

슬림 합성보 바닥시스템의 사용성 평가

Serviceability Evaluation of Slim Composite Floor System

은 희 창*

Eun, Hee-Chang

Abstract

Slim floor construction is becoming used throughout many countries. It combines the advantages of flat slab construction with significant inherent resistance to fire. The slim floor system with web openings leads to the reduction of its self-weight. Although the system has enough strength and stiffness, it is necessary to evaluate and improve the effects of dynamic vibration to be able to annoy the residents. Thus, this study evaluates the serviceability of vibration effects based on the dynamic test of five slim composite beams. Based on the experimental results, the initial stiffness and natural frequency of all specimens exhibit the similar trend regardless of the opening and the shape of cross section. The decrease in natural frequency is deeply related to the reduction in the stiffness of specimens and thus, it can be concluded that the damage of slim composite floor can be detected by the measurement of natural frequency instead of the load-carrying capacity and the stiffness.

키워드 : 슬림 합성보, 진동, 사용성, 진동수, 유공보

Keywords : slim composite beam, vibration, serviceability, frequency, web opening

1. 서 론

슬림 바닥판 시공법은 스칸디나비아 반도의 국가들이 여러 해 동안 사용하였으나, 현재는 유럽 전역으로 확대되고 있다. 슬림 플로어는 플랫 슬래브 시공과 내화성능의 개선이라는 장점들이 복합되었다. 이 시스템은 바닥판의 부하면적이나 데크 플레이트와 이를 지지하는 강재보로 이루어져 있다. 이 방법은 거주용이나 사무용 건물에 활용될 수 있다. 슬림 플로어 보의 형태는 작용하중, 소요경간 그리고 탑핑 콘크리트의 두께 등에 영향을 받는다.

초고층 건축물에서 경량화 추세는 층고절감의 노력으로 이어지고 있다. 일반적으로 강재보 또는 합성보의 경우에 층고를 낮추기 위하여 웹에 유공을 설치하고 이를 설비공간으로 사용하고 있으나 설비시설의 시공으로 내화피복 부분에 손상이 발생할 우려가 있다. 이러한 복합적인 문제의 해결방안으로 우수한 내화성능, 층고절감 등의 장점을 가지고 있는 슬림 바닥판 시스템의 사용은 초고층 건축물의 실효성을 높일 수 있다. 그러나 자중의

감소로 슬림 바닥판의 진동수는 증가하고 감쇠비는 감소하여 사용자들에게 불쾌감 혹은 불안감을 줄 수 있는 바닥판 진동에 문제가 나타날 수 있다.

바닥판의 설계는 충분한 강도를 확보하는 외에 사용성에 대한 기준을 충족하여야 한다. 바닥판의 자중 감소나 경간의 길이가 길어짐에 따라 바닥판의 진동은 설계의 주요 관심영역이 되었다. 콘크리트와 강구조에 의한 합성구조의 바닥판 시스템 설계에서 종종 진동 특성이 강도보다 중요시 되는 경우가 있다. 특히 민감한 장비를 지지하는 실험실의 바닥판의 경우를 예로 들 수 있다.

그러나 국내의 경우에 사용성 평가에는 정적인 결과인 처짐, 균열 등에 국한되며, 진동에 대한 평가는 고려되고 있지 않다. 아파트 재건축에 대한 사회적인 우려로 인하여 리모델링 사업의 경우에도 바닥판의 진동에 대한 영향을 평가하고 그 보강에 대한 대처 방안을 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 일반 합성보와 슬림 합성보에 대한 바닥판의 동적 특성에 근거한 진동특성을 비교 평가하여 슬림 합성보의 사용성 평가 기준의 기초자료를 제공하며, 구조물의 손상감지 및 건전도 모니터링에 의한 구조물의 물성치를 평가하는 초보적인 기술로부터 슬림 합성보 바닥판의 유지관리를 위한 손상검증시스템의 도입을 위한 기초자료를 제공하게 된다.

* 주저자, 강원대학교 건축학부 교수
(heechang@kangwon.ac.kr)

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(KRF-2006-521-D00542).

표 1. 기존 연구의 요약

연구자	년도	내용
Lenzen	1966	기계류는 바닥판으로부터 독립되어 설치되므로 바닥판은 기계류에 의해 발휘되는 정상상태의 진동에 영향을 받지 않는다. 감쇠가 충분할 경우에 진동 응답은 5사이클 이내에 무시할 수 있는 양으로 감소됨을 보였다.
Hanes	1970	비행기와 자동차 탑승자의 안락함에 대한 연구에서 인간의 내장의 진동수가 5-8Hz 내에 있음을 보고하였다.
Allen, Swallow	1975	구조물의 진동을 감소시키는 방법으로 간막이벽의 설치를 통하여 감쇠를 증가시키는 것을 언급하였다.
Murray	1979	강제 보 혹은 강제 장선과 콘크리트 슬래브 바닥판에 대한 진동수를 90개 이상의 현장 실험을 통하여 다음과 같은 식을 제시하였다. 이 식을 충족하였을 경우에 거주자에게 불쾌함을 주지 않을 것으로 판단하였다. $D > 35A_0 f + 2.5$, 여기서 D 는 감쇠비, A_0 는 뒷꿈치 충격(heel-drop excitation)에 의한 바닥판의 최대 초기 변위를, f 는 바닥판의 최초 진동수를 나타낸다.
Murray	1981	100개 이상의 바닥판 진동수 평가를 근거로 바닥판의 진동수가 5-8Hz 내에 있음을 관찰하였다. 바닥판의 진동이 심할 경우에 그 바닥판 하부에 독립적으로 설치된 골조에 간막이벽과 천장을 설치하기를 권하였다.
Allen, Rainer, Pernica	1985	거의 조화진동하중을 받는 댄스장의 최소의 바닥판 진동수를 제시하였다. $f_0 \geq f \sqrt{1 + \frac{1.3\alpha\omega_p}{(a_0/g)\omega_t}}$, 여기서 f_0 는 외력의 진동수(hz), α 는 동하중 계수, a_0/g 는 가속도 한계, ω_p 는 참석자들에 의한 등분포하중을, ω_t 는 참석자들을 포함한 바닥판의 전체 하중을 나타낸다.
Ohlsson	1988	바닥판의 중앙에 1.5 kN의 집중하중에 의한 처짐이 1.5mm 이내로, 다음 식으로 계산된 진동수가 8Hz 이상이 되도록 제안하였다. $f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D_x}{gL^4} \sqrt{1 + \left[2n^2\left(\frac{L}{B}\right)^2 + n^4\left(\frac{L}{B}\right)^4\right] \frac{D_x}{D_y}}} \text{ (Hz)}$ D_x, D_y : x 와 y 방향의 슬래브 강성, B : 바닥판의 폭, n : 모드 번호(기본 진동수에 대해서는 1) D_y/D_x 가 0.01 보다 작을 경우에 진동수는 다음으로 계산된다. $f_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D_x}{mL^4}} \text{ (Hz)}, \quad m: \text{바닥판의 단위 질량}$ 단위 질량이 150 kg/m ³ 보다 크면 감쇠비는 0.8%을 제안하였다.
Allen	1990	댄스장이나 체력단련장을 지지하는 바닥판에 대해 2-7%g의 가속도 한계를 제안하였다. 또한, 최소의 바닥판 진동수를 다음과 같이 제안하였다. $f_0 \geq if \sqrt{1 + \frac{2\alpha_i\omega_p}{(a_0/g)\omega_t}}$, 여기서 i 는 외력 진동수의 조화수를 나타낸다.
Johnson	1994	단순보 혹은 장선의 기본 진동수 산정을 위해 다음의 식을 제안하였다. $f = 157 \sqrt{\frac{gEI}{\omega L^4}} \text{ (Hz)}$
AISC	1997	Design Guide 11, Floor Vibrations Due to Human Activity를 규정
한상환, 김도훈	2003	진동대 실험을 실시하여 진동에 대한 인지곡선을 제안하고 외국에서 제안된 인지실험 결과들과 비교를 수행하였다.
이성수, 홍갑표	2004	26개의 바닥판에 대한 진동수를 측정하고 기존 연구자의 추정식과 비교하여 보다 향상된 보정진동수식을 제안하였다.
이성수	2005	국내외 구조기준과 구조설계지침서로부터 4가지 유형의 진동응답 계산식, 구조해석에 의한 진동응답, 그리고 실험을 통한 결과를 비교분석하였다.

2. 기존의 연구 분석

철근콘크리트의 바닥판에 대한 진동 특성을 규명하는 많은 연구들이 있어 왔으나, 합성구조에 대한 연구는 미미한 것으로 나타났다. 표 1은 바닥판의 진동에 대한 기존 연구나 기준들을 요약하였다.

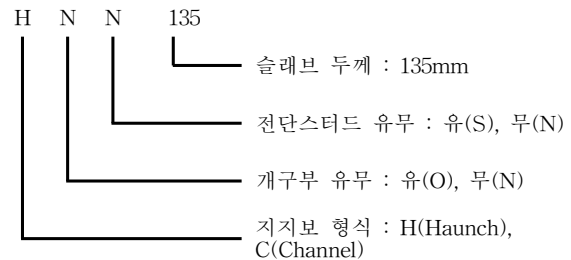
3. 실험

3.1 실험체 설계 및 장치

본 연구에서는 반슬림 플로어 시스템을 적용한 합성보의 휨거동을 평가하기 위한 주요 실험 변수로 슬래브 지지보의 구조형식, 슬래브 두께, 개구부의 설치 여부, 전단연결재의 유무로 계획되었다. 그리고 3-D10과 $\phi 6$ 을 각각 150mm과 300mm 간격으로 슬래브 상부에 배근하도록 되어 있으므로 상부철근을 실험체 전체 길이에 연속적으로 배근하였다. 실험체 슬래브의 유효폭(B_e)은 400mm이며 전체길이(L)는 3,000mm으로 계획하였다.

표 2. 실험체 일람

실험체명	폭 (mm)	슬래브 두께 (mm)	스팬 (mm)	전단연결재	개구부 설치	지지보 형식
N01 HON135(Z형)	400	135	3,000	무	유	Haunch
N02 HNN135(Z형)				무	무	
N03 HNS135(Z형)				유	무	
N04 CNS135(S형)				유	무	channel
N05 COS135(S형)				유	유	



실험체는 일반단순보의 형태로 단부를 회전단으로 형성하기 위하여 양단 강제보 하부에 힌지를 두어 회전단으로 거동할 수 있도록 설계하였다. 기본 강제보(H-211×300(100)×10×16)는 Asymmetry Slim Floor Beam의 형태로 기본형강의 상부 플랜지를 100mm씩 절단하여 사용하였다(그림 1). 그리고 보와 슬래브의 지점 연결부를 현치형(10mm 플레이트를 절곡)으로 지지(그림 2(a),(b),(c)), 채널형(c-75×40×5×7(상), 강제보와 콘크리트와의 합성효과 증진을 위하여 현치형에선 $\phi 9$ 전단스터드 c-100×50×5×7.5(하))으로 지지(그림 2(d),(e))하여 콘크리트를 충전하여 사용하였다. 이 때 현치형은 10mm 플레이트를 80°로 절곡하여 현치효과를 재현하였고, 채널형은 상·하부를 엇배치하여 c-형으로 재현하였다.

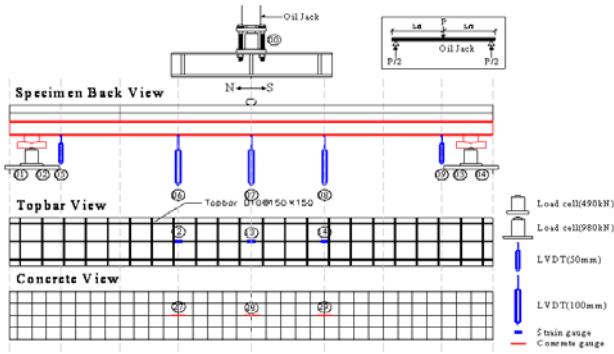
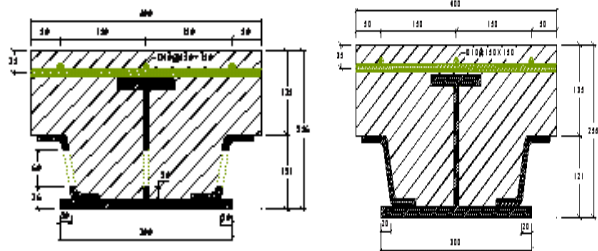
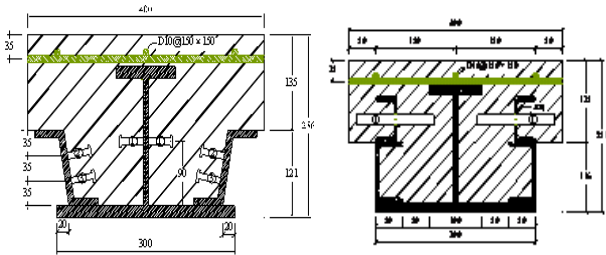


그림 1. 시험체 및 계측기 셋팅 상세



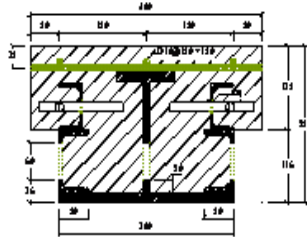
(a) 반슬림 합성보 HON형(Z형)

(b) 반슬림 합성보 HNN형(Z형)



(c) 반슬림 합성보 HNS형(Z형)

(d) 반슬림 합성보 CNS형(S형)



(e) 반슬림 합성보 COS형(S형)

그림 2. 실험체 슬래브 지지보 구조상세

이상에서 설명한 실험체 일람을 표 2에, 단면상세를 그림 3에 각각 나타내었다. 슬래브 지지보 형식에서 강재보 웨브와 지지보 웨브에 200mm 간격으로 서로 엇배치하여 용접 제작(그림 2(c))하였고, 채널형에선 상부채널 웨브에 D13 이형철근을 일정한 간격으로 절단하여 150mm 간격으로 용접 제작(그림 2(d),(e))하였다. 또한 개구부의 설치(그

림 2(a),(e))에 따라 구조적 성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 양단부에 $\phi 60$ 의 원형 개구부를 3개씩 설치하였다.

3.2 가력 및 측정방법

가력은 경간의 1/2 지점인 중앙부에 1점 단조 재하하였다. 600kN 용량의 오일 잭과 가력보를 이용하여 그림 3과 같이 단순가력하였고, 가력속도는 분당 약 9.8kN의 속도로 하중제어 하였으며, 가력보 및 실험체 단부에 로드셀을 설치하여 하중, 반력 및 가속도를 측정하였다. 실험의 종료는 실험실 여건상 최대 처짐이 90mm 이상일 때로 하였다.

그림 4는 Impact hammer에 의한 가진으로 2, 3, 4번 위치에서 가속도계에 의해 진동수영역에서 가속도를 측정하여 하중 및 손상에 따른 진동수 변화를 비교하였다.

변형률을 측정하기 위하여 상부철근 및 강재보의 상·하부 플랜지와 웨브, 개구부 주위, 슬래브 지지보, 콘크리트 탑핑 상부에 스트레인 게이지를 부착하였으며 변위를 측정하기 위하여 LVDT를 각 경간의 중앙(하중점), 개구부 설치 하부 그리고 각 단부에 설치하였다. 단부에 설치된 LVDT는 소성회전각을 측정하기 위해 지점에서 최대한 가까운 지점에서 100mm 거리에 위치시켰다. 하중진전에 따른 균열 간격을 측정하기 위하여 실험체의 콘크리트 면에 흰색 페인트를 도색한 후 100×100mm의 그리드를 그렸다.



그림 3. 실험체 셋팅 현황 (LVDT, 가속도계 등)

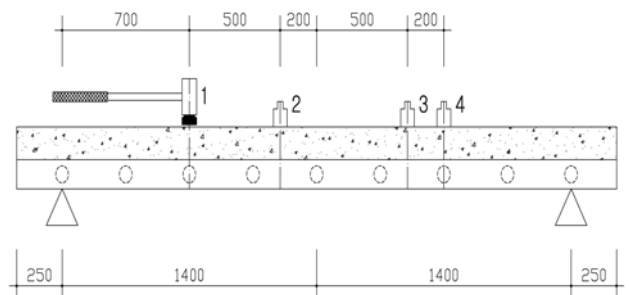


그림 4. Impact hammer와 가속도계 설치 위치(단위: mm)

3.3 사용재료의 역학적 성질

콘크리트 설계강도는 24MPa이며, 최대 골재직경은 25mm이다. 타설은 레미콘을 이용하여 수직 타설하였다. 공시체는 본 실험체와 동일조건에서 양생시켰으며 압축강도 실험은 28일 강도 및 실험체 가력과 동시에 하였다. 표 3에 콘크리트 배합표 및 28일 압축강도를 나타내었다.

본 실험에서 사용된 강재보의 상·하부 플랜지, 웨브와 지지보에 대하여 KS B 0802의 금속재료 인장시험 규정 편에 따라 인장시험편을 제작하였고, 인장실험은 KS B 0801의 금속재료 인장시험 방법에 따라 2개씩 행하였다. 표 4에 강재보와 지지보의 역학적 성질에 대한 실험 평균값을 나타내었으며 그림 5에 응력-변형률 관계를 나타내었다.

표 3. 콘크리트의 역학적 성질

설계 강도 MPa	W/C (%)	S/A (%)	단위용적중량 (kgf/m ³)					Slump (mm)	공기량 (%)	압축강도 MPa
			C	W	S	25G	AD ₁			
24	49.4	48.4	311	127	843	906	2.2	245	4.5	24

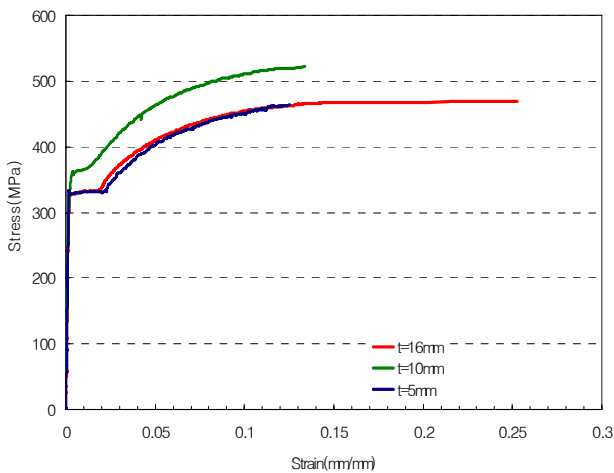


그림 5. 사용재료의 응력-변형률 곡선

표 4. 강재보와 지지보의 역학적 성질

specimens	항복강도 σ_y (MPa)	인장강도 σ_u (MPa)	탄성계수 E_s (GPa)	항복비 σ_y/σ_u (%)	Elong (%)
t=16mm	328	474	193	69	33
t=10mm	352	503	220	70	30
t=5mm	329	474	209	69	32

4. 실험결과

실험결과를 표 5에 요약하였으며, 다음 각 절에서 영향 인자별로 슬림합성보와 일반합성보의 역학적인 특성을 실험결과를 근거로 기술하였다.

4.1 슬래브 지지보 형식

그림 6은 슬래브 지지보 형식을 변수로 한 실험체의 하중-변위 곡선을 나타냈다. N04 CNS135(채널형) 실험체와 N02 HNN(헌치형) 실험체 모두 초기 강성은 거의 유사하게 나타나며 최대내력에 도달한 후 실험 종료까지 안정적인 연성을 나타내었다. N04 실험체는 N02 실험체에 비해 최대내력은 12.5%가 증가하였고, 초기 균열 발생시 내력 또한 2배정도 크게 나타났다. 또한 N04 실험체는 슬립현상이 육안으로 관찰되지 않았으며 초기 균열이 발생한 후 강성이 급격히 저하하면서 바로 최대내력에 도달하였지만 N02 실험체는 슬립현상이 육안으로 관찰되었고 슬립과 초기 균열이 함께 발생하였다. 또한 초기균열과 슬립발생 후 강성감소는 현저히 감소되는 것을 볼 수 있다. 이는 채널형 합성보 경우에 상부채널에 절골 이형철근으로 제작한 전단스터드가 충분한 합성능력을 발휘하였을 뿐만 아니라, 압축응력을 부담하는 상부측의 강재가 헌치형 합성보에 비해 채널형 합성보의 상부 채널이 압축력을 보다 많이 부담하기 때문에 내력상승효과가 나타난 것으로 판단된다.

4.2 개구부가 내력에 미치는 영향

그림 7은 슬래브 지지보 하부에 전기·배관용 설비공간으로 활용하기 위하여 개구부 설치의 유무 변화에 의한 영향을 검토한 하중-변위 곡선이다. 개구부의 설치 유무에 관계없이 초기 강성은 거의 유사하게 나타나며 최대내력을 도달한 후 실험 종료까지 안정적인 연성을 보였다.

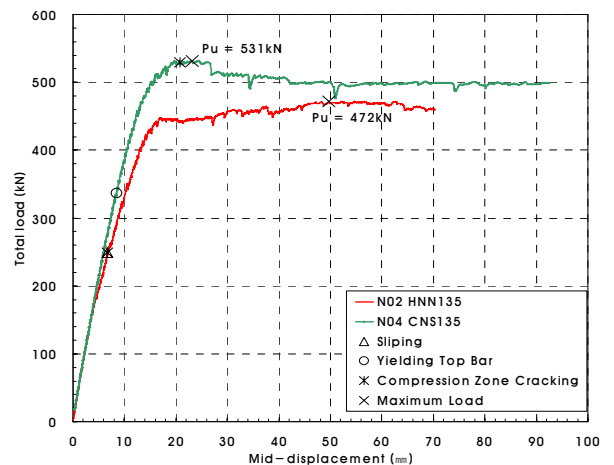


그림 6. 슬래브 지지보 형식에 따른 하중-변위 관계 곡선

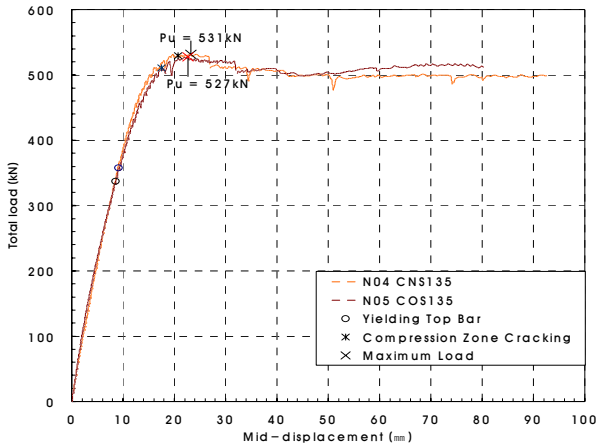


그림 7. 개구부 설치에 따른 하중-변위 관계 곡선

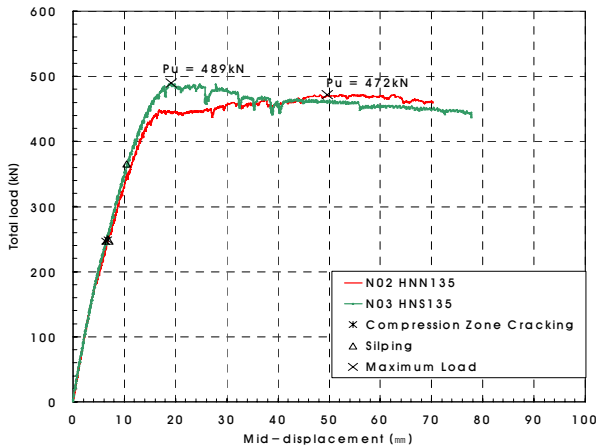


그림 8. 전단연결제에 따른 하중-변위 관계 곡선

슬래브 지지보 하부에 개구부를 설치한 N05 COS135의 실험체 최대내력은 0.8% 감소하였고, 초기 균열 발생시 내력도 3.7% 감소하였다. 또한 초기 균열이 발생한 후 내력저하 현상이 일어났고 최대내력에 도달한 후 내력저하는 개구부가 미설치한 실험체보다 완만하게 나타났다. 그러므로 슬래브 지지보 하부에 개구부를 설치가 내력 및 연성에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

4.3 전단연결제의 따른 영향

그림 8은 강재보와 콘크리트와의 합성능력을 높이기 위하여 전단연결제의 영향을 알아보기 위한 하중-변위 곡선이다. 2개의 실험체 모두 전단연결제의 유무에 관계없이 초기 강성은 거의 유사하며 실험 종료까지 안정적인 연성을 확보하였다.

전단연결제가 설치된 실험체는 초기 균열이 발생한 후 강성감소가 적으며, 초기 슬립시 내력이 48% 증가하였다. 또한 최대내력에 도달한 후 내력저하는 전단연결제가 미설치된 실험체보다 현저히 나타났다. 이는 전단연결제는 내력 및 강성에서는 별 영향을 미치지 않으나 강재보와 콘크리트의 부착성능 및 합성작용을 향상시키는 것으로 판단된다.

4.4 하중과 진동수

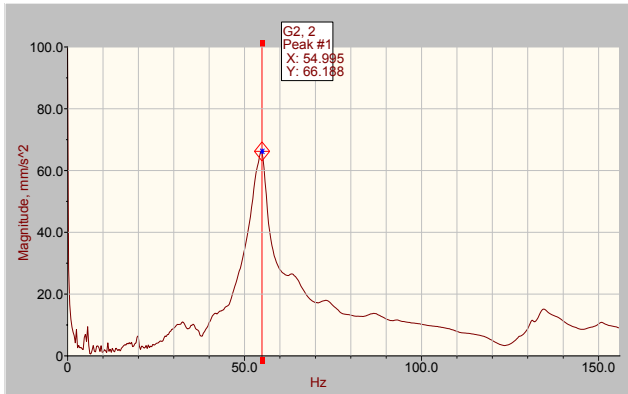
구조물의 진동은 구조물이 지닌 강성과 질량에 의해 영향을 받는다. 강성의 저하는 진동수의 감소로 나타난다. 따라서, 일반 합성보와는 달리 유공의 슬립 합성보의 진동수는 일반 보 보다는 진동수가 작게 나타난다. 특히 하중이 증가하면 부재 내에 손상들이 발생하고 이 손상들로 인하여 부재의 강성이 저하되면 진동수는 감소하게 될 것이다. 즉, 구조물의 손상정도나 내력 저하는 구조물의 진동특성

표 5. 실험결과

실험체명	K _i (kN/mm)	yield strength				initial crack		maximum				P _{max} / P _y	δ _{max} / δ _{cr}
		Exp.		LRFD	P _y / eP _y	Exp.		Exp.		LRFD	P _{max} / eP _{max}		
		P _y (kN)	δ _y (mm)			eP _y (kN)	P _{cr} (kN)	δ _{cr} (mm)	P _{max} (kN)				
N01 HON135	43	430	10	262.7	1.63	498.5	21.56	504.7	22.7	341.6	1.48	1.17	2.27
N02 HNN135	45.61	415	9.1	262.7	1.57	248.8	6.7	472	49.67	341.6	1.38	1.14	5.13
N03 HNS135	47.51	477.5	10.5	262.7	1.81	246.4	6.36	489.8	19.15	341.6	1.43	1.03	1.82
N04 CNS135	44.37	477	10.7	289.1	1.64	529.3	20.8	531.8	23.19	376.1	1.41	1.11	2.17
N05 COS135	54.5	461	9.0	289.1	1.59	510.4	11.55	527.4	22.71	376.1	1.40	1.14	2.52

K_i: 보의 강성, P_{cr}, δ_{cr}: 최초 균열시의 하중과 처짐, P_y, δ_y: 항복시에 하중과 처짐, P_{max}, δ_{max}: 최대하중과 이 하중 시에 처짐, Exp.: 실험치, LRFD: 이론치

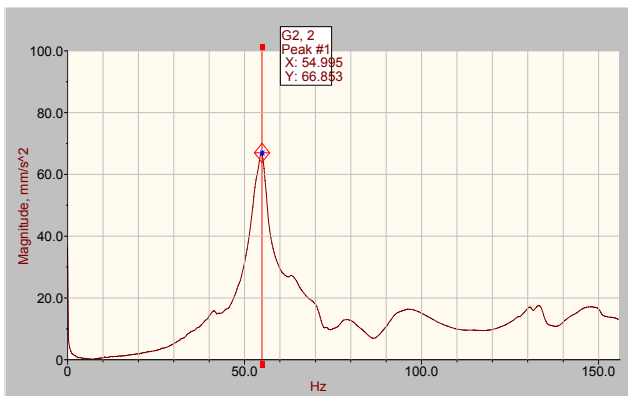
을 평가함으로써 예측할 수 있다. 일반적으로 구조물의 진동은 1차 진동모드에 의해 거의 지배하므로 본 실험에서는 가속도계에 의해 진동을 측정하여 1차 진동수를 파악하여 슬림 합성보의 형태에 따른 진동 특성을 비교하였다. 진동수가 감소하면 부재의 내력이 저하될 뿐만 아니라 가진장치와 공조에 의해 구조물에 심각한 손상을 입힐 수 있는 요인이 될 수 있으며, 거주자에게 진동에 의한 불쾌감을 줄 수 있으므로 이들 실험체에 대한 진동특성을 규명하는 것은 매우 중요한 사항으로 볼 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 9. 유공합성보-Z형(NO1)의 가력전 최초 가속도 측정 사례

재하 초기 단계로부터 매 하중 마다 impact hammer와 가속도계에 의해 보의 3개소에서 진동수를 측정하였다. 그림 9는 그림 4와 같은 위치에서 측정된 진동수와 가속도 관계를 나타내고 있다. 이 관계로부터 보의 주진동수를 결정하고 매 하중마다 측정된 진동수를 그림 10-그림 14에 나타내고 있다. 하중의 증가에 따라 보에는 손상이 발생하며 따라서, 휨강성의 저하가 예상된다. 휨강성의 저하는 진동수의 감소로 나타나게 된다. 이들 그림에서 2번과 3번 위치에서 측정된 기본 진동수는 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 각 실험의 결과를 종합 비교한 그림 15에서 기본합성보 Z형, 합성보 Z형, 유공합성보 Z형, 합성보 S형, 유공합성보 S형의 순서로 진동수의 저하 즉 강성의 저하를 볼 수 있다. 재하에 따른 진동수의 평가 혹은 손상탐지는 정적 측정치인 변위, 곡률과 관계되며, 동적인 평가에서는 진동모드의 평가가 필요하다. 손상탐지 기법은 이와 같이 정적이거나 동적인 접근방법에 의해 행해지며, 공히 주어진 시험체의 정확한 단면 2차모멘트의 산정이 필요하다.

구조물 내에 손상이 발생하기 전인 초기강성이 일정하게 나타나는 하중과 변위 관계로부터 알 수 있는 바와 같이 하중과 진동수 관계에서도 초기 재하상태에서는 진동수의 변화가 관찰되지 않았다. 그러나 하중이 증가하여 구조물

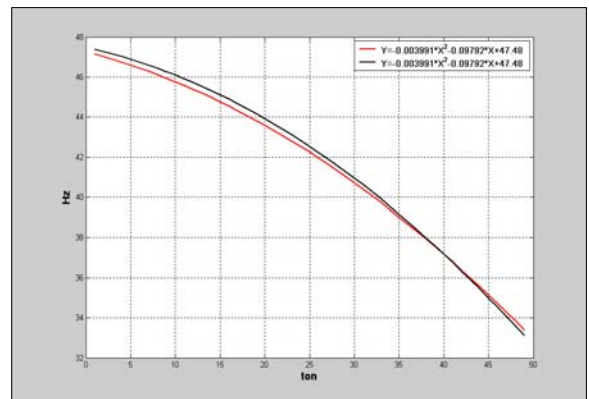


그림 10. 유공합성보-Z형(NO1); 2번과 3번의 비교

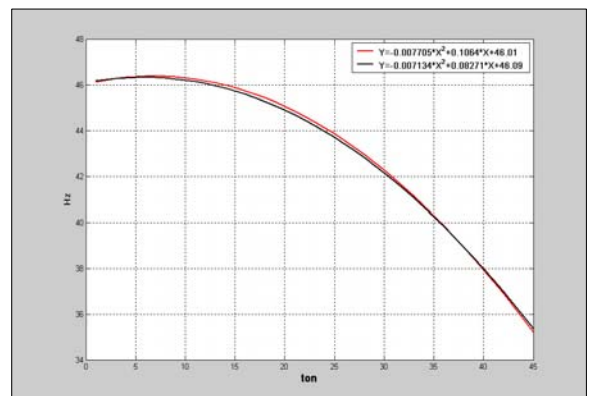


그림 11. 기본합성보-Z형(NO2); 2번과 3번의 비교

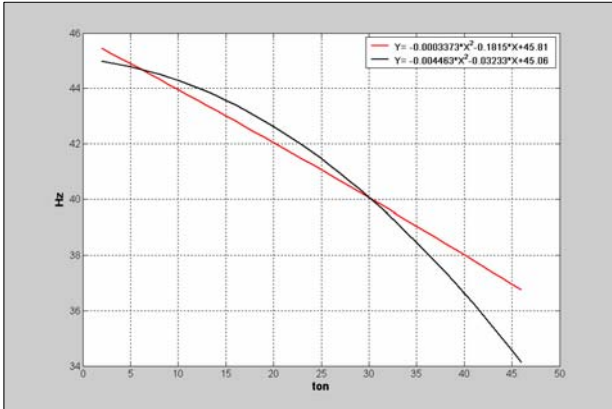


그림 12. 합성보-Z형(NO3); 2번과 3번의 비교

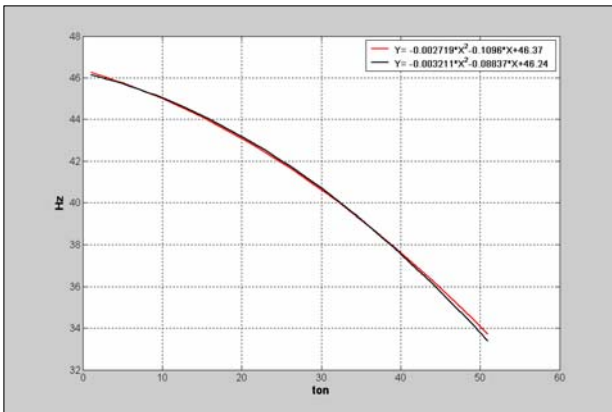


그림 13. 합성보-S형(NO4); 2번과 3번의 비교

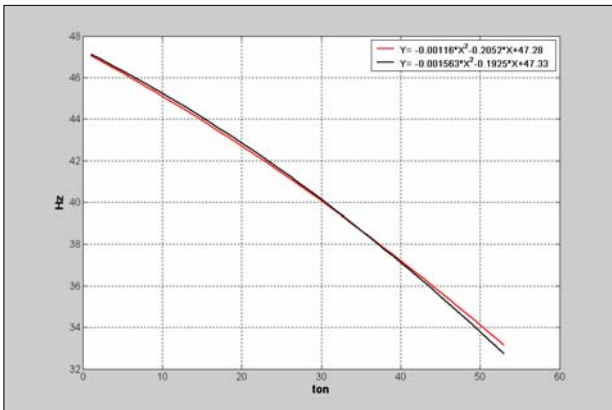


그림 14. 유공합성보-S형(NO5); 2번과 3번의 비교

내에 손상이 발생하면서 진동수가 급격히 감소되는 것을 볼 수 있다. 또한 개구부가 없는 일반합성보의 경우에 초기 강성은 유공의 합성보와 유사하나 자중의 감소로 일반합성보의 최초 진동수가 작게 나타나는 것을 볼 수 있다.

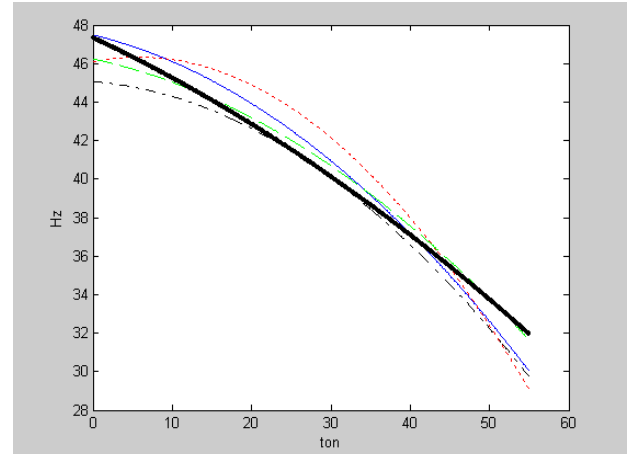


그림 15. 각 실험체에 대한 진동수의 비교; 가는 실선은 유공합성보 Z형, 점선은 기본합성보 Z형, 일점쇄선은 합성보 Z형, 파선은 합성보 S형을, 두꺼운 실선은 유공합성보 S형을 각각 나타낸다.

5. 결론

본 연구에서는 일반 합성보와 슬립 합성보에 대한 바닥판의 재하능력 및 사용성으로서 진동 특성을 규명하고 개구부의 유무에 따른 이들 특성을 규명하고자 실험을 실시하여 다음과 같은 결과들을 얻었다.

(1) N04 실험체는 N02 실험체에 비해 최대내력은 12.5%가 증가하였고, 초기 균열 발생시 내력 또한 2배정도 크게 나타났다. 또한 N04 실험체는 슬립현상이 육안으로 관찰되지 않았으며 초기 균열이 발생한 후 강성이 급격히 저하하면서 바로 최대내력에 도달하였지만 N02 실험체는 슬립현상이 육안으로 관찰되었고 슬립과 초기 균열이 함께 발생하였다.

(2) 채널형 합성보 경우에 상부채널에 절골 이형철근으로 제작한 전단스터드가 충분한 합성능력을 발휘하였을 뿐만 아니라, 압축응력을 부담하는 상부채널의 강재가 현치형 합성보에 비해 채널형 합성보의 상부 채널이 압축력을 보다 많이 부담하기 때문에 내력상승효과가 나타났다.

(3) 슬래브 지지보 하부에 개구부를 설치하 내력 및 연성에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

(4) 전단연결재는 내력 및 강성에서는 별 영향을 미치지 않으나 강재보와 콘크리트의 부착성능 및 합성작용을 향상시켰다.

(5) 하중이 증가하여 구조물 내에 손상이 발생하면서 진동수가 급격히 감소되는 것을 볼 수 있다. 또한 개구부가 없는 일반합성보의 경우에 초기 강성은 유공의 합성보와 유사하나 개구부가 차지하는 자중의 감소로 일반합성보의 최초 진동수가 작게 나타나는 것을 볼 수 있다.

(6) 기본합성보 Z형, 합성보 Z형, 유공합성보 Z형, 합성보 S형, 유공합성보 S형의 순서로 강성이 저하되는 현상을 관찰하였으며, 그 결과로 진동수의 저하를 예견할 수 있다.

참고문헌

1. BCSJ, Proposed standard for the "Use of recycled aggregate and recycled aggregate concrete", Building Contractors Society of Japan, May 1977
2. Tarun R. Naik, Shiw S. Singh, Mathew P. Tharaniyil, and Robert B. Wendorf, "Application of Foundry By-Product Materials in Manufacture of Concrete and Masonry Products", ACI Material Journal, 1996, pp. 41~50
3. 심현주, 이은택, "반슬립 플로어 시스템을 적용한 연속 합성 슬래브의 휨거동 평가," 대한건축학회논문집 구조계, 22권 1호, 2006.1, pp.19-26.
4. 이성수, 홍갑표, "바닥구조의 고유진동수 평가를 위한 보정-시스템진동식의 제안," 대한건축학회논문집 구조계, 20권 9호, 2004. 9, pp.21-28.
5. 이성수, "보행하중에 대한 바닥구조 진동응답 계산식의 평가," 대한건축학회논문집 구조계, 21권 9호, 2005. 9, pp.27-34.
6. 한상환, 김도훈, "수직진동 허용제한치 제안을 위한 인지실험," 대한건축학회논문집 구조계, 19권 1호, 2003.1, pp.11-21.
7. G S T Armer, "Monitoring and assessment of structures," SPON press, 2001.
8. Roy R. Craig, Jr., "Coupling of substructures for dynamic analysis: an overview," AIAA, 2000-1573, pp.1-12.
9. AISC/CISC Steel Design Guide Series No. 11, "Floor Vibrations Due to Human Activity," American Institute of Steel Construction, Chicago, Ill., 1997.
10. Allen, D. E. and Rainer, J. H., "Vibration criteria for long-span floors," Canadian Journal of Civil Engineering, 3(2), 1976, pp.165-171.
11. Bachmann H., "Case studies of structures with man-induced vibrations," Journal of structural engineering, ASCE, 118(3), 1992, pp.631-647.
12. British Standard BS5400, Part 2:Steel, Concrete and Composite Bridges : Specification for load, Appendix C, British Standards Institution, 1978.
13. Canadian Standard CAN3-S16. I-M89 : Steel structures for Buildings -- Limit States Design, Appendix G : Guide for Floor Mbrarions, Canadian Standards Association.
14. International Standard ISO 2631-2, Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration-Part2 : Human Exposure to Continuous and Shock Induced Vibration in Buildings(1 to 8 Hz), International Standards Organization, 1989.
15. Lenzen, K.H., "Vibration of Steel Joists", Engineering Journal 3(3), 1966, pp.133-136
16. Matthews, C. M., Montgomery, C. J., and Murrat, D. W., "Designing Floor Systems for Dynamic Response," Structural Engineering Report No.106. Department od Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 1982.
17. Murray, T. M., "Acceptability Criterion for Occupant Induced Floor Vibrations," Engineering Journal, 18(2), 1981,62-70.
18. Murray, T. M., "Building Floor Vibrations," Engineering Journal, Third Quarter, 1991, 102-109.
19. Ontario Highway Bridge Design Code, Ontario Ministry of Transportation and Communication, Toronto, 1983.
20. Ohlsson, S. V., "Ten year of Floor Vibration Research -- A Review of Aspects and Some Results," Proceedings of the Symposium/Workshop on Serviceability of Building. Vol. I , Ottawa, 1988, pp.435-450.
21. Pernica, G., and Alien, D. E., "Floor Vibration Measurements in a Shopping Center," Canadian Journal of Civil Engineering, 9(2), 1982, pp.149-155
22. Rainer, J. H., Pernica, G., and Alien, D. E., "Dynamic Loading and Response of Footbridges," Canadian Journal of Civil Engineering, 15(1), 1988, pp.6-71.
23. Tredgold, T., Elementary Principles of Carpentry, 2nd Ed., Publisher unknown., 1828.
24. Wyatt, T. A., "Design Guide on the Vibration of Floors," Steel Construction Institute Publication 076, London, 1989.

투고(접수)일자: 2008년 10월 27일

심사일자: 2008년 10월 30일

게재확정일자: 2008년 12월 10일