

톤바스트 探傷法에 의한 콘크리트의 龜裂깊이 測定에 관한 研究

한 응 교* · 박 익 근** · 박 준 서*** · 이 석 하***

A Study on the Crack Depth Measurements of Concrete by Tone-burst Flaw Detect Method

E. K. Han, I. G. Park and J. S. Park, S. H. Lee

Abstract Recently, research on the non-destructive testing of concrete has been rapidly increasing in relation with the quality, reliability, durability, and uniformity of concrete used in architectural structures. In this paper, the most important problem is the attenuation phenomena on throughing the side of concrete by ultrasonic wave, and applied tone-burst to decrease the attenuation in minimum. As the result, the correlation between crack-depth and propagation-time, maximum-spectrum and out-amplitude, in-frequency and maximum-spectrum are found to be excellent. The coefficient of each are +0.975, +0.847, -0.718. The merit of tone-burst through this experiment is that the start of reception wave is very excellent.

요 지

요즈음 건축물에 설치한 콘크리트의 품질, 신뢰성, 내구성, 균일성 등을 조사하기 위해서 콘크리트의 비파괴 시험에 관한 연구가 부쩍 늘고 있다.

본 논문에서는 초음파가 콘크리트속을 통과할 경우 가장 문제가 되는것은 감쇠현상인데, 이러한 감쇠를 최소한으로 줄이기 위해서 톤바스트를 이용하였다.

그 결과 균열깊이와 전파시간, 최대출력파워 스펙트럼과 출력전압, 입력주파수와 최대출력 파워스펙트

럼의 상관관계는 각각 0.975, 0.847-0.718로 매우 양호함을 알았으며, 톤바스트의 잇점은 이번의 실험에서 수신파 첫동작의 경우 매우 좋았음을 알았다.

1. 서 론

요즈음 건축물에 설치한 콘크리트의 품질, 신뢰성, 균일성, 내구성 및 다른 성질을 조사하기 위해서 콘크리트 구조물의 비파괴 시험에 관한 연구가 행해지고 있다. 콘크리트는 모래, 시멘트, 자갈 등 여러가지가

* 한양대학교 정밀기계공학과 교수

** 천안공업전문대학 교수

***한양대학교 정밀기계공학과

접수: 1990년 3월 5일

쉬인 혼합물질이기 때문에 초음파가 콘크리트속을 통과하는 경우에 가장 문제가 되는 것은 감쇠현상이다. 따라서 이 감쇠를 최소한으로 줄이기 위해서 고안된 방법이 톤바스트에 의한 송신 주파수 가변식 초음파 탐상법이다.

종래는 주파수가 고정식이기 때문에 탐촉자의 공진 주파수에 의하였지만, 여기서 사용한 방법은 송신주파수가 가변식이기 때문에 임의로 원하는 파를 만들어서 송신 탐촉자로 보내기 때문에 탐촉자의 공진주파수에 완전히 의존하지 않는다. 여기서 사용한 톤바스트파는 연속 sine파 × envelope sine 반파이다.

지금까지는 송신파를 일정주파수로 한정된 대역특성을 컨트롤하려고 할 때 단순하게 Function Generator의 연속파를 on/off switching으로 얻어낼 경우, 충분한 협대역 특성을 얻을 수 없었다. 따라서 이 연속파를 변조 envelope해서 smooth한 입상과 입하 커브를 갖도록 대역폭을 컨트롤 할 필요가 있다.

이렇게 한 경우의 이점은 각 주파수마다 컨트롤하고 싶은 대역 특성을 보존하기 위해 Microprocessor가 주파수변화에 따라서 자동적으로 펄스폭을 컨트롤한다. 이것은 종래 수법에서는 해명할 수 없었던 Probe의 대역특성, 최적 주파수의 선택, SN비의 개선 외에 폭이 좁은 대역특성에 의해 AVG Diagram과의 상관이 보다 정확하게 되는 등 여러가지 목적에 사용할 수 있다.

본 실험에서는 톤바스트파를 입력해서 콘크리트속을 통과해서 되돌아오는 파가 가장 좋은 것은 톤바스트의 주파수, 입력파수가 어떤 조건의 경우가 최적이 되는가에 관해서 실험하였다.

2. 이 론

2-1-1. 톤바스트기계의 기본원리

기본원리는 probe의 공진주파수에 의존했던 주파수의 컨트롤을 전기적으로 컨트롤하는데 있다.

Function generator에서 발진된 임의의 주파수의 파를 짧은 펄스로 변환해서 송신주파수로 사용하고, probe를 일정주파수의 인가펄스로서 강제 진동시켜서 목적하는 주파수를 협대역에서 컨트롤한다. 종래의 방법에서는 대역폭이 넓은 인가 펄스를 쓰고, 주파수는 probe의 공진주파수에 의존했다. 이 의미에서는 컨트롤

된 협대역 송신기라고 부른다. 종래수법에서는 해명할 수 없었던 주파수의 영향을 인가하는 것이 가능하고, 여러가지 목적에 응용의 길이 열려져있다.

송신파를 일정주파수로 한정된 대역특성을 컨트롤하려고 할 때 단순하게 Function generator의 연속파를 on/off switching으로 얻어낼 경우, 충분한 협대역특성을 얻을 수 없기 때문에 이 연속파를 변조 엔벨로프(envelope)로 덮어씌워서, smooth한 입상과 입하커브를 갖도록 대역폭을 컨트롤할 필요가 있다.

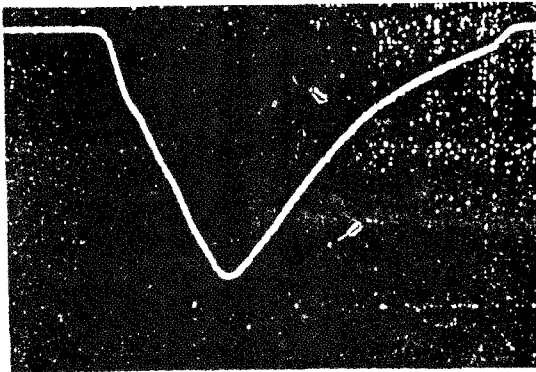
Envelope속의 파수, 즉 송신펄스 시간폭은 대역특성을 결정하는 중요요인이 되기 때문에 펄스 시간폭은 0.1-80 μs의 사이에서 0.1 μs 스태트로 연속가변이 되어 있다. 주파수는 0.10-10.00MHz 사이를 0.01 스태트로 연속가변이 되어 있다. 각 주파수마다 컨트롤 하고 싶은 대역특성을 보존하기 위해 microprocessor가 주파수변화에 따라서 자동적으로 펄스폭을 컨트롤한다. 이것은 컨트롤에 의해서 probe의 대역특성, 최적주파수의 선택, SN비의 개선외에 폭이 좁은 대역특성에 의해 AVG다이아그램과의 상관이 보다 정확하게 되는 등 많은 목적에 사용할 수 있다.

2-1-2. 송신펄스의 진폭과 파형¹⁸⁾

현재, 광범위하게 사용되고 있는 송신펄스는 Fig. 1(a)에 표시한 것과 같이 단순펄스이다. 이 파형에는 Fig. 1(b)에 표시한 것과 같이 광범위한 주파수성분을 포함하고 있고, 주파수가 다른 여러가지의 탐촉자라도 같은 펄스파형으로 여진 할 수가 있다.

또 이와 같은 파형은 비교적 간단한 스위칭(swit-ching)회로에 의해서 얻을 수가 있고, 송신기의 회로 구성을 간단하게 할 수가 있다. 단순펄스를 사용한 경우, 탐촉자의 진동자가 발진하는 초음파의 음압은, $P \propto Af \times Mc \times Mq$ 로 표시되며, 계수 Af, Mc, Mq에 비례한다. Af는 송신펄스중에 포함된 탐촉자의 진동자 공진주파수와 같은 주파수성분의 진폭이고, 이 진폭은 송신펄스의 진폭에 비례한다. Mc는 진동자의 전기-기계결합계수이고, 진동자의 재질에 따라서 결정되어 진다. 현재 광범위하게 사용되고 있는 진동자 재료인 티탄산 자기의 전기-기계결합계수가, 수정보다도 수십배나 높고, 이 진동자재료를 사용한 탐촉자의 감도는 수정과 비교해서 높다는 것은 잘 알려져 있다. 진동

자재료의 전기-기계결합계수에 관해서는 Table. 1에 표시하였다.



負荷 : 50 Ω
水平軸 : 20ns/div.

(a) pulse wave form with one shooted



垂直軸 : 2dB/div.
水平軸 : 1MHz/div.

(b) frequency spectrum

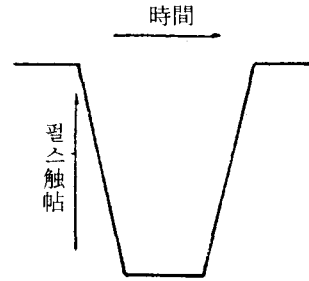
Fig. 1 Wave form and frequency property of transmission pulse by ultrasonic detector used in diversity:

Table 1. Representative of general property about material of vibrating probe used in diversity

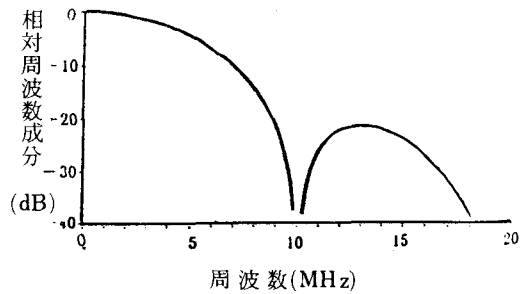
진동자 재료명	종파음속 (m/s)	기계적 Q	비유전율 (μ s)	전기-기계결합계수	
				두께방향	경방향
니오브산염계자기	3300	340	90-700	0.4	0.25
티탄산염계자기	5080	920	190-220	0.52	0.04
지르탄티탄					
산염계자기	4000	800	330-6000	0.48	0.42
수 정	5740	10^6	4.5	0.1	

Mq는 기계적 Q이다. 일반적으로, 진동자 단체의 Q는 100-1000으로 높고, 이 상태로는 감도는 좋지만, 펄스폭이 광범위해서 초음파탐상에는 적합하지 않다. 따라서 탐상상 곤란하지 않을 정도의 펄스폭이 되기 위해서는 진동자의 배면에 댐퍼(Damper)재가 설치되어 있고, 이 댐퍼재가 지배하고 있는 경우가 대부분이다.

이상과 같은 관계가 있기 때문에 전기적 송신펄스는 그 진폭과 함께 파형을 관리할 필요가 있다. 광범위하게 사용되고 있는 초음파 탐상기는 방진파형이고, 관리하지 않아도 특별한 문제는 없었다. 그러나 오늘날과 같이 여러가지의 IC와 회로를 사용할 수 있도록 되면, 모든 초음파 탐상기의 전기적 송신펄스의 파형이 Fig. 1.(a)에 표시한 것과 같은 파형이 된다고는 단정할 수가 없다. 같은 파라메타(펄스 Rise time과 폭)를 갖고 있는 Fig. 2.(a)에 표시한 것과 같은 파형의 전기적



(a) pulse wave form with one shooted



(b) frequency spectrum

Fig. 2 Type of transmission pulse and the frequency property with parameter same as the transmission pulse shown by Fig. 1.

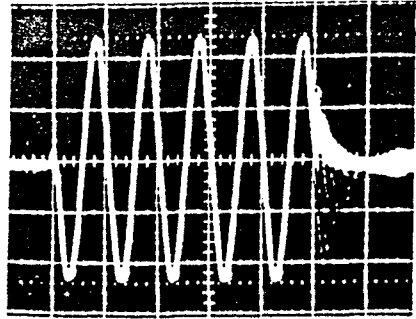
송신펄스의 경우, Fig. 2.(b)에 표시한 것과 같은 주파수성분을 갖고 있기 때문에, 이와같은 파형에서는 어떠한 주파수의 탐촉자라도 여진할 수 있다고 말할 수 없다. 이 그림으로부터 전기적 송신펄스의 파형에 관해서는 진폭만이 아니고, 파형 그자체에 관해서도 충분한 관심을 갖지 않으면 안된다는 것은 이해할 수 있을 것이다.

최근 톤바스트(Tone burst)파를 이용해서 진동자를 여진하는 방법이 사용되기 시작하였다. 일본에서는 아직 그다지 이용되지는 않았고, 세계적으로 보아도, 이 송신펄스를 이용해서 초음파 탐상기에 의한 탐상법과 평가는 규격화되어 있지는 않다.

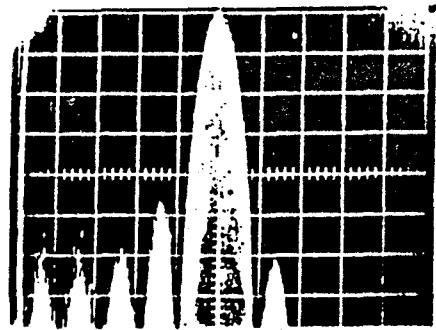
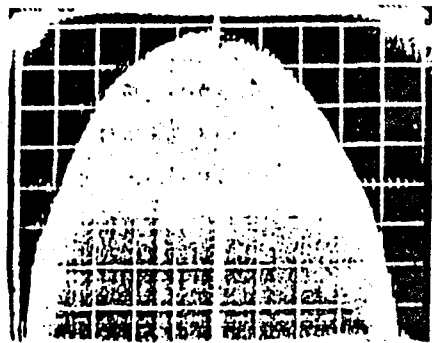
그러나 앞으로는 이용할 수 있는 방향이라고 생각되어진다. 그 이유로서는 Fig. 3(a)에 표시한 것과 같은 파형을 광대역 탐촉자에 공급하면, Fig. 3(b)와 같은 주파수성분의 펄스를 얻을 수가 있다. 이것은 탐촉자의 주파수특성(공진주파수)과 댐핑(Damping) 특성에 별로 영향을 받지않고, 탐상에 적합한 주파수와 파형을 만들어 낼 수가 있다는 것을 의미한다. 또, 신뢰성이 높은 탐상을 하기위해서 관리해야만 하는 주파수와 파형이 초음파 탐상기로 제어할 수 있다는 것을 의미한다.

회로구성은 단발펄스파형의 송신회로보다는 복잡하지만, 오늘날의 반도체기술과 회로기술로는 충분히 성능을 실현시킬 수가 있다. 회로구성은 단발펄스파형의 송신회로보다는 복잡하지만, 오늘날의 반도체기술과 회로기술로는 충분히 성능을 실현시킬 수가 있다.

또, 송신펄스에 불필요한 주파수성분이 거의 포함되어 있기 때문에 전기적 송신펄스의 진폭이 단발펄스에 비해서, 수분의 일로도 충분하다는 잇점이 있다.



(a) 톤바스트파형



(b) 주파수 Spector

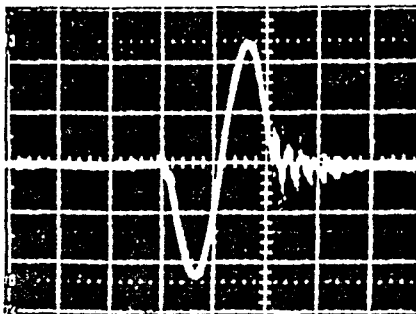


Fig. 3 Wave from and frequency property of probe with wide range that being operated by toneburst wave.

2-2. RC 회로의 주파수특성

2-2-1. 저역통과회로^{16, 17)}

Fig. 4에 가장 간단한 RC 1단의 저역통과회로(Low-Pass Filter, 또는 LPF)를 나타내었다. 이 회로의 전송특성은 다음식과 같이된다.

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{1 + j\omega CR} \dots\dots\dots (2.1)$$

여기서 취급의 편리상 고역차단 주파수 fh를 다음과 같이 정의한다.

$$f_h = 1/2\pi CR \dots\dots\dots (2.2)$$

이것을 식(2.1)에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수가 있다.

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{1 + jf/f_h} \dots\dots\dots (2.3)$$

식(2.1)에서 알수 있듯이 C와 R은 곱의 꼴이기 때문에, 전송특성은 fh만을 파라메타로해서 아주 간단한 꼴로 표시되어진다. 윗식으로부터 이 회로의 진폭 및 위상특성은 다음과 같이 표시되어진다.

$$\left| \frac{v_2}{v_1} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f/f_h)^2}} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\angle \frac{v_2}{v_1} = -\tan^{-1} f/f_h \dots\dots\dots (2.5)$$

이 특성을 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5의 특성은 주파수등분 눈금으로 그렸기 때문에 변화가 완만하고, v2/v1이 1에 가까운 전송역과 v2/v1가 0에 가까운 감쇠역의 경계가 확실하지 않지만, 주파수에 대수눈금을 써서, 이득(gain)도 데시벨(dB)로 표시하며, 광대역의 특성을 압축해서 그릴수 있기 때문에 v2/v1은 절선에 가까운 꼴이된다. 이것을 식으로 표시하면,

$$\left| \frac{v_2}{v_1} \right|_{dB} = 20 \log \left| \frac{v_2}{v_1} \right| = -20 \log \sqrt{1 + (f/f_h)^2} \dots\dots\dots (2.6)$$

f < fh의 범위(전송역)에서는

$$\left| v_2/v_1 \right|_{dB} = 0 \dots\dots\dots (2.7)$$

f > fh의 범위(감쇠역)에서는

$$\left| v_2/v_1 \right|_{dB} = -20 \log(f/f_h) \dots\dots (2.8)$$

Fig. 6(a)에 식(2.6)을 점선, 식(2.7) 및 식(2.8)의 절선근사를 실선으로 표시하였다. 동그림(b)는 대응하는 위상특성이다. 이 그림으로부터 식(2.2)의 고역차단 주파수의 의미를 확실히 알수 있을 것이다. 식(2.8) 및 Fig. 6(a)로 부터 알수 있듯이 RC 1단의 경우 감쇠역에서 주파수가 배가되면 6 dB, 10배로 되면 20 dB, 이득이 감소한다. 이것을 6dB/octave 또는 20dB/decade라 부른다. 절선특성은 식(2.2)의 fh만을 알면 간단하게 그릴 수가 있어서 매우 편리하여, 앞으로 자주 이용한다.

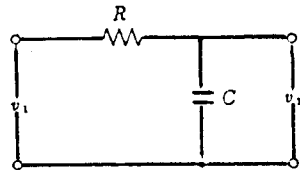


Fig. 4 RC circuit through the low area.

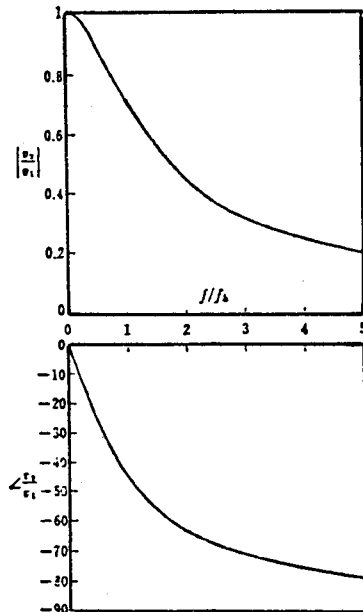


Fig. 5 Amplitude and phase property of CR circuit.

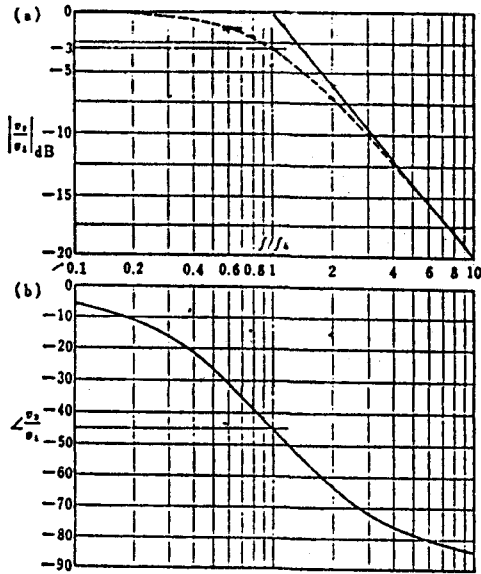


Fig. 6 Transmission property expressed by logarithm.

3. 실험

3-1-1. 시험편

실험에 사용한 시험편은 물·세멘트 비가 0.6, 호칭 강도 210kg/cm²인 콘크리트이고 시험체 중앙에 균열 모델의 결합(폭 0.2mm의 Polyethylene sheet)을 삽입하여 만든 것이다.

결합의 폭은 0.2mm이고, 균열깊이는 20, 40, 60, 80, 100mm이다. 시험편의 치수는 Fig. 7에 표시하였고, 시험편의 주성분은 Table. 2에 표기하였다.

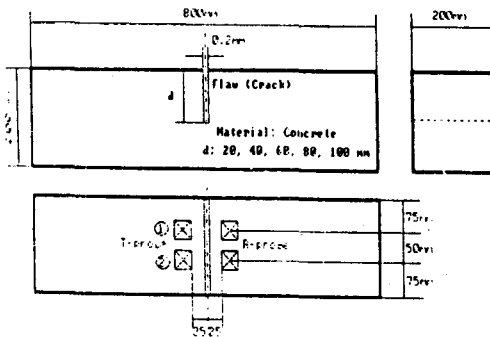


Fig. 7 (a) Dimensions and shape of specimen
(b) Position of probe to measure crack-depth.

Table 2. Composition of unit cubic of concrete

w/c = 0.6

Unit : Kg

Cement	Aggregate		Sand	Water
	Coarse gravel	Fine gravel		
256	360	637	839	159

3-1-2. 탐촉자

실험에 사용한 진동자의 재질은 TiPBO₃이고, 저주파 초음파 탐촉자는 민감하게 결합탐상을 할 수 있도록 Dry-Coupling(Silicon rubber 속에 oil을 삽입시킨 후 10000 MP의 압력으로 눌러서 만든 Contact media를 탐촉자에 붙이는 방법)해서 만든 것으로서 종래의 탐촉자처럼 물, 구리스등 접촉매질을 사용하지 않고도 밀착성이 좋게 만든것이다.

Table. 3에 탐촉자의 제원을 나타내었고, Photo. 1은 균열깊이 측정에 사용한 탐촉자이다.

Table 3. Low-frequency ultrasonic probe used in the experiment.

Type	Dimension of Oscillator	Wave Mode	Central Frequency	Ramarks
0.1Z40N	40mm	Longitudinal Wave	44.55KHz	Normal Probe

Photo. 1은 균열깊이 측정에 사용한 탐촉자이다.

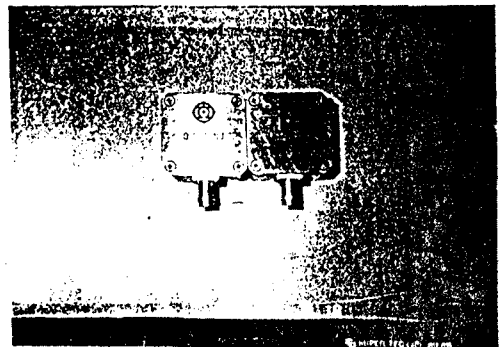


Photo. 1 Ultrasonic probe for concrete testing.

Photo. 2에 시험편을 나타내었다.

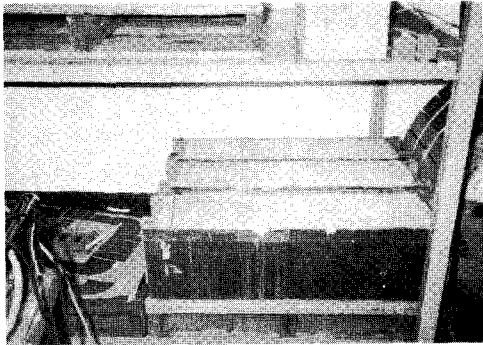


Photo. 2 Specimen of concrete.

3-2-1. 실험기기 및 제원

실험에 사용한 기기와 제원을 Table. 4에 나타내었으며 Photo. 3에 실험장치를 나타내었다.

Table 4. Equipments used in the experiment

NO	I T E M	S P E C I F I C A T I O N
1	Personal Computer	N. E. C. PC-9801VM 16Bit CPU
2	Power Amplifier	HITACHI Max. 50W 20KHz-15MHz
3	Burst Wave Generator	HITACHI Sampling time 25 nsec
4	Ultrasonic Probe	HITACHI 0.1 Z 40N
5	Ultrasonic Pre-Amp.	HITACHI M3010-2 20KHz-2MHz 40/60 dB
6	Oscilloscope	HITACHI V-670 60MHz
7	Spectrum Analyzer	ADVANTEST TR4171 10Hz-120MHz

Photo. 3에 실험장치를 나타내었다.



Photo. 3 Experimental apparatus.

3-3. 실험조건

실험기기의 사용조건을 Table. 5에 표시하였다.

Table 5. Setting condition of equipments in the experiment.

I T E M	S E T T I N G C O N D I T I O N
Personal Computer (Software : Condition of Tone burst)	Amplitude : 100% P. R. F. : 0.1 KHz Wave Number : 1
Power Amplifier	Attenuation : 0.0dB
Pre-Amp.	Gain : 40dB
Spectrum Analyzer	Sweep time : 4 sec Central frequency : 100 KHz Frequency span : 200 KHz Longitudinal axis level : 2 dB Reference Level : 0.0 dB
Oscilloscope	Volts/Div. CH1(Trans.) : DC, 1V/Div. CH2(Recep.) : DC, 0.5V/div. CH3(Trigger) : DC Time/Div. : 0.1 MS

3-4. 실험방법

측정계의 블럭 다이어그램을 Fig. 8에 표시하였다.

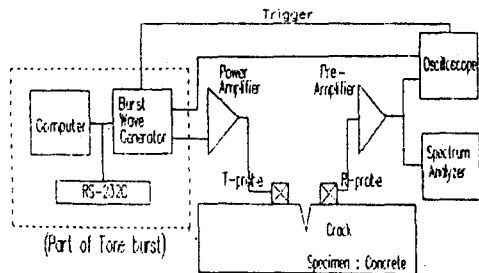


Fig. 8 Block diagram of measuring system.

톤바스트 송신 탐상시스템의 구성은 컴퓨터에서 톤바스트의 수치 데이터를 작성해서 그 데이터를 RS-232(Transmission format)와 interface 시켜서 바스트 웨이브 제너레이터로 보낸다. 여기서 데이터는 D/A 컨버터(40 MHz)를 통과해서 아날로그량으로 변조되어 톤바스트파형을 발생한다.

그러나 이 출력은 아주 미약한 전압(4 V_{P-P})이기 때문에 탐촉자를 직접 구동시킬 수 없어서 파워앰프로 인해 15배(60 V_{P-P})로 증폭해서 그 신호를 송신탐촉

자로 보내는 송신부와 수신탐촉자로 부터 수신파를 증폭하는 수신부, 파형을 관찰하는 디지털 오실로스코프 및 파형을 F. F. T.(Fast Fourier Transform) 변환시켜 분석하는 스펙트럼아날라이저로 구성되어 있다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 실험에서 구한 8인자의 상관관계 Table

실험 결과의 변수명을 Table. 6에 표시하였다.

Table. 6 Unit and range of variable

Variable Name	Unit	Range
Crack-depth	mm	20-100
In-frequency	KHz	10-200
In-Wave number		1-10
In-Sine Area	V sec	-54.47D-3 ~-25.02D-3
Out-Amplitude	V	0-6.02
Propagation time	µs	34-162
Maximum spectrum	dBm	-12.84-16.7
Out-frequency	KHz	2.2-118.8

Table. 7에 상관계수 행렬을 표시했다.

상관계수 행렬의 데이터 중에서 각 인자간에 특히, 균열깊이와 전파시간(+0.975), 최대출력 파워와 출력전압(+0.977), 입력주파수와 최대출력파워(-0.718)가 아주 양호한 것을 알았다. 다음에 각각의 상관계수를 Graph에 표시하였다.

Table 7. Matrix of correlation coefficient

Variable Name	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Wave Number	1.000	0.290	-0.285	0.014	0.215	-0.467	0.977	-0.001
In-Frequency	0.290	1.000	-0.654	0.039	-0.298	-0.718	0.282	0.002
Out-Amplitude	-0.285	-0.654	1.000	-0.098	0.060	0.847	-0.296	-0.067
Propagation Time	0.014	0.039	-0.098	1.000	-0.061	-0.110	0.012	0.975
Out-Frequency	0.215	-0.298	0.060	-0.061	1.000	0.184	0.208	-0.062
Maximum Spectrum	-0.467	-0.718	0.847	-0.110	0.184	1.000	-0.481	-0.081
Sine Area(x.o. 001)	0.977	0.282	-0.296	0.012	0.208	-0.481	1.000	-0.001
Crack-Depth	-0.001	0.002	-0.067	0.975	-0.062	-0.081	-0.001	1.000

본 실험에서는 시험편의 측정위치, 균열깊이, 입력주파수, 입력파수를 각각 변화시킨 경우의 수신파형을 오실로스코프상에서 관찰하여 전파시간, 출력전압을 구하고 또, 스펙트럼 해석장치에서 출력파워와 중심주파수를 구했다.

실험에서 사용한 파는 톤바스트파(sine 연속파 × envelope sine 반파)의 입력파형의 파수는 0부터 10까지로 했다.

또, 입력주파수는 10KHz-200KHz로 했으며 2탐촉자법으로 실험을 하였다. 실험결과와 해석은 각 입력조건(입력파수,송신주파수, 바스트파의 면적, 균열깊이)에 대한 출력결과(출력전압, 전파시간, 중심주파수, 출력파워)의 합계 8개의 인자에 관해서 컴퓨터를 이용하여 중회귀 분석을 하여 각각의 관계를 구했다.

윗 데이터 수는 8인자 × 1.550 포인트로 12,400개의 데이터이다.

Table. 8에 중회귀 분석에 의한 결과를 나타내었다.

Table 8. Result of multi-regression solutions
Standard variable : crack depth (mm)

Variable Name	Partial Regre. Coefficient (Standard Err)	Standard Partial Regression Coefficient	F-Value (Probability)	Partial Correl. Coeff.
Wave Number	-0.234 (0.256)	-0.02338	0.778 (0.378)	-0.0225
In Frequency	-0.022 (0.005)	-0.03772	19.020 (0.00001)	-0.1104
Out Amplitude	-0.504 (0.423)	0.01354	1.423 (0.233)	0.0304
Propagation Time	0.775 (0.005)	-0.97541	293.98 (0.000)	0.9748
Out Frequency	-0.018 (0.009)	-0.01245	3.695 (0.0547)	-0.0489
Maximum Spectrum	-0.033 (0.041)	-0.01081	0.662 (0.416)	-0.0207
In Sine Area.	0.067 (0.082)	-0.02182	0.668 (0.414)	0.0208
Constant	-1.351			

AIC : 1.009248 D + 04

4-2-1. 균열깊이에 따른 전파시간의 관계

Fig. 9에서 보면 전파시간은 일정하게 증가하며 매우 강한 상관관계가 있는 직선의 회귀가 되었으며 회귀식 및 상관계수는 그림중에 표시하였다.

따라서 전파시간을 측정하면 이에 상응하는 균열깊이가 고정도로 구해짐을 알 수 있었다.

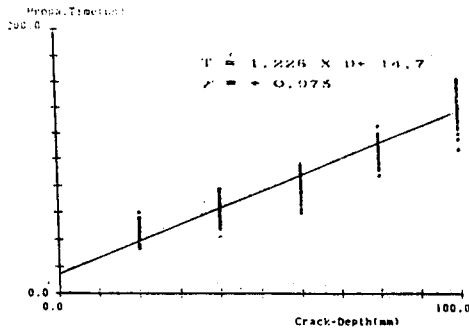


Fig. 9 Relationship between propagation-time and crack-depth.

4-2-2. 입력파수에 따른 출력전압의 관계

입력파수가 증가함에 따라서 Fig. 10에서 보면 출력전압은 서서히 감소하는 경향을 보였으며 편차는 파수가 적은 경우 크고, 파수가 9 또는 10의 경우 매우 작은 것을 판명하였다. 따라서 파수가 9 또는 10에서 측정된 것이 양호함을 알았다.

또 fig. 8에서 보면 전파시간은 거의 일정하고 편차도 크기 때문에 상관 관계가 없음을 알았다.

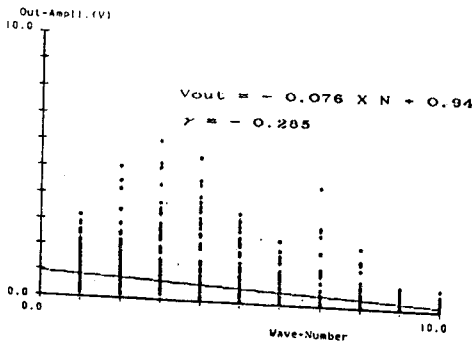


Fig. 10 Relationship between out-amplitude and wave-number.

4-2-3. 입력주파수에 따른 출력주파수의 관계

Fig. 11에서 보면 출력주파수는 입력주파수에 의하지 않고 흩어짐이 일정하게 되었다. 따라서 출력주파수는 입력주파수에 의하지 않고 시험편으로부터 일방적으로 결정됨을 알았다.

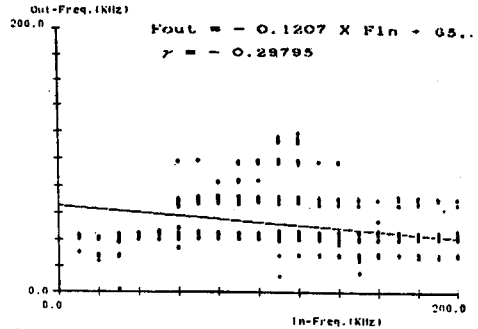


Fig. 11 Relationship between out-frequency and in-frequency.

4-2-4. 출력전압에 따른 전파시간, 출력주파수, 최대출력 파워스펙트럼, 입력사인면적과의 관계

Fig. 12에서 보면 출력주파수는 거의 일정하며 주파수가 여러 Group으로 나누어져 있다. 이것은 균열 깊이에 의한 것으로서 매우 흥미있는 결과이다.

Fig. 13에서 보면 최대출력 스펙트럼은 증가하고 매우 강한 상관관계수가 있는 곡선의 회귀가 되었다. 여기서 출력전압이 크게되면 거의 일정한 값이 되기 때문에 될 수 있는 한 출력전압이 작은 쪽을 사용하면 직선성이 된다. 따라서 출력전압이 1V정도가 되도록 조정하면 기울기가 거의 수직선이 되기 때문에 가장 좋은 결과가 됨을 알았다.

마찬가지로 Fig. 14에서 보면 입력sine면적은 급격히 감소하는 직선의 회귀가 되었다. 따라서 입력sine면적은 적은쪽이 출력전압이 높게되고 고감도로 파를 수신할 수 있다. 그러므로 sine파의 면적을 측정하면 이에 상응하는 출력전압을 구할 수 있음을 알았다.

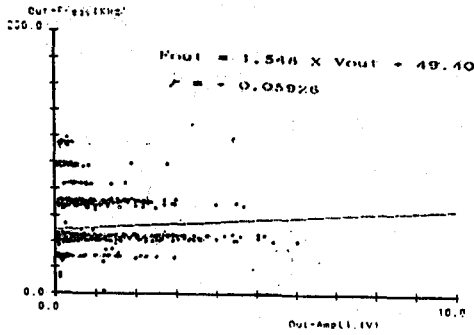


Fig. 12 Relationship between out-frequency and out-amplitude.

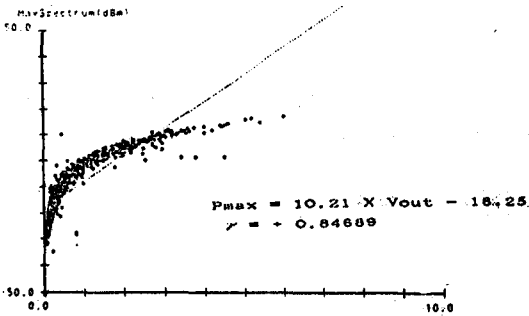


Fig. 13 Relationship between maximum-spectrum and out-amplitude.

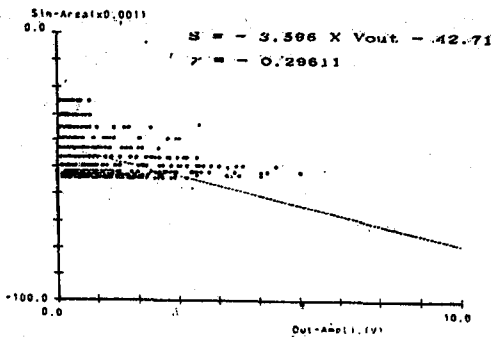


Fig. 14 Relationship between in-sine area and out-amplitude.

5. 결 론

송신 주파수가 변식 초음파 탐상법인 톤바스트 탐상법에 의한 콘크리트의 균열깊이 측정에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 균열깊이와 전파시간과의 상관관계는 상관계수가 +0.975이고 매우 양호한 직선의 회귀선으로 나타났다. 따라서 전파시간을 측정하면 이에 상응하는 균열깊이가 고정도로 구해짐을 알았다.

또 주파수 영역으로부터 균열깊이 측정이 곤란함을 알았고, 입력파수가 9또는 10의 경우 편차가 작아지기 때문에, 이 근방에서 측정하면 양호한 결과를 얻을 수 있음을 알았다.

(2) 출력전압과 최대 출력파워 스펙트럼과의 상관계수는 +0.85이며, 회귀선에서 보면 출력전압이 1Volt 근방에서는 편차가 작으며 이 부근에서 기울기가 거의 수직선이 되기 때문에 양호한 결과가 얻어짐을 알았다.

(3) 입력 주파수와 최대출력 스펙트럼과의 상관계수는 -0.72이고 상관관계의 그래프는 직선이 회귀가 됨을 알았다. 따라서 최대출력 스펙트럼을 측정하면 이에 상응하는 입력주파수가 구해짐을 알았다.

(4) 중회귀 분석에 의하면 편상관계가 강한것은 전파시간 만이고 다른 편상관계는 완전히 없음을 알았다.

따라서 이번의 실험에서는 전파시간 만이기 때문에 이결과에 따라서 균열깊이를 구하면 양호한 것이라고 사려된다.

본 실험은 종파에만 국한하였으나 앞으로의 연구과제는 횡파 및 표면파에 관해서도 실험을 하여 재료의 결함을 정략적으로 매우 양호하게 나타내기 위하여 감쇠가 가장 적게 일어나는 파수 및 주파수를 찾아내는 것과 이번의 실험에 사용한 LPF대신에 noise를 좀 더 작게해서 송신할 수 있는 BPF를 사용하는 것이 연구과제로 남아있다.

References

1. 官島, 小倉: 超音波周波數解析法によるコンクリート探傷非破壊検査, pp147-148
2. 小倉ほか: コンクリートのひび割れ探さと厚さ測定法, 日本技術検査協会の講習會
3. 官島, 小倉: SH横波によるコンクリートの表面開口熱測定, 非破壊検査 第37巻 2號, 1988.
4. 尼崎: コンクリートの表面ひびわれ探さの超音波による測定精度
5. L. Smith: The use of surface scanning waves to detect surface-opening cracks in concrete. NDI Int. 17(5), pp. 273-275, 1984
6. L. I. Knab, G. V. Blessing, and J. R. Clifton: Laboratory evaluation of ultrasonics for crack detection in concrete, J. of ACI 80(1), pp. 17-27, 1983.
7. Benguey J. H: The use of ultrasonics for NDT of concrete, British J. NDT, 26(6), pp. 366-369, 1984.
8. 秋鹿: 衝撃と超音波によるコンクリートなど構造物の非破壊検査, 非破壊検査, 34-10, p 727-735, 1985.
9. Harald Rothig: Improved accuracy of concrete strength testing by using a special method for ultrasonics attenuation measurement, Neu Dev. NDT Non. Met. Mater.
10. Akashi. T: on the measurement of velocity and loss of ultrasonic pulse in concrete, Proceedings, 3rd International Conference on NDT. , 1960.
11. 笠井: コンクリートの壓縮強度の非破壊試験方法, 非破壊検査, 34-10, p 718-726, 1985.
12. Leonid Milstein, Gasanan M. sabnis: Determination of concrete strengths using ultrasonic waves, Recent Adv. Eng. Mech Their Impact civil Eng. Pract, Vol. 1, pp. 561-564, 1983.
13. W. N. Reynolds: Measuring concrete quality non-destructively, British J. of NDT, 26(1), pp. 11-44, 1984.
14. 日本學術振興會, 製鋼第19委員會: 超音波探傷法, 日本工業新聞社, 1980.
15. R. H. Elbery: Non-destructive testing of concrete and its relationship to specification, J. of the Concrete Society, Vol. 5, No. 4, 1971.
16. R. B. Louis Nashelsky: Electronic devices and circuit theory, 4th Edition Prentice-hall, INC, 1987.
17. 柳尺ほか: フィルタの理論と設計, エレクトロニクス選書 002, 1986, pp. 115-156.
18. 日本非破壊検査協會
超音波探傷試験 第3巻, pp. 105-142.