

공명진동시험을 통한 재활용재 혼입 콘크리트의 동적 물성치 측정

Resonance Test for Dynamic Physical Properties of Concrete with Recycling Materials

박 용 구
Park, Yong Goo

정 영 수**
Chung, Young Soo

ABSTRACT

Most previous wave tests for concrete have been done to evaluate static material properties, and thus there are less works to investigate dynamic material characteristics of concrete, which should be few in Korea.

The objective of this experimental work is to investigate dynamic material characteristics of concrete, such as dynamic elastic modulus, dynamic shear modulus, first resonant frequency, dynamic poisson's ratio and etc. A dynamic Signal Analyzer has been used to perform the wave analysis for various dynamic material properties of test specimen. First Fourier transform technique has been carried out on various wave data acquired by the Resonant Column method, which is a kind of nondestructive tests. Wave analysis has been performed based on KS F2437, which is similar to ASTM C607-71 and is identical to JIS A 1127-1976.

Keyword : dynamic material characteristics, dynamic elastic modulus, dynamic shear modulus, first resonant frequency, dynamic poisson's ratio, damping ratio

1. 서 론

최근 들어 급격한 경제성장과 더불어 콘크리트 구조물이 점차적으로 대형화, 고층화되가는 추세에 있다. 이러한 경향에 부응하기 위해 콘크리트의 동적하중에 대한 물성치의 규명이 시급한 실정이다. 그러나, 동적하중을 받는 각종 콘크리트 구조물의 설계시 반영하는 재료적인 물성값은 정적설계시에 사용한 값들을 검증없이 사용하고 왔는 추세이며, 이에 관련된 실험적인 연구결과는 국내는 거의 전무하며 국외에서도 미흡한 실정이다.

공진실험은 이러한 콘크리트의 재료적인 동적물성치를 구하기 위한 기초적이고 일반적인 방법으로

* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

KS F 2437, ASTM C215, JIS A 1127-1976등에 의해 규정되어 있는 실험과 유사하다. 본 실험에서는 공진실험으로부터 콘크리트 공시체의 동적물성치, 즉 동탄성계수, 동전단탄성계수, 동포아송비, 재료적 감쇠비등을 구하여 그 결과를 비교분석하여 재료특성에 따른 물성치 변화를 알아보고자 한다.

2. 공진실험

2.1 종진동시험(longitudinal resonance test)

종진동시험은 FFT Analyzer를 이용하여 충격해머에 의해서 가진 된 종파의 가속도곡선으로부터 Frequency Spectrum곡선을 구하고, 이로부터 1차공명진동수를 측정하고 종파의 속도는 $V_C = f_1 \lambda = f_1 2L$ 으로 알 수 있다. 종파에 의한 동탄성계수(E_D)는 아래 식과 같이 1차공명진동수를 이용하여 산출할 수 있다. 이와 같이 하여 구한 동탄성계수는 정하중에서 구한 응력-변형률도에서 얻은 초기탄성계수에 해당하는 것으로 알려져 있다.

$$E_D = C_1 W f_1^2 \tag{1}$$

여기서, f_1 은 종파의 가속도곡선의 1차공명진동수이고, W 는 시험체의 중량,

$C_1 = 408 \times 10^{-5} \frac{L}{A}$, (s^2/cm^2), L 은 시험체의 길이, A 는 시험체의 단면적이다.

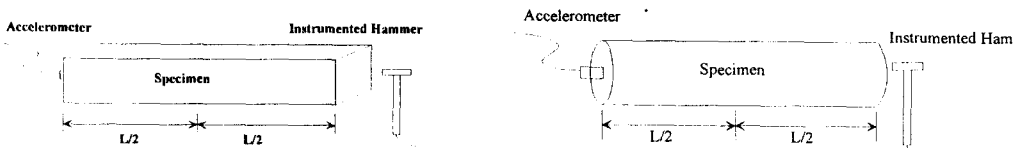


그림 1 종진동시험

2.2 비틀림진동시험(torsional resonance test)

비틀림진동시험은 종진동시험과 마찬가지로 FFT Analyzer를 이용하여 충격해머에 의해서 가진 된 비틀림파의 가속도곡선으로부터 Frequency Spectrum곡선을 구하고, 이로부터 1차공명진동수를 측정하고 비틀림파의 속도는 $V_S = f_2 \lambda = f_2 2L$ 으로 알 수 있다. 비틀림파에 의한 동전단탄성계수(G_D)는 아래식과 같이 1차공명진동수를 이용하여 산출할 수 있다.

$$G_D = C_2 W f_2^2 \tag{2}$$

여기서, f_2 은 비틀림파의 가속도곡선의 1차공명진동수이고, W 는 시험체의 중량, $C_2 =$

$408 \times 10^{-5} \frac{LR}{A}$, (s^2/cm^2), L 은 시험체의 길이, A 는 시험체의 단면적이고, R 은 형상계수로 원주형

공시체는 1, 각주형 공시체는 $\frac{a/b + b/a}{4a/b - 2.52(a/b)^2 + 0.21(a/b)^2}$ 이고, 여기서, a 와 b 는 각주의 단면의 폭과 높이이고 $b > a$ 이다. 단, 정사각형일때는 1.183이다.

위 실험으로부터 구해진 동탄성계수와 동전단탄성계수로부터 다음 식을 이용하여 동포아송비를 계산할 수 있다.

$$\mu_D = \frac{E_D}{2G_D} - 1 \quad (3)$$

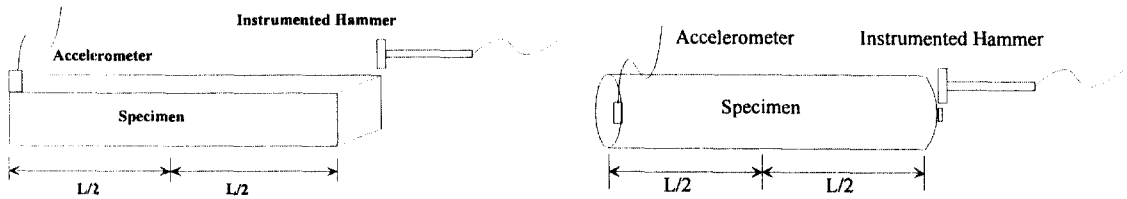


그림 2 비틀림진동시험

2.3 감쇠비 측정

공진시험에서 시험체의 종진동파의 Frequency Spectrum곡선에서 Polynominal Curve Fitting 방법으로 감쇠비를 측정하였다.

2.4 공시체 압축강도실험

콘크리트시험체는 8가지 배합으로 길이와 형태를 각각 다르게 하여 배합당 $\phi 10 \times 20$ 원주형공시체, $\phi 10 \times 40$ 원주형공시체, $10 \times 10 \times 20$ 각주형공시체, $10 \times 10 \times 40$ 각주형공시체를 각각 3개씩 제작하였으며 압축강도용 공시체를 추가로 6개를 제작하였다. 또한, 제진용 결합재로써 라텍스(Latex), 고무분말(Rubber Powder), 플라스틱 레진(Plastic Resin), 그리고, 폴리스타이로폼(Poly Styrofoam)을 사용하여 각 시험체에 따른 감쇠비 및 공진주파수등의 재료적 동적물성값을 측정하여 보았고, 일반콘크리트와 압축강도 $350\text{kg}/\text{cm}^2$, $450\text{kg}/\text{cm}^2$ 그리고, $700\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 고강도 콘크리트시험체를 제작하여 강도별 공진주파수와 감쇠비의 변화를 측정해보았다.

표 1 공시체별 배합비 및 압축강도

배합명	압축강도 (kg/cm^2)	굵은골재 최대치수 (mm)	배합비						
			굵은골재 (kg)	잔골재 (kg)	시멘트 (kg)	물 (kg)	V-C (kg)	혼화제(kg)	
								고성능감수제	실리카흄
NR	238	19	1144	717	350	168	-	5.25	-
ST	111	19	1119	704	332.5	168	3.3 (1%)	6.50	-
RP	103	19	1119	704	346.5	168	3.5 (1%)	3.50	-
PR	106	19	1103	694	343	168	7 (2%)	4.90	-
LT	178	19	1106	694	322	168	28 (8%)	4.20	-
H35	382	19	1052	766	389	175	-	-	-
H45	550	19	1065.9	741.3	462.8	166.6	-	3.70	-
H70	540	19	19mm	668	552	160	-	13.8	82.6
			13mm						

3. 실험결과 및 고찰

그림 3과 그림 4는 대표적인 종진동파와 비틀림진동파의 Frequency Spectrum곡선이다.

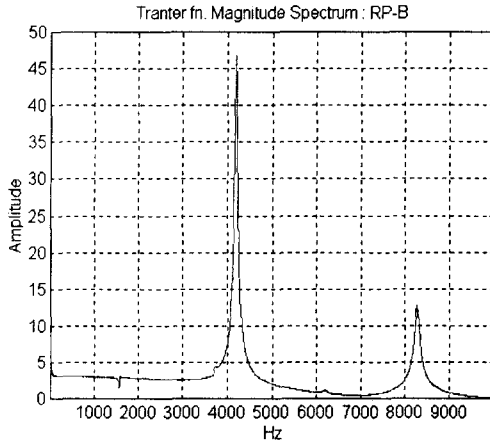


그림 3 종진동파의 Frequency Spectrum

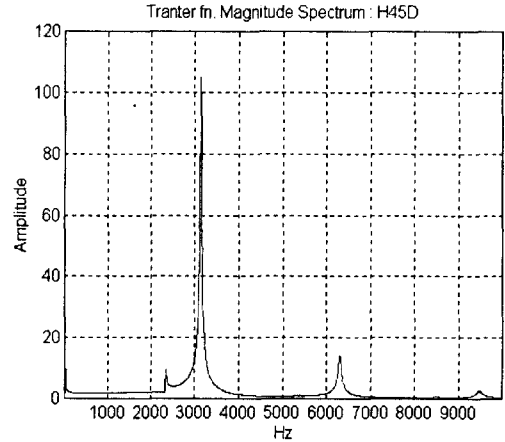


그림 4 비틀림진동파의 Frequency Spectrum

위 결과에서 보는 바와 같이 공진실험을 통하여 콘크리트의 동적물성값들을 측정할 수 있었다.

표 2, 3과 그림 5, 6에서 보는 바와 같이 공시체의 강도가 증가함에 따라 종진동파 비틀림진동의 1차 공진주파수는 증가하고 있음을 알 수 있었고, 위에서 식으로 제시한 바에 따라 종파와 비틀림파의 속도도 증가하는 결과를 얻었다. 따라서 위 결과에서 보는 바와 같이 공진실험을 통하여 콘크리트의 동적물성값들을 측정할 수 있었다. 또한 감쇠비 측정결과 제진용 결합재가 첨가된 시험체가 일반콘크리트나 고강도콘크리트시험체보다 다소 높은 감쇠비를 나타내고 있고 강도가 증가함에 따라 감쇠비는 감소하고 있음을 나타낸다. 이러한 공진실험을 통해 공시체를 파괴하지 않고 압축강도를 추정할 수 있고 한 개의 공시체로 장기간 강도가 증가되는 상태를 조사할 수도 있다.

표 2 $\phi 10 \times 40$ 원주형 시험체의 결과치

시험체	길이 (cm)	1st Frequency(Hz)		Poisson's Ratio, μ_D	Damping Ratio(%)
		종파	비틀림파		
NR-B	40.53	4627.71	2914.58	0.26	0.73
ST-B	40.58	4029.16	2513.05	0.29	0.78
PR-B	40.45	4134.46	2581.16	0.28	0.79
RP-B	40.60	4194.66	2645.94	0.27	0.74
LT-B	40.33	4456.69	2812.36	0.26	0.80
H35-B	40.49	4950.62	3115.06	0.26	0.68
H45-B	40.61	5266.51	3284.94	0.29	0.53
H70-B	40.80	5180.65	3281.15	0.25	0.60

표 3 $10 \times 10 \times 40$ 각주형 시험체의 결과치

시험체	길이 (cm)	1st Frequency(Hz)		Poisson's Ratio, μ_D	Damping Ratio(%)
		종파	비틀림파		
NR-D	40.20	4616.50	2697.90	0.24	0.69
ST-D	40.13	4049.31	2361.13	0.24	0.74
PR-D	40.23	4046.19	2352.06	0.25	0.76
RP-D	40.20	4176.19	2420.03	0.26	0.74
LT-D	40.14	4425.46	2567.81	0.26	0.76
H35-D	40.19	4986.24	2890.22	0.26	0.69
H45-D	40.14	5424.21	3135.98	0.26	0.51
H70-D	40.14	5319.30	3105.34	0.24	0.55

NR - **A**
배합명 형태

A $\phi 10 \times 20$ 원주형공시체
B $\phi 10 \times 40$ 원주형공시체
C $10 \times 10 \times 20$ 각주형공시체
D $10 \times 10 \times 40$ 각주형공시체

표 4 동탄성계수(kgf/cm²)

Specimen	A-Type	B-Type	C-Type	D-Type
NR	307904.3	315628.5	314191.9	316274.7
ST	210548.3	220255.3	221978.8	222988.9
PR	221467.0	232037.4	226738.8	221211.7
RP	243438.8	243959.9	237464.5	240055.8
LT	248510.8	284046	272042.1	280327.6
H35	376641.3	380342.5	382025.7	392355.9
H45	457710.6	453822.4	478889.6	483390.4
H70	445004.1	435398	457508.3	462092.3

표 5 동전단탄성계수(kgf/cm²)

Specimen	A-Type	B-Type	C-Type	D-Type
NR	116107.70	125197.60	128806.20	127783.60
ST	84189.24	85683.97	90952.70	89690.37
PR	85744.63	90437.84	92200.72	88429.48
RP	94634.72	97069.99	96331.03	95362.57
LT	100158.40	113111.20	110011.80	111650.20
H35	155137.10	150587.40	156788.90	155948.20
H45	183863.40	176561.10	193695.10	191142.10
H70	181313.10	174650.60	187674.60	186304.30

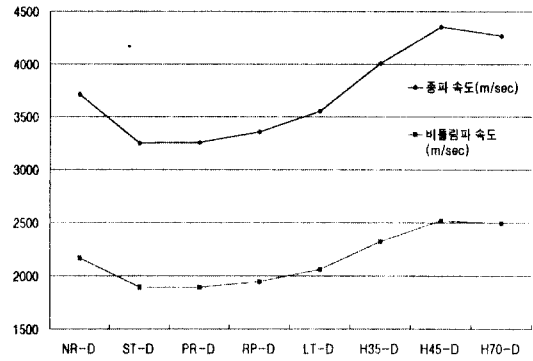
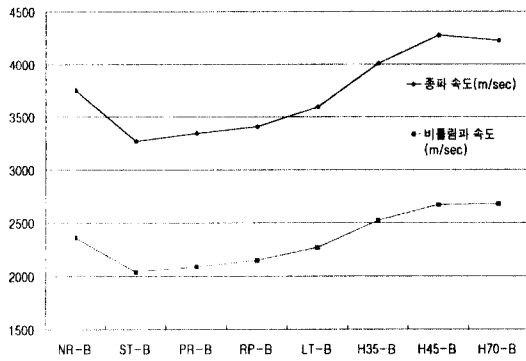


그림 5 종파와 비틀림파의 속도변화

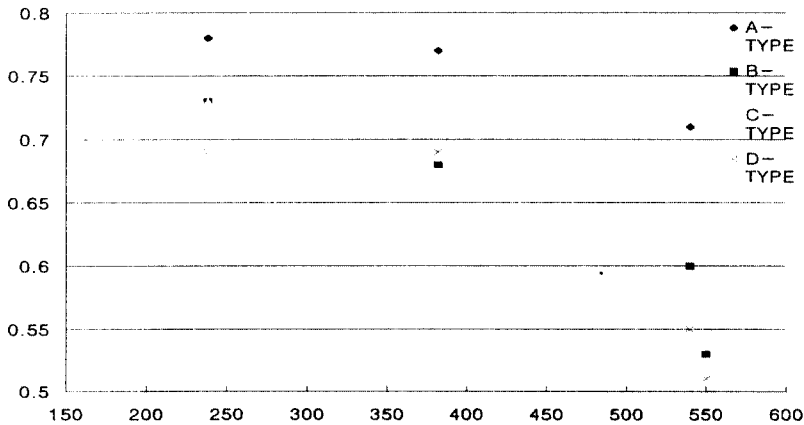


그림 6 압축강도별 감쇠비의 변화

4. 결 론 및 추후연구과제

위 결과에서 보는 바와 같이 공진실험을 통해서 콘크리트의 동적물성치, 즉 동탄성계수, 동전단탄성계수, 동포아송비, 재료적 감쇠비등을 구할 수 있었다. 따라서 보다 용이하고 반복적으로 콘크리트의 물성치를 구할 수 있다. 하지만 본 물성치의 신뢰성을 위하여 보다 많은 공시체를 제작하고 공시체의 함수량이나 시험장소의 습도등의 환경적인 요인을 고려하여 많은 시험을 실시하여야 할 것이다.

또한 본 실험에서 구한 재료적 감쇠비 뿐만아니라 보 시험체를 제작하여 구조적 감쇠비를 측정하여 각 제진재 혼입 콘크리트와 고강도 콘크리트의 감쇠특성을 구하는 연구를 수행중이다.

5. 감사의 글

본 실험의 수행에 많은 도움을 주신 도로공사관계자 여러분께 깊은 감사를 드리며 본 연구는 한국 과학재단 핵심과제의 일환으로 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- 1) 한국산업규격, "공명진동에 의한 콘크리트의 동 탄성계수, 동 전단 탄성계수 및 동 포아송비의 시험 방법", 한국공업진흥청, 1990.
- 2) ASTM C 597-71, Standard Method of Test for Pulse Velocity Through Concrete.
- 3) ASTM C 215-85, Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequency of Concrete Specimen.
- 4) 日本工業規格, JIS A 1127-1976, "共鳴振動によるンコンクリトの剪斷彈性係數, 動せん斷彈性係數及び動ポアソン比實驗方法", 1996.
- 5) J.R. Hall, and R.D. Woods, "Vibration of soils and foundations", Prentice-Hall, 1970.
- 6) 정 영수, 이 대형, 최 우성, "진동제어 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구(I)," 한국콘크리트학회 학회지 논문집, 제 8권, 5호, 1996. 8.