
제진 콘크리트 보의 동적특성에 관한 실험적 연구

Experimental Study on Dynamic Characteristics of Vibration-Controlled Concrete Beam



정영수*

Chung, Young-Soo



최우성**

Choi, Woo-Sung



이대형**

Lee, Dae-Hyoung

ABSTRACT

With the aid of advanced structural engineering, the construction of infrastructures has been recently accelerating to keep up with rapid economic growth. Construction activities and operation of transportation facilities cause civil petitions associated with vibration-induced damages or nuisances. As part of the decrease of vibration-induced damage, the objective of this study is to develop vibration-controlled concrete with vibration-reduced materials, which can be recycled from obsolete materials, such as aged tires, plastics and etc. Pilot test has been carried out to develop vibration-controlled concrete, of which uniaxial compressive strength is above 200kg/cm^2 . 9 reinforced concrete beams with vibration-controlled material have been made with appropriate mix proportion. RC beams have been tested to investigate various dynamic properties, such as 1st natural frequency, damping ratio, and flexural rigidity. Also, further dynamic properties for RC beams have been investigated as per the load level, which is computed as the ratio of bending moment.

* 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 부교수

** 정회원, 중앙대학교 대학원 토목공학과

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 2월 30일까지 학회로 보내주
시면 1998년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

to the cracking moment computed from cylindrical compression strength.

Vibration-controlled mixtures are latex, rubber powder and plastic resin, which have been determined to by and large reduce vibration. KS F2437 and travel time method have been used to figure out 1st natural frequency and dynamic elastic moduli and dynamic flexural rigidity. Dynamic damping ratios have been computed by adopting the polynomial curvefitting method and the geometric analysis method on the frequency spectrum curve, of which results have been compared and analyzed hereon.

Keywords : vibration-controlled concrete, dynamic elastic modulus, dynamic flexural rigidity, dynamic damping ratio.

1. 서론

최근 사회간접자본시설의 확충에 따른 각종 건설공사 등을 수행하면서 진동 및 소음으로 유발된 많은 공해들로 인한 민원들이 수없이 제기되고 있다. 그러나 국내에는 이러한 문제를 규제하기 위한 적절한 진동규제기준이 비흡하고, 지반진동의 폐해를 줄이기 위한 진동억제방안에 관한 연구도 거의 없는 형편이다. 따라서 본 연구의 목적은 증가일로에 있는 사회기반시설의 건설에 따른 진동을 감소시킬 수 있는 건설재료를 개발하는 것으로서 현재 당면하고 있는 시급하고 중요한 과제라 할 수 있다.

본 연구는 진동규제기준 설정을 위한 기본적인 연구의 일부로서 진동을 다소나마 억제시킬 수 있는 제진콘크리트 재료의 개발에 관한 것이다. 진동감쇠가 극대화될 수 있는 제진재료의 특성을 연구하여 기존 시설의 진동폐해 경감은 물론 앞으로 설계 시공될 지하철공사, 경전철 및 고속철도공사등의 진동규제가 필수적인 각종의 공사에 활용할 수 있는 방안을 모색하고자 한다. 또한, 본 연구는 여러가지 사회문제 중의 하나인 폐기물 처리의 한 방안으로 폐타이어나 폐플라스틱을 제진재료 사용함으로써 폐기물의 재활용 차원에서도 도움을 줄 수 있으리라 기대된다. 이들 재료의 경우 콘크리트와의 부착성이 문제가 될 수 있으나 이러한 문제점을 개선한다면 좋은 제진재료로서 상당히 이용가치가 높으리라 사료된다. 특히, 효과적인 제진콘크리트 재료가 개발되면 이러한 Know-How는 최근의 건설시장 개방에 따른 효율적인 대비책의 하나로 생각될 수 있으며 장차에 건설될

고속전철 및 대도시의 지하철, 경전철등의 진동억제방안에 관한 유용한 자료를 제시할 수 있으리라 생각된다. 따라서 각종 건설공사에서 흔히 발생할 수 있는 진동공해문제를 억제하고자 하며 비파괴 진동실험을 통하여 구조물의 손상정도를 파악할 수 있는 방법을 모색하고자 한다. 즉, 콘크리트 구조물의 균열에 따른 진동수의 추이를 평가하여 대상구조물의 사용성을 평가하고자 한다.

제진용 결합재로서 1) 라텍스(Latex), 2) 고무분말(rubber powder) 그리고 3) 플라스틱 레진(plastic resin) 등을 사용하였으며^[16], 선정된 적정 배합비에 따른 제진재료를 이용한 진동시험체보를 제작하여 재료의 동적특성 즉 1차공명진동수, 동적휨강성 및 감쇠비를 측정하여 제진효과를 조사하였다. 그리고 압축강도에 의한 각 시험체의 균열모멘트를 추정하여 재하하중과 균열모멘트비 (M/M_{cr})에 따른 하중단계별 동적특성값을 살펴보았다. 실험방법으로는 KS F2437 규정과 진동파속도법을 사용하였으며, 감쇠비 측정은 주파수 응답 스펙트럼(frequency response spectrum)곡선에 대한 Polynomial Curvefitting방법과 기하학적 해석방법을 이용하여 각각의 결과를 비교·분석하였다.

2. 배합실험

2.1 사용재료^[16]

각종의 제진재료를 이용한 콘크리트모탈의 압축강도가 약 200kg/cm^2 이상 되는 배합비를 찾기 위하

여 24배치의 예비실험을 수행하였으며, 사용된 주요 재료는 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트, 단위중량 1.53~1.6 t/m³이고 조립율 2.60 수준인 동해안의 표준사와 최대치수 19mm의 굵은골재와 각종의 제진재료 즉 라텍스, 고무가루분 및 플라스틱 원료이다. 한편, 강도를 증진시키기 위하여 S사의 고성능감수제(벨라민계)를 사용하였으며 슬럼프값(콘크리트의 슬럼프 시험방법 KS F 2402에 의한 결과)을 일정하게 하기 위하여 감수제의 양을 조절하였다. 한편, 동적하중의 재하시 발생하는 진동의 크기를 억제하는 효과를 위해 사용된 라텍스는 국내 K사의 KSL203제품을 사용하였다. 그리고, 국내 K사의 고무분말 및 국내 Y사의 플라스틱 레진을 혼입한 콘크리트는 페타이어 및 폐플라스틱제품등의 재활용을 위한 예비실험으로 제작하였다. 철근은 D16(주철근), D13(스터립철근)을 배근하였다. 실험에 사용된 제진 콘크리트 보의 제원은 20cm(W)×20cm(H)×230cm(L)으로 Fig. 1과 같다.

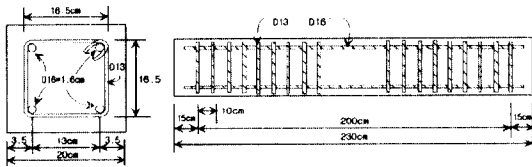


Fig. 1 Reinforced Concrete Specimen

2.2 압축강도¹⁾

배합은 기존의 제진콘크리트 물탈의 실험결과에 따라 압축강도가 양호하게 나타난 배합비를 기준으로 하였다. 제진콘크리트의 압축강도시험은 KS F 2405에 의하여 수행하였으며, 배합종류는 각 제진재에 대한 최적혼입량을 Table 1에서 보인 바와 같이 7종류로 구분하였다. 고성능감수제는 슬럼프값(110 ± 5mm)을 기준으로 첨가하였으며, 각각의 배합에 대한 강도특성을 비교·분석하였다. 라텍스, 고무분말 및 플라스틱 레진 등을 혼입한 콘크리트는 각각 시멘트중량에 5%와 10%를 사용한 2배치를 배합하였다. 강도시험은 재령 7일, 28일에 각각 수행하였으며 Table 1은 각종 제진재를 사용한 제진콘크리트의 배합표와 압축강도시험결과이다.

Table 1 Mix Proportions and Compressive Strength of Vibration-controlled Concrete Beams

Type	Specimen Designation	Slump (cm)	Weight per 1M Concrete (kg)					Compressive Strength (kg/cm ²)		
			Water	Cement	V-C ¹⁾	Aggregate Fine Coarse	Super-plasticizer	7days	28days	
Normal	N	13	168	350	-	717	1,134	5.25	244	280
Rubber	RP5	11		332.5	17.5%	704	1,119	6.98	165	272
Powder	RP10	12		315	35.0%	689	1,106	15.63	72	133
Plastic	Pl5	13		332.5	17.5%	704	1,125	4.90	235	347
Resin	Pl10	13.7		315	35.0%	691	1,105	4.90	167	273
Latex	L5	11		332.5	17.5%	704	1,125	4.55	198	373
	L10	11		315	35.0%	683	1,106	4.20	185	276

Note 1) V-C는 Vibration Controlled Material이고 라텍스, 고무가루분 및 플라스틱 레진의 혼입량은 시멘트 중량에 대한 결합재의 중량비이다.
2) 시험체명 N은 제진재료가 혼입되지 않은 일반콘크리트임.

3. 진동실험

재료의 동적특성인, 구속탄성계수, 동탄성계수 및 감쇠비를 파악하기 위한 material wave propagation analysis에 의한 진동실험(고주파특성을 감지하는 Steel Tip부착하여 실험)을 실시하기 위하여 도달시간시험(travel time test)과 공명진동실험(resonant column test)을 수행하여 결과값을 서로 비교분석하였다. 도달시간(travel time)실험법은 콘크리트의 균일성이나 품질변화의 조사 및 압축강도의 추정에 이용되며, 콘크리트의 동탄성계수 추정을 위한 시험방법으로서 시험체에 가진hammer 생성시킨 종파(longitudinal wave)의 도달시간을 구한 후 각각의 결과로부터 구속탄성계수를 계산하는 방법이다. 또한, 공명진동실험은 종진동에 의한 가속도 곡선의 frequency spectrum곡선으로부터 공명진동수를 구한 후, 이 진동수를 이용하여 동탄성계수를 구한다. 이는 KS F 2437에 의한 실험방법이며 ASTM C 597-71의 표준시험방법과 유사하고 JIS A 1127-1976과도 동일하다. 한편, 시험체의 재료적 감쇠비는 공명진동실험법에 의해서 감지된 가속도의 frequency response spectrum곡선으로부터 구한 1차공명진동수 곡선에 대해 polynomial curvefitting법 및 기하학적인 해석방법을 이용하여 계산하였으며 이들 값을 비교·분석하였다.

다음으로 structural wave propagation

analysis에 의한 진동실험(저주파특성을 감지하는 rubber tip 부착하여 실험)에서는 공명진동실험의 횡진동에 의한 공명진동수를 구한 후 이 진동수를 이용하여 동적휨강성(dynamic flexural rigidity)과 구조적 감쇠비(structural damping ratio)를 구한다. 시험체를 양단지지상태에서 중앙부 하단에 가속도계를 부착하고 상단부를 4등분하여 각 5군데의 지점에 impact hammer를 이용하여 가진하였다. 저주파수특성에 맞는 고무 tip을 이용한 가진해머로 진동을 유발시켜 FFT analyzer를 이용하여 각 지점에 가진된 wave의 진동수와 감쇠비를 구하였다. structural wave propagation analysis에 의한 진동실험개략도는 Fig. 2와 같으며, 각 절점에서의 진동수와 감쇠비의 차이를 조사하였다. 한편 정적하중으로 균열을 발생시킨 손상된 RC보의 거동양상, 1차공명진동수, 감쇠비의 차이를 조사하였으며, 작용된 하중에 대한 손상정도, 진동수와 감쇠비의 변화를 비교 분석하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 균열의 진행에 따라 시험체의 손상정도를 추정하여 기존의 구조물에 대한 내구성에 대한 판단을 비파괴 실험을 통하여 손쉽게 파악하고자 하였다.

3.1 Material Wave Propagation Analysis에 의한 진동실험

3.1.1 도달시간실험법^{1),16)}

동적신호 분석기를 이용하여 시험체의 한쪽 단에서 가진 된 종방향파가 다른 한쪽 단에 도달되는 시간을 측정 한 후 파의 전달속도를 이용하여 동탄성계수를 계산하였다. 실험법의 개략도는 참고문헌(16)

Table 2 Dynamic Characteristic Measured by the Travel Time Method

Specimen	Measurement Time			1st Natural Frequency (Hz)	Weight (kg)	Velocity of Longitudinal Wave (cm/sec)	Specific Density(ρ) ($\times 10^{-3}$ kg/cm ³)	E _r (kg/cm ²)
	Depart Time (Sec)	Arrival Time (Sec)	Travel Time (Sec)					
N1	1.159E-3	1.647E-3	0.488E-3	888	227.6	471311	2.522	506222
N2	1.098E-3	1.586E-3	0.488E-3	880	226.8	471311	2.513	558223
N3	1.159E-3	1.647E-3	0.488E-3	880	227.3	471311	2.518	559334
L5	1.098E-3	1.647E-3	0.549E-3	832	225.3	418943	2.496	438081
L10	1.098E-3	1.647E-3	0.549E-3	824	223.8	418943	2.479	435097
RP5	1.037E-3	1.586E-3	0.549E-3	856	222.6	418943	2.466	432816
RP10	1.037E-3	1.647E-3	0.549E-3	864	220.6	418943	2.444	428955
PR5	1.159E-3	1.709E-3	0.549E-3	856	222.5	418943	2.465	432640
PR10	1.159E-3	1.709E-3	0.549E-3	864	221.1	418943	2.450	43007

에 기술되어 있다.

식 (1)을 이용하여 재료의 동적특성 즉 구속탄성계수(E_p)를 계산할 수 있으며 도달시간법에 의한 재령 28일 이상 제진콘크리트시험체의 동적특성실험결과와 는 측정시간의 정도에 따라 같은 결과를 나타내는 보가 많아서 신뢰성에 문제점이 나타났다.

$$E_p = \rho v_p^2 \quad (1)$$

여기서, ρ 는 시험체의 밀도이며, v_p 는 travel time에 의한 wave의 전달속도이다.

3.1.2 공명진동실험법^{1),13),16)}

공명진동실험법은 도달시간실험법과 마찬가지로 동적신호 분석기를 이용하였으며, 충격해머에 의해서 가진 된 종파의 가속도곡선으로부터 frequency spectrum곡선을 구하여 이로부터 1차공명진동수를 측정하였다. 그리고 콘크리트 시험체의 동탄성계수를 구하기 위해 1차 공명주기에 의한 고유진동수를 측정하였다. KS F 2437 규정에 의해 종파에 의한 동탄성계수(E)는 식 (2)와 같이 측정된 1차공명진동수값을 이용하여 산출하였다.¹⁶⁾

$$E = C_1 w f_1^2 \quad (2)$$

여기서 C_1 은 $408 \times 10^{-3} \frac{L}{A} (s^2 / cm^3)$, w 는 물체의 중량, 그리고 f_1 은 종파의 가속도곡선의 1차공명진동수값을 나타낸다. Table 3은 공명진동실험법에 의한 결과이다.

3.1.3 공명곡선에 의한 감쇠비 측정

공명진동실험법에 양단지지시험체에 종진동파의 가속도곡선으로부터 구한 frequency spectrum곡선에 polynomial curve fitting법 및 기하학적인 해석방법을 이용하여 다음과 같이 시험체의 감쇠비를 산출하였다. 이 실험에 사용한 polynomial curve fitting method 및 기하학적인 해석방법의 자세한 내용은 참고문헌(16)에 기술되어 있다.

1) Polynomial Curve fitting Method^{1),16)}

진동실험은 양단지지시험체의 한쪽 단부를 충격해머로서 가진하여 시험체 다른 쪽단에 부착된 가속도 감지기로부터 가속도 곡선을 측정하였다. 측정된 가속도 곡선은 fourier 변환된 frequency spectrum

곡선의 real part로부터 1차공명진동곡선을 구하여 Fig. 4와 같이 시험체의 감쇠비를 계산하였다. Table 3에 polynomial curve fitting방법에 의한 시험체의 감쇠비 측정결과를 나타내었다.

2) 공명곡선에 의한 기하학적 해석법^{23,26)}

공명곡선의 기하학적인 해석법은 고전적인 방법의 하나로서 곡선의 상대적인 넓이를 이용하여 감쇠비를 측정하는 방법이다. 감쇠비를 진동수에 대한 함수로 다시 쓰면 다음과 같다.

$$D = \frac{1}{2} \frac{\Delta f}{f_m}, (\Delta f = f_2 - f_1, f_m = 1st \text{ natural frequency}) \quad (3)$$

감쇠비 측정방법은 frequency spectrum곡선의 real part에서의 1차공명진동수를 일으키는 곡선에서 최대 진동수와 이에 대응하는 magnitude를 구하고 이 값에 0.707을 곱한 값에 대응하는 진동수(f_1, f_2)를 찾는다. 이 진동수의 큰 값과 작은 값의 차이를 이용하여 감쇠비를 구하였다. 계산 결과는 Table 3과 같고 polynomial curve fitting method에 의해 산출된 감쇠비와 비교하였다.

Table 3 Dynamic Characteristic Measured by the Resonant Column Method

Specimen	1st Resonant Frequency	Dynamic Modulus E	Polynoma Curve Fitting Method	Geometrical Analysis Method		
	f (Hz)	(kg/cm ²)	Damping Ratio(%)	Δf	f _m (Hz)	Damping Ratio(%)
N1	736	420811	3.08	48	736	3.26
N2	745	435704	2.82	46	745	3.09
N3	769	412605	2.94	48	769	3.12
L5	704	365600	3.22	48	704	3.41
L10	732	356161	3.42	68	732	4.64
RP5	744	382346	2.99	48	744	3.22
RP10	676	386051	3.03	40	676	2.96
PR5	747	382191	2.58	38	747	2.54
PR10	742	386998	2.81	41	742	2.76

3.2 Structural Wave propagation Analysis에 의한 진동실험.

공명진동실험법에 의한 진동특성 즉, 횡진동에 의한 시험체의 휨강성을 파악하기 위하여 1차공명진동수를 측정하였으며 이는 Fig. 2와 같이 시험체의 상부면에 5등분된 각 절점에 가진하여 측정된 진동수의 평균값을 이용하여 휨강성을 산출하였다. 실험방법은 KS F 2437에 따라 실시하였다.

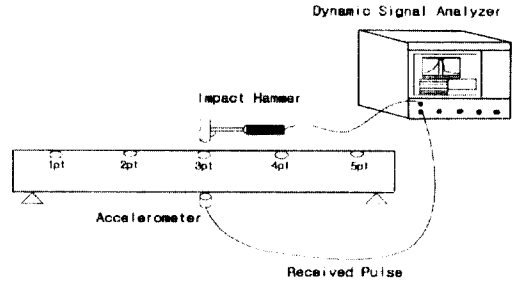


Fig. 2 Schematic Diagram for Flexural Vibration Test

3.2.1 하중단계별 정적실험

28일 압축강도에 의해 추정된 균열모멘트와 실제 재하하중에 의한 모멘트비에 해당하는 하중을 보시 시험체에 가한 후 각 하중단계당 동적특성의 진행 추이 즉, M/M_{cr} 에 따른 진동수와 감쇠비의 추이를 조사하였다.

$$M_{cr} = \sigma_m I_g / y_t \quad (4)$$

여기서, M_{cr} 은 균열모멘트, σ_m 는 콘크리트의 파괴 계수, 즉 $2.0\sqrt{\sigma_{ck}}$ 이고 y_t 는 중립축에서 콘크리트의 인장측 최하단까지의 거리, I_g 는 철근을 무시한 비균열 단면에 대한 중심축에 관한 단면 2차모멘트이다. 산출된 각 시험체의 균열모멘트에 의해 $1.0M_{cr} = M_1$ 에 해당하는 하중단계를 P_1 , $2.0M_{cr} = M_2$ 에 해당하는 하중단계를 P_2 , 이와같이 $P_3 \sim P_5$ 까지 각 하중단계별 2점 재하 정적test를 실시하였고, P_5 단계에서 완전한 파괴에 도달한 균열이 진행되었다. 다음 Table 4는 각 시험체의 하중단계별 하중값을 보여주고 있으며 하중재하 후 균열 상태와 처짐크기를 확인한 후 공명진동실험을 수행하였다.

Table 4 Stepwise Test Load Computed by the Cracking Moment

Specimen	Load Step (ton)				
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
N	1.2	2.56	3.84	5.12	6.4
L5	1.48	2.96	4.44	5.92	7.4
L10	1.27	2.54	3.81	5.08	6.35
RP5	1.28	2.56	3.84	5.12	6.4
RP10	0.88	1.76	2.64	3.52	4.4
PR5	1.42	2.84	4.26	5.68	7.1
PR10	1.26	2.52	3.78	5.04	6.3

Note : P_i can be computed as $M_i = i \times M_{cr}$.

다음 Fig. 3는 각 하중단계별 균열 양상을 보여주고 있고, Photo 1은 시험체 L10의 하중단계 P₄에 해당하는 실험광경이다.

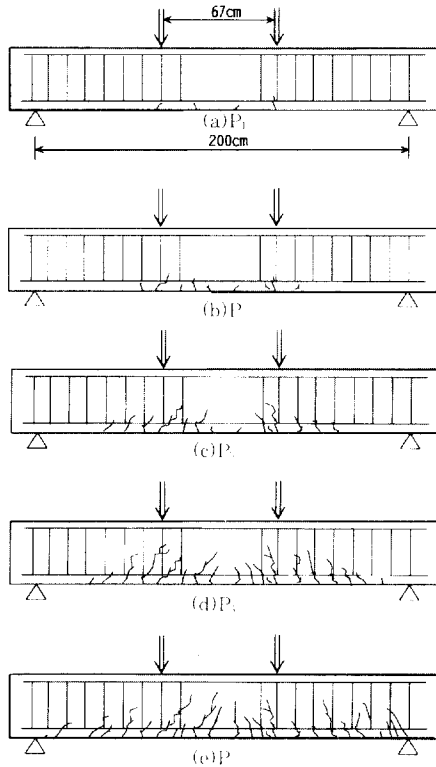


Fig. 3 Crack Patterns of Normal RC Beams as per 5 Load Steps

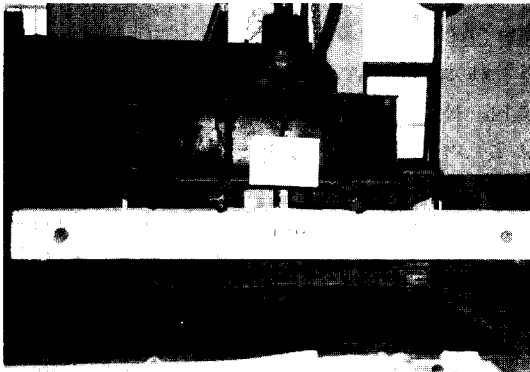


Photo. 1 Dynamic Test Setup for Damaged RC Beam (L10-P3)

3.2.2 하중단계별 동적특성

제진콘크리트의 하단부에서 각 하중단계별로 지점에서의 감쇠비를 측정하기 위하여 polynomial curve fitting method를 이용하여 감쇠비를 측정하였다. Fig. 4는 라텍스10% (L10)시험체의 P₅ 하중단계 상태의 휨진동에 의한 고유 진동수와 감쇠비 측정과정을 나타낸다.

Table 5는 각 하중단계별 가진에 따른 1차 공명진동수와 감쇠비의 평균값을 나타낸 것이고, 손상전 결과를 살펴보면 일반 콘크리트에 비해 제진 계열에서 감쇠비가 2~3배 가량 크게 나타났으며, L10시험체의 경우 가장 크게 나타났다. 손상의 진행 정도에 따라 고유 진동수의 저하 현상이 관측되었으나 감쇠비의 경우 불규칙하게 나타났다. Fig. 5는 시험체 N과 RP10의 하중단계별 동적특성값을 보여주고 있다.

Table 5 First natural frequency and damping ratio by the resonant column method

Specimen Designation	First Natural Frequency f (Hz)						Damping Ratio(%)					
	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
N	72	70	64	62	60	59	1.32	1.32	1.35	1.34	1.26	1.12
L5	70	68	67	66	66	64	2.70	2.16	2.3	1.57	1.37	1.58
L10	74	73	70	68	63	58	4.31	2.12	1.96	1.03	1.04	0.96
RP5	63	62	62	62	60	59	2.72	2.69	2.25	1.20	1.75	1.14
RP10	60	58	57	54	53	52	2.96	2.76	2.47	1.94	1.65	1.34
PR5	72	67	66	63	60	58	3.02	2.00	1.13	1.06	1.10	1.05
PR10	70	69	66	66	64	63	3.42	2.14	1.17	1.05	1.11	1.10

Note 1) P : 하중 작용전 모, 주 비균열모의 동적특성인

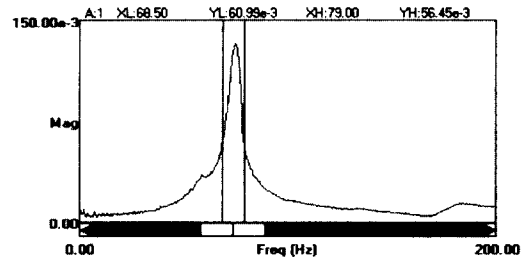


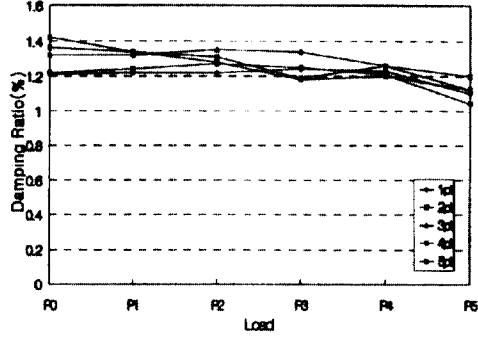
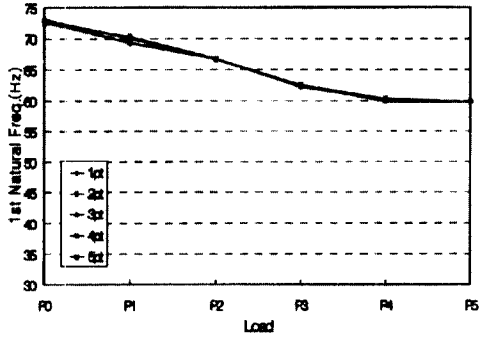
Fig. 4. Damping Ratio for RC Beam by the Polynomial Curve Fitting Method

3.2.3 동적 휨강성의 산출

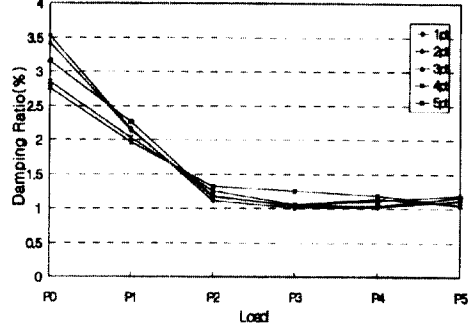
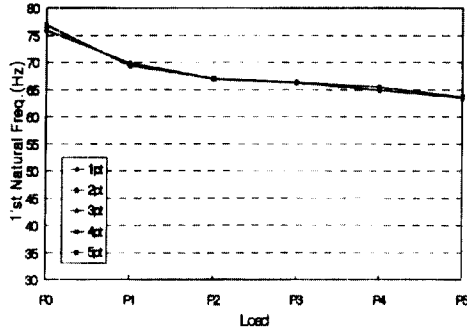
하중단계 P₅ 즉 손상전 시험체의 상부면 5등분된 각 절점에 가진하여 평균 측정된 진동수에 따라 휨 강성을 산출하였으며 각 배합에 따른 1차 공명진동수와 휨강성은 Table 6과 같다. $(EI)_d$ 은 Newmark's Method 공식 즉, Newmark's formula $\omega_n = C_m \sqrt{\frac{EI}{m l^3}}$ (rad/sec)에 $\omega_n = 2\pi f_n$, $C_m = 9.87 = \pi^2$ 을 대입하면 동적 휨강성식은 다음과 같으며, 아래 식과 같이 측정된 1차 공명진동수값을 이용하여 동적휨강성(dynamic flexural rigidity)을 산출하였다.

$$(EI)_d = \frac{4}{\pi^2} m l^3 f_n^2 (t \cdot m^2) \quad (6)$$

식 (6)에서 m 은 질량, l 은 유효길이(지점간거리), f_n 은 1차공명진동수 값을 나타낸다.



(a) Specimen "N"



(b) Specimen "PR10"

Fig 5. First Natural Frequency and Damping Ratio Curve for Specimen "N" and "PR10"

그리고 시험체의 재령 28일 압축강도에 의한 콘크리트 표준 시방서의 $E_c = 4,270\omega_c^{1.5}\sqrt{\sigma_{ck}}$ (kg/cm^2)에 의해 산출된 정탄성계수와 단면 2차모멘트를 이용하여 동적휨강성, 즉 (EI),를 구하여 비교해 보았다.

Table 6 Test Result for Dynamic Flexural Rigidity

Specimen	Dynamic Flexural Rigidity			Static Flexural Rigidity		
	mass (t/m/sec ²)	f_n (Hz)	$(EI)_d$ (t · m ³)	E (t/m ²)	I (m ⁴)	$(EI)_s$ (t · m ³)
N	0.0231	72	449	2509989		334
1.5	0.0231	70	424	2920180		389
1.10	0.0229	74	471	2491980		332
RP5	0.0228	63	340	2473860	1.3333E-4	329
RP10	0.0226	60	305	1729880		231
PR5	0.0228	72	444	2794190		373
PR10	0.0225	70	414	2478400		330

4. 종합평가

본 실험은 필요한 적정배합비를 산출하기 위하여 pilot test를 통하여 산정된 배합비에 따라 제진콘크리트 보를 제작하여 실험을 실시하였으며 제진콘크리트의 동적 특성을 파악하였다. 제진재료를 이용한 제

진콘크리트의 압축강도실험을 실시한 결과 제진제의 혼입률이 높을 수록 강도가 저하되었으며 플라스틱 레진과 라텍스콘크리트의 경우 배합비(시멘트량에 대한 제진재료의 중량비)가 5%인 경우 7일강도는 약간 떨어졌으나 28일강도의 경우 일반콘크리트에 비해 27%정도 크게 나타났으며 배합비 10%인 경우 일반 콘크리트와 거의 비슷한 강도를 보이고 있다. 연구를 종합해 볼 때 참고문헌(16)에 기술된 시멘트 몰탈의 실험결과에 의하면 제진제가 시험체 밀도의 감소로 인한 압축강도 저하와 그에 따른 감쇠비 상승이라는 어느정도의 상관관계를 나타내었지만 라텍스의 경우 골체의 배합과 배합사에 나타난 약간의 유동성으로 인하여 강도가 증가하는 경향이 나타났다.

4.1 재료적 진동실험에 의한 동적 특성

제진콘크리트의 구속탄성계수는 도달시간을 측정하기 위하여 시험체의 길이가 길수록 유리하리라 판단되며 짧은 시험편길이로 인하여 도달시간의 측정에 대한 정밀도가 문제가 되어 신뢰성이 떨어지는 결과를 나타내었다. 본 실험에서는 측정시간의 정도에

따라 같은 결과를 나타내는 보가 많았다. 평균적인 구속탄성계수는 정탄성계수의 약 20~40% 정도 크게 나타났다. 공명진동실험법에 의해 1차공명진동수를 구하고 이를 이용하여 동탄성계수를 구한 결과 정탄성계수에 비해 약 35%정도 크게 나타났다. 보 시험체의 경우 1차공명진동수가 시멘트 몰탈¹⁾에 비해 약 23%정도로 작게 나타났다. 그리고 라텍스계열에서는 재료적 감쇠효과를 얻을 수 있었으나, 고무분말과 플라스틱 레진계열에서 일반콘크리트에 비해 감쇠비가 약간 감소하는 현상이 나타났다.

4.2 구조적 진동실험에 의한 동적 특성

휨진동실험에 의해 polynomial curve fitting method로 고유진동수와 감쇠비 측정결과 일반콘크리트에 비해 제진콘크리트 계열에서 높은 감쇠 효과를 얻을 수 있었다. 대체적인 1차공명진동수의 범위는 61~74Hz정도로 나타났다. 작용하중이 커질 수록, 즉 시험체에 손상이 진행될수록 9개의 모든 시험체에서 1차공명진동수는 일정한 간격으로 감소되는 현상이 나타났다. 그리고 보에 따라 약간의 차이는 있었지만 시험체가 완전히 파괴되었을 때 현저히 감소되는 현상이 나타났다. 일정한 현상을 보인 진동수와는 달리 감쇠비에서는 약간 상이한 경향으로 나타났다. 제진재가 포함되지 않은 일반콘크리트 시험체에서는 손상이 진행되어도 별차이를 보이지 않은 반면 라텍스 시험체에서는 진행될수록 증가와 감소가 불규칙한 현상이, 고무분말과 플라스틱 레진 계열에서는 일정하게 감소되는 현상이 나타났다.

공명진동실험법에 의해 1차공명진동수를 구하고 이를 이용하여 휨강성을 구한 결과 제진콘크리트의 동적 휨강성 (EI)_d 값은 정적 휨강성값의 20~35%정도 크게 나타났고, 1차 공명진동수가 상대적으로 크게 나타난 라텍스계열에서 크게 나타났다.

5. 결론 및 추후연구과제

본 실험에서는 제 1단계 실험¹⁾에 연속하여 콘크리트 보 시험체를 선택하였고, 그에 따른 철근과 골재배합이 실험결과에 다소나마 영향을 미친 것으로 나타났다. 진동실험을 토대로 살펴볼 때 전체 제진콘크리트에서 일반콘크리트에 비해 높은 제진성을 확

인할 수 있었고, 라텍스의 경우 시험체 배합 당시 고유동성과 높은 압축강도를 나타냈다. 비균열 시험체에서는 보전체 지점에서 유사한 진동수 및 감쇠비가 나타났고, 콘크리트의 균열모멘트와 재하하중에 의한 모멘트의 비 즉, M / M_{cr} 에 따른 동적특성을 살펴본 결과 균열이 진행될수록 1차공명진동수의 저하현상이 나타났다. 일반적인 동적 특성값, 즉 동탄성계수, 동적 휨강성 등은 정적 특성값에 비해 크게 나타났다. 그러나 시험체의 하중 단계별 감쇠비의 변화 추이는 실험전 손상 진행 정도에 따라 값이 크게 나타나리라고 예상되었으나 실험결과 불규칙하여 그에 따른 추이를 찾기가 어려워 이에 대한 추후 보완 실험이 필요하리라 판단된다.

한편 위 실험의 결과를 토대로 추가의 다양한 제진재를 혼입한 제진 콘크리트 패널을 제작하였으며, 모형화된 토조에서 진동실험을 거친 후, 실제 Open Space상태에 설치하여 지반진동 및 진동억제 콘크리트 패널에 대한 실제적인 동적특성을 실험을 수행하고 있다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 중앙대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사의 마음을 표합니다. 또한 농어촌진흥공사 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) 박승범, "최신토목재료 실험," 문운당, 1994
- 2) J.R. Hall, and R.D. Woods, "Vibrations of soils and foundations," Prentice-Hall, 1970.
- 3) R.B. Randall, B. Tech., B.A. "Frequency Analysis," Br el & Kjr, 1985.
- 4) William T. Thomson "Theory of Vibration with Applications," Prentice Hall, 1988.
- 5) A. Major, "Dynamics in Civil Engineering," Academiai Kiado Budapest, 1982.
- 6) 지하철 시설물의 진동영향에 관한 세미나, 1993.12.2, 서울특별시 지하철공사
- 7) 콘크리트 표준시방서, 대한토목학회, 1989.
- 8) Mehta, P.K., "Concrete : Structure Properties and Materials," Pentice-Hall, 1986.

- 9) ACI, "Designing for Creep and Shrinkage in Concrete Structures," SP-76, 1983.
- 10) ACI Committee 213, Report 213R-79, "Guide for Structural Lightweight Concrete," Concr. Int., Vol. 1, No. 2, 1979.
- 11) 한국공업규격, "콘크리트 공시체의 가로 세로 및 비틀림 1차 주파수 실험방법," 한국공업진 흥청, 1990.
- 12) ASTM C 597-71, Standard Method of Test for Pulse Velocity Through Concrete.
- 13) 日本工業規格, JIS A 1127-1976, "共鳴振動によるコンクリートの剪断弾性係數, 動せん断弾性係數及び動ポアソン比實驗方法," 1996.
- 14) BRAJA M. DAS, "Principles of Soil Dynamics," Pws-kent, 1992.
- 15) J.S. Bendat, A.G. Piersol, "Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis," John Wiley & Sons, Inc, 1993.
- 16) 정 영수, 이 대형, 최 우성 "진동제어 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구(1)," 한국콘크리트 학회지 논문집, 제 8 권, 5호, 1996, 8.
- 17) 정 영수, 이 대형 "진동억제 콘크리트의 물성에 관한 실험적 연구," 대한토목학회 학술발 표회 논문집, 1995.

요 약

본 연구는 각종 제진재료를 이용하여 진동을 억제할 수 있는 콘크리트를 개발하여 각종 건설공사에서 흔히 발생할 수 있는 진동공해문제를 억제하고자 하며 아울러 폐기물의 재활용차원에서 폐자재를 이용하여 유용한 제진콘크리트를 개발하고자 하는데 그 목적이 있다. 우선, 제진재료를 이용한 압축강도 (200kg/cm^2) 이상의 콘크리트 배합비를 찾기 위하여 24배치의 예비실험을 수행하였으며, 선정된 적정배합비에 따른 제진재료를 이용한 9개의 진동시험체보를 제작하여 보의 구조적 및 재료적 동적특성 즉 1차 공명진동수와 동적 휨강성 및 감쇠비를 측정하여 제진효과를 조사하였다. 그리고 압축강도에 의한 각 시험체의 균열모멘트를 추정하여 재하하중과 균열모멘트비(M / M_u)에 따른 하중단계별 동적특성값을 살펴 보았다. 제진재료로서는 라텍스(Latex), 고무분말(Rubber Powder) 그리고 플라스틱 레진(Plastic Resin)등을 사용하였고, 재료적, 구조적 진동감쇠효과를 파악하고자 KS F2437 규정과 진동파의 속도법을 사용하였으며, 감쇠비 측정은 Frequency Spectrum곡선에 대한 Polynomial Curvefitting방법과 기하학적 해석방법을 이용하여 각각의 결과를 비교·분석하였다.

(접수일자 : 1997. 8. 27)