

## 자체구동롤러 컨베이어의 신뢰성 평가기준

김영주<sup>a</sup>, 고희양<sup>b</sup>, 한인섭<sup>b</sup>, 김용수<sup>b\*</sup>

## Reliability Assessment Criteria of Motorized Roller Conveyor

Young-Joo Kim<sup>a</sup>, Hee-Yang Go<sup>b</sup>, In-Sup Han<sup>b</sup>, Yong Soo Kim<sup>b\*</sup><sup>a</sup>Logistics System Research Division, Korea Railroad Research Institute,  
176, Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 16105, Korea<sup>b</sup>Department of Industrial and Management Engineering, Kyonggi University,  
154-42, Gwanggyosan-ro, Yeongtong-gu, Suwon-si, Gyeonggi-do, 16227, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	24	August	2015
Revised	7	October	2015
Accepted	9	October	2015

## Keywords:

Reliability assessment criteria  
Motorized roller conveyor  
Reliability test  
Environmental test  
Safety test  
Lifetime test

## ABSTRACT

Owing to a reliance on imported products from Europe and Japan, the use of logistics equipment with poor energy efficiency coupled with high maintenance costs can lead to high operating costs for some domestic logistic centers. To lower their operating costs, the logistic centers use motorized roller conveyors. In order to commercialize this process, it is necessary to establish the test criteria and assess the reliability of the process. Currently, there exists no standard verification method to test the reliability of motorized roller conveyors. In this study, we propose reliability assessment criteria for a: i) reliability test, ii) environmental test, iii) safety test, and iv) lifetime test.

## 1. 서 론

현재 국내 물류센터에서 사용 중인 물류설비는 전기에너지의 효율성이 낮다는 문제와 유럽 및 일본의 제품에 의존하여 가격이 비싸고 유지보수가 어려운 문제에 직면하고 있다. 이러한 문제의 해결안으로 국내의 물류센터에서는 운송시스템 물류설비 중 하나인 자체구동롤러 컨베이어를 개발 중에 있다<sup>1)</sup>.

자체구동롤러 컨베이어란 컨베이어 롤러 내부에 소형모터를 내장한 롤러와 주변 무구동 롤러를 체인 등으로 연결하여 화물을 운반하는 시스템이다. 그리고 외부에 AC모터를 설치하여 전체 컨베이어를 구동시키는 기존 시스템과 달리 각 롤러의 구간별로 선택적 구동을

시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한, 기존 컨베이어 방식과 비교하여 전기에너지 절감을 실현할 수 있는 기술로 활용되고 있다<sup>1)</sup>.

이러한 물류설비의 상용화를 위해 수명시험 및 신뢰성시험이 필요하지만, 국내 여러 규격 중 이에 대한 기준 및 평가방법은 존재하지 않는 실정이다. 따라서 자체구동롤러 컨베이어 기술이 상용화되기 위해서는 성능 및 신뢰성 검증을 위한 평가기준을 정립해야 할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 자체구동롤러 컨베이어 기술의 품질과 신뢰성을 보증할 수 있도록 기술에 대한 평가기준을 수립하도록 한다. 먼저 자체구동롤러 컨베이어의 구조와 구성요소에 대해 조사한 후, 기술의 신뢰성 평가기준 수립을 위한 절차를 분석하였으며, 이 절차를 통해 자체구동롤러 컨베이어에 적용할 단위 및 시험항목을

\* Corresponding author. Tel.: +82-31-249-9771  
Fax: +82-31-244-3534

E-mail address: kimys@kyonggi.ac.kr (Yong Soo Kim).

도출하고 각 시험법의 세부항목을 결정하여 기준안을 수립하였다.

## 2. 관련문헌 연구

자체구동롤러 컨베이어는 필요한 구간만 작동하기 때문에 전기 에너지 효율성이 높은 기술이다. 그러나 아직까지 국내의 자체구동롤러 컨베이어의 성능 향상 및 전체 시스템의 효율 향상을 위한 개발이 미약한 수준이며, 연구 활동도 미미한 실정이다<sup>[1]</sup>. 이에 관한 연구로는 유일하게 김영주 등<sup>[1]</sup>이 자체구동롤러 특허분석을 통해 현재 기술개발 동향을 파악하고, 시사점을 제공하였다.

신제품을 개발하는 경우 제품이나 부품의 개발과 설계단계에서 신뢰성 설계, 시험 그리고 평가를 통하여 신뢰성을 확보해야 한다. 이 때 어느 시험항목을 어떠한 조건에서 얼마만큼의 시료로 언제까지 실험을 실시하는지를 결정하는 것이 중요하다<sup>[2]</sup>.

박부희 등<sup>[2]</sup>은 새로운 아이템을 개발하는 경우 신뢰성 설계를 위하여 꼭 필요한 신뢰성 시험항목을 선별하기 위한 시험의 유효성 평가를 제안하였다. 유기훈 등<sup>[3]</sup>은 그린카 BLDC 모터의 시험 평가 항목을 개발하고, 개발 시 시험기준을 설정하기 위해 고려되어야 하는 요구사항을 제시하였으며, 최재경 등<sup>[4]</sup>은 국내산 솔더바에 대해 신뢰성 평가 기준을 해외규격과 비교하여 시험하고 새로운 평가기준을 제시하였다.

양일영 등<sup>[5]</sup>은 의류 유통 관리용으로 사용되는 RFID태그 중 세탁 가능한 태그의 신뢰성 평가 기준을 제시하기 위해 이에 관련된 규격 조사와 제품의 사용 환경, 고장 메커니즘을 고려한 연구를 수행하였고, 이관용 등<sup>[6]</sup>은 현재 규격화 되어 있지 않은 BD-R의 수명평가를 위한 가속 열화실험 조건과 판단 기준을 국제 실험규격을 참고하여 제안하였다.

남주석과 한정우<sup>[7]</sup>는 풍력발전기의 정상적인 작동을 위해 필수적 기계요소인 피치/요 베어링의 설계에 대한 국제규격 및 가이드라인을 분석하여 설계 고려사항들을 파악하고 설계검증을 위한 기초 시험 절차를 개발하였으며, 김영국 등<sup>[8]</sup>은 철도차량에 대한 다양한 규격으로 인하여 야기된 진동 및 충격시험 방법의 혼란을 방지하기 위하여 규격들의 상대적 비교를 통해 진동 및 충격시험의 방법에 대한 기준을 제시하였다. 또한 오세창<sup>[9]</sup>은 단판적층재와 같은 구조용 공학목재의 전단강도를 평가하기 위한 시험방법들을 비교 조사하여 성능평가를 하였으며 이를 통해 해당 규격 미비로 인해 인증을 받지 못한 제품들의 전단강도를 평가하기 위한 시험기준을 제시하였다.

심중성 등<sup>[10]</sup>은 현재 사용되는 국내의 규격과 FRP플레이트 복합체의 인장시험 방법을 기존의 연구와 비교 분석하여 명확한 성능을 확인할 수 있는 다방향성 GFRP 플레이트의 인장 시험 방법을 제안하였으며, 정우영 등<sup>[11]</sup>은 국내 기준이 없는 자동차용 DPF 센서의 신뢰성 시험 방법과 신뢰성 평가기준을 표준화하기 위하여 품질

시험(기본성능 평가시험과 내환경평가시험)과 고장률 시험기준을 제시하였다. 또한 배명훈과 김만철<sup>[12]</sup>은 레일패드의 정적 수직강성 시험방법 관련 국내외 시험규격을 분석한 후 이를 바탕으로 정적 수직강성 시험방법 안을 제시하였고 철도 현장에 사용되고 있는 레일패드 및 베이스플레이트 패드에 적용하여 시험을 수행한 뒤 결과 분석 및 시험방법에 대한 유효성 평가를 실시하였다. 이와 같이 신뢰성 평가 기준개발은 관련된 규격 조사와 함께 대상품의 사용 환경과 고장 메커니즘 고찰하여 수행되었고, 나아가 시험항목을 선별하기 위한 유효성 평가를 제안하였다.

본 연구에서는 자체구동롤러 컨베이어의 신뢰성 평가 기준을 마련하기 위해 국내 신뢰성 기준안 조사를 실시하였고, 시험항목과 그에 따른 평가 기준을 제안하였다.

## 3. 연구대상 및 방법

### 3.1 자체구동롤러 컨베이어의 구조

소형모터를 내장한 롤러시스템인 자체구동롤러 컨베이어는 크게 화물을 운반하는 컨베이어와 컨베이어의 신호제어를 위한 컨트롤 보드로 구성된다.

#### 3.1.1 자체구동롤러 컨베이어

자체구동롤러 컨베이어는 컨베이어 외부에 모터가 없기 때문에 공간 활용이 우수하고 안전하다는 장점과 반송물이 있는 구간만 롤러를 선택적으로 구동하여 에너지 절감 효과를 도출하는 기능을 가지고 있다. 국토교통부 주관인 R&D 과제로서 K연구원 및 B사가 공동개발중인 자체구동롤러는 모터, 감속기, 커플링, 베어링, 모

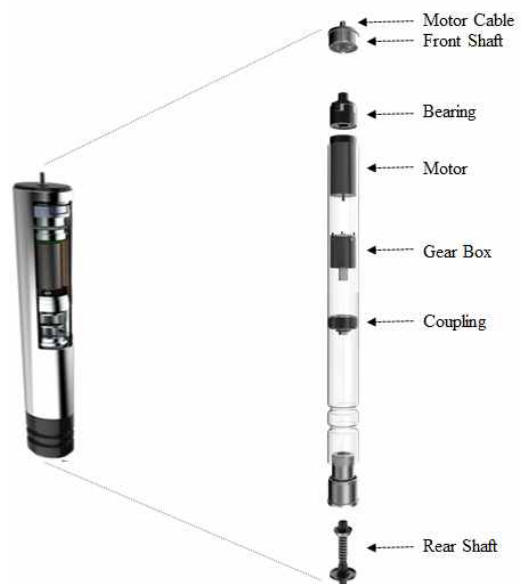


Fig. 1 Structure of motorized roller conveyor

터 케이블로 구성되며 구조 개념은 Fig. 1과 같다.

감속기는 토크 증대와 회전 속도를 감속시키는 역할을 하며, 커플링은 구동부에서 회전력을 파이프에 전달한다. 또한 모터케이블은 모터의 전원공급 및 제어를 위해 컨트롤 보드와 연결시키는 역할이다. 자체구동 롤러의 구성품별 성능요구조건은 Table 1과 같으며 이는 기술개발 시 반영해야 한다.

**3.1.2 자체구동롤러 컨트롤 보드**

자체구동롤러 컨베이어의 컨트롤 보드는 자체구동롤러의 속도, 회전방향, 각종 신호제어를 위한 컨트롤 장비로서, 화물의 유무를 감지하고 모터를 정지 및 기동하여 에너지 절감 효과를 도출한다. 컨트롤 보드 시스템의 구성은 Fig. 2와 같다.

자체구동롤러 컨트롤 보드는 CPU, 전원, CAN 드라이버, 상태 LED, 파워몰러 드라이버, PLC로 구성되어 있으며 각 구성품의 역할 및 기능은 Table 2와 같다.

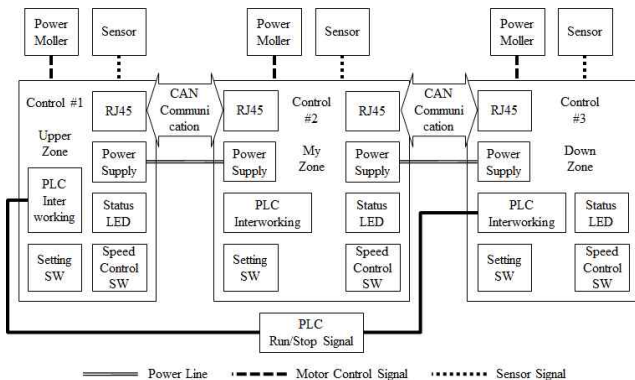
**3.2 신뢰성 평가기준 수립절차 및 평가방법**

자체구동롤러의 신뢰성 평가기준을 수립하기 위한 절차는 Fig. 3과 같이 구성하였다.

먼저, 절차에 따라 제품 구조를 분석한다. 자체구동롤러 컨베이어는 크게 컨베이어와 컨트롤 보드 두 가지로 나뉜다. 이에 시험평가 단위는 부품단위의 시험이 아닌 전체 시스템 단위로 설정하되, 컨베이어와 컨트롤 보드로 나누어 시험 평가 기준을 수립하였다.

**Table 1 Component-specific requirements of motorized roller conveyor**

Components	Requirements
Coupling	- Energy loss and slippage are minimized - Must be able to absorb eccentricity of the shaft
Motor cable	- No twists in the cable - Connecting jack is successfully connected
Bearing	- Must hold up the fixed axis in the frame



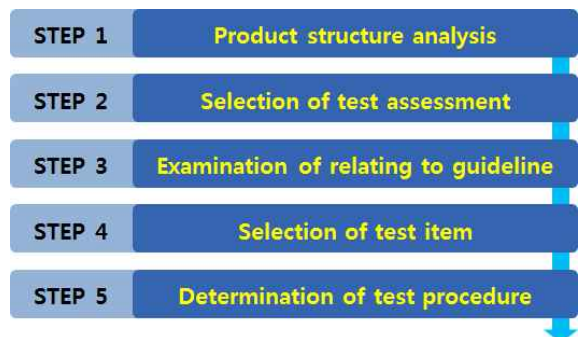
**Fig. 2 Architecture of control board system**

다음으로 관련 기준안 조사를 실시하였다. 컨베이어 관련 신뢰성 기준안 항목으로는 국내 한국기계연구원 신뢰성평가센터의 ‘RS-KIMM-2012-0149 머시닝센터용 힌지 컨베이어’<sup>[13]</sup>가 유일하며, 컨트롤 보드 관련 신뢰성 기준안 항목으로는 한국 기계연구원 신뢰성 평가센터에서 ‘RS-KIMM-2012-0148 환경로봇용 컨트롤 보드’<sup>[14]</sup>, ‘RS-KIMM-2010-0072 가정용 보일러 컨트롤러’<sup>[15]</sup>, ‘RS-KIMM-2010-0021 난방용 자동 온도조절 밸브 컨트롤러’<sup>[16]</sup>가 평가항목으로 존재하였다.

조사한 국내 컨베이어와 컨트롤 보드 관련 시험 기준안을 참고하여 시험 항목을 Fig. 4와 같이 구성하였다. 성능시험은 실제 환경과 같은 여건에서 자체구동롤러 컨베이어의 성능을 측정하기 위해 실시한다. 내환경성시험은 우발고장 발생을 재현하여 예방하기 위한 실험으로, 특정 환경조건에서의 내환경성을 확인하기 위해 실시한

**Table 2 Construction of control board**

Division	Description
CPU (Control#1,2,3)	- Affiliated with ARM, 8KB SRAM, 32KB memory and 50 MHz speed
Power	- Motor driver, 24 V - CAN driver, 5 V - Logic level, 3.3 V
CAN driver	- Two-wire interface and high noise immunity - High speed (1 Mbps)
Status LED	- LED1 (green): Light blinks when power supply is on or motor moves - LED2 (orange): Light blinks when a sensor or jam error is detected - LED3 (red): Light blinks on and off in 1 second increments when thermistor operates or when motor is overloaded; when both occur simultaneously light blink quickly (6 Hz) and buzzing sound is generated
Power Moller driver	- Torque and speed are controlled with PWM signals
PLC	- Must be able to transmit motor direction, force actuation signal, and sensor input



**Fig. 3 Establishment procedure of reliability assessment criteria**



Fig. 4 Test item of motorized roller conveyor

Table 3 Detailed test items for a motorized conveyor

Division	Test item	Detail test items
Conveyor	Performance test	Feed rate test
		Initial operation of torque test
	Environment test	transportation vibration test
		Low temperature test
		High temperature test
	Safety test	Humidity test
		Over-load torque test
		Insulation resistance test
	Control board	Performance test
Power consumption test		
Environment test		Communication test
		Transportation vibration test
		Low temperature test
		High temperature test
		Humidity test
Safety test		Dust precipitation test
		Insulation resistance test
		Dielectric strength test
		Surge voltage immunity test
		Voltage source variation test

다. 또한 안전성시험을 통해 설계에 안전상의 문제가 없는지를 평가하며 수명시험을 통해 자체구동롤러 컨베이어의 수명 또는 고장률을 평가하고, 나아가 수명 예측 및 보증을 수행한다.

마지막으로 각 시험 항목별 세부 시험 항목과 시험기준을 설정하였다. 성능 시험, 내환경성 시험, 안전성 시험의 세부 시험 항목은 컨베이어와 컨트롤 보드 부분으로 나누어 Table 3과 같이 구성하였고, 수명시험 또한 컨베이어와 컨트롤 보드로 나누어 기준을 마련하였다. 컨베이어의 수명 평가 기준은 컨베이어가 인증 받고자 하는 수명 20,000시간과 가속계수(acceleration factor)를 적용하여 설계하였으며, 컨트롤 보드의 수명 평가는 신뢰도 예측 기법인 part count method를 적용하였다.

#### 4. 자체구동롤러 컨베이어의 신뢰성 평가기준 설계

##### 4.1 컨베이어 신뢰성 기준

컨베이어의 신뢰성 평가는 ‘RS-KIMM-2012-0149 머시닝센터

Table 4 Assessment criteria for conveyor performance test

Test item	Assessment criteria
Feed rate	- Within 5% of design specification
Starting torque	- Mean torque within 10% of design specification

용 힌지컨베이어<sup>[13]</sup>의 평가 방법을 참고한다. 가장 최근에 동일한 조건으로 생산된 양품 중 2개를 랜덤 샘플링하여 내환경성 시험과 수명시험에 활용하도록 한다.

##### 4.1.1 성능 시험 설계

컨베이어의 성능 시험은 이송속도 시험과 초기작동 토크 시험 두 가지가 있으며, 초기작동 토크 시험을 대표 성능시험으로 한다.

이송속도 시험은 컨베이어의 설계중량에 해당되는 Dummy를 떨어뜨린 후, 컨베이어를 정격 속도로 구동시킨다. 이를 5회 반복하여 측정된 이송속도를 측정값으로 한다.

초기작동 토크 시험은 컨베이어에 정격전압을 인가하여 작동유무를 확인하고 무부하 토크 값을 측정한다. 이를 5회 반복 측정하여 평균값을 구한다.

시험에 따른 측정값은 Table 4의 성능 시험 평가 기준을 만족하여야 한다.

##### 4.1.2 내환경성 시험 설계

컨베이어의 내환경성 시험은 수송 가진 시험, 저온 시험, 고온 시험, 습도 시험이 있다. 모든 시험엔 사전, 사후 시험으로 육안 검사 및 대표 성능 시험을 실시하고 시험 결과는 Table 1의 평가기준과, 대표 성능시험인 초기작동 토크 시험의 평가기준을 만족해야 한다.

수송 가진 시험은 (1~500) Hz의 주파수 범위로 정현파 스위프 시험을 실시한다. 진동 가속도는  $10 \text{ m/s}^2$  이하, 진폭은 3.5 mm 이하, 정현파 스위프 속도는 1 octave/min으로 하여 3축( $\pm X, \pm Y, \pm Z$ ) 방향에 대해 각각 10회 시험을 실시한다.

저온 시험은 컨베이어를  $(-30\pm 2)^\circ\text{C}$ 의 항온조에 4시간 저온 저장 후,  $(-20\pm 2)^\circ\text{C}$ 로 4시간 유지한다. 이후 중간시험으로 육안검사를 실시하고  $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ 로 2시간 안정화 시킨다.

고온 시험은 컨베이어를  $(55\pm 2)^\circ\text{C}$ 의 항온조에 4시간 고온 저장 후,  $(45\pm 2)^\circ\text{C}$ 로 4시간 유지한다. 이후 중간시험으로 육안 검사 및 대표성능 시험을 실시한 후  $(25\pm 2)^\circ\text{C}$ 로 2시간 안정화 시킨다.

습도 시험은 컨베이어를 시험조에 설치하고 온도  $(45\pm 2)^\circ\text{C}$ , 상대 습도  $(95\pm 5)\%$  조건에서 6시간 유지하고, 온도  $(30\pm 2)^\circ\text{C}$ , 상대 습도  $(85\pm 5)\%$  조건에서 16시간을 유지한다. 이를 1주기로 10주기 수행한 후 표준 대기 조건에서 컨베이어를 충분히 건조시킨다. 시험에 따른 측정값은 Table 5의 내환경성 시험 평가 기준을 만족하여야 한다.

**Table 5 Assessment criteria for conveyor environmental tests**

Test item	Assessment criteria
Transportation vibration	- No damage to assembly unit (e.g., looseness, strain, breakage)
Low temperature	- No exterior damage (e.g., breakage, crack, transformation etc.)
High temperature	
Humidity	

**Table 6 Assessment criteria for conveyor safety tests**

Test item	Assessment criteria
Torque overload	- No damage (e.g., strain, breakage) at torque limit
Insulation resistance	- Must exceed 5 MΩ.
Dielectric strength	- No dielectric breakdown

**4.1.3 안전성 시험 설계**

컨베이어의 안전성 시험은 과부하 토크 시험, 절연 저항 시험, 내전압 시험이 있으며 시험은 수명 시험 완료 후에 실시하도록 한다.

과부하 토크시험은 컨베이어에 정격토크의 150%를 가하여 토크리미트의 작동 유무를 확인한다.

절연저항 시험은 전원 충전부와 비충전 금속부분 사이에 DC 500 V의 시험 전압을 인가하고 측정기가 안정된 상태에서 절연 저항값을 측정한다.

내전압 시험은 1차 권선과 철심 또는 비충전 금속 부분 사이에 내전압 시험계를 연결한 후, 상용 주파수(60 Hz), 사인파 1500 V 시험 전압의 50 %에서 10초 이내에 규정 시험 전압까지 상승시킨 후 1분간 유지한다.

시험에 따른 측정값은 Table 6의 안전성 시험 평가 기준을 만족하여야 한다.

**4.1.4 수명 시험 설계**

컨베이어의 수명 시험은 시료 2개를 3200시간까지 가속 수명 시험을 실시한다.

컨베이어에 정격 전압을 인가하여 구동모터를 정격속도의 60%로 구동시키고 정격토크의 75%로 작동시켜 정방 48시간 작동, 정격토크의 25%로 작동시켜 역방향 2시간 작동으로 시료 2개를 3,200시간까지 가속수명 시험을 수행한다.

수명시험의 50% 구간에서는 대표 성능시험인 초기작동 토크 시험의 평가 기준을 만족하여야 하며, 사전시험과 사후시험으로 성능 시험을 실시하여 평가 기준을 만족하여야 한다.

컨베이어가 Table 7의 평가 기준을 만족하면, 신뢰수준 70%에서 B10 수명 20,000시간을 보장한다.

**Table 7 Assessment criteria for conveyor life test**

Test item	Assessment criteria
Life	- Satisfies the integrated and representative performance tests
	- After two samples, perform the life test for 3200 hours; the two samples must satisfy the integrated and representative performance tests without failure

**Table 8 Assessment criteria for control board performance tests**

Test item	Assessment criteria
Power consumption	- Measured power consumption <110% of rated power
Communication	- Operates normally.

**4.2 컨트롤 보드 신뢰성 기준**

컨트롤 보드의 신뢰성 평가는 ‘RS-KIMM-2010- 0021 난방용 자동 온도조절 밸브 컨트롤러<sup>16)</sup>의 평가 방법을 참고한다. 가장 최근에 동일한 조건으로 생산된 양품 중 13개를 랜덤 샘플링하여 3개는 내환경성 시험, 10개는 수명시험에 활용하도록 한다.

**4.2.1 성능 시험 설계**

컨트롤 보드의 성능 시험은 소비전력 시험과 통신기능 확인 시험 두 가지가 있으며, 초기작동 토크시험을 대표 성능시험으로 한다.

소비전력 시험은 컨트롤 보드의 대기상태 및 동작상태에서 정격 전압을 인가한 후 소비전력을 측정하되, 개폐위치에서의 소비전력이 서로 다른 경우에는 큰 값을 취한다.

통신 기능 확인 시험은 컨트롤 보드가 장비와 통신하는 기능에 대해서는 통신신호를 송수신한 결과로 확인하며, 컨트롤러의 표시 램프로 확인하거나 통신신호에 대해 디지털 값이나 램프 등을 이용하여 표시할 수 있는 기록기를 제작하여 확인할 수 있다.

시험에 따른 측정값은 Table 8의 성능 시험 평가 기준을 만족하여야 한다.

**4.2.2 내환경성 시험 설계**

컨트롤 보드의 내환경성 시험은 수송 가진 시험, 저온 시험, 고온 시험, 습도 시험, 침전 먼지 시험이 있다. 모든 시험엔 사전, 사후 시험으로 육안 검사 및 대표 성능 시험을 실시하고 시험 결과는 Table 9의 평가기준과, 대표 성능시험인 초기작동 토크 시험의 평가기준을 만족해야 한다.

수송 가진 시험은 (1~500) Hz의 주파수 범위로 정현파 스위프 시험을 실시한다. 진동 가속도는 20 m/s<sup>2</sup> 이하, 진폭은 7.5 mm 이하, 정현파 스위프 속도는 1 octave/min으로 하여 3축 3축(±X, ±Y, ±Z) 방향에 대해 각각 10회 시험을 실시한다.

**Table 9 Assessment criteria of environment tests for the control board**

Test item	Assessment criteria
Transportation vibration	- No damage to assembly unit (e.g., looseness, strain, breakage) - Satisfies the assessment criteria of representative performance tests.
Low temperature	- No exterior damage (e.g., breakage, crack, transformation etc.). - Satisfies the assessment criteria of representative performance tests.
High temperature	
Humidity	- Satisfies the assessment criteria of representative performance tests.
Dust precipitation	- Dust does not penetrate the equipment - Satisfies the assessment criteria of representative performance tests

저온 시험은 컨트롤 보드를 (-30±2)°C의 항온조에 4시간 저온 저장 후, (-25±2)°C로 4시간 유지한다. 이후 중간시험으로 육안검사를 실시하고 (25±2)°C로 2시간 안정화 시킨다.

고온 시험은 컨트롤 보드를 (55±2)°C의 항온조에 4시간 고온 저장 후, (45±2)°C로 4시간 유지한다. 이후 중간시험으로 육안 검사 및 대표성능 시험을 실시한 후 (25±2)°C로 2시간 안정화 시킨다.

습도 시험은 컨베이어를 시험조에 설치하고 온도 (45±2)°C, 상대 습도 (95±5)% 조건에서 6시간 유지하고, 온도 (30±2)°C, 상대 습도 (85±5)% 조건에서 16시간을 유지한다. 이를 1주기로 10 주기 수행한 후 표준 대기 조건에서 컨트롤 보드를 충분히 건조시킨다.

침전 먼지 시험은 상대 습도 30% 이하, 온도 (23±2)°C로 시험조를 유지한 후, 먼지 크기는 105 μm 이하, 먼지 침전율을 6 g/m<sup>2</sup>/day, 공기 속도는 0.2 m/s 이하로 먼지를 (60±5)초간 주입하고 59분간 침전, 72시간 실시한다.

#### 4.2.3 안전성 시험 설계

컨트롤 보드의 안전성 시험은 절연 저항 시험, 내전압 시험, 서지 전압 내성 시험, 전원 전압 변동 시험이 있으며, 시험은 수명 시험 완료 후에 실시하도록 한다.

절연저항 시험은 전원 충전부와 비충전 금속부분 사이에 DC 500 V의 시험 전압을 인가하고 측정기가 안정된 상태에서 절연 저항값을 측정한다.

내전압 시험은 충전 부분과 비충전 금속 부분 사이에 내전압 시험계를 연결한 후, 상용 주파수(60 Hz), 사인파 1,500 V의 시험 전압을 제로에서 일정한 비율로 규정 시험 전압까지 상승시킨 후 1분간 유지한다.

서지 전압 내성 시험은 전원선 상호간에 2 kV, 전원선과 접지선 간에는 4 kV의 서지 전압을 최대 분당 1회 이내의 간격으로 양극

**Table 10 Assessment criteria for control board safety tests**

Test item	Assessment criteria
Insulation resistance	- Must exceed 5 MΩ
Dielectric strength	- No dielectric breakdown
Surge immunity	- Surges do not cause temporary malfunction or loss of function or performance - Satisfies the assessment criteria of representative performance tests
Voltage source variation	- Equipment operates normally without malfunction during the test

과 음극에 각각 5회 이상 반복하여 인가한다.

전원 전압 변동 시험은 컨트롤 보드에 정격전압의 10% 전압을 1초, -2% 전압을 1초, 10% 전압을 1초, -10% 전압을 1초 인가하는 것을 1주기로 하여 3회 실시한다.

시험에 따른 측정값은 Table 10의 안전성 시험 평가 기준을 만족하여야 한다.

#### 4.2.4 수명 시험 설계

컨트롤 보드의 수명 평가 기준은 평균수명(mean time to failure) 20,000시간이 보장되어야 한다. 수명 평가는 신뢰도 예측(reliability prediction) 기법의 part count method를 활용하여 수행되며, 설계상 on-board된 부품 고장률을 통하여 최종 모듈의 신뢰도를 추정한다. 단, 부품 및 모듈의 고장확률은 지수분포(exponential distribution)를 따르며, 모든 부품은 직렬구조로 구성되어 있다고 가정한다.

부품 고장률은 MIL-HDBK-217F, Telcordia SR-332, 217 Plus, EPRD(electronic parts reliability data), NPRD(non-electronic parts reliability data) 등과 같은 규격을 활용하여 할당한다. 전체 부품(n) 중 i 부품의 고장률( $\lambda_i$ )을 통한 모듈 고장률( $\lambda_m$ ) 산출 수식 및 지수분포의 평균 수명( $MTTF_m$ ) 산출 수식은 아래 식 (1), (2)와 같다.

$$\lambda_m = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \quad (1)$$

$$MTTF_m = \frac{1}{\lambda_m} \quad (2)$$

#### 4.2.5 수명 평가 결과

신뢰도 예측 기법을 활용한 컨트롤 보드의 수명 평가 결과는 Table 11과 같다. 현 컨트롤 보드의 신뢰도 예측 결과는 총 고장률 2,496.040 (failure in time), 평균 수명 400,576.83(시간)으로 분석되었다. 따라서 현 컨트롤 보드는 수명 평가 기준인 20,000시간

Table 11 Reliability prediction results of control board

NO	Description	Specification	Unit	Q'ty	Failure rate (FITs)	Standard
1	C, CERAMIC, SMD	0.1uF, 1608 SIZE	EA	15	0.10	Telcordia
2	C, CERAMIC, SMD	50pF, 1608 SIZE	EA	1	0.10	Telcordia
3	C, CERAMIC, SMD	470pF, 1608 SIZE	EA	1	0.10	Telcordia
4	C, CERAMIC, SMD	0.01uF, 1608 SIZE	EA	4	0.10	Telcordia
5	C, CERAMIC, SMD	12pF, 1608 SIZE	EA	2	0.10	Telcordia
6	C, CERAMIC, SMD	100pF, 1608 SIZE	EA	1	0.10	Telcordia
7	C, CERAMIC, SMD	470nF, 2012 SIZE	EA	1	0.10	Telcordia
8	C, ELECT, SMD	10uF/16V, PI4.0, SMD	EA	1	0.73	Telcordia
9	C, ELECT, SMD	100uF/50V, PI8.0, SMD	EA	1	0.73	Telcordia
10	C, ELECT, SMD	470uF/16V, PI8.0, SMD	EA	3	14.00	Telcordia
11	C, ELECT, SMD	10uF/50V, PI6.3, SMD	EA	2	0.73	Telcordia
12	R, ARRAY, SMD	RN-1608*4P-1K	EA	1	0.56	Telcordia
13	R, SMD	10K, 1608 SIZE	EA	12	0.18	Telcordia
14	R, SMD	1K, 1608 SIZE	EA	3	0.18	Telcordia
15	R, SMD	4.7K, 1608 SIZE	EA	4	0.18	Telcordia
16	R, SMD	100, 1608 SIZE	EA	2	0.18	Telcordia
17	R, SMD	5.1K, 1608 SIZE	EA	1	0.18	Telcordia
18	R, SMD	56K, 1608 SIZE	EA	1	0.18	Telcordia
19	R, SMD	150, 1608 SIZE	EA	1	0.18	Telcordia
20	R, SMD	0, 1608 SIZE	EA	1	0.18	Telcordia
21	R, SMD	20K, 1608 SIZE	EA	3	0.18	Telcordia
22	R, SMD	3K, 1608 SIZE	EA	1	0.18	Telcordia
23	R, SMD	4.02K, F, 1608 SIZE	EA	1	0.18	Telcordia
24	R, SMD	1K, 2012 SIZE	EA	6	0.18	Telcordia
25	R, SMD	60, 2012 SIZE	EA	2	0.18	Telcordia
26	R, SMD	6.8K, 2012 SIZE	EA	3	0.18	Telcordia
27	DIODE, SWITCH, SMD	MMSD4148, SOD-123	EA	1	0.33	Telcordia
28	DIODE, RECTIFIER, SMD	SK104, DO-214AB	EA	1	0.33	Telcordia
29	DIODE, RECTIFIER, SMD	SMBJ36A, DO-214AA	EA	1	0.33	Telcordia
30	DIODE, RECTIFIER, SMD	RS1A, SMA	EA	3	0.33	Telcordia
31	DIODE, RECTIFIER, SMD	MM3Z6V2B(SOD-323)	EA	3	0.33	Telcordia
32	DIODE, RECTIFIER, SMD	SK34B, DO-214AA	EA	1	0.33	Telcordia
33	DIODE, TVS, SMD	SM05TC, SOT-23	EA	2	0.33	Telcordia
34	LED, SMD, RED	CL-SF681DLR, 3528 SIZE	EA	2	0.25	Telcordia
35	LED, SMD, GRN	CL-SF681DLG, 3528 SIZE	EA	1	0.25	Telcordia
36	LED, SMD, YEL	CL-SF681DLY, 3528 SIZE	EA	1	0.25	Telcordia
37	BEAD, SMD	HB-1M3216-120	EA	1	0.10	Telcordia
38	POWER Inductor, SMD	YC125RT-101M(6*13.5PI), SMD	EA	1	0.11	Telcordia
39	TR, NPN	MMBT2222AL(SOT-23)	EA	6	0.69	Telcordia
40	MOSFET, N-CHANNEL, SMD	CEU4060AL(TO-252)	EA	6	3.44	Telcordia
41	IC, CPU	LPC11C14F/301-LQFP-48P	EA	1	16.65	Telcordia
42	IC, CAN transceiver	TJA1051T/3, SO-8P	EA	1	7.60	Telcordia
43	IC, MOTOR DRIVER	A3932SLDTR-T(TSSOP-38P)	EA	1	11.07	Telcordia

Table 11 Continued

NO	Description	Specification	Unit	Q'ty	Failure rate (FITs)	Standard
44	IC, REGULATOR	LM2576SX-ADJ(TO-263)	EA	1	11.07	Telcordia
45	IC, REGULATOR	IL1117-3.3(SOT-223)	EA	1	11.07	Telcordia
46	IC, BUFFER	LT17SZ07(SOT-353)	EA	1	3.64	Telcordia
47	CRYSTAL, SMD TYPE	16MHz, SX-1, SMD	EA	1	3.20	Telcordia
48	FUSE, SMD	3A, 6025 SIZE	EA	1	0.40	Telcordia
49	SWITCH SELECT	SH-7010B, SMD	EA	1	33.70	Telcordia
50	CONN., HEADER, SMD	12505WR-06, SMD, RTA	EA	1	0.78	Telcordia
51	CONN., HEADER, DIP	SMAW250-05	EA	1	11.00	Telcordia
52	CONN., HEADER, DIP	SMAW250-07	EA	1	15.40	Telcordia
53	CONN., HEADER, DIP	SMAW250-02	EA	2	4.40	Telcordia
54	CONN., HEADER, DIP	SMAW250-03	EA	1	6.60	Telcordia
55	CONN., MODULA, DIP	52018-8845	EA	2	17.60	Telcordia
56	CONN., HEADER, DIP	SMAW250-10	EA	1	22.00	Telcordia
57	BUZZER, DIP	G09B-5, DIP	EA	1	241.87	EPRD
58	DIP SWITCH, 3P, DIP	KSD03	EA	1	6.24	Telcordia
59	PCB, 4 LAYER	110 mm * 68 mm * 1.6T, FR4	PCS	1	1964.44	NPRD
SUM					2496.040	-

FIT: Failure in Time (1 failure per 1 billion hours)

을 보장할 수 있다. 부품 고장률은 Telcordia SR-332 issue 3을 참조하였으며, Telcordia SR -332에 명시되지 않은 부품 buzzer와 PCB는 각각 EPRD와 NPRD를 참조하여 할당하였다.

때의 환경요소들을 조사하여 내환경성 시험에 대한 추가 보완작업을 해야 할 필요가 있다.

## 5. 결론

본 연구는 자체구동롤러 컨베이어의 상용화를 위한 신뢰성 평가 기준을 제안하였다. 신뢰성 평가기준 수립 절차에 따라 자체구동롤러 컨베이어 기술에 대한 평가 항목을 구성하였고, 평가 항목으로는 성능 시험, 내환경성 시험, 안전성 시험, 수명 시험이 결정되었다. 또한, 각 시험 평가를 위한 시험 조건과 평가 방법을 마련하였다. 이 때, 각 신뢰성 평가의 시스템 단위는 전체 시스템 단위로 설정하였으며, 서브시스템 단위로는 컨베이어와 컨트롤 보드로 나누어 분석을 수행하였다.

컨베이어와 컨트롤 보드의 수명은 20,000시간을 보장할 수 있도록 수명 시험을 설계하였으며, 컨트롤 보드는 신뢰도 예측 기법인 part count method에 따라 컨트롤 보드의 설계에 on-board된 부품들의 고장률을 통하여 최종 모듈의 신뢰성을 산출하였다.

자체구동롤러 컨베이어의 신뢰성 평가 기준을 정립하기 위해 국내 여러 제품 및 부품에 대한 신뢰성 평가 기준을 참고하였으나, 현 국내 신뢰성 평가 기준 데이터가 부족하여 다양한 시험에 한계가 있었다. 또한, 내환경성 시험에서 수송 가진, 저온, 고온, 습도, 침전 먼지 항목 외에 자체구동롤러 컨베이어가 실제 노출되었을

## 후 기

이 연구는 국토교통부 교통물류연구사업 “물류센터 전기에너지 절감을 위한 물류설비 및 능동형 에너지 제어시스템 기술개발”의 지원에 의해 연구되었음.

## References

- [1] Kim, Y. J., Kim, G. R., Kim, K. T., Kwon, Y. J., 2014, Technical Development Trend of the Motorized Roller, IEIE Summer Conference, 37:1 1705-1707.
- [2] Park, B. H., Jang, J. S., Kim, K. Y., Lee, J. H., Kim, S. J., Chan, S. I., Jeong, K. Y., Kim, D. J., Lee, C. B., 2009, Design of Effective Reliability Tests for New Products, Journal of Applied Reliability, 9:2 107-119.
- [3] Yoo, K. H., Park, B. H., Kim, K. T., Kim, K. Y., Kim, D. S., Jang, J. S., Han, C. S., Cho, H. S., 2011, Reliability Tests for BLDC Motors Used in Green-Cars, Journal of Applied Reliability, 11:1 97-110.
- [4] Choi, J. K., Park, J. H., Park, H. S., Ahn, Y. S., 2007, Reliability Appraisal Standard for Lead-free Solder Bar, Journal of the Microelectronics & Packaging Society, 14:2 23-33.



- [5] Yang, I. Y., Yu, S. W., Lee, K. M., 2014, Development of Reliability Test Method for UHF RFID Tags for Apparel Supply Management, IEIE Summer Conference, 37:1 2120-2121.
- [6] Lee, K. Y., Park, S. J., Kim, D. H., Jo, Y. H., Kim, Y. J., 2014, A Study on Suitable Condition of Accelerated Aging Test and Evaluation Criteria of Data Stability for Archival Performance Analysis of BD-R Media, Journal of Society of Information Storage Systems, 10:1 7-13.
- [7] Nam, J. S., Han, J. W., 2015, Development on Test Procedure of Pitch and Yaw Bearings for Wind Turbine, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 24:3 355-362.
- [8] Kim, Y. G., Park, C. K., Ryu, J. H., 2013, Comparison and Analysis of Vibration and Shock Test Methods for Rolling Stock Equipment, Journal of the Korean Society for Railway, 16:4 246-252.
- [9] Oh, S. C., 2011, Comparative Study of the Testing Standard Methods for Shear Strength of Laminated Veneer Lumber(LVL), Journal of the Architectural Institute of Korea, 27:12 41-48.
- [10] Sim, J. S., Kwon, H. W., Lee, H. H., Kim, H. J., 2011, The Suggestion of Testing Method for Analysis of Tensile Strength of Multi-Directional GFRP Plate, Journal of the Korea Concrete Institute, 23:6 799-808.
- [11] Chung, W. Y., Min, J. W., Park, D. K., Choi, J. W., Choi, W. S., Kim, S. D., 2015, Reliability Assessment Criteria of Differential Pressure Sensor for DPF, Journal of Applied Reliability, 15:1 67-75.
- [12] Bae, Y. H., Kim, M. C., 2015, Conformity Assessment of Vertical Static Stiffness Test Method for Rail Pad, Journal of the Korean Society for Railway, 18:1 33-42.
- [13] RS-KIMM, 2012, Hinge Conveyor for Machining Center, 0149, Reliability Assessment Center of KIMM, Republic of Korea.
- [14] RS-KIMM, 2012, Control Board for Environmental Robot, 0148, Reliability Assessment Center of KIMM, Republic of Korea.
- [15] RS-KIMM, 2010, Electronic Controller of Boiler For Home, 0072, Reliability Assessment Center of KIMM, Republic of Korea.
- [16] RS-KIMM, 2010, Controller of Automatic Temperature Control Valve for Heating, 0021, Reliability Assessment Center of KIMM, Republic of Korea.