

리프트 컬럼 배치설계가 탑승교 구조 강성에 미치는 영향에 대한 연구

나원현^{*†}, 구환준^{*}, 빈수열^{*}

* 현대로템

Study on the Effect of the Lift Column Layout Design on Structural Strength of the Passenger Boarding Bridge

Na Won Hyun^{*†}, Koo Hwan Jun^{*} and Bin Soo Yeol^{*}

* Hyundai Rotem Company

(Received August 12, 2015 ; Revised October 13, 2015 ; Accepted November 2, 2015)

Key Words: Passenger Boarding Bridge(탑승교), Lift Column(리프트 컬럼), Layout Design(배치설계), Structural Analysis(구조해석)

초록: 탑승교는 여객터미널청사에서 항공기 출입구 사이를 이어주는 이동통로를 탑승객에게 제공하는 공항 편의시설 중 하나다. 본 연구에서는 유한요소 해석법을 이용하여 탑승교 설계시 리프트 컬럼의 배치설계가 탑승교 구조물의 처짐 및 응력상태에 미치는 영향 비교 검토하였다. 그 결과 탑승교 터널 프레임의 중첩구간에서 최대응력이 발생함을 확인하였고, 리프트 컬럼 배치설계와 그 값의 크기가 매우 밀접한 관계를 갖고 있음을 확인하였다.

Abstract: The passenger boarding bridge which provides a safe and comfort passenger pathway between an airplane and airport terminal gate is one of the apron equipment. This study investigates the effect of the lift column layout design on structural strength of the passenger boarding bridge by using finite element method, comparing deflection and stress. The overlapped zone of the tunnel frame A and B occurred at the maximum stress. The results of this research show that the lift column layout design is closely the value of the maximum stress.

1. 서론

탑승교는 여객터미널청사에서 항공기 출입구 사이를 이어주는 이동통로를 탑승객에게 제공하는 공항 편의시설 중 하나다. 이러한 탑승교는 여객수요의 증가와 더불어 탑승객에게 보다 나은 서비스를 제공하기 위해 그 수요가 지속적으로 증가하는 추세에 있다.

일반적으로 탑승교의 기본설계 단계에서는 계류장 바닥에 매립 된 앙카볼트에 설치되는 로툰다 컬럼 상부에 마운팅되어 여객터미널청사와 탑승교 사이의 출입구 역할을 하는 로툰다를 기준점으로 탑승교가 설치될 탑승 게이트에 주기되는 항공기 등급 및 기종에 따라 해당 탑승교의 서비스 범위를 산출하고, 그 서비스 범위에 따라 탑승교 터널 프레임의 최대 확장 및 수축시의 전장 길이로 정의 되는 탑승교 모델길이를 선정하며, 로툰다 컬럼과 함께 탑승교 터널 프레임을 지지하는 한 축이 되는 리프트 컬럼의 배치설계를 수행하게 된다.

최근 탑승교 모델 선정 및 배치설계 시 탑승교가 설치될 게이트의 운영 편의성 및 미래 기종에 대한 확장성을 제고하기 위해 다양한 항공기 등급 및 기종에 대해 서비스가 가능하도록 선정하는 추세에 있

† Corresponding Author, nanims@hyundai-rotem.co.kr

으며, 이에 따라 탑승교의 전체 전장길이 또한 길어지고 있는 추세에 있다.

일반적인 탑승교에 대한 기존 연구에서는 탑승교가 설치 될 사이트의 외부환경 조건 및 설계요구 조건에 부합하는 성능구현을 위한 각 기계요소의 설계용량 평가가 기본설계 단계에서 높은 우선 순위를 두고 검토되고 있으나 전장 길이가 긴 탑승교 모델의 경우 그 길이가 짧은 모델에 비해 자중, 승객하중, 적설하중 및 풍하중 등으로 정의되는 설계하중이 증가하여 상대적으로 동일한 프레임 구조를 갖는 리프트 컬럼 및 터널 프레임에 미치는 영향력이 클 것으로 사료되며 이에 따라 기본설계 단계에서 리프트 컬럼의 배치설계에 대한 평가가 상기의 설계용량 평가 못지 않게 중요하게 검토되어야 할 것으로 보여진다.

따라서, 본 연구에서는 탑승교 구조물의 처짐 및 응력상태를 자세히 알 수 있는 수치적 해석 방법인 유한요소 해석법(FEM)을 이용하여 탑승교 설계 시 리프트 컬럼의 배치설계가 탑승교 구조에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

일반적인 2 터널 탑승교의 주요 구조는 Fig. 1 에 나타난 바와 같이 로툰다 컬럼, 로툰다, A/B 터널, 캐빈, 휠케리지 및 리프트 컬럼으로 구성된다. 통상적으로 캐빈 내부에 위치한 조작반의 지령에 의해 탑승교가 구동되며, 항공기 탑승구의 위치에 따라 터널 및 캐빈 회전, 터널 높이 상승/하강, 터널 전/후진 등의 운전이 가능하다.

본 연구에서는 Fig. 2 와 같이 최대 확장시 44.95 m, 수축시 27.75 m 의 전장 길이에 2 단 가동터널 구조를 갖는 탑승교를 구조해석 대상모델로 선정하여, 동일한 운전상태 및 설계하중조건에서 리프트 컬럼의 배치조건을 설계변수로 하고 이에 따른 탑승교의 처짐 및 응력상태를 비교하고자 한다.

일반적인 탑승교 구조 안전성 평가를 위해서는 자중, 승객하중, 적설하중 및 풍하중을 모두 포함한 설계하중이 고려되어야 하나 본 연구에서는 리프트 컬럼의 배치설계에 따른 파라미터스터디를 통해 그 배치설계가 탑승교 구조에 미치는 영향을 알고자 하는데 그 목적을 제한한다. 또한 기본설계 이후 상세설계 단계에서 배치설계의 결과물에 대해 상기의 모든 설계하중을 고려한 상세구조해석이 수행 되므로, 본 연구에서는 터널이 수평상태가 될 수 있도록 리프트 컬럼의 승강높이를 정의하고, 터널이 최대 확장된 조건으로 탑승교의 운전상태를 특정하고, 설계하중은 탑승교 구조물의 자중만을 고려하기로 한다.

Table 1 은 본 연구의 설계 변수가 되는 로툰다 컬럼에서 리프트 컬럼까지의 거리(L)에 대해 4 가지 리프트 컬럼 배치설계에 따른 L 값을 나타내고 있다. (Fig. 2 참조)

참고로 아래의 L 값은 B 터널의 수직부재 1 칸의 거리인 1,500 mm 단위로 32,000 mm 를 기준으로 캐빈쪽으로 두 칸 및 로툰다쪽으로 한 칸을 적용하여 선정하였다.

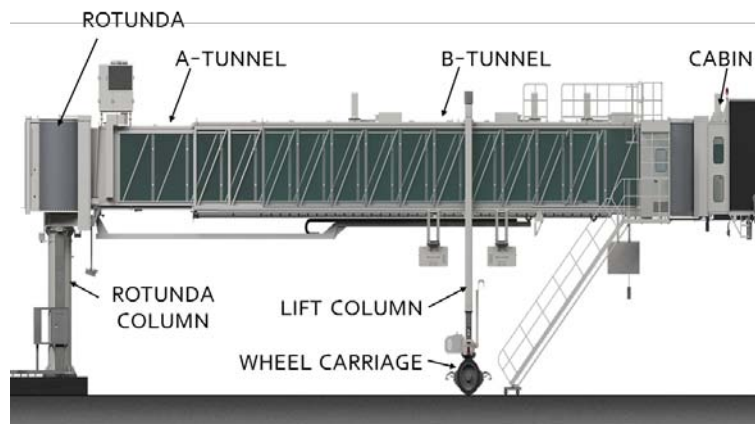


Fig. 1 Configuration for Passenger Boarding Bridge

Table 1 Definition of Lift Column Layout Design

Model no.	L (mm)	Position	Remarks
1	35,000	+2 space	
2	33,500	+1 space	
3	32,000	-	benchmark
4	30,500	-1 space	

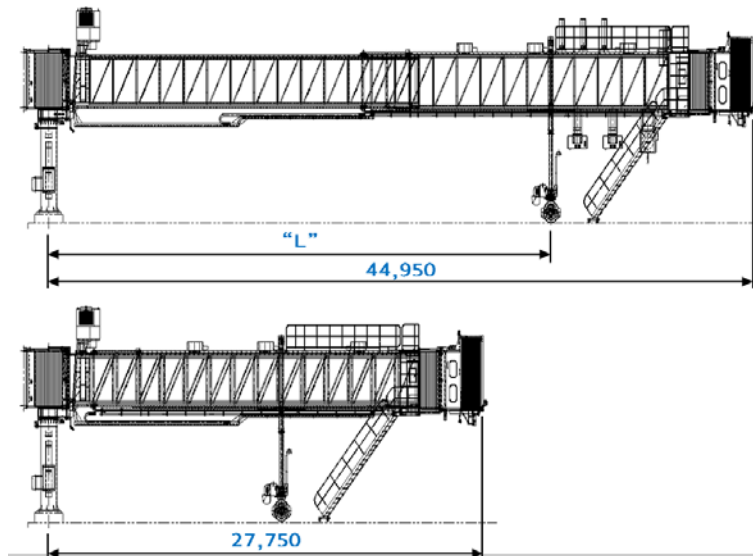


Fig. 2 Main dimensions and Parameter

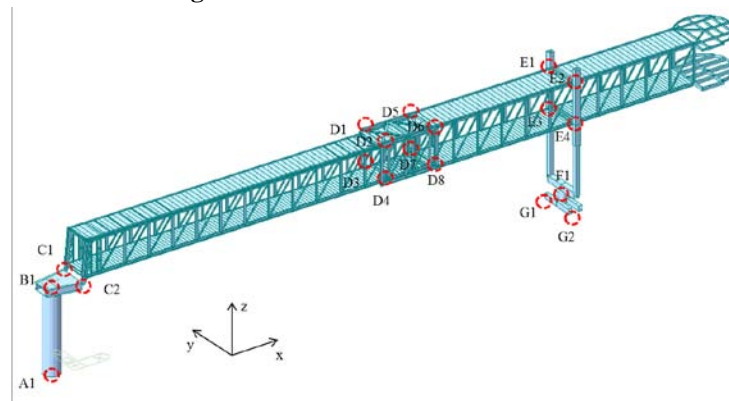


Fig. 3 Analysis Modeling

본 연구에서는 상용구조해석 툴인 MIDAS Gen (Ver. 835)을 이용한 구조 모델링 및 해석을 통해 리프트 컬럼의 배치설계 조건에 따른 해석모델 별 처짐 및 응력 분포를 비교 검토한다.

3. 유한요소 모델링

기본적으로 탑승교 구조물의 모든 요소를 빔 요소로 모델링 하였으며, 터널 프레임 길이방향의 상/하부 주거더(main girder)와 같이 복합단면 형상을 갖는 부재는 실험상을 충실히 반영하여 모델링 하였다.

해석모델의 각 기계 조인트별 자유도는 탑승교 구조물 단위 조립체 사이의 연결부의 기계구성과 운영 조건을 고려하여 Table 2 와 같이 해석모델에 반영 하였다. Fig. 3 은 각 조인트의 위치를 개략적으로 보여주고 있다.

Table 2 Degree of Freedom

Position	DX	DY	DZ	RX	RY	RZ	Remark
Ground - Rotunda Column	X	X	X	X	X	X	A1
R. Column - Rotunda Frame	X	X	X	X	X	O	B1
Rotunda Frame - A-Tunnel	X	X	X	X	O	X	C1~2
A-B Tunnel	X	X	X	X	O	X	D1,2,7,8
	O	X	O	O	O	O	D3~6
B-Tunnel - Lift Column	X	X	X	X	X	X	E1~4
Lift Column - Wheel Carriage	X	X	X	O	X	X	F1
Wheel Carriage - Ground	X	O	X	O	O	O	G1
	X	X	X	O	O	O	G2

* Fix = "X" / Free = "O"

Table 3 Maximum Stress

Model no.	Max Stress (MPa)	vs Model 3 (ratio)	Remarks
1	216.9	2.00	
2	165.2	1.52	
3	108.3	-	benchmark
4	101.6	0.94	

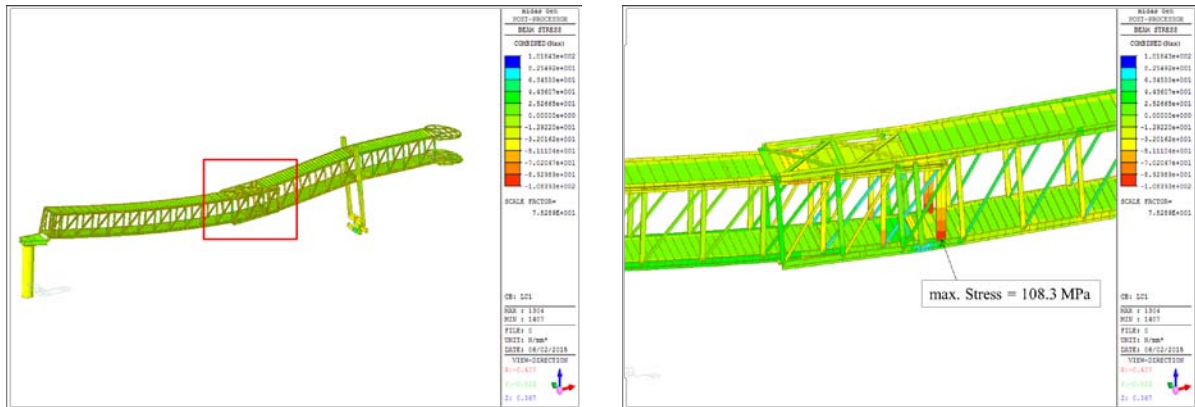


Fig. 4 Beam Stress in Model

4. 해석 결과

4.1 응력

탐승교 리프트 컬럼의 배치설계에 따른 최대응력은 4 가지 해석모델 모두 A 터널과 B 터널이 중첩되는 부위에서 발생했으며(Fig. 4 참조), 그 값을 다음 Table 3 에 나타내었다.

해석모델 3 번을 기준으로 로툰다 컬럼에서 리프트 컬럼까지의 거리를 다르게 한 나머지 해석모델과 발생된 최대응력 값을 비교해 본 결과 적게는 6%, 많게는 100% 이상 발생응력 값의 차이를 확인할 수

Table 4 Maximum Deflection

Model no.	Max Def (mm)	vs Model 3 (ratio)	Remarks
1	60.4	2.36	
2	42.5	1.66	
3	25.6	-	benchmark
4	22.4	0.88	

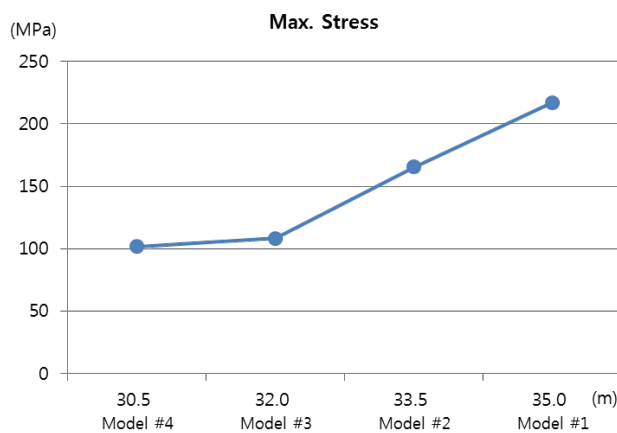


Fig. 5 Maximum Stress

있었다. 또한 해석모델 1~4 번에 대한 결과를 확인해보면 최대응력 값은 로툰다 컬럼에서 리프트 컬럼까지의 거리에 비례하여 증가함을 알 수 있다.

다음 Fig. 4 는 해석모델 3 번의 응력분포 및 각 모델별 최대응력을 그래프로 보여주고 있으며, 해석모델 1~4 번 모두 전반적으로 아래 그림에서 보여주는 결과 값과 유사한 응력수준과 응력분포를 보였으나, 배치설계에 따라 발생한 최대응력의 값이 급격하게 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

탑승교 터널을 로툰다 컬럼과 리프트 컬럼으로 양단지지 되는 단순보로 치환했을 때, 보의 최대굽힘모멘트 및 최대굽힘응력은 보의 길이에 비례하고, 그 최대굽힘모멘트가 보의 정중앙에서 발생되므로 최대굽힘응력이 양지지점의 중간지점에서 발생할 개연성이 높고, A-B 터널 중첩구간 사이의 조인트부에서 내부터널에 해당하는 A 터널이 외부에 위치한 B 터널으로부터 내리누르는 힘을 받아 두 터널의 중첩부의 A 터널 수직부재에서 최대응력이 발생 된 것으로 사료된다.

일반적으로 2 터널 탑승교 설계시, A-B 터널 텔레스코픽 운전을 하는 탑승교 운전특성을 고려하여 B 터널과 캐빈 조립체의 무게중심이 리프트 컬럼을 기준으로 로툰다 컬럼 사이드로 치우쳐도록 설계한다. 본 연구 모델 중 4 번 모델의 경우 B 터널의 무게중심이 리프트 컬럼 기준에서 캐빈 사이드로 치우쳐져 있으므로 발생응력 수준이 101.6 MPa 가장 낮음에도 불구하고, 최대응력 108.3 MPa 을 기록한 해석모델 3 번이 가장 적합한 배치설계로 보여진다.

4.2 처짐

탑승교 리프트 컬럼의 배치설계에 따른 최대처짐은 4 가지 해석모델 모두 A 터널과 B 터널이 중첩되는 부위에서 발생했으며(Fig. 5 참조), 그 값을 다음 Table 4 에 나타내었다.

다음 Fig. 5 는 해석모델 3 번의 처짐 및 각 모델별 최대 처짐을 그래프로 보여주고 있으며, 해석모델 1~4 번 모두 전반적으로 아래 그림에서 보여주는 결과와 유사한 형태의 변형을 보였으며, 그 값은 축간 거리가 길수록 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

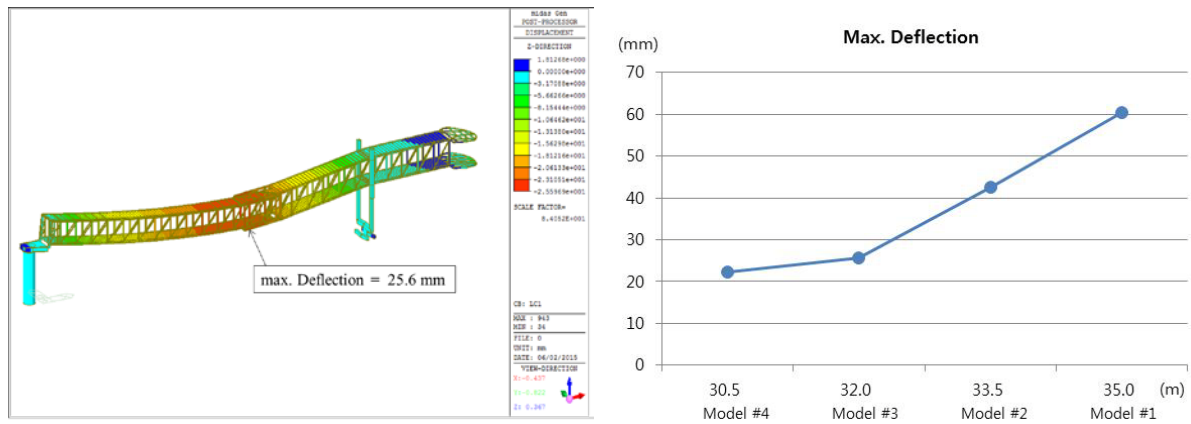


Fig. 6 Beam Deflection in Model 3 & Maximum Deflection

5. 결론

탐승교 리프트 컬럼의 배치설계가 탐승교 구조에 미치는 영향을 비교, 분석하기 위해 상용 구조해석 툴인 MIDAS Gen 을 사용하여 4 가지 해석 케이스에 대한 구조해석을 통해 처짐 및 응력 분포를 검토하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 구조해석을 수행 결과 최대응력은 4 가지 해석모델 모두 A 터널과 B 터널이 중첩되는 부위에서 발생 했다.
- 2) 해석모델 1~4 번에 대한 결과로 최대응력 값은 로툰다 컬럼에서 리프트 컬럼까지의 거리에 비례하여 증가함을 알 수 있다.
- 3) 해석모델의 최대처짐 또한 4 가지 해석모델 모두 A 터널과 B 터널이 중첩되는 부위에서 발생 했다.
- 4) 처짐량은 축간 거리가 길수록 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.
- 5) 본 연구를 통해 탐승교 리프트 컬럼의 배치설계가 터널 프레임에 발생하는 처짐량 뿐만 아니라 그위치에 따라 최대응력 값이 급격하게 변하는 것을 확인 할 수 있었다.
- 6) 리프트 컬럼을 기준으로 B 터널과 캐빈 조립체의 무게중심 위치를 고려할 경우 해석모델 3 번이 구조적으로 가장 유리한 배치 설계로 사료 된다.

본 연구에서는 리프트 컬럼 배치설계에 따른 파라미터스터디를 통해 그 배치설계가 탐승교 구조에 미치는 영향에 대해 검토 하였으며, 그 결과 리프트 컬럼 배치설계와 그때의 최대응력 및 처짐의 크기가 매우 밀접한 관계를 갖고 있음을 확인 하였다. 이러한 파라미터스터디를 통해 본 탐승교 모델의 경우 로툰다 컬럼과 리프트 컬럼 사이 축간 거리 L 값에 대해 설계값으로 32.0 m 를 선정하여 상세설계치로 최종 적용하였다

향후 탐승교 최대 확장시의 전장길이를 정의되는 다양한 모델의 탐승교에 대해 본 스터디와 같은 과정을 반복 적용하여 탐승교 길이별 최적의 리프트 컬럼 배치설계에 대한 기준을 정립한다면 탐승교 기본설계 단계에서 상당한 설계리드타임 단축의 효과를 기대 할 수 있을 것으로 보여진다.

참고문헌 (References)

- (1) Lee, K. H., Koo, H. J., Na, W. H. and Lee, E. S., 2013. 12, "Study of Load Characteristics on Structural Strength of Passenger Boarding Bridge," *Conference of KSME*, pp. 3571~3575.
- (2) Chae, S. H. and Jung, S. I., 2005, "A Study on Safety of Air Bridge by Using ANSYS," *Journal of KSMS*, Vol. 7 no. 1, pp. 45~56.