

공연 연출용 이동무대의 시험검증 적용 및 개선 연구

임정호*, 박진규*, 유정훈*, 김상헌*

*한국산업기술시험원

e-mail:limjh@ktl.re.kr

A study on verification and improvement of smart stage for performance equipment

Jung Ho Lim*, Jinkyu Park*, Jeonghoon Yu*, Sanghun Kim*

*Korea Testing Laboratory

요 약

공연 연출용 장치의 활용이 높아 사용자와 장치의 안전성 및 신뢰성 확보가 요구됨에 따라 이동무대의 검증 요구사항 및 시험 항목을 도출하고 시험검증을 통해 안전성, 기능, 성능을 확인하였다. 1차 검증 결과에 따른 성능 개선으로 이동무대의 위치 재현성 및 정밀도 성능이 향상되었다. 다양한 공연 연출용 장치의 시험검증 도입을 위한 적용 프로세스 연구개발이 지속적으로 필요하다.

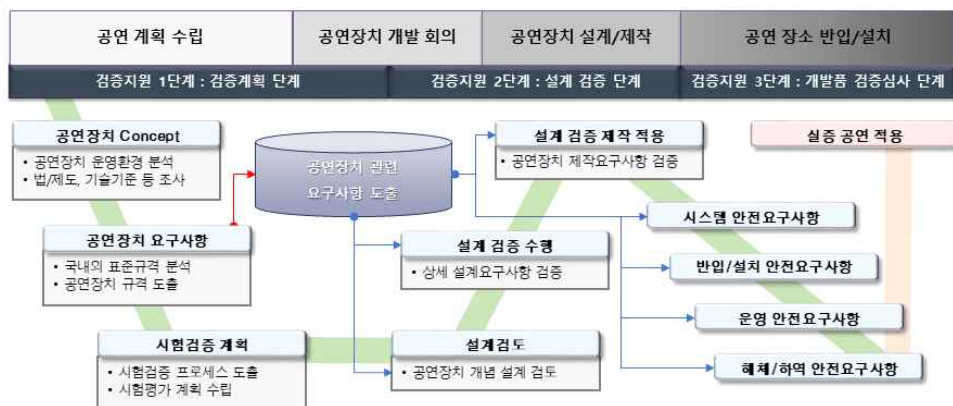
1. 서론

공연 연출용 장치에 활용되는 첨단기술은 로봇 액터, 플라이 기술, 스마트 스테이지, 3D 홀로그램 영상 및 프로젝션 맵핑 등이 있다.

공연 연출용 장치는 사물이나 사람을 신거나 매달고 움직이며 연출 효과를 극대화 한다. 이러한 이유로 장치 및 사용자의 안전을 위하여 작동 및 성능의 검증이 요구된다.

공연 연출용 장치의 검증 요구사항은 단계 및 항목별 구분하여 수행할 수 있다.

- 공연장치 제작 요구사항 수립
- 공연장치의 기본설계 검증 요구사항 도출
- 공연장치의 상세설계 검증 요구사항 도출
- 공연장치의 제작 사양(기능/안전) 도출
- 제작된 공연장치의 시험검증 계획 수립
- 공연장치의 검증 방안 도출
- 공연장치의 시험평가(기능/안전/성능/신뢰성) 수행
- 공연장치의 실증 적용 및 위험성 최소화



[그림 1] 공연장치 단계별 검증 프로세스 예시

2. 본론

2.1 이동무대의 검증 요구사항

이동무대는 무대세트를 싣거나 사람을 태우고 원하는 방향으로 이동, 제자리 회전, 자유롭게 이동할 수 있으며, 기능에 따라서 상승 및 하강이 가능하다. 이동무대의 작동은 수동작동 또는 이동 시간 및 거리를 입력하여 작동할 수 있다.

이동무대의 검증 요구사항은 설계/제작/운영 단계별로 구별하여 도출할 수 있다.

[표 1] 검증단계 구분 예시

구분	검증 요구사항	검증 단계		
		설계	제작	운영
안전 및 기능	공연장치의 안전성 확보를 위해 주요 부품의 외관 및 설치 상태를 점검하여야 한다.		○	○
	공연장치의 동력발생장치는 기계적, 전기적 작동 검사를 수행하여야 한다.			○
	공연장치의 구조물, 선정 부품 등은 안전율이 적용되어야 한다.	○		
	공연장치의 안전장치(리밋 스위치, 비상정지버튼 등) 적용되어야 한다.	○		○
	공연장치에 적용된 브레이크의 성능이 확인되어야 한다.	○		○
	중량물 또는 사람이 매달리는 장치는 안전을 위한 수평도 유지가 확인되어야 한다.			○
	공연장치의 이동 범위 또는 경로 이탈에 대한 안전 대책이 마련되어야 한다.	○		○
성능 및 신뢰성	공연장치의 최대하중, 최고속도 등 사양에 대한 검증을 수행한다.			○
	공연장치의 제어정밀도에 대한 오차 범위를 확인하여야 한다.			○
	공연장치를 연동하여 사용하는 경우, 제어 성능에 대한 검증을 수행한다.			○
공통	공연장치의 안전성 및 정상 작동을 위한 사용환경 조건에서 이상 작동이 없어야 한다.	○	○	
	기타 국내외 법/제도, 기술기준, 표준 규격 등의 요구사항을 적용할 수 있다.	○	○	○

이번 검증에서는 제작 후 운영에 대한 안전/기능/성능/신뢰성에 대해서 요구사항을 검증하였다.

2.2 이동무대의 검증 방안

요구사항의 검증 방법은 문서검사(I: Inspection), 해석(A: Analysis), 시험평가(T: Test) 등으로 구분할 수 있으며, 검증 요구사항 중 시험평가 적용에 대한 검증 방안을 도출하였다.

[표 2] 시험평가 검증 방안 예시

구분	검증 방안
안전 및 기능	· 전동기, 감속기, 브레이크, 드럼, 활차, 와이어로프 등 요소부품 육안검사
	· 전동기 소음, 진동, 전류 측정
	· 전기 안전성(전력분석, 내전압, 절연저항 등) 검사
	· 선정된 주요 구성품의 기술자료
	· 구조물의 하중 계산, 모델링, 또는 인장 시험 검사 등
	· 리밋 스위치의 작동 확인
성능 및 신뢰성	· 인터락 구간 작동 확인
	· 최대하중의 150%를 적용 후 일정 시간이 지나고 홀러내림이 없는지 확인
	· 레벨센서를 설치하고 임의 위치를 이동하는 동안 기울기 상태 확인
공통	· 안전 장치 또는 대책 적용 확인을 위한 작동 시험
	· 최대하중을 적용하고 설정 속도에서 시험 실시하여 확인
	· 사용자의 입장에서 제어 프로그램의 Input 대비 Output의 오차를 비교하여 작동 신뢰성 확인
	· 사용자의 입장에서 그룹 제어 프로그램의 작동 신뢰성 확인
공통	· 작동의 신뢰성을 확보하기 위하여 작동 환경에 대한 온도 습도 조건, 내진동 조건, 전자파 적합성 등 확인
	· 공연장치 또는 특수장치에 적용되는 필수 규격이 있는 경우 인증서 확인

2.3 이동무대의 검증(1차) 및 개선(2차) 결과

이동무대의 주요 구성품의 선정 적합성, 구조 및 체결의 안전 등을 문서 또는 해석을 통해 검증가능하며, 시험평가 항목은 1차 검증을 토대로 개선 사항을 도출하고 보완하였다.

[표 3] 시험검증 항목 예시

구분	검증 항목	구분	검증 항목
안전	· 작동의 안전성 (작동 전류 등)	위치 제어 성능	· 동기 운전 정확도
	· 구조물의 안전성	· 위치 재현성	
기능	· 전기적 안전성 (절연저항, 내전압 등)	정지 제어 성능	· 정지 정확도
	· 안전장치 작동 상태 (경로이탈, 충돌감지 등)	시간 제어 성능	· 비상정지 응답거리
	· 상승 제한 등		· 위치 응답시간
			· 행정 도달시간
			· 기동 반응시간

위치 재현성은 이동무대의 제어 성능의 주요 성능으로 공연 연출의 안전성과 신뢰성 확보를 위하여 중요한 항목이며, 제어 프로그램의 보완으로 1차 검증 결과 대비 확인한 성능 향상 결과를 확인하였다.

○ 제어 성능

- 전진 : 이동거리 5,000 mm, 이동시간 25 s 조건에서 작동
- 후진 : 시작 위치로 복귀 명령에 따라 작동

[표 4] 전후 작동 정속구간 이동속도 측정 (단위: m/s)

구분		1	2	3	4	5
이동 속도	전진	0.22	0.21	0.22	0.22	0.22
	후진	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22

[표 5] 전후 작동 위치 재현성 측정 (단위: mm)

구분			1	2	3	4	5	최대 오차
이동거리	전진	1차	4,957.0	4,953.9	4,957.2	4,958.5	4,963.1	-46.1
		2차	4,986.0	4,987.4	4,986.7	4,988.1	4,988.8	-14.0
	후진	1차	4,954.6	4,955.5	4,955.6	4,961.7	4,961.4	-45.4
		2차	4,986.9	4,987.2	4,987.5	4,988.3	4,988.8	-13.1

- 우측 : 이동거리 4 000 mm, 이동시간 8 s 조건에서 작동
- 좌측 : 시작 위치로 복귀 명령에 따라 작동

[표 6] 좌우 작동 정속구간 이동속도 측정 (단위: m/s)

구분		1	2	3	4	5
이동 속도	우측	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
	좌측	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68

[표 7] 좌우 작동 위치 재현성 측정 결과 (단위: mm)

구분		1	2	3	4	5	최대 오차	
이동거리	우측	1차	4,026.6	4,072.8	4,071.1	4,072.6	4,073.3	+73.3
		2차	4,018.2	4,019.2	4,018.5	4,020.7	4,020.4	+20.7
	좌측	1차	4074.8	4070.6	4072.6	4072.8	4090.0	+90.0
		2차	4012.4	4015.7	4016.1	4016.7	4016.6	+16.7

- 제자리 회전 360°, 완료시간 15 s 조건에서 작동

[표 8] 제자리 회전 정밀도 측정 결과 (단위: °)

구분		1	2	3	4	5	최대 오차
위치 오차 각	1차	358.63	357.89	357.85	357.94	357.81	-2.19
	2차	359.05	359.43	359.52	359.58	359.71	-0.95

3. 결론

공연 연출용 장치의 시험검증을 통한 안전성 및 신뢰성 확보를 위하여 이동무대의 ‘설계-제작-운영’ 단계별 요구사항 및 ‘기능/안전/성능/신뢰성’ 검증을 위한 시험 항목을 도출하고 검증 방안을 개발하여 시험평가를 수행하였다.

공연 연출용 장치의 시험검증은 위험성을 최소화하는 것이며, 이를 위해서 첨단기술을 분류하고 안전성과 신뢰성을 검증할 수 있는 프로세스(검증 계획 수립, 검증 방안 연구 등) 적용 방안을 개발하여 다양한 공연 연출용 장치에 활용할 수 있도록 지속적인 연구를 수행하겠다.

감사의 글 : 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원 2021년도 문화기술 연구개발 지원사업 (R2019050038)으로 수행되었습니다.