

## Panel heating을 적용한 철골조 건물의 합성데크 진동조건 설정에 관한 연구

### A study on the establishment of vibration conditions of a composite deck floor with panel heating systems for a steel structure

박진영\*, 김희철\*\*  
Jin-young Park, Hee-Cheul Kim

#### **ABSTRACT**

One of the major differences of Korean residential building compared with other countries is a rigid diaphragm of a floor due to the panel heating system. An increment of a gravity floor load might cause vibration problem when the composite floor system is introduced to the panel heating system. Since the noise criteria of a residential building is lower than that of an office building, the development of a noise absorbing system should be preceded.

The response evaluation was performed for the finished floor, that is with panel heating and noise absorbing system. The natural frequency was obtained both from an experimental study and an analytical study. An appropriate vibration condition of a floor with panel heating and noise absorbing systems was evaluated from this study.

#### **1. 서론**

합성데크를 사용한 바닥판 구조는 시공의 용이성, 공기단축 및 이에 따른 공사비 절감 등의 장점을 지닌 바닥구조로서 사용이 확대되고 있다. 대부분의 합성데크가 철골조 건물에 사용되고 있으며 사무실 용도의 건물이 주를 이루고 있는 실정이다.

한국에서는 신축되고 있는 공동주택의 형태가 고층화되고 있는 추세이며 철근콘크리트가 큰 비중을 차지하고 있다. 고층 건물의 시공 시 철근콘크리트의 사용은 철골에 비해 시공성이 떨어질 뿐만 아니라 경제적인 면에서도 비효율적이다. 또한 다양한 평면을 요구하는 거주자들의 요구에 따라 건식벽체를 적용하는 건물들이 등장하고 있다.

한국의 주거특성중의 하나는 Panel heating을 사용한 바닥 마감을 사용하는 것이다. 이러한 마감재는 합성 바닥판을 사용할 경우에 바닥판의 자중을 증가시켜 진동에 취약한 조건을 만들 수 있다. 또한 공동 주택의 경우 소음에 대한 기준이 사무실 용도의 건물보다 낮기 때문에 건식벽체에 사용될 차음재 및 층간 소음에 대한 차음재에 대한 개발이 선행되어야 한다.

바닥판의 진동에 영향을 미치는 인자들은 콘크리트 강도, 보단면, 슬래브 두께, 스펠비 등이 있으며 인자들의 특성에 따라 바닥판의 고유진동수가 달라진다. 바닥판의 사용성에 대한 평가는 고유진동수의 분석으로 이루어지며 정확한 분석을 위해 마감을 하지 않은 경우와 바닥 마감을 한 경우에 대해 각각 실험을 하고 전산해석을 수행한다. 각 영향인자들 사이에는 서로 영향을 미치지 않는 독립적인 인자들이 있고 서로 영향을 미치는 인자들도 있다. 따라서 서로

\* 경희대학교 건축공학과 박사과정

\*\* 경희대학교 건축공학과 부교수

영향을 미치지 않는 요소들을 선택하여 분석을 실시한다. 즉, 슬래브 두께가 일정한 경우 스펠에 따른 변화와 스펠이 일정한 경우 슬래브 두께에 대한 변화, 데크의 단면성능에 의한 조건변화 등에 대해 분석을 한다.

이러한 요구사항에 따라 개발된 차음재를 적용하여 실험 및 전산해석을 한 후 각 조건에 따른 고유진동수를 추출하고 보행하중에 대한 바닥판의 거동 평가를 실시한다. 본 연구의 목적은 이러한 실험과 전산해석을 통해 기준에 적합한 바닥판의 조건을 선정하는 것이다.

## 2. 진동에 영향을 미치는 인자 도출 및 바닥판의 진동저감 방안

데크 바닥판의 진동에 영향을 미치는 인자로는 슬래브의 연속조건, 보의 강성, 슬래브의 폭과 길이 및 콘크리트의 강도를 비롯한 많은 요소가 있다. 여기서 큰 영향을 주는 인자로는 슬래브의 연속조건과 슬래브의 폭과 길이이다. 바닥판에 가해지는 사용하중에 의해서도 감쇠비가 차이가 날 뿐만 아니라, 고유진동수의 1차 모드에서 하중에 따라 변화가 있다.

바닥판의 진동 감쇠를 조절하기 위한 방법은 동조질량 감쇠기 (TMD), 방진재 그리고 바닥판의 질량, 강성, 경계조건을 조절 등이 있다. 동조질량 감쇠기를 사용한 방법은 바닥판의 진동 제어에 사용될 수는 있지만 대상 영역이 대량 생산을 하는 주거용 건물에 사용되는 바닥판이므로 경제적이지 못하다. 진동 제어를 위한 방법 중에 방진재를 사용한 방법이 있는데 일반적으로 생산되는 방진재는 기계적인 진동과 같은 비교적 고주파의 진동을 감쇠시키기 위한 제품들이 대부분이다. 주거용 건물의 바닥판인 경우 발생할 수 있는 진동 인자는 보행에 의한 진동이나 가전 제품에 의한 진동이 거의 대부분을 차지하고 있다. 방진재를 사용해야 할 만큼 고주파를 가진 중량의 진동원이 존재하지 않으므로 경제성이나 시공성 등의 문제를 고려했을 때 방진재나 동조 질량 감쇠기의 사용은 타당하지 않은 것으로 판단된다. 또한 방진재를 온돌과 데크 사이에 설치한 경우에는 콘크리트 표면과 일체

거동이 문제가 될 것이다. 변위진폭이 크게 일어나거나 반복적인 동적하중이 가해질 경우 방진재의 부착면에 손상이 올 가능성도 있다.

바닥판의 진동에 있어서 가장 큰 문제는 공진이다. 고주파에 대해서는 vibration absorber로 해결하지만 저주파의 경우에는 주파수 변조를 위한 가장 효율적인 방법을 찾아야 할 것이다.

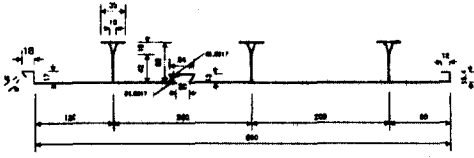
온돌을 강성이 없는 것으로 가정하면 고정하중의 증가로 고유진동수의 감소가 크게 일어날 가능성이 있다. 보행에 의해 발생하는 주파수 대역은 1.5HZ에서 4HZ까지로 매우 낮은 값을 가지므로 만약 온돌의 강성이 확보되지 않아서 바닥판의 고유주기가 9HZ 이하로 낮아지게 되면 보행에 의한 공진현상이 일어날 가능성이 있다.(T.M.MURRAY)

진동저감의 가장 합리적인 접근 방법은 다른 재료를 사용하지 않고 구조물의 여러 가지 조건을 이용하여 사용성 기준에 만족하도록 설계 한 계치를 정해주는 것이다.

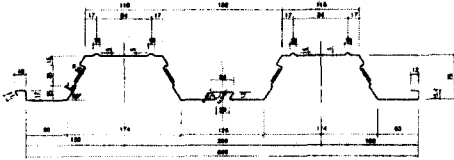
바닥판의 구조적인 조건으로는 바닥판의 연속조건, 데크 플레이트의 크기, 슬래브의 스펠, 바닥판을 지지하고 있는 프레임의 강성, 바닥판의 강성, 바닥판의 자중 등이 있다. 이러한 조건들 중에 기존에 시공된 KEM-Deck에 대해 측정을 실시하고 전산해석을 한 결과 진동에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 바닥판의 연속조건과 바닥판의 크기로 나타났다.

제안된 데크에 대해 가장 영향을 많이 주는 인자 중에 데크 플레이트의 크기와 슬래브의 스펠을 변수로 주어 고유진동수를 구하였다.

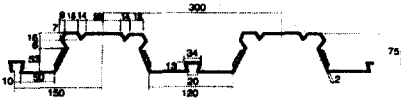
측정된 데이터에 따르면 10HZ 이하의 고유진동수를 가지는 공진 현상이 일어날 가능성이 있는 슬래브가 있다. 공동주택에서 사용하는 마감하중을 고려하게 되면 더 낮은 고유진동수를 가지게 되어 보행(Heel drop)시나 달리는 경우, 제자리에서 뛰는 경우에 공진 현상을 일으킬 가능성이 더 커지게 되고 사용성에 대해서도 문제가 있을 것이다. 또한 하중 증가로 인해 감쇠비가 떨어지면 거주자들에게 상당한 불편감을 줄 수가 있다.



<그림 3.1> A DECK 75의 단면형상 및 치수



<그림 3.2> B DECK 75의 단면형상 및 치수



<그림 3.3> C DECK 75의 단면형상 및 치수

### 3. 기존 합성데크의 진동측정

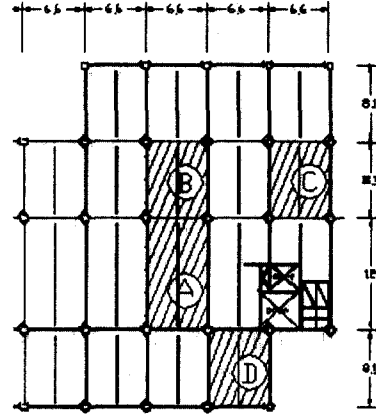
기존 건물의 자유진동 실험을 통하여 데크 플레이트를 사용한 합성슬래브의 고유진동수를 살펴보면 슬래브의 장변 방향 길이에 따라 고유진동수의 변화가 큰 것을 알 수 있었다.

건물의 내부에 위치한 슬래브보다 외부에 면한 슬래브의 고유진동수가 낮은 값을 나타냈고 단변 방향이 불연속인 경우가 장변 방향이 불연속인 경우보다 고유진동수 감소가 크게 나타났다. 이러한 측정결과는 슬래브의 불연속단의 위치에 따라 고유진동수 변화가 다르게 나타나는 것을 보여준다.

#### 3.1 MODEL 1.

그림 3.4는 해석 대상 건물의 평면도이다. 네

가지 슬래브 모두 C DECK 75-1.2t 이며 Topping은 90mm로 시공되었으며 사무실 용도의 건물이다.



<그림 3.4> 해석대상 슬래브의 평면

<표 3.1> MODEL 1의 측정결과와 고유치 해석결과

슬래브 종류	실측치(HZ)	해석치(HZ)
A	10.533	10.4270
B	15.652	16.8854
C	15.368	16.4351
D	14.698	15.2832

<표 3.2> MODEL 1에 사용된 부재 및 슬래브 크기

슬래브	부재의 종류		슬래브 크기 (m)
	거더	보	
A	H-506X201X11/19	H-506X201X11/19	12X6.6
	H-506X201X11/19	H-506X201X11/19	
B	H-500X200X10/16	H-506X201X11/19	8.1X6.6
	H-506X201X11/19	H-500X200X10/16	
C	H-500X200X10/16	H-506X201X11/19	8.1X6.6
	H-506X201X11/19	H-500X200X10/16	
D	H-500X200X10/16	H-506X201X11/19	8.1X6.6
	H-506X201X11/19	H-500X200X10/16	

### 3.2 MODEL 2.

측정을 실시한 구조물은 서울에서 공사가 진행되고 있는 H생명 사옥 신축공사 현장과 S주식회사 사옥 증축현장이다. 용도는 업무용이며 철골철근 콘크리트 구조물이다. 바닥구조는 국내에서 개발되어 시공되고 있는 C DECK-75 합성데크 플레이트를 사용하였으며 콘크리트의 토폰은 80mm이고 와이어 메쉬는  $\phi 6-100 \times 100$  mm로 동일하게 시공되었다. 측정 바닥판의 경계조건 및 측정지점은 표 3.4와 같다.

<표 3.3> MODEL 2.의 측정결과와 고유치 해석결과

	실측치(HZ)	해석치(HZ)
CASE1	18.03	18.539
CASE2	8.890	8.926
CASE3	8.417	7.869
CASE4	8.175	7.869
CASE5	10.608	10.653
CASE6	10.542	10.653

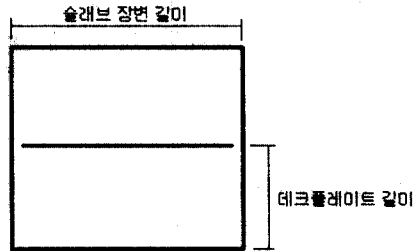
### 4. 저감 방안에 따른 해석

진동에 대한 사용성 평가를 위한 가장 일반적인 방법은 바닥판의 1차모드의 진동수를 평가하는 것이다. 따라서 일정한 바닥판의 조건을 사용하여 생산되는 데크에 따라 고유진동수 값을 해

석하였다. 전산 해석에 사용된 소프트웨어는 GT-STRU DL이며 적용한 모든 데크에 대해 같은 단부조건을 적용하였다. 단부 조건은 기존 건물에 설치된 합성데크 바닥판을 측정된 결과를 토대로 설정되었다. 70mm와 90mm Topping을 한 것으로 가정하여 해석을 실시하였으며 고정하중은 H건설에서 제시한 하중을 사용하였다.

<표 4.1> 적용하중

고름물탈	24mm	50kg/m <sup>2</sup>
자갈 및 온돌파이프	36mm	65kg/m <sup>2</sup>
경량기포 콘크리트	60mm	85kg/m <sup>2</sup>
천정		10kg/m <sup>2</sup>
$\Sigma$		210kg/m <sup>2</sup>



<그림 4.1> 해석 모델

<표 3.4> 측정슬래브의 재원 및 측정지점

형태와 지지조건		형태와 지지조건	
1		3	
2		4	

#### 4.1 A Deck 고유진동수 해석결과

Topping 콘크리트가 90mm일 때 해석 결과를 보면 Deck의 길이가 3.3m일 때 장변 길이를 6m까지 쓸 수 있고 3.0m인 경우는 7m까지 쓸 수 있다. 국내 기준인 15Hz를 만족하는 범위로 확대하려면 단부 조건이 개선되어야 한다. 아래의 해석결과는 단부 조건을 pin으로 가정하고 전산 해석을 수행한 결과이다. 고유진동수를 좌우하는 변수는 강성과 질량이다. Deck 자체의 단면 성능을 증가시키는 것은 어려운 점이 있으므로 단부 조건을 현재의 단순 지지에서 슬래브의 연속성을 고려할 수 있는 형상으로 개선이 되어야 한다. 슬래브가 연속조건이 되면 6~10%의 개선효과를 얻을 수 있기 때문에 Deck의 길이가 3.3일 때 스패를 7m까지 사용할 수 있을 것이다.

Topping 콘크리트가 75mm일 때 해석 결과를 보면 Deck의 길이가 3.0m일 때 스패를 6m까지 쓸 수 있고 3.3m인 경우는 고유진동수 해석결과로 볼 때 6m이하가 되어야 한다.

<표 4.2> A Deck의 환산한 재료 특성값  
( $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ )

Topping	Conc 환산 Thk.	Density
90mm	12.840cm	0.4036
70mm	11.116cm	0.4289

<표 4.3> A Deck 고유진동수 해석결과

3.3m의 데크를 사용한 경우				
Topping	2SPAN (6x6.6)	2SPAN (7x6.6)	2SPAN (8x6.6)	2SPAN (9x6.6)
90mm	16.12HZ	14.22HZ	11.93HZ	10.15HZ
70mm	13.54HZ	11.96HZ	10.04HZ	8.55HZ
3.0m의 데크를 사용한 경우				
Topping	2SPAN (6x6.0)	2SPAN (7x6.0)	2SPAN (8x6.0)	2SPAN (9x6.0)
90mm	18.5HZ	15.21HZ	12.68HZ	10.80HZ
70mm	15.56HZ	12.80HZ	10.67HZ	9.09HZ

#### 4.2 B Deck 고유진동수 해석결과

B Deck는 내화 구조용 합성 데크로서 냉간 압연을 통해 생산된 제품이다. 국내에는 다양한 단면으로 생산되고 있으며 일반적으로 쓰이고 있는 합성데크이다. B Deck는 플레이트 두께 1.2mm를 기준으로 70mm와 90mm Topping을 한 것으로 가정하여 해석을 실시하였다.

<표 4.4> B Deck의 환산한 재료 특성값  
( $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ )

Topping	Conc 환산 Thk.	Density
90mm	15.12cm	0.00379
70mm	13.42cm	0.00374

<표 4.5> B Deck 고유진동수 해석결과

3.3m의 데크를 사용한 경우				
Topping	2SPAN (6x6.6)	2SPAN (7x6.6)	2SPAN (8x6.6)	2SPAN (9x6.6)
90mm	19.60HZ	17.22HZ	14.44HZ	12.30HZ
70mm	17.51HZ	15.43HZ	12.95HZ	11.02HZ
3.0m의 데크를 사용한 경우				
Topping	2SPAN (6x6.0)	2SPAN (7x6.0)	2SPAN (8x6.0)	2SPAN (9x6.0)
90mm	22.43HZ	18.42HZ	15.35HZ	13.06HZ
70mm	20.07HZ	16.50HZ	13.76HZ	11.71HZ

#### 4.3 C Deck 고유진동수 해석결과

C Deck도 내화 구조용 합성 데크로서 아연도 강판을 사용한 냉간 압연 제품이다. 이 제품도 B Deck와 유사한 단면을 가지고 있으며 많은 시공사례를 가지고 있다. C Deck는 플레이트 두께 1.2mm를 기준으로 70mm와 90mm Topping을 한 것으로 가정하여 해석을 실시하였다.

<표 4.6> C Deck의 환산한 재료 특성값  
( $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ )

Topping	Conc 환산 Thk.	Density
90mm	16.48cm	0.003674
70mm	14.60cm	0.00384

<표 4.7> C Deck 고유진동수 해석결과

3.3m의 데크를 사용한 경우				
Topping	2SPAN (6x6.6)	2SPAN (7x6.6)	2SPAN (8x6.6)	2SPAN (9x6.6)
90mm	21.69HZ	19.01HZ	15.94HZ	13.55HZ
70mm	19.04HZ	16.75HZ	14.05HZ	11.96HZ
3.0m의 데크를 사용한 경우				
Topping	2SPAN (6x6.0)	2SPAN (7x6.0)	2SPAN (8x6.0)	2SPAN (9x6.0)
90mm	24.77HZ	20.32HZ	16.93HZ	14.40HZ
70mm	21.81HZ	17.91HZ	14.93HZ	12.71HZ

5. 결론

전산 해석 결과를 보면 실제적인 값 보다 부분적으로 저평가된 결과를 보이고 있지만 Form 데크인 A Deck는 장변 방향 길이 6m까지 사용성 기준에 만족하고 있으며 합성 데크인 B와 데크는 부분적으로 8m까지 사용이 가능한 것으로 평가되었다. 구조용 데크가 아닌 A 데크는 합성 데크에 비해 단면 성능이 낮으므로 구조물 자체의 강성 확보가 어려운 점이 있다. 그러나 건식 벽체에 사용될 경우 부가적인 차음재의 설치 필요하지 않으므로 골형 합성데크에 비해 유리한 것으로 판단된다.

본 연구는 합성데크의 허용 진동 조건 설정을 위한 과제 의 일부이며 현재 각 데크에 대한 실험이 진행 중에 있다. 진행되고 있는 실험은 마감재를 설치한 경우와 설치하지 않은 경우에 대해 시험체를 제작 중에 있다. 실험 결과는 정확한 전산해석을 위한 자료로 쓰이게 되고 은 돌출 시공에 의한 데크의 거동 특성 변화에 대해 분석하게 된다.

실험에 의해 얻어진 단면 성능과 단부조건 설정에 대한 기초 자료를 바탕으로 각 데크에 대한 은돌출 마감 후의 동적 거동 특성을 파악하게 된다. 또한 허용 진동표를 작성하고 은돌출 마감 시에 설계에 적용할 수 있는 기준을 마련하게 된다.

본 연구 결과의 일부는 포항산업과학연구원의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 이정배 외, "보행에 의한 슬래브진동의 사용성 평가에 관한 연구", 대한건축학회학술발표논문집, 제15권, 제1호, 1995, pp.387~390.
- 최동섭 외, "합성데크플레이트 슬래브의 수직 진동에 대한 사용성 평가", 대한건축학회학술발표 논문집, 제17권, 제2호, 1997, pp.995~1000.
- Hugo Bachmann, Walter Ammann(1987) "Vibrations in Structures - Induced by Man and Machines" ,IABSE -AIPC -IVBH ,pp13-42.
- Allen,D.E.,Murray,T.M,"Design Criterion for Vibration Due to Walking" ,AISC Engineering Journal 4th,1993,pp.117~129.
- Murray,T.M,"Acceptability Criterion for Occupant-Induced Floor Vibrations,"AISC Engineering Journal,1981,pp62~72.
- Schuster,R.M., "Composite Stee-Deck Concrete Floor Systems", Structural Division, 1976, pp.899~917.
- Wiss J.F., Parmelee,R.A,"Hunam Perception of Transient Vibration,"Structural Division, 1974 , pp.773~787.
- Paz, Mario., Structural Dynamics, Van Nostrand Reinhold ,1991
- Smith,J.W.,Vibration of Structures, Chapman and Hall. 1988