

공연장 장치 붕 이송시스템의 기본설계에 대한 기초 연구

이진호*, 박진규**

*이주대학교 산업공학과

e-mail: elegance@ajou.ac.kr

A Study on the element design of the Fly Batten Systems

Jin-Ho Lee*, Jin-Kyu Park**

*Dept. of Industrial Engineering, Ajou University

요 약

공연장은 기구역학에 대한 전문적인 기술성이 뒷받침되어야 하는 특수한 공간이다. 하지만 현대의 공연장은 지역 문화정책과 지역 문화예술의 발전에 중심적인 기능을 수행하도록 강요받아왔다. 따라서 지자체에서는 문화시설의 건립에만 집중한 나머지 내실이 있는 무대조명, 무대음향, 무대기계, 공연 프로그램 등의 요구조건을 사전에 구체적으로 계획하고 검토하여 반영하지 않았기 때문에 현재의 기존 공연장은 전문적인 공연시설로서의 기능과 역할을 상실한 상태이다. 이러한 문제점과 고민을 받아들이면서 기존 공연장에서 전문적인 공연 프로그램이 수행 될 수 있도록 우리나라에서도 운영방향과 운영구상을 고려하여 사용자와 이해관계자가 요구하는 기능과 성능을 갖춘 무대기계에 대한 신규 설계가 필요하다고 판단한다. 그래서 본 연구를 통해 신규 기술 개발할 무대기계에 대한 개념을 수립하고자 한다.

1. 서론

현대의 공연장은 지역 문화정책과 지역 문화예술의 발전에 중심적인 기능을 수행하도록 강요받아왔다. 따라서 지자체에서는 문화시설의 건립에만 집중한 나머지 내실이 있는 무대조명, 무대음향, 무대기계, 공연 프로그램 등의 요구조건을 사전에 구체적으로 계획하고 검토하여 반영하지 않았기 때문에 현재의 기존 공연장은 전문적인 공연시설로서의 기능과 역할을 상실한 상태이다. 여기에서 순서상 무엇보다도 공연장의 용도를 정하고 그 용도에 맞는 기능과 역할을 설정하여 그를 만족시킬 수 있는 건축적인 구조와 설비를 만들어 나아가야 한다. 이를 위해서 공연장의 건립 초기단계에서부터 공연장의 운영방향과 운영구상을 계획하여 점진적으로 가시화하여야 한다. 그리고 구체적으로 공연장의 목적에 맞추어 무대조명, 무대음향, 무대기계의 기능과 성능을 검토하고 운영 가능한 프로그램 군 등을 설정해야 하며 이를 아우르는 전체적인 건축 구조물에 대한 설계와 시공이 이루어져야 한다. 그러나 비교적 최근에 개관한 공연장의 경우에도 건립단계에서부터 운영방향과 운영구상을 대략적으로 설정하고 건립을 실시한 경우가 거의 없다. 대부분 공연장의 건립 직전에서만 공연장에 대한 운영부서를 조직하고 이를 통해 공연 프로그램을 끼워 맞추기식으로 만들어가면서 비로소 운영방향과 운영구상을 수립해 나아가는 방식을 취하고 있다. 이러한 이유는 오랫동안 우선순위에 밀려왔던 교육, 복지, 환경 분야에서도 문화시설은 최소한의 필수시설이라는 점을

정책적으로 부각시켰다보니 현재까지도 문화시설은 단순 기반시설로만 강조될 수밖에 없었기 때문이다. 이 때문에 우리나라에 건립된 대부분의 기존 공연장은 동일한 몇 가지 문제점과 고민을 가지고 있다. 첫 번째로 일반생활문화에서부터 고급예술활동에 이르기까지 다양하고 전문적인 공연 프로그램을 적용하여 공연을 실시하려해도 기존 공연장에는 전문적인 공연 프로그램을 운영할 수 없는 무대시설(무대조명, 무대음향, 무대기계 등)이 적용되어 있음에 따라 기존 공연장의 목적에 맞는 기능과 역할을 수행할 수 없다. 두 번째는 기존 공연장의 목적에 맞는 무대시설을 구축하려해도 전체적인 건축 구조물의 안전성 때문에 기존 공연장에 대한 리모델링이 쉽지 않다. 마지막으로 국외의 무대시설 기업의 경우 우리나라의 기존 공연장이 가지고 있는 문제를 해결할 수 있는 제품군이 다양하지만 도입 비용과 유지보수에 대한 비용이 너무 크고 이에 대한 계약조건이 일방적이다. 결과적으로 공연장은 전문적인 기술성이 뒷받침되어야 하는 특수한 공간이다. 그리고 이러한 문제점과 고민을 받아들이면서 기존 공연장에서 전문적인 공연 프로그램이 수행 될 수 있도록 우리나라에서도 운영방향과 운영구상을 고려하여 사용자와 이해관계자가 요구하는 기능과 성능을 갖춘 무대시설에 대한 신규 설계가 필요하다고 판단한다. 본 연구를 통해 무대시설에 대한 신규 기술개발을 실시하고자 하며 향후 체계적인 기술 프로세스를 점목하여 이를 생애주기 관점이 고려된 기본설계와 상세설계를 통해 시스템을 구현하고 시험평가를 통해 기능과 성능을 검증해보고자 한다.

2. 신규 기술개발 대상에 대한 기본설계 개념

2.1 과거 건립된 공연장 장치 봉 이송시스템에 대한 요구 성능

국내외 공연장 건립 시에 제시된 장치 봉 이송시스템에 대한 요구 성능은 다음 표 1과 같으며, 장치 봉 이송시스템에는 구동시스템, 활차, 장치 봉 등으로 구성된다.

신규 기술개발하려는 시스템을 현재 운영 중인 공연장에 적용하기 위해서는 과거에 제시된 성능 대비 동등 성능 이상을 확보해야 할 것으로 판단된다.

[표 1] 과거 건립된 공연장 장치 봉 이송시스템에 대한 요구 성능

순	공연장 명칭	성능 요구조건
1	부산오페라하우스 (수량: 82 개)	- 이송속도: (0 ~ 90) m/min - 허용하중: 1 200 kg
2	엘지아트센터 (수량: 81 개)	- 이송속도: (0 ~ 90) m/min - 허용하중: 1 000 kg - 위치정확: ± 2.0 mm - 배출소음: 57 dB(A)@1 m
3	코펜하겐오페라하우스 (수량: 98 개)	- 이송속도: (0 ~ 108) m/min - 허용하중: 800 kg - 위치정확: ± 2.0 mm

2.2 장치 봉 이송시스템의 구동시스템 기본설계 개념

신규 기술개발하려는 장치 봉 이송시스템의 구동시스템은 전동기, 감속기, 제동장치, 몸체, 드럼, 중심 축, 가이드 활차, 와이어로프, 측정장비, 베어링, 정병류 등으로 구성된다. 이 구동시스템은 제어장치의 지령에 따라 구동되며 전동기와 감속기로부터 발생된 동력으로 드럼을 회전시켜 와이어로프를 감아주거나 풀어주는 역할을 수행하게 된다. 이로써 장치 봉은 구동시스템의 구동에 따라 상하방향으로 이송하게 된다. 여기에서 구동시스템에 적용되어 있는 측정장비는 장치 봉에 부여된 하중을 실시간으로 계측하게 되며 이는 제어장치에 현시되게 된다. 다음은 전동기, 감속기, 제동장치, 와이어로프에 대한 기본설계 기준을 설정하는 방법론에 대한 내용이다.

전동기는 일반적으로 전원의 종류에 따라 직류전동기와 교류전동기로 분류된다. 전원의 종류에 따라 종류가 분류되지만 원리 상으로는 동일한 것으로 자기장속에서 도체를 자기장과 직각으로 놓고 여기에서 전류를 통하게 하면 자기장에도 직각 방향으로 전자기적인 동력이 발생한다는 전자기 유도 현상을 응용한 것이다. 전자기력은 자기장의 세기와 전류의 세기, 도체의 길이의 곱에 비례한다. 그러므로 신규 기술개발하려는 구동시스템에 적용되는 전동기의 용량은 다음 식 (1)을 이용하여 계산한다.

$$P = \frac{W \times V}{6120 \times \eta} [kW] \quad (1)$$

여기에서 W 는 기구에 적용된 설계하중(kg), V 는 이송속도(m/min), η 는 기계효율(전동기 효율 $\times$ 감속기 효율)을 나타낸다. 전동기의 용량 계산식에서 종합 기계효율은 감속비 크기, 로핑 방식, 주행속도에 따라 차이가 발생할 수 있다. 그리고 전동기를 선정할 시 계산된 값보다 출력 값이 큰 전동기를 사용해야 한다.

감속기는 일반적으로 형태에 의한 분류, 방향성에 의한 분류, 취부 방법에 의한 분류, 축의 형상에 의한 분류 등으로 구분되지만 일반적으로 방향성에 의한 분류로 표현한다. 이러한 방향성에 의한 분류는 다음과 같이 평행축 감속기, 워م 감속기, 유성 감속기 등으로 구분된다. 그러므로 신규 기술개발하려는 구동시스템에 적용되는 감속기의 용량은 다음 식 (2)을 이용하여 계산한다.

$$T = \frac{W \times D}{2} \times S.F. [kgm] \quad (2)$$

여기에서 W 는 기구의 설계 및 적용 최대하중(kg), D 는 드럼의 직경(m), $S.F.$ (안전계수)는 안전율을 나타낸다. 감속기의 용량 계산식에서 안전율은 1.25를 적용한다. 그리고 감속기를 선정할 시 계산된 토크 값보다 출력 토크가 큰 감속기를 사용해야 한다.

제동장치는 일반적으로 회전축의 운동에너지를 마찰에너지에 의한 열에너지로 변환하고 흡수하여 회전속도를 줄이거나 또는 정지시키는 것이다. 제동장치의 기본구성은 마찰력을 발생시키는 작동부분과 힘을 작용시키는 조작부분으로 구성되어 있다. 작동부분의 구조에 따라 제동장치를 분류하면 블록제동장치, 밴드제동장치, 축압제동장치, 자동하중제동장치로 분류할 수 있고 조작부분은 작용하는 힘으로 사람의 힘, 스프링의 힘, 유압의 힘, 원심력, 전자기력 등이 있다. 제동장치는 구동시스템에 적용되는 전동기의 정지, 고정, 속도 조절 등에 활용된다. 그러므로 신규 기술개발하려는 구동시스템에 적용되는 제동장치 용량은 다음 식 (3)을 이용하여 계산한다.

$$T_d = K \times 974 \times \frac{P}{N} \times S.F. [kgm] \quad (3)$$

여기에서 K 는 부하계수, N 는 전동기 회전수(rpm), P 는 전동기동력(kW), T_d 는 제동 토크(kg·m), $S.F.$ 는 안전율 1.5를 나타낸다. 그리고 제동장치 선정 시 계산된 제동 토크 값보다 큰 제동장치를 사용해야 한다.

와이어로프는 제조상의 강도 변화, 사용에 따른 강도저하, 단말 처리에 의한 강도저하, 지진에 의한 하중 추가, 구동시스템의 기동 정지에 따른 충격하중의 추가, 적재의 편하중 등에 의한 일부 와이어로프에서의 하중 집중에 따라 문제가 발생되게 된다. 이에 따라

구동시스템에 의해 상하방향으로 이동되는 장치 봉에 적용되는 와이어로프는 안전율 6 이상이 필수적으로 확보되어야 한다. 더불어 기술의 발전에 따라 최근 국외에서는 강한 충격에 대한 내력을 견디도록 권장하고 있어서 신규 기술개발하려는 구동시스템에 적용할 와이어로프는 제조기준에서 파단하중의 1/10 이하로 선정해야 한다.

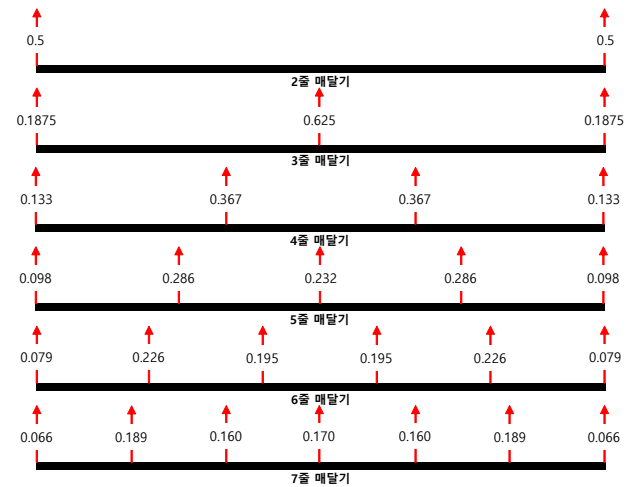
2.3 장치 봉 이송시스템의 활차 기본설계 개념

신규 기술개발하려는 장치 봉 이송시스템의 활차는 회전력을 전달하는 회전체를 말하는데 구동시스템의 구동에 따라 감아지거나 풀어질 때 와이어로프를 통한 이송에 활용된다. 다시 말해 활차는 장치 봉의 상승, 하강 시에 접촉면에 대한 마찰을 줄이고 와이어로프의 방향을 바꾸는 역할을 한다. 그리고 와이어로프와 활차의 인입각도는 2° 이하로 해야 하며 활차의 피치원 지름은 사용하는 와이어로프의 공칭 직경 또는 와이어로프 직경의 20배 이상으로 해야 한다. 그 이유로는 와이어로프의 수명이 와이어로프의 직경(d)과 활차 및 드럼 등의 직경(D)의 비에 영향을 받는다. 즉 활차에 감기는 길이는 활차 바깥둘레의 1/2 ~1/4 정도이므로 D/d의 영향이 적기 때문에 활차는 D/d를 20배 이상으로 해야 한다.

2.4 장치 봉 이송시스템의 장치 봉 기본설계 개념

신규 기술개발하려는 장치 봉 이송시스템의 장치 봉의 경우 상하 2단으로 연결 바를 용접하여 사다리 형 구성하되 적재하중이 큰 경우를 대비하여 장치 봉의 굽힘이 적도록 형상을 고안하였다. 기존의 장치 봉의 경우에는 상하 원형 파이프로 구성되어 있으나 신규 기술개발하려는 장치 봉의 경우에는 구성이 다르다. 우선 상측 파이프는 압축응력에 따른 좌굴을 고려하였고 하측은 무대조명 또는 무대음향이 적절히 설치 가능하도록 기능을 보완하였다. 기존의 장치 봉은 플레이트의 취부 간격이 조밀하여 상하 일체 형식으로 강도를 향상시켰지만 매달림 구조가 적절하지 않아 문제점이 많았다.

결과적으로 장치 봉은 연속적인 구성이므로 수평을 유지하도록 설치해야 한다. 이는 전체가 수평을 유지하면서 고른 하중분포를 갖기 위해 와이어로프의 장력 분포 간의 차이를 발생하는데 이것은 모멘트 방정식에 의해 수학적으로 풀이하여 정의할 수 있다. 수학적 풀이에 의해 정의된 와이어로프의 하중분포는 장치 봉 전체에 하중이 고르게 분포하도록 하며 수평을 유지하기 위한 와이어로프의 하중분포를 보여주고 있다. 이는 공연장 상부에 설치된 활차들에서도 이 하중의 비율대로 하중이 작용한다고 볼 수 있다.



[그림 1] 정의된 와이어로프의 하중분포

3. 결론

신규 기술개발하려는 장치 봉 이송시스템을 구현하게 될 경우, 우리나라에서는 기존 공연장이 가지고 있는 문제를 해결할 수 있는 제품군을 확보하게 됨으로써 일반생활문화에서부터 고급예술 활동에 이르기까지 다양하고 전문적인 공연 프로그램을 적용하여 공연을 실시할 수 있게 될 것으로 판단된다. 이를 기반으로 국외에서 전량 수입하고 있는 무대기계를 우리나라의 순수 기술로써 전량 대체 가능하고 동등 이상의 기술력을 확보할 수 있을 것으로 기대해 본다.

또한 체계적인 기술 프로세스를 접목하여 이를 생애주기 관점이 고려한 기본설계와 상세설계를 통해 장치 봉 이송시스템을 구현하고 시험평가를 통해 기능과 성능을 검증함으로써 우리나라의 무대기계 산업을 이끌어 갈 수 있는 연구의 방향성에 대한 초석이 되도록 노력하고자 한다.