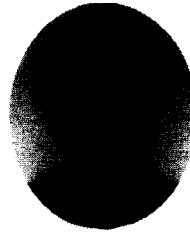


제진재 혼입 콘크리트의 동적물성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Dynamic Properties of Concrete
with Vibration-Mitigation Materials



정영수*

Chung, Young Soo



박용구**

Park, Yong Goo

ABSTRACT

In these days, construction activities have caused civil petitions associated with vibration-induced damages or nuisances. Therefore, it is strongly needed to develop a remedial technique to mitigate unfavorable effects. The objective of this experimental research is to investigate material and structural dynamic characteristics of vibration-controlled concretes which have been proportionally mixed with various vibration reducing material, such as latex, rubber powder, plastic resin, polystyfoams and etc. Normal and high strength concrete specimens are also prepared for corresponding comparison. As part of the recycling research for obsolete rubber and plastic materials, 32 concrete cylinders and 10 concrete flexural beams have been made for material and structural dynamic properties, respectively. In accordance with the resonance test on concrete cylinders, it can be concluded that concrete with vibration-reducing material have relatively larger material damping ratio than normal or high strength concrete. Styrofoam is determined to be very effective vibration-reducing mixtures. From the vibration test on 10 concrete flexural beams, meanwhile, of importance observations was that material damping ratio is very smaller than structural damping ratio of corresponding specimen. But further vibration test on more flexural beams should be strongly needed by varying support conditions.

keywords : vibration-induced damages, vibration-controlled concrete, material dynamic properties, structural dynamic properties, resonance test, vibration test, material damping ratio, structural damping ratio.

* 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

** 정회원, 삼성엔지니어링(주) 사원

· 본 논문에 대한 토의를 1999년 8월 30일까지 학회로

보내 주시면 1999년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

본 연구는 진동을 억제시킬 수 있는 제진 콘크리트 재료의 개발에 관한 것으로서 여러 가지 사회문제 중의 하나인 폐기물 처리의 한 방안으로서 페타이어나 페플라스틱과 유사한 제품을 제진 재료로 사용하였다. 이러한 제품들은 폐기물의 재활용 차원에서도 도움을 줄 수 있으리라 기대되며, 이들 재료의 경우 콘크리트와의 부착성이 문제가 될 수 있으나 이러한 문제점을 개선한다면 좋은 제진 재료로서 상당히 이용가치가 높으리라 사료된다. 한편, 각종 건설공사에서 흔히 발생할 수 있는 진동공해문제 억제를 위하여 구조물의 계획 및 설계시 진동영향에 대한 대비 방안을 모색하고자 구조물에 발생할 수 있는 균열등 동적 특성의 변화에 따른 손상정도를 추정할 수 있는 방안에 대한 연구도 수행하였다.

최근 IMF사태로 인하여 국내의 건설경기가 다소 위축되고 있지만, 1970년대 후반에 시작된 급속한 경제성장은 사회간접자본시설의 투자가 확충되어 각종 토목공사가 활발하였다. 대폭적인 교통량증가로 도로확충 및 신설, 지하철 및 고속전철의 건설등 교통시설 관련공사와 교통시설에서 발생하는 진동폐해민원이 급속히 증가하여 진동폐해 경감과 방지대책의 필요성이 매우 절실히 요구되어왔다. 그러나, 우리나라에서는 진동폐해 방지 및 민원발생시 해결 근거가 되는 합리적인 진동규제기준이 미흡한 실정임은 물론 진동폐해를 경감할 수 있는 방안의 하나인 제진 콘크리트

개발에 관한 연구도 거의 전무한 실정이다.

2. 시험체

본 연구에서는 1) 일반 콘크리트와 제진용 결합재로서 2) 폴리스타이로폼(polystyrafoam), 3) 플라스틱 레진(plastic resin), 4) 고무 분말(rubber powder), 5) 라텍스(latex)을 혼합한 콘크리트, 그리고 고강도 콘크리트로서 6) 압축강도 350kg/cm², 7) 압축강도 450kg/cm², 8) 압축강도 700kg/cm²의 8가지 배합비를 선정하여 제 1 과업으로 선정된 8가지 배합비에 따라 4가지 형태의 공시체 32개를 제작하여 재료적 감쇠비와 동탄성계수, 1차 공진주파수, 동전단탄성계수 그리고 동푸아송비등의 재료적 동적물성을 KS F 2437에 규정된 공명진동실험으로 규명하고 제 2 과업으로 구조적 감쇠비와 1차 공진주파수등을 규명하기 위하여 8가지 각 배합에 대한 15×10×240cm의 RC보시험체를 제작하여 자유진동시험을 실시하여 주파수영역에서 Half-Power Bandwidth방법으로 구조적 감쇠비를 측정하였다. 그리고 정적하중으로 RC보시험체에 균열을 발생시킨 후 하중단계별 1차 공진주파수, 감쇠비등을 조사하여 손상정도에 따른 변화를 비교·분석하였다. 시험체 제작에 사용된 재료는 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트, 단위중량 1.53~1.6tf/m³이고 조립을 2.60 수준인 동해안 지역의

Table 1 Schematic Table for Specimen


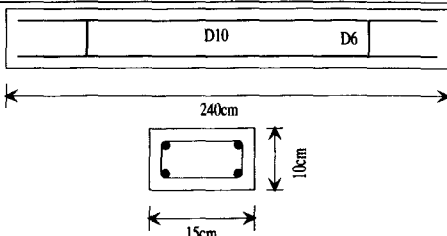
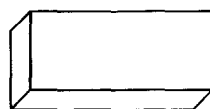
Test	Material Dynamic Properties		Structural Dynamic Properties	
	Resonance Test (KSF 2437)		Free Vibration Test	
Specimen	A-Type	∅ 10×20cm Cylinder	Length	240cm
	B-Type	∅ 10×40cm Cylinder	Width	15cm
	C-Type	10×10×20cm Prism	Height	10cm
	D-Type	10×10×40cm Prism	Longitudinal : D10	Stirrup : D6
Shape	 (Cylinder)			
	 (Prism)			

Table 2 Mix Proportions and Compressive Strength of Specimen

Type	Kinds	Compressive Strength (kgf/cm ²)	Slump (cm)	Mix Proportion (kgf/cm ²)								
				Fine Agg.	Coarse Agg.	Cement	Water	V-R*	Mixture			
									Super Plasticizer	AE Water Reducer	Silica Fume	
NR	Normal	289	8	1144	717	350	168	-	-	1.12	-	
ST	Poly styrofoam	253	8.7	943.3	742.8	368.58	175	3.72 (1%)	-	1.12	-	
PR	Vibration-Reduced Material	261	9.5	943.3	742.8	364.86	175	7.41 (2%)	-	1.12	-	
RP	Rubber Powder	268	8.5	943.3	742.8	368.58	175	3.72 (1%)	-	1.12	-	
LT	Latex	275	8	943.3	742.8	372.30	161	14.00 (4%)	-	1.12	-	
H35	High Strength	350kgf/cm ²	3.5	1,052	766	389	175	-	-	-	-	
H45		450kgf/cm ²	7.5	1,065.9	741.3	462.80	166.6	-	3.70	-	-	
H70		700kgf/cm ²	-	1,037	668	552	160	-	13.8	-	82.6	

* V-R : Vibration-Reduced Materials (채진재)

강사, 최대치수 19mm의 굵은 골재와 각종의 제진 재료 즉 라텍스, 스티로폼, 고무분말 및 플라스틱 레진등이다. 또한 고강도 콘크리트의 배합은 국내 D사 재료시험실의 배합을 이용하였다. 재료적 동적물성의 규명을 위하여 ASTM, JIS, 그리고 KS에서 규정하고 있는 길이와 단면의 비가 3~4이상의 공시체를 제작하였다. 따라서 본 연구에서는 보다 실험이 용이하고 좋은 결과를 얻을 수 있는 공시체의 규격을 선정하기 위하여 원주형공시체 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 와 $\phi 10 \times 40\text{cm}$, 각주형공시체 $10 \times 10 \times 20\text{cm}$, $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ 를 각 3개씩 제작하였다. 구조적 동적물성의 규명을 위하여 공시체 제작시와 같은 배합으로 단면높이를 최소화하고 길이는 길게한 RC보시험체를 제작하였다. 제진용 결합재의 혼입량은 폴리스타이로폼, 플라스틱 레진, 고무분말, 라텍스를 각각 시멘트 중량의 1%, 1%, 2%, 그리고 4%로 배합하였다. 한편, 고강도 콘크리트 700kgf/cm²는 타설시 작업성의 문제로 인하여 원하는 강도를 얻지 못한 것으로 판단된다. 제진용 결합재의 혼입량은 폴리스타이로폼, 플라스틱 레진, 고무분말, 라텍스를 각각 시멘트 중량의 1%, 1%, 2%, 그리고 4%로 배합하였다. 한편, 고강도 콘크리트 700kgf/cm²는 타설시 작업성의 문제로 인하여 원하는 강도를 얻지 못한 것으로 판단된다.

3. 실험방법

3.1 재료적 동적물성

본 연구에 사용하는 재료적 동적물성의 규명을 위해 공명진동실험을 실시하였다. 이는 KS F 2437에 규정된 실험방법이며 ASTM C215, JIS A 1127-1976등에 의해 규정되어 있는 실험과 유사하다. 양단을 자유단으로 하여 종파(longitudinal waves)와 비틀림파(torsional waves)에 의한 1차 공진주파수를 이용하여 파의 속도와 동탄성 계수, 동전단탄성계수를 구하고 이를 이용하여 동푸아송비를 구하였다. [6] 재료적 감쇠비를 측정하기 위해 Polynominal Curvefitting Method을 이용하여 감쇠비를 측정하였다.

3.2 1차 공진주파수와 구조적감쇠비

RC보시험체의 구조적 감쇠비를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 진동시 자유롭게 회전할 수 있도록 상·하단에 베어링을 장착한 지점부를 제작하였다. 이 지점부에 RC보시험체를 거치한 후 Fig 3.2과 같이 중앙지점에 가속도계를 설치하고 중앙상부에서 충격해머로 가진하여 진동을 유발시켜 가속도의 시간이력을 얻는다. 이때 충격해머

는 고주파인 응력파의 영향을 최소화하기 위하여 저주파 특성에 맞는 고무 Tip을 이용하였다. 일반적으로 자유진동실험에서는 수직변위를 측정하지만 본 실험에서는 측정이 용이한 가속도를 이용하였다.

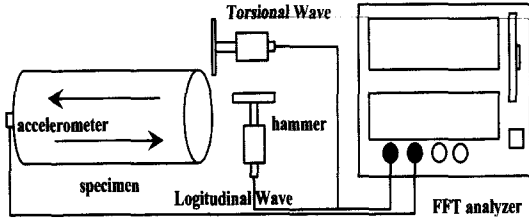


Fig. 1 Resonance Test

이와같이 구한 가속도 시간이력으로부터 FFT Analyzer 를 이용하여 전이함수의 진폭스펙트럼을 구하여 고유주파수와 1차 공진주파수에 대하여 Half-Power Bandwidth 방법을 이용하여 감쇠비를 측정하였다. 이러한 전이함수의 진폭스펙트럼은 가속도에 감지된 이력을 충격해머의 이력으로 나눔으로써 충격해머에 의한 Source의 영향을 최소화하기 위함이다.

다음 단계로 보시험체에 5단계의 하중, 즉 250kgf, 500kgf, 750kgf, 1,000kgf, 그리고 1,250kgf의 정적하중을 가하여 보시험체에 균열을 발생시킨 후 손상된 보시험체의 거동양상, 1차 공진주파수와 감쇠비의 변화를 각각 비교·분석하였다. 하중단계는 보시험체로 정적실험을 실시하여 최초균열발생시점과 파괴하중을 조사한 후 250kgf간격의 5단계의 하중을 결정하였다. 또한, 각 단계의 하중을 가할 때 변위계와 Clip게이지를 부착하여 처짐과 균열폭을 측정하여 보시험체의 손상정도에 대한 척도로 이용하였다.

3.3 구조물의 손상도

일반적으로 구조물이 손상된 경우 단면의 성질에 변화가 생기게 된다. 1차 공진주파수는 지지조건, 재료조건, 단면형상등 여러가지 조건에 의해 영향을 받으나 단순보의 경우는 단면의 강성이 1차 공진주파수에 가장 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 시험체의 손상에 따른 1차 공진주파수의 변화에 주목하여 손상지수에 의한 구조물의 손상도를 측정하였다. 손상지수(Damage Index)

란 구조물의 건전도 평가시 제안된 계수로서 시공 직후의 손상지수에 의한 구조물의 손상도를 측정하였다. 손상지수(Damage Index)란 구조물의 건전도 평가시 제안된 계수로서 시공 직후의 손상되지 않은 상태의 1차 공진주파수와

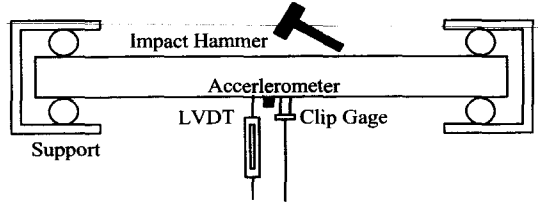


Fig. 2 Schematic Diagram for Vibration Test

손상 후의 구조물의 1차 공진주파수를 측정함으로써 얻어지고 일반적으로 다음 식(3.1)과 같다.

$$D_I = 1 - \frac{\omega_D^2}{\omega_N^2} \quad (3.1)$$

여기서, ω_N 은 시공직후의 손상되지 않은 구조물의 1차 공진주파수이고, ω_D 는 손상된 구조물의 1차 공진주파수이다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 종진동시험

일반적으로 파의 속도는 함수량과 밀접한 관계가 있으므로 실내에서 3일간 건조시킨 공시체를 파의 진행방향의 횡방향변형에 자유롭도록 중앙 지점에 부드러운 스티어로폼으로 지지시킨 후 양단을 자유단으로 하여 한 쪽 끝을 충격해머로 가진한다. 충격해머로 가진된 파는 공시체의 양끝단에서 반사되어 길이방향으로 왕복운동을 하며 공진상태가 유발된다. 여기서 1차 공진주파수를 구하여 파의 속도와 동탄성계수를 구할 수 있다. Fig. 3에서 보면 압축강도가 증가함에 따라 1차 공진주파수도 증가하고, 따라서 종파의 속도도 같은 비율로 증가하는 경향을 보이고 있다. Fig. 4는 8가지 배합으로 제작된 공시체에 종진동을 가하여 얻은 전이함수의 진폭스펙트럼과 1차공진주파수이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 강도가 커짐에 따라 1차 공진주파수가 크게 나타남을 알 수 있다. 즉, 압축강도 253kgf/cm²인 ST(폴리스티어로폼)공시체의 1차 공진주파수보다 압축강도

499kgf/cm²인 H45(고강도콘크리트)공시체의 1차 공진주파수가 큰 것으로 조사되었다.

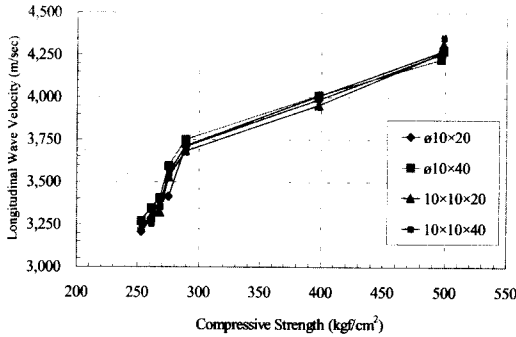
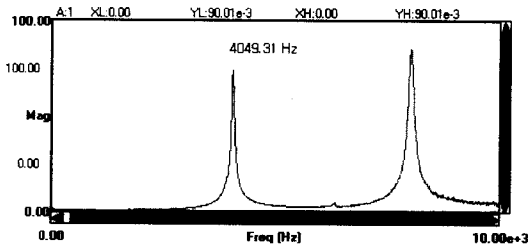
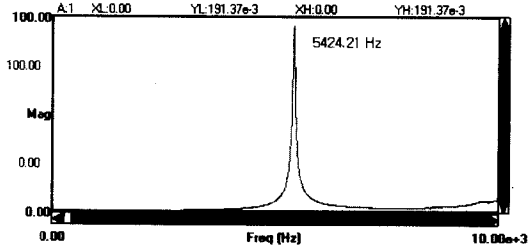


Fig. 3 Longitudinal Wave Velocity and Compressive Strength



(1) Transfer Fn. Magnitude Spectrum ST-D



(2) Transfer Fn. Magnitude Spectrum H45-D

Fig. 4 Transfer Fn. Magnitude Spectrum of Longitudinal Resonance Test

4.2 비틀림진동시험

비틀림진동시험은 종진동시험과 마찬가지로 중앙지점에 부드러운 스타이로폼으로 지지시킨 후 한쪽 끝단에 Fig. 5와 같은 무게가 가벼운 알루미늄으로 제작한 Tip을 부착한 후 끝단을 충격해머로 가진하였다. 이와 같이 가진된 비틀림파의 전이함수의 진폭스펙트럼을 살펴보면 Fig. 7처럼 일정한 간격으로 두개의 피크가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이 두 개의 피크점은 비틀림진동시

발생한 휨진동과 비틀림진동이 뒤섞인 결과로 추측할 수 있었다. 휨진동을 제거하기 위하여 Fig. 6 1)과 같이 공시체의 한 쪽 끝단에 두 개의 가속도계를 부착한 후 비틀림진동을 발생시킨다. 비틀림파는 Fig. 6 2)에서 보는 바와 같이 공시체 단면을 따라 원을 그리며 진행하나 휨진동파는 Fig. 6 3)과 같이 수직방향으로 진행한다. 이 때 비틀림파는 1,2번 가속도계에 각 다른 방향의 신호로 감지되고 휨진동파는 같은 방향의 신호로 감지된다. 따라서 1번 가속도계에서 감지된 신호와 2번 가속도계에서 감지된 신호의 차이는 휨진동파는 제거되고 비틀림파만 진폭이 2배가 되면서 나타나게 된다. Fig. 8은 이러한 과정을 거쳐서 얻은 순수한 비틀림파의 전이함수의 진폭스펙트럼이고 Fig. 9는 이 두가지 그림을 겹쳐서 그린 것이다.

위와 같은 과정을 거쳐서 얻은 공시체의 전이함수의 진폭스펙트럼을 Fig. 11에 제시하였다. 여기서 얻은 1차 공진주파수도 종파와 마찬가지로 Fig. 10과 같이 압축강도에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다.

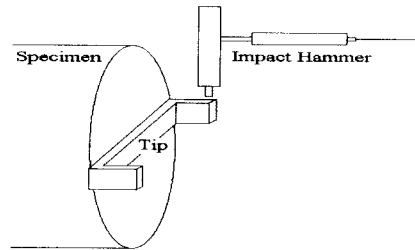


Fig. 5 Excitation of Torsional Wave

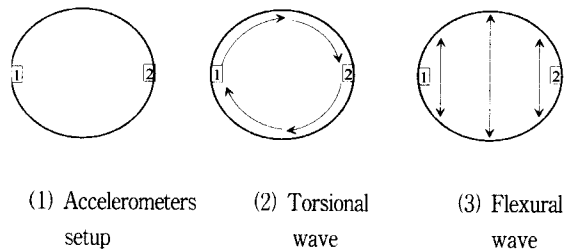


Fig. 6 Torsional Resonance Test

4.3 동탄성계수, 동전단탄성계수와 동푸아송비

종파의 1차공진주파수와 비틀림파의 1차공진주

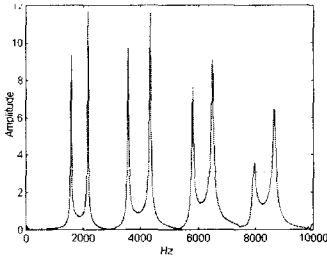


Fig. 7 Transfer Fn. Magnitude spectrum of Torsional Wave

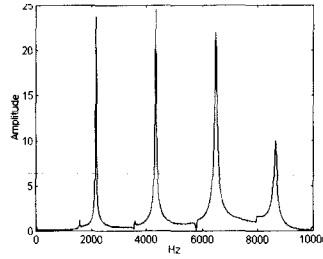


Fig. 8 Transfer Fn. Magnitude Spectrum of Torsional Wave Using Subtraction of Two Accelerometers

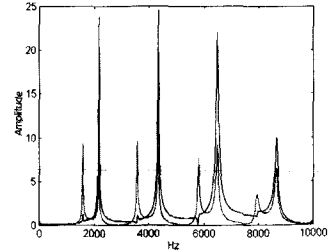


Fig. 9 Torsional wave and Flexural wave

파수를 이용하여 동탄성계수와 동전단탄성계수, 동푸아송비를 계산할 수 있다. Fig. 12와 13에서 보는 바와 같이 압축강도가 증가함에 따라 동탄성계수와 동전단탄성계수도 증가하는 경향을 알 수 있었다. 일반적으로 탄성계수는 KS에 규정

강도별로 보다 많은 공시체를 제작한다면 보다 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있으리라 판단된다.

4.4 재료적 감쇠비

Fig.13-1에서 보는 바와 같이 감쇠비는 압축강도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내고, 또한 Fig. 14와 같이 제진재 즉, 폴리스타이로폼, 플라스틱레진, 고무분말, 라텍스를 혼입한 시험체가 일반 콘크리트나 고강도 콘크리트에 비해

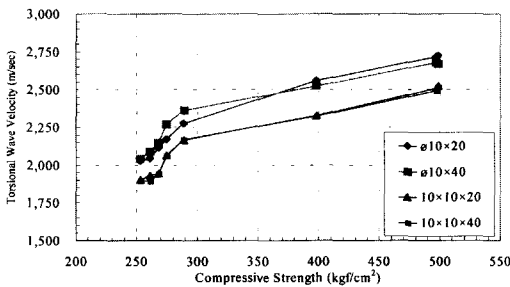
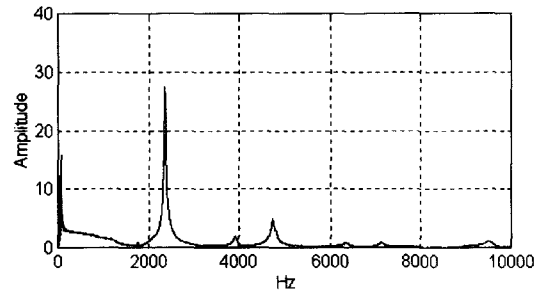


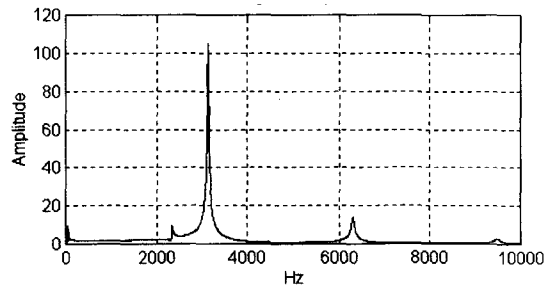
Fig. 10 Torsional wave velocity and compressive strength

된 정적실험으로도 측정할 수 있다. 동탄성계수와 정적탄성계수가 같은 변형범위에서 측정되었다면 두 값은 거의 일치하는 경향을 보인다고 알려져 있다.[8] 한편, 동푸아송비는 동탄성계수와 동전단탄성계수와는 달리 Table 3에서 보는 바와 같이 압축강도에 비례하지 않는 것으로 판단되었다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 공명진동시험을 통하여 콘크리트의 물성을 측정할 수 있었다. 그러나 일반적으로 파의 속도는 수분함유량, 온도, 습도 그리고 시험체의 형상등에 따라 영향을 받기 쉽다. 따라서 수많은 실험을 통하여 이러한 인자들에 대한 관계를 규명한다면 공명진동시험을 통해 압축강도는 물론 탄성계수와 푸아송비등 재료의 물성을 정적실험과는 달리 손쉽게 반복적으로 측정할 수 있으리라 생각된다. 또한 재료적 동적물성과 압축강도의 관계에서 여러가지 압축



(1) Transfer Fn. Magnitude Spectrum ST-D



(2) Transfer Fn. Magnitude Spectrum H45-D

Fig. 11 Transfer Fn. Magnitude Spectrum of Torsional Resonance Test

Table 3 Dynamic Poisson's Ratio

Specimen	A-Type φ 10×20	B-Type φ 10×40	C-Type 10×10×20	D-Type 10×10×40
NR	0.33	0.26	0.22	0.24
ST	0.25	0.29	0.22	0.24
PR	0.29	0.28	0.23	0.25
RP	0.29	0.27	0.23	0.26
LT	0.24	0.26	0.24	0.26
H35	0.21	0.26	0.22	0.26
H45	0.24	0.29	0.24	0.26
H70	0.23	0.25	0.22	0.24

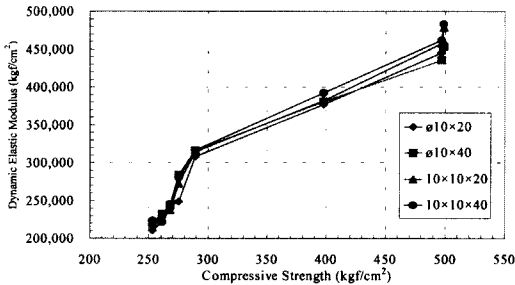


Fig. 12 Dynamic Elastic Modulus and Compressive strength

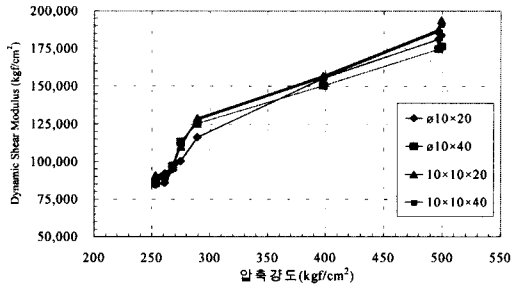


Fig. 13 Dynamic Shear Modulus and Compressive Strength

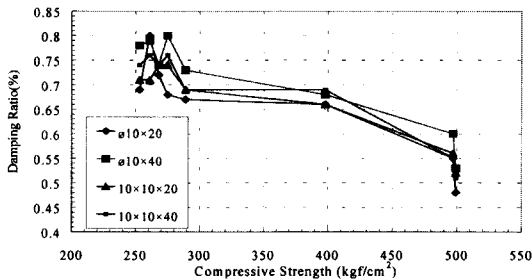


Fig.13-1 Compressive Strength and Damping Ratio

감쇠비가 큰 경향을 나타냈다. Fig. 14는 10×10×40공시체의 결과이고 각 공시체의 형태별로 대체로 같은 경향의 결과를 얻을 수 있었다. 이는 제진재료가 콘크리트내에서의 공극의 형태로 남아 콘크리트의 밀도를 감소시키고 이에 따라 압축강도가 저하되는 반면, 제진재의 영향으로 감쇠비의 증가현상이 나타났다고 판단된다.

4.5 1차 공진주파수와 구조적 감쇠비

Fig. 15와 Fig. 16에서 보는 바와 같이 하중단계가 증가함에 따라 균열폭은 완만하게 증가하다가 4단계 또는 5단계의 재하될 때 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 일반 콘크리트나 고강도 콘크리트 보시험체보다 제진재를 혼입한 보시험체가 보다 급격한 균열폭의 상승을 보였다. 이는 상대적으로 압축강도가 작은 이유도 있겠지만 배합시 혼입된 제진재가 양생중에 시험체 내부에서 공극으로 남아 철근과의 부착력이 떨어졌

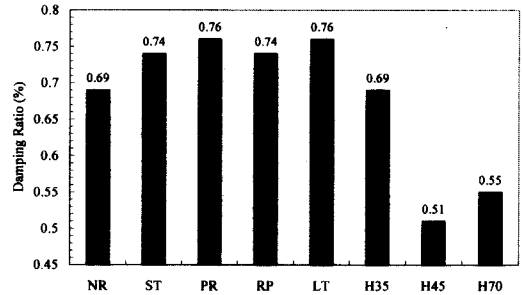


Fig. 14 Material Damping Ratio(10×10×40 Specimen)

다고 사료된다. 중앙지점의 변위는 모두 완만하게 상승하는 추세를 보였으나 역시 일반 콘크리트나 고강도 콘크리트 보시험체보다 제진재를 혼입한 보시험체가 보다 상대적으로 급격한 변위의 상승을 보였다.

Table 4와 Fig. 17은 하중단계별 1차 공진주파수와 감쇠비의 변화를 나타낸 것이다. 먼저 하중단계가 증가함에 따라서, 즉 보의 손상도가 커질수록 1차 공진주파수는 점차로 감소하는 경향을 나타냈고 감쇠비는 증가하는 경향을 보였다. 구조물이 손상되는 경우 단면의 성질에 변화가 생기게 된다. 구조물의 1차 공진주파수는 지지조건, 재료조건, 단면형상등 여러 가지 조건에 의해

영향을 받으나 본 연구와 같이 대상물이 단순보 시험체의 경우는 단면의 강성이 1차 공진주파수에 가장 큰 영향을 미친다. 단면의 강성은 탄성계수와 단면 2차모멘트로 구성되는데 탄성계수가 일정하므로 단면 2차모멘트의 변화가 1차 공진주파수의 감소를 초래하는 것으로 판단된다. 또한

감쇠비는 균열이 발전함에 따라 균열이 열리고 단함으로써 생기는 마찰감쇠에 의한 열에너지의 발생으로 인해 감쇠비가 증가하는 것으로 판단된다. 그러나, Fig. 14의 재료적 감쇠비 결과처럼 제진재를 혼입한 보시험체들의 감쇠비가 일반콘크리트나 고강도 콘크리트 보시험체의 감쇠비 보

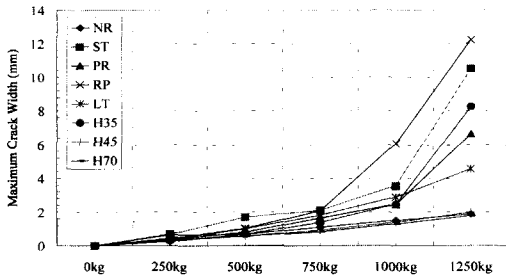


Fig. 15 Maximum crack width of middle point on beam specimen for load steps

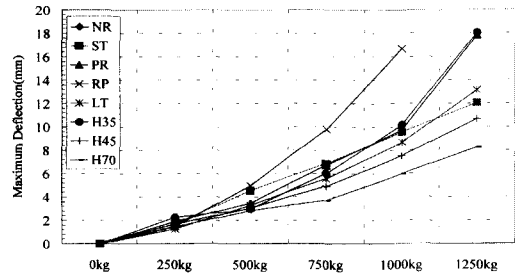


Fig. 16 Maximum deflection of middle point on beam specimen for load steps

Table 4 1st Resonance Frequency and Structural Damping Ratio for Stepwise Load

Specimen		NR		ST		PR		RP	
Material Damping Ratio		0.69%		0.74%		0.76%		0.74%	
Structural Dynamic Property	Load Steps	1st Resonance Frequency (Hz)	Damping (%)	1st Resonance Frequency (Hz)	Damping (%)	1st Resonance Frequency (Hz)	Damping (%)	1st Resonance Frequency (Hz)	Damping (%)
	0kgf	40.49	3.05	31.63	2.15	37.51	1.62	40.89	1.39
	250kgf	38.61	3.15	31.41	2.28	37.04	1.69	37.52	1.60
	500kgf	38.61	3.66	30.88	2.43	36.53	1.74	36.32	1.95
	750kgf	38.61	3.79	29.83	2.89	36.17	1.89	35.35	1.95
	1,000kgf	38.09	3.79	28.85	2.90	35.81	1.95	32.54	2.03
	1,250kgf	37.17	4.23	23.50	3.54	32.36	2.22	27.11	2.05

Specimen		LT		H35		H45		H70	
Material Damping Ratio		0.76%		0.69%		0.51%		0.55%	
Structural Dynamic Property	Load Steps	1st Resonance Frequency (Hz)	Damping (%)	1st Resonance Frequency (Hz)	Damping (%)	1st Resonance Frequency (Hz)	Damping (%)	1st Resonance Frequency (Hz)	Damping (%)
	0kgf	43.42	1.85	42.67	1.54	48.66	1.08	47.78	1.17
	250kgf	41.38	1.93	40.69	1.56	44.16	1.78	47.15	1.32
	500kgf	40.26	1.99	39.05	1.57	42.57	2.15	42.48	1.71
	750kgf	39.45	2.03	38.13	1.71	41.01	2.36	42.01	1.69
	1,000kgf	39.02	2.25	37.80	1.79	40.63	2.37	41.49	1.74
	1,250kgf	38.20	2.29	35.44	1.92	40.21	4.47	41.19	1.85

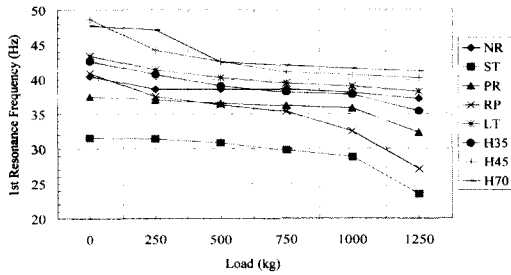


Fig. 17 1st Resonance Frequency for Stepwise Load

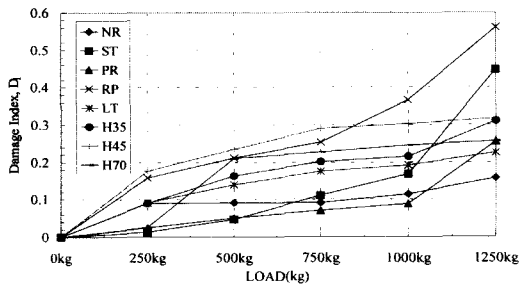


Fig. 18 Damage Index(DI) for Stepwise Load

다 크다는 결과를 얻을 수는 없었다. 이는 재료적 감쇠의 미소한 차이가 구조적 감쇠에는 큰 영향을 미치지 않았거나 내부미소균열발생여부, 지점부의 영향, 시험체 내부의 철근의 영향등의 원인으로 생각되며 추후에 보다 심도있는 보완연구가 수행되어야 한다고 생각된다

4.6 구조물의 손상도

본 연구에서 구조물의 손상도를 평가하기 위하여 손상지수를 사용하였다. 손상지수는 식(3.1)과 같이 계산할 수 있다. 따라서 손상지수는 구조물의 손상이 커짐에 따라 커진다. Fig. 18에서 보는 바와 같이 손상지수는 하중이 커짐에 따라 작아지는 경향이 나타났다. 또한 일반 콘크리트나 고강도 콘크리트에 비해 제진재 혼입 콘크리트가 보다 큰 기울기로 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 하중단계 4~5단계부터는 제진재 혼입 콘크리트의 손상지수가 큰 기울기로 급격히 커지는 경향이 나타났다.

5. 결 론

본 연구의 목적은 증가 일로에 있는 사회기반 시설의 건설에 따른 진동문제를 재료적 측면에서 감소시킬 수 있는 건설재료를 개발하여 동적실험을 통해 이에 대한 물성을 구해보고 이를 실제 구조물에 이용한 단순보를 제작하여 이에 따른 영향을 연구하는 것이다. 또한 비교·분석을 위해 일반 콘크리트 시험체와 보시험체도 추가로 제작하였다. 제1단계로 페타이어나 페플라스틱을 원료로 한 제품을 제진재로 이용하여 공시체를 제작하여 공명진동시험을 통해 동적물성을 측정하였으며 제2단계로 같은 재료로 RC보시험체를 제작하여 자유진동시험을 통해 1차 공진주파수와 구조적 감쇠비를 측정하였다. 본 실험연구의 결론 및 필요한 추후연구과제는 다음과 같다.

1) 동적실험, 즉 공명진동시험으로 일반 콘크리트, 제진재 혼입콘크리트와 고강도 콘크리트의 재료적 동적물성을 측정하였고 제진재 혼입 콘크리트의 재료적 감쇠비 증가현상을 확인할 수 있었다. 또한 각 재료적 동적물성과 압축강도의 관계에 있어서 각 압축강도별로 더 많은 공시체의 실험결과를 통하여 관계를 정립한다면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 판단된다.

2) 제진재료가 콘크리트내에서의 공극의 형태로 남아 콘크리트의 밀도를 감소시키고 이에 따라 압축강도가 저하되는 반면, 제진재의 영향으로 감쇠비의 증가현상이 나타났다.

3) 위와 같은 결론에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서는 같은 압축강도하에서 일반 콘크리트와 각종 제진재 혼입 콘크리트의 비교실험이 수행되어야 한다고 판단되나 제진재의 혼입량에 따라 일정한 압축강도를 얻기가 매우 어려웠고 이에 따른 수많은 배합실험이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

4) RC보시험체는 하중단계에 따라, 즉, 손상 정도에 따라 1차 공진주파수는 감소하고 감쇠비는 증가하는 경향이 나타났다. 이는 보시험체 손상시 단면특성과 강성의 변화에 따른 영향이고 감쇠비는 발생된 균열이 개폐를 거듭 반복함에 따라 에너지가 열에너지로 발산되기 때문으로 판단된다.

5) 구조물의 손상지수-감쇠비의 변화에 따른 손상정도를 추정할 수 있는 가능성을 확인하였고

추후에 많은 연구를 통해 이론적인 확립이 필요할 것으로 판단된다.

6) 그러나, RC보 시험체의 자유진동실험을 통해 제진재의 감쇠비 증가에 따른 진동역제 효과를 확인할 수 없었다. 이는 재료적 감쇠비의 미소한 차이가 구조적 감쇠비에는 큰 영향을 미치지 않았거나 내부미소 균열발생 여부, 지점부의 영향, 시험체 내부의 철근의 영향 등의 원인으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 한국과학재단 핵심전문연구과제(과제번호: 981-1202-005-1)에 의해 수행되었으며, 이에 감사의 마음을 표합니다.

참고문헌

1. 백영식, 심재수, 정영수, 1996, "진동공해 예측과 방지 기술에 관한 연구, 특정연구과제 2차 중간보고서," 한국과학재단, 1996.
2. 정영수, 이대형, 최우성, "진동제어 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구(I)," 한국 콘크리트 학회지 논문집, 제 8권, 5호, 1996. 8.
3. 조효남, 장동일, "농업토목 수리구조물 안전도 평가 시스템 개발," 농업진흥공사, 1989
4. 최우성, 이대형, 정영수, "진동제어 콘크리트 보의 하중 단계에 따른 동적 특성에 관한 실험적 연구," 한국 콘크리트학회 학술발표회 논문집, Vol. 9, No.1, 1997. 5.
5. 최우성, "진동제어 콘크리트 패널의 제진 성능 평가에 관한 연구," 중앙대학교 토목공학과 대학원 석사학위논문, 1997. 12.
6. 한국산업규격, "공명진동에 의한 콘크리트의 동탄성계수, 동전단 탄성계수 및 동 포아송비의 시험

- 방법", 한국공업진흥청, 1990.
7. Anil K.Chopra., "Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthq. Eng.," Prentice-Hall, 1995.
 8. Brad B. Watson, James A. Bay, Kenneth H. Stokoe, II, and David W. Fowler, "Is There a Difference Between "Static" and "Dynamic" Moduli of Concrete", The University of Texas at Austin.
 9. Clough, R. W., and Penzien, J., "DYNAMICS OF STRUCTURES," McGraw-Hill, Inc., 1993.
 10. Cyril M. Harris, "Shock and Vibration Handbook," McGraw-Hill, Inc., 1961.
 11. Kenneth G. McConnell, "Vibration Testing : theory and practice," John Wiley Inter Science.
 12. J.R. Hall, and R.D. Woods, "Vibration of soils and foundations", Prentice-Hall, 1970.
 13. Paz, M., "Structural Dynamics : theory and computation," VAN NOSTRAND REINHOLD, 626p.
 14. ASTM C 597-71, Standard Method of Test for Pulse Velocity Through Concrete.
 15. ASTM C 215-85, Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequency of Concrete Specimen.
 16. 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弹性係数, 動せん断弹性係数及び動ポアソン比實驗方法", 1996.
 17. 大崎順彦, "地震動のスペクトル解析入門," 島出版 1994, 299p.

요 약

본 실험적 연구에서는 동적신호분석기를 사용하여 고강도 콘크리트 재료의 1차 공명진동수, 동탄성계수, 동전단탄성계수, 감쇠비 및 동포아송비등의 재료의 동적물성값을 실험적으로 규명하였다. 선정된 배합비에 따라 제작된 고강도 콘크리트 시험체의 압축강도 실험후 1st Natural Frequency, 동탄성계수, 동전단탄성계수, 동포아송비와 같은 역학적 성질들을 공명주기법을 이용한 비파괴 실험을 실시하여 그 결과로부터 동탄성계수 및 동전단탄성계수, 재료적 감쇠비를 파악하기 위하여 공명진동실험을 수행하였다. 또한 구조적 감쇠비와 고유주파수등을 규명하기 위하여 각 배합별로 15×10×240cm 의 RC보시험체를 제작하여 자유진동시험을 실시하여 주파수영역에서 Half-Power Bandwidth방법으로 측정하였다. 그리고 정적하중으로 RC보시험체에 균열을 발생시킨 후 하중단계별 고유진동수, 감쇠비등을 조사하여 손상정도에 따른 변화를 비교, 분석하였다. 실험결과 동적실험, 즉 공명진동실험으로 고강도 콘크리트와 제진재 혼입콘크리트의 재료적 동적물성을 측정하였고 강도증가에 따라 재료적 감쇠비 감소현상을 확인할 수 있었다. RC보시험체는 하중단계에 따라, 즉 손상정도에 따라 고유진동수는 감소하고 구조적 감쇠비는 증가하는 경향이 나타났다.

(접수일자 : 1999.2.2)