

진동제어 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구

- Experimental Study on the Development of Vibration - controlled Concrete -

최 우 성¹⁾ 이 대 형²⁾ 정 영 수³⁾

Choi, Woo-Sung Lee, Dae-Hyoung Chung, Young-Soo

ABSTRACT

Construction activities and operation of transportation facilities have caused unfavorable effects such as civil petitions associated with vibration-induced damages or nuisances. The objective of this research is to develop vibration-controlled concrete containing foams, latex, rubber powders, plastic resins and etc as a concrete mixture. As the first step to achieve this research, preliminary mix designs have been carried out to find out an appropriate mix proportion above 200 kg/cm^2 in uniaxial compressive strength, and investigate their dynamic mechanical characteristics such as dynamic elastic moduli, material damping ratio, Poisson's ratio, resonant frequency and etc.

1. 서론

국내의 각종 사회기반시설의 확충과 1997년 건설 시장의 개방에 따른 국제환경의 변화에 대비하는 세계화의 운동은 점차 확대되면서 사회간접자본의 확충에 박차를 가하고 있다. 그러나 이러한 공사들을 실행하는데 있어서 어려움은 진동 및 소음 억제에 관한 것이다. 국내에는 이러한 문제를 규제하기 위한 적절한 진동규제기준이 전무한 형편이다. 따라서 본 연구의 목적은 증가일로에 있는 지하철 건설에 있어서 진동규제기준을 설정하고 진동을 감소시킬 수 있는 건설재료를 개발하는 것으로서 현재 당면하고 있는 시급하고 중요한 과제라 할 수 있다.

본 연구는 진동규제기준 설정에 관한 연구의 일부로서 진동을 다소나마 억제시킬 수 있는 방진 콘크리트 재료의 개발에 관한 것이다. 진동감쇄가 극대화될 수 있는 방진재료의 재료 및 구조적 특성을 연구하여 기존시설의 진동폐해 경감은 물론 앞으로 설계 시공될 지하철공사, 경전철 및 고속철도공사등의 진동규제가 필수적인 각종의 공사에 활용할 수 있는

방안을 모색하고자 한다. 또한, 본 연구가 성공적으로 완료되면 현재 여러 가지 사회문제 중의 하나인 폐기물 처리의 한 방안으로서 페타이어나 페폴라스틱을 방진재로 사용함으로써 폐기물의 재활용 차원에서 많은 도움이 되리라 기대된다. 페타이어나 페폴라스틱의 경우에도 추후에 연구를 계속할 계획이며 이들 재료의 경우 콘크리트와의 접착성이 문제가 되고 있으나 이러한 문제점을 시정한다면 좋은 방진 재료로서 상당히 이용가치가 높으리라 사료된다. 효과적인 방진 콘크리트 재료가 개발되면 이러한 Know-How는 최근의 건설시장 개방에 따른 효율적인 대비책의 하나로 생각될 수 있으며 장차에 건설될 고속전철 및 대도시의 지하철, 경전철등의 진동억제 방안에 관한 유용한 자료를 제시할 수 있으리라 생각된다.

2. 실험

2.1 개요

제진재료를 이용한 진동감쇄 효과가 있는 콘크리트의 개발을 위해서, 본 연구에서는 4종류의 방진재료를 사용하였으며 각각에 따른 적절한 배합비를 산출하기 위하여 많은 Pilot 실험을 실시하였다. 적절한 강도를 발휘하면서 우수한 진동 감쇄 효과를 내는

- 1) 중앙대학교 대학원 토목공학과 석사과정
- 2) 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정
- 3) 중앙대학교 건설대학 토목공학과 부교수

배합비를 찾은 후 배합비를 조금씩 조정하여 최종적으로 배합비에 따른 감쇄효과로 파악하고자 하였다. 압축강도, 진동수, 감쇄비, 동탄성계수, 동전단계수, 동포아송비를 측정하였으며, 각종 제진재료의 동적특성을 파악하기 위한 실험은 Impact Hammer로서 방진재료에 Wave를 생성시킨 후 제진재료에 부착된 Accelerometer Sensor로부터 감지된 각종 동적자료가 FFTAnalyser에 입력되는 것이다. FFT분석기에 입력된 각종 Data는 내장된 Software를 이용하여 Fourier Transform과정을 거친 후 재료의 동적 특성을 구할 수 있다.

2.2 일반재료

진동제어 콘크리트는 내부에 다량의 기포 혹은 방진재를 함유하여 동적하중이 작용시 발생하는 진동의 크기를 억제할 수 있는 감쇄효과가 큰 콘크리트를 일컫는다. 사용된 재료는 일반적으로 많이 이용되는 제품으로서 시멘트, 고성능감수제, 모래, 골재 등을 사용하였으며 이들의 배합을 달리하여 실험을 실시하고 고성능 감수제는 강도의 증진 및 제진효과를 파악하기 위하여 사용되었다. 사용된 시멘트는 SS사의 1종 포오틀랜트 시멘트를 사용하였고, 고성능감수제는 시멘트 중량비에 따라 S사의 제품을 사용하였고 이들의 성분표 및 물성비교표는 표 2.1과 같다.

표 2.1 고성능감수제의 성분과 물성 비교표

성분	구성비(%)	DENSITY (kg/cm ³)	200 - 300
CaO	0.1 - 0.6	Loss of Ignition (%)	2 - 4
SiO ₂	85 - 98		
Al ₂ O ₃	0.2 - 0.6	Specific Surface (m ² /g)	20
Fe ₂ O ₃	0.3 - 1.0		
MgO	0.3 - 3.5	Average Diameter (mm)	0.00015
SO ₃	-		
Na ₂ O	0.8 - 1.8		
K ₂ O	1.5 - 3.5		

2.3 방진재료

2.3.1 Foam Concrete

사용된 기포제는 동물성 기포제로서 표 2.2은 기포제의 성분표를 나타내고 있다.

표 2.2 동물성 기포제 성분표

항목	결과치
PH(21℃)	7.0
비중	1.164
점도(21℃)	57 cps

기포형성은 Air Compressor의 분무압의 정도에 따라 Foam의 물성이 결정되며 기포제와 물의 혼합

물이 Water Pump에 의해 기포제 혼합장치에 보내지고 Air Compressor에 의해 공기를 압입하여 기포제 혼합물이 기포형성관을 통과하면서 기포가 발생하게 된다. 한편, Foam Concrete는 시멘트 모르타르와 발생된 기포의 양을 조절하여 제작하였으며, 고성능감수제와 물-시멘트비도 실험변수로 선택하여 적절한 강도와 Damping효과를 갖는 배합비를 구하기 위하여 Pilot실험을 수행하였다.

2.3.2 Latex Concrete

Latex를 혼입한 Latex 콘크리트는 물성을 향상시킬 뿐만 아니라 동적하중의 재하시 발생하는 진동의 크기를 억제하는 효과를 나타내었으며 사용된 Latex는 국내 K사의 KSL203제품을 사용하였다.

표 2.3 KSL203의 대표적 성질

固形成分(%)	50
pH (25 °C)	8.5
표면장력 (20 °C) (dyn/cm)	50
BF점도 (BM, 25 °C) (cP)	70
비중(25 °C)	1.04
기계적 안정성	양호
화학적 안정성	양호

2.3.3 Rubber Powder Concrete

콘크리트 배합시 Rubber Powder를 혼입한 Rubber Powder Concrete는 콘크리트의 물성 및 진동억제 효과를 발휘하였으며, 페타이어등의 재활용을 위한 Pilot실험을 수행하였다.

표 2.4 Rubber Powder의 대표적 성질

Styrene Content(%)	30
Volatile Matter(%)	Max 1
Ash Content(%)	Max 0.6
Solution Viscosity(cps)	4500
MELT FLOW RATE, 200°C/5kg (g/10min)	< 1
Specific Gravity	0.94
Hardness	78
Tensile Strength (Mpa)	25
Tensile Modulus (Mpa)	2.5
Elongation (%)	750

2.3.4 Resin Concrete

콘크리트 배합시 Plastic Resin을 혼입한 콘크리트로서 페비닐 및 페플라스틱등의 재활용에 유용하리라 판단되며 Plastic Resin의 물성은 표 2.5과 같다.

2.4 압축강도 실험결과

시멘트 모르타의 압축강도 시험방법(KS F 2405)에 의하여 각 방진재에 대한 최적혼입량을 결정한 후, 각 방진재의 최적 혼입량에 대하여 결합재(시멘트 + 방진재)와 모래의 중량비를 1 : 1, 1.5, 2, 2.5로 배합하고, 고성능 감수제를 시멘트 중량비에 대해

1.5-2% 첨가한 배합의 강도 특성을 비교·분석하였으며 강도실험을 수행하였다. 강도실험은 제령 3일,

표 2.5 Plastic Resin의 대표적 성질

항목	시험방법	단위	값
MI	ASTM D1238	g/10min	16.0
밀도	ASTM D792	g/cm ³	0.90
성형수축률	YUKONG	%	1.6
Du Pont Impact	23°C -10°C	Du Pont	kg·cm
			63 50
Flexural Modulus	ASTM D790	kg/cm ²	14,000
Rockwell경도	ASTM D795	R scale	89
인장강도 (항복)	ASTM D638	kg/cm ²	260
신장률 (파단)	ASTM D638	%	130
열변형온도	ASTM D648	°C	98
Vicat 연화점	ASTM D1525	°C	150

7일, 28일에 각각 수행하였으며 표 2.6은 각각의 방진재를 사용한 몰탈의 강도실험결과이다.

압축강도는 Plastic Resin Concrete가 가장 양호하게 나타났으며 Latex의 경우 경화속도가 느린 양상을 보였으며 혼입량에 따른 압축강도의 차이는 거의 나타나지 않는 것으로 나타났다.

표 2.6 방진 콘크리트의 압축강도 실험결과

방진재 종류와 혼입율	시멘트종량	압축강도(kg/cm ²)			
		3일	7일	28일	
Foam (Volumetric Ratio to Cement Vol.)	0	241	136	307	362
	1 : 1	229	124	119	145
	1 : 2	217	78	63	109
	1 : 3	205	48	55	72
	1 : 4	193	32	50	35
	1 : 5	181	8	17	24
Latex (시멘트 종량에 대한%)	5	229	64	117	214
	10	217	62	115	192
	15	205	66	115	190
	20	193	32	101	151
	25	181	*	66	145
	30	169	*	41	118
Rubber Powder (시멘트 종량에 대한%)	5	229	115	126	181
	10	217	63	68	114
	15	205	34	41	72
	20	193	20	29	39
	25	181	14	13	27
	30	169	6	9	21
Resin (시멘트 종량에 대한%)	5	229	102	207	290
	10	217	73	145	181
	15	205	58	103	119
	20	193	51	90	94
	25	181	30	60	91
	30	169	22	55	68

3. 진동실험방법 및 결과

동탄성계수, 동전단탄성계수, 동포아송비 및 감쇄비를 파악하기 위하여 도달시간시험과 공명진동실험을 수행하였다. 이는 초음파 속도법에 의한 콘크리트의 동탄성계수 시험방법[1]에 의한 실험을 수행하였

으며 ASTM표준시험방법과 같다. 공명진동실험은 종진동 및 비틀림진동에 의한 공명진동수를 구한 후 이 진동수를 이용하여 동탄성계수, 동전단탄성계수 및 동포아송비를 구한다.

3.1 도달시간 실험법

사용된 FFT Analyser는 B&K사의 2035기종으로 파의 전파속도를 측정하고 이에 따라 동탄성계수, 동전단탄성계수 및 동포아송비를 계산하였다. 실험법의 개략도는 그림 3.1과 같다.

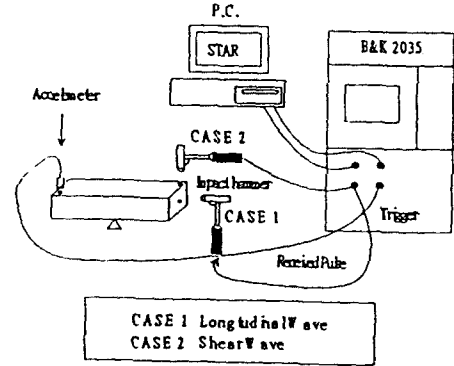


그림 3.1 도달시간법의 개략도

위 그림 3.1에서와 같이 CH.A의 가진 망치로서 시험체를 가진하고 CH.B의 가속도계로서 시험체의 변위를 시간에 따른 함수로서 나타내고 이에 대한 파의 도달시간은 CH.A와 CH.B의 최초 입력시간의 차이를 이용하여 CH.A와 CH.B 사이의 파의 전달 시간을 산출한다. 시간의 측정은 10⁻⁷sec까지 측정하였다. 파의 전달속도는 $v_c = L/t_c$ 이며, v_c 는 종파의 속도, L은 공시체의 길이, t_c 는 도달시간(Travel Time)이다. 종파의 전달속도를 동탄성계수의 함수로 나타내면 $v_c = (\frac{E}{\rho})^{\frac{1}{2}}$ 이다. E는 동탄성계수, ρ 는 시험체의 밀도이며 $\frac{1}{g}$ 로 쓸 수 있다. γ 는 시험체의 단위중량, g는 중력가속도이다. 그러므로 다음과 같은식이 성립된다.

$$E = \rho v_c^2, G = \rho v_s^2, \mu = \frac{E}{2G} - 1$$

도달시간법에 의한 실험의 결과는 표 3.1과 같다.

3.2 공명진동실험법

공명진동법의 실험방법(KS F 2437)은 도달시간 실험법과 마찬가지로 B&K사의 2035기종을 이용하여 제1차 공명진동수를 측정하였으며 따라 동탄성계수, 동전단탄성계수 및 동포아송비를 산출하였으며

중진동과 비틀림진동 실험을 실시하였다. 이에 대한 실험에 따른 계산식은 KS F 2437에 따르며 탄성계수는 다음과 같이 구한다.

표 3.1 도달시간법에 의한 동적물성결과

방진재	공시계층량 (kg)	진달속도		밀도 $\times 10^{-3}$ kg/cm^3	중탄성계수 kg/cm^2	동전단탄성계수 kg/cm^2	
		중진동 (cm/sec)	전단파 (cm/sec)				
Foam	0	6.622	337705	135038	2.143	244598	39103
	1:1	5.728	675410	135038	1.854	845754	33830
	1:2	5.356	337705	168852	1.734	197754	49438
	1:3	5.080	337705	168852	1.644	187490	46872
	1:4	4.716	675410	135038	1.526	696128	27845
Latex	5	4.383	337705	135038	1.419	161830	25892
	10	5.860	675410	225137	1.897	865370	96151
	15	5.698	337705	225137	1.909	217712	95706
	20	5.422	337705	168852	1.755	200149	50037
	25	5.384	337705	135038	1.743	198780	31805
Rubber Powder	25	5.314	337705	135038	1.720	196157	31385
	30	5.511	675410	168852	1.784	813322	50664
	5	6.036	337705	225137	1.954	222844	99040
	10	5.764	337705	168852	1.866	212808	53202
	15	5.661	337705	96487	1.832	208930	17056
Resin	20	5.502	337705	168852	1.781	203114	50778
	25	5.272	225137	135038	1.706	86470	31129
	30	4.720	225137	112568	1.528	77448	19363
	5	6.429	675410	225137	2.081	949306	105478
	10	6.046	675410	168852	1.957	892740	55796
	15	6.172	168852	135082	1.998	56965	36458
	20	6.166	225137	168852	1.996	101169	56908
	25	5.998	675410	225137	1.941	885441	98382
	30	5.818	675410	168852	1.883	858983	53686

공명진동수법은 지지조건을 달리하여 실험을 실시하였으며 1차공명 진동수를 측정하기 위하여 Impact hammer에 의한 가진에 의한 Impulse Response를 측정하였으며, 그림 3.2는 Foam Concrete의 방진재 배합비 1 : 5의 경우 비틀림 진동에서 중앙지지조건으로 실험한 예이며 Impulse Response를 FFT(Fast Fourier Transform)를 취하여 Frequency에 대한 Magnitude(Real Part)를 나타낸 것이다.

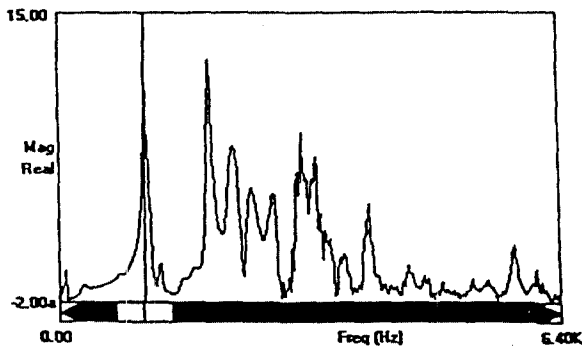


그림 3.2 공명진동수 실험에

표 3.2는 공명진동수법에 의한 동탄성계수 및 동전단탄성계수 실험결과를 나타내며 지지조건을 각각 달리하여 실험한 예이다.

3.3 Damping Ratio

진동감쇄효과를 갖는 방진재료를 개발하기 위하여 방진재를 첨가한 시험체를 만들었으며 이에 대한 진표 3.2 공명진동수법에 의한 동탄성계수 및 동전단탄성계수 실험결과

방진재	1차 공명진동수(Hz)						동탄성계수 (kg/cm^2)			동전단탄성계수 (kg/cm^2)	
	중진동		변형진동		비틀림진동		중진동		변형		
	중앙	양단	양단	중앙	양단	중앙	양단	양단	중앙	양단	
F o a m	0	4330	4340	1500	1460	1490	272769	274030	285474	39763	41987
	1:1	3840	3870	1400	1340	1400	185665	188478	215107	29375	32064
	1:2	3530	3590	1300	1150	1300	146629	151656	173429	20230	25851
	1:3	3860	3310	1240	1140	1240	166291	122278	149659	18865	22308
	1:4	3050	3080	1160	1070	1160	96384	98289	121596	15421	18124
L a t e x	5	2660	2690	992	880	1010	68134	69680	82640	9594	12769
	10	3790	3840	1340	1280	1330	184929	189841	201606	27421	29606
	15	3710	3740	1340	1260	1330	178354	181250	202913	26743	29797
	20	3540	3590	1280	1280	1360	143278	153525	170206	25371	24584
	25	3570	3580	1300	1150	1300	150755	151601	174336	20336	25987
R u b b e r	25	3400	3420	1230	1100	1200	134961	136554	154038	18364	21855
	30	3220	3230	1180	1060	1160	125537	126318	147025	17685	21179
	5	3560	3610	1260	1110	1240	167123	172820	183606	21240	26506
	10	3260	3290	1200	1070	1180	134583	137071	159301	18847	22922
	15	2980	3000	1130	992	1110	110447	111935	138499	15910	19920
b	20	2620	2640	950	896	960	82976	84248	97154	12615	14482
	25	2330	2400	920	824	920	62882	66716	85496	10223	12744
	30	2010	2020	752	688	752	41895	42313	51141	6381	7623
	5	2580	2740	1420	1430	1430	94018	106041	248379	37547	37547
	10	3800	3890	1410	1330	1430	191807	197912	230304	30544	35310
R e s i n	15	3840	3880	1400	1260	1360	199949	204136	231781	27985	33569
	20	3820	3860	1360	1220	1360	167679	201840	218513	26211	32572
	25	3720	3720	1300	1240	1300	182357	182357	194218	26340	28960
	30	3550	3580	1240	1160	1240	161087	163821	171401	22359	25549

(註) (*): 중앙지지

(**): 양단(단순)지지

동감쇄효과를 파악하기 위하여 감쇄비를 측정하였다.

3.3.1 Polynomial Curvefitting Method

본 실험은 변형진동에 의한 응답법을 이용하여 실험하였으며 시험체의 양단이 단순지지될수 있도록 양단을 지지하였으며 가진은 지지부 즉, 양 끝단중에서 하나를 택하고 응답은 시험체의 중앙부에서 측정하였다. Polynomial Equation은 다음과 같다.

$$H(i\omega) = \frac{(r2_1\sigma_k + r1_1\omega_k + ir2_2\omega)}{(\sigma_k^2 + \omega_k^2 - \omega^2 + 2i\sigma_k\omega)} + A0 + A1(i\omega) + A2(-\omega^2)$$

A0, A1, A2 = Residual function coefficients

또한, Dual Channel Analysis에서 Transfer Function은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$H_{ik} = \sum_{k=1}^n \left[\frac{r_{ik}}{s - p_k} + \frac{r_{ik}'}{s - p_k'} \right], \quad p_k = -\sigma_k + j\omega_k$$

여기에서, I는 Response Point, j는 Input Point, k는 DOF, s는 Laplace Variable을 의미한다. 다음은 Polynomial Curve Fitting Method에 의한 감쇄비를 나타내고 있다. 다음 그림 3.3은 Polynomial Curve Fitting Method에 의한 감쇄비 측정의 예를 보이고 있으며 Latex Concrete의 배합비 20에 대한 실험 예이다. 이에 대한 결과는 표 3.3에 나타내었다.

3.3.2 공명곡선에 의한 기하학적해석법

공명곡선의 기하학적 해석을 통하여 감쇄비를 찾
기 위해서 아래 그림 3.4의 a)에서와 같이 $f_1 \cdot f_2 = f_m^2$

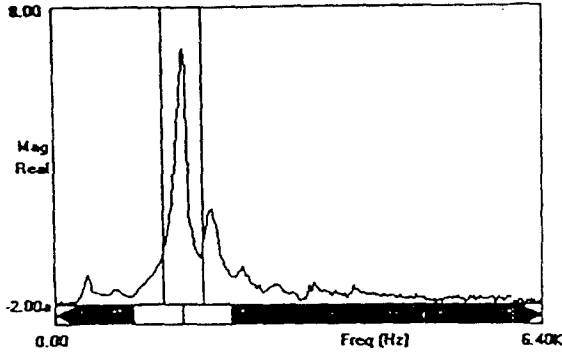


그림 3.3 Polynomial Curve Fitting Method에 의한
감쇄비 측정 예

표 3.3 Polynomial Curve Fitting Method와 기하학적
해석방법에 의한 감쇄비

Mixtures	Polynomial Curve Fitting Method			Geometric Method		Analytic Method		
	Comp. Strength kg/cm ²	1st. Resonant Frequency	D(%)	f ₁	f ₂	f _m	D(%)	
Foam	0	352	1500	1.11	4300	4350	4330	0.58
	1:1	145	1400	1.34	3780	3890	3840	1.43
	1:2	109	1300	1.58	3510	3540	3530	0.43
	1:3	72	1240	1.30	3310	3390	3860	1.04
	1:4	35	1160	1.96	3030	3070	3050	0.66
	1:5	24	992	2.50	2640	2680	2660	0.75
Late x	5	214	1340	1.99	3740	3830	3790	1.19
	10	192	1340	2.00	3660	3740	3710	1.08
	15	190	1280	2.22	3470	3580	3540	1.55
	20	151	1300	2.62	3470	3650	3570	2.52
	25	145	1230	2.16	3350	3430	3400	1.18
	30	118	1180	2.39	3180	3260	3220	1.24
Rubber	5	181	1260	1.53	3500	3590	3550	1.27
	10	114	1200	1.74	3220	3280	3260	0.92
	15	72	1130	1.61	2970	3010	2920	0.67
Powder	20	39	960	1.83	2590	2640	2960	0.95
	25	27	920	2.06	2300	2380	2330	1.72
	30	21	752	2.08	1940	2040	2010	2.49
	30	21	752	2.08	1940	2040	2010	2.49
Resin	5	290	1420	1.88	2520	2620	2580	1.94
	10	181	1410	1.49	3770	3820	3800	0.66
	15	119	1400	1.43	3800	3880	3840	1.04
	20	94	1360	1.77	3770	3860	3820	1.18
	25	91	1300	1.40	3670	3770	3720	1.34
	30	68	1240	1.48	3510	3580	3560	0.99

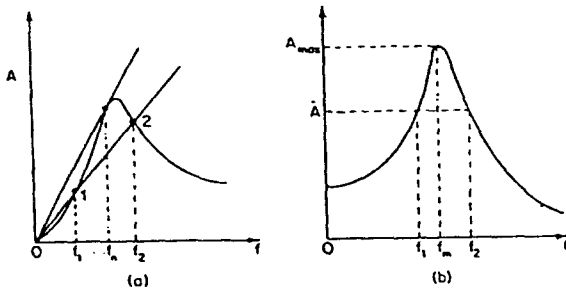


그림 3.4 감쇄비 결정을 위한 응답곡선의 기하학적인
형태

의 관계가 성립된다. 여기서 f_1 과 f_2 는 직선과
곡선이 교차하는 점에서의 진동수이다. 공명곡선의
기하학적인 해석법은 고전적인 방법으로서 곡선의
상대적인 넓이를 이용하여 감쇄비를 측정하는 방법
이다. 따라서 대수감쇄율은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\delta = \frac{\pi}{2} \frac{f_2^2 - f_1^2}{f_m^2} \sqrt{\frac{A^2}{A_{\max}^2 - A^2}} \frac{\sqrt{1 - 2D^2}}{1 - D^2}$$

윗 식에서 감쇄비 D를 무시할 정도로 작다면 마
지막 항은 1.0과 같다. 또한 A의 값을 최대값의
0.707배한 값을 취한다면 윗 식은 $\delta = \pi \frac{\Delta f}{f_m}$ 이고 여
기에서, $\Delta f = f_2 - f_1$ 이다. $\delta = 2\pi \frac{D}{\sqrt{1 - D^2}}$ 이고,
D ≃ 0 이면 $\delta = 2\pi D$ 이므로 $D = \frac{1}{2\pi} \delta$ 이다. 따
라서, 감쇄비를 진동수에 대한 함수로 다시 쓰면 다
음과 같다.

$$D = \frac{1}{2} \frac{\Delta f}{f_m}$$

실험방법은 먼저 시험체를 중앙부위에 단순지지
가 될 수 있도록 지지하였으며 종방향 Wave를 발생
시키고 이에 따른 주파수응답곡선을 얻은 후 1차공
명진동수를 일으키는 곡선에서 최대 진동수와 이에
대응하는 Magnitude를 구하고 이 값에 0.707을 곱한
값에 대응하는 진동수를 찾는다. 이 진동수의 큰 값
과 작은값의 차이를 이용하여 감쇄비를 구하였다. 이
에 대한 결과는 표 3.4와 같다.

4. 종합평가

4.1 압축강도

압축강도의 평가에서는 예상 했던 것과 같이 방
진재의 혼입률이 높을수록 강도가 저하되었으며
Plastic Resin이나 Rubber Powder의 경우에는 상당
히 강도가 약해지는 것으로 나타났다. 또한, 혼입률
의 증가에 따른 강도의 감소 경향은 Latex Concrete
의 경우 차이가 다른 방진재에 비해 적게 줄어드는
경향을 나타내고 있다. 하지만 Latex Concrete의 경
우 경화가 늦어져 7일 압축강도를 측정하지 못했으
며 이러한 특성에 따라 massive 구조물에 적용할 수
있으리라 판단된다. 본 실험의 결과를 고찰한 결과
Rubber Powder Concrete의 경우에는 압축강도와 감
쇄비의 관계가 일정하게 나타나 상당히 연관성이 있
는 것으로 보이나 다른 콘크리트의 경우에는 연관성
이 없는 것으로 보인다.

4.2 동탄성계수, 동진단탄성계수 및 동포아송비

동탄성계수의 측정에서 도달시간법에 의한 측정값은 신뢰성이 떨어진다고 판단되며 공명진동수법에 의한 동탄성계수는 변형 진동이 종진동에 의한 방법보다 약 15%정도 크게 나타났으며 종진동의 경우에는 지지조건에 따라 약간의 차이는 있었으나 차이가 거의 없는 것으로 보인다. 또한 정적재하시험에 의한 탄성계수에 비해서는 통상 5 ~ 20% 정도의 차이를 보인다. 동진단탄성계수의 경우에도 지지조건에 따라 약 10%정도의 차이를 보이고 있다. 동포아송비의 경우에는 측정값이 상당히 오차가 컸으며 이는 추후에 계속 연구를 수행할 계획이다. 일반적으로 동탄성계수와 압축강도와의 관계는 콘크리트의 배합과 양생방법에 따라 상이하므로 콘크리트의 배합, 양생방법, 재령이 다른 기초자료를 더 확보하여 실험을 수행하여야 하리라 판단된다.

4.3 감쇄비

감쇄비의 측정결과는 Polynomial Curve Fitting Method에 의한 결과는 방진재의 종류나 배합비에 따른 차이가 일정하게 나타나지 않았으며 공명진동수법에 의한 방법에서는 Latex Concrete의 경우에는 배합비가 증가할수록 감쇄비가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 압축강도와는 반대의 경향을 보이는 것이다. 감쇄비는 일반적으로 기하학적인 해석방법의 경우에는 0.5 ~ 2.52%정도를 보이고 있으며 방진재가 혼입되지 않은 일반콘크리트가 0.58%로 작은 값을 나타내고 있으며 Latex와 Rubber Powder를 혼입한 콘크리트가 상대적으로 감쇄비가 크게 나타나고 있다. Polynomial Curve Fitting Method에 의한 감쇄비는 1.11 ~ 2.39%를 나타내고 있으며 방진재가 혼입되지 않은 일반콘크리트의 경우가 가장 작은 값을 나타내고 있다. 또한, Latex Concrete에서 방진재의 혼입률이 30%인 경우가 2.39%로서 가장 큰 감쇄비를 보인다. 이러한 결과를 토대로 보았을 때 방진재료로서 Latex가 가장 유용하리라 판단되며 압축강도면에서도 상대적으로 양호하였다. 방진재료의 혼입률과 감쇄비와의 관계는 Rubber Powder Concrete가 가장 높게 나타나고 있다.

5. 결론 및 추후과제

본 실험을 통하여 방진재료를 이용한 제진콘크리트의 제작에는 아직 많은 실험이 추가되어야 하리라

판단되며 여러 방진재료 가운데서 Latex콘크리트가 상대적으로 높은 압축강도를 보이고 있으며 동시에 감쇄효과도 뛰어났으나 방진재의 혼합비율과 감쇄비와는 상관도가 거의 나타나지 않았다. 또한 방진재료가 혼입되지 않은 일반 콘크리트에 비해서는 약 1.3%의 감쇄비의 차이를 보이고 있다. 또한, 방진재의 혼입률이 증가하더라도 압축강도의 저하정도가 미미하므로 상당히 방진재료로 적합하리라 판단된다. 감쇄비와 압축강도와의 관계는 Rubber Powder Concrete가 가장 상관도가 크게 나타났으나 압축강도가 상당히 작게 나타나 실제 건설현장에서의 적용은 앞으로 많은 보완이 필요할 것이다.

진동 실험의 변수로서 다양한 지지조건에 따라 실험을 실시한 결과 지지조건에는 영향이 거의 없는 것으로 판단된다. 도달시간법에 의한 실험은 짧은 시험체로서는 전달시간이 상당히 짧으므로 보다 큰 시험체를 이용하여야 할 것으로 보이며 전달시간의 측정 범위를 10^{-10} sec 이상의 정밀도로 측정하여야 할 것이다. 아울러 본 실험에 이어서 콘크리트의 Structural Damping을 파악하고자 보 시험체를 제작하여 진동실험을 실시하고 제진콘크리트의 건조수축현상을 파악하기 위해 건조수축실험을 실시하고자 한다.

참 고 문 헌

- 1) 박 승범, 문운당 "최신토목재료 실험", 1994
- 2) R.B. Randall, B. Tech., B.A. "Frequency Analysis", Brüel & Kjør
- 3) William T. Thomson "Theory of Vibration with Applications", Prentice Hall, 1988.
- 4) 콘크리트 표준시방서, 대한토목학회, 1989
- 5) Mehta, P.K., "Concrete : Structure Properties and Materials," Pentice-Hall, 1986
- 6) Mindess, S. and Young, J.F., "Concrete," Prentice-Hall, 1981
- 7) ACI, "Designing for Creep and Shrinkage in Concrete Structures, SP-76, 1983
- 8) ACI Committee 213, Report 213R-79, "Guide for Structural Lightweight Concrete," Concr, Int., Vol. 1, No. 2. 1979