에서 취급하는 상품은 예냉식품, Chilled 식품, 동결식품, 급속 동결식품으로 구분한다. 일반적으로 예냉식품은 15~5도씨, Chilled 식품은 5~-1도씨, 동결식품은 -1~-15, 급속 동결식품은 -15도씨 이하의 온도에서 보관되어야 하며 진열기간(Shelf-life)이 유통되는 대상마다 다르다[13]. 온도 외에도 상대습도, 이산화탄소나 에틸렌 가스등 콜드체인에서는 관리

해야 하는 단계와 요소가 다양하고, 진열기간에 대한 고려도 필요하므로 매우 복잡하지만 정확하고 신속한 관리가 필요하다. 또한, 안전성의 확보 및 위험의 사전 예방을 위해 콜드체인에서의 객관적인 품질을 측정할 만한 지표가 필요하다. 이를 기반으로 서비스수준협약을 위한 측정지표를 유연하게 정의하고 투명하게 접근 및 관리할 수 있는 서비스나 플랫폼이 필요하다. 본 연구에서는 콜드체인 전반에 걸쳐 투명하고 신뢰성 있는 서비스 품질을 보장하기 위해 (1) 블록체인의 스마트계약을 이용한 서비스 지표의 정의; (2) 측정된 지표의 안전한 보관 및 인증을 위한 블록체인의 구조 정의; (3) 콜드체인 서비스 이용자를 위한 신뢰성과 안정성 평가 방안과 그 응용 방안을 제안하고자 한다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 제2장 관련 연구에서는 물류에서의 서비스수준협약 기반의 계약에 관한 연구, 블록체인과 스마트계약에 대한 선행 연구 및 한계점, 기존 연구와의 차별성에 대해 설명한다. 제3장에서는 본 연구에서 제안하는 콜드체인의 서비스계약 기반 품질 측정을 설명한다. 제4장에서는 본 연구에서 제안한 블록의 설계 및 참여자간 거래(Transaction)를 구현하기 위한 플랫폼 아키텍처 및 응용 방안에 대해 설명한다. 마지막으로 제5장 결론에서는 본 연구의 요약과 공헌, 연구의 한계점에 대해 설명한다.

2. 관련연구

2.1 물류에서의 서비스수준협약 기반의 계약에 관한 연구

물류서비스를 제공하거나 이용하는 계약 당

사자들은 서비스 활동에서 발생할 수 있는 분쟁 요인을 사전에 제거하기 위해서 서비스수준협약이 포함된 계약을 하고 있으며, 이를 통해 이해관계자 모두 비용을 절감하고 위험에 대비할 수 있지만 아직까지는 서비스 이용자의 요청 시에만 이루어지고 있어 적용 범위와 방식에 있어 한계가 존재한다[7]. 물류기업과 화주기업의 신뢰구축을 위해서는 물류계약서에 위험관리 조항의 구체화가 필요하다. 공정성 측면에서는 성과에 대한 공정한 배분과 성과 달성 시 재계약을 위한 조항의 구체화가 긍정적인 영향을 미치는 것으로 확인된다. 위험관리 조항과 성과에 대한 공정한 보상은 물류기업의 성과를 향상시키고 이해관계자 사이의 시너지 효과 창출에 도움을 줄 수 있다[12]. 물류서비스를 제공하는 기업은 고객의 요구와 물류서비스의 다양성과 전문성을 충족시키기 위해 품질경영을 수행해야 하며, 이를 구현하기 위해서는 핵심성과지표나 서비스수준협약을 통해 차별화된 서비스를 제공하고 물류서비스의 기능별 특성에 맞도록 서비스수준협약의 개선이 필요하다[20].

서비스수준협약의 요소는 기술적인 것과 서비스 관리적인 것으로 나눌 수 있다. 기술적인 요소는 가용성과 만족도, 정확도, 응답도 등으로 구성되는 반면 서비스 관리적인 요소는 서비스 성과 보고방법, 양자 간 협정 검토 및 수정의 방법, 서비스의 불일치 해결방법으로 구성된다[17]. 특히 IT 외주 계약 시 서비스수준협약의 중요한 지표로 사용되는 요소는 가용성으로 평균 고장시간, 평균 수리시간, 평균 수행시간을 통해 서비스 제공 전체시간 중 시스템이 정상 작동하는 시간의 비율을 계산하여 객관적인 값으로 계산할 수 있다[9].

2.2 블록체인과 스마트계약

블록체인은 P2P(Peer to Peer) 네트워크에서 일어나는 거래 정보가 네트워크 내 모든 구성원의 노드에 분산되어 있는 원장에는 계약자 간 거래 결과가 블록 단위로 영구히 저장된다. 네트워크 참여자에 의해 합의되고 유효성이 확인된 모든 거래의 블록은 체인의 시작 부분(Genesis block)에서부터 가장 최근의 블록으로 연결되므로 블록체인이라고 불리게 되었다. 그리고 블록체인은 완전무결한 원본데이터에 대한 단일 접근 경로의 역할을 제공한다[24]. 또한 블록체인은 공학적 관점뿐만 아니라 사회적 관점에서 혁신을 일으키는 특성이 있어 정책적인 의사결정에 유용하게 활용될 수 있다[10].

스마트계약은 미리 정의된 조건에 따라 블록체인에서 발현되는 소프트웨어 코드를 의미하며, 블록체인에서 계약에 따라 자동으로 실행될 수 있는 특징이 있다. 따라서 제3자의 개입 없이 계약상의 조건을 확정할 수 있다[23].

블록체인을 이용한 의료정보교류 시스템 구축 방안 연구에서는 보안성과 탈중앙화가 장점인 블록체인을 이용하여 큰 시너지를 낼 수 있다는 근거를 제시하였다. 또한, 이를 구현하기 위한 설계 방안을 제안하고, 실제 데이터를 분석 및 사용하여 의료정보 교류 시스템의 발전 방향을 제시하였다[8]. 스마트계약을 이용하여 기존의 에스크로(Escrow) 서비스 업체가 담당하는 중재자 부분을 운영 주체가 필요 없는 프로그램 코드로 변경하였다. 이 프로그램은 P2P 네트워크 노드에서 동작할 수 있으며 위변조가 불가능하다. 이는 공신력 없는 업체로 인한 신뢰성 하락 및 소액 거래에 대한 수수료 부담과 같은 문제 등을 해결하기 위한 대안으

로 활용될 수 있다[1]. 식품의 이력 인증 서비스를 위한 국제표준 기반 블록체인 시스템 설계 제안에서는 식품의 유통과정이 복잡해지고 식품안전성에 대한 우려가 커짐에 따라 생산에서 유통 소비까지 이력 정보를 관리하고 인증할 수 있는 안전 식품체계의 이력인증서비스 구현을 위한 시스템 설계가 제안되었다[22].

기존의 연구들을 종합해 보면 결국 콜드체인은 상품을 저온으로 보관하고 운송할 수 있는 설비 및 시스템이 전체 공급망에 걸쳐 일관성 있게 구축되어 있어야 하며 복잡한 중간 단계를 줄여 최종 소비지까지 빠른 시간 안에 전달할 수 있는 서비스를 제공해야 한다. 그리고 콜드체인 내 온도나 환경 관련 정보를 실시간으로 측정하고 정량적 수치 기반의 관리체계를 제공하면 서비스 품질을 향상시킬 수 있을 것이다. 콜드체인을 통한 지속가능한 서비스 제공을 위해서는 계약을 체결하는 과정에서 이해 당사자간의 위험을 제거하기 위해 구체화된 서비스수준협약이 필요하며, 서비스수준협약은 상황에 맞게 지속적으로 유지 관리되어야 한다. 그러나, 아직까지 이러한 콜드체인의 특성과 서비스 수준 향상을 위한 요구사항 및 서비스 수준협약의 구현을 위한 블록체인의 설계에 대한 연구는 찾기 어렵다.

2.3 기존연구와의 차별성

콜드체인 서비스 시스템의 모니터링을 위한 사물인터넷, 클라우드 플랫폼, 블록체인을 연결한 시스템 고도화 연구는 다수 존재한다. 하지만 서비스 계약 당사자 이외의 잠재 고객이나 관리 기관이 고려된 전체 콜드체인 생태계를 위한 시스템 구축 방안에 대한 연구는 찾아보

〈Table 1〉 Comparing the contributions

Previous Research	Cold Chain	Service Level Agreement	Smart Contract	Specific SLA & Reputation
Ahn et al.[1], Bocek et al.[3], Kim[8], Shin et al.[23], Son and Eun[24]	○		○	
Kim and Kim[9], Kim and Song[12], Park[20]		○		
Kim and Joo[14], Park and Kim[21] Swamynathan et al.[25]			○	
Chen et al.[4]		○	○	
Korpela et al.[15]			○	
Tian[26]	○	○	○	
This Study	○	○	○	○

기 어렵다. 또한 콜드체인에서 측정되는 온도, 습도, 이산화탄소나 에틸렌 가스등에 대한 모든 데이터를 클라우드 플랫폼에 저장하고 이를 블록체인의에서 접근하여 활용하는 방안이 제시되었다[3]. 블록체인의 위변조 방지와 분산 처리를 지향하는 측면에서 중앙 집중식으로 클라우드 플랫폼에 모든 데이터를 수집하여 저장하는 방안은 데이터 위변조의 가능성이 존재하여 분산 처리의 개념에 위배된다. 또한, 콜드체인에서 수집된 모든 데이터가 한곳에 저장되고 처리된다면 데이터가 기하급수적으로 증가하여 저장과 검색 등의 기능을 제공하는데 있어 한계가 존재하게 되며, 이로 인해 원활한 서비스의 확장이 어려워질 수 있다.

블록체인 기술을 통한 디지털 공급망 통합에 대한 장점의 소개[15]나 RFID를 이용한 농산물 공급망 체인에서의 블록체인 정보를 이용한 정보공유 방안[26], 블록체인을 이용한 공급망 품질 개선 방법 및 관리 프레임워크[4]를 제안하는 기존의 연구들이 존재한다. 그렇지만, 콜드체인 생태계를 이루고 있는 각 참여자가 사용할 수 있는 서비스수준협약기반의 거래를 위해

블록체인과 스마트계약을 이용하여 객관적인 지표를 측정하고, 측정된 지표와 서비스 이용자의 평판에 대한 정보를 블록체인에 기록하여 투명하게 전체 플랫폼 참여자에게 제공하는 방안에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. <Table 1>은 기존 연구와 본 연구의 비교 결과를 정리한 것이다.

본 연구에서는 (1) 콜드체인 구성원과 전체 시스템의 운영 최적화를 위한 서비스 품질 지표 측정 방안 제안; (2) 제안된 서비스 품질 지표를 사용한 블록체인의 스마트계약 사용 방안 제시; (3) 안정적이고 신뢰할 수 있는 콜드체인 시스템의 구축을 위한 플랫폼 아키텍처 및 응용 방안을 설명한다.

3. 콜드체인의 스마트계약 기반 품질 측정 방안

3.1 측정단위 제안 및 지표 도출

콜드체인의 서비스 품질에 결정적인 영향

을 미치는 요인은 온도가 가장 중요하고 그 외에 습도, 가스등의 요소임을 선행 연구를 통해 확인할 수 있었다. 하지만 콜드체인을 통해 유통되는 상품의 종류에 따라 보관 온도 대역이 다를 수 있다. 예를 들어 청과물의 경우 양파는 섭씨 6도에서 20도, 아스파라거스는 섭씨 0도에서 5도, 당근은 섭씨 0도에서 8도, 오이는 섭씨 5도에서 10도, 토마토는 섭씨 7도에서 15도, 딸기는 섭씨 0도에서 5도, 사과는 섭씨 2도에서 10도, 파인애플은 10~11도 범위가 최적의 저장 온도로서 품목별로 최적 온도가 다양하다. 상대습도의 경우 과일은 85~95%, 채소는 90~98% 정도가 적절한데 이를 지키지 못한 경우 수분 손실이 발생하거나 급격한 세균 번식으로 부패할 수 있다. 이산화탄소의 경우 밀폐된 공간에서 발생하게 되면 저 산소 환경이 되고 이는 농산물에서 알코올로 인한 발효로 인해 상품성을 저하시키는 요인으로 작용한다. 식물 호르몬인 에탄올 가스의 경우 농산물의 호흡을 촉진시키고 노화의 원인이 되는 품질 열화를 발생시키기도 한다. 일반적으로 과일류나 채소류의 취급에 문제가 되는 하한 농도는 0.1~1.0ppm 정도이다[5].

따라서 콜드체인을 통해 유통되는 상품의 종류별로 측정되는 온도, 습도, 이산화탄소나 에틸렌 가스등의 요소와 각 요소들의 안전 허용범위를 유연하게 지정할 수 있어야 하며, 최대 상한과 하한의 온도 범위를 벗어나 상품성을 상실하게 되거나 소비자의 안전을 위협할 수 있는 상태로 변할 수 있는 이벤트를 별도 관리할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 선행 연구에서 언급된 물류나 IT 아웃소싱에서 서비스수준협약기반 계약 시 사용되는 지표[9]인 가용성(Availability)을 콜

드체인의 서비스수준협약의 주요 지표로 사용하기 위한 방안에 대해 다음과 같이 제안한다. 일반적으로 가용성을 측정하기 위해서는 평균 고장간격(MTBF: Mean Time Between Failure), 평균 복구시간(MTTR: Mean Time To Recover), 평균 수행시간(MTTF: Mean Time To Failure)이 측정되어야 한다. 측정된 평균 고장간격을 분자로 하고 평균 복구시간과 평균 수행시간의 합을 분모로 하여 백분율로 계산하면 가용성을 아래 수식 (1)과 같이 얻을 수 있다[9]. 콜드체인에서의 가용성은 일반적인 가용성 개념에 온도, 습도, 이산화탄소나 에틸렌 가스등의 요소를 대입하여 산출해야 콜드체인의 가용성 지표로서 의미가 있을 것이다. 평균 고장간격의 측정도 허용되는 온도, 습도, 에틸렌 가스등의 범위를 기준으로 초과하거나 미달인 경우 고장으로 간주하고, 허용범위 내에서 측정 데이터가 수집되었다면 정상이거나 고장에서 복구되었다고 판단 할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{가용성(Availability)} \\ &= MTBF / (MTTR + MTTF) \times 100 \end{aligned} \quad (1)$$

콜드체인에서의 평균 고장간격(MTBF)은 이전에 측정된 데이터가 허용범위를 초과하거나 미달된 시간에서 다음 허용 범위를 초과하거나 미달된 간격의 합을 해당 이벤트가 발생한 건수로 나눈 값을 의미한다. 결국 콜드체인에서 허용하는 범위를 벗어나는 이벤트가 발생하는 평균 시간으로 해석할 수 있으며 식 (2)와 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{평균 고장간격(MTBF)} \\ &= \frac{\sum (\text{현재 장애 발생 시간} - \text{이전 장애 복구 시간})}{\text{장애의 횟수}} \end{aligned} \quad (2)$$

콜드체인에서의 평균 복구시간(MTTR)은 허용된 범위를 초과하거나 미달인 이벤트가 발생했을 때부터 허용 범위내로 복구하는 데까지 걸리는 시간을 의미한다. 이 값이 작으면 작을수록 가용성은 향상된다고 할 수 있다. 평균 복구시간도 허용 범위를 벗어난 순간부터 허용범위로 복구 시간의 합을 이벤트가 발생한 건수로 나눈 값을 의미하며 식 (3)과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{평균 복구시간(MTTR)} & \quad (3) \\ &= \frac{\sum(\text{현재 장애복구시간} - \text{현재 장애발생 시간})}{\text{복구 횟수}} \end{aligned}$$

콜드체인에서의 평균 수행시간(MTTF)은 측정되는 요소들인 온도, 습도, 이산화탄소나 에틸렌 가스등이 정상범위에서 측정된 시간을 의미하며, 정상범위의 측정이 완료되고 다음 이상치 측정이 발생하기까지 시간을 의미한다. 평균 수행시간 역시 실제 허용범위에서 측정된 시간들의 합을 정상 동작한 건수로 나눈 값을 의미하며 식 (4)와 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{평균수행시간(MTTF)} & \quad (4) \\ &= \frac{\text{전체 운영 시간} - \text{평균 복구시간(MTTR)} \times \text{복구 횟수}}{\text{운영중인 시스템의 수량}} \end{aligned}$$

예를 들어, 수식 (1)에서 설명한 가용성의 경우 콜드체인에서 1분에 한 번씩 콜드체인의 환경정보(온도, 습도, 이산화탄소나 에틸렌 가스농도 등)에 대한 요소를 측정하고 서비스수준협약의 가용성 지표를 99.999%로 설정하였다면 콜드체인의 환경정보를 측정하는 기기의 다운타임(Downtime)이 일 년에 525분 이하, 한

달에 40분 이하, 일주일에 10분 이하, 하루에 1.4분 이하가 되어야 함을 의미한다. 또한, 서비스수준협약에서 온도에 대한 가용성이 99.999%라면 일 년에 서비스수준협약에서 미리 정의된 적정온도 범위를 넘어서는 횟수가 525번 이하로 되어야 함을 의미한다. 습도, 이산화탄소나 에틸렌 가스등에 대해서도 이러한 방법을 통해 실시간으로 측정되는 모든 요소들의 값을 블록에 기록하지 않고 적용하려고 하는 콜드체인의 특성에 기반을 두어 가용성 지표를 정의하고 측정된 지표 정보를 블록에 기록하도록 스마트계약을 설계하고 구현해야 한다.

3.2 장애 및 이상 상황에 대한 데이터 기록 방안

일반적인 상황에서는 시스템의 모니터링을 위해 서비스의 가용성이 주기적으로 기록되지만, 예상치 못한 서비스의 실패 즉, 장애가 발생하는 경우에 대한 관리가 서비스수준협약에서 필요하다[16]. 콜드체인에 있어서도 전체 시스템의 모니터링을 위해서는 서비스의 가용성이 일반적으로 사용될 수 있으며, 가용성 외에도 장애에 대한 지표 정의 및 감지할 수 있는 방안이 필요하다. 앞서 설명한 바와 같이 상품들 중 온도에 민감하게 반응하거나, 해당 상품이 최대, 최소 허용온도 범위를 벗어나거나 장시간 적정온도 범위를 초과하거나 미달한 시간의 간격, 횟수에 따라 상품성이 저하 될 경우 이를 별도로 관리할 필요가 있다. 이는 콜드체인 내에서 유통되는 상품의 변질 가능성의 판별을 위한 별도의 모니터링 이벤트의 기록과 이에 대한 감지를 위해 활용될 수 있다.

일반적인 정보시스템에서는 장애 이벤트와 관련된 서비스수준협약을 평가하기 위해 신뢰성(Reliability) 지표를 이용하며 사용되는 지표로는 오류비율(Fault rate), 결함허용도(Coverage of fault tolerance) 등을 제시하고 있다[2]. 오류비율(Fault rate)은 계약기간 동안 수집된 전체 이벤트 수에서 상품이 보관되어야 하는 적정온도 대역을 벗어난 이벤트의 수를 나눈 것이다. 하지만 콜드체인에서 오류비율(Fault rate)로는 장애로 판단된 온도 수치를 알 수 없다는 한계점이 존재한다.

따라서 콜드체인에서 유통되는 상품은 변질될 수 있는 온도의 범위를 지정하여 해당 온도 범위를 벗어나는 경우가 발생한다면 <Figure 2>에서 제시한 스마트계약 저장소에 측정된 데이터를 기록하여 별도 관리를 해야 한다.

결함허용도(Coverage of fault tolerance)는 고장이나 장애를 허용하는 범위로서 고장이나 장애가 발생하더라도 시스템이 올바르게 동작하는 것을 의미한다. 예를 들어 콜드체인에서는 1분에 한 번씩 이벤트를 저장할 때 연속으로 3번 이하로 수집되지 않았다면 정상 동작으로 인식하고 허용온도 이내에서 동작했다고 판단하는 경우를 가정할 수 있다. 또는 콜드체인에서는 상품이 허용하는 온도 범위 밖에서의 노출 시간의 최대 허용치라고 가정할 수 있다. 예를 들어, 상추의 경우 적정 보관 온도 범위가 섭씨 7도에서 15도 사이인데, 최대 허용 온도는 25도, 최소 허용온도는 3도라고 가정하자. 이때, 15도~25도, 3도~7도 범위의 온도에서 30분 이하 동안만 노출되었다면 상품의 가치가 훼손되지 않았다고 판단하는 것을 의미한다.

이해당사자 간 서비스수준협약에 오류비율(Fault rate)과 결함허용도(Coverage of fault

tolerance) 지표를 스마트계약에서 자동으로 산출하도록 하고, 스마트계약에 정의된 지표의 수치보다 높을 경우, 스마트계약에서 자동으로 화주나 감사기관에 보고되도록 하여 콜드체인 내에 존재하는 위험성을 사전에 탐지하는 기초 정보로 사용될 수 있을 것이다.

4. 플랫폼 아키텍처 및 응용방안

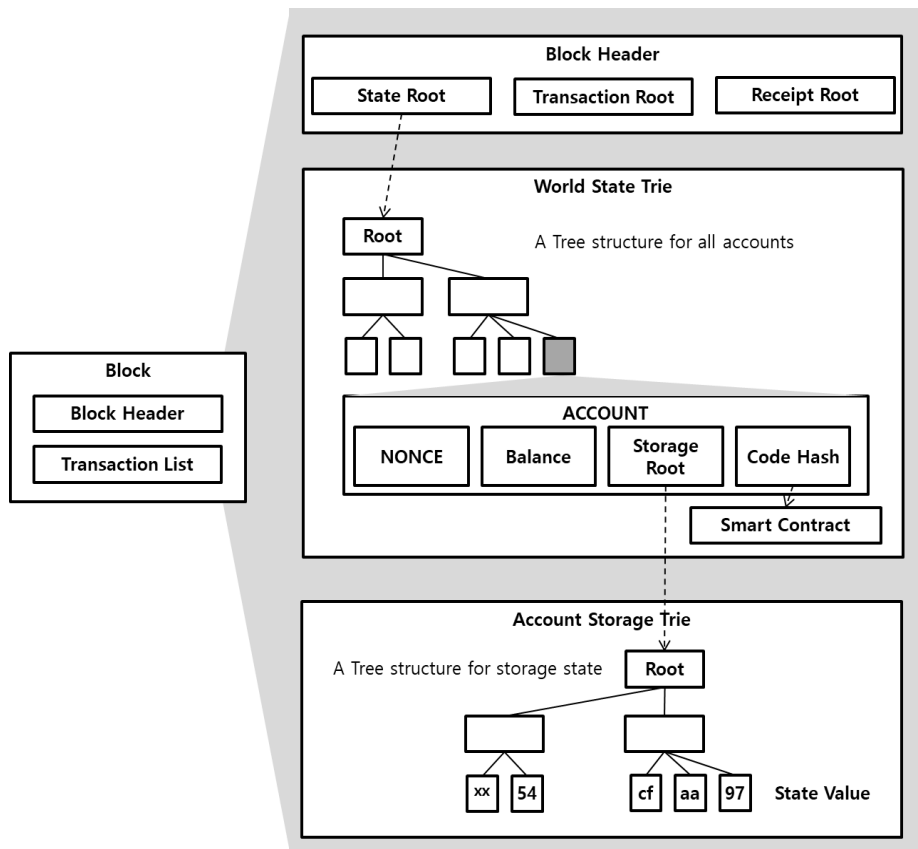
4.1 스마트계약의 정보 구조 및 처리 흐름 설계

스마트계약을 포함하는 블록의 구조는 <Figure 1>과 같이 블록 헤더(Header)와 거래리스트로 구성되어 있으며, 블록에 포함된 거래에는 계정 상태와 저장소 상태라는 트리구조의 데이터가 존재한다. 스마트계약을 포함하는 블록체인 플랫폼인 이더리움(Ethereum)의 경우 블록에 저장되는 데이터의 중복을 제거하여 블록체인의 용량을 줄이기 위한 머클 페트리샤 트리(Merkle Patricia Tree)를 사용한다. 계정 상태에는 블록에 거래에 포함된 계정들의 잔액과 저장소 루트, 스마트계약의 코드 해쉬 값과 스마트계약 코드 값을 포함하고 있다. 저장소 상태에는 스마트계약에서 사용되는 지표와 측정값이 저장되어있으며, 이 값들은 스마트계약에 의해 상태가 변경될 수 있다. 콜드체인의 서비스수준협약에 따른 스마트계약의 지표와 측정값의 정보 구조는 <Figure 2>와 같다. 스마트계약 저장소는 서비스수준협약 마스터 정보와 서비스 이행 정보로 구성되어 있다. 서비스수준협약 마스터 정보에는 서비스 제공 업체, 서비스 이용업체, 서비스 시작 일시, 서비스 종

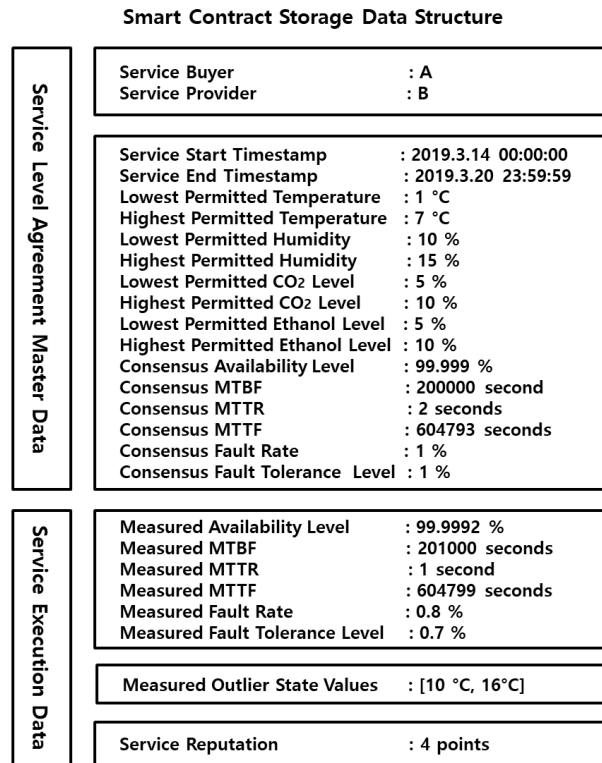
료 일시, 서비스수준협약에 대한 지표 등으로 구성된 정보들이 포함되어 있다. 서비스 이행 정보에는 측정된 서비스수준 지표와 특별 관리 정보, 서비스 만족도 등으로 구성된 정보들이 포함되어 있다. 콜드체인의 서비스 제공 업체는 온도, 습도, 이산화탄소나 에틸렌 가스등이 측정된 원천 데이터를 서비스 이용 업체와의 계약 조건이 포함된 스마트계약을 통해 서비스 품질 지표로 환산하여 서비스 이행 정보에 기록하고 이상 상황에 대해서는 서비스 이행 정보의 특별 관리정보 항목에 기록한다.

서비스 이용업체는 서비스 제공업체에서 제

공한 지표와 실제 서비스 이용의 결과 상황을 비교한 서비스 만족도 평가 결과를 스마트계약을 이용하여 블록에 기록하고 블록체인에 포함시킨다. 블록에 기록되는 값들은 어떤 계정에서 언제 기록하였는지 거래에 남아있고 블록에 기록하는 기능을 이용하기 위해서는 블록체인 플랫폼에 지정된 보상비용을 지불해야 한다. 따라서 블록에 콜드체인을 이용할 때 발생하는 모든 측정값들을 저장한다면 보상비용이 과다하게 지출될 수 있으며, 해당 측정값을 이용하기 위해서는 블록체인 네트워크에 과다한 통신 트래픽을 유발하기 때문에 본 연구에서는 서비



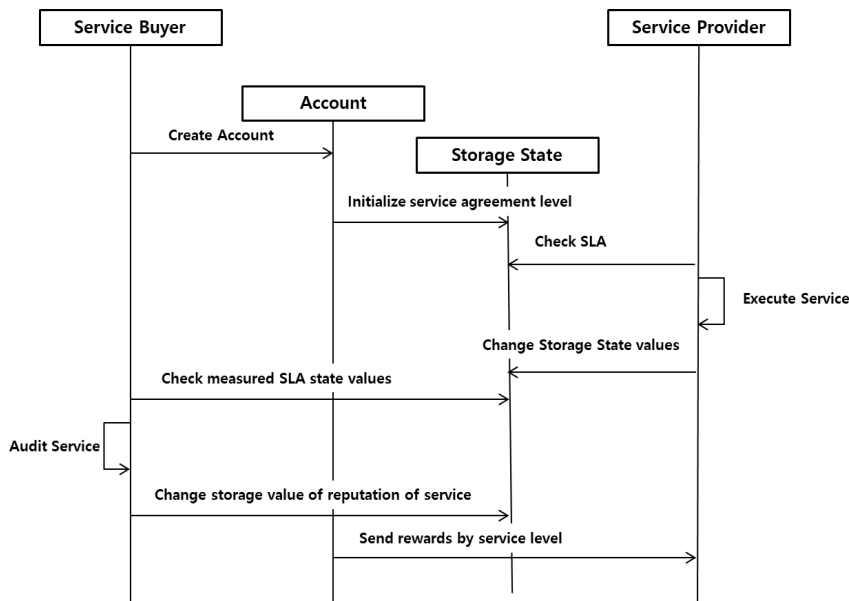
〈Figure 1〉 Block Data Structure with Smart Contract



〈Figure 2〉 Smart Contract Storage Data Structure

스 품질 지표를 블록에 기록하도록 제안하였다. <Figure 3>은 본 연구에서 제안하는 서비스수준협약에 기반을 둔 스마트계약을 이용할 때 발생하는 거래 계정, 거래 저장소와 각 요소 간에 메시지의 흐름을 제시하고 있다. 각 요소 간 기록되는 메시지는 블록에 기록되어 거래 이력을 추적할 수 있는 원천 정보를 제공할 수 있다. 우선, 서비스 제공자는 스마트계약을 기반으로 서비스 수준을 측정하고, 그 결과를 스마트계약에 연결된 블록에 기록한다. 이와 동시에 스마트계약에 참여하는 서비스 이용자는 별도의 계정을 통해 서비스 제공자가 블록에 기록한 서비스 수준의 평가 결과를 검증하고, 평판 정보를 블록에 기록하는 방식이다.

이를 통해 블록에 저장된 서비스 품질에 대한 정확도나 신뢰도 등을 효과적으로 측정할 수 있을 것이며, 서비스 제공업체에서는 서비스 평가의 정보를 이용하여 제공하는 서비스 품질의 정확도나 신뢰도에 대한 객관적인 정보를 고객에게 제시할 수 있을 것이다. 이를 기반으로 콜드체인 서비스 품질의 신뢰성과 고객 충성도를 확보하는데 긍정적인 영향을 이끌어 낼 수 있다. 물류 기업이 경쟁우위를 지속적으로 유지하기 위해 유형과 무형자원이 필요하며 이중 평판은 무형자산에 포함되며 다른 기업과의 차별성을 갖게 해주는 요소로 작용할 수 있다 [14]. 그리고 물류 아웃소싱에 있어서도 평판은 삼자물류업체(3PL: Third Party Logistics)를



〈Figure 3〉 Sequence Diagram of Transactions by Smart Contract

선택하는데 중요한 요인으로 사용될 수 있다 [21]. 특히 평판은 네트워크 내에서 이익을 위해 책임감 없이 행동할 수 있는 구성원들의 사회적 통제를 수립하는 유용한 수단으로 인정받고 있으며 이를 통해 네트워크의 질서를 유지할 수 있다[25].

본 연구에서 제안하는 스마트계약의 저장소 정보 구조를 이용하여 서비스 품질의 정보를 담고 있는 블록과 평판 정보인 서비스 평가 정보를 담고 있는 블록을 연결시켜 블록의 훼손이나 변경 불가능한 특성을 이용하여 신뢰할 수 있는 콜드체인 서비스 품질 관리 및 서비스 평판 관리 시스템을 구축할 수 있다.

4.2 플랫폼 아키텍처

본 연구에서 제안하는 콜드체인을 위한 블록체 기반 서비스수준협약 스마트계약 플랫폼

은 블록체인 인프라 계층, 데이터 저장 계층, 서비스 계층, 응용 계층, 사용자 계층 영역으로 구분될 수 있으며 <Figure 4>와 같이 구성된다. 블록체인 인프라 계층은 완전 자유제 블록체인 네트워크, 반 자유제 블록체인 네트워크, 완전 허가제 블록체인 네트워크로 구성되어 있다. 완전 자유제 블록체인 네트워크는 서비스 참여자와 이용자 모두가 익명이 보장되는 환경의 블록체인 네트워크를 의미한다. 반 자유제 블록체인 네트워크는 서비스 참여자는 네트워크를 운영하는 주체가 허가하고 이용자는 익명이 보장되는 환경을 의미한다. 완전 허가제 블록체인 네트워크는 서비스 참여자와 이용자 모두가 블록체인 네트워크를 운영하는 주체에 의해 허가를 받는 환경의 블록체인 네트워크를 의미한다.

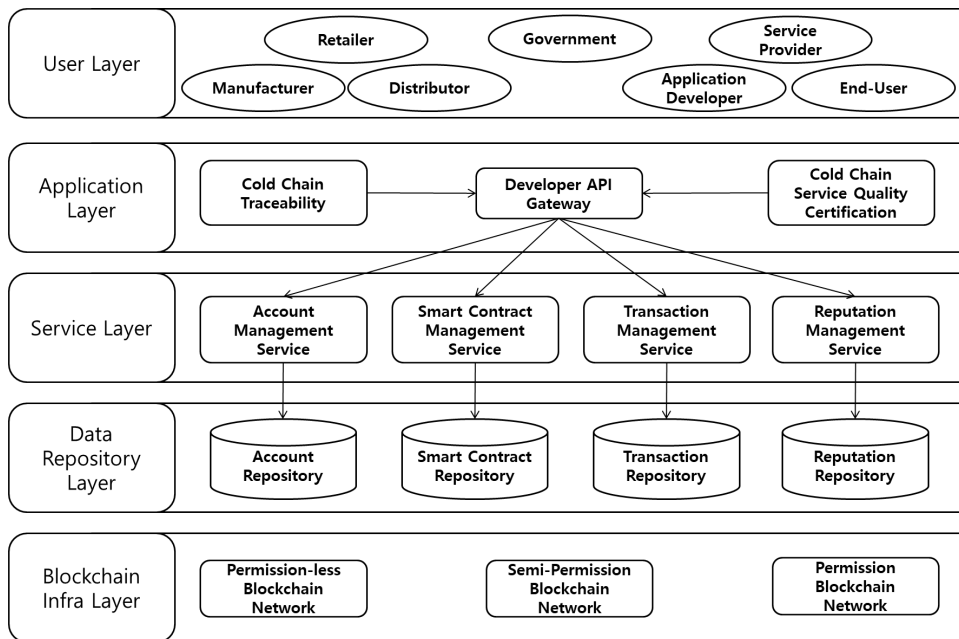
데이터 저장 계층은 블록체인 인프라 계층 위에서 서비스수준협약 기반의 콜드체인을 구

성하기 위한 영속적인 데이터 저장소를 제공하는 계층이며 콜드체인에서의 서비스 제공자와 이용자의 계정 정보를 저장하는 이용자 저장소, 콜드체인에서 사용될 수 있는 스마트계약의 표준 참조 모델이나 실제 거래에서 사용되는 스마트계약을 저장하는 스마트계약 저장소, 콜드체인 주체 간 거래를 저장하는 거래 저장소, 서비스 이용자 서비스 만족도를 기록하는 평판 저장소로 구성되어 있다.

서비스 계층은 데이터 저장 계층을 기반으로 이용자 저장소, 스마트계약 저장소, 거래 저장소, 평판 저장소를 관리하는 서비스를 제공한다. 서비스 계층의 각 서비스들은 저장소의 접근을 위한 기본 보안 기능이나 저장소의 읽기나 쓰기 등의 기능을 제공한다. 응용 계층은 서비스 계층의 각 요소들을 이용하여 사용자 계층에서 이용할 수 있는 응용 서비스를 제공하는 역할을 담당

한다. 응용 계층에서 개발자 API 게이트웨이 요소는 서비스 계층을 접근할 수 있는 유일한 접점을 제공하며, 서비스 계층에서 제공하는 모든 관리 서비스를 참조할 수 있기 때문에 플랫폼을 손쉽게 이용할 수 있도록 한다. 이를 통해 사용자 계층의 응용 개발자는 쉽게 응용프로그램을 개발할 수 있으며, 정부 기관이나 플랫폼 관리자는 관리 효율성을 추구할 수 있다. 응용 계층에서 스마트계약, 평판, 거래, 이용자 관리 등의 서비스 계층의 기능들을 결합하여 다양한 콜드체인 응용프로그램을 창출할 수 있다. 이런 응용프로그램들은 사물인터넷과 결합하여 콜드체인 현장의 창고, 화물차, 컨테이너, 온도 유지 박스 등에 부착되어 실시간으로 서비스 환경 정보를 측정하고 스마트계약에 따라 서비스 품질을 측정할 수 있다.

사용자 계층은 본 연구에서 제안하는 플랫폼을



〈Figure 4〉 Platform Architecture of Cold Chain Smart Contract based Blockchain

사용하는 모든 참여자를 의미하며, 공급망의 구성원뿐만 아니라 응용 개발자나 정부 기관도 포함하고 있다. 사용자 계층은 응용 계층에서 제공하는 콜드체인 유통이력추적이나 콜드체인 서비스품질인증을 통해 안전하고 투명한 서비스를 제공하거나 이용할 수 있다.

4.3 콜드체인 요구사항 및 활용 방안

콜드체인의 각 플레이어들에 따라 요구사항이 다르며 이에 따른 서비스수준계약의 지표도 여러 형태로 변환될 수 있다. 본 연구에서는 <Table 2>와 같이 콜드체인의 각 플레이어들의 요구사항과 각각의 서비스수준협약의 지표

에 대한 예시를 정의하고 이를 통해 본 연구에서 제안하는 응용 방안에 대해 설명하기로 한다. 본 연구에서 제안한 스마트계약 및 플랫폼 기반으로 각 플레이어가 필요로 하는 요구사항을 만족시키면서 상호 간 응용할 수 있는 방안에 대해 정의한다.

생산자와 도·소매상 또는 구매자 간의 활용 방법은 생산자는 생산 이후 보관에 대한 서비스 품질 데이터를 유통 또는 구매자에게 제공한다. 유통 또는 구매자는 해당 서비스 품질 평가 정보를 기반으로 계약을 체결하고 실제 상품에 대한 검수가 진행될 때 <Table 2>에서 제시한 서비스 품질 지표를 기준으로 측정된 데이터를 스마트계약을 통해 평가한다.

<Table 2> Requirement and Service Quality Indicator for Players

Players	Requirement	Indicator of Service Quality (Unit: °C, Hour)
Manufacturer	- Extend shelf life and reduce spoilage by using cold chain - Storage destination before delivery and storage at appropriate temperature - Status monitoring information of distribution goods for direct transactions and abnormal status detection	Required Temperature: 7~15 Dangerous Temperature: Over 40, Under -1
Logistics	- Maintain high freshness by appropriately adjusting temperature and humidity until delivery - Monitoring information and evaluation of the logistics services provided - Sharing Information with Shippers	Required Temperature: 4~20 Dangerous Temperature: Over 30, Under zero
Retailer	- Extend shelf life and decay rate technology with high quality until sales - Certification and quality control data for goods sold - Provide production and distribution history information and quality status for products sold to customers	Required Temperature: 10~25 Dangerous Temperature: Over 35, Under zero
Consumer	- Check the origin and distribution history for the purchased product - The current status of the purchased product and the number of days that can be stored and the optimal consumption period	Required Temperature: 1~15 Dangerous Temperature: Over 35, Under 5 Maximum Time in Dangerous Temperature: 2
Government	Verification of related objects according to whether or not the distribution object is harmful and prompt return command and collection verification	Required Temperature: 1~20 Dangerous Temperature: Over 35 Maximum Time in Dangerous Temperature: 2

생산자는 생산 이후 보관에 대한 서비스 품질 데이터를 유통 또는 운송자에게 제공하고 운송자와 계약할 때 정량화된 서비스수준협약을 기반으로 계약을 체결하고 운송자는 물류 서비스의 품질에 대한 정보를 스마트계약을 통해 제공하여 서비스수준협약의 이행 여부에 따라 계약 이후의 프로세스가 자동으로 진행될 수 있도록 한다. 해당 정보는 블록체인에 남게 되고 이후 생산자나 물류의 서비스 품질을 평가하는데 사용되며, 국가기관에서는 사전에 위험을 감지하거나 문제가 발생한 대상물 및 관련된 상품에 대한 회수 등의 업무에 본 연구에서 제안한 서비스 품질 기록 정보와 계약 정보를 활용할 수 있다.

생산 또는 유통자는 해당 상품의 서비스 품질 정보를 이용하여 상품의 남은 유통기한이나 품질에 따라 제품 가격을 책정하여 소비자에게 합리적인 제품 구매의 경험을 제공할 수 있다. 소비자는 구매하려는 상품에 대한 서비스 품질 평가 정보를 이용하여 가격이 적절한지 판단하고 구매를 한다. 또한, 생산자 및 유통 이력과 서비스 품질 평가 정보를 확인하여 신뢰성을 확보할 수 있다. 국가기관에서는 콜드체인 시설과 운영기술에 대한 발전을 위해 제도적 경제적 지원을 하고, 지속적 평가 및 성과 측정을 통한 운영자금의 차등 지원과 서비스 활성화 등에 이용할 수 있다. 또한, 위험이 예상되는 상품에 대한 생산 및 유통이력 추적이 가능하고, 실시간으로 회수 명령 및 이에 대한 관리 감독을 할 수 있다.

스마트계약 기반 품질 측정방안과 서비스 아키텍처에서 제안한 내용을 바탕으로 콜드체인 서비스 품질 평가 서비스 운영업체는 해당 서비스를 온디맨드(On-Demand) 방식으로 제공

하여 사용자들이 쉽고 바르게 사용할 수 있도록 한다.

5. 결 론

콜드체인은 복잡한 네트워크 구조를 가질 뿐만 아니라 각 단계와 상품마다 관리해야 하는 기준이나 수준이 달라지기 때문에 전체 과정을 투명하게 모니터링하고 품질을 측정하기 위한 방법이 필요하다. 본 연구에서는 블록체인 기술을 기반으로 실시간 데이터 측정 및 공유를 통한 투명하고 사전 위험 요인을 예방할 수 있는 콜드체인의 구현을 위해 서비스수준협약 체결을 위한 평가 지표 제안, 블록체인기반 스마트계약 적용 방법, 블록의 구조, 서비스 플랫폼, 응용방안에 대해 제안하였다. 지금까지의 연구는 전체 콜드체인의 일부 단계만을 대상으로 관리하는 기법을 제안하거나, 콜드체인 내 데이터 공유를 위한 개념을 정의하는 수준에 그치고 있다. 특히, 콜드체인의 서비스수준협약을 위한 지표의 제안이나 사전적 예방 조치를 위한 방법을 제안한 연구는 찾기 어렵다.

본 연구에서는 서비스수준협약 지표를 기준으로 스마트계약을 통해 블록에 측정된 지표와 서비스 이용자의 평판 정보를 기록하는 방식을 제안하였으며, 이를 통해 서비스 제공자뿐만 아니라 서비스를 이용하는 사용자 입장에서 합리적 의사결정을 내릴 수 있는 정보를 실시간으로 확보할 수 있게 된다. 이를 체계적으로 활용하기 위한 서비스 플랫폼을 구축하고 응용방안에서 제시한 다양한 서비스를 이용하면 앞서 언급한 정보의 투명성과 실시간성을 확보할 수 있고, 위험 요인에 선제적

으로 대응할 수 있는 콜드체인을 구축 할 수 있을 것이다.

블록에 저장되는 서비스수준협약의 평가 지표를 콜드체인에서 주요하게 사용되는 온도, 습도, 이산화탄소나 에틸렌 가스 등의 속성을 이용하여 설명하였으나, 실제 콜드체인에서 유통되는 상품과 관련된 실제 서비스 수준의 측정 속성을 반영하여 서비스 수준 평가지표를 개발할 필요가 있다. 특히, 현업에서 사용할 수 있는 서비스수준협약기반의 스마트계약을 위한 콜드체인용 블록체인 서비스 플랫폼 구축, 콜드체인 환경정보 측정 장치 제작, 응용어플리케이션 개발이 필요하며, 이를 기반으로 개념 검증 프로젝트를 수행하여 본 연구에서 제안한 방법에 대한 활용성 및 사전예방조치를 통한 콜드체인의 가치 향상에 대한 검증이 필요하다. 개념 검증이 완료된 후에는 특화된 시장이나 기술을 발굴하여 더욱 정교하게 설계된 비즈니스 모델에 대한 논의가 진행 되어야 한다.

References

- [1] Ahn, H., Ganjar, A., Umar, F. M., Alex, S., Han, J., and Lee, J., "Design of e-pedigree model based on international standards for efficient cold chain of agricultural products," Korean Institute of Industrial Engineers, pp. 956-963, 2014.
- [2] An, Y., Park, J., and Yeom, K., "Quality Metrics of Cloud Service Based on Cross-cutting and SLA Specification Mechanism," Korea Information Science Society, Vol. 42, No. 11, pp. 1361-1371, 2015.
- [3] Bocek, T., Rodrigues, B. B., Strasser, T., and Stiller, B., "Blockchains everywhere: A use-case of blockchains in the pharma supply-chain," 2017 IFIP/IEEE Symposium on Integrated Network and Service Management (IM), 2017.
- [4] Chen, Si, Shi, R., Ren, Z., Yan, J., Shi, Y., and Zhang, J., "A blockchain-based supply chain quality management framework," 2017 IEEE 14th International Conference on e-Business Engineering (ICEBE), pp. 172-176, 2017.
- [5] Han, G. Agro-food cold chain strategy, DuNam, 2017.
- [6] John, M., "2016 Top Markets Report Cold Chain," International Trade Administration, 2016.
- [7] Jung, K. and Kim, T., "A Study on the Critical Factors of Logistics Service Contracts," The Korea Port Economic Association, Vol. 25, No. 3, pp. 93-116, 2009.
- [8] Kim, B., "Status and Development Direction of Korean Cold Chain System," The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 40, No. 6, 2011.
- [9] Kim, D. and Kim, H., "A Study on the Audit Model of Outsourcing Operation based on Availability Metrics in perspective of Service Level Agreement," The Society of Digital Policy & Management, Vol. 13, No. 7, pp. 183-196, 2015.

- [10] Kim, E., "A Study for the Innovativeness of Blockchain," *The Journal of Society for e-Business Studies*, Vol. 23, No. 3, pp. 173-187, 2018.
- [11] Kim, H., Kang, J., and Jeon, M., "The Trend of Market and Technology of IoT," *The Korea Contents Association*, Vol. 13, No. 1, pp. 14-17, 2015.
- [12] Kim, J. and Song, S., "An Effect of Concreteness and Fairness of Service Contract on Performance of Service Provider in Logistics Outsourcing," *The Korea Port Economic Association*, Vol. 28, No. 2, pp. 129-153, 2012.
- [13] Kim, J., "Chilled Foods and Cold Chain Status and Prospects," *Korean Society of Food Science and Technology*, Vol. 24, No. 3, pp. 38-48, 1991.9.
- [14] Kim, S. and Joo, H., "The Structural Relationship among Port Logistics Service Quality, Port Reputation and Customer Loyalty of Liner Ships," *Korea Trade Research Association*, Vol. 33, No. 3, pp. 1-30, 2008.
- [15] Korpela, K., Hallikas, J., and Dahlberg, T., "Digital supply chain transformation toward blockchain integration," *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, 2017.
- [16] Kwak, K. and Nam, K., "Execution of Service Level Agreements(SLAs)," *Korea Information Science Society*, Vol. 23, No. 12, pp. 11-18, 2005.
- [17] Kwak, K. and Nam, K., "Success factor of service level agreement during execution procedure," *Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 23, No. 12, pp. 11-18, 2005.
- [18] Lee, H., "The Trend of New Trend and Related Technology For Cold Chain of Agro-Food," *The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, Vol. 45, No. 2, pp. 16-22, 2016.
- [19] Lee, J., "An Exploratory Case Study of Distributed RGM with Block Chain: Using IBM Bluemix Block Chain," *Korea Computerized Accounting Association*, Vol. 15, No. 1, pp. 25-38, 2017.
- [20] Park, S. N., "A Case Study of Quality Management in the Logistics Service Firms for Strategic Purposes," *Department of Logistics System Engineering Graduate School of Korea Maritime University*, 2007.
- [21] Park, Y. and Kim, C., "Factors Influencing Logistics Outsourcing of E - Commerce Firms," *Korean Academy of Marketing Science*, Vol. 6, No. 1, pp. 69-92, 2000.
- [22] Ryou, O., Kang, Y., Jin, H., and Lee, Y., "DEVS-Based Simulation Model for Optimization of Sensor-Tag Operations in Cold Chain Systems," *Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 41, No. 2, pp. 173-184, 2015.4.
- [23] Shin, C., Choi, M., Lee, J., and Yang, Y., "QFD Analysis combining the Service Quality and Process of Container Ports,"

- Journal of Navigation and Port Research, Vol. 3, pp. 243, 2011.
- [24] Son, Y. and Eun, C., "A Study on the Technology for Cold Chain with Environmental Monitoring," The Korea Contents Association, pp. 265-266, 2017..
- [25] Swamynathan, G., Almeroth, K. C., and Zhao, B. Y., "The design of a reliable reputation system," Electronic Commerce Research, Vol. 10, No. 3-4, pp. 239-270, 2010.
- [26] Tian, F., "An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology," 2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM), pp. 1-6, 2016.

저 자 소 개



ChangHyun Kim (E-mail: surveya@naver.com)
2012 Master in Logistics, Graduate School of Logistics, Incheon National University
2015 Incheon National University (MS in Logistics)
2017~Current Ph.D Student, Graduate School of Logistics, Incheon National University
2017~Current Global operation engineer, Coupang
Research Interest Optimization in Logistics, Artificial Intelligence, Sustainability



KwangSup Shin (E-mail: ksshin@inu.ac.kr)
2012 Seoul National University (Ph.D in Operations Management)
2016~Current Associate Professor, Graduate School of Logistics, Incheon National University
2012~2016 Assistant Professor, Graduate School of Logistics, Incheon National University
Research Interest SCM, Logistics, Business Analytics, Big Data, Urban Logistics, Smart SCM