

콘크리트 균열깊이 측정용 소형 초음파탐사기 개발

2008. 12. 16

주관연구기관 / 에스큐엔지니어링(주)

협동연구기관 / 엠케이씨코리아

지오글로버스(주)

건 설 교 통 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “콘크리트 균열깊이 측정용 소형 초음파 탐사기 개발”의 2차년도 최종보고서로 제출합니다.

2008. 12. 16.

주관연구기관 : 에스큐엔지니어링(주)

대 표 이 사 : 이 래 철

협동연구기관 : 엠케이씨코리아

대 표 이 사 : 조 명 기

협동연구기관 : 지오글로버스(주)

대 표 이 사 : 손 강 희

■ 총괄연구책임자	/ 책임연구원	박윤제	연구총괄
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 책임연구원	이래철	주관연구총괄
	/ 책임연구원	이상범	주관연구총괄
	/ 선임연구원	정재훈	주관연구총괄
	/ 선임연구원	윤도식	주관연구총괄
	/ 선임연구원	박종혁	주관연구
	/ 연구원	이덕주	주관연구
	/ 연구원	서명성	주관연구
	/ 연구원	김용경	주관연구
	/ 연구원	최우철	주관연구
	/ 연구원	김후승	주관연구
	/ 연구원	윤장혁	주관연구
	/ 연구원	최현호	주관연구
■ 협동연구기관 참여연구원	/ 책임연구원	한경석	협동연구총괄
	/ 선임연구원	강호성	협동연구
	/ 선임연구원	신찬호	협동연구
	/ 책임연구원	손강희	협동연구총괄
	/ 연구원	김영빈	협동연구
■ 기술자문	/ 연구원	신은우	에스큐엔지니어링(주)
	/ 연구원	윤상대	에스큐엔지니어링(주)
	/ 연구원	김래현	에스큐엔지니어링(주)

요 약 문

I. 제목

콘크리트 균열깊이 측정용 소형초음파 탐사기 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

가. 기술적 측면

현재 균열깊이 측정에 사용되는 초음파장비는 측정자의 숙련도에 따라서 초음파의 측정에 많은 오차가 발생하며, 여러 종류의 식에 대입으로 균열깊이를 추정하고 있다. 따라서 통일된 방법과 정확한 측정값을 구하는 장비를 개발하여 데이터의 신뢰도를 높이는 기술이 절실히 요구된다.

나. 경제 · 산업적 측면

균열깊이에 대한 정확한 측정이 이루어지고, 적당한 시기에 콘크리트에 대한 보수 및 보강을 실시한다면, 콘크리트의 내구성 향상을 통한 사용연한의 극대화를 이룰 수 있을 있다.

다. 사회 · 문화적 측면

구조물의 손상상태를 정확한 균열측정으로 판단함으로써, 시설물의 안전성을 최대한으로 높여 시설물의 붕괴사고를 예방할 수 있다면 국민들은 안전하게 시설물을 이용할 수 있다.

본 연구에서는 기존의 초음파탐사기에 대해서 전체 시스템을 일체화(one piece)하

여 구성요소 간 연결과정을 없애고, 조사과정을 단순화하고자 한다. 또한 이중채널의 탐촉자를 사용함으로써 균열깊이 산정의 편의성을 높이고, 마이크로프로세서를 채택 계산과정을 단순화하여 활용성을 높이는데 목적을 두고 있다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 이중채널 탐촉자 시스템 주파수 결정을 위한 실험, 분석

- 균열 깊이 및 폭이 다른 콘크리트 모형 제작(굴곡평면, 경사균열 각 1개 포함)
- 30, 50, 75, 100, 200 kHz 주파수의 탐촉자 주문 제작
- 탐촉자 간 거리 15cm 와 30cm에서 주파수별, 콘크리트 모형별 회절과 취득

2. 박판보호막 재질 결정을 위한 실험, 분석

- 국외 및 국내 Protective Membrane 제작사의 제품 구입
(미국 Technisonic사, 한국 하기소닉사)
- 성능을 실험하여 적정 재질 및 형태 선정에 필요한 DATA 수집

3. 깊이계산식 분석

- 주파수 결정과정에서 취득한 모형별 회절과 도달시간에 대해
Tc-To법과 BS-4408법에 의한 깊이 고찰
- 회절과 도달시간 포착 신뢰도 고찰
- 2개의 주파수 신호의 신뢰도에 따른 가중치를 포함한 혼합계산식 고찰

4. 이중채널 탐촉자 시스템을 위한 적정주파수 결정

- 이중채널 시스템에 사용 될 두 개의 주파수 선정(내측 및 외측 탐촉자 주파수)
- 소형화 및 경량화된 탐촉자 개발

5. 깊이계산식 결정

- 주파수, 보호막 모형실험 data 분석을 통한 적합 깊이 계산식 결정
- Tc-To법, BS-4408법 또는 반사신호의 신뢰도에 따른 가중치를 포함한 혼합형 계산식 결정

6. 박판보호막 재질 결정

- 1차년도 연구결과 중 적정성 검토반영

7. 마이크로프로세서 회로개발

- 상기 연구에 의해 결정된 이중채널 처리 회절과 및 깊이 계산식에 부합하는 마이크로 프로세서 회로개발

8. 일체형 시스템 시제품 개발, 성능분석 및 개량, 상품화

- 상기 이중채널 시스템의 본체부 및 탐촉자를 포함하는 일체형 시제품 개발
- 소형 탐촉자 외주 제작
- 모형실험, 깊이 계산치 비교
- 규격 등 하드웨어 개량
- 제품 디자인
- 상품생산
- 시판을 위한 매뉴얼 및 카탈로그 제작

IV. 연구개발 결과

1. 이중채널 탐촉자 시스템 주파수 결정을 위한 실험, 분석

- 콘크리트 모형 제작 및 시험
 - ① 인공균열 시험체 제작
 - ② 측정장비 선정 시험
 - ③ 탐촉거리 선정 시험
- 탐촉주파수 주문제작
- 탐촉자 간 거리 14cm~40cm 에서 주파수별, 콘크리트 모형별 회절과 취득

2. 박판보호막 재질 결정을 위한 실험, 분석 및 적정성 검토

- 박판보호막 제작 및 수집
- 초음파 직접법을 이용한 박판보호막 파형분석 실험
- 콘크리트 모형시험(회절법)

3. 깊이계산식 고찰

- 깊이계산식 고찰을 위한 기초실험실시

4. 이중채널 탐촉자 시스템 주파수 결정

- 이중채널 시스템에 사용될 두 개의 주파수 선정시험 완료
(24, 37, 54, 87, 150, 200 kHz 주파수 사용)

5. 박판보호막 재질 결정

- 1차년도 연구결과 중 적정성검토 적용

6. 깊이계산식 결정

- 주파수, 보호막 모형실험 data 분석을 통한 적합 깊이 계산식 결정
- Tc-To법, BS-4408법 또는 반사신호의 신뢰도에 따른 가중치를 포함한 혼합형 계산식 결정

7. 마이크로프로세서 회로개발

- 결정된 이중채널 처리절차 및 깊이 계산식에 부합하는 마이크로프로세서 회로개발
- 초동신호 인식 개선 알고리즘 개발 및 적용(인공지능개념적용)

8. 일체형 시스템 시제품 개발

- 소형화 및 경량화된 초음파 탐촉자 개발(성능시험실시)
- 이중채널 시스템의 본체부 및 탐촉자를 포함하는 일체형 시제품 개발
(1차시제품(2007년 5월), 2차시제품(2008년 5월), 3차시제품(2008년 10월))
(길이: 50cm, 높이: 7cm, 폭: 4cm, 무게: 1kg내외)

9. 성능분석 및 개량, 상품화

- 모형실험(소형 콘크리트 시험체, 대형 콘크리트 시험체)
- 현장코어시험
- 소프트웨어/하드웨어 개량
- 제품 디자인
- 시판을 위한 제품 및 카탈로그 제작
- 상품 생산

V. 연구개발결과의 활용계획

본 연구를 수행하여 콘크리트 균열깊이 측정용 소형 탐사기를 개발함으로서, 콘크리트에 발생하는 균열깊이 정확하고 간편하게 측정함으로서 콘크리트의 균열로부터 발생할 수 있는 재해를 예방할 수 있어, 다양한 측면에서 파급효과가 크다고 볼 수 있다.

1. 사회기반시설물의 안정된 사용성의 보장으로 산업발전에 기여
2. 정확한 균열 측정과 유지보수비용 절감으로 유지보수업계의 수익성 증가
3. 계측장비 생산과 초음파계측기술 향상으로 계측기생산업체의 수익 향상
4. 계측 모니터링 분야와 관련된 IT기술 분야의 동반기술 상승효과와 사업 창출효과 기대

Summary

I . Title

Development of Small Ultra Sonic System for measuring Concrete Crack Depth

II. Objectives of the study

A. Technical Aspects

Generally Ultrasonic instruments have many error in measuring concrete crack depth, and use many formulas for calculating concrete crack depth. For improving the reliability of results, there must be needed both uniform method and accurate instrument.

B. Economic • Industrial Aspects

If there are accurate measurement, adequate remedy and reinforcement in time, we can maximize life cycle of concrete structures by the improvement of concrete durability.

C. Social • Cultural Aspects

If we estimate the damages of structure through accurate crack depth measurement and prevent the collapse of facilities by maximizing the safety of structure, people can use safely facilities and structures.

In this study, we will make total system into one piece by connecting system elements directly and will make total system simply by thin-walled protectivemembrane instead of liquid couplant. we can improve the accuracy of concrete crack depth measurement by dual channel frequencies and micro processor.

III. Contents and scope of the study

1. the experiment and analysis of dual channel sensor system
 - the production of concrete model
(various crack depth and width, round surface, vertical and inclined crack)
 - the sensor(30khz, 50khz, 75khz, 100khz, 200khz)
 - the acquisition of a diffracted wave by frequencies and concrete models
(different distance between two sensor, 15cm and 30cm)
2. the experiment and analysis of thin-walled protective membrane
 - the purchase of foreign and domestic protective membrane.
 - the accumulation of data for adequate material and shape
by performance experiment
3. the investigation of crack depth formula
 - crack depth calculation by T_c - T_o method and BS-4408 method
using the elapsed time of diffracted wave
 - investigation of mixed formula due to the reliability of dual channel
frequencies
4. dual channel sensor system
 - determine dual channel frequency for sensor
 - small and lightweight sensor development
5. the determination of crack depth formula
 - adequate crack depth formula by frequency analysis and protective tests
 - mixed formula by weighting T_c - T_o , BS-4408, other method

6. protective membrane

- use first-year research results

7. the development of micro processor

- develop microprocessor by previous research
(dual channel diffracted wave and crack depth formula)

8. one-piece system, performance tests, products

- development of final one-piece system
- development of small ultrasonic sensor
- analysis of model tests results and crack-depth formula
- determine dimension and upgrade hardware
- design and produce a final product
- manual and catalogue

IV. Results

1. the experiment and analysis of dual channel sensor system
 - the production and testing of concrete model
 - ① concrete test model with artificial crack
 - ② experiment for decision of measurement instrument
 - ③ experiment for measurement distance between sensors
 - the sensor(24khz, 37khz, 54khz, 87khz, 150khz, 200khz)
 - the acquisition of a diffracted wave by frequencies and concrete models
(different distance between two sensor, 14cm~40cm)
2. the experiment and analysis of thin-walled protective membrane
 - the purchase of foreign and domestic protective membrane.
 - wave analysis by ultrasonic direct method
 - concrete model test(diffracted wave test)
3. the investigation of depth calculation formula
 - basic tests for the investigation of depth calculation formula
4. sensor frequency for dual channel system
 - complete determination of dual frequencies used in dual channel system
(Use 24khz, 37khz, 54khz, 87khz, 150khz, 200khz sensor)
5. determination of thin-walled protective membrane
 - use first-year research results

6. the determination of crack depth formula

- adequate crack depth formula by frequency analysis and protective tests
- mixed formula by weighting T_c - T_o , BS-4408, other method

7. the development of micro processor

- develop microprocessor by previous research
(dual channel diffracted wave and crack depth formula)
- algorithm for picking up initial signal (artificial intelligence method)

8. all in all prototype system

- develop small and lightweight ultrasonic sensor (performance test)
- development of one-piece system (dual channel, main circuit)
(length: 50cm, height: 7cm, width: 4cm, weight: about 1kg)

9. performance tests, products

- model tests (small concrete test models, large concrete test models)
- field concrete core tests
- upgrade S/W and H/W
- product design
- manual and catalogue
- produce a final product

V. Practical use of the results

we can develop small measurement instrument for concrete crack depth by this study. With this developed instrument, we can measure concrete crack depth exactly and easily. Using measured data, disaster will be prevented in advance.

1. industrial development by guaranting safe using of social infrastructure
2. make maintenance related company more profitable by exact crack measurement and maintenance expense decrease
3. make measurement production company more profitable by production of measurement instrument and improvement of technology of ultrasonic measurement system.
4. synergy effect between measurement monitoring fields and related IT technologies

목 차

요약문

SUMMARY(영문 요약문)

목차	I
그림목차	V
사진목차	VIII
표목차	X

제 1 장 서론	1
----------------	---

1절 연구개발의 목적	4
2절 연구개발의 필요성 및 범위	8

제 2 장 국내 · 외 기술개발현황	12
---------------------------	----

1절 국내 기술 및 산업동향	12
2절 국외 기술 및 산업동향	15
3절 특허 동향	18

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	22
----------------------------	----

1절 연구내용	22
1. 연구의 필요성/내용/범위	22
2. 일체형 시스템 개발을 위한 기초연구(1차년도: 2007년 1월 - 6월)	
.....	23
가. 개발개요	23
나. 콘크리트 대형 시험체 제작	24
다. 비교 측정기기 선정 시험	30
라. 탐촉자 최적거리 선정 실험	34
마. 접촉매질 선정 시험	41
바. 수신파 파형분석	48
3. 1차년도 일체형 시스템 개발(1차년도: 2007년 1월 - 6월)	80
가. 개발개요	80
나. 마이크로 프로세서 개발	81
다. 소형 초음파 탐촉자개발	89
라. 일체성 시스템 개발(1차 시제품)	90
4. 2차년도 일체형 시스템 개발(2차년도: 2007년 9월 - 2008년 6월)	
.....	91
가. 개발개요	91
나. 콘크리트 소형시험체 제작	92
다. 마이크로 프로세서 개발	96
라. 소형 초음파 탐촉자개발	98
마. 이중채널 주파수 결정	109

바. 깊이계산식 결정	129
사. 일체형 시스템 개발(2차 시제품)	142
아. 성능시험	143
5. 최종 일체형 시스템 개발 및 성능시험(2차년도: 2008년 7월 - 2008년 12월)	159
가. 개발개요	159
나. 일체형 시스템 개발(최종 제품)	160
다. 성능시험	173
2절 연구결과	187
1. 일체형 시스템 개발을 위한 기초연구	187
2. 1차년도 일체형 시스템 개발	188
3. 2차년도 일체형 시스템 개발	188
4. 최종 일체형 시스템 개발 및 성능시험	190
5. 보완사항 및 향후 연구계획	192
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	204
1절 연구개발목표 달성도	204
2절 관련분야에의 기여도	209

제 5 장 연구개발결과의 활용계획	211
--------------------------	-----

1절 추가연구의 필요성	211
--------------------	-----

2절 타 연구에의 응용	211
--------------------	-----

3절 연구결과의 기업 활용방안	212
------------------------	-----

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ...	216
---------------------------------	-----

1절 다중주파수사용 초음파 탐사기	209
--------------------------	-----

2절 일체형 시스템 구조	219
---------------------	-----

3절 접촉매질 개선 시스템	222
----------------------	-----

4절 초음파 절단기와 코어채취기	227
-------------------------	-----

제 7장 참고문헌	229
-----------------	-----

자체평가의견서

그림목차

- 그림 3.1.2.1 일체형 시스템 개발을 위한 기초연구 흐름도
- 그림 3.1.2.2 콘크리트 대형시험체별 제작도면
- 그림 3.1.2.3 콘크리트 압축강도 실험(40Mpa)
- 그림 3.1.2.4 콘크리트 압축강도 실험(21Mpa)
- 그림 3.1.2.5 균열깊이 측정 결과 : 측정기기 선정
- 그림 3.1.2.6 탐촉자 최적거리 선정시험 개념도
- 그림 3.1.2.7 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정 (TICO)
- 그림 3.1.2.8 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정 (TR300)
- 그림 3.1.2.9 수신과 초동 포착상의 오차
- 그림 3.1.2.10 균열깊이와 탐촉자거리 모식도
- 그림 3.1.2.11 탐촉자거리 5cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.12 탐촉자거리 10cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.13 탐촉자거리 15cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.14 탐촉자거리 20cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.15 탐촉자거리 25cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.16 탐촉자거리 30cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.17 탐촉자거리와 균열깊이 모식도
- 그림 3.1.2.18 균열깊이 5cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.19 균열깊이 10cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.20 균열깊이 15cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.21 균열깊이 20cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.22 균열깊이 30cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.23 균열깊이 5cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.24 균열깊이 5cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.25 균열깊이 5cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.26 균열깊이 10cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.27 균열깊이 10cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.28 균열깊이 10cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.29 균열깊이 15cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
- 그림 3.1.2.30 균열깊이 15cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

그림 3.1.2.31 균열깊이 15cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
그림 3.1.2.32 균열깊이 20cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
그림 3.1.2.33 균열깊이 20cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
그림 3.1.2.34 균열깊이 20cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
그림 3.1.2.35 균열깊이 30cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
그림 3.1.2.36 균열깊이 30cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상
그림 3.1.2.37 균열깊이 30cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

그림 3.1.3.1 1차년도 일체형 시스템 개발 연구 개요도

그림 3.1.3.2 연구개발에 근간이 된 공식

그림 3.1.4.1 2차년도 일체형 시스템 개발 연구 개요도

그림 3.1.4.2 2차년도 일체형 시스템 회로기능도

그림 3.1.4.3 수신과 초동 포착상의 오차

그림 3.1.4.4 실험조사 모식도

그림 3.1.4.5 Test Block 1에서의 실험결과

그림 3.1.4.6 Test Block 2에서의 실험결과

그림 3.1.4.7 Test Block 3에서의 실험결과

그림 3.1.4.8 균열거리 5cm일 때의 실험결과

그림 3.1.4.9 균열거리 10cm일 때의 실험결과

그림 3.1.4.10 균열거리 15cm일 때의 실험결과

그림 3.1.4.11 균열거리 20cm일 때의 실험결과

그림 3.1.4.12 주행거리별 오차비교

그림 3.1.4.13 입사각별 오차비교

그림 3.1.4.14 균열깊이 5cm에 대한 파형변화

그림 3.1.4.15 균열깊이 10cm에 대한 파형변화

그림 3.1.4.16 균열깊이 15cm에 대한 파형변화

그림 3.1.4.17 MBS(modified BS) 계산식 모식도

그림 3.1.4.18 T1 시간에 오차가 있을 경우

그림 3.1.4.19 T2 시간에 오차가 있을 경우

그림 3.1.4.20 Tc-To 계산식 모식도

그림 3.1.4.21 To 시간에 오차가 있을 경우

그림 3.1.4.22 Tc 시간에 오차가 있을 경우
그림 3.1.4.23 2us 오차가 있을 경우
그림 3.1.4.24 4us 오차가 있을 경우
그림 3.1.4.25 6us 오차가 있을 경우
그림 3.1.4.26 성능시험개요도
그림 3.1.4.27 마이크로 프로세서 성능시험 개요도
그림 3.1.4.28 소형탐촉자 성능시험 개요도
그림 3.1.4.29 2차 시제품 성능시험 개요도

그림 3.1.5.1 최종 제품 개발 개요도
그림 3.1.5.2 최초 회로구성도
그림 3.1.5.3 1차 개선 회로구성도
그림 3.1.5.4 마이크로 컨트롤러 유닛 다이어그램
그림 3.1.5.5 잡음신호와 초동신호
그림 3.1.5.6 초동신호 인식 알고리즘의 플로우차트
그림 3.1.5.7 PC용 어플리케이션에서 보여지는 초동 신호
그림 3.1.5.8 성능시험 개요도(최종일체형 시스템)
그림 3.1.5.9 소형시험체 다점측정(2D)

그림 3.2.5.1 향후 장비 개발 및 업그레이드 계획

사진목차

- 사진 3.1.2.1 콘크리트 대형 시험체 제작사진
- 사진 3.1.2.2 완성된 대형시험체와 압축강도 시험
- 사진 3.1.2.3 비교측정기기 선정시험에 사용된 각국의 초음파 탐사기
- 사진 3.1.2.4 균열깊이 측정순서 및 방법
- 사진 3.1.2.5 시험에 사용된 장비 및 시험사진
- 사진 3.1.2.6 직접 초음파 전달시험과정
- 사진 3.1.2.7 직접 초음파 전달시험 박막재료
- 사진 3.1.2.8 박판을 이용한 파형분석(1),(2),(3)
- 사진 3.1.2.9 간접초음파 전달시험

- 사진 3.1.3.1 기존 및 개발된 장비 배터리
- 사진 3.1.3.2 기존 및 개발된 승압회로
- 사진 3.1.3.3 개발된 승압회로
- 사진 3.1.3.4 필터회로 및 필터링한 승압회로
- 사진 3.1.3.5 펄스발생회로와 센서전압테스트
- 사진 3.1.3.6 신호차폐장치
- 사진 3.1.3.7 신호가공회로
- 사진 3.1.3.8 신호가공회로를 통과한 신호
- 사진 3.1.3.9 소형기관 전체회로 사진 및 회로구성
- 사진 3.1.3.10 소형탐촉자 구성
- 사진 3.1.3.11 1차년도 일체형 시스템(1차 시제품)

- 사진 3.1.4.1 콘크리트 소형시험체 제작사진
- 사진 3.1.4.2 소형시험체 균열폭 측정
- 사진 3.1.4.3 2차년도 일체형 시스템 주요부품
- 사진 3.1.4.4 러시아 A사의 탐촉자
- 사진 3.1.4.5 러시아 A사 탐촉자 파형분석
- 사진 3.1.4.6 일본 O사의 탐촉자
- 사진 3.1.4.7 일본 O사의 탐촉자 파형분석
- 사진 3.1.4.8 MKC-1013 탐촉자
- 사진 3.1.4.9 MKC-1013 탐촉자 파형분석
- 사진 3.1.4.10 MKC-1014 탐촉자
- 사진 3.1.4.11 MKC-1014 탐촉자 파형분석

사진 3.1.4.12 MKC-1015 탐촉자
사진 3.1.4.13 MKC-1015 탐촉자 파형분석
사진 3.1.4.14 MKC-1016 탐촉자
사진 3.1.4.15 MKC-1016 탐촉자 파형분석
사진 3.1.4.16 MKC-1017 탐촉자
사진 3.1.4.17 MKC-1017 탐촉자 파형분석
사진 3.1.4.18 MKC-1018 탐촉자
사진 3.1.4.19 MKC-1018 탐촉자 파형분석
사진 3.1.4.20 2차년도 일체형시스템(2차시제품)
사진 3.1.4.21 캘리브레이션 바를 이용한 보정
사진 3.1.4.22 콘크리트 초음파전달속도 시험개요도(마이크로 프로세서 성능시험)
사진 3.1.4.23 균열깊이 측정 시험 개요도(마이크로 프로세서 성능시험)
사진 3.1.4.24 캘리브레이션 바를 이용한 보정
사진 3.1.4.25 콘크리트 초음파 전달속도 시험 개요도(탐촉자 성능시험)
사진 3.1.4.26 균열깊이 측정 시험 개요도(탐촉자 성능시험)
사진 3.1.4.27 콘크리트 초음파 전달속도 시험 개요도(2차 시제품)
사진 3.1.4.28 균열깊이 측정 시험 개요도(2차 시제품)

사진 3.1.5.1 최초 회로 구성된 표시부 및 펄서/리시버 부
사진 3.1.5.2 1차 개선 회로 구성된 표시부 및 펄서/리시버 부
사진 3.1.5.3 1차 개선 회로 단계별 신호파형분석
사진 3.1.5.4 2차 개선 회로구성과 신호파형분석
사진 3.1.5.5 초음파 차폐구조
사진 3.1.5.6 파형분석을 위한 시스템
사진 3.1.5.7 대형 콘크리트 시험체
사진 3.1.5.8 철근 배근 시험체
사진 3.1.5.9 현장 코어 시험
사진 3.1.5.10 현장코어 시험 관련장비

사진 3.2.5.1 낙하실험 및 측정기 파손형태
사진 3.2.5.2 구조적 강도 및 내구성 보강
사진 3.2.5.1 제작 완료된 제품홍보용 카달로그

표목차

- 표 3.1.2.1 콘크리트 대형 시험체 제원
- 표 3.1.2.2 비교 측정기기 선정시험 개요
- 표 3.1.2.3 균열깊이 측정 결과 : 측정기기 선정($f_{ck} = 21 \text{ MPa}$)
- 표 3.1.2.4 균열깊이 측정 결과 : 측정기기 선정($f_{ck} = 40 \text{ MPa}$)
- 표 3.1.2.5 탐촉자 최적거리 선정시험 개요
- 표 3.1.2.6 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정(TICO, $f_{ck} = 21 \text{ MPa}$)
- 표 3.1.2.7 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정(TICO, $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$)
- 표 3.1.2.8 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정(TR300, $f_{ck} = 21 \text{ MPa}$)
- 표 3.1.2.9 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정(TR300, $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$)
- 표 3.1.2.10 간접초음파 전달시험 개요
- 표 3.1.2.11 간접 초음파 전달시험 결과
- 표 3.1.2.12 파형분석 결과요약

- 표 3.1.3.1 마이크로 프로세서 주요제원

- 표 3.1.4.1 콘크리트 소형 시험체 제원
- 표 3.1.4.2 소형시험체 균열폭 측정시험
- 표 3.1.4.3 Test Block 1에서의 실험결과표
- 표 3.1.4.4 Test Block 2에서의 실험결과표
- 표 3.1.4.5 Test Block 3에서의 실험결과표
- 표 3.1.4.6 콘크리트 초음파 전달속도 시험결과(마이크로 프로세서 성능시험)
- 표 3.1.4.7 균열깊이 측정시험 결과(마이크로 프로세서 성능시험)
- 표 3.1.4.8 콘크리트 초음파 전달속도 시험결과(탐촉자 성능시험)
- 표 3.1.4.9 균열깊이 측정시험 결과(탐촉자 성능시험)
- 표 3.1.4.10 콘크리트 초음파 전달속도 시험결과(2차 시제품)
- 표 3.1.4.11 균열깊이 측정시험 결과(2차 시제품)

- 표 3.1.5.1 소형시험체 파형분석 및 균열깊이 측정시험
- 표 3.1.5.2 소형시험체 다점측정(2D)
- 표 3.1.5.3 대형 소형시험체 균열깊이 측정시험(압축강도 40Mpa)

표 3.1.5.4 대형 소형시험체 균열깊이 측정시험(압축강도 21Mpa)

표 3.1.5.5 철근배근 시험체 균열깊이 측정시험(균열깊이 65mm)

표 3.1.5.6 철근배근 시험체 균열깊이 측정시험(균열깊이 90mm)

표 3.1.5.7 현장 코아시험(1)

표 3.1.5.8 현장 코아시험(2)

표 3.2.5.1 일체형 시스템 경비관련 분석표

표 3.2.5.2 소형시험체 개발장비 성능시험

표 3.2.5.3 대형시험체 개발장비 성능시험

표 3.2.5.4 현장시험 개발장비 성능시험

제 1 장 서론

콘크리트는 다른 소재에 비하여 경제성, 안전성, 시공성 등 여러 가지 장점을 가지고 있기 때문에, 현재 각종 시설물의 주재료로써 많이 사용하고 있다. 국내에서도 대략 70% 이상의 구조물이 콘크리트 구조로 되어 있다. 콘크리트 구조물은 시간이 경과함에 따라 노후화가 진행되어 가는데, 이미 많은 비율의 국내 사회기반시설물(지하철, 도로, 항만, 터널, 교량 등)이 노후화에 따른 내구성 사용성이 저하되고 있으며 이는 성수대교 붕괴사고나 삼풍백화점 붕괴사고와 같은 대형안전사고를 유발할 가능성이 높아지고 있다. 이러한 이유로 사회기반시설물의 이용자인 국민의 80% 이상이 시설물을 이용할 때 불안감을 가지고 있는 것으로 조사되었다.(2001년 통계청 조사 자료 인용)

<대형 안전사고 사례>

사고명	위치	사고일시	내 용	피해정도	비 고
남해 창선교 붕괴사고	남해군 상동면	1992. 7.30	5번 교각이 무너지면서 붕괴됨	- 사망:2명 - 막대한 재산피해 - 교통량 두절 (2000대/일)	<사진1> 참조
성수대교 붕괴사고	서울시 성동구 성수동	1994. 10. 21.	설계, 시공, 유지관리의 복합적 부실	- 사망 32명 - 부상 17명	<사진2> 참조
신행주대교 붕괴사고	서울 강서구 경기 고양시	1992. 7.31	신행주대교 건설공사중 1,020m 구간이 붕괴됨.	- 막대한 재산피해 - 준공지연 (2년3개월)	<사진3> 참조
삼 풍 백 화 점 붕괴사고	서울시 서초구 서초동	1995. 6.29	북측 건물의 5층 슬라브가 붕괴후 연쇄적으로 지하층까지 붕괴	- 사망: 501명 - 부상: 937명 - 실종: 6명 - 막대한 재산피해	<사진4> 참조
연천댐 붕괴사고	경기도 연천군 정산면	1996. 7.27	댐 양안으로 월류되면서 우측 댐체가 파괴됨	- 하류부에 피해	<사진5> 참조



<사진1>남해창선교 붕괴사고



<사진2>성수대교 붕괴사고



<사진3>신행주대교 붕괴사고

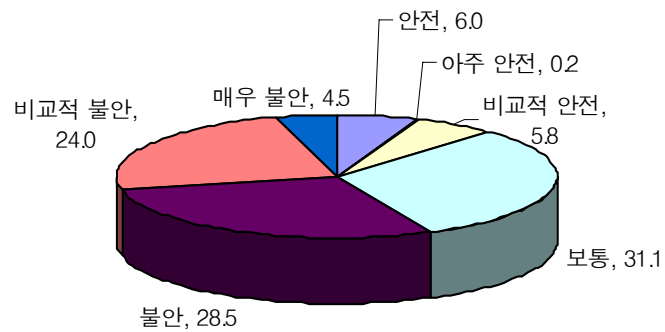


<사진4>삼풍백화점 붕괴사고



<사진5>연천댐 붕괴사고

<통계청 조사자료>



사회안전에 대한 인식도 (건축물 및 시설물)
(2001년도 통계청 조사, 단위: %)

시설물의 공용기간 중에 안전성과 사용연한의 극대화를 도모하고 이를 통한 경제성 확보를 위하여 시설물의 체계적인 관리가 절대적으로 필요한 시점이며, 시설물의 주재료인 콘크리트 손상에 대한 정밀한 측정 및 장비의 기술이 요구되고 있다.

통상적으로 콘크리트 구조물의 상태를 측정하기 위한 방법으로 강도와 균열에 대한 측정을 수행한다. 콘크리트의 강도를 측정하기 위해서는 슈미트햄머에 의한 방법을 사용하거나, 초음파에 의한 강도측정을 통해 평가하고 있다. 한편, 콘크리트 균열은 표면균열의 경우 디지털카메라에 의한 진행검사, 육안에 의한 검사, 틸새게이지 등의 방법으로 측정하고 있으며, 이 외에도 법적으로 규정된 방법에 의해서 평가한다. 콘크리트 내부의 균열깊이는 파괴검사인 코어링에 의한 샘플채취방법, 비파괴 검사인 X-RAY를 이용한 촬영, 충격파 측정, 초음파 측정 등의 방법을 활용한다.

발생하는 대다수의 균열은 콘크리트 내하력 저하에 중요한 인자로 작용하고 있다. 콘크리트의 유지관리 시에 균열의 발생 및 진행여부에 많은 관심을 기울이고 있으나 균열계측을 위한 장비, 특히 균열의 깊이를 파악하는 장비의 성능이 기대에 못 미치고 있는 실정이다. 한편, 선진국에서 수입되어 사용되는 종래의 콘크리트 균열 탐지용 초음파탐지기는 측정기 본체와 탐촉자를 케이블로 연결하고, 측정부위에 접촉제를 바르고, 탐촉자를 양손으로 고정한 후 신호를 측정하고 별도의 계산과정을 거치는 불편함이 있었다.

그러므로 본 기술은 전체 시스템을 일체화(one piece)하여 구성요소 간 연결과정을 없애고, 박판보호막의 탐촉자 적용성을 실험을 통해 검증함과 동시에 이를 적용해 일련의 조사과정을 단순화하고자 한다. 또한 이중채널의 탐촉자를 사용함으로써 균열 깊이 산정의 편의성을 높이고, 마이크로프로세서를 채택 계산과정을 단순화하여 활용성을 높이는데 목적을 두고 있다.

이에 따라 균열의 깊이를 정확히 측정할 수 있는 장비를 개발하여 콘크리트에 발생하는 균열이 해당 구조물에 어느 정도 손상을 주고 있는지 파악하고 차후 대책을 세우는데 공학적 판단을 할 수 있는 기초 자료로 사용할 수 있도록 한다.

1절 연구개발의 목적

1. 연구개발의 최종목표

가. 최종목표

현존하는 콘크리트균열탐지용 초음파탐지기는 측정기 본체와 탐촉자를 케이블로 연결하고, 측정부위에 접촉제를 바르고, 탐촉자를 양손으로 고정한 후 신호를 측정한다. 이와같은 일련의 조사과정중에 측정하는 인력의 숙련도, 작업이해도, 작업환경에 따라 측정 중에 오차가 발생하게 되고, 신호측정을 위해서 최소 2인 이상의 인력이 필요한 문제점이 발생한다. 또한, 깊이 계산을 위해 별도의 계산과정을 거치는 불편함이 있으며 깊이계산을 위해 사용한 방법과 수식에 따라 계산된 깊이에 차이가 발생하기도 한다.

본 연구를 통하여 개발하고자 하는 기술의 특징은 다음과 같다.

- i) 측정기 본체와 탐촉자 등 시스템을 일체화(one piece)하여 구성요소 간 연결과정을 없애 조사과정을 단순화하여 측정자에 따른 개인별 오차를 최소화 하고자 한다.
- ii) 이중채널의 탐촉자를 사용함으로써 1회 측정, 1곳 측정으로 균열깊이를 산출함으로써 균열깊이 측정의 편의성을 높인다.
- iii) 마이크로프로세서를 채택 균열깊이 계산과정을 자동화 함으로써 별도의 계산과정을 없애 측정의 단순화를 통한 현장 활용성을 높인다.
- iv) 신호분석을 디지털화함과 동시에 초동신호분석 알고리즘을 개발 및 개선해 신호측정의 안정성 및 정확성을 높인다.

본 연구개발의 최종목표는 다음과 같다.

- i) 콘크리트균열깊이 탐지작업을 1인 작업이 가능한 매우 용이한 작업이 되게 한다.
- ii) 균열깊이산정의 정확도를 현재의 탐사기에 의한 것보다 동급이상으로 개선한다.
- iii) 개발된 기술을 상품화하는데 있다.

나. 최종목표의 성격 및 설정 근거

현업의 안전진단 기술자가 현존하는 콘크리트균열탐지용 초음파탐지기를 사용하는 데는 크게 2가지의 불편함이 있다.

첫째, 측정기 본체와 탐촉자를 케이블로 연결하고, 측정부위에 접촉제(카플란트)를 도포하는 등의 일련의 장비의 사용상의 불편함과 둘째, 측정 및 측정후의 계산식에 의해서 균열깊이 산정의 부정확성이다.

본 연구개발 과제의 목표 설정의 근거는 사용상 용이성 증대 및 깊이산정의 정확도 향상에 있으며, 최종 목표의 성격은 제품을 개발하여 상용화 하는 것이다.

i) 이중채널 탐촉자 :

- 최적의 일체형 시스템을 개발하기 위한 탐촉자의 소형화 및 경량화 추진
- 1차년도에 콘크리트 모형실험을 통한 data 수집 및 2차년도 초반의 분석 등을 통하여 2개의 주파수(내측 및 외측 탐촉자 주파수) 결정
- 협력업체인 엠케이씨코리아가 주파수별 탐촉자 제조기술 보유
- 일체형시스템에 이중채널 사용은 독창적 고안

ii) 박판보호막 :

- 박판보호막은 수 mm 이내의 얇은 고무성 재료로 거친 표면으로부터 탐촉자 하단을 보호하고, 탐촉자 하단과 표면사이의 air gap을 줄이는 목적으로 사용되어 왔음.
- 본 연구진의 일원인 엠케이씨코리아에서 행한 선행연구에 의해, 박판 보호막 사

용 시 탐촉자 하단과 표면 사이의 air gap 효과가 크지 않다는 것을 파악 하였음.
또한 본 연구에서는 보다 신축성이 좋은 재질을 구하여 air gap 영향을 극소화하
는 연구를 통해 적용성을 검토하고자 함

- 접촉제 사용을 제거하여 사용상 용이성 증대
- 1차년도에 국외 및 국내 Protective Membrane 제작사의 제품(미국 Technisonic
사, 한국 하기소닉사) 성능을 실험하여 적정 재질 및 형태 선정
- 협력업체인 엠케이씨코리아가 박판보호막 사용경험 보유.
- 협력업체인 엠케이씨코리아가 각종 규격의 탐촉자를 제작할 수 있음

iii) 깊이계산식 :

- Tc-To법, BS-4408법 또는 2 개의 주파수 신호의 신뢰도에 따른 가중치를 포함
한 혼합계산식에 의해 깊이산정의 정확도 향상
- 1차년도에 콘크리트 모형실험으로 data 수집 및 2차년도 초반의 깊이계산식 분
석 및 결정
- 에스큐엔지니어링과 지오글로버스의 공동 실험
- 2개 주파수 신호의 신뢰도에 따른 가중치법은 독창적 고안

iv) 마이크로프로세서 회로 :

- 마이크로프로세서 회로를 채택하여 계산이 자동화되어 사용상 용이성 증대
- 초동신호 분석 알고리즘 개발 및 적용
- 2차년도 초반에 실험 data 분석 및 제작
- 협력업체인 엠케이씨코리아가 기술 보유

v) 일체형 시스템 :

- 케이블 사용을 제거하여 사용상 용이성 증대
- 2차년도 중반에 제작
- 협력업체인 엠케이씨코리아가 일체형 탐촉자 제작경험 보유
- 본체를 포함한 일체형시스템은 본 연구개발팀에 의한 독창적 고안

vi) 상품화

- 엠케이씨코리아와 지오글로버스가 상품제작 경험보유
- 안전진단 업체인 에스큐엔지니어링, 전자장비제조업체인 엠케이씨코리아, 탐사 장비개발업체인 지오글로버스가 기존 고객층 및 신규고객층을 통한 총력 판매

2절 연구개발의 필요성 및 범위

1. 연구개발의 필요성

가. 기술적 측면

현재 균열깊이 측정에 사용되는 비파괴 측정 장비로는 대부분이 초음파를 이용한 방식을 이용하고 있다. 균열을 중심으로 발진자에서 수신자까지 도달하는 시간을 측정하여 균열의 깊이를 여러 종류의 식에 대입하여 균열의 깊이를 추산한다.

그러나 측정자의 숙련도에 따라서 초음파의 도달시간 측정값에 많은 오차가 발생하며, 여러 종류의 식에 대입함으로써 균열의 깊이 또한 여러 가지 값을 추정하고 있다. 이처럼 동일한 균열의 깊이를 측정함에 있어서 사용하는 식에 따라서 균열깊이 측정값이 달라지므로, 이 문제를 해결하기 위한 통일된 방법과 정확한 측정값을 구하는 장비를 개발하여 데이터의 신뢰도를 높이는 기술이 절실히 요구되고 있다.

통일된 방법으로 신뢰도 높은 균열깊이를 추정함으로써 균열로 인한 콘크리트의 손상상태를 정확히 판단할 수 있으며 콘크리트 구조물의 유지관리와 보수보강에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단되어, 관련기술에 미치는 파급효과가 클 것으로 추정된다.

나. 경제 · 산업적 측면

국내의 사회기반시설의 대부분이 콘크리트 구조로 되어있으며, 구조물의 공용연수가 증가함에 따라, 유지관리에 점점 많은 관심이 기울여지고 있다. 시공 시부터 발생하기도 하는 균열의 깊이에 대한 정확한 측정이 이루어진다면 적당한 시기에 콘크리트에 대한 보수 및 보강을 실시한다면, 콘크리트의 내구성 향상을 통한 사용연한의 극대화를 이룰 수 있을 것이다. 사용연한의 극대화는 시설물의 재건축 주기를 최대로 늘림으로써, 국가와 사회가 부담하는 경제적 비용을 최소화할 수 있을 것이다.

또한, 국내의 콘크리트에 대한 초음파계측기술의 발전으로, 관련업계에 기술적 자극제로 작용하여 경쟁심리 유발로 전반적인 기술상승효과가 기대된다. 국내에서 초

음파계측기를 생산하게 되면 20억원이상의 수입절감효과가 발생할 것이며, 수출활로 까지 개척된다면 수출로 인한 외화획득에 일정부분 역할을 감당할 것으로 예상된다.

다. 사회·문화적 측면

잦은 대형붕괴사고의 발생으로 국민의 대부분이 시설물에 대한 안전에 많은 우려를 하고 있는 상황이다. 정확한 균열측정으로 구조물의 손상상태를 정확히 판단하여, 시설물의 안전성을 최대로 높여 시설물의 붕괴사고를 예방할 수 있다면 국민들은 안전하게 시설물을 이용할 수 있을 것이다. 또한 부실공사로 인하여 신뢰도가 많이 추락한 우리나라의 토목 관련분야가 다시금 새로운 위상을 찾을 것으로 기대된다.

점점 형태가 다양화되고 대형화 되고 있는 철근콘크리트 구조물이 더욱 안전성 있게 유지 관리됨으로써 국가발전의 초석이 될 것으로 예상된다.

2. 연구내용 및 범위

가. 1차년도 연구내용

(1) 이중채널 탐촉자 시스템 주파수 결정을 위한 실험, 분석

- 균열 깊이 및 폭이 다른 콘크리트 모형 제작
(깊이: 5,10,15,20,30cm, 폭:0.1, 0.3mm)
- 24, 37, 54, 82, 100, 150, 200 kHz 주파수의 탐촉자 주문 및 구입
- 탐촉자 간 최적 거리 실험(균열로부터 거리 7cm - 15cm)
- 거리별 주파수별 콘크리트 모형별 회절과 취득

(2) 박판보호막 재질 결정을 위한 실험, 분석 및 적정성 검토

- 국외 및 국내 Protective Membrane 제작사의 제품 구입
(미국 Technisonic사, 한국 하기소닉사)

- 성능을 실험하여 적정 재질 및 형태 선정에 필요한 DATA 수집
- 실험결과에 따른 박판보호막 사용의 적정성 검토

(3) 깊이계산식 고찰

- 주파수 결정과정에서 취득한 모형별 회절과 도달시간에 대해 Tc-To법과 BS-4408법에 의한 깊이 고찰
- 회절과 도달시간 포착 신뢰도 고찰
- 2개의 주파수 신호의 신뢰도에 따른 가중치를 포함한 혼합계산식 고찰

나. 2차년도 연구내용

(1) 이중채널 탐촉자 시스템 주파수 결정

- 이중채널 시스템에 사용될 두 개의 주파수(내측 및 외측 탐촉자 주파수) 선정

(2) 박판보호막 재질 결정

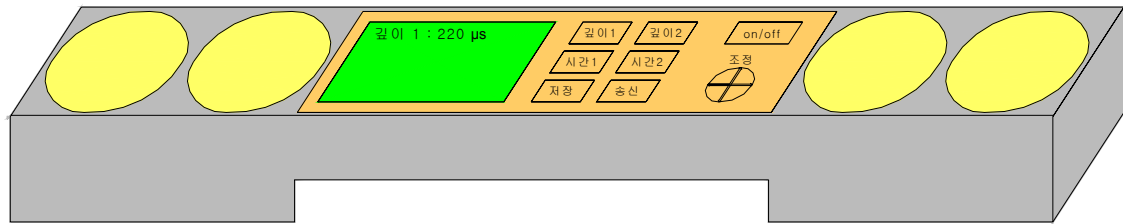
- 1차년도 연구결과인 적정성 검토 반영

(3) 마이크로 프로세서 개발

- 신호간섭의 영향 최소화하면서 소형화 프로세서 개발
- 디지털 신호분석 시스템 개발
- 초동신호 인식 알고리즘 개발(인공지능원리)

(4) 일체형시스템 시제품 개발

- 일체형 시스템에 따른 차폐시스템 개발
- 1차 시제품(1차년도), 2차 시제품(2차년도 전반)
- 최종 일체형시스템 제작(2차년도 후반)



- 목표 및 용도: 1인 사용가능 콘크리트 균열깊이 측정용 소형 탐사기
- 규격 및 사양: 50cm×5cm×7cm, 600V
- 기능: 최대 30cm 깊이까지 탐사가능(권장 : 10cm 내외)

< 콘크리트 균열깊이 탐사기 모형도 >

(4) 일체형시스템 성능분석 및 개량

- 제작된 시제품으로 대형 및 소형 콘크리트 모형실험 및 현장적용시험
- 소형 콘크리트 모형실험(균열깊이별 시험체, 균열깊이 5cm-15cm)
- 대형 콘크리트 모형실험
(균열깊이 5cm-30cm, 시험체, 콘크리트 강도 21Mpa, 40Mpa)
- 현장모사 실험 및 현장실험
- 하드웨어 개량
(모형시험과 현장시험에서 얻은 결과치를 제품 업그레이드에 적용)

(5) 상품화

- 제품 디자인 수정 및 편의장치 추가
- 카탈로그 및 매뉴얼 제작
- 상품 생산

제 2 장 국내 · 외 기술개발현황

1절 국내 기술 및 산업동향

1. 국내 시장 현황 및 예측

국내의 경우 콘크리트 균열 측정용 초음파 장비 개발은 미미한 실정이다. 국내에 출시된 제품으로는 Q-see man International에서 개발한 Contester라는 장비와 다우 엔지니어링의 Qust110이라는 장비가 있다. 그러나 현재 이 장비는 초음파의 속도와 시간 만 측정하는 기본기능만 가지고 출시된 상태에서 추가적인 개발이 이루어지지 않고 있는 상황이다. 해당 업체의 관련자에게 인터뷰한 내용으로는 이러한 장비의 추가적인 개발은 현재로서는 계획하고 있지 않다고 한다.

< Q-see man Int'l사의 Contester(좌) 와 다우엔지니어링사 Qust-110(우) >



(수급동향)

콘크리트 균열검사 장치에 대한 수출입 현황(HS No. 9031-80-9070, 흙, 균열 측정기)을 살펴보면, 국내 공급되는 장비의 대부분이 수입임을 알 수 있다. 1995, 1996, 1997년은 각종 대형사고가 빈발하면서 건축물 안전진단 시장규모가 커지면서 진단업체가 늘어나 많은 장비가 수입되었다. 수입되는 장비는 80% 이상이 CNSFARNELL과 Proceq, James Instrument의 장비였다.(해당업체의 국내 Agent 인터뷰 결과).

1998년에 들어서 수요가 포화되면서 시장은 급속히 위축되었고, 이러한 상황에서 장비의 신규수요 창출량이 미미한 상황에서 시장이 지속되고 있다. 최근의 시장동향을 보면 신규로 사업을 시작하는 업체와 자체적으로 건물을 관리하는 일정규모 이상

의 관리회사에 장비가 소량 판매되고 있고, 일부 중고장비가 시장에서 유통되면서 교체수요가 더디게 발생하고 있다.

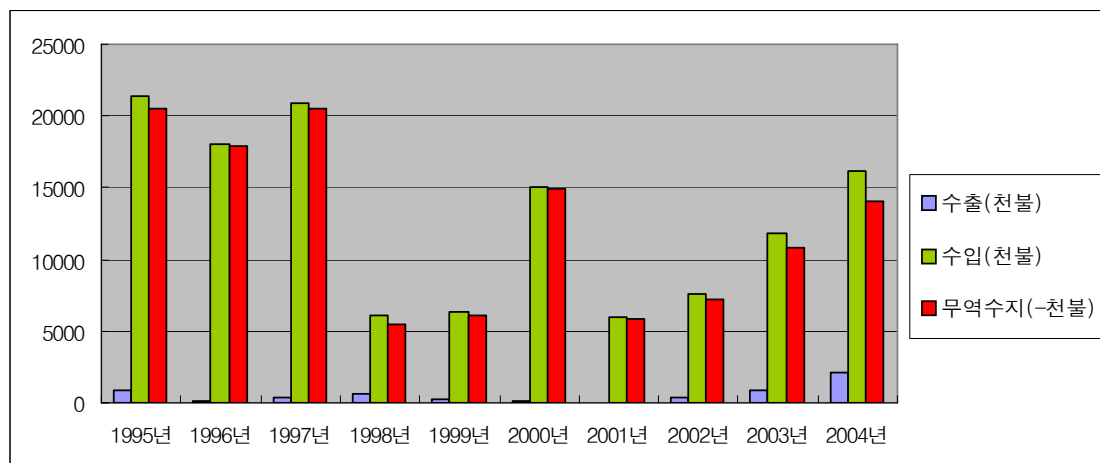
<콘크리트 균열 검사장치가 포함된 연도별 수출입 현황>

(단위 : 천불)

	1995년	1996년	1997년	1998년	1999년	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년
수출	916	135	362	612	226	89	55	399	904	2,162
수입	21,438	17,991	20,917	6,059	6,297	15,008	5,914	7,603	11,786	16,194
무역수지 (-값)	20,522	17,856	20,555	5,447	6,071	14,919	5,859	7,204	10,882	14,032

근거 : 관세청 품목별 수출입 현황(HS No. 9031-80-9070, 흙, 균열 측정기)

< 콘크리트 균열 검사장치가 포함된 연도별 수출입 현황 >



(업체동향)

1995, 1996, 1997년에 수요가 급속하게 증가한 것은 국내에서 수입만 하던 업체 중 일부가 자체적으로 개발한 장비를 시장에 저가로 공급하면서 외산을 대체하였기 때문이다. 수입장비를 판매하던 MKC International이 Contester 1000 이라는 장비를 개발하여 국내 시장에 출시하였고, 이와 비슷한 시기에 다우엔지니어링은 Qust110, 120 이라는 브랜드로 장비를 출시하고 시장에 참여하였다. 그러나 1998년부터 수요가 포화되면서 시장이 급격하게 침체되기 시작하여 개발 업체들은 추가적인 영업활동을

중단하고 다른 분야로 사업 분야를 전환하였다.

최근 국내업체들을 대상으로 인터뷰를 실시한 결과, 외산 콘크리트 균열 탐사장비를 취급하는 업체들은 그 장비 뿐 아니라 최근 비파괴 검사시장에서 수요가 많이 발생하고 있는 전자기판, 반도체 검사장비나 금속설비를 진단하는 초음파 장비를 취급하고 있는 것으로 조사되었다.

(수요예측)

초음파를 사용한 콘크리트 균열 검사용 장비는 현재 수요가 극히 침체되어 있는 상황이다. 국내에 보급된 장비의 수는 3000대 정도로 추산된다(국내 시장점유율 상위 3개사 판매업체 전문가로부터 자문). 장비가 집중적으로 보급된 시기가 1996년부터이므로 장비 내구 년 수가 10년 정도 된다고 가정하면, 교체시점이 다가오고 있으므로 교체수요를 20%로 하여 신청업체의 사업화개시 시점인 2009년부터 시장을 예측하였다. 교체수요에 매년 성장률을 고려하여 금액을 계산하였다.

<초음파를 사용한 균열검사 장비 국내 수요>

(단위 : 백만원)

	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	CAGR %
국내수요	2,400	2,520	2,646	2,778	2,917	5%

산출근거 : 업계전문가 인터뷰

(국내 시장점유율 상위 3개사 판매업체 전문가로부터 자문)

<국내 주요관련업체>

업체명	업체별 능력	비 고
엠케이씨코리아	큐씨맨 브랜드로 초음파 콘크리트 테스터를 비롯한 다수의 콘크리트 관련 검사 장비 개발	본 연구에 협력업체로 참여
큐컴	초음파 콘크리트 테스터 개발, 서버 장비가 주업종임	영업 실적 저조
다우엔지니어링	초음파 콘크리트 테스터 개발, 자체개발 능력은 없음	기능이 불만족스러움

2절 국외 기술 및 산업동향

초음파 비파괴검사분야의 세계시장은 2003년 \$1,380 Million(BCC Inc., World NDT Market 자료)이고, 2008년에는 \$11,769 Millions가 될 것으로 예측되고 있다. 이 시장은 AAGR 5.1% 로 성장하고 있다.

최종 소비분야를 기준으로 시장을 살펴보기 위해 아래의 표와 같이 미국시장의 경우를 보면, 항공분야, 발전분야, 케미칼플랜트, 제조업의 순으로 시장이 크고, 초음파를 사용한 콘크리트 비파괴 분야는 상대적으로 적어 시장의 5%으로 추산된다. AAGR (Average Annual Growth Rate) 은 3.0%이다.

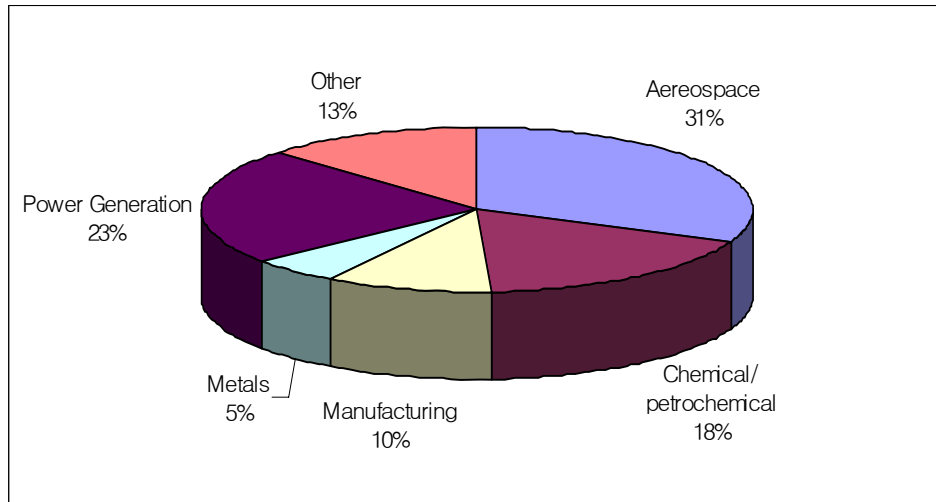
< U.S. ULTRASONIC SALES BY END-USER MARKET, THROUGH 2008 >

[단위 : Million]

Market	2002	2003	2008	AAGR%
Aereospace	75.0	75.3	86.9	2.90
Chemical/petrochemical	42.0	43.0	49.1	2.70
Manufacturing	22.0	23.0	28.0	4.00
Metals	13.0	13.0	14.3	1.90
Power Generation	53.0	55.0	77.0	7.00
Other	28.0	30.7	26.7	-2.80
Total	233.0	240.0	282.0	3.30

자료출처 : BCC NDT Market Report 2004

< U.S. ULTRASONIC SALES BY END-USER MARKET(2003) >



자료출처 : BCC N D T Market Report 2004

(업체동향)

이 시장에는 영국회사인 CNSFARNELL, 스위스 회사인 Proceq, 미국회사인 James Intrument와 일본 장비가 시장의 주도권을 가지고 있다. 특히 Proceq는 다양한 콘크리트 비파괴 검사장비 솔루션을 제공하여 시장지배력을 가지고 있다. 다음은 각 사의 대표적인 초음파를 이용한 콘크리트 균열 검사 장치이다.

< 대표적인 측정 장비들 >

CNSFARNELL

James Instrument

Proceq



Pundit plus



V-meter



TICO

CNSFARNELL은 영국에 본사를 둔 업체로서 초음파를 이용한 콘크리트 균열 검사장치 PUNDIT(Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicator)가 대표 브랜드이다. 이 회사는 Concrete, Ceramic, Road, Soil 뿐 아니라 제지, 식품 등의 분야에도 제품을 공급할 정도로 초음파를 이용한 비파괴 장비 분야에 있어서 다양한 제품군을 가지고 있다.

Proceq는 스위스에 본사를 둔 회사로, Asia, Europe, North America에 판매망을 갖추고, Concrete, Metal, Paper, Film 등의 산업에 초음파 기기뿐 아니라 일반적으로 사용하는 슈미트 반발 경도계를 비롯한 다양한 제품을 공급하고 있고, 측정 교육 및 서비스를 제공하고 있다.

위의 두 회사의 예에서 보듯이, 기존의 업체들은 자신들이 강점을 가진 분야에서 다양한 제품군으로 고객회사에 제품을 공급하는 전략을 취하고 있다.

<세계시장을 선도하는 주요업체>

업체명(국적)	업체별 능력	중점 분야
CNS Farnell(영국)	오랜 경험과 축적된 기술로 안정된 측정 장비 생산	
James Instruments(미국)	미국의 큰 시장을 기반으로 다양한 모델 출시	
Proceq(스위스)	통계적 기능과 저장 기능을 추가하여 사용이 편리	

3절 특허 동향

초음파를 이용한 콘크리트 균열 검사 장치와 관련한 국내 및 미국, 일본, 유럽의 특허를 검색하고, 주요 특허에 대해 검토하였다. 분석을 위해 국내특허는 KIPRIS(특허청 구축 특허정보 무료 검색서비스)를 활용하였고, 미국특허는 USPTO(미국특허청), 일본은 JPO(일본특허청), 유럽은 EUPATO(유럽특허청)의 DB를 사용하였다. 검색된 DB는 특허청에서 개발한 PIAS(Patent Information Analysis System)을 사용하여 취합하여 분석에 활용하였다.

(국내 특허동향)

국내특허에 대해서 초음파, 균열, 콘크리트의 3가지 검색어를 조합하여 검색한 결과 7건의 관련특허가 검색되었다. 국내에서 초음파를 이용한 콘크리트 균열장치의 개발이 적극적으로 진행되지 않은 결과를 반영한 것으로 해석된다. 주요특허의 연도별 출원 현황은 다음과 같다.

< 연도별 특허 출원현황 >

	1999	2000	2001	2002	합 계
출원건수	2	2	1	2	7

특허 출원인을 보면 개인인 조명기(본 과제 협동연구기관의 대표)가 2건, 본 과제

신청업체인 SQ엔지니어링이 1건, 한국표준과학연구원 등의 법인이 3건, 개인이 1건을 출원하였다.

특허의 내용은 기존 장비의 개선을 위한 탐촉자 고정방법, 측정의 정확도를 높이기 위한 탐촉자 배치방법이 주를 이루었다.

(주요 특허기술)

개인인 조명기가 2001년 출원한 “초음파 콘크리트 테스터”는 내부균열 검사시 한 쌍의 발진자와 수신자의 위치를 고정할 수 있도록 고안한 것이 특징이다.

한국표준과학연구원에서 출원한 “콘크리트 구조물의 표면에 발생한 경사진 균열의 깊이와 각도를 동시에 측정하는 방법” 특허의 내용을 살펴보면, 측정의 정밀도를 높이기 위해서 발진자와 수신자를 경사면의 균열을 중심으로 반대쪽에 배치하여 초음파법으로 신호를 감지하는 한편, 센서를 추가적으로 배치하여 충격탄성파법을 함께 사용하여 측정하고자 하였다.

조명기가 1996년에 출원한 “비파괴방식 측정/검사장비”는 탐촉자 측에서도 측정된 값을 읽을 수 있도록 하였다.

< 국내 출원된 주요특허 >

순번	특 허 명	등록번호	출 원 자
1	콘크리트 구조물의 비파괴검사 방법	내용삭제	주식회사 케이티
2	액정과 압전소자를 이용한 탄성과 탐상의 2차원 가시화 장치		주식회사 레이콤
3	콘크리트 구조물의 표면에 발생한 경사진 균열의 깊이와 각도를 동시에 측정하는 방법		한국표준과학연구원
4	초음파 콘크리트 테스터		조명기
5	콘크리트 균열 깊이 측정용 간이 초음파 장치		S&Q Engineering
6	웨이브렛을 이용한 초음파 검사방법 및 장치		김희찬, 양윤석
7	비파괴 방식 측정/검사장비		조명기

(해외특허 동향)

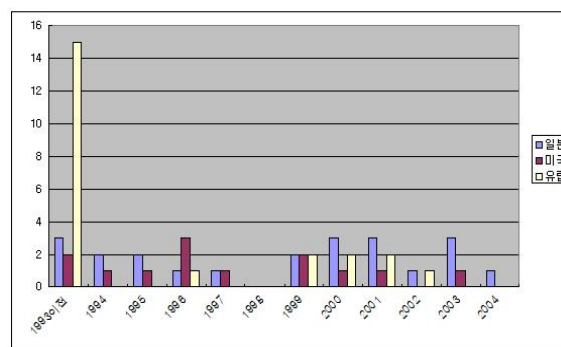
초음파를 이용한 콘크리트 균열검사 장치와 관련된 특허를 해당 DB에서 검색하였

다. 검색에 사용한 키워드는 ultrasonic, concrete, crack의 세 단어를 조합하여 사용했고, 각 DB에 동일한 조건으로 입력 검색하였다.

연도별, 국가별 출원현황을 살펴보면 이 분야와 밀접한 특허의 건수가 그리 많지 않고, 연도별 특허출원도 특이한 경향은 보이지는 않는 것으로 나타났다.

주요 출원인으로는 Hitachi Construction Machinery, Hazama Gumi 등이 있다. 그러나, 이 장비분야에서 시장우위를 점하고 있는 CNSFARNELL, Proseq, James Instruments사의 최근특허는 발견되지 않았다. 이것은 기본적인 장비관련 아이디어는 이미 알려진 상태에서 핵심이 되는 초음파 탐촉자, 처리 알고리즘과 관련된 노하우가 더 중요한 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다.

< 연도/국가별 특허 출원동향 >



< 연도별 출원국가별 특허현황 >

구분	년도												계
	'93 이전	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	
일본	3	2	2	1	1	0	2	3	3	1	3	1	22
미국	2	1	1	3	1	0	2	1	1	0	1	0	13
유럽	15	0	0	1	0	0	2	2	2	1	0	0	23
계	20	3	3	5	2	0	6	6	6	2	4	1	58

(주요 특허기술)

1987년에 출원된 Hitachi의 특허 JP0031048은 크랙의 정확한 측정을 위해 발진자가 위치한 반대편에 수신자를 위치시키고, 낮은 주파수의 초음파를 사용하는 것을 특

정으로 하고 있다.

유럽에 출원 공개된 조명기의 초음파 콘크리트 테스트는 초음파 발진자, 수신자를 공간이 있는 통에 고정하여, 종래의 측정시 위치를 일정하게 유지하지 못하여 오차가 발생하는 것을 방지하기 위한 구조를 주요 특징으로 한다. 또한 1999년에 Hazama Gumi에 의해 출원된 일본특허 JP1999-0071772는 콘크리트 표면이 균일하지 않아 발생하는 오차를 줄이기 위해서 발진자 1개에, 2개의 수신자를 각각의 장치로 신호를 받아서 이를 처리함으로써 오차를 줄이는 것을 주요 내용으로 한다.

주요한 특허들은 주로 측정을 하는데 있어서 발진자, 수신자를 배치하는 방법이나, 수신자를 고정하는 방법으로 이루어져 있고, 이외 몇몇 특허는 수신자의 신호를 받아 처리하는 처리 알고리즘을 주요한 내용으로 하고 있다.

< 해외 주요특허 >

No.	특허명	출원번호	출원인
1	METHOD FOR MEASURING SURFACE OPENING CRACK DEPTH OF CONCRETE BY ULTRASONIC WAVE	내용삭제	HITACHI CONSTR MACH CO LTD
2	MEASURING INSTRUMENT FOR THICKNESS OF CONCRETE AND POSITION OF INTERNAL CRACKING		TOUYOKO ERUMESU:KK
3	METHOD OF MEASURING OPEN CRACK DEPTH OF CONCRETE SURFACE		HITACHI CONSTR MACH CO LTD
4	Method and apparatus for measuring depth of crack for reinforced concrete construction		H & B System Inc. Imperial Consultant Inc.

제 3장 연구개발 수행내용 및 결과

1절 연구내용

1. 연구의 목표/내용/범위

본 연구과제는 총 2년(총 22개월)으로 수행되는 연구과제로 연차별 연구목표와 주요연구 및 범위를 정리하면 다음과 같다.

연차	연구목표	주요 연구내용 및 범위
1 차 년 도	- 이중채널 탐촉자 시스템을 위한 적정주파수 실험·분석	- 콘크리트 모형실험에 의한 주파수별 최적 침투심도 파악
	- 박판보호막 재질 결정을 위한 실험·분석	- 국내외 Protective Membrane 제작사의 제품성능 실험
	- 깊이계산식 분석	- 선택된 주파수, 보호막, 표준 모형 등에 적합한 깊이계산 분석
2 차 년 도	- 이중채널 탐촉자 시스템을 위한 적정주파수 결정	- 이중채널 시스템에 사용 될 두 개의 주파수 선정
	- 박판보호막 재질 결정	- 1차년도 연구결과인 적정성검토 적용
	- 깊이계산식 결정	- 선택된 주파수, 보호막, 표준모형 등에 적합한 깊이계산 결정 - Tc-To법, BS-4408법 또는 회절신호의 신뢰도에 따른 가중치를 포함한 혼합형으로 구성
	- 마이크로프로세서 회로개발	- 상기 연구에 의해 결정된 이중채널 처리절과 및 깊이 계산식에 부합하는 마이크로프로세서 회로개발 - 키 입력부는 몇 개의 단순조작 버튼으로만 구성
	- 일체형 시스템 시제품 개발 - 성능분석 및 개량 - 상품화	- 상기 이중채널 시스템의 본체부 및 탐촉자를 포함하는 일체형 시제품 개발 (모형도 참조) - 탐촉자 및 보호박막은 외주 제작 - 모형실험, 깊이 계산치 비교 - 규격 등 하드웨어 개량 - 현장적용시험 및 개량 - 제품 디자인 - 상품생산 - 시판을 위한 매뉴얼 및 카탈로그 제작

2. 일체형 시스템개발을 위한 기초연구(1차년도: 2007년 1월 - 6월)

가. 개발 개요

1차년도 연구는 장비개발위한 콘크리트 대형시험체 제작, 개발되는 일체형 시스템의 성능을 상호 비교분석하기 위한 비교측정기기 선정시험, 일체형 시스템의 재원을 결정하기 위한 탐촉자 최적거리 선정시험, 최적의 매질선정을 위한 접촉매질 선정시험, 초음파 파형 특성을 파악하기 위한 수신파 파형분석으로 크게 구분할 수 있다. 일체형 시스템 개발을 위한 일련의 연구과정을 그림으로 표시하면 그림 3.1.2.1과 같다.

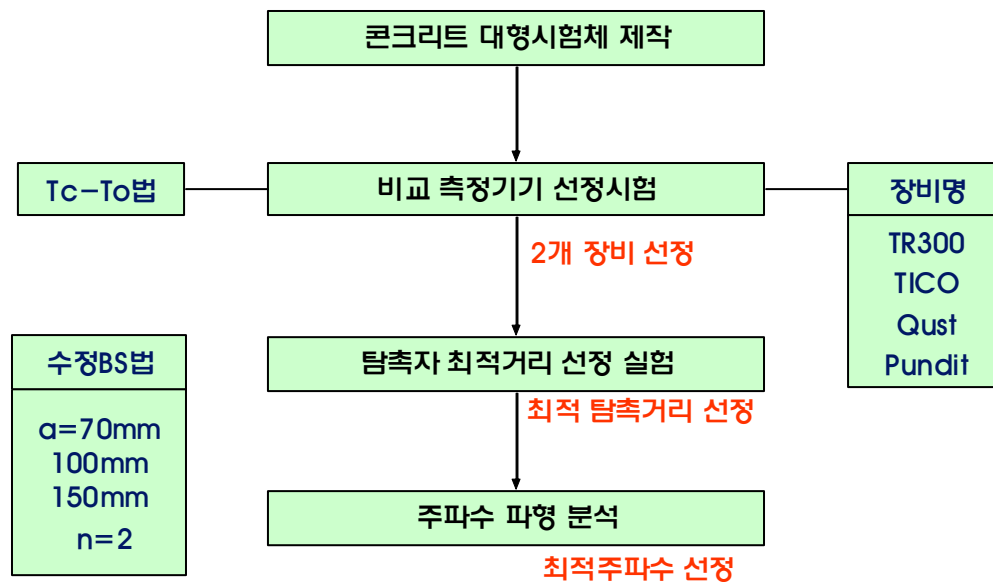


그림 3.1.2.1 일체형 시스템 개발을 위한 기초연구 흐름도

나. 콘크리트 대형 시험체 제작

1차년도(2007년 1월 - 2007년 6월 : 약 6개월) 연구개발목표인, 성능비교 최적장비 선정, 탐촉자 최적 거리선정, 초음파 파형분석을 통한 최적주파수 선정을 위해 수행될 실험을 위해 대형시험체를 제작 및 설치하였다.

(1) 대형시험체 제원

콘크리트 대형시험체는 인공균열깊이(50mm, 100mm, 150mm, 200mm, 300mm의 5개 종류), 압축강도(21MPa, 40Mpa의 2개 종류), 균열종류(수직 및 경사균열의 2개 종류)에 대해서 제작하였다. 각 시험체의 제원을 정리하면 표 3.1.2.1과 같고, 제작 도면을 표시하면 그림 3.1.2.2와 같다. 콘크리트의 강도는 저강도에 많이 사용되는 대표적인 강도인 21MPa과 고강도에 많이 사용되는 40MPa를 선정하였다.

시험체 번호	Fck=21MPa	Fck=40MPa
No. 1	무근콘크리트 (균열깊이 50, 100, 150mm) 규격 : 300×500×1600mm	무근콘크리트 (균열깊이 50, 100, 150mm) 규격 : 300×500×1600mm
No. 2	무근콘크리트 (균열깊이 200, 300mm) 규격 : 500×500×1600mm	무근콘크리트 (균열깊이 200, 300mm) 규격 : 500×500×1600mm
No. 3	무근콘크리트 (경사 45°) 규격 : 300×500×1600mm	무근콘크리트 (경사 45°) 규격 : 300×500×1600mm
No. 4	무근콘크리트 (경사 60°) 규격 : 300×500×1600mm	무근콘크리트 (경사 60°) 규격 : 300×500×1600mm

표 3.1.2.1 콘크리트 대형 시험체 제원

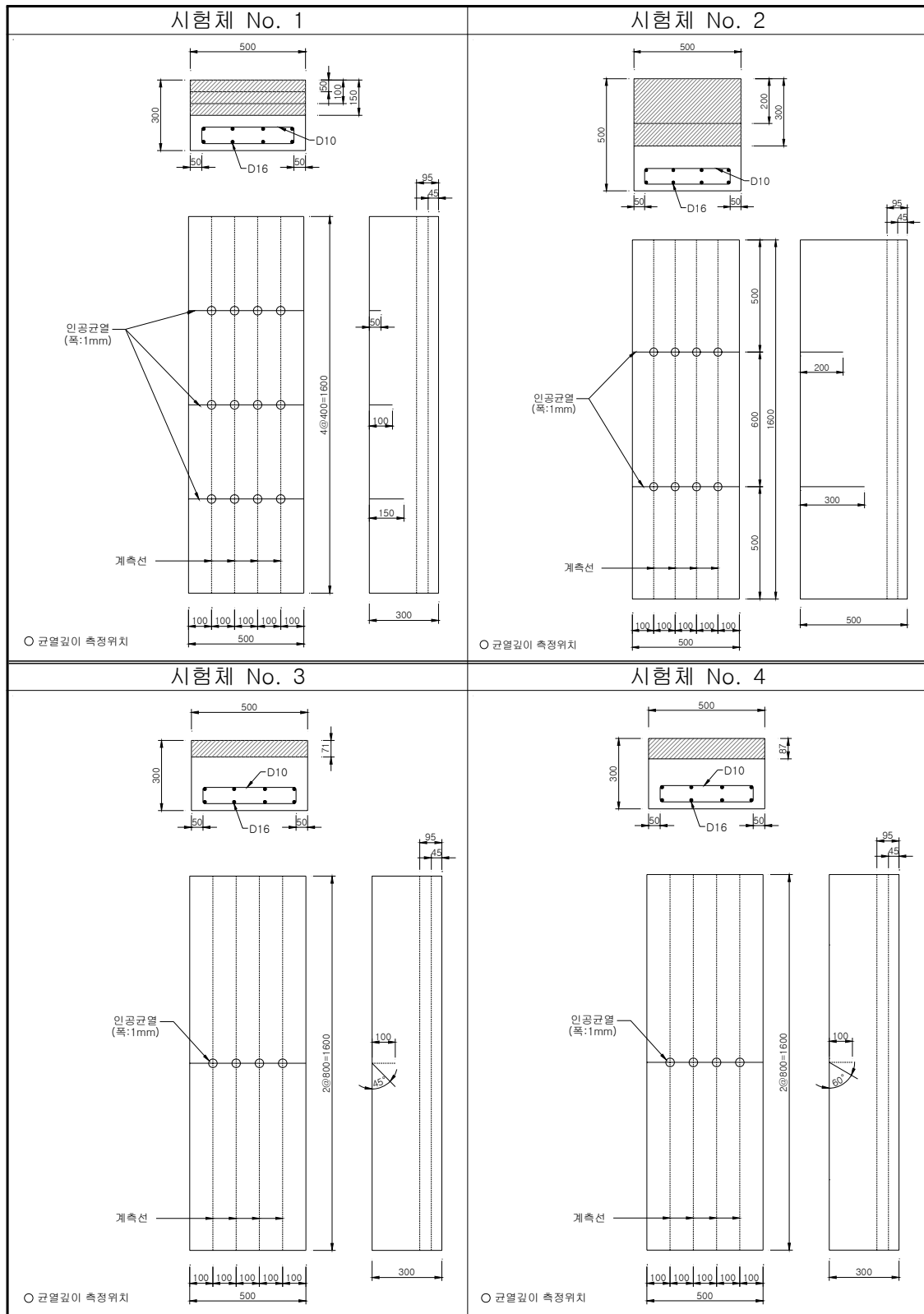


그림 3.1.2.2 콘크리트 대형 시험체별 제작도면

콘크리트 인공균열 대형시험체의 제작 및 제작완료까지의 과정을 정리하면 사진 3.1.2.1과 같다. 대형시험체의 경우 크기 때문에 콘크리트 자체의 자중에 의해서 변형이 발생할 수 있다. 따라서, 자체변형을 제어하기 위해서 변형제어철근을 조립하였다(사진1), 콘크리트 타설시 형상을 유지하기 위해서 목제로 거푸집을 제작하였고, 철근과 거푸집과의 일정 간격을 유지하기 위해서 스페이서를 설치하였다(사진2).

스페이서가 설치된 거푸집 내부에 변형제어철근을 설치하고 이동방지를 위해서 얇은 철근으로 결합하였다(사진 3). 제작이 완료된 거푸집에 인공균열을 유도하기 위한 철판설치를 위해서 수직방향으로 틈을 만들었다(사진 4).

만들어진 틈에 철판을 삽입하여 고정하였고, 철근이 관통하는 시험체의 경우에는 철판을 상하로 분리하여 콘크리트가 경화후 분리하기 쉽도록 제작하여 설치하였는데 분리의 용이도를 높이기 위해서 철판에는 오일을 도포하였다.(사진 5)

최종 제작 완료된 거푸집, 철근, 인공균열판(철판)의 상태를 점검한 후(사진 6), 콘크리트를 타설하였다(사진 7). 콘크리트의 타설은 배합설계된 레미콘차량을 이용하였고, 현장에서 타설 직후 표준공시체를 바로 제작하여 압축강도실험을 준비하였다.

타설이 완료된 대형시험체의 경우 표면을 마무리하고 콘크리트 양생을 수행하였다.(사진 8). 콘크리트의 경화가 너무 진행이 되면 인공균열판(철판) 제거가 힘들어 지므로 1-2일이 지난 후 자체적으로 형상을 유지할 수 있게 되었을 때 인공균열판을 제거하도록 계획하였다.



(1) 시편변형 제어철근 조립



(2) 스페이서 설치



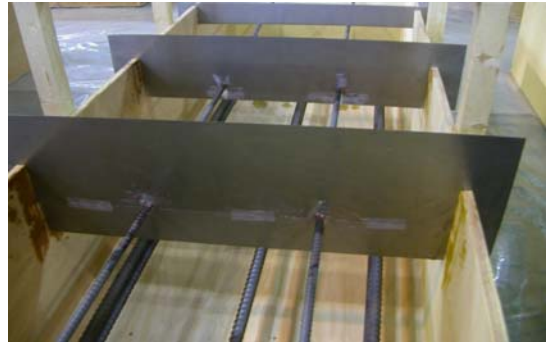
(3) 시편변형 제어철근 설치



(4) 거푸집 제작



(5) 균열유도판 설치 후 오일도포



(6) 균열유도판 관통 철근 조립



(7) 콘크리트 타설 후 진동다짐



(8) 콘크리트 표면 마무리

사진 3.1.2.1 콘크리트 대형 시험체 제작사진

(2) 콘크리트 압축시험

거푸집제작 및 타설된 대형시험체는 비닐을 덮어 양생하였으며, 양생완료된 대형 시험체의 강도측정을 위해서 표준공시체를 제작하여 압축강도실험을 수행하였다. 이상의 과정을 표시하면 사진 3.1.2.2와 같다.



사진 3.1.2.2 완성된 대형시험체와 압축강도 시험

대형시험체에 대한 압축강도시험은 대형시험체 제작을 위해 운반된 강도별 (21MPa, 40MPa)로 배합된 콘크리트에 대해서 표준공시체(지름 15cm × 높이 30cm)를 제작 하였다. 40MPa의 경우 28일과 37일 양생 후에 압축강도시험을 수행하였고, 28MPa의 경우 28일과 32일 양생후에 압축강도 시험을 수행하였다. 28일 양생 공시체의 경우 최저 35MPa, 37일 양생 후 40Mpa정도의 강도와 발현되었다. 21Mpa 공시

체의 경우 28일 후에 최저 16MPa, 32일 양생 후에 21MPa의 강도가 발현되었다. 이상의 결과로부터 대형시험체의 초음파 실험은 강도가 발현되는 37일 이후에 시험을 수행하였다. 실험결과를 표시하면 그림 3.1.2.3, 그림 3.1.2.4와 같다.

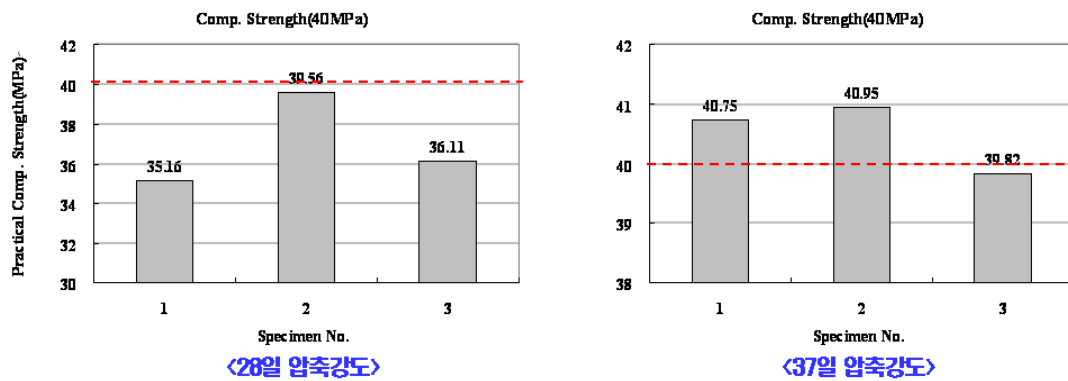


그림 3.1.2.3 콘크리트 압축강도실험(40MPa)

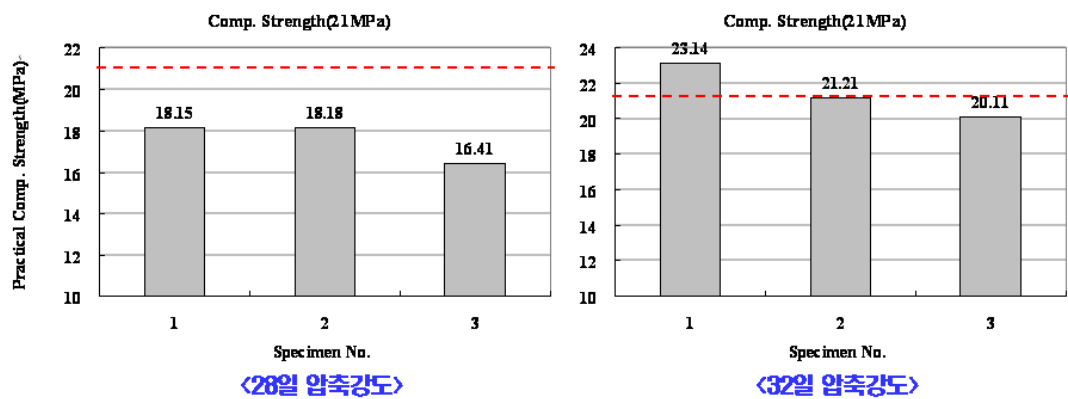


그림 3.1.2.4 콘크리트 압축강도실험(21MPa)

다. 비교 측정기기 선정 실험

(1) 시험개요 및 소형초음파 탐사기 제원

기존 초음파 균열측정 장비 4개를 변수로 하여 각각의 대형 시험체에 대해 균열을 측정하여 편의성과 정확성을 지닌 장비 2개를 선정하였다. 측정에 사용된 장비는 사진 3.1.2.3과 같다.

	
- 수신과 관찰방식으로 설정된 시간간격에 따른 파형이 정밀하게 표시 - 커서의 이동을 통해 수신파형의 해석 용이 - 수신파의 배율설정이 14단계에 걸쳐 가능 - 일본 Techno Research	- 측정범위 : 15~6.553 μsec - 분해능 : 0.1 μsec - 균열깊이 추정식(BS4408) 내장으로 측정 용이 - 스위스 PROCEQ SA.
TR300	TICO
	
- 측정범위 : 0.1~9999 μsec - 진동수 : 54 kHz - 분해능 : ± 0.1 μsec - 영국 C.N.S Electronics LTD	- 측정범위 : 0.1~9999 μsec - 분해능 : ± 0.1 μsec - 균열깊이 추정식(BS4408) 내장 - 한국 다우엔지니어링
PUNDIT plus	QUST 120

사진 3.1.2.3 비교측정기기 선정시험에 사용된 각국의 초음파 탐사기

(2) 비교 측정기기 선정시험

본 실험은 총 4개의 초음파 탐사장비와 대형 시험체를 기본으로 하여, 시험체의 압축강도별, 균열깊이별, 균열경사별 시험을 수행하였다. 비교측정시험개요를 표시하면 표 3.1.2.2와 같고, 균열깊이 측정순서 및 방법을 표시하면 사진 3.1.2.4와 같다.

No.	시험체 제원	시험체 압축강도	측정기기	접촉매질	균열깊이 산출방법
1	무균콘크리트 (균열깊이 50, 100, 150mm)	Fck=21 (MPa)	TR 300	구리스	T ₀ -T _c 법 (a=150mm) 여기서 a : 탐촉거리 (균열에서 탐촉자까지의 거리)
2	무균콘크리트 (균열깊이 200, 300mm)		TICO		
3	무균콘크리트 (경사 45°)	Fck=40 (MPa)	Qust120+		
4	무균콘크리트 (경사 60°)		Pundit plus		

표 3.1.2.2 비교 측정기기 선정시험 개요

			
1) 탐촉자 배치용 scale 제작	2) 시험체 표면처리 및 접촉매질 도포	3) 탐촉자 배치 및 접촉면 가압	4) 초음파 수신 확인

사진 3.1.2.4 균열깊이 측정순서 및 방법

(3) 시험결과 및 분석

총 4개의 초음파 탐사기를 이용한 균열종류별 깊이별 측정결과를 정리하면 표 3.1.2.3, 표 3.1.2.4와 같고, 그래프로 정리하면 그림 3.1.2.5와 같다.

표 3.1.2.3 균열깊이 측정 결과 : 측정기기 선정($f_{ck} = 21 \text{ MPa}$)

측정항목 \ 장비명			TR300	TICO	Qust	Pundit
수직균열	50mm	측정균열깊이	57	57	56	59
		오차율(%)	12	14	12	17
	100mm	측정균열깊이	105	147	212	148
		오차율(%)	5	47	112	48
	150mm	측정균열깊이	153	191	238	193
		오차율(%)	2	27	59	29
	200mm	측정균열깊이	188	266	306	270
		오차율(%)	6	33	53	35
	300mm	측정균열깊이	353	373	405	278
		오차율(%)	18	24	35	26
경사균열	60° (87mm)	측정균열깊이	98	151	191	148
		오차율(%)	13	74	120	70
	45° (71mm)	측정균열깊이	71	137	147	195
		오차율(%)	1	93	107	175

표 3.1.2.4 균열깊이 측정 결과 : 측정기기 선정($f_{ck} = 40 \text{ MPa}$)

측정항목 \ 장비명			TR300	TICO	Qust	Pundit
수직균열	50mm	측정균열깊이	41	56	23	57
		오차율(%)	18	11	55	15
	100mm	측정균열깊이	101	153	148	161
		오차율(%)	1	53	48	61
	150mm	측정균열깊이	120	198	215	211
		오차율(%)	20	32	43	40
경사균열	60° (87mm)	측정균열깊이	76	156	153	168
		오차율(%)	12	79	76	93
	45° (71mm)	측정균열깊이	71	134	119	128
		오차율(%)	0	89	68	80

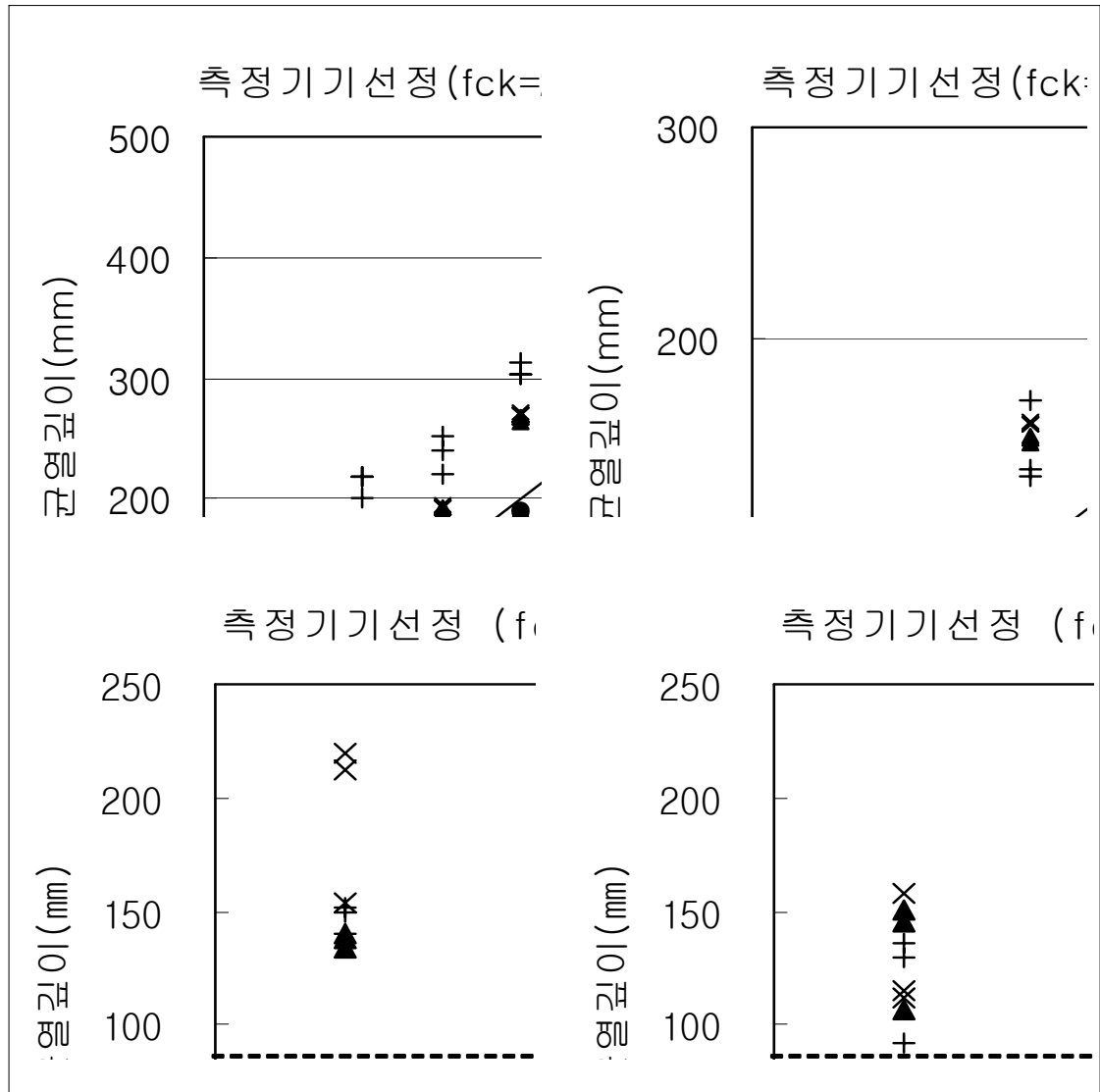


그림 3.1.2.5 균열깊이 측정 결과 : 측정기기 선정

비교측정기기 시험결과는 다음과 같다.

- 정확성 측면에서 TR300이 가장 우수한 결과를 나타냈으며, 사용편의성 측면과 정확성을 모두 고려할 때 TICO가 상대적으로 우수하였다.
- 따라서 최적 탐촉거리 선정과 박판보호막 성능평가를 위한 측정기기로서 TR300과 TICO를 선정하였다.
- TR300의 경우 수신파형 분석시 측정자의 주관적 판단이 요구되므로 추후 이중탐촉자 파형분석에서 객관적인 수신파 도달시간 산정이 이루어져야함을 확인하였다.

라. 탐촉자 최적거리선정 시험

(1) 시험개요 및 사용된 장비

본 시험은 비교 측정기기 선정시험에서 선정된 TR-300장비와 TICO장비를 측정기준 장비로 선정하여, 54KHz의 초음파 탐촉자를 이용하여 균열깊이(50mm, 100mm, 150mm, 200mm, 250mm) 및 균열경사(60°,45°)경우의 최적거리를 측정·분석하는 것이 목적이다. 시험에 사용된 장비와 초음파 탐촉자, 실험사진은 사진 3.1.2.5와 같다.

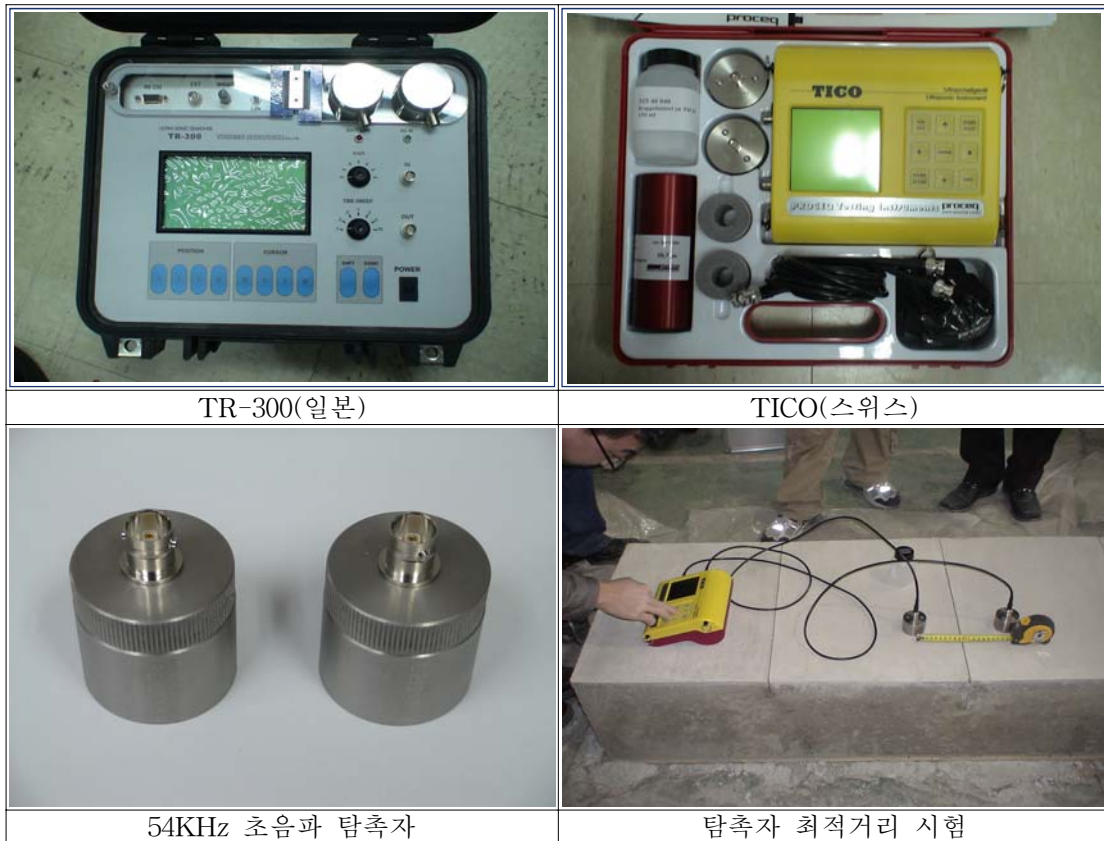


사진 3.1.2.5. 시험에 사용된 장비 및 시험사진

시제품에 적용될 4개의 탐촉자 간 거리배치를 위하여 균열-탐촉자간 거리 $a=70\text{mm}$, 100mm , 150mm , $n=2$ 의 BS법을 적용하여 탐촉자 거리에 따른 균열 측정 결과 변화를 관찰하고자 하였다. 시험의 개요를 정리하면 표 3.1.2.5와 같고 개념을 그림으로 표시하면 그림 3.1.2.6과 같다.

표 3.1.2.5 탐촉자 최적거리 선정시험 개요

No.	시험체 제원	시험체 압축강도	측정기기	접촉매질	균열깊이 산출방법
1	무근콘크리트 (균열깊이 50, 100, 150mm)	Fck=21 (MPa)	Tico	구리스	BS법 a=70mm 100mm 150mm n=2
2	무근콘크리트 (균열깊이 200, 300mm)				
3	무근콘크리트 (경사 45°)	Fck=40 (MPa)	Tr-300		
4	무근콘크리트 (경사 60°)				

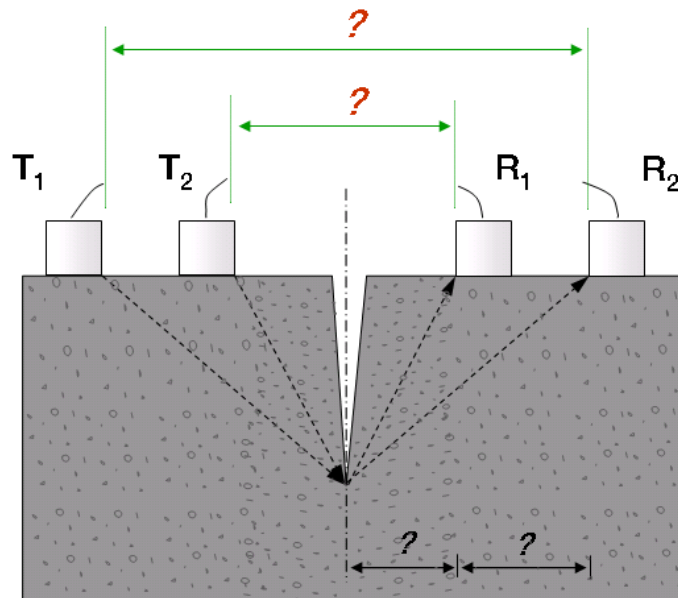


그림 3.1.2.6 탐촉자 최적거리 선정시험 개념도

(2) 탐촉자 최적거리 선정시험

Tico장비를 이용한 균열깊이 측정결과를 정리하면 표 3.1.2.6, 표 3.1.2.7과 같고, 그래프로 정리하면 그림 3.1.2.7와 같다. TR300장비를 이용한 균열깊이 측정결과를 정리하면 표 3.1.2.8, 표 3.1.2.9와 같고, 결과를 그래프로 정리하면 그림 3.1.2.8과 같다.

표 3.1.2.6 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정(TICO, fck = 21 MPa)

탐촉거리			70mm	100mm	150mm
측정항목					
수직균열	50mm	측정균열깊이	43	45	40
		오차율(%)	15	10	20
	100mm	측정균열깊이	100	106	93
		오차율(%)	7	6	7
	150mm	측정균열깊이	144	142	140
		오차율(%)	4	6	7
	200mm	측정균열깊이	207	193	188
		오차율(%)	4	4	6
	300mm	측정균열깊이	300	300	293
		오차율(%)	2	2	2
경사균열	60° (87mm)	측정균열깊이	195	108	72
		오차율(%)	124	24	17
	45° (71mm)	측정균열깊이	256	101	74
		오차율(%)	260	43	4

표 3.1.2.7 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정(TICO, fck = 40 MPa)

탐촉거리			70mm	100mm	150mm
측정항목					
수직균열	50mm	측정균열깊이	49	40	37
		오차율(%)	5	20	26
	100mm	측정균열깊이	109	103	96
		오차율(%)	9	4	4
	150mm	측정균열깊이	158	139	162
		오차율(%)	5	7	8
경사균열	60° (87mm)	측정균열깊이	328	110	95
		오차율(%)	278	27	10
	45° (71mm)	측정균열깊이	326	99	76
		오차율(%)	359	39	6

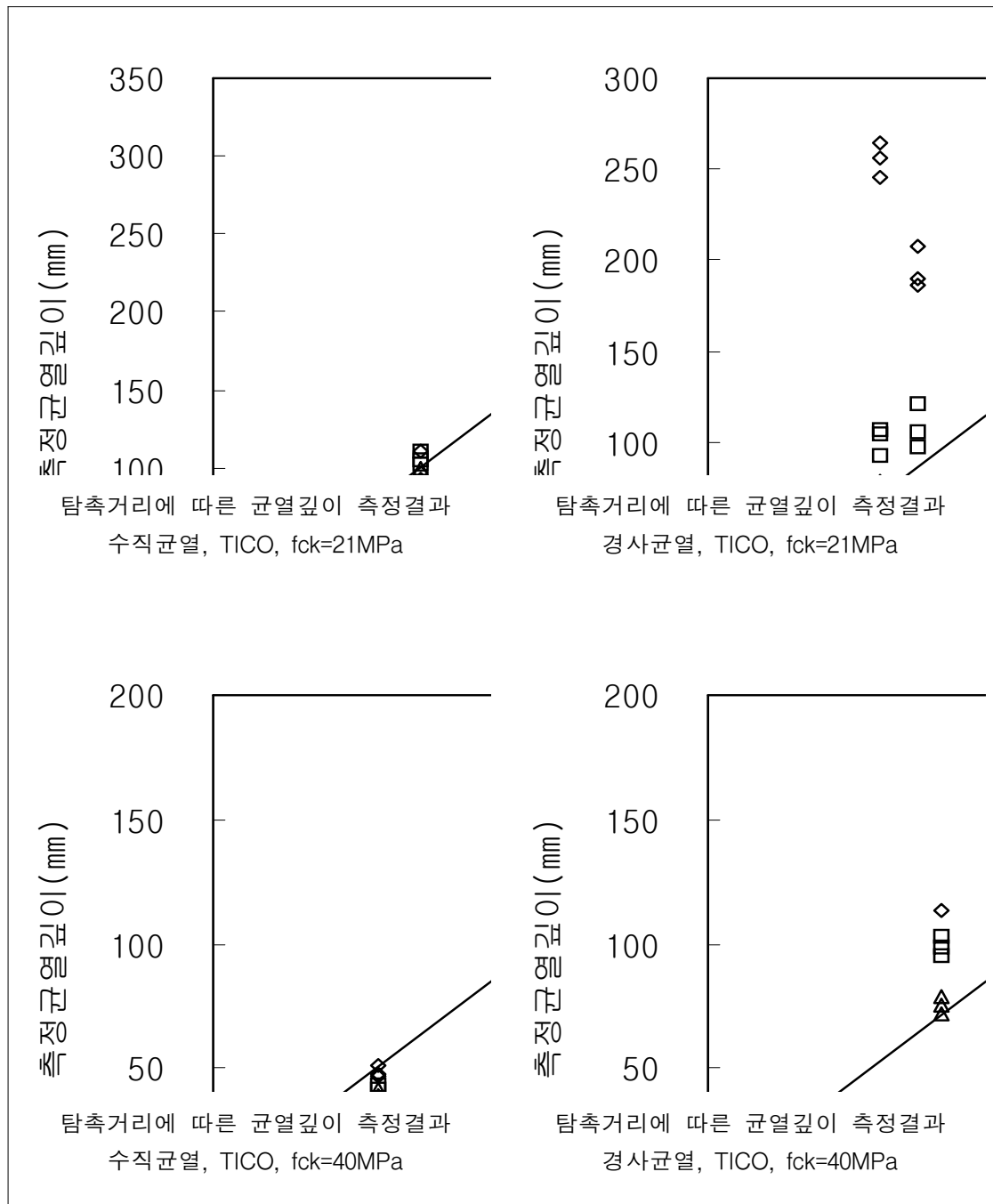


그림 3.1.2.7 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정 (TICO)

표 3.1.2.8 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정(TR300, fck = 21 MPa)

측정항목 \ 탐촉거리			70mm	100mm	150mm
수직균열	50mm	측정균열깊이	46	49	62
		오차율(%)	10	18	25
	100mm	측정균열깊이	84	91	108
		오차율(%)	16	11	14
	150mm	측정균열깊이	154	145	162
		오차율(%)	7	3	8
	200mm	측정균열깊이	184	190	190
		오차율(%)	8	5	5
	300mm	측정균열깊이	295	296	305
		오차율(%)	6	3	4
경사균열	60° (87mm)	측정균열깊이	81	76	93
		오차율(%)	7	14	7
	45° (71mm)	측정균열깊이	44	59	66
		오차율(%)	38	23	7

표 3.1.2.9 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정(TR300, fck = 40 MPa)

측정항목 \ 탐촉거리			70mm	100mm	150mm
수직균열	50mm	측정균열깊이	44	47	46
		오차율(%)	21	8	16
	100mm	측정균열깊이	110	108	107
		오차율(%)	10	8	7
	150mm	측정균열깊이	136	155	154
		오차율(%)	10	3	5
경사균열	60° (87mm)	측정균열깊이	97	79	85
		오차율(%)	19	18	13
	45° (71mm)	측정균열깊이	76	90	75
		오차율(%)	33	34	10

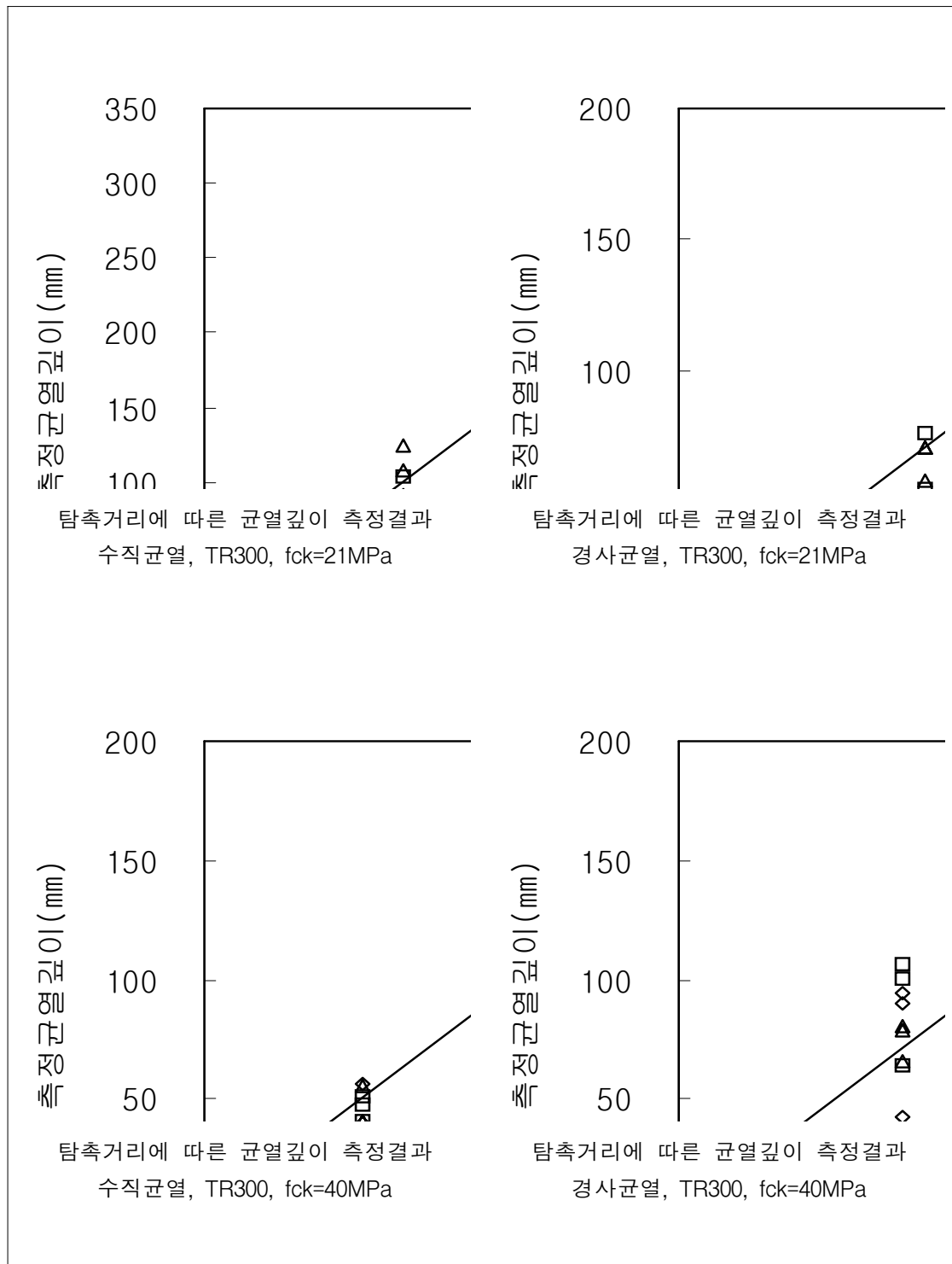


그림 3.1.2.8 균열깊이 측정 결과 : 탐촉거리 선정 (TR300)

(3) 시험결과 및 분석

- 수직균열의 경우 최대 25%의 오차를 나타내며 탐촉거리 3종류 모두 비교적 양호한 결과를 나타내었다.
- 경사균열의 경우 측정거리가 클수록 오차가 작아지는 경향을 나타내었다. 이는 균열각이 커질수록 초음파전달경로가 길어져 초음파측정시간이 커지기 때문이며 이러한 오차의 확대는 탐촉거리가 짧을수록 영향을 크게 받음. 초음파도달시간을 자동으로 선정하는 TICO의 경우 이러한 현상이 두드러지게 나타났으며 TR300의 경우 나타난 파형의 형태에 따라 인위적인 조절을 통해 오차를 감소시킬 수 있음이 확인됨. 따라서 시제품의 물리적 규격을 고려할 경우 경사균열에서의 초음파 도달시간을 보정할 수 있는 파형분석이 수행되어야 한다.
- 이론상 경사균열깊이는 수직균열보다 크게 측정되어야하며 실험을 통해 실제균열 깊이보다 안전측으로 산정됨을 확인하였다.
- 최적 탐촉거리로써 시제품의 소형화 규격을 고려할 때 $a=100$, $n=2$ 를, 측정의 정도를 고려할 때 $a=150$, $n=2$ 를 제시하였다.

마. 접촉매질 선정시험

(1) 시험개요

본 연구 과제인 콘크리트 균열 깊이 측정 장비를 개발하는데 있어 매 검사시마다 접촉매질을 도포하지 않기 위한 대체재로서 접촉매질 선정시험을 수행하였다. 시험은 크게 원형 콘크리트 시험체($\Phi 100 \times 200$ mm)를 대상으로 하는 직접 전달과 시험과 대형시험체를 대상으로 하는 균열깊이 측정시험(간접법)을 수행하였다.

(2) 직접 초음파 전달시험

실험 장치로는 초음파 펄스 발생 수신 장비로서 RPR-4000 하이파워 초음파 장비를 사용하였으며 펄스 전압은 600 볼트를 적용하였다. 센서로는 큐씨맨사의 CT-1010을 사용하였으며 200 mm의 콘크리트 공시체에 센서 면으로는 실리콘 그리스 카플런트를 도포하고 실리콘 그리스와 콘크리트 면에는 카플런트를 도포하지 않았다. 카플링 박판으로는 약 1 mm의 두께를 기준으로 하여 실험 수행하였다.

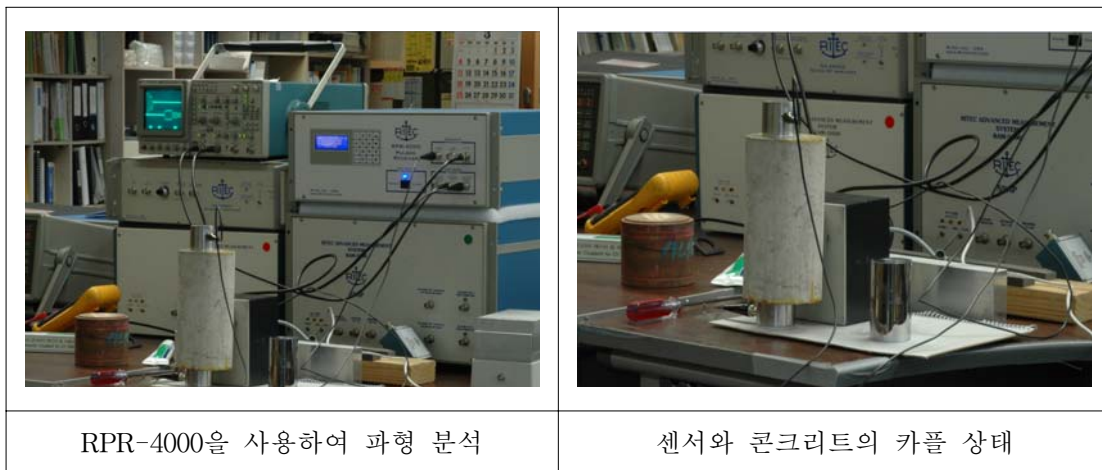


사진 3.1.2.6 직접 초음파 전달시험과정

실험에 사용하기 위한 박판으로는 주문 제작한 성형 실리콘 박판과 시중에 나와 있는 실리콘 박판 그리고 고무 재질의 박판을 사용하였고 사진 3.1.2.7과 같다.

		
주문 제작 성형 실리콘 박판	상용 실리콘 박판	고무 박판

사진 3.1.2.7. 직접 초음파 전달시험 박막재료

실험 1

엠케이씨에 주문 제작한 실리콘 박판과 시중에서 쉽게 구할 수 있는 일반형 실리콘 박판과의 차이를 실험하였는데 주문 제작한 실리콘이 약간 수신 감도가 좋은 것으로 나타났지만 초동이 크게 잡히는 것 외에 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 참고로 위에 나오는 파형은 펄스의 송신 출력이며 아래의 것이 수신 신호를 나타내었다.

	
주문 제작한 박판을 사용하여 얻은 파형	센서와 콘크리트의 카플 상태

사진 3.1.2.8(a) 박판을 이용한 파형분석(1)

실험 2

주문 제작한 성형 실리콘 박판과 고무 재질의 박판과의 차이를 실험하였는데 고무 재질에서의 수신 감도 차이는 약 20 dB 정도로 현저히 떨어지는 것으로 나타내었다.

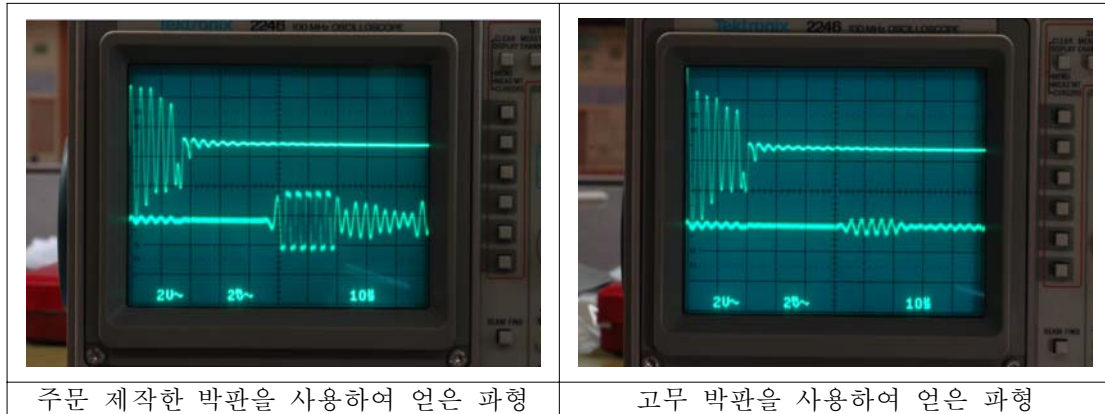


사진 3.1.2.8(b) 박판을 이용한 파형분석(2)

실험 3

주문 제작한 성형 실리콘의 경우 1mm 두께의 박판과 0.6 mm 두께의 박판을 비교하였는데 1mm 박판의 조건에서 수신 신호가 양호함. 콘크리트 표면이 매끄럽지 않은 경우 어느 정도의 두께가 있어야 공극을 메워서 초음파 전달면이 넓게 형성되는 것으로 판단됨.

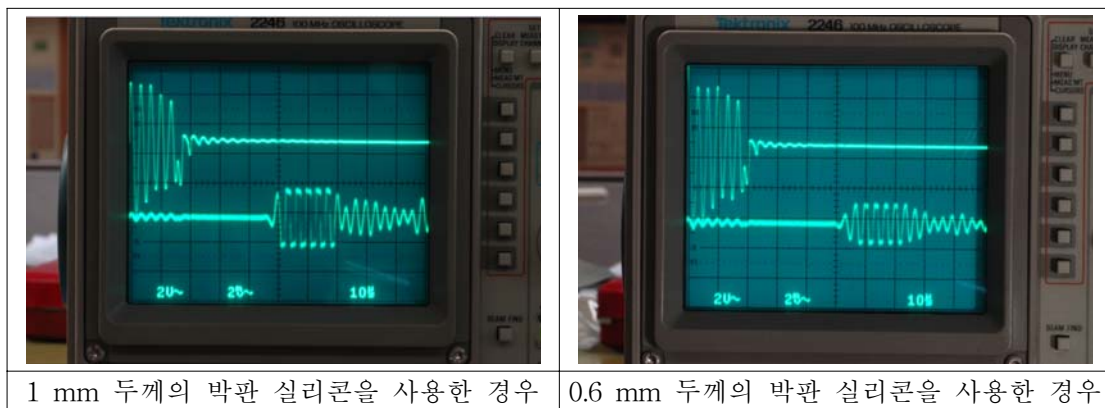


사진 3.1.2.8(c) 박판을 이용한 파형분석(3)

(3) 간접 초음파 전달시험(균열깊이 측정시험)

박판보호막 3종류의 성능 평가 (고무라텍스, 투명실리콘, 성형실리콘)의 성능을 평가하기 위해서 대형 시험체에 대해서 간접초음파 시험을 실시하였다. 시험의 개요는 표 3.1.2.10과 같고, 시험과정은 사진 3.1.2.9와 같다.

시험체 No.	시험체 제원	시험체 압축강도	측정기기	접촉매질	균열깊이 산출방법
1	무근콘크리트 (균열깊이 50, 100, 150mm)	Fck=21 (MPa)	선정된 측정장치 2 종류	고무라텍스 투명실리콘 성형실리콘	BS법 선정된 최적 탐촉 거리
2	무근콘크리트 (균열깊이 200, 300mm)				
3	무근콘크리트 (경사 45°)	Fck=40 (MPa)			
4	무근콘크리트 (경사 60°)				

표 3.1.2.10 간접초음파 전달시험 개요



사진 3.1.2.9 간접초음파 전달시험



알루미늄 바, TR300, 매질 없음 : 수신파형 감도 양호



알루미늄 바, TR300, 액상형 접촉매질 : 수신파형 감도 매우 우수



콘크리트 모형 시험체, TR300, 박판 1 (고무라텍스) : 수신불능

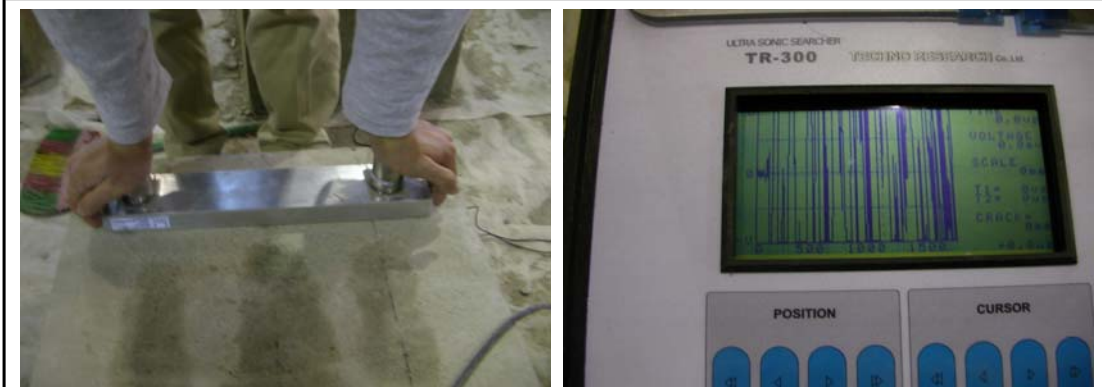


콘크리트 모형 시험체, TR300, 박판 2 (투명실리콘) : 수신불능

사진 3.1.2.9 간접초음파 전달시험(계속)



콘크리트 모형 시험체, TR300, 박판 3 (성형실리콘) : 수신불능



알루미늄 바, TR300, 박판 3 (성형실리콘) : 수신파형 감도 우수

사진 3.1.2.9 간접초음파 전달시험

시험결과 콘크리트 대형 시험체의 대부분에서 접촉매질로 그리스(카플란트)를 사용하는 경우에는 시험결과가 우수하게 측정되었으나, 접촉매질을 고무재질 또는 실리콘 재질의 박막을 사용하였을 경우 측정이 불가능 하였다. 이상의 결과를 정리하면 표 3.1.2.11과 같다.

접촉매질 측정대상	고무라텍스	투명실리콘	성형실리콘	액상형	매질없음
콘크리트 시험체	측정불능	측정불능	측정불능	우수	측정불능
알루미늄 바	우수	우수	우수	매우우수	양호

표 3.1.2.11 간접 초음파 전달시험 결과

(4) 시험결과 및 분석

(가) 직접 초음파 전달시험

- 박판 실리콘을 카플런트로 사용할 경우 종래의 페이스트 타입의 카플런트를 사용하는 경우보다는 수신 감도가 약 20 dB 낮은 것으로 나타남. 그럼에도 비교적 깨끗한 파형을 수신할 수 있었으며 간접법에서도 가능성이 있는 것으로 보여짐.

- 주문 제작한 실리콘 박막의 경우 일반 실리콘 박막 보다는 수신 감도가 약간 좋게 나타났고 본 개발 장비를 위한 카플런트로 적절한 것으로 판단됨. 주문 제작할 경우 두께와 크기를 마음대로 조절할 수 있으므로 추후 탐촉자의 형태나 접촉 방식에 유연한 대처가 가능할 것으로 예상됨.

- 실리콘 박막을 사용하는 경우 일부 콘크리트는 표면이 거칠거나 건조하므로 초음파의 전달이 매우 어렵기 때문에 콘크리트에 접하는 실리콘 박막에 약간의 그리스를 묻혀 놓으면 수신 감도가 좋아지는 것으로 나타남. 이 경우 그리스는 상당히 오랫동안 사용할 수 있었으나 반면에 초음파 탐촉자와 실리콘 박막의 경우는 그리스로도 접착이 용이하며 특별한 관리를 필요로 하지 않기는 하지만 보다 효율적인 초음파 전달을 위하여 접착이 용이한 접착제를 사용하여 초음파의 전달 효율을 최대화 하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

(나) 간접 초음파 전달시험

접촉매질로 고무나 실리콘을 사용하는 경우 콘크리트와 탐촉자 사이를 완전하게 접합할수 없었고, 초음파가 박막재질을 통과하면서 음파감쇄가 발생하는것으로 판단되었다. 따라서, 음파감쇄를 막기위해서는 완전접합과 박막두께를 최소화하는 것이 중요하나, 장비사용여건상 박막이 너무 얇아지는 경우 사용성에 문제가 발생하므로, 박막을 이용한 접촉매질 대체는 상당한 연구가 추가적으로 이루어 져야 할것으로 판단되었다.

바. 수신파 파형분석(1차년도)

(1) 개요

초음파에 의한 콘크리트 균열깊이 계측은 균열선단으로부터의 회절파(diffraction wave) 도착시간을 측정함으로써 이루어진다. 계측과정에서 균열깊이 산정에 오차를 발생시킬 수 있는 여러 가지 요인이 있지만, 회절파의 도착시간 즉 초동(first arrival)을 부정확하게 포착(picking)한다면 이 또한 균열 깊이에 큰 오차를 줄 수 있다. (그림 3.1.2.9)

본 절에서는 콘크리트모형별, 측정거리별, 주파수변화별로 수신된 초음파의 파형을 관찰하여 초동이 포착되는 과정을 살펴본다. 발생 가능한 오차범위를 살펴보고 이를 극복할 수 있는 최적변수를 구하여, 균열깊이 산정상의 오차를 감소시킬 수 있는 방안에 기초를 제공하고자 한다.

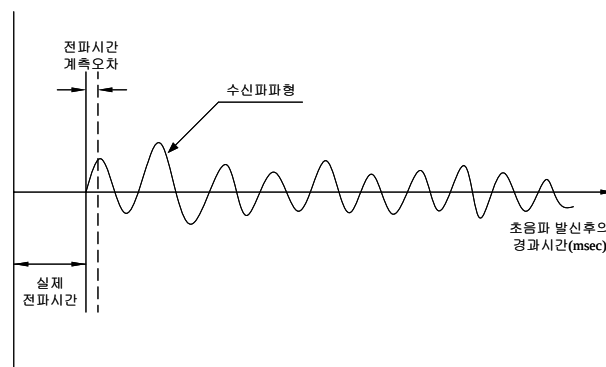


그림 3.1.2.9 수신파 초동 포착상의 오차

파형분석을 위한 장비로는 MKC사 제품인 MKPR1025 와 이에 맞게 특수 제작된 AD(analog to digital)를 사용하였다. 탐촉자는 영국 CNS Farnell 사의 24, 37, 54, 82, 150, 200MHz 주파수의 탐촉자를 사용하였다.

(2) 콘크리트 모형별 파형변화

콘크리트 모형의 균열깊이는 5, 10, 15, 20, 30cm 로 변화하며, 각각 m05, m10, m15, m20, m30 이라 명명한다. 균열부위로부터 탐촉자 중앙점까지의 거리는 5, 10, 15, 20, 25, 30cm 로 변화하며, 각각 x5, x10, x15, x20, x25, x30 이라 명명한다.(그림 3.1.2.10)

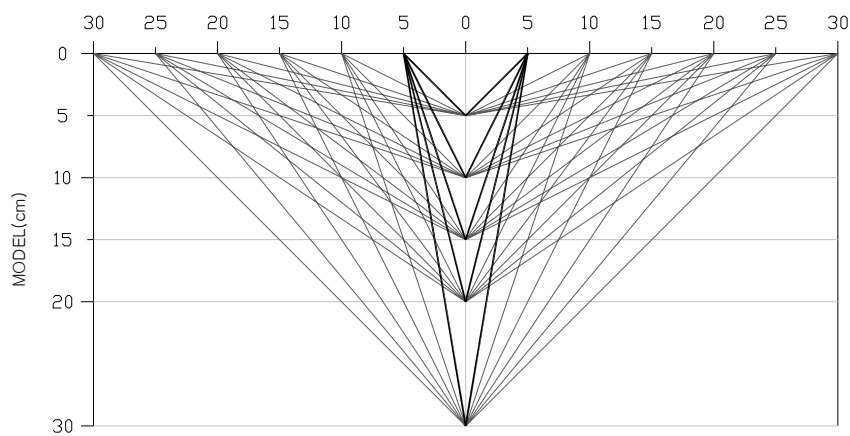


그림 3.1.2.10 균열깊이와 탐촉자거리 모식도

그림 3.1.2.11은 탐촉자 거리 5cm에 대해 각 콘크리트 모형 즉 균열깊이가 변화할 때 주파수 54 kHz 탐촉자에 수신된 파형변화 양상을 보여준다. 그림의 우측그래프는 300~500 us까지 측정 한 자료를 보여준다. 좌측그래프는 트리거신호를 보기위해 10 us까지 자료를 보여주며, 중앙그래프는 이론상 회절과 도착시간 근처의 30 us 동안의 자료를 보여준다. 각 자료는 0.1 us 간격으로 샘플링 되었으며, 8 bit로 수치화되었다.

그림 3.1.2.11에서 m20x05 즉 균열깊이 20cm, 탐촉자거리 5cm인 모형의 수신파형을 살펴보면, 수평축 1225 지점 즉 122.5 us 지점에 강도 1의 초동이 있음을 볼 수 있다. 본 모형의 이론상 주행거리는 41.2 cm이며, 주행시간은 속도를 3350m/s로 가정할 때 123.1 us이다. m30x05에서는 182.5 us에서 초동이 포착되며, m05x05, m10x05, m15x05의 자료는 AD상의 문제로 자료가 불량하다.

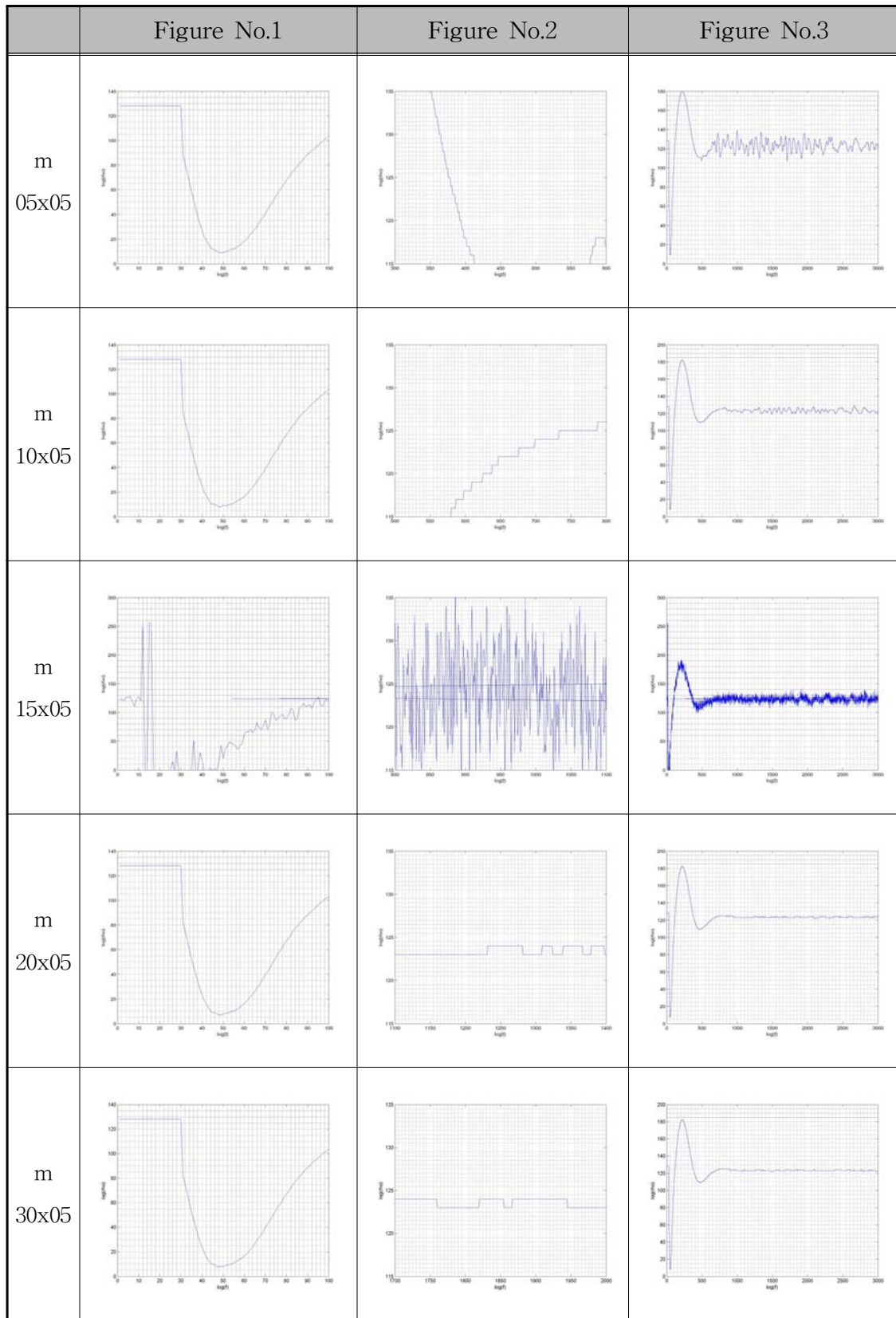


그림 3.1.2.11 탐촉자거리 5cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상

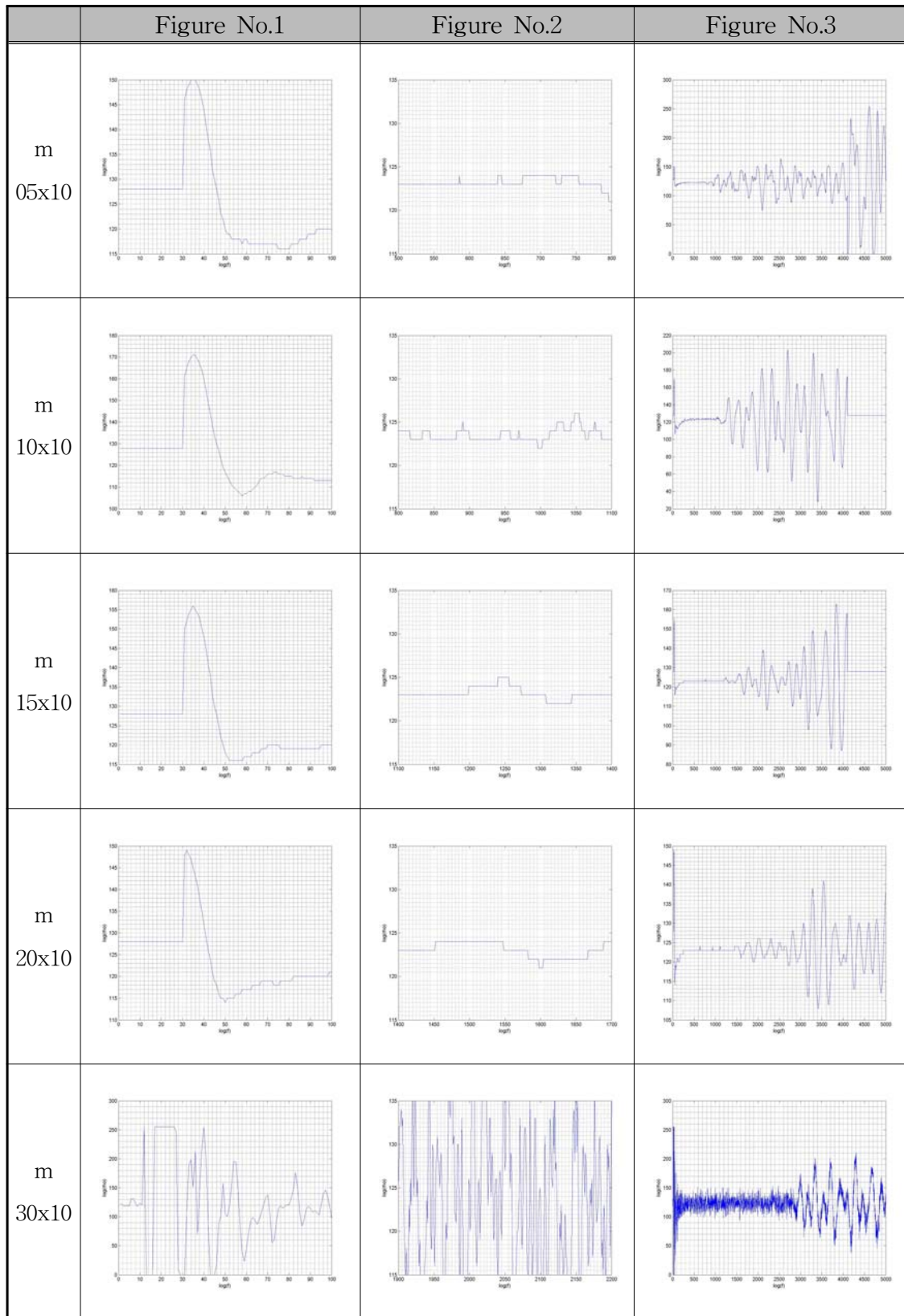


그림 3.1.2.12 탐촉자거리 10cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상

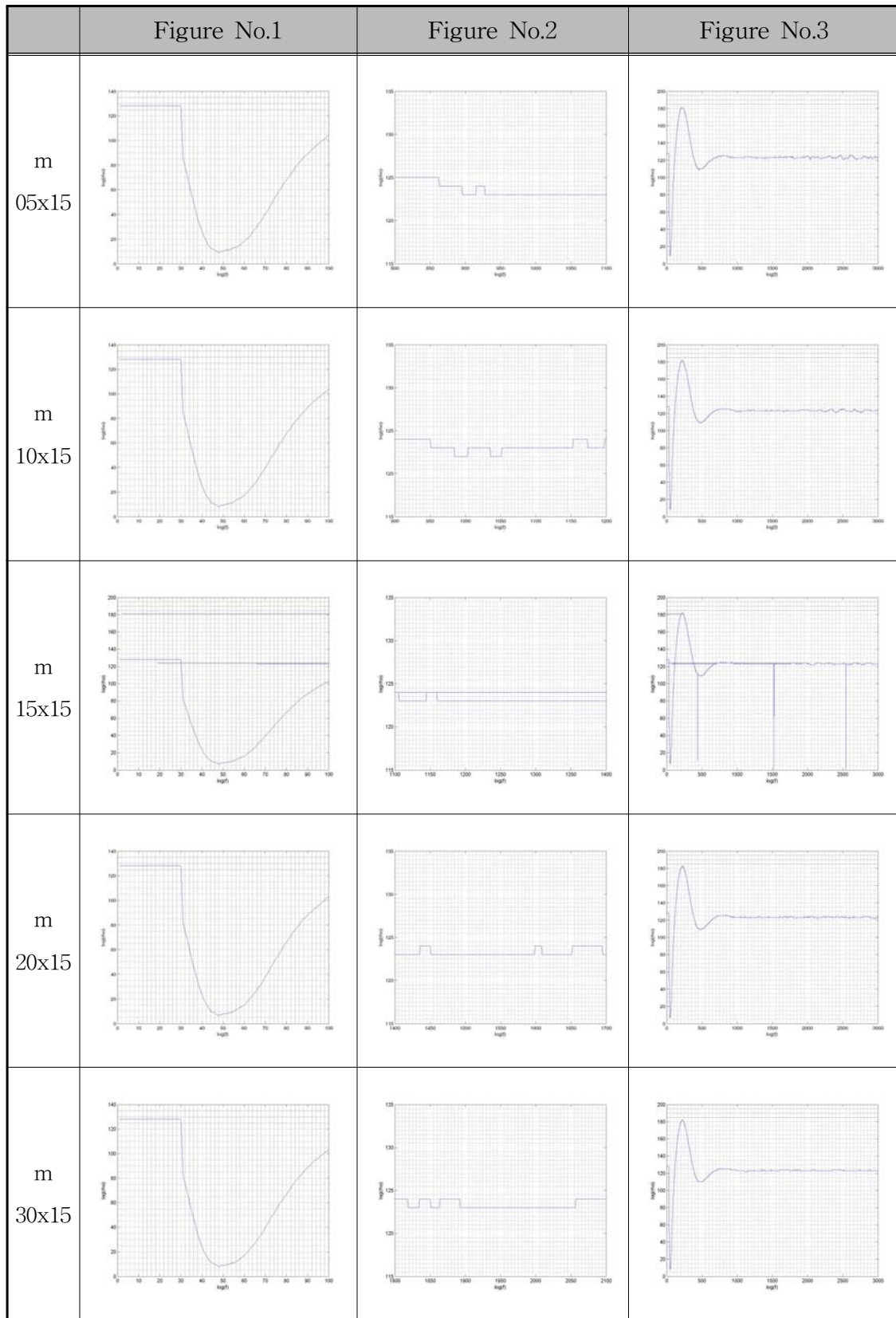


그림 3.1.2.13 탐촉자거리 15cm일 때 균열깊이 변화에 따른 과형변화 양상

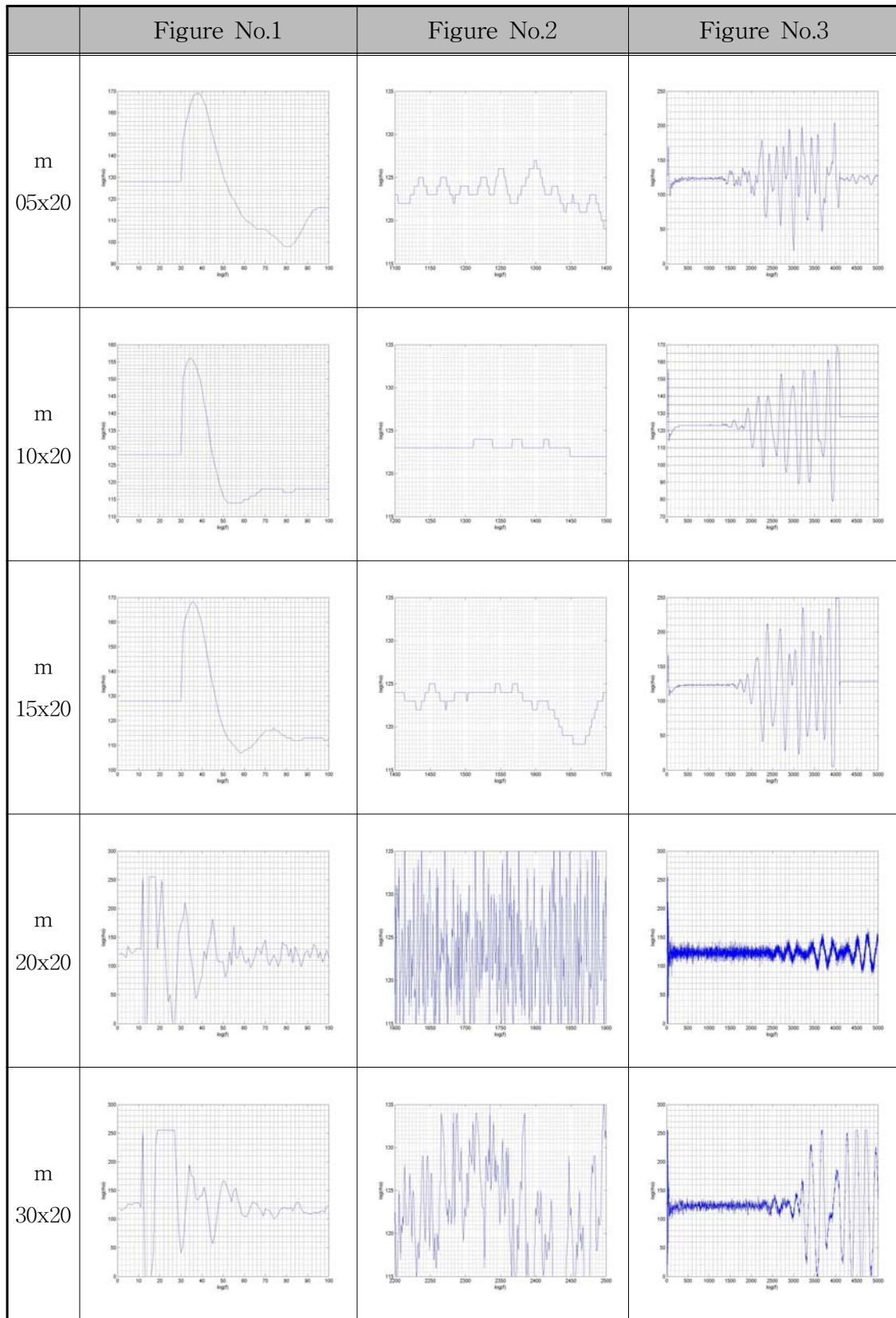


그림 3.1.2.14 탐촉자거리 20cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상

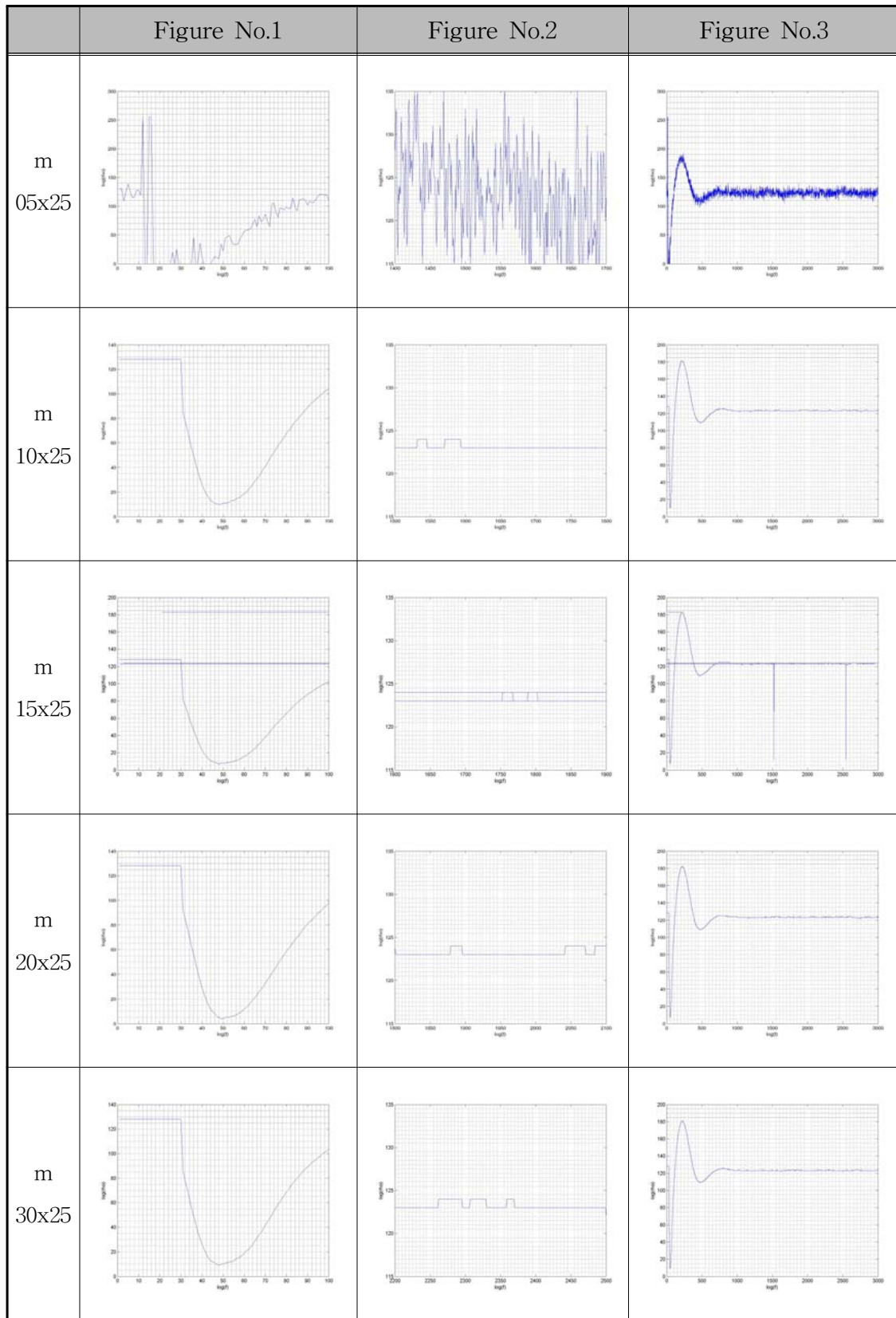


그림 3.1.2.15 탐촉자거리 25cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상

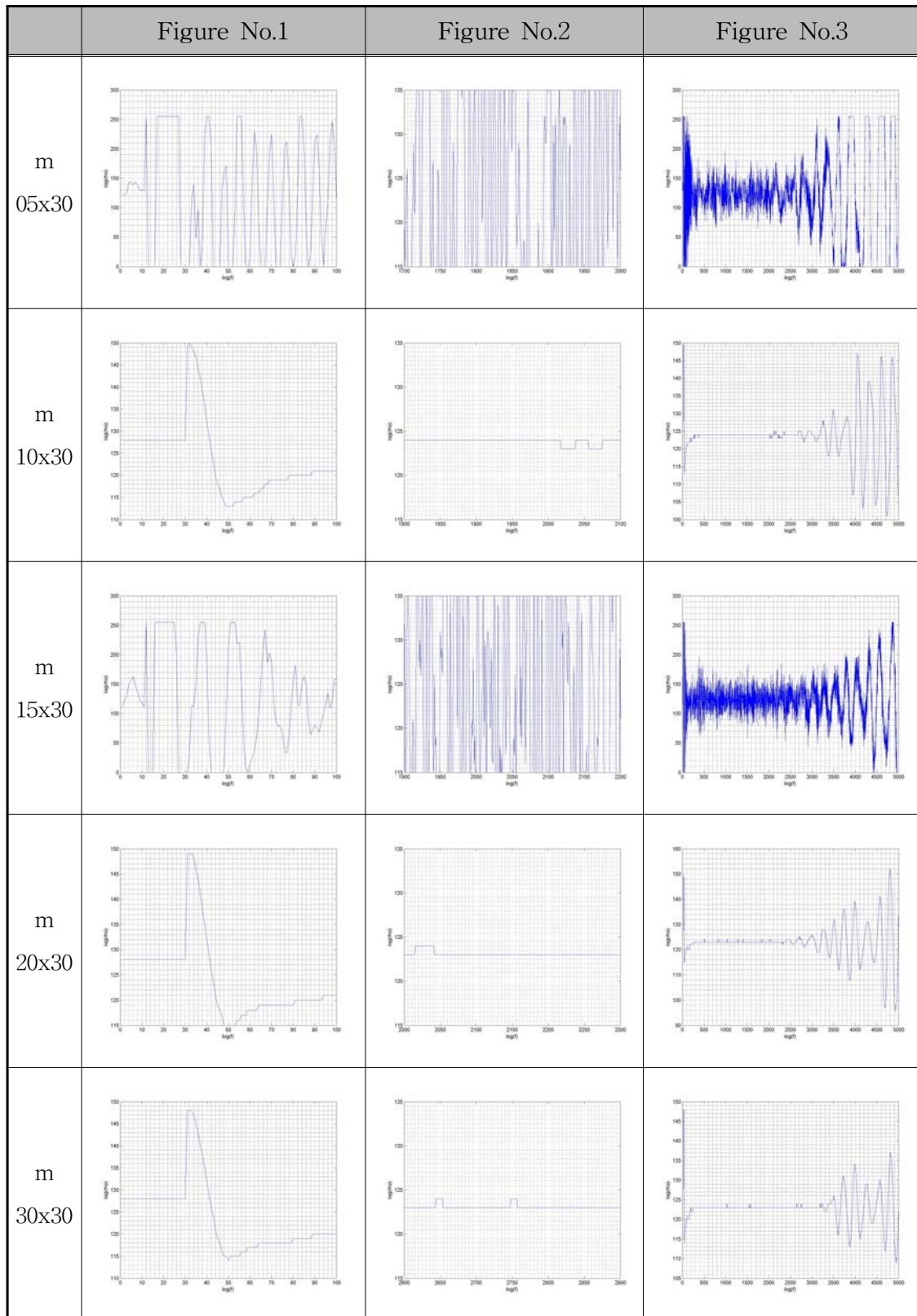


그림 3.1.2.16 탐촉자거리 30cm일 때 균열깊이 변화에 따른 파형변화 양상

(3) 탐촉자 거리 변화에 따른 파형변화

균열부위로부터 탐촉자 중앙점까지의 거리는 5, 10, 15, 20, 25, 30cm 로 변화하며, 각각 x5, x10, x15, x20, x25, x30 이라 명명한다. 콘크리트모형의 균열깊이는 5, 10, 15, 20, 30cm 로 변화하며, 각각 m05, m10, m15, m20, m30 이라 명명한다(그림 3.1.2.17).

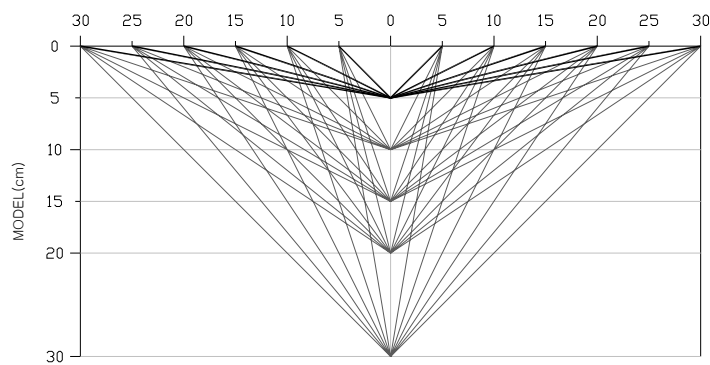


그림 3.1.2.17 탐촉자거리와 균열깊이 모식도

그림 3.1.2.18은 균열깊이 5cm에 대해 탐촉자거리가 변화할 때 주파수 54 kHz 탐촉자에 수신된 파형변화 양상을 보여준다. 그림의 우측그래프는 300~500 us까지 측정된 자료를 보여준다. 좌측그래프는 트리거신호를 보기위해 10 us까지 자료를 보여주며, 중앙그래프는 이론상 회절과 도착시간 근처의 30 us 동안의 자료를 보여준다. 각 자료는 0.1 us 간격으로 샘플링 되었으며, 8 bit로 수치화되었다.

그림 3.1.2.18에서 m05x10 즉 균열깊이 5cm, 탐촉자거리 10cm인 모형의 수신파형을 살펴보면, 수평축 675 지점 즉 67.5 us 지점에 강도 1의 초동이 있음을 볼 수 있다. 본 모형의 이론상 주행거리는 22.4 cm이며, 주행시간은 속도를 3350m/s로 가정할 때 66.9 us이다. m05x20에서는 127.5 us에서 초동이 포착되며, m05x25, m05x30의 자료는 AD상의 문제로 자료가 불량하다.

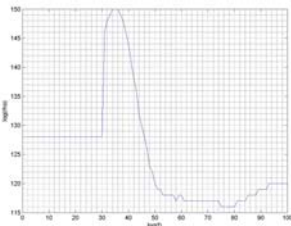
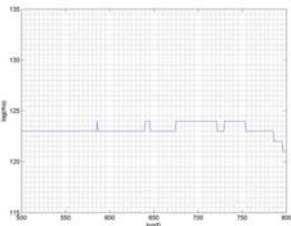
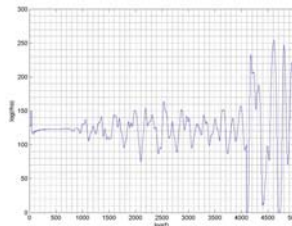
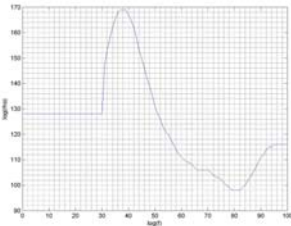
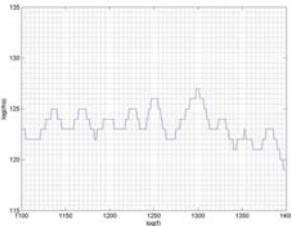
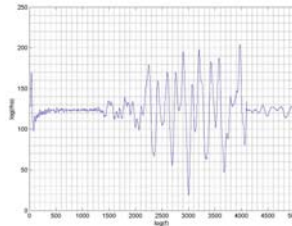
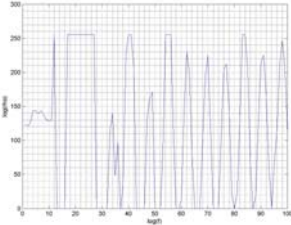
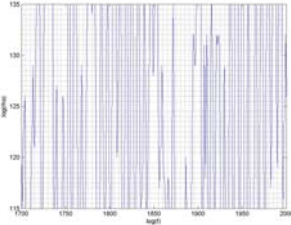
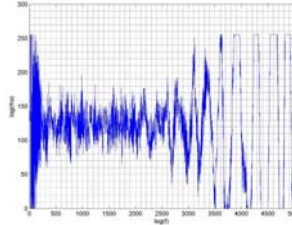
	Figure No.1	Figure No.2	Figure No.3
m 05x05	14	13	18
m 05x10			
m 05x15	14	13	20
m 05x20			
m 05x25	30	13	30
m 05x30			

그림 3.1.2.18 균열깊이 5cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상

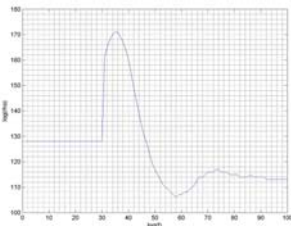
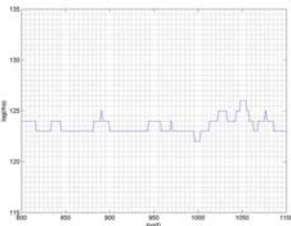
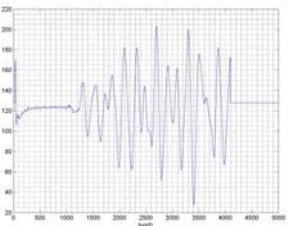
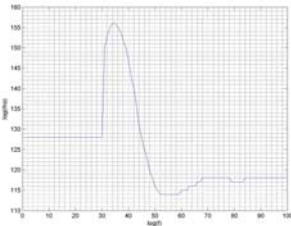
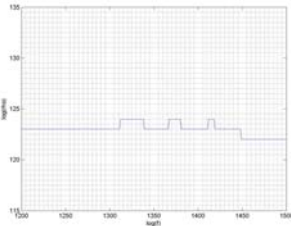
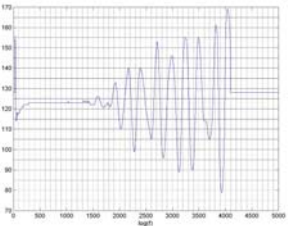
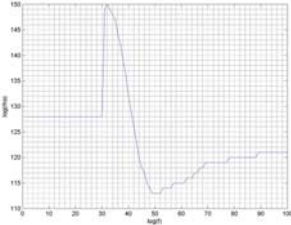
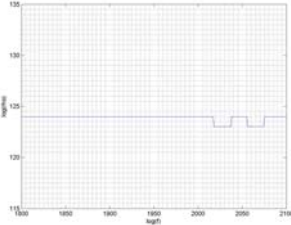
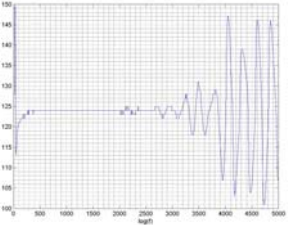
	Figure No.1	Figure No.2	Figure No.3
m 10x05	14	13	20
m 10x10			
m 10x15	14	13	20
m 10x20			
m 10x25	14	13	20
m 10x30			

그림 3.1.2.19 균열깊이 10cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상

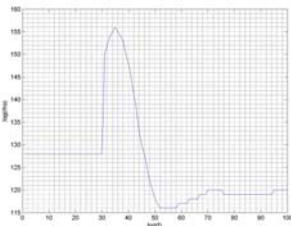
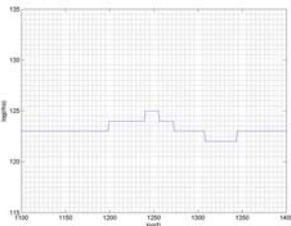
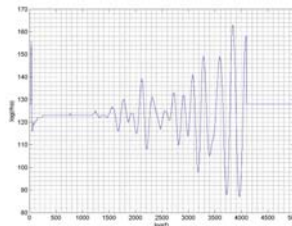
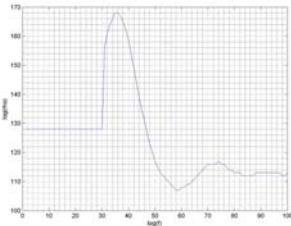
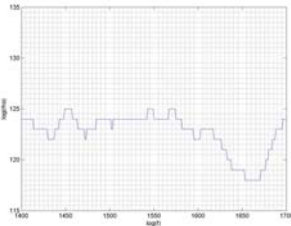
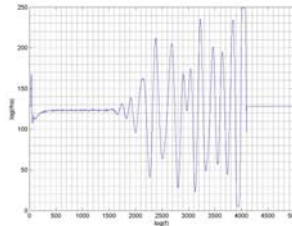
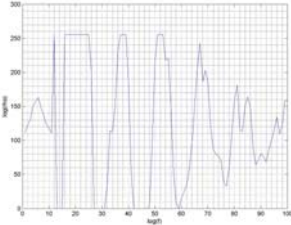
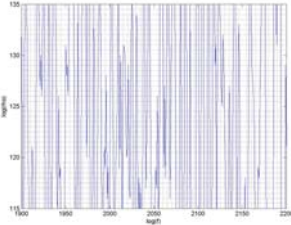
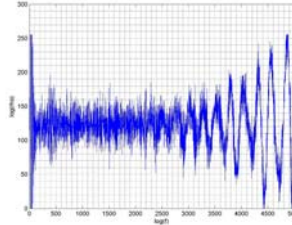
	Figure No.1	Figure No.2	Figure No.3
m 15x05	30	13	30
m 15x10			
m 15x15	20	13	20
m 15x20			
m 15x25	20	13	20
m 15x30			

그림 3.1.2.20 균열깊이 15cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상

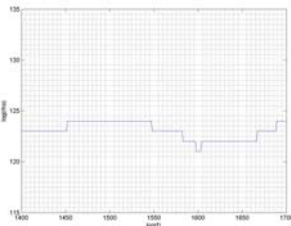
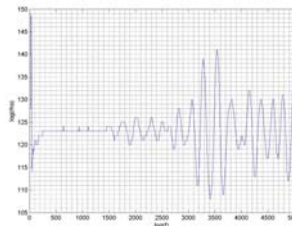
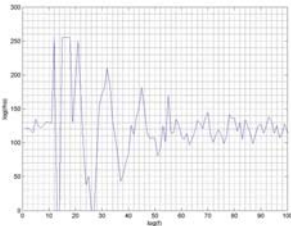
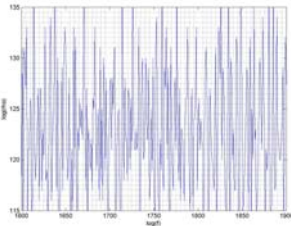
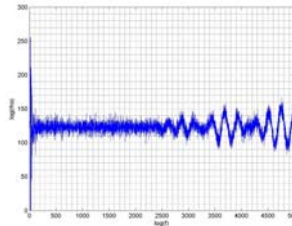
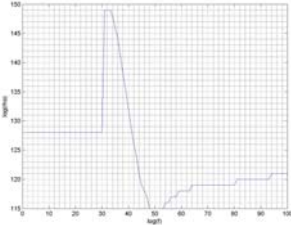
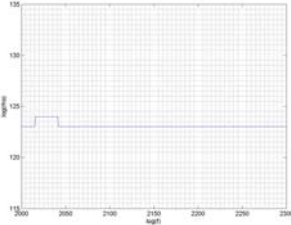
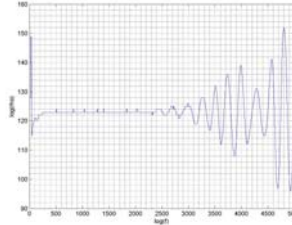
	Figure No.1	Figure No.2	Figure No.3
m 20x05	14	13	20
m 20x10			
m 20x15	14	13	20
m 20x20			
m 20x25	14	13	20
m 20x30			

그림 3.1.2.21 균열깊이 20cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상

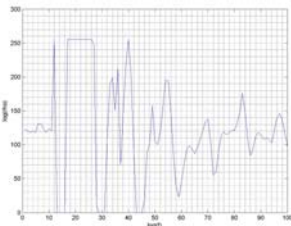
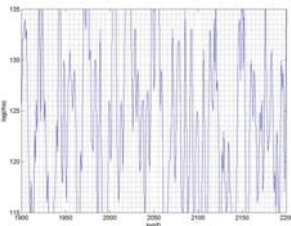
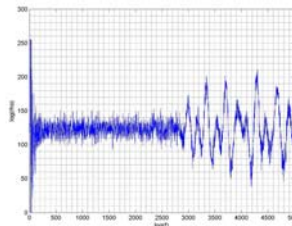
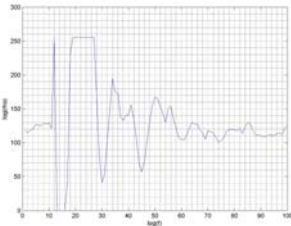
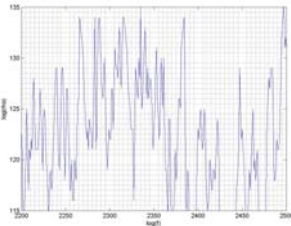
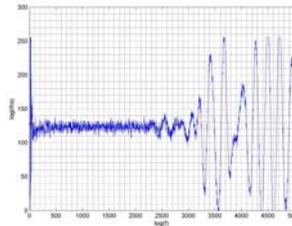
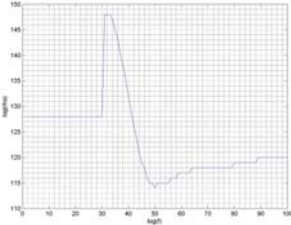
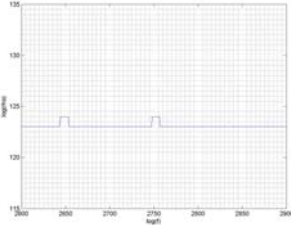
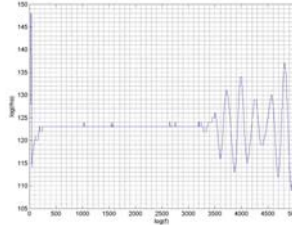
	Figure No.1	Figure No.2	Figure No.3
m 30x05	14	13	20
m 30x10			
m 30x15	14	13	20
m 30x20			
m 30x25	14	13	20
m 30x30			

그림 3.1.2.22 균열깊이 30cm일 때 탐촉자거리 변화에 따른 파형변화 양상

(4) 탐촉자 주파수별 파형변화

콘크리트모형의 균열깊이는 5, 10, 15, 20, 30cm 로 변화하며, 각각 m05, m10, m15, m20, m30 이라 명명한다. 균열부위로부터 탐촉자 중앙점까지의 거리는 10, 20, 30cm 로 변화하며, 각각 x10, x20, x30 이라 명명한다. 탐촉자의 주파수는 24, 37, 54, 82, 150, 200 kHz로 변화하며 f024, f037, f054, f082, f150, f200이라 명명한다.

그림 3.1.2.23은 m05x10(균열깊이 5cm, 탐촉자거리 10cm)에 대해 탐촉자 주파수가 변화할 때의 파형변화 양상을 보여준다. 그림의 우측그래프는 500 us까지 측정한 자료를 보여준다. 좌측그래프는 트리거신호를 보기위해 10 us까지 자료를 보여주며, 중앙그래프는 이론상 회절과 도착시간 근처의 30 us 동안의 자료를 보여준다. 각 자료는 0.1 us 간격으로 샘플링 되었으며, 8 bit로 수치화되었다.

그림 3.1.2.23에서 m05f082x10 즉 균열깊이 5cm, 탐촉자간 거리 10cm인 모형의 탐촉자주파수 82 kHz의 수신파형을 살펴보면, 수평축 675 지점 즉 67.5 us 지점에 강도 1의 초동이 있음을 볼 수 있다. 본 모형의 이론상 주행거리는 22.4 cm이며, 주행시간은 속도를 3350m/s로 가정할 때 66.9 us이다. m05f054x10에서도 67.5 us에서 초동이 포착되며, m05f150x10, m05f200x10의 자료는 AD상의 문제로 자료가 불량하다.

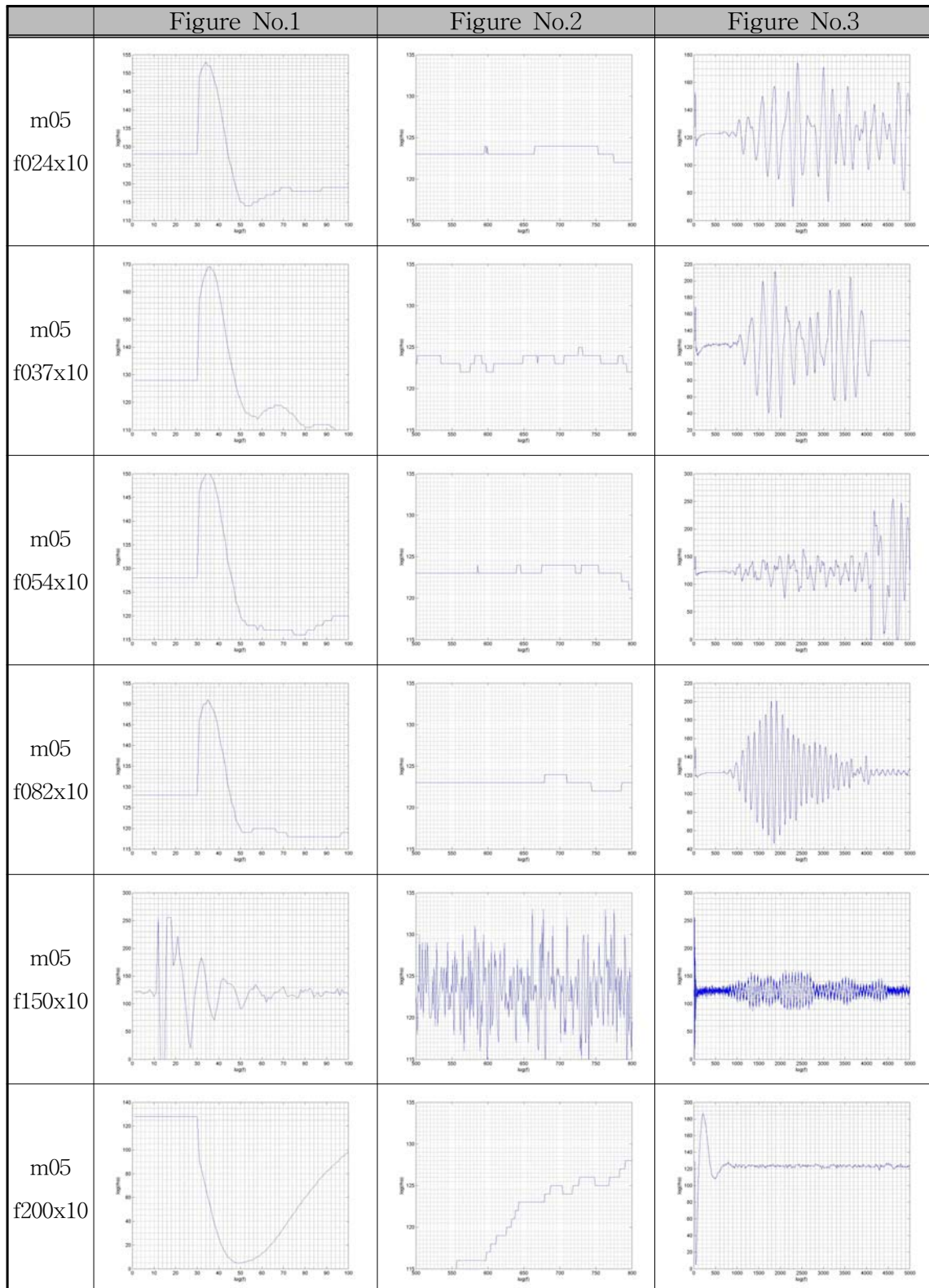


그림 3.1.2.23 균열깊이 5cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

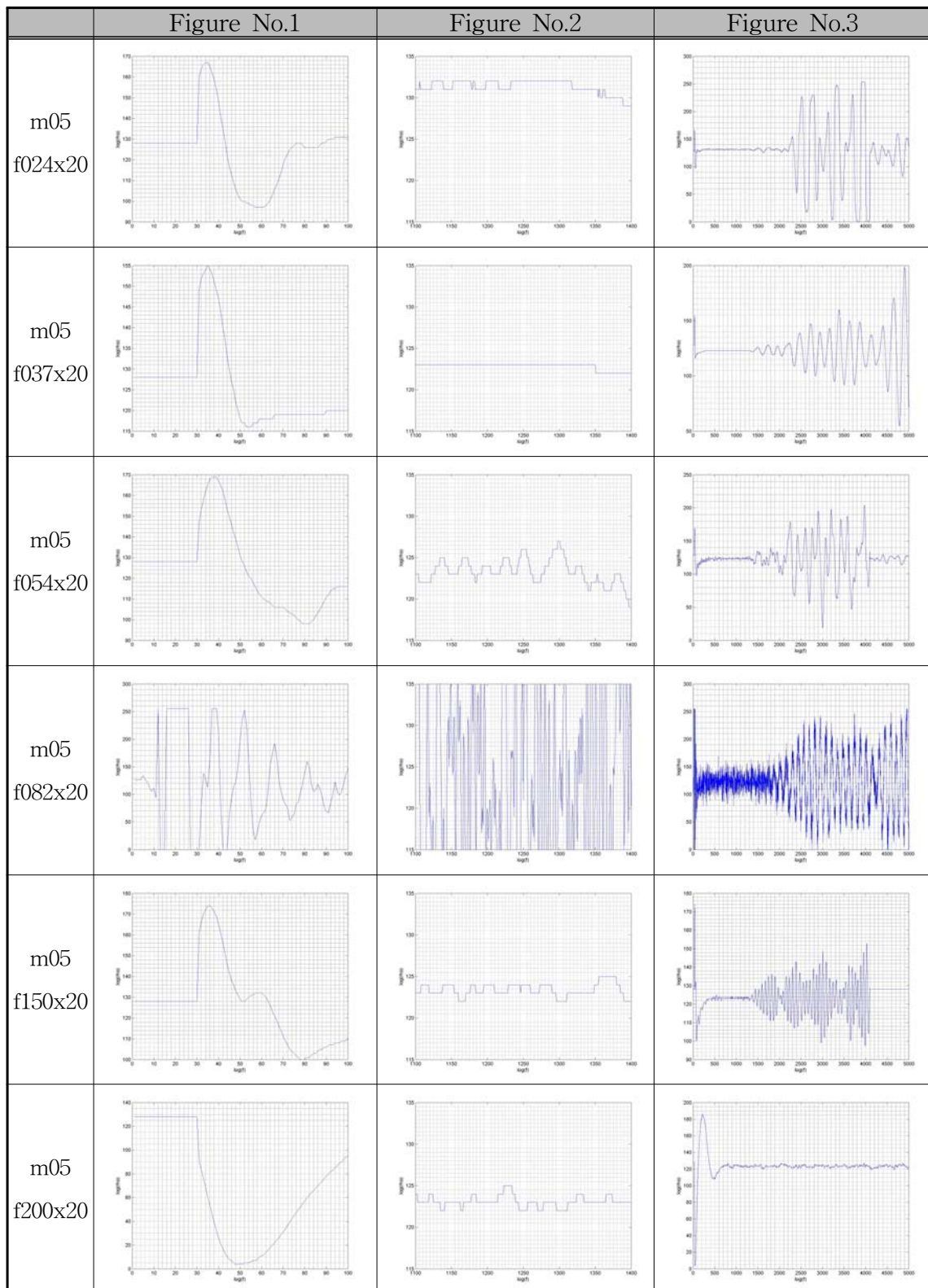


그림 3.1.2.24 균열깊이 5cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

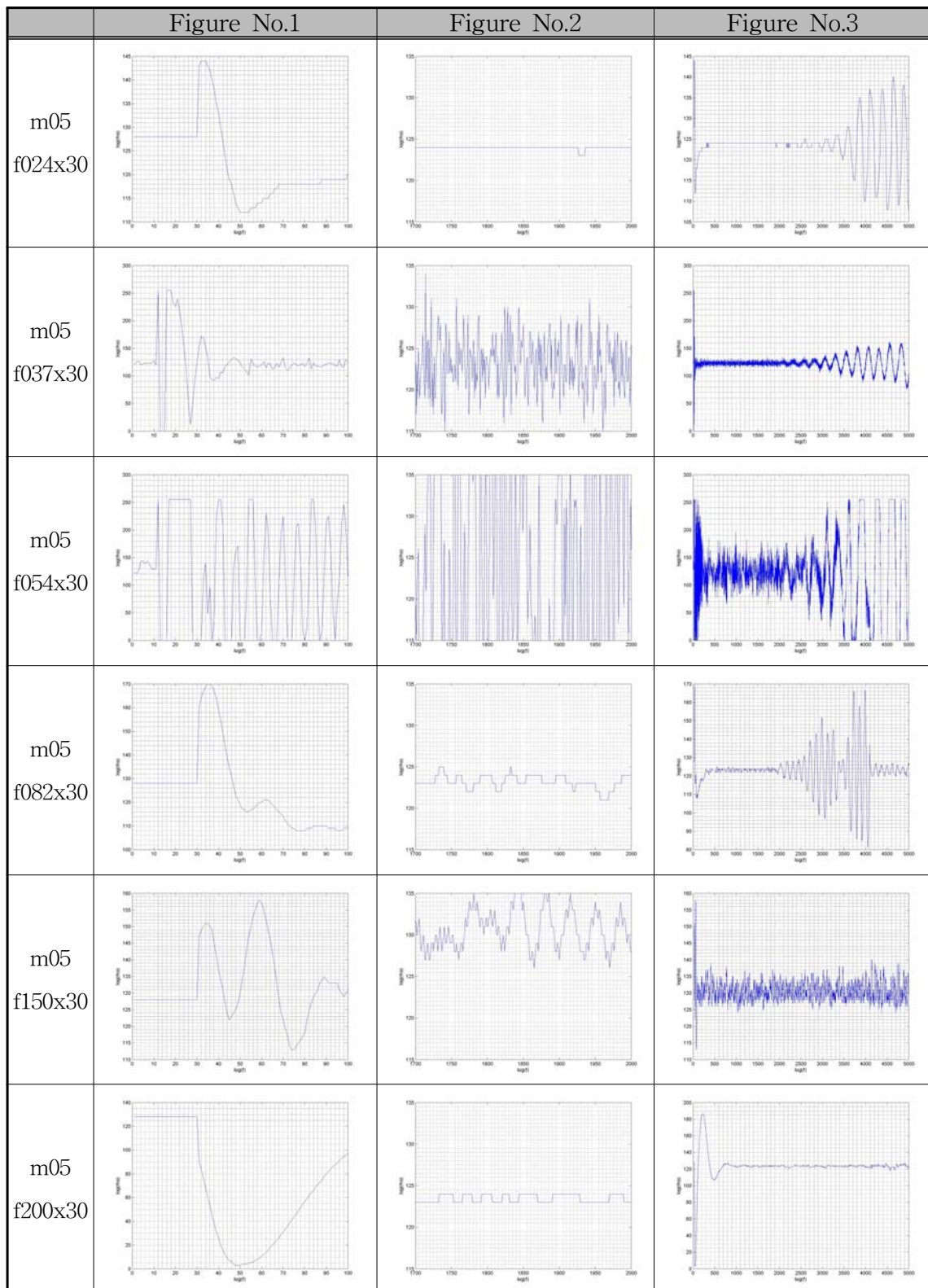


그림 3.1.2.25 균열깊이 5cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

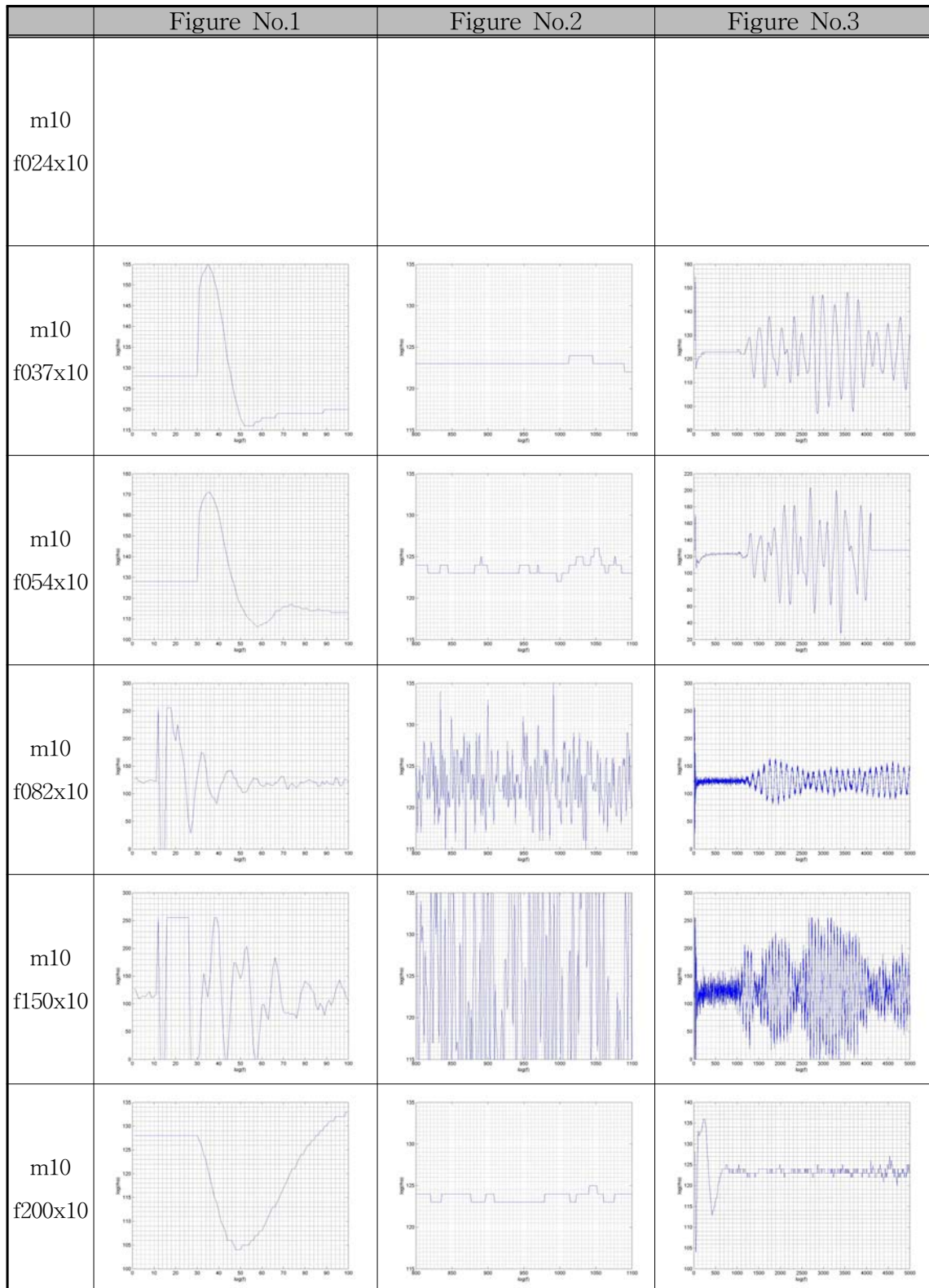


그림 3.1.26 균열깊이 10cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

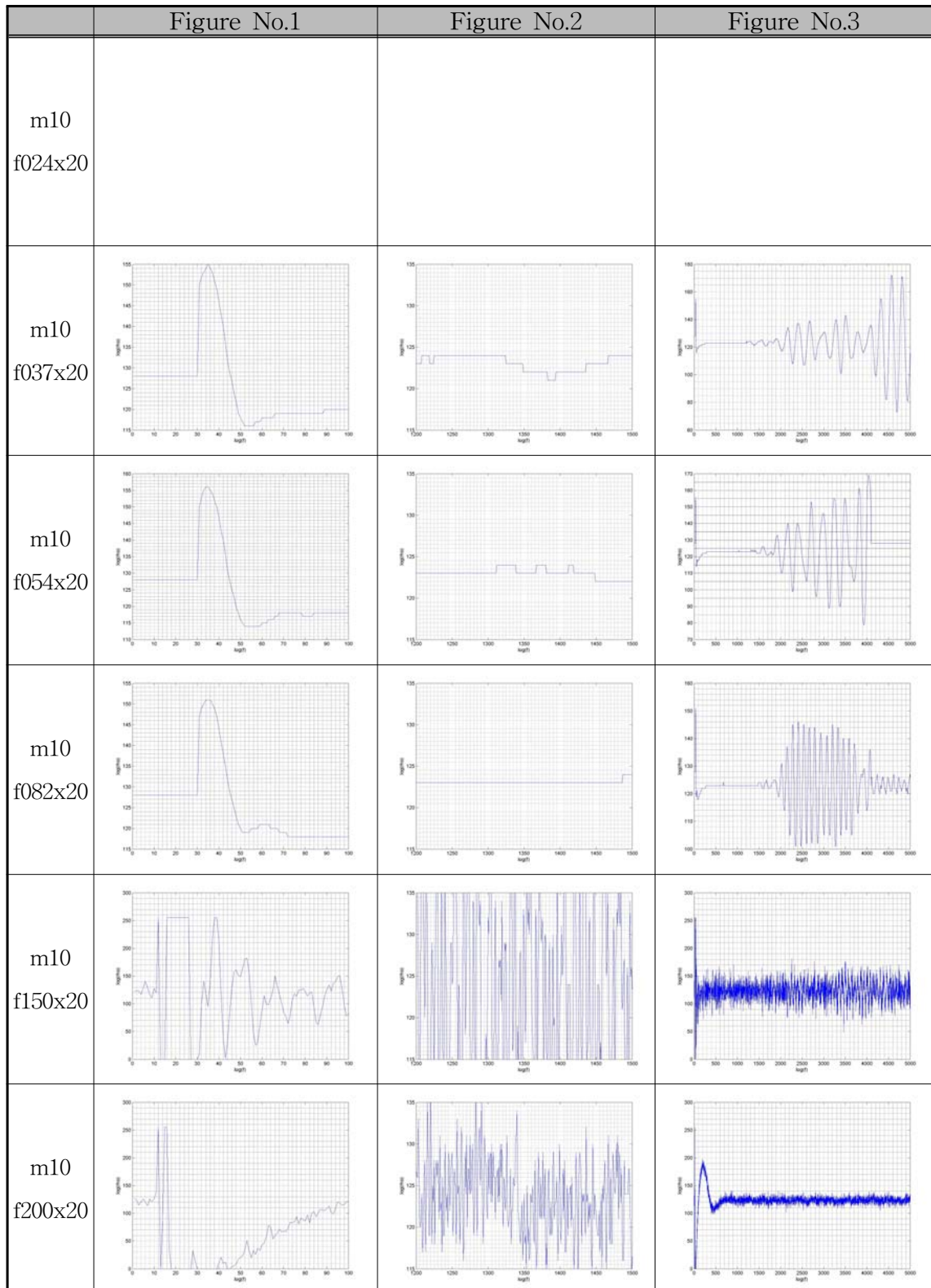


그림 3.1.27 균열깊이 10cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

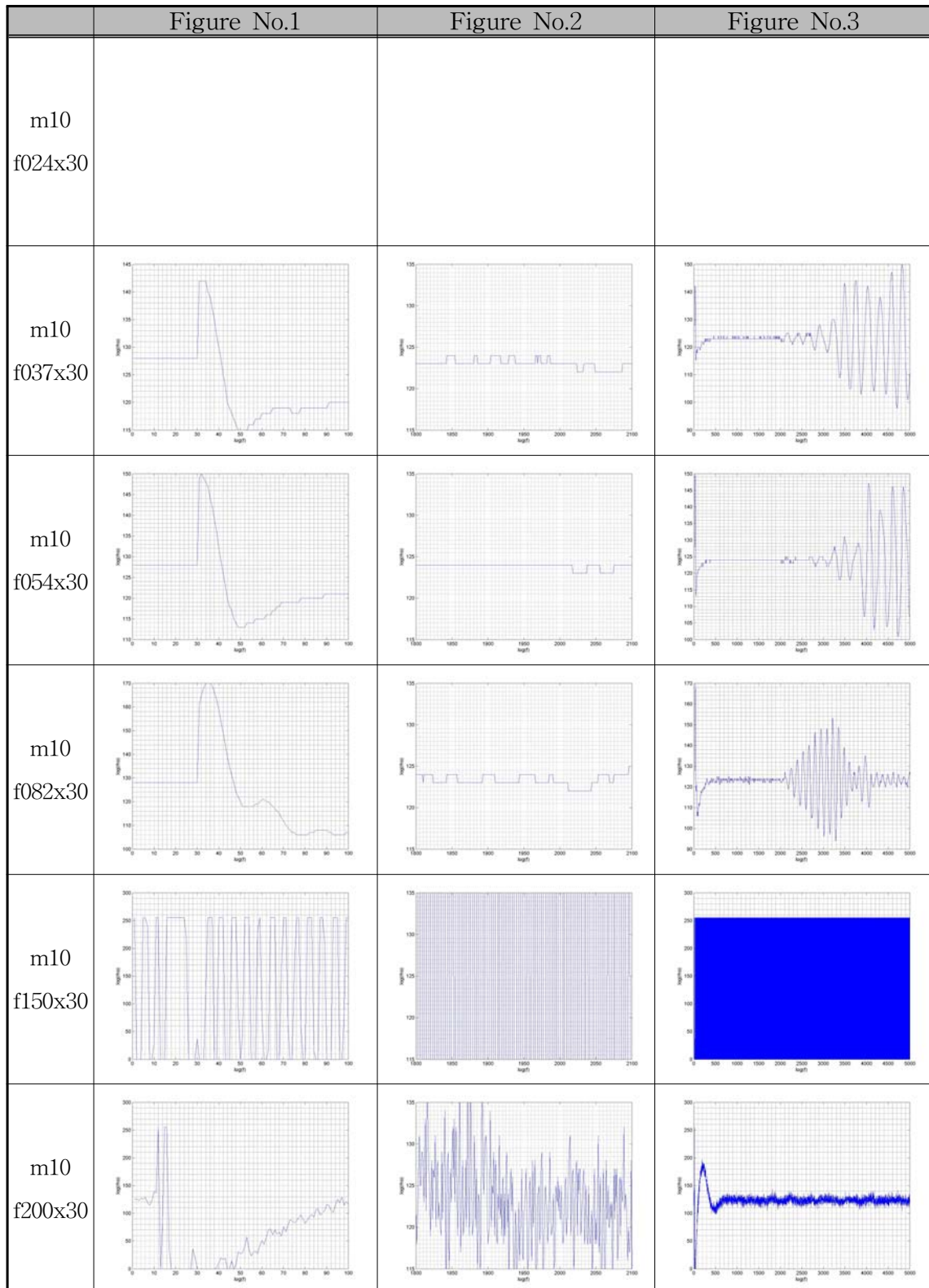


그림 3.1.2.28 균열깊이 10cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

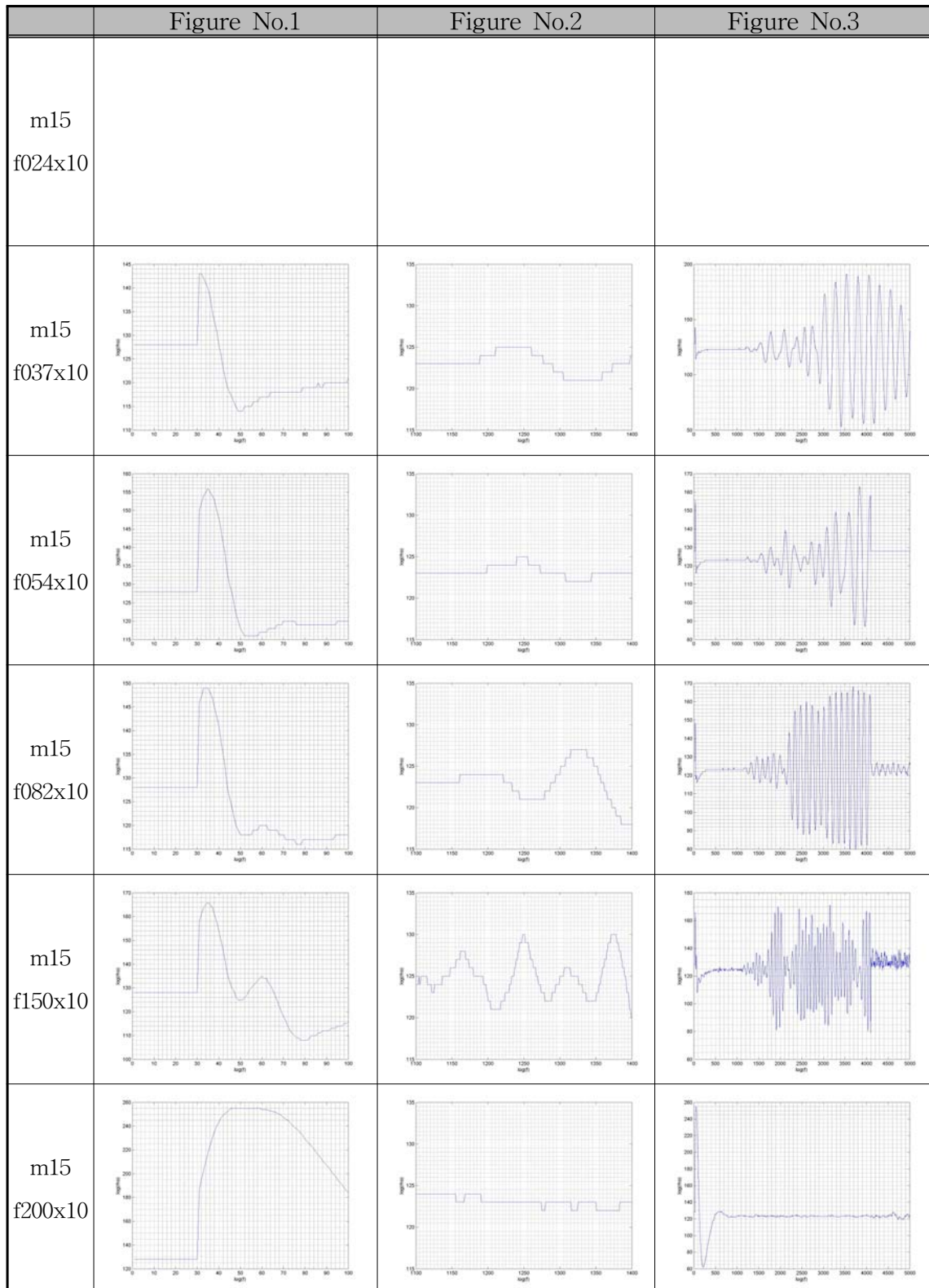


그림 3.1.29 균열깊이 15cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

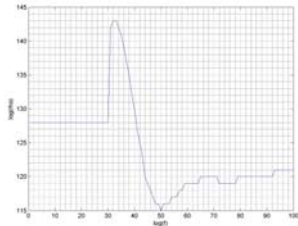
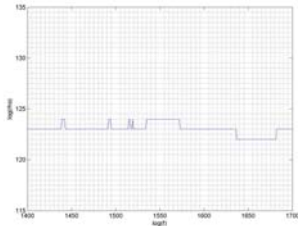
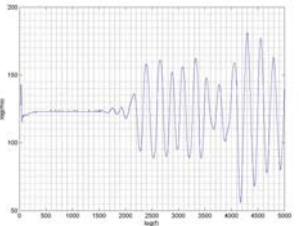
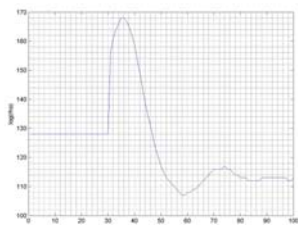
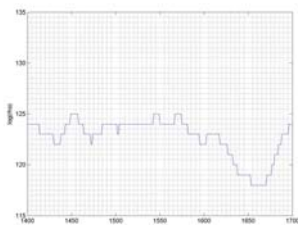
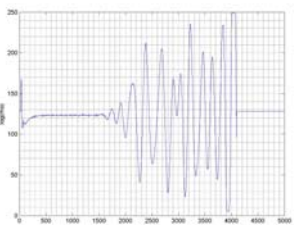
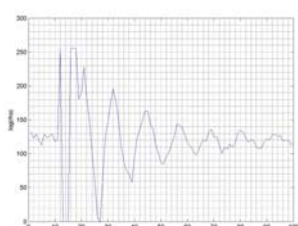
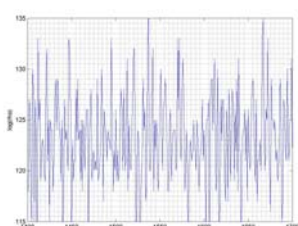
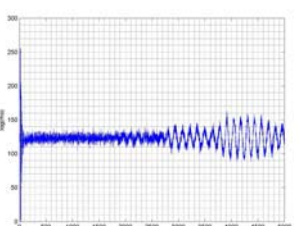
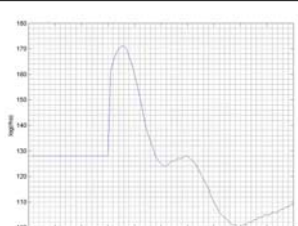
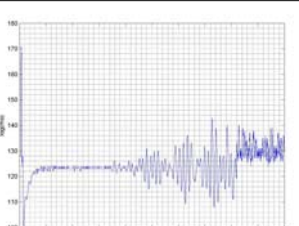
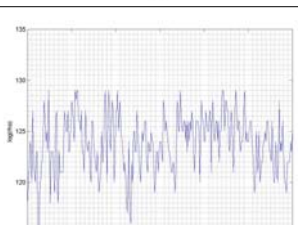
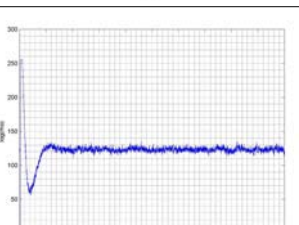
	Figure No.1	Figure No.2	Figure No.3
m15 f024x20			
m15 f037x20			
m15 f054x20			
m15 f082x20			
m15 f150x20			
m15 f200x20			

그림 3.1.2.30 균열깊이 15cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

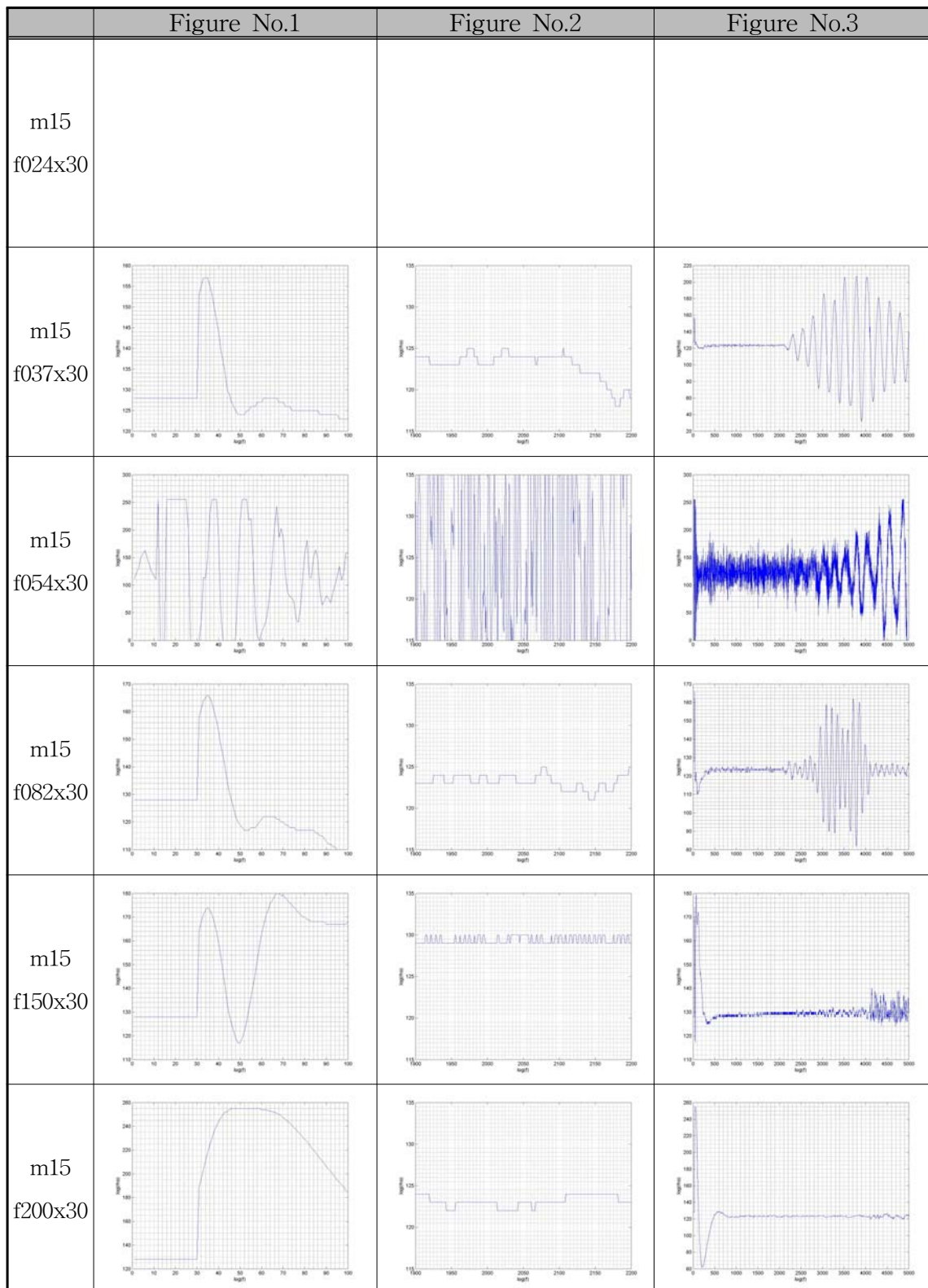


그림 3.1.2.31 균열깊이 15cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

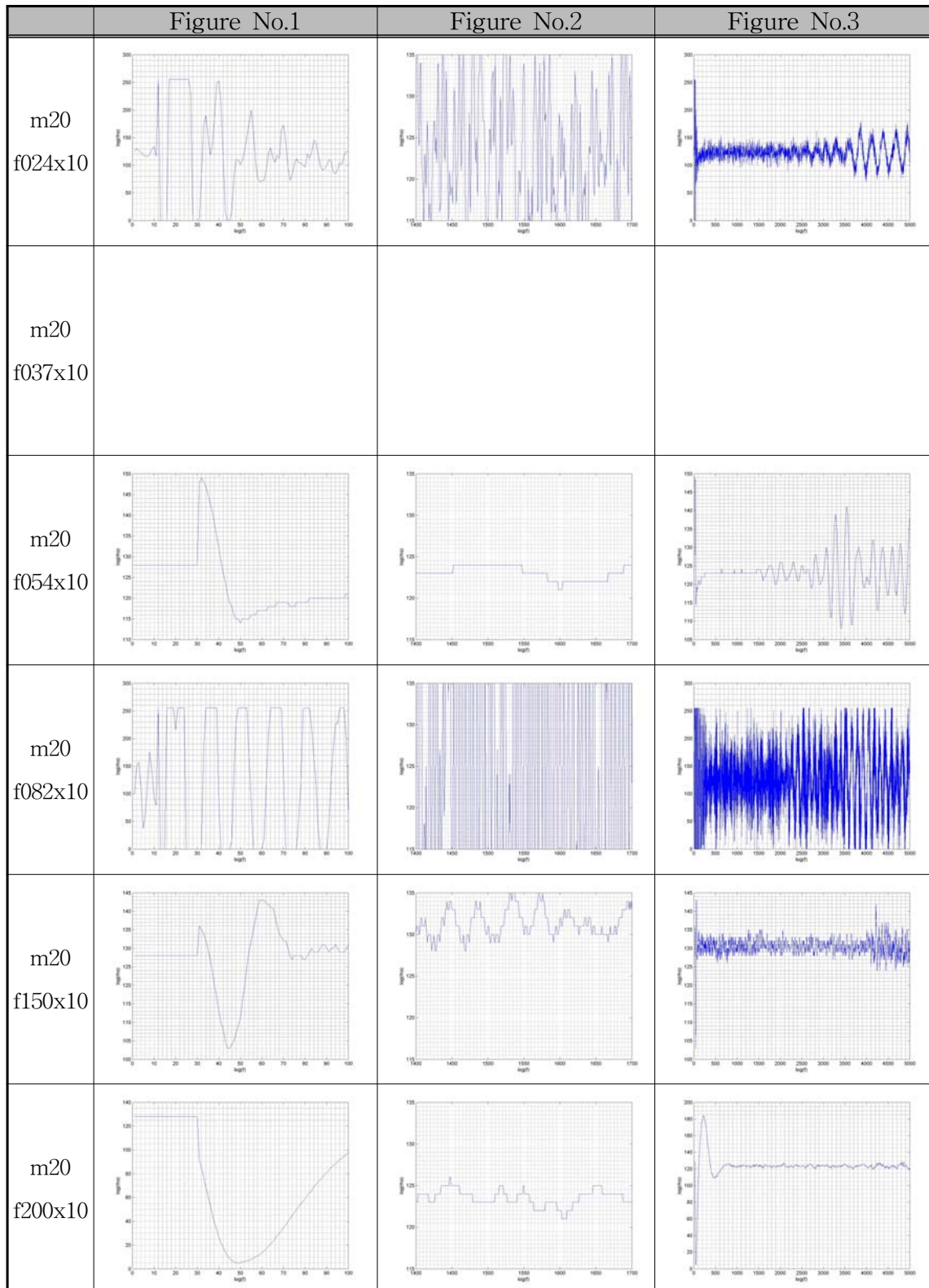


그림 3.1.2.32 균열깊이 20cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

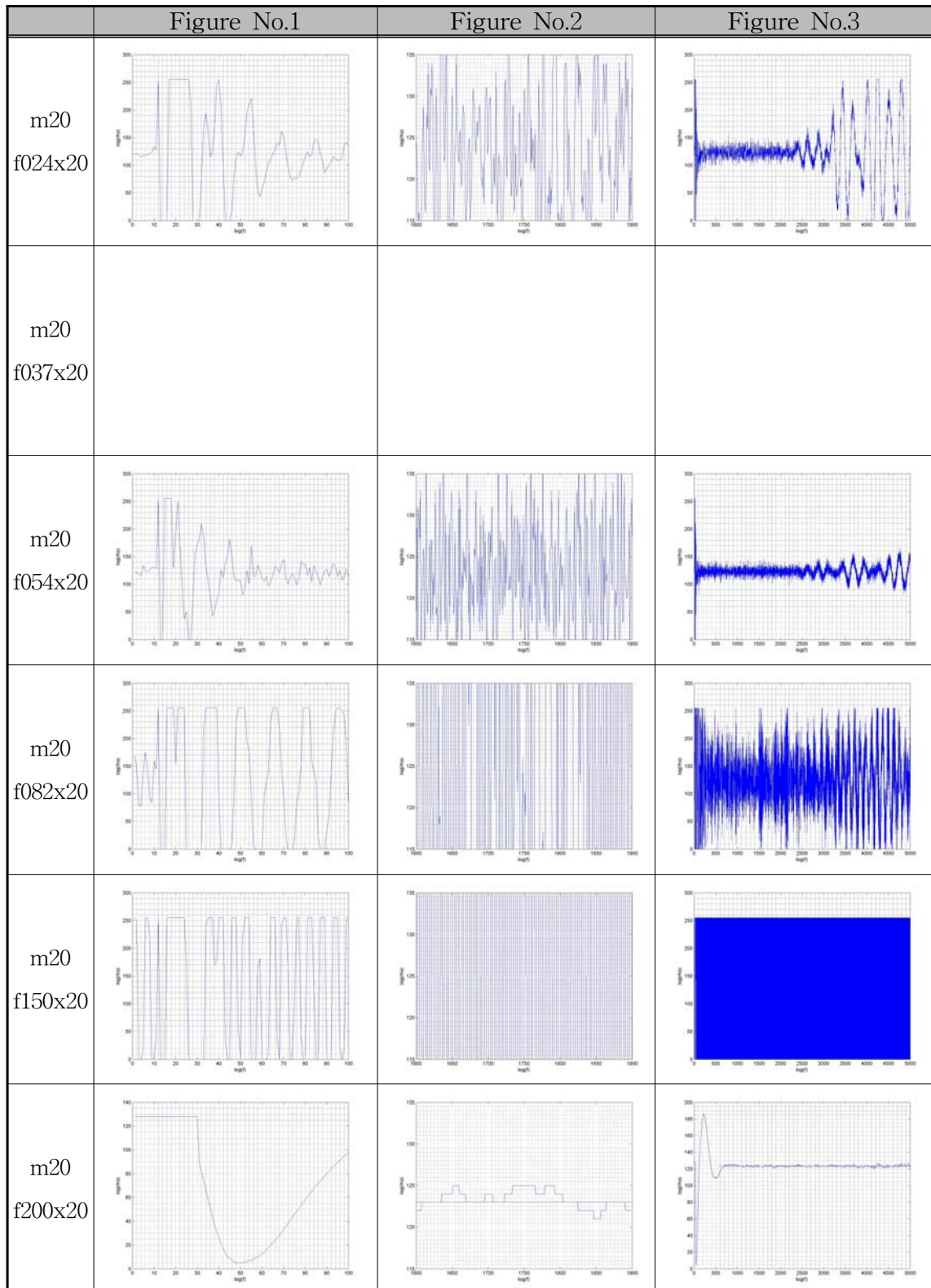


그림 3.1.2.33 균열깊이 20cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

	Figure No.1	Figure No.2	Figure No.3
m20 f024x30			
m20 f037x30			
m20 f054x30			
m20 f082x30			
m20 f150x30			
m20 f200x30			

그림 3.1.2.34 균열깊이 20cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

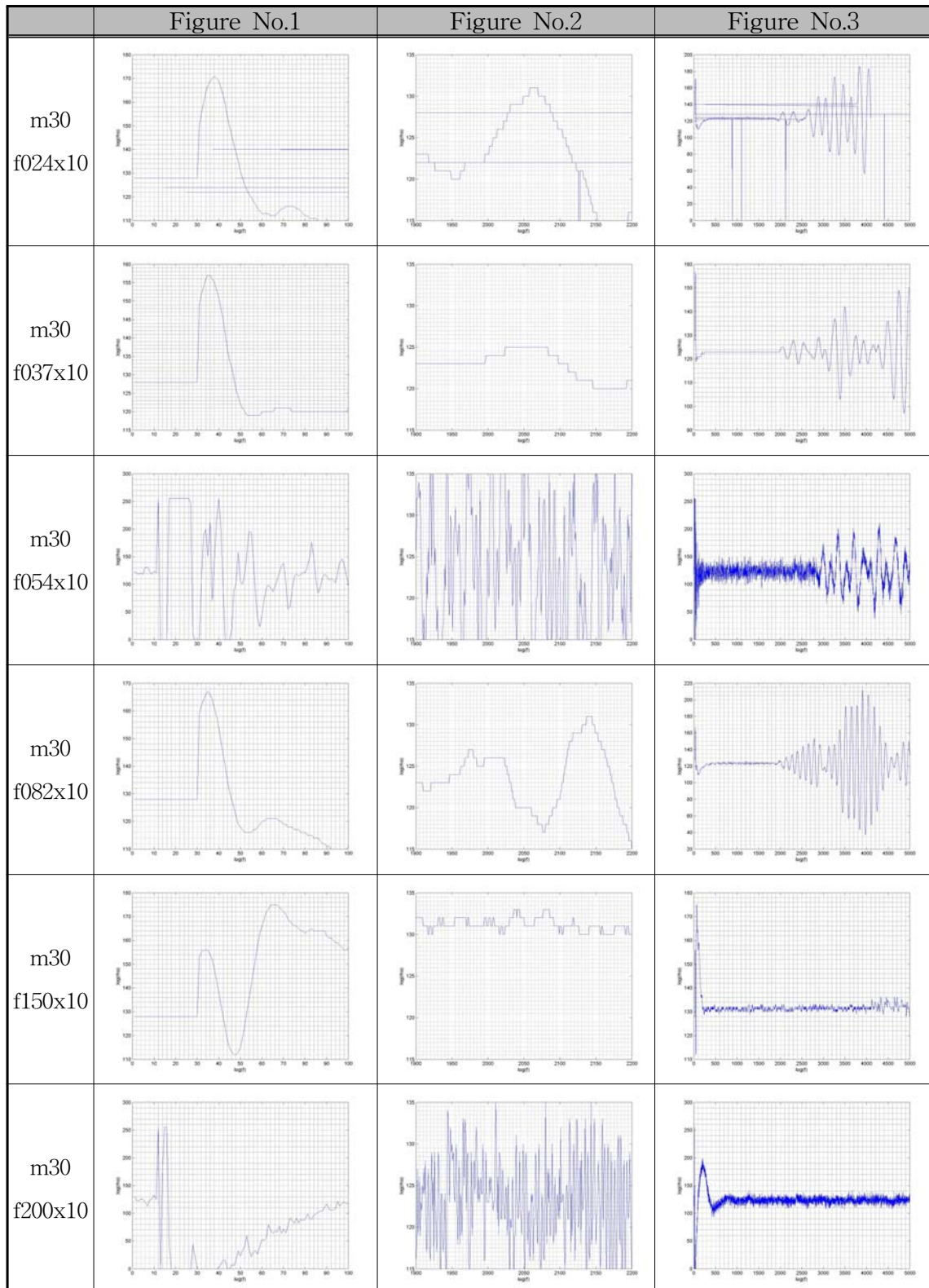


그림 3.1.2.35 균열깊이 30cm, 탐촉자거리 10cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

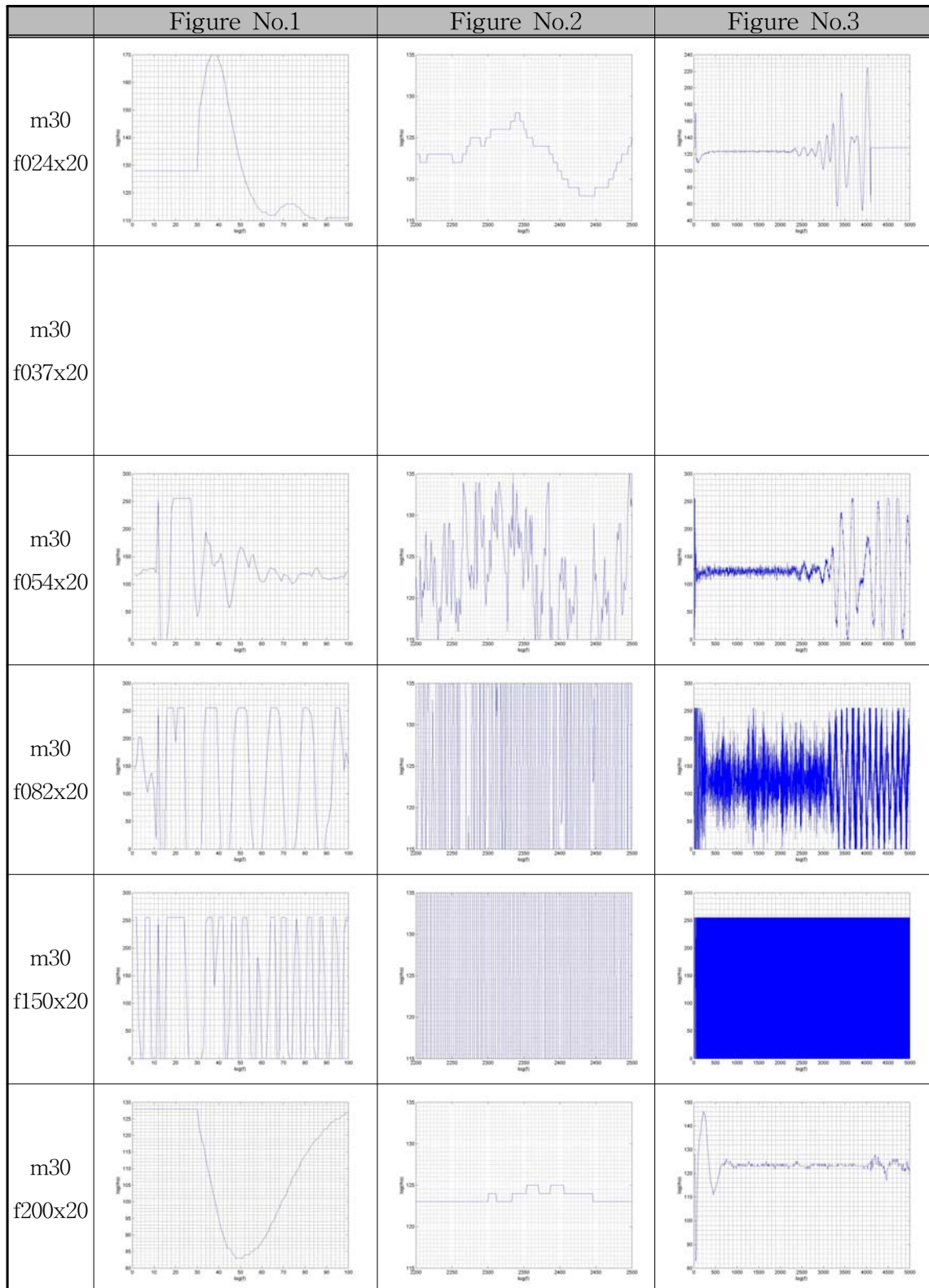


그림 3.1.2.36 균열깊이 30cm, 탐촉자거리 20cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

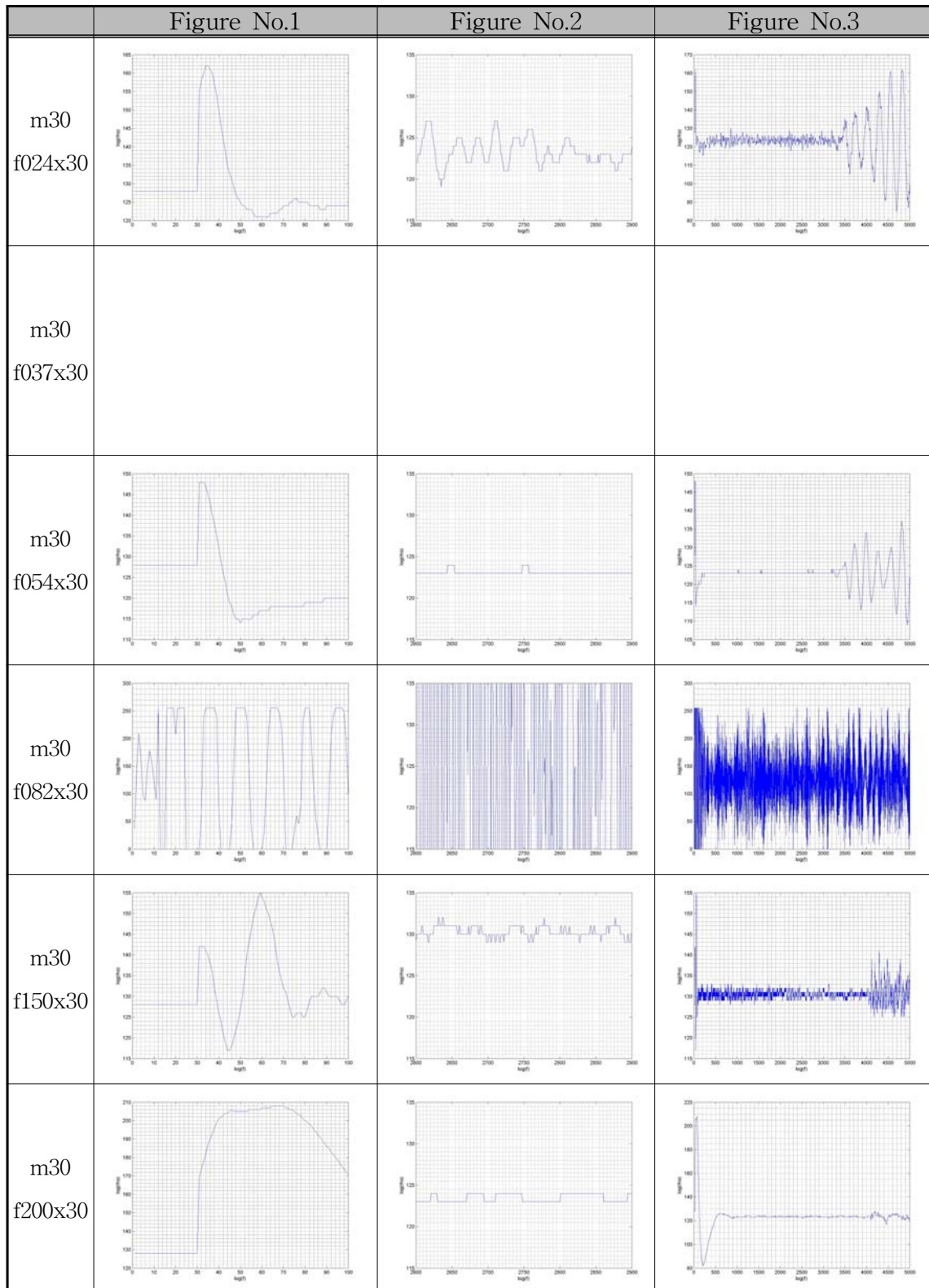


그림 3.1.2.37 균열깊이 30cm, 탐촉자거리 30cm일 때 주파수변화에 따른 파형변화 양상

(5) 시험결과 및 분석

표 3.1.2.12에는 균열깊이 5개, 탐촉자 거리 3개, 탐촉자 주파수 6개, 총 90개 경우에 대해 현재 시점까지의 파형분석 결과를 요약하였다. 표의 첫째 열은 모형 및 탐촉자 거리, 둘째 열은 주행거리, 셋째 열은 주행시간, 넷째 열은 초동측정을 위해 사용된 장비(Pundit7 또는 MKPR 1025), 다섯째 열에서 열 번째 열까지는 사용된 탐촉자의 주파수를 나타내며, 열한 번째 열인 비고란은 MKPR 1025를 사용하여 측정한 파형 중 초동 추출에 성공적으로 사용된 주파수를 나타낸다. 맨 마지막 행의 괄호 속에 표시된 숫자는 각 주파수 별로 초동 추출에 성공적인 횟수를 나타낸다.

표에 나타난 지난 4개월간의 파형분석 연구결과를 아래와 같이 요약할 수 있다.

- 1) 파형분석을 위해 사용된 MKPR1025 및 새로이 제작된 AD 장비는 좀 더 개선되어 불안정한 자료를 제공하는 횟수가 줄어야한다.
- 2) 특정 탐촉자 주파수가 특정 균열깊이 또는 특정 탐촉자 거리에 더 잘 반응하는가를 파악하는 것은 현재 자료로써는 가능한 것으로 보이지 않는다.
- 3) 탐촉자 주파수별로 초동추출에 성공적으로 사용된 횟수는 37, 53, 82 kHz가 각각 8, 10, 7회로 나타나며, 다른 주파수의 탐촉자는 성공 횟수가 낮다.
- 4) 따라서, 차후 몇 달간의 연구는 AD 장비를 개선하고, 추가실험을 실시하여 37, 53, 82 kHz의 탐촉자의 최고 적용영역을 파악하는데 주력하여야할 것이다.
- 5) 탐촉자 주파수 선정이 완료된 후, 깊이계산식이 결정될 수 있을 것이다.

	거리 (cm)	시간 (us)	사용 장비	f24	f37	f54	f82	f150	f200	비 고
m05x10	22.4	66.9	pundit7	64.0	63.3	68.2	66.2	68.8	70.5	f54, f82
			MKPR1025	66.5	65	67.5	67.5	?	?	
m05x20	41.2	123.0	pundit7	120.0	121.3	128.7	126.5	131.0	191.0	f37, f54, f150, f200
			MKPR1025	123.0	135.0	124.0	?	134.5	121.5	
m05x30	60.8	181.5	pundit7	180.5	181.7	189.6	188.9	213.4	300.3	f82, f200
			MKPR1025	192.5	?	?	181.0	?	184	
m10x10	28.3	84.5	pundit7	99.5	88.4	93.8	87.8	98.3	114.4	f37, f54
			MKPR1025	결 과 없음	101.5	99.5	?	?	?	
m10x20	44.7	133.4	pundit7	133.1	132.0	138.2	137.9	139.2	189.6	f37, f54, f82
			MKPR1025	결 과 없음	132.5	131.0	148.5	?	?	
m10x30	63.2	188.7	pundit7	190.5	189.6	198.2	193.8	268.9	326.0	f37, f54, f82
			MKPR1025	결 과 없음	202.5	201.5	201.0	?	?	
m15x10	36.1	107.8	pundit7	192.0	129.0	138.7	121.1	127.5	120.7	f37, f54, f82, f150
			MKPR1025	결 과 없음	118.5	119.5	116.0	112.5	?	
m15x20	50.0	149.3	pundit7	149.2	149.5	157.3	152.5	184.5	187.1	f37, f54, f150
			MKPR1025	결 과 없음	153.5	158.0	?	151.0	?	
m15x30	67.1	200.3	pundit7	201.8	201.8	207.6	204.6	229.8	278.7	f37, f82, f200
			MKPR1025	결 과 없음	200.5	?	206.5	?	210	
m20x10	44.7	133.4	pundit7	206.4	155.6	160.8	147.8	150.5	178.5	f54
			MKPR1025	?	결 과 없음	145.0	?	?	?	
m20x20	56.6	169.0	pundit7	174.3	173.2	215.2	194.7	240.1	234.8	f200
			MKPR1025	?	결 과 없음	?	?	?	164	
m20x30	72.1	215.2	pundit7	220.0	218.3	227.8	222.6	302.3	347.9	f54
			MKPR1025	213.5	결 과 없음	230.0?	?	?	결 과 없음	
m30x10	63.2	188.7	pundit7	264.1	209.2	217.2	202.5	206.8	297.4	f24, f37, f82
			MKPR1025	191.5	199.5	?	194.5	?	?	
m30x20	72.1	215.2	pundit7	293.1	236.0	248.5	231.9	315.5	316.0	f24, f200
			MKPR1025	225.0	결 과 없음	?	?	?	234	
m30x30	84.9	253.4	pundit7	278.1	278.7	353.3	298.4	347.0	349.0	f54, f200
			MKPR1025	?	결 과 없음	320.0?	?	?	270	
				(2)	(8)	(10)	(7)	(3)	(6)	

표 3.1.2.12 파형분석 결과요약

3. 1차년도 일체형 시스템 개발(1차년도: 2007년 1월 - 6월)

가. 개발개요

1차년도 연구개발은 마이크로 프로세서개발, 소형초음파 탐촉자 개발, 일체형 시스템 개발로 모듈 단위별로 진행하였고, 각 모듈별로 세부 아이টে을 개발하였다. 연구 개발 개요를 표시하면 그림 3.1.3.1과 같다.

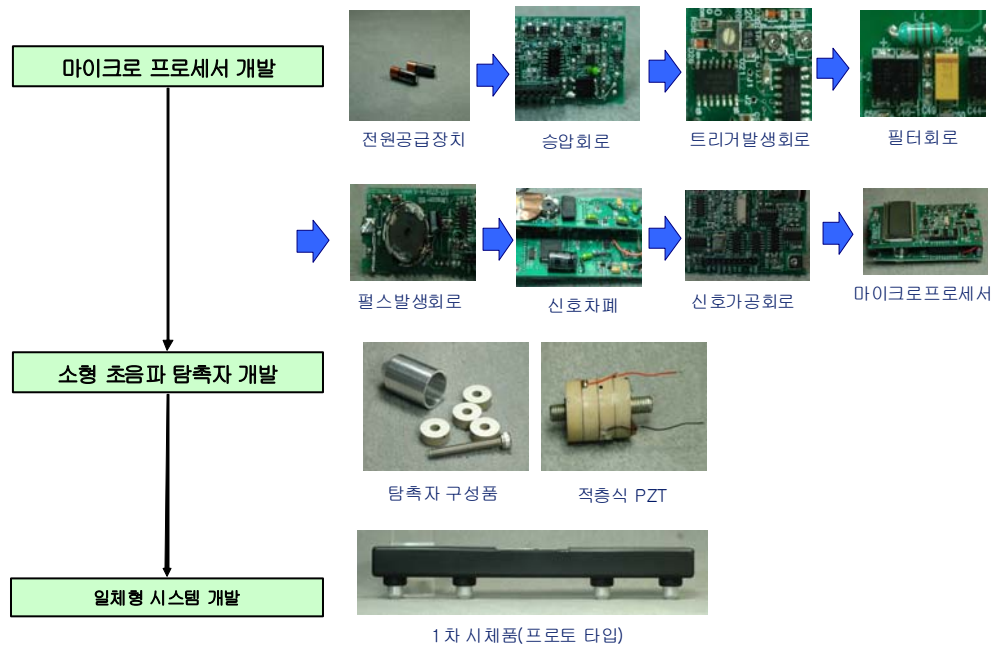


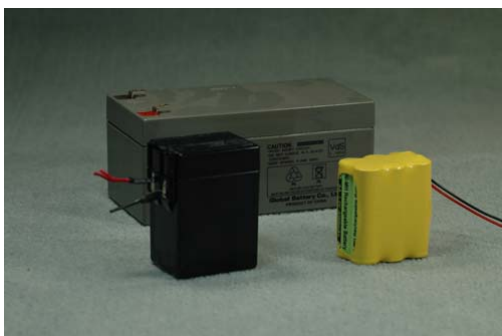
그림 3.1.3.1 1차년도 일체형 시스템 개발 연구 개요도

나. 마이크로프로세서 개발

(1) 전원공급 장치(배터리)

휴대용 초음파 콘크리트 크랙 측정기를 만들기 위해서는 우선 휴대용이라는 개념을 충족시키기 위해 크기가 작고 무게가 가벼운 측정기를 기본으로 하여야 하므로 전자 회로가 줄어야 함은 물론 초음파 탐촉자, 하우징 등도 크기가 작아져야 한다. 특히 탐촉자의 경우 기존의 탐촉자보다 크기가 작은 사이즈로 제작해야 하기 때문에 초음파의 발생을 위한 펄스 에너지가 커야함은 물론 또한 이를 수신하고 증폭하기 위한 회로도 탁월해야 하는 것으로 판단되었다.

우선 휴대용 측정기를 만들기 위해 가장 먼저 생각해야 할 것이 배터리의 선정이었다. 배터리의 사이즈가 장비의 크기를 결정하기 때문에 시중에서 쉽게 구할 수 있고 크기가 비교적 작은 1.5 볼트 AA 사이즈 배터리를 사용하기로 했다. 하지만 3 볼트의 전압으로 모든 회로를 구동시키기 위해서는 정밀한 승압회로와 전원 필터부와 고압발생회로를 우선 개발해야 했다. 일반적인 장비에 들어가는 7.2 볼트-12 볼트 배터리용량은 크지만 그만큼 사이즈가 크고 무게가 무겁기 때문에 장비의 무게와 사이즈가 커진다는 단점과 더불어 시중에서 구하기가 어려운 문제점이 있다. 따라서 개발 중인 장비에 사용될 배터리는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 배터리를 선정 했다. 하지만 사이즈가 작은 만큼 전압과 용량이 적기 때문에 전압을 올려주는 승압회로와 장비의 소모 전력을 최소화하는 회로를 개발해야 한다.



기존장비배터리
(7.2 볼트-12 볼트)



개발예정 장비 배터리
(1.5 볼트 AA사이즈 건전지)

사진 3.1.3.1 기존 및 개발된 장비 배터리

(2) 승압회로

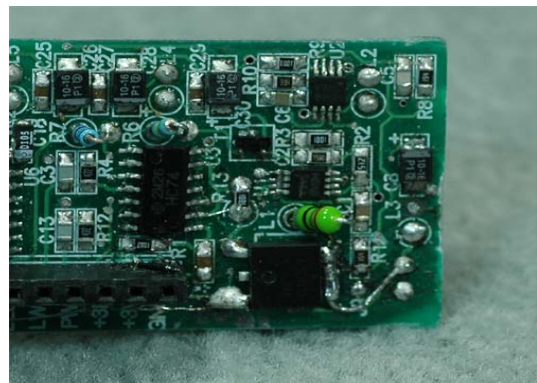
장비를 동작시키기 위해서는 최소 5 볼트의 전압이 필요했기 때문에 3 볼트로는 제대로 동작을 시킬 수가 없었다. 따라서 3 볼트를 5 볼트로 바꾸어주는 승압회로를 우선 구성해야 했다. 그래서 인덕터와 다이오드와 DC-DC 컨버터 IC를 사용하는 방법을 구성하여 승압회로를 구성했다.

하지만 일반적인 승압회로를 구성해서 테스트를 해보니 전압은 정상이지만 전류의 부족으로 장비 전체를 구동시키기에는 무리가 있음을 알게 되었다. 장비를 구동시키기 위해 필요한 전류가 300 밀리암페어 이상이 요구되었기 때문에 5 볼트로 전압을 승압시키면서도 동시에 큰 전류를 흘려줄 수 있는 회로를 구성했다.

따라서 2 암페어 이상을 흘려줄 수 있는 승압 IC와 전압을 안정 시켜주는 회로를 추가로 구성하여 전원부를 만들고 500 밀리암페어의 전류를 회로에 흘려주어 테스트를 해 본 결과 완성된 회로를 가지고 장비의 모든 전원부를 구동시켜도 전압에 이상이 없음을 확인 하였다.



일반적인 승압회로

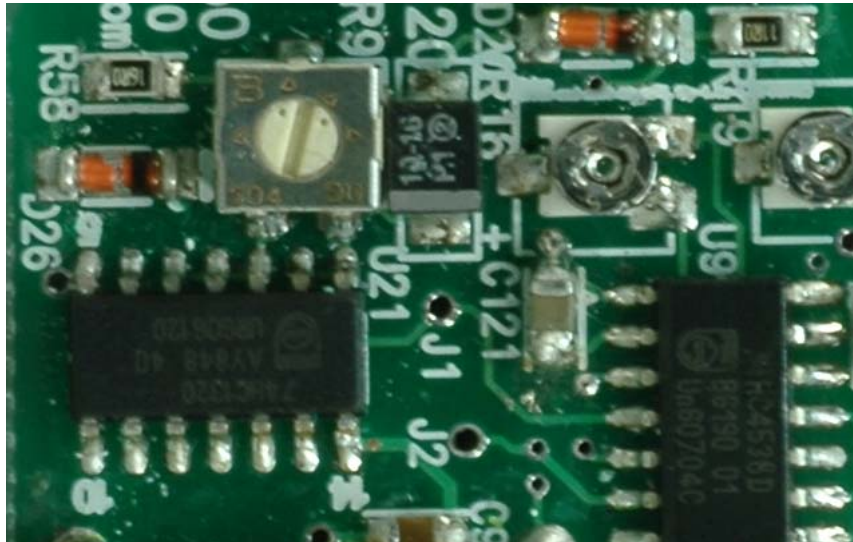


수정 후 승압 회로

사진 3.1.3.2 기존 및 개발된 승압회로

(3) 트리거발생회로

다음으로 고압발생 부를 구성하였다. 5 볼트의 전원을 가지고 트리거 회로를 구성했고 FET와 트랜스를 사용하여 500-1200 볼트의 전압을 만들었다.



트리거 발생 회로

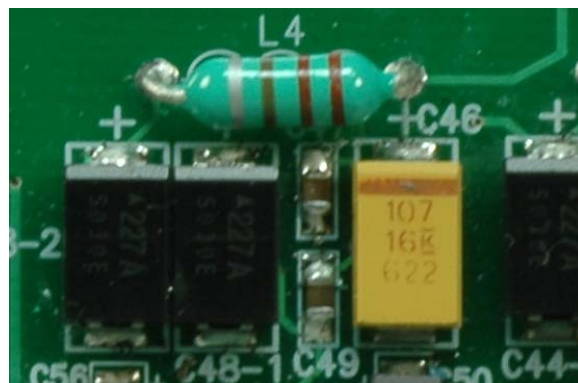
IC를 통해 발진회로를 만든 후 5V의 전압을 가변 저항을 통해 일정한 폭의 트리거 신호를 만들어 준다.

사진 3.1.3.3 개발된 승압회로

(4) 필터회로

완성된 전원 부를 트리거 회로와 펄스 발생회로에 연결하여 테스트 해본 결과 또 다른 문제점이 발견되었다. 펄스 발생회로에서 장비의 전원 부를 만든 후 전압을 오실로스코프로 테스트를 해보았더니 메인 전원부의 전압에 노이즈가 섞여 있는 것을 발견하였다.

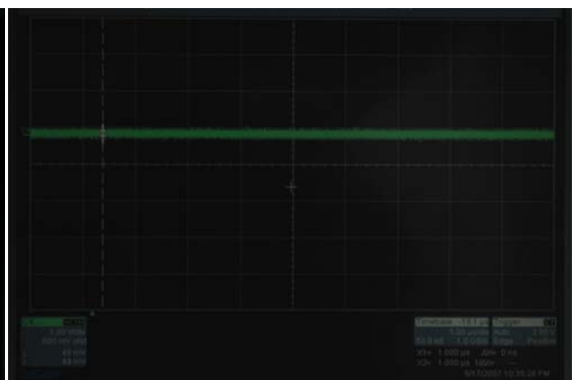
작은 기판 안에서 주 전원을 가지고 펄스회로와 고압 발생회로를 한번에 구동시키다 보니 각 회로의 노이즈가 전원부에 영향을 주는 것이었다. 그런데 펄스발진회로는 전원부에 섞여있는 약간의 노이즈에도 큰 영향을 받기 때문에 전원부에 섞여있는 노이즈를 완전히 없애주는 필터회로를 구성하고 그 회로를 각 회로의 주 전원 라인에 연결하였다. 또한 전원부와 발진회로와 고압 발생회로의 접지를 따로 구성하여 노이즈의 영향을 최소화 하였다. 그렇게 하여 전원부에 있던 노이즈 문제를 해결하였다.



필터회로



일반적인 승압회로의 전원 노이즈



노이즈를 필터링 한 승압 회로

사진 3.1.3.4 필터회로 및 필터링한 승압회로

(5) 펄스 발생회로

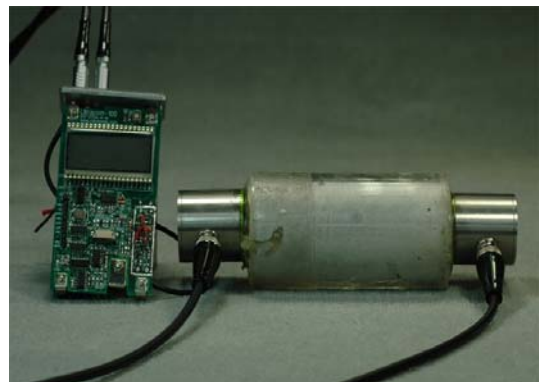
다음으로 장비에 사용할 전압을 선정하기 위해 실험을 하였다. 콘크리트 센서를 콘크리트 시험편에 500 볼트부터 전압을 조금씩 올려가며 신호를 가하면서 가장 효율적인 신호를 찾아보았다.

펄스 전압이 이 보다 작을 경우 탐촉자를 구동하는데 충분한 전압을 받을 수 없었고 이보다 큰 전압을 사용하는 경우 옆 부분에 위치하게 되는 수신 회로에 영향을 주어서 노이즈를 발생시키는 것으로 관찰되었다. 또한 너무 전압이 클 경우에는 출력 신호의 크기는 크지만 그만큼 노이즈도 함께 커지는 결과가 발생했기 때문에 1200 볼트 이상의 큰 전압도 사용하는 것이 좋지 않다는 결론을 얻게 되었다.

그 결과 약 600 볼트의 펄스 전압을 사용하는 것이 가장 효율적인 것으로 판단되었고 가변 저항을 사용해서 600-650 볼트의 전압을 조정할 수 있는 고압 발생회로를 사용하여 회로를 구성하기로 결정하였다.



펄스발생 회로



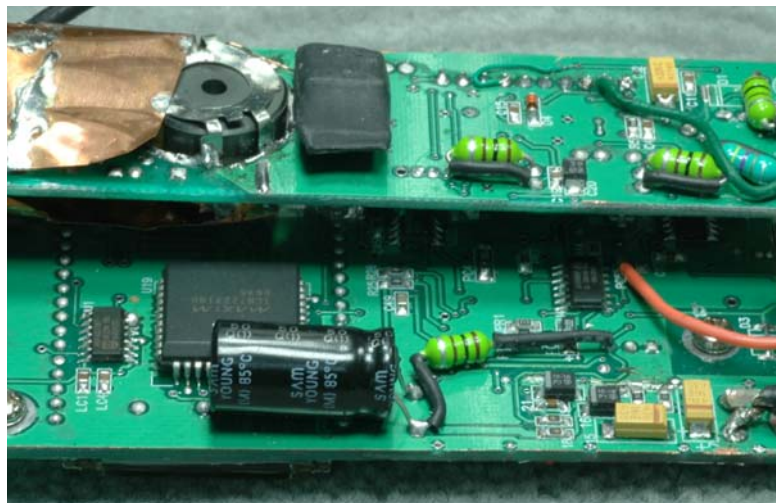
센서전압테스트

사진 3.1.3.5 펄스발생회로와 센서전압테스트

(6) 신호 차폐

고압발생회로와 최적의 펄서전압을 확인 한 후 센서를 통해 들어온 신호를 수신회로에 연결하였다. 하지만 두 기판의 간격이 너무 좁아 펄서회로에서의 트리거 신호가 수신회로의 입력부로 그대로 들어오는 문제가 발생했다.

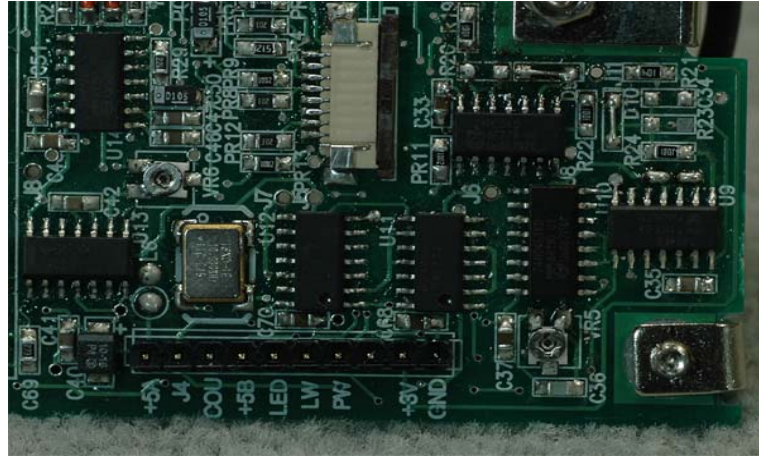
그래서 문제 해결을 위해 펄서회로와 외부 센서로 연결되는 컨넥터 부분을 동박 테이프를 사용해서 차폐시켜 보았더니 수신부로 들어오는 펄서의 트리거 신호가 상당히 감소했다. 추후 기판을 새로 제작할 때 펄서회로 부분과 수신회로 부분을 기판에서 가능한 먼 위치로 배치하고 고압발생 회로를 격리 시킨 후 동판으로 완전히 차폐시켜야 한다는 결론을 내리게 되었다. 또한 수신 회로 역시 수신 센서에서 들어오는 신호만을 받기 위해서 펄서회로와 마찬가지로 격리 시키고 동판으로 완전히 차폐시켜 제작을 하면 깨끗한 수신 신호를 받을 수 있을 것으로 판단된다.



신호 차폐

사진 3.1.3.6 신호차폐장치

(7) 신호 가공 회로

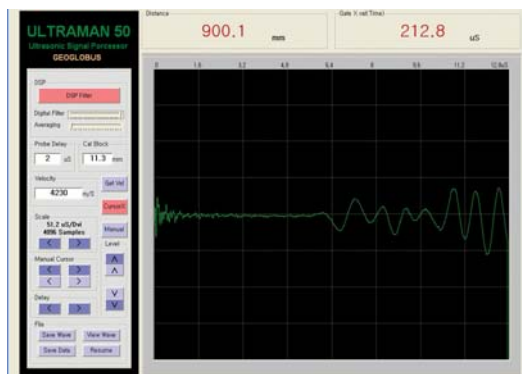


신호 가공 회로

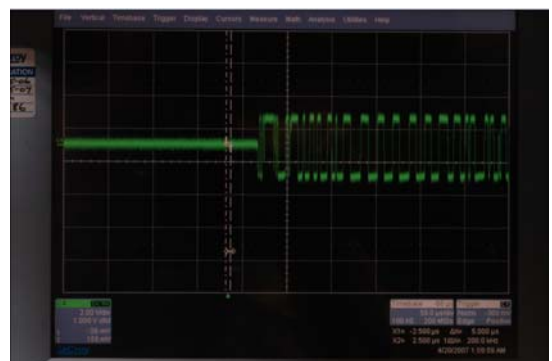
사진 3.1.3.7 신호가공회로

신호회로 동작절차는 수신 센서(수신신호) → 수신증폭부(수신신호증폭) → 파형 정형부(노이즈 제거 및 디지털신호로 변환) → 게이트 부(송신펄스로부터 수신펄스 간 게이트 형성/미세조정회로) → 카운터 및 표시 순으로 구성된다.

신호가공은 초음파 탐촉자를 통해 수신된 RF 아날로그 신호로는 짧은 검사물이나 긴 검사물 모두에서 정확도와 재현성이 있는 측정이 어려워지므로 수신된 신호를 가공하는 회로가 필요하였으므로 사진 B에서 보는 바와 같이 게이트 내에 검출된 신호를 증폭하는 회로를 구성하였다.



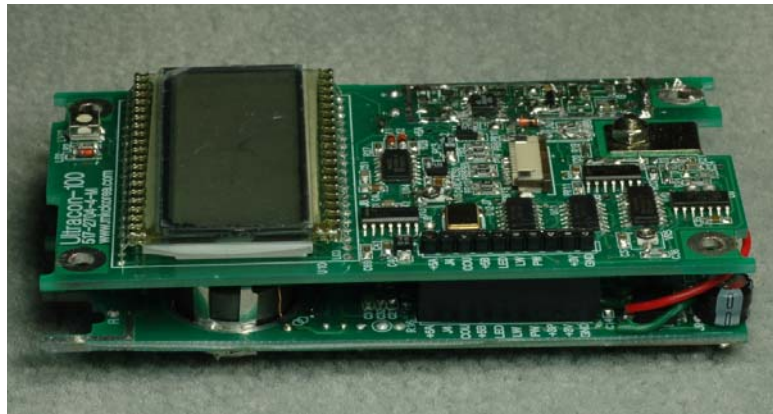
RF 아날로그 신호



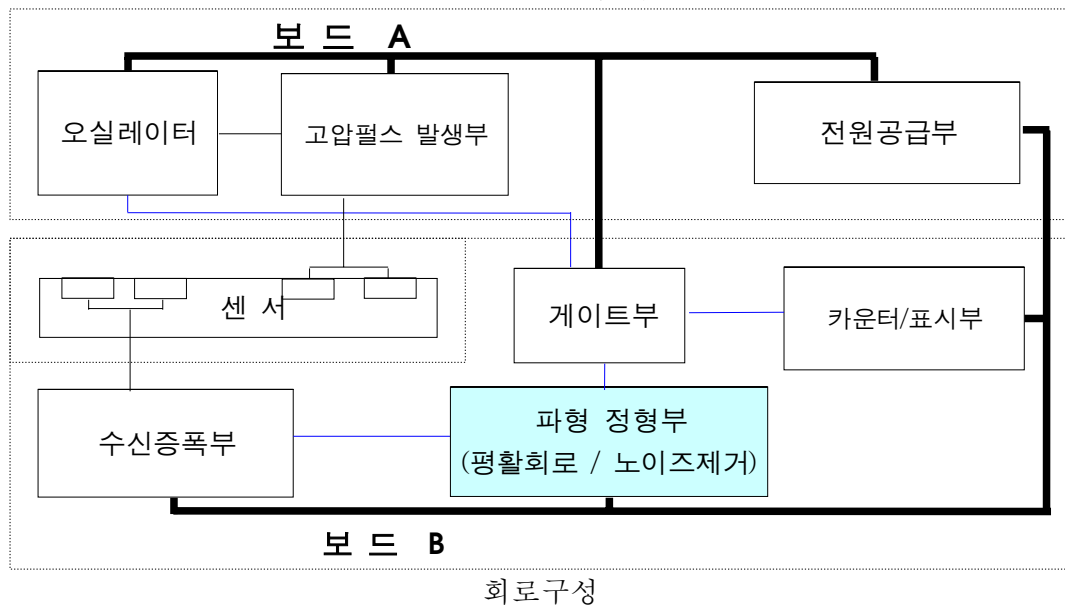
게이트 회로로 가공된 신호

사진 3.1.3.8 신호가공회로를 통과한 신호

(8) 전체 마이크로 프로세서



소형 기관 전체 회로



회로구성

사진 3.1.3.9 소형기관 전체회로 사진 및 회로구성

항목	내용	비고
무게	50 그램	
크기	105 x 58 mm (A 보드)	
	105 x 28 mm (B 보드)	
구성품	4 1/2 Digit LCD	1 개
	콘트롤 판넬	1 개
	보드	2 개
	트랜스	1 개
	FET	1 개
	TR 및 기타 부품	

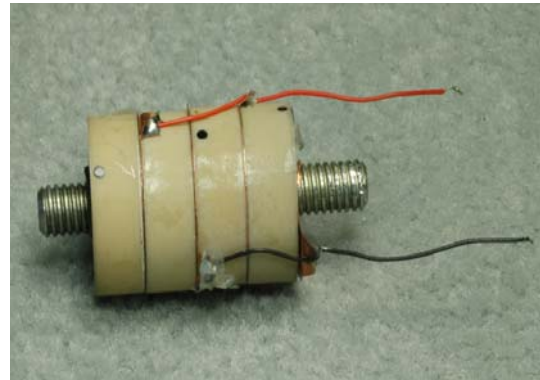
표 3.1.3.1 마이크로 프로세서 주요제원

다. 소형 초음파 탐촉자개발

초음파 탐촉자는 아래 사진과 같이 4개의 압전소자를 사용하며 란주방 타입으로 조립된다. 알루미늄 하우징 바닥에는 스크류 홀이 있어 4개의 압전 소자를 조립한 후 볼트를 사용하여 바닥에 고정시킨다. 초음파 탐촉자의 바닥면은 발생된 초음파가 모아질 수 있도록 콘 모양으로 제작되었으며 바닥에는 실리콘 카플런트를 끼울 수 있도록 홈을 만들었다. 탐촉자는 어댑터를 통하여 몸체에 고정되게 된다. 소형탐촉자의 내부 및 외부모양은 사진 3.1.3.10과 같다.



소형 초음파 탐촉자 부품



조립된 소형 초음파 탐촉자

사진 3.1.3.10 소형탐촉자 구성

추후 개선점:

초음파 탐촉자를 란주방 타입으로 만들 때 에너지를 잃지 않기 위해 압전 소자와 압전 소자 간의 접점으로 사용하기 위한 동판을 금형을 사용하여 정밀하게 제작하는 것이 필요할 것으로 보이며 수신된 에너지를 공진으로 빼앗기지 않기 위해 뒷면에 백킹 재료를 추가하는 것이 필요할 것으로 보였다.

라. 일체형 시스템개발

아래의 공식에 근거하여 아래와 같은 시제품을 만들었으며 시험편에서 정상적으로 작동이 되었다. 이를 그림으로 표시하면 그림 3.1.3.2와 같다.

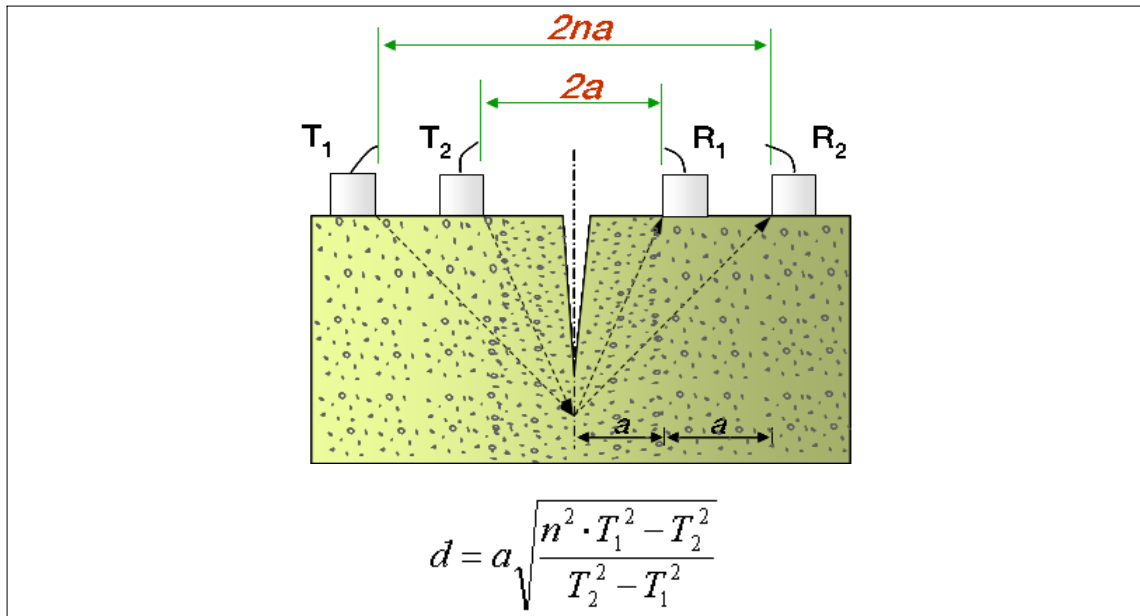


그림 3.1.3.2 연구개발에 근간이 된 공식



사진 3.1.3.11 1차년도 일체형 시스템(시제품)

추후 개선점:

탐촉자와 본체를 이어주는 어댑터의 역할이 매우 중요한 것으로 보이며 재료 선정과 디자인을 바꾸어야 할 것으로 보였다.

4. 2차년도 일체형 시스템 개발(2차년도: 2007년 9월 - 2008년 6월)

가. 개발개요

2차 시제품은 1차년도 연구결과인 1차 시제품의 성능을 업그레이드하는 부분과 새롭게 추가되는 부분으로 구분할 수 있다. 업그레이드 하는 부분으로 탐촉자의 경우, 소형화됨으로써 발생하는 강도감소효과를 최소화하기 위해서 최대한 탐촉자에 초음파 강도를 증진시켰고, 마이크로프로세서의 경우 신호간섭과 오차를 줄이기 위해서 회로를 분리시켰고, 균열깊이 계산식을 프로세서에 자체 내장시켰다. 이상의 개발개요를 정리하면 그림 3.1.4.1과 같다.



그림 3.1.4.1 2차년도 일체형 시스템 개발 연구 개요도

나. 콘크리트 소형시험체 제작(2차년도)

(1) 소형시험체 제원

콘크리트 인공균열 소형시험체는 1차년도 연구결과를 기초로 하여 제작되는 초음파 탐사기의 성능을 제작과 동시에 주관 및 협동연구기관에서 동시적 및 상호보완적으로 평가하고 이를 연구에 반영하기 위해서 추가적으로 제작되었다. 1차년도의 대형시험체와는 달리 압축강도 1종, 균열경사 1종, 균열깊이 3종(50mm, 100mm, 150mm)으로 제작하였다. 압축강도를 1종(30MPa)만으로 제작한 이유는, 본 연구의 주 목적이 콘크리트의 강도추정이 아닌 균열깊이를 측정하는 것이고, 또한 2채널의 초음파를 사용하는 경우 강도에 따른 오차를 균열깊이 산정식 상에서 자동으로 보정되기 때문이다. 균열경사의 경우 또한 경사를 고려하지 않은 이유는 1차년도 경사균열에 대해서 측정해본 결과 오차가 많이 발생하였는데 균열깊이 산정식 자체가 균열을 기준으로 탐촉자가 동일한 거리에 위치해야 하는 전제가 포함되었기 때문이다.

각 시험체의 제원을 정리하면 표 3.1.4.1과 같고, 제작과정은 사진 3.1.4.1과 같다.

	Fck=30MPa	비고
시험체 No. 1	무근콘크리트(균열깊이 50mm)	균열폭 : 1mm이하 치수 : 300×180×230mm 중량 : 50kgf
시험체 No. 2	무근콘크리트(균열깊이 100mm)	
시험체 No. 3	무근콘크리트(균열깊이 150mm)	

표 3.1.4.1 콘크리트 소형 시험체 제원



콘크리트 거푸집 제작



스페이서 설치 및 철근 배근



철근 배근 완료된 시험체



인공균열판 삽입



소형시험체 균열깊이 치수확인



제작 및 양생완료된 소형시험체

사진 3.1.4.1 콘크리 소형시험체 제작사진

(2) 콘크리트 균열폭 측정시험

제작완료된 시험체에 대해서 휴대용 균열폭 측정기(FCV-21)를 이용하여 균열폭을 측정하였다. 측정사진과 결과를 표시하면 사진 3.1.4.2와 같다.

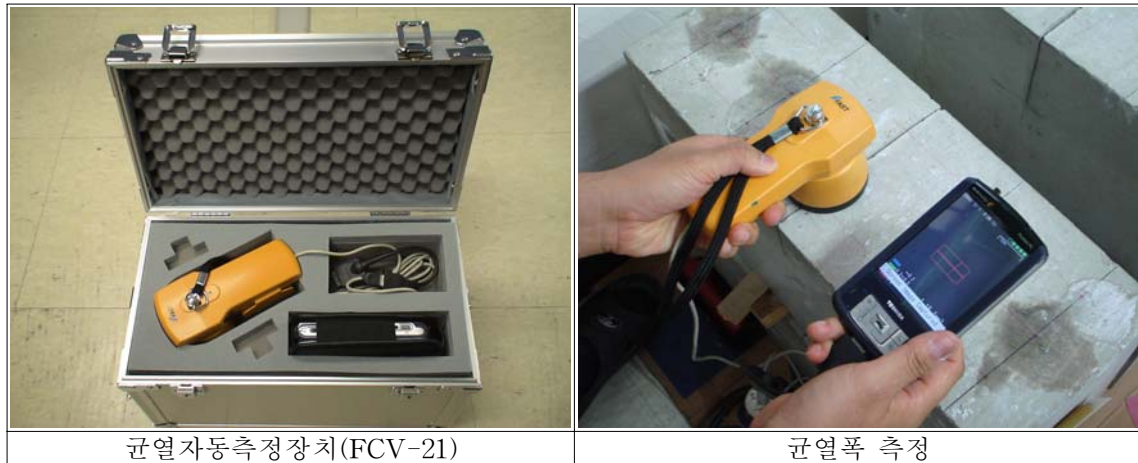


사진 3.1.4.2 소형시험체 균열폭 측정

1차년도 대형 시험체의 경우 얇은 철판을 이용하여 인공균열을 발생시켰는데, 철판의 두께가 얇은 관계로 중앙부근에서 철판이 다소 휘어질 것을 대비해서 2mm철판을 사용하였다. 2차년도에서 소형시험체이므로 무게도 가볍고 두께도 얇은 1mm 아크릴을 이용해서 인공균열을 유도하였다. 양생 후 균열폭을 측정한 결과 최저 0.95mm에서 최고 1.15mm의 결과를 나타냈다. 소형시험체별 결과를 정리하면 표 3.1.4.2와 같다.

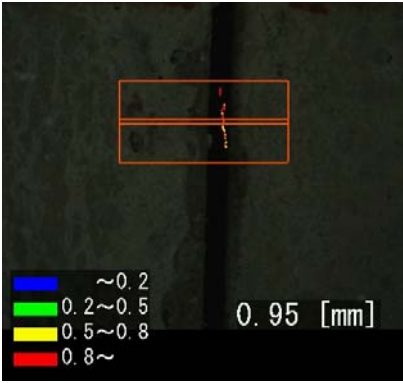
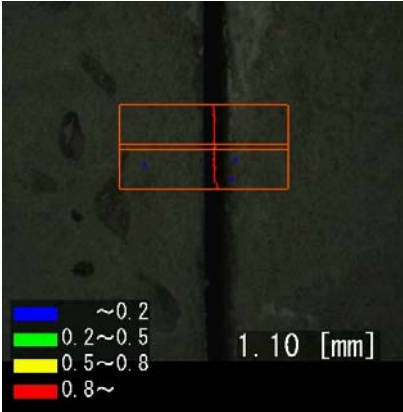
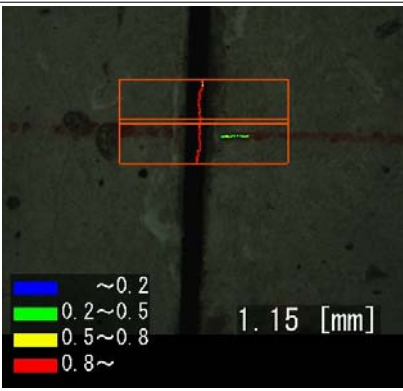
	Fck=30MPa	측정사진	측정결과
시험체 No. 1	무근콘크리트 (균열깊이 50mm)		균열폭 : 0.95mm
시험체 No. 2	무근콘크리트 (균열깊이 100mm)		균열폭 : 1.10mm
시험체 No. 3	무근콘크리트 (균열깊이 150mm)		균열폭 : 1.15mm

표 3.1.4.2 소형시험체 균열폭 측정시험

다. 마이크로 프로세서 개발

(1) 회로 개선

2차년도에는 1차년도에 개발된 마이크로 프로세서 회로를 기반으로 하여 고압 펄스부와 수신 증폭부, 파형 정형부를 쌍으로 제작하고 마이컴 보드에서 결합 깊이를 계산하여 표출하도록 개선하였다. 이를 표시하면 그림 3.1.4.2와 같다.

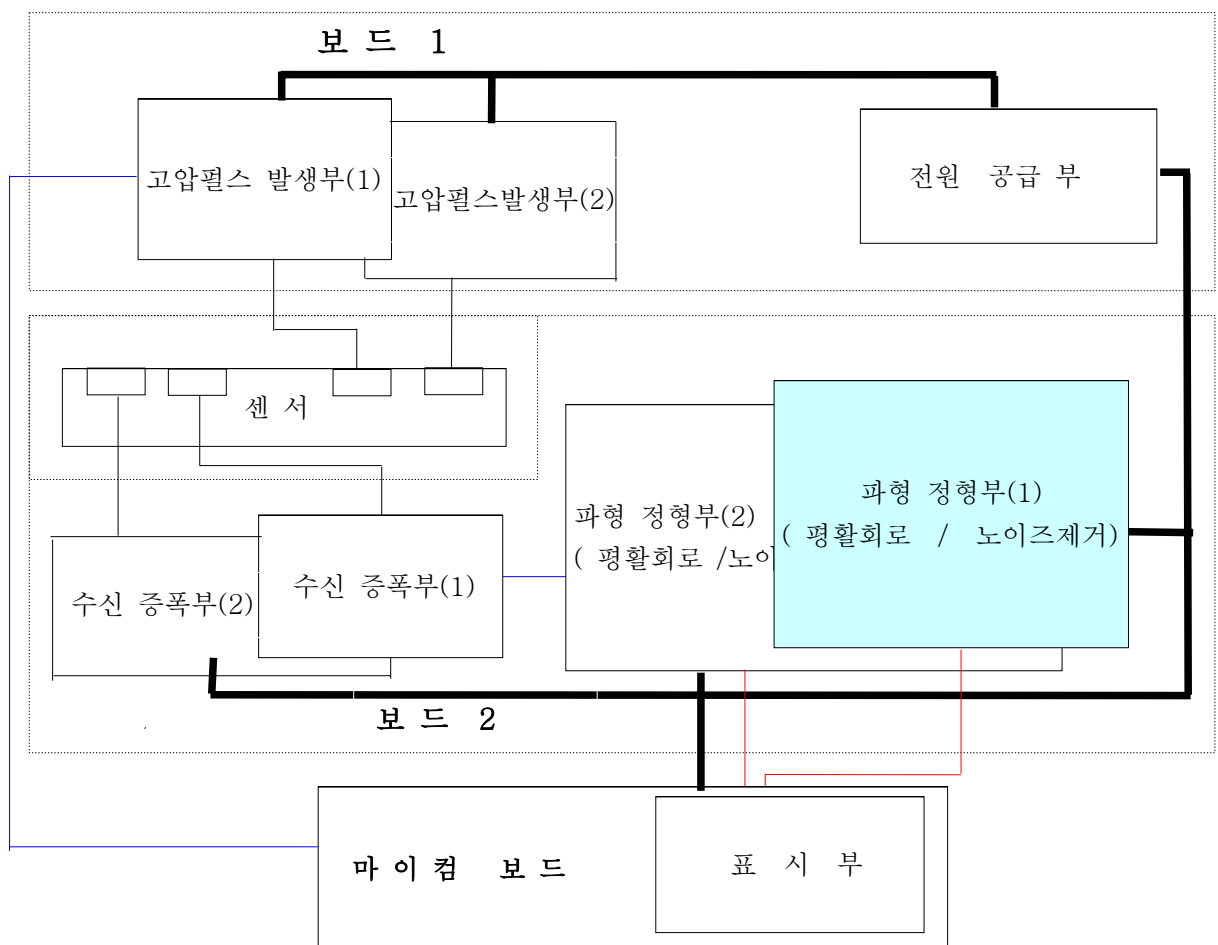
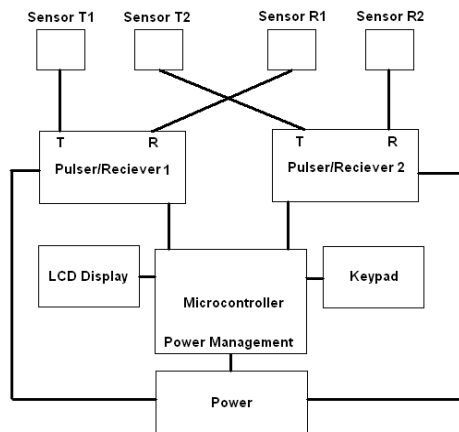


그림 3.1.4.2 2차년도 일체형 시스템 회로기능도

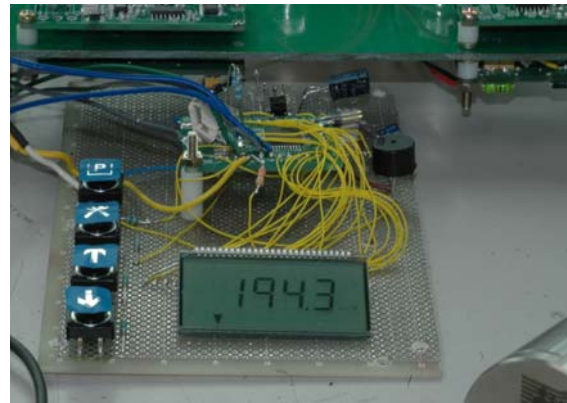
(2) 균열 깊이 자동 측정 기능 개발

마이컴을 사용하여 4개의 센서로부터 측정된 값으로부터 균열의 깊이를 측정하게 해주는 기능을 추가하였다. BS법에 의한 균열 깊이측정법을 사용하였으며. 측정 test 결과 계산식의 결과와 일치한 균열 깊이 값을 얻을 수 있었다.

그 외에도 세팅을 저장하는 기능, 측정활동이 없을 경우 배터리 절약을 위한 Standby기능, Auto Shut down 기능, 각 센서의 측정값과 균열 깊이 계산 결과를 선택하여 Display하는 기능 등을 추가하였다.



일체형 시스템 개요도



마이컴 회로(LCD 표시부)

사진 3.1.4.3 2차년도 일체형 시스템 주요부품

라. 소형 초음파 탐촉자 개발

(1) 타사 탐촉자 분석

휴대용 초음파 콘크리트 크랙깊이 측정기를 만들기 위해서는 우선 휴대용이라는 개념을 충족시키기 위해 크기가 작고 무게가 가벼운 측정기를 기본으로 하여야 하므로 전자 로가 줄어야 함은 물론 초음파 탐촉자, 하우징 등도 크기가 작아져야 한다. 특히 탐촉자의 경우 기존의 탐촉자보다 크기가 작으면서도 충분한 에너지를 발생하고 수신하여야 하므로 탐촉자의 구조 및 성능이 안정된 신호를 수신하고 정밀도를 높이는데 중요한 역할을 하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 타사에서 제조한 탐촉자의 구조와 파형을 분석하였다.

(가) 러시아 A사의 탐촉자 분석

이 탐촉자는 크기가 작으면서도 상당한 에너지를 발생할 수 있는 구조를 가지고 있다. 사진 1과 2는 러시아 A사의 횡파용 콘크리트 검사기에 장착되어 사용되는 탐촉자로서 두 개의 진동자를 세워 사용하므로 콘크리트의 표면 방향에 대하여 횡으로 파가 진행하게 된다. 표면 접촉부에는 알루미늄 세라믹을 사용하였고 진동자와 접촉부를 고정하고 지지하기 위한 부분이 있다.



사진 3.1.4.4 러시아 A사의 탐촉자

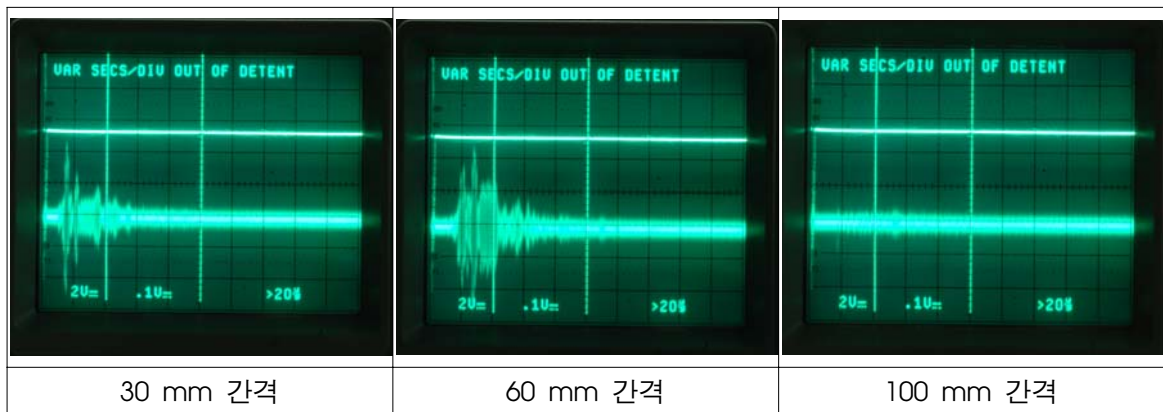


사진 3.1.4.5 러시아 A사 탐촉자 파형분석

본 실험에서는 크랙의 하단부를 지나 신호를 잡을 수는 없었으므로 콘크리트의 표면을 통과한 신호를 측정하였다. 100 mm 거리에서는 아주 작은 신호가 관찰되었다.

러시아 A사의 탐촉자는 표면 측정용으로는 이상적인 구조이나 크랙 깊이를 측정하는 데는 에너지가 작으므로 적합지 않은 것으로 보인다.

(나) 일본 O사의 탐촉자 분석

일본 O사의 탐촉자는 외부에 스테인리스 스틸로 제작된 묵직한 하우징이 덮여 있고 내부는 진동자를 포함하고 있는 부분으로 접촉면과 진동자가 장착되어 있다. 내부의 탐촉자 부분과 외부 스테인리스 스틸 하우징은 고무링으로 격리되어 있으며 진동자 부분을 조립한 후 외부 하우징을 씌우게 되어 있는 구조이다.



사진 3.1.4.6 일본 O사의 탐촉자

이 탐촉자는 탐촉자 부분이 하우징과 격리되어 있어 보다 자유로운 진동이 가능하며 탐촉자 부분의 뒷면에 무게추를 달지도 않았으며 백킹도 거의 없는 상태이다. 단지 무거운 외부 하우징에 기대어 내부 진동자 장착 부분이 보다 크게 움직이도록 하여 콘 에너지를 생성하는 것으로 보인다.



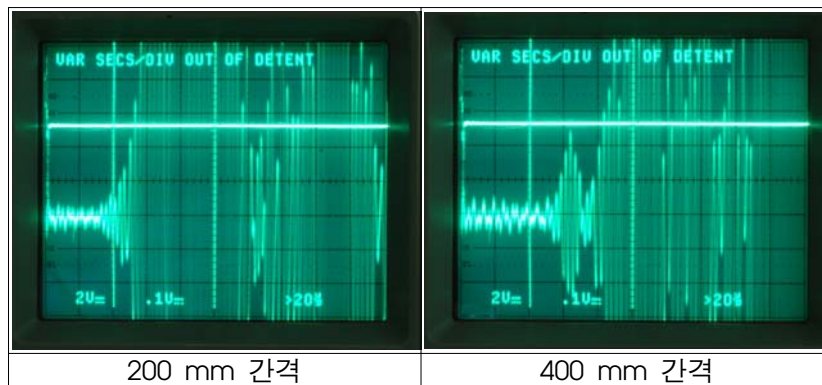


사진 3.1.4.7 일본 O사의 탐촉자 파형분석

일본 O사의 탐촉자는 전체적으로 많은 에너지가 발생되고 수신되었으며 큰 에너지가 전달되는 것으로는 탁월한 면이 있으나 크랙 깊이 측정용으로 채택하기에는 외부 하우징이 너무 큰 것으로 보인다.

(2) 자체 제작한 탐촉자 분석

(가) MKC-1013 탐촉자 분석

이 탐촉자는 세 개의 진동소자를 넣고 진동자 뒷부분은 접시 스프링을 사용하여 진동자를 표면에 압착시키고 진동자로부터 발생된 에너지가 상하 운동을 할 수 있도록 하였다. 외부 하우징으로는 5 mm 이상 두께의 스테인리스 스틸을 사용하였다.

이 탐촉자는 3개의 진동 소자를 사용하므로 제작비가 많이 들어가는 편이며 무게도 다른 것에 비하여 더 나가는 편이다. 반면에 튼튼한 구조로 제작이 가능하며 조립 공정이 비교적 쉬운 편이다. 이 탐촉자는 큰 펄스 에너지를 필요로 하는 곳에 적합한 것으로 보이며 정밀한 시간 측정에는 부적합한 것으로 보임.

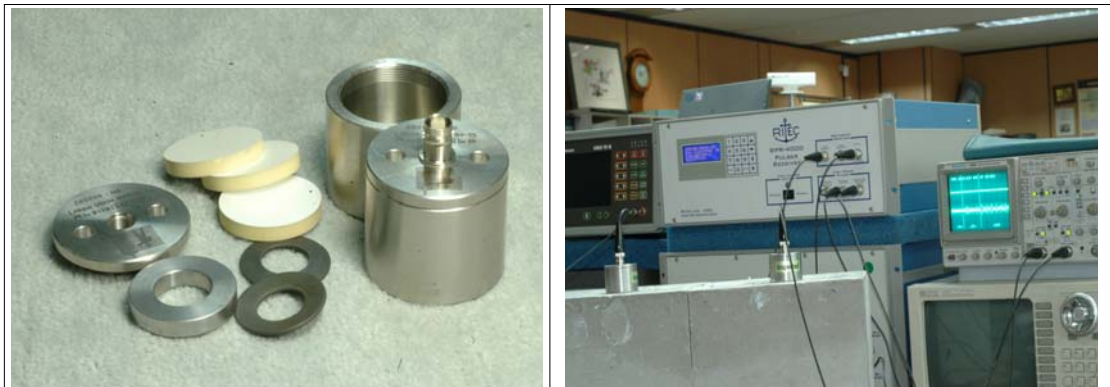


사진 3.1.4.8 MKC-1013 탐촉자

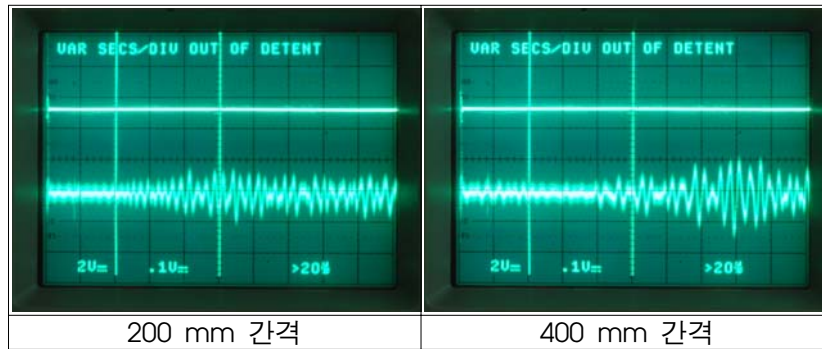


사진 3.1.4.9 MKC-1013 탐촉자 파형분석

MK-1013 탐촉자는 초음파의 에너지가 근거리부터 원거리까지 고르게 전달되며 비교적 먼거리까지 전달되는 장점을 가지고 있으나 진동자의 두께로 인하여 깨끗한 초동 신호를 얻기 어렵고 주로 정해진 단거리를 측정하는 크랙 깊이 측정용으로 사용하기 위해서는 크기를 줄여야 하는 문제가 있는 것으로 보인다.

(나) MKC-1014 탐촉자 분석

이 탐촉자는 한 개의 진동소자를 넣고 진동자의 뒷부분에 무게추를 넣어 앞으로 나가는 에너지를 증가시킨 것으로 비교적 간단한 구조이다. 진동자가 한 개이므로 비교적 정확한 시간 측정이 가능하며 뒤에 있는 무게추를 이용하여 적정한 에너지를 방사/수신할 수 있는 구조이다. 상당히 큰 에너지를 수신할 수 있다.



사진 3.1.4.10 MKC-1014 탐촉자

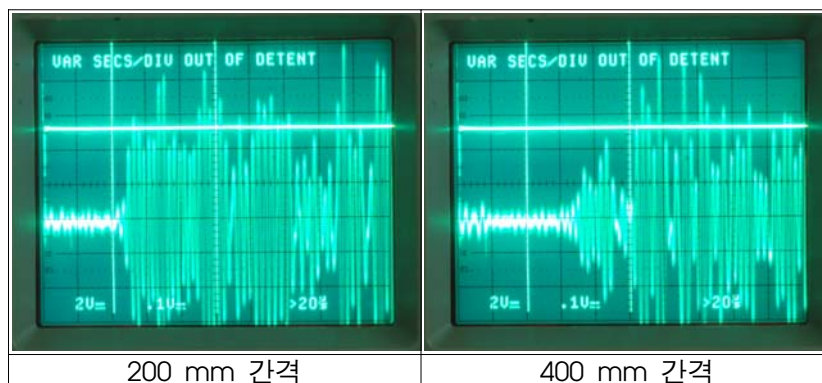


사진 3.1.4.11 MKC-1014 탐촉자

한 개의 진동자를 사용하므로 깨끗한 초동 신호를 얻을 수 있었으며 무게추로 비교적 큰 신호를 얻을 수 있으므로 크기를 적절히 줄인다면 크랙 깊이 측정용으로 적합할 것으로 보인다.

(다) MK-1015 탐촉자 분석

이 탐촉자는 한 개의 진동소자를 넣은 것으로 초기 도착 신호가 작은 것으로 나타났으며 신호도 작은 것으로 관찰되었다.

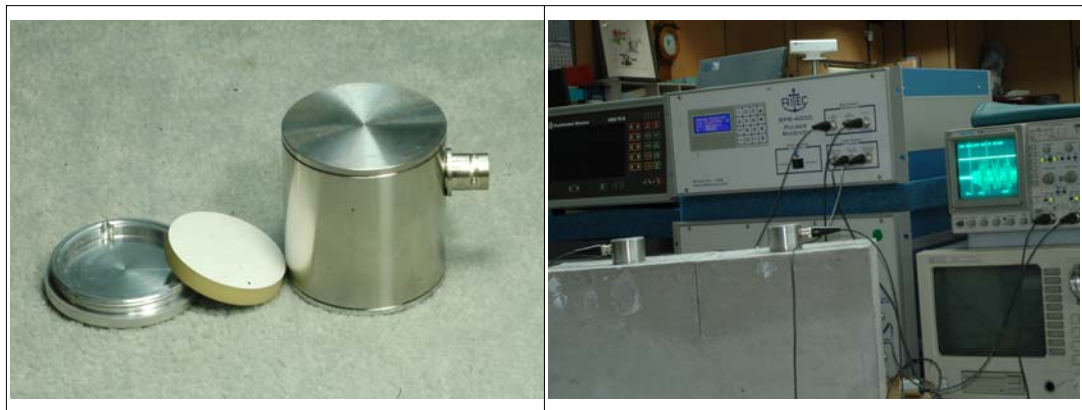


사진 3.1.4.12 MKC-1015 탐촉자

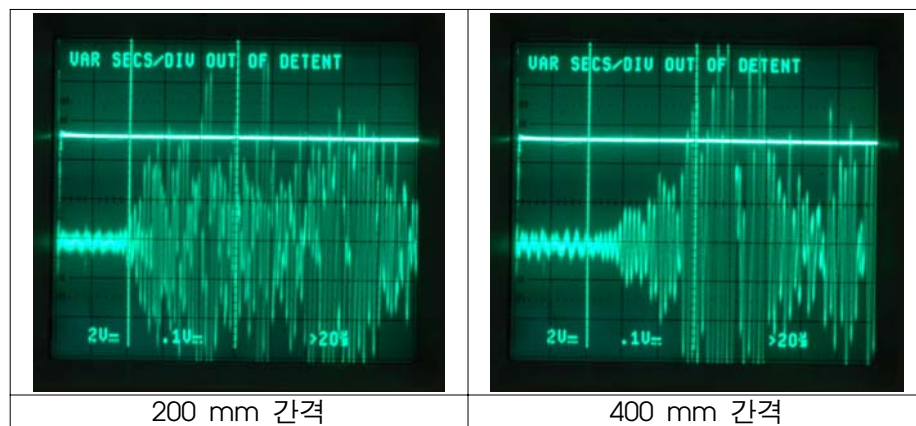


사진 3.1.4.13 MKC-1015 탐촉자

MK-1015 탐촉자의 경우 한 개의 진동자를 사용하므로 깨끗한 초동 신호를 얻을 수 있었으나 신호가 비교적 작은 편이었다.

(라) MK-1016 탐촉자 분석

이 탐촉자는 세 개의 진동소자를 넣고 진동자 뒷부분은 접시 스프링을 사용하여 진동자를 표면에 압착시키고 진동자로부터 발생된 에너지가 상하 운동을 할 수 있도록 하였다. 신호가 작아 크랙 측정에는 부적합한 것으로 보인다.



사진 3.1.4.14 MKC-1016 탐촉자

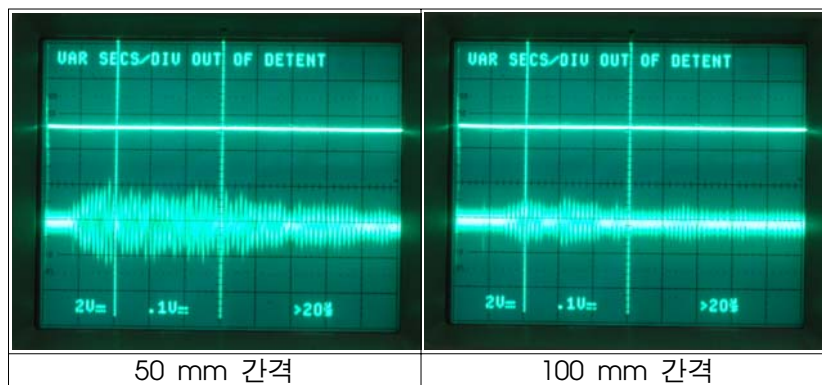


사진 3.1.4.14 MKC-1016 탐촉자 파형분석

MK-1016 탐촉자는 디자인이 잘못 되었을 가능성도 있으나 수신되는 신호가 작은 편이어서 문제가 있는 것으로 보인다. 세 개의 진동자를 사용하기 위해서는 하우징도 더 무겁고 큰 구조가 되어야 하는 것으로 보인다.

(마) MK-1017 탐촉자 분석

이 탐촉자는 한 개의 진동소자를 넣고 진동자의 뒷부분에 무게추를 넣어 앞으로 나가는 에너지를 증가시킨 것으로 비교적 간단한 구조이다. 진동자가 한 개이므로 비교적 정확한 시간 측정이 가능하며 뒤에 있는 무게추를 이용하여 적정한 에너지를 방사/수신할 수 있는 구조이다. 상당히 큰 에너지를 수신할 수 있었다.



사진 3.1.4.16 MKC-1017 탐촉자

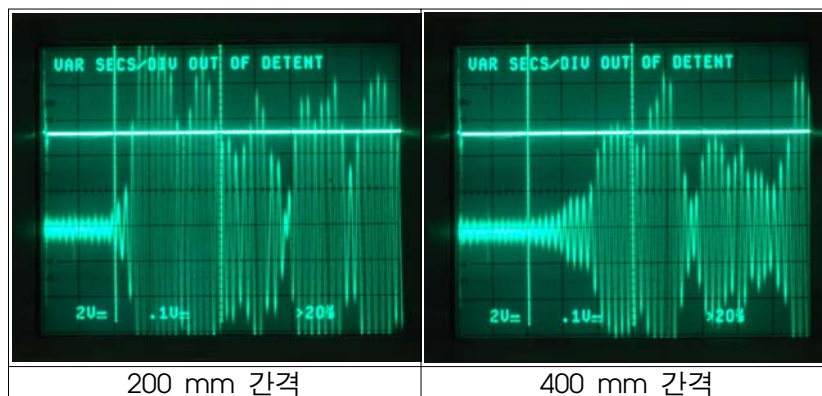


사진 3.1.4.17 MKC-1017 탐촉자 파형분석

MK-1017 탐촉자는 초동 신호도 아주 깨끗하며 전달되는 에너지도 만족할 만한 것으로 보인다. 표면 접촉 재질과 하우징을 개선시키면 좀 더 향상된 탐촉자를 만들 수 있을 것으로 보인다.

(바) MK-1018 탐촉자 분석

이 탐촉자는 두 개의 진동소자를 60도의 경사각으로 초음파를 입사하기 위한 것으로 크랙 하단부로의 초음파 경로를 관찰하였다.



사진 3.1.4.18 MKC-1018 탐촉자

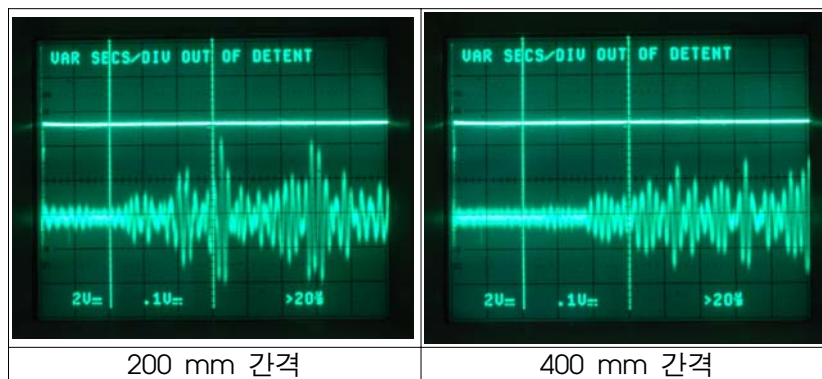


사진 3.1.4.19 MKC-1018 탐촉자 파형분석

MK-1018의 경우 비교적 큰 신호를 얻을 수 있었으나 종파의 초동이 크지 않으며 정확한 측정에는 적합하지 않은 것으로 보인다.

마. 이중채널 주파수 결정

(1) 개요

초음파에 의한 콘크리트 균열깊이 계측은 균열선단으로부터의 회절파(diffraction wave) 도착시간을 측정함으로써 이루어진다. 계측과정에서 균열깊이 산정에 오차를 발생시킬 수 있는 여러 가지 요인이 있지만, 회절파의 도착시간 즉 초동(first arrival)을 정확하게 포착(picking)한다면 이 또한 균열 깊이에 큰 오차를 줄 수 있다(그림 3.1.4.3)

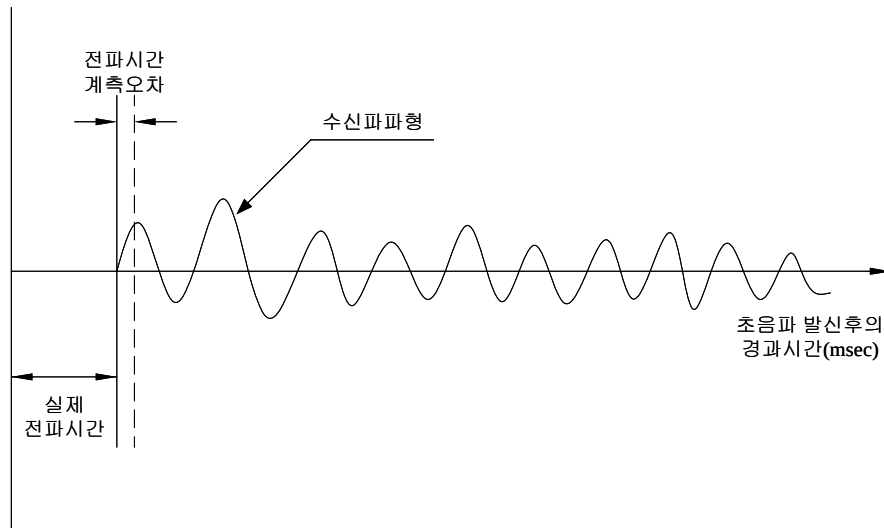


그림 3.1.4.3 수신파 초동 포착상의 오차

본 과제에서는 초동포착의 정확성을 향상을 위하여 이중채널(탐촉자) 사용, 탐촉자간 거리 고정, 각 탐촉자의 서로 다른 주파수 사용(이중주파수) 등의 방법을 제안하고 이에 대한 연구를 수행하였다.

본 절에서는 균열깊이별, 측정거리별, 주파수변화별로 수신된 초음파의 파형을 관찰하고 초동이 포착되는 과정을 살펴본 후, 균열깊이 산정상의 오차를 감소시킬 수 있는 최적변수를 구하여 제품구성 변수설정에 기초자료를 제공한다.

(2) 모형실험에 의한 초동포착 오차변화 관찰

1차년도 <수신과 파형분석> 연구에서 37, 54, 82 kHz 주파수가 타 주파수 대역에 비해 초동추출 성공 횟수가 높음을 보인 바 있다. 본 절에서는 연구팀의 일원인 MKC에서 개발한 54 kHz 탐촉자와 Tico사의 54kHz, Pundit사의 82, 37 kHz 탐촉자를 사용하여 시행한 일련의 실험결과를 분석한다. 실험에 사용된 콘크리트 모형의 균열깊이 d 는 5, 10, 15cm 로 변화하며, 균열부위로부터 탐촉자 중앙점까지의 거리 a 는 5, 10, 15, 20cm 로 변화한다<그림 3.1.4.4>

그림 3.1.4.4 실험조사 모식도

- 모델 : 균열깊이 $d = 5, 10, 15$ cm Block
- 측정거리 : $a = 5, 10, 15, 20$ cm
- 탐촉자 : MKC 54kHz, Tico 54kHz, Pundit 82kHz, Pundit 37kHz
- 측정횟수 : 각 5회, 총 240 회 (48종 x 5회)

표 3.14.3 - 표 3.1.4.5은 각 모형에서의 실험 결과를 표에 나타내었다. 각 모형에서 각 탐촉자 거리당 5회 측정하여 평균값을 취하고 계산치와의 오차를 %로 나타내었다.

그림 3.1.4.5은 균열깊이 5cm 콘크리트 모형에서의 실험치를 보여준다. 수평축은 탐촉자 거리를 나타내며 수직축은 오차(계산치와의 비)를 보여준다. 전체적으로 초동시간이 이론치에 비해 늦게 포착되며 이는 신호에 잡음이 포함될 때 초동이 늦게 포착되는 경향이 있는 것을 보인다. 또한 탐촉자 거리(또는 주행거리)가 멀어질수록 오차가 작아짐을 볼 수 있다. 주행거리가 짧을 때, 예를 들어 $ACDCB-ADB=6cm$ 가 파장보다 짧을 때는 2개의 파형이 분리되지 못하고 혼합되어 나타나게 되므로 오차가 커지는 것으로 보인다. 탐촉자 주파수보다는 초동의 강도가 초동포착에 더 영향이 큰 것으로 보이며, Tico사의 54 kHz 탐촉자 자료가 양호하다. 그림 3.1.4.6는 균열깊이 10cm 콘크리트 모형에서의 실험치를 보여준다. 균열깊이 5cm 콘크리트 모형실험에 비해 대체적으로 계산치에 가까워지며 탐촉자 거리 20cm 일 때 가장 오차가 작다. 82 kHz 자료가 가장 안정적으로 계산치에 접근하고 있다. 그림 3.1.4.7는 균열깊이 15cm 콘크리트 모형에서의 실험치를 보여준다. 입사각이 45° 이상 즉 $a=20cm$ 이상일 때는 오차가 심해진다. $a=20$ 일 때 37 kHz 자료를 제외하고는 전체적으로 불량하다.

그림 3.1.4.8은 $a=5cm$ 일 때 각 콘크리트 모형에서의 실험치를 보여준다. 균열깊이 5cm 일 때 즉 입사각이 45° 일 때 오차가 크며 주행거리가 커지면 안정적으로 오차가 줄어든다. 그림 3.1.4.9는 $a=10cm$ 일 때 각 콘크리트 모형에서의 실험치를 보여준다. 균열깊이 5cm 일 때 오차가 크며 주행거리가 커지면 안정적으로 오차가 줄어든다. 54, 82 kHz 자료의 오차가 작다. 그림 3.1.4.10은 $a=15cm$ 일 때 각 콘크리트 모형에서의 실험치를 보여준다. 주행거리 42.4cm에서 오차가 커진다. 그림 3.1.4.11는 $a=20cm$ 일 때 각 콘크리트 모형에서의 실험치를 보여준다. 37 kHz 자료는 $d=5cm$ 에서 가장 불량이며, $d=5cm$ 에서 가장 양호하다. $d=10cm$ 에서는 모두 양호하다.

그림 3.1.4.12은 주행거리별 오차를 보여준다. 대체적으로 주행거리 25-45cm 사이의 자료가 양호함을 보인다. 주행거리가 50cm로 멀어지면 37 kHz 자료가 양호하다. 그림 3.1.4.13은 입사각도별 오차를 보여준다. $20-40^\circ$ 자료가 양호하며 45° 부근의 자료가 불량하다.

그림 3.1.4.14는 균열깊이 5cm 콘크리트모형 실험의 수신파형을 보여준다. 그림에서 붉은색 화살표는 계산된 초동도착 위치를 나타낸다. 초동파의 강도는 대체적으로 주행거리가 멀어질수록 약해지며, 주파수가 낮을수록 강해진다. MKC 54 kHz 탐촉자에 비해 Tico 54 kHz 탐촉자의 신호가 훨씬 강함을 볼 수 있다. 이는 MKC 탐촉자의 지름이 2.5cm임에 반해 Tico 탐촉자의 지름이 5cm이기 때문이다. 즉 탐촉자 크기가 클수록 진동이 커짐을 의미한다. 또한, 주파수가 높을수록 파형이 예리해지나 초동의 세기는 약해짐을 볼 수 있다. 주파수가 높아지면 분해능(초동포착 정확도)은 높아지나 초동파의 세기가 약해지고 잡음 레벨과의 혼동이 생겨 오차가 커질 수 있음을 의미한다.

그림 3.1.4.15은 균열깊이 10cm 콘크리트모형 실험의 수신파형을 보여준다. 그림 3.1.4.14의 실험 자료와 대체적으로 유사한 결과를 보이나, 균열깊이 10cm일 때 초동이 훨씬 선명함을 볼 수 있다. 그림 3.1.4.16는 균열깊이 15cm 콘크리트모형 실험의 수신파형을 보여준다. 그림 3.1.4.14, 3.1.4.15의 실험 자료와 대체적으로 유사한 결과를 보이나, 주행거리가 클 때(50cm 이상)는 저주파 신호가 양호하다.

(3) 이중채널 주파수 결정

(2)절의 실험결과를 요약하면 아래와 같은 현상을 파악할 수 있다.

- 1) 포착된 초동시간이 대체적으로 계산치보다 늦게 나타난다. 이는 잡음레벨이 높은 관계로 잡음으로부터 초동파 신호를 포착하는 동작이 늦어지기 때문인 것으로 보인다.
- 2) 탐촉자의 면적이 넓을수록(3.5cm 이상) 신호레벨이 커진다.
- 3) 분해능의 우수성으로 인해 고주파 탐촉자(82kHz)가 정확한 초동의 포착에 유리하나, 신호/잡음비 정도에 영향을 받는다. 주행거리가 50cm 이상일 때는 저주파 탐촉자(37 kHz)가 양호하다.
- 4) 콘크리트 균열깊이 탐지에는 주행거리 25-40cm, 입사각 20° - 40° , d=10cm 범위에서 양호한 탐사가 이루어진다.

상기 현상을 종합하면 제품구성에는 아래의 변수가 기초가 되어야할 것이다.

- 1) 깊이산정의 정확도는 초동포착의 정확도에 크게 영향을 받으며, 보다 정확한 초동포착을 위해서는 잡음레벨을 낮추고 신호레벨을 올리는 것이 선행되어야한다.
- 2) 백색잡음을 줄이기 위해서는 4회 정도의 stacking이 필요한 것으로 보인다.
- 3) 탐촉자의 면적이 넓을수록 신호레벨이 커진다. 따라서 제품의 탐촉자는 지름이 최소 3.5cm 이상이어야 한다.
- 4) 외부탐촉자($a=20\text{cm}$)의 주파수는 40 kHz 내외, 내부탐촉자의 주파수는 60-80 kHz 내외가 적절할 것으로 보인다.

표 3.1.4.3 Test Block 1에서의 실험결과표

균열깊이= 5cm

평균속도= 18cm/(50)us (탐촉자속도:mkc54 51, tico54 48, pundit82 49, pundit37 49)
= 0.36 cm/us

a	5cm	10cm	15cm	20cm	파장	시간/cycle
주행거리 (cm)	7 x 2	11.2 x 2	15.8 x 2	20.6 x 2		
입사각 (degree)	45	63	72	76		
예정초동시간 (us)	39	62	88	114		
MKC54 (5회평균)(%)	46	69	93	116	6.7cm	18.5us
	118	111	106	102		
TICO54 (5회평균)(%)	44	67	90	113	6.7cm	18.5us
	113	110	102	99		
Pundit82 (5회평균)(%)	46	70	93	117	4.4cm	12.2us
	118	113	106	103		
Pundit37 (5회평균)(%)	45	69	94	118	9.7cm	27us
	115	11	107	104		

- 모델 : 균열깊이 5cm Block
- 측정거리 : 5, 10, 15, 20 cm
- 탐촉자 : MKC사의 54kHz, Tico사의 54kHz, Pundit사의 82kHz, Pundit사의 37kHz
- 측정횟수 : 각 5회

표 3.1.4.4 Test Block 2에서의 실험결과

균열깊이= 10cm

속도 = 18cm/(50)us (탐촉자속도: mkc54 51, tico54 48, pundit82 49, pundit37 49)
= 0.36 cm/us

a	5cm	10cm	15cm	20cm	파장	시간/cycle
주행거리 (cm)	7 x 2	11.2 x 2	15.8 x 2	20.6 x 2		
입사각 (degree)	27	45	56	63		
예정초동시간 (us)	62	78	100	124		
MKC54 (5회평균)(%)	63	80	101	121	6.7cm	18.6us
	102	103	101	98		
TICO54 (5회평균)(%)	64	79	102	122	6.7cm	18.5us
	103	101	102	99		
Pundit82 (5회평균)(%)	64	80	101	122	4.4cm	12.2us
	103	103	101	99		
Pundit37 (5회평균)(%)	63	77	101	121	9.7cm	27us
	102	99	101	98		

- 모델 : 균열깊이 10cm Block
- 측정거리 : 5, 10, 15, 20 cm
- 탐촉자 : MKC사의 54kHz, Tico사의 54kHz, Pundit사의 82kHz, Pundit사의 37kHz
- 측정횟수 : 각 5회

표 3.1.4.5 Test Block 3에서의 실험결과

균열깊이= 15cm

속도 = 18cm/(50)us (탐촉자속도: mkc54 51, tico54 48, pundit82 49, pundit37 49)
= 0.36 cm/us

a	5cm	10cm	15cm	20cm	파장	시간/cycle
주행거리 (cm)	7 x 2	11.2 x 2	15.8 x 2	20.6 x 2		
입사각 (degree)	18	34	45	53		
예정초동시간 (us)	88	100	118	139		
MKC54 (5회평균)(%)	85	98	140	152	6.7cm	18.6us
	97	98	119	109		
TICO54 (5회평균)(%)	86	97	142	155	6.7cm	18.5us
	98	97	120	111		
Pundit82 (5회평균)(%)	87	99	140	156	4.4cm	12.2us
	99	99	119	112		
Pundit37 (5회평균)(%)	88	101	140	138	9.7cm	27us
	100	101	119	99		

- 모델 : 균열깊이 15cm Block
- 측정거리 : 5, 10, 15, 20 cm
- 탐촉자 : MKC사의 54kHz, Tico사의 54kHz, Pundit사의 82kHz, Pundit사의 37kHz
- 측정횟수 : 각 5회

그림 3.1.4.5 Test Block 1에서의 실험결과

- 전체적으로 초동시간이 늦게 포착됨
- 거리가 멀어질수록 계산치에 가까워짐($a = 20\text{cm}$ 에서의 주행거리 = 41.2 cm)
- 이는 전파경로상의 문제로 $ACDCB - ADB = 6\text{cm}$ 가 파장보다 짧아 2개 파형이 혼합
- Noise 로 인해 초동 포착이 전체적으로 늦다.
- 주파수 보다는 Noise 레벨에 대한 초동의 세기 영향이 큼.
- (Tico 54 kHz 자료가 양호)

그림 3.1.4.6 Test Block 2에서의 실험결과

- $d = 10\text{cm}$ 에 대해서는 비교적 계산치에 가까워짐
- $a = 20\text{cm}$ (주행거리 = 44.8cm , 입사각 = 63°)에서 계산치에 가장 근접
- 82 kHz 자료가 가장 안정적으로 계산치에 가까워지고 있음.

그림 3.1.4.7 Test Block 3에서의 실험결과

- $\theta = 45^\circ$ 에서 전체적으로 불량 (주행거리 = 42.4 cm)
- $a = 20\text{cm}$ 에서 37 kHz 자료를 제외하고는 전체적으로 불량 (주행거리 = 50 cm)

그림 3.1.4.8 균열거리 5cm일 때의 실험결과

- $d = 5\text{cm}$ 자료 불량 (전파경로상의 문제)
- 주행거리 20cm 이상 ok
- (54, 82 kHz 안정적으로 접근)

그림 3.1.4.9 균열거리 10cm일 때의 실험결과

- $d = 5\text{cm}$ 자료 불량
- (54, 82 kHz 안정적으로 접근)

그림 3.1.4.10 균열거리 15cm일 때의 실험결과

- $\theta = 45^\circ$ 자료 불량 (주행거리 = 42.4 cm)
- d= 5cm 불량
- (54 kHz 양호)

그림 3.1.4.11 균열거리 20cm일 때의 실험결과

- 37 kHz 자료는 $d = 5\text{cm}$ 에서 가장 불량이며, $d = 15\text{cm}$ 에서 가장 양호
- $d = 10\text{cm}$ 에서 모두 양호

그림 3.1.4.12 주행거리별 오차비교

- 주행거리 25-45 cm 사이가 양호
- 22.4cm 에서는 $d = 10$ cm인 경우가 양호
- 거리가 멀어지면 37 kHz가 양호 (주행거리 50cm)

그림 3.1.4.13 입사각별 오차비교

- 각도 $20 - 40^{\circ}$ 사이가 양호

그림 3.1.4.14 균열깊이 5cm에 대한 파형변화

- 거리가 멀어질수록 초동파의 세기는 약해진다.
- 주파수가 낮을수록 초동파의 세기는 강해진다.
- MKC 54 kHz 탐촉자에 비해 Tico 54 kHz 탐촉자 신호가 훨씬 강하다.
- 높은 주파수는 분해능은 높으나, 초동파의 세기는 약해진다.
- 초동파의 세기가 약해지면 Noise level 과 혼동이 생긴다.

그림 3.1.4.15 균열깊이 10cm에 대한 파형변화

- 거리가 멀어질수록 초동파의 세기는 약해진다.
- 주파수가 낮을수록 초동파의 세기는 강해진다.
- MKC 54 kHz 탐촉자에 비해 Tico 54 kHz 탐촉자 신호가 훨씬 강하다.
- 높은 주파수는 분해능은 높으나, 초동파의 세기는 약해진다.
- 초동파의 세기가 약해지면 Noise level 과 혼동이 생긴다.
- 균열깊이 10cm 자료가 양호

그림 3.1.4.16 균열깊이 15cm에 대한 파형변화

- 거리가 멀어질수록 초동파의 세기는 약해진다.
- 주파수가 낮을수록 초동파의 세기는 강해진다.
- MKC 54 kHz 탐촉자에 비해 Tico 54 kHz 탐촉자 신호가 훨씬 강하다.
- 높은 주파수는 분해능은 높으나, 초동파의 세기는 약해진다.
- 초동파의 세기가 약해지면 Noise level 과 혼동이 생긴다.
- 주행거리가 클 때는 (50cm 이상) 저주파가 양호

바. 깊이계산식 결정

(1) 개요

초음파에 의한 콘크리트 균열깊이 계측은 균열선단으로부터의 회절파(diffraction wave) 도착시간을 측정한 후, MBS(Modified British Standard) 계산식이나, $T_c - T_o$ 계산식을 사용하여 깊이를 계산함으로써 이루어진다.

본 연구에서 개발될 초음파장비는 탐촉자거리가 고정된 이중채널($a=10, 20\text{cm}$)을 사용하기로 1차년도 연구에서 결정되었으므로, MBS 계산식에 의해 깊이가 계산될 수 있다. 본 절에서는 MBS 계산식과 $T_c - T_o$ 계산식에 의한 초동오차의 안정성을 살펴보고 양자의 장점을 취할 수 있는 방안을 고안한다.

(2) MBS(modified British Standard)법 분석

그림 3.1.4.17은 MBS 계산식 모식도를 보여준다.

그림 3.1.4.18은 MBS 계산식 상의 T_1 , 즉 내부탐촉자 초동시간 포착에 오차가 있을 때 균열깊이 산정에 나타나는 오차를 보여준다. 그림의 첫째 열은 $\pm 2\mu\text{s}$, 둘째 열은 $\pm 4\mu\text{s}$, 셋째 열은 $\pm 6\mu\text{s}$ 오차가 있을 때 깊이오차를 나타낸다. 그림의 적색점은 균열깊이 15cm , 녹색점은 균열깊이 10cm , 청색점은 균열깊이 5cm 일 때의 오차를 보여준다. T_1 오차가 $2\mu\text{s}$ 일 때 깊이오차는 $1\text{--}2\text{cm}$, $4\mu\text{s}$ 일 때 $2\text{--}5\text{cm}$, $6\mu\text{s}$ 일 때 $3\text{--}5\text{cm}$ 이상 오차가 발생한다.

그림 3.1.4.20은 MBS 계산식 상의 T_2 , 즉 외부탐촉자 초동시간 포착에 오차가 있을 때 균열깊이 산정에 나타나는 오차를 보여준다. T_2 오차가 $\pm 2\mu\text{s}$ 일 때 깊이오차는 $1\text{--}2\text{cm}$, $\pm 4\mu\text{s}$ 일 때 $1\text{--}5\text{cm}$, $\pm 6\mu\text{s}$ 일 때 $2\text{--}5\text{cm}$ 이상 오차가 발생한다. 대체적으로 T_2 오차에 의한 깊이오차가 T_1 오차에 의한 것보다는 작은 것으로 나타난다.

그림 3.1.4.17 MBS(modified BS) 계산식 모식도

$$\left(\frac{T_1}{2} V\right)^2 = a^2 + d^2 \quad (1)$$

$$\left(\frac{T_2}{2} V\right)^2 = (na)^2 + d^2 \quad (2)$$

$$(1) \div (2) , \quad \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a^2 + d^2}{(na)^2 + d^2} \quad (3)$$

이를 d 에 관해 정리하면,

$$d = a \sqrt{\frac{n^2 T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}} \quad (4)$$

또는,

$$d = a \sqrt{\frac{n^2 - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2}{\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 - 1}} \quad (5)$$

(R:15cm, G:10cm, B:5cm 균열깊이, 예상초동시간=100, 78, 62 us,
v=0.36cm/us 가정)

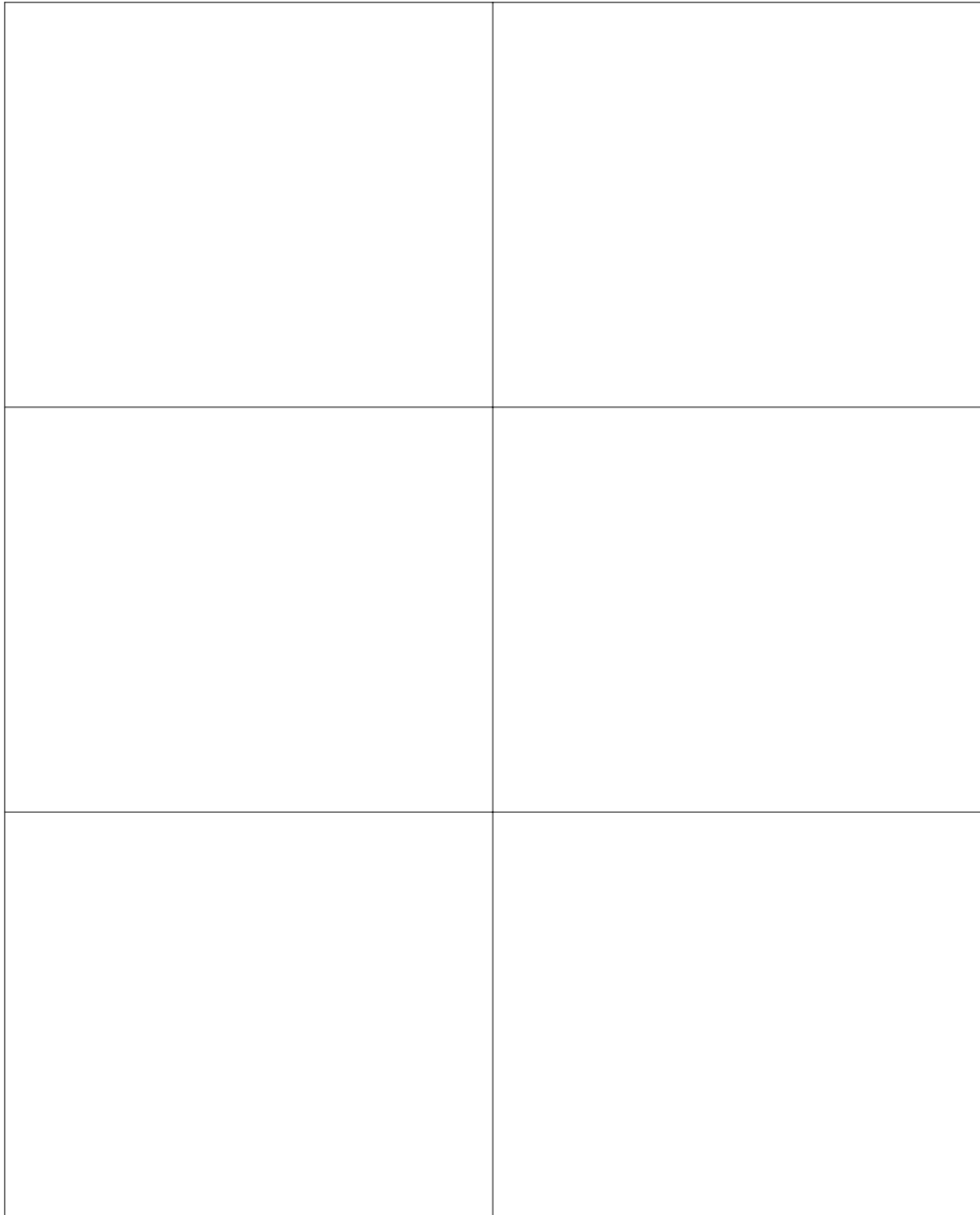


그림 3.1.4.18 T1 시간에 오차가 있을 경우

- 2us 일 때 1-2cm 오차, 4us 일 때 2-5cm 오차, 6us 일 때 3-5cm 이상 오차

(R:15cm, G:10cm, B:5cm 균열깊이, 예상초동시간=139, 124, 114 us,
v=0.36cm/us 가정)

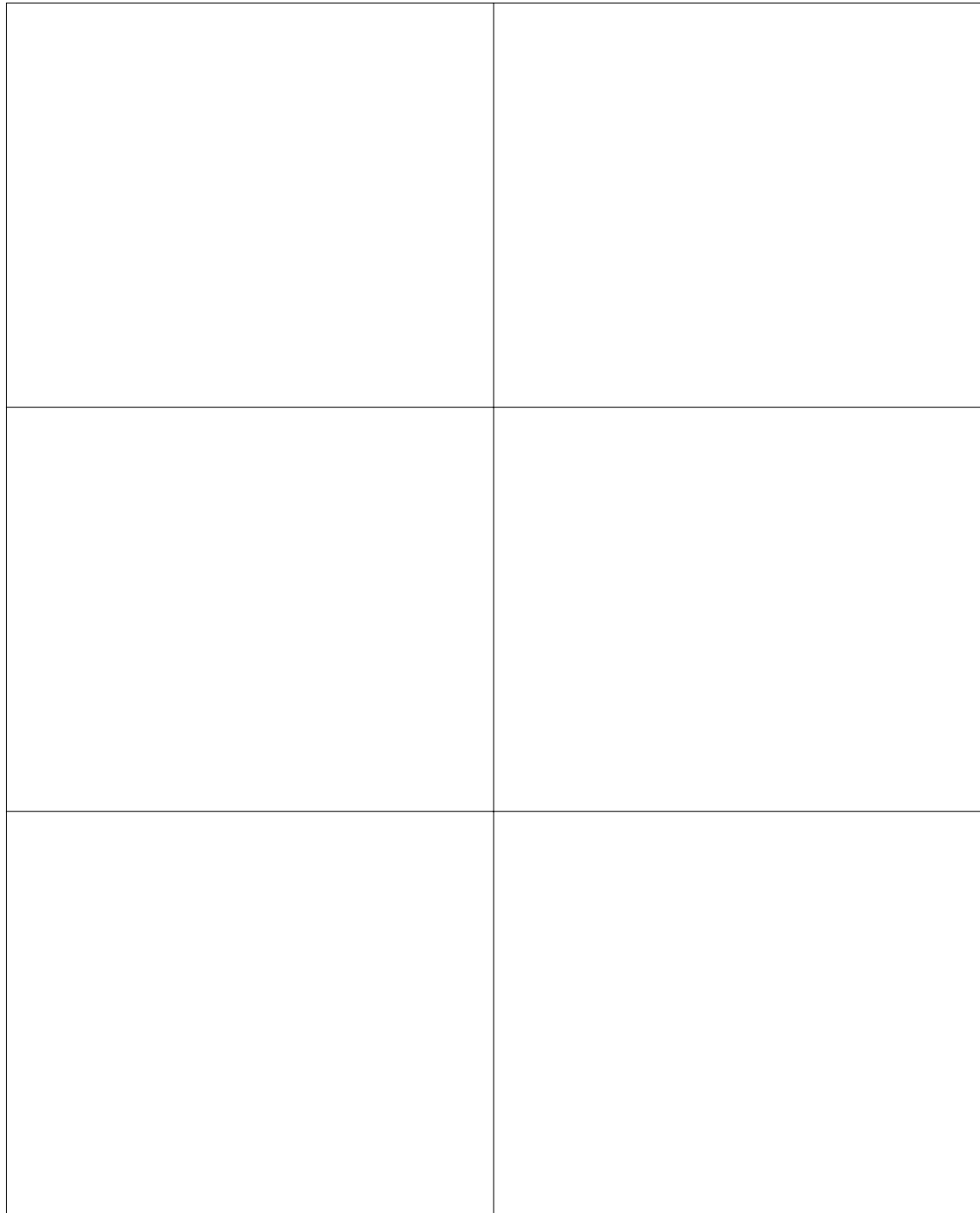


그림 3.1.4.19 T2 시간에 오차가 있을 경우

- 2us 일 때 1-2cm 오차, 4us 일 때 1-5cm 오차, 6us 일 때 2-5cm 이상 오차
- T₁ 보다는 오차가 작음

(3) Tc-To법 분석

그림 3.1.4.20는 Tc-To 계산식 모식도를 보여준다.

그림 3.1.4.21는 Tc-To 계산식 상의 To, 즉 균열이 없는 곳에서 측정한 초동시간 포착에 오차가 있을 때 균열깊이 산정에 나타나는 오차를 보여준다. 그림의 첫째 열은 $\pm 2\mu s$, 둘째 열은 $\pm 4\mu s$, 셋째 열은 $\pm 6\mu s$ 오차가 있을 때 깊이오차를 나타낸다. 그림의 적색점은 균열깊이 15cm, 녹색점은 균열깊이 10cm, 청색점은 균열깊이 5cm일 때의 오차를 보여준다. To 오차가 $\pm 2\mu s$ 일 때 깊이오차는 1-2cm, $\pm 4\mu s$ 일 때 2-3cm, $\pm 6\mu s$ 일 때 2-5cm 오차가 발생한다. MBS 계산식에서 같은 양의 초동시간 오차에 의해 나타나는 것보다는 깊이오차가 작으며, 오차의 선형성이 현저히 증가함을 볼 수 있다.

그림 3.1.4.23은 Tc-To 계산식 상의 Tc, 즉 균열이 있는 곳에서 측정한 초동시간 포착에 오차가 있을 때 균열깊이 산정의 오차를 보여준다. Tc 오차가 $\pm 2\mu s$ 일 때 깊이오차는 1-2cm, $\pm 4\mu s$ 일 때 1-3cm, $\pm 6\mu s$ 일 때 2-5cm 오차가 발생한다. Tc 오차에 의한 깊이오차가 To 오차에 의한 것보다 작은 것으로 나타난다. MBS 계산식에 비해 시간오차에 대한 깊이오차의 선형성이 현저히 증가한다. 또한 균열깊이 15cm일 때 오차가 제일 작음을 볼 수 있다.

그림 3.1.4.20 Tc-To 계산식 모식도

$$d^2 = x^2 - a^2 \quad (1)$$

$$x = \frac{Tc}{2} \cdot V \quad (2)$$

$$V = a / (To/2) \quad (3)$$

(3)식을 (2)식에 대입하면,
$$x = a \cdot \frac{Tc}{T_0} \quad (4)$$

(4)식을 (1)식에 대입하면,

$$d = a \cdot \sqrt{\left(\frac{Tc}{T_0}\right)^2 - 1} \quad (5)$$

(R:15cm, G:10cm, B:5cm 균열깊이, 예상초동시간=42, 28, 14 us,
v=0.36cm/us 가정)

그림 3.1.4.21 To 시간에 오차가 있을 경우

- 2us 일 때 1cm 오차, 4us 일 때 2-3cm 오차, 6us 일 때 2-5cm 오차
- MBS보다 오차가 작아짐. 오차의 선형성 증가

(R:15cm, G:10cm, B:5cm 균열깊이, 예상초동시간=100, 78, 62 us,
v=0.36cm/us 가정)

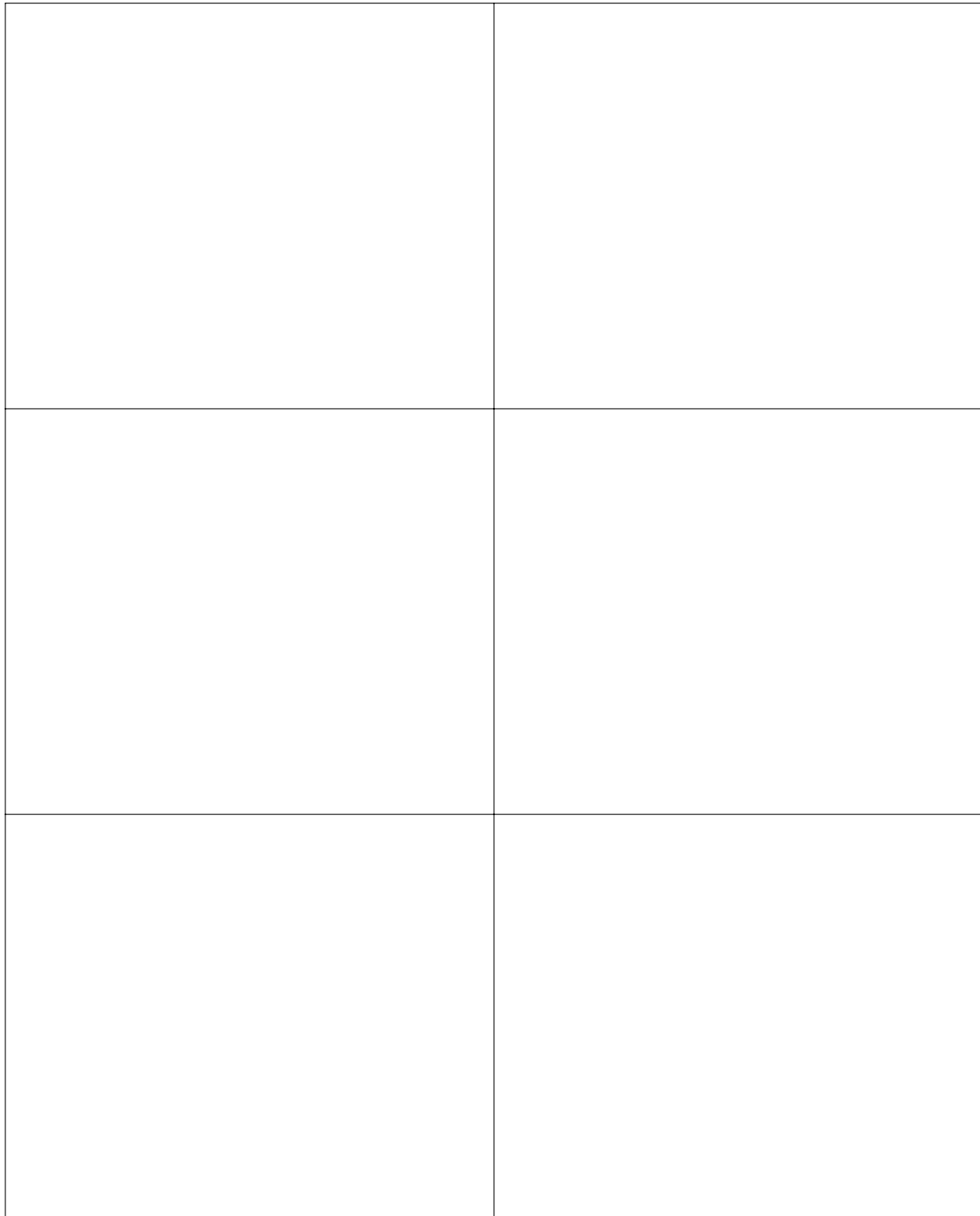


그림 3.1.4.22 Tc 시간에 오차가 있을 경우

- 2us 일 때 1cm 오차, 4us 일 때 1-3cm 오차, 6us 일 때 2-5cm 오차
- 오차의 선형성 현저히 증가
- 균열깊이가 15cm 일 때 오차가 제일 작음

(4) T_o , T_c , T_1 , T_2 초동시간 오차가 균열깊이 산정에 미치는 영향

그림 3.1.4.23은 T_o , T_c , T_1 , T_2 초동시간의 $\pm 2\mu s$ 오차가 균열깊이에 미치는 오차를 보여준다. 그림의 첫째 열은 $2\mu s$, 둘째 열은 $-2\mu s$ 오차가 있을 때 깊이오차를 나타낸다. 그림의 적색점은 균열깊이 15cm, 녹색점은 균열깊이 10cm, 청색점은 균열깊이 5cm일 때의 오차를 보여준다. T_o , T_c 에 의한 오차가 T_1 , T_2 에 의한 오차보다 작으며, T_c 오차에 의한 균열깊이 오차의 수평거리에 대한 선형성이 큰 것을 볼 수 있다. 대체적으로 2cm 이하의 깊이 오차를 보인다.

그림 3.1.4.24은 T_o , T_c , T_1 , T_2 초동시간의 $\pm 4\mu s$ 오차가 균열깊이에 미치는 오차를 보여준다. T_o , T_c 에 의한 오차가 T_1 , T_2 에 의한 오차보다 작으며 T_o , T_c 오차에 의한 균열깊이 오차의 수평거리에 대한 선형성이 크다. T_o , T_c 에 의한 깊이 오차는 대체적으로 3cm 이하이나 T_1 , T_2 에 의한 깊이 오차는 2-5cm 또는 그 이상이다.

그림 3.1.4.25는 T_o , T_c , T_1 , T_2 초동시간의 $\pm 6\mu s$ 오차가 균열깊이에 미치는 오차를 보여준다. 전체적으로 선형성이 줄어들며 오차가 허용범위를 넘어선다.

(2 us error on T_o , T_c , T_1 , T_2) (R:15cm, G:10cm, B:5cm 균열깊이)

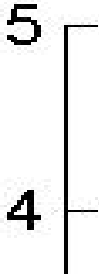
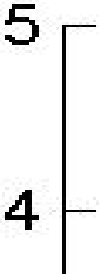
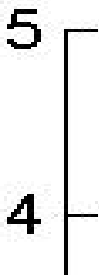
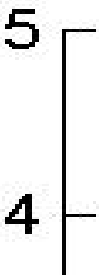
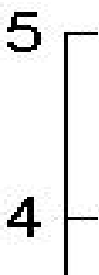
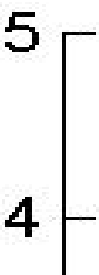
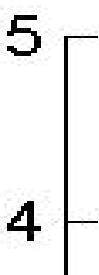
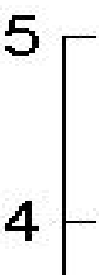
	+ 2 us	- 2 us
T_o		
T_c		
T_1		
T_2		

그림 3.1.4.23 2us 오차가 있을 경우

- T_o , T_c 에 의한 오차가 T_1 , T_2 에 의한 오차보다 작으며, T_c 가 선형성이 가장 큼
- 균열깊이가 클 때 오차가 작아짐

(4 us error on T_o , T_c , T_1 , T_2) (R:15cm, G:10cm, B:5cm 균열깊이)

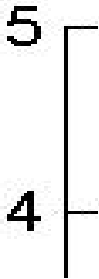
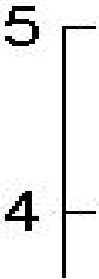
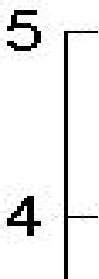
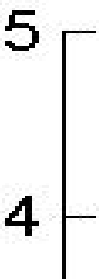
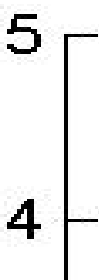
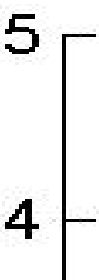
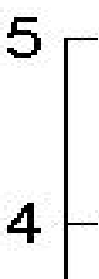
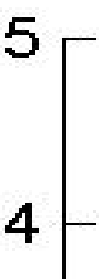
	+ 4 us	- 4 us
T_o		
T_c		
T_1		
T_2		

그림 3.1.4.24 4us 오차가 있을 경우

- T_o , T_c 에 의한 오차가 T_1 , T_2 에 의한 오차보다 작으며, T_c 가 선형성이 가장 큼
- 균열깊이가 클 때 오차가 작아짐

(6 us error on T_o , T_c , T_1 , T_2) (R:15cm, G:10cm, B:5cm 균열깊이)

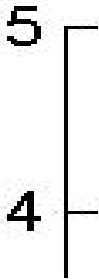
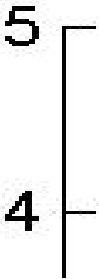
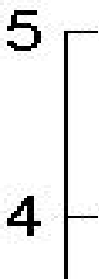
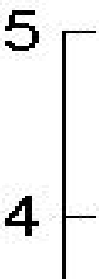
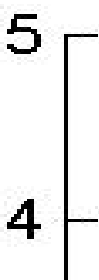
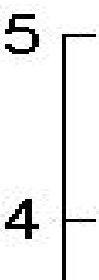
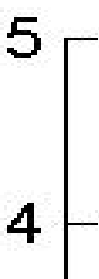
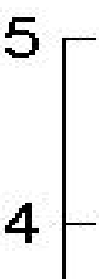
	+ 6 us	- 6 us
T_o		
T_c		
T_1		
T_2		

그림 3.1.4.25 6us 오차가 있을 경우

- T_o , T_c 에 의한 오차가 T_1 , T_2 에 의한 오차보다 작으며, T_c 가 선형성이 가장 큼
- 균열깊이가 클 때 오차가 작아짐

(5) 깊이 계산식 결정

1,2,3절의 실험결과를 요약하면 아래와 같은 현상을 파악할 수 있다.

- 대체적으로, 초동포착오차가 2us 일 때 균열 깊이에 1-2cm 오차, 4us 일 때 2-5cm 오차, 6us 일 때 3-5cm 이상의 오차를 보인다.
- 초동포착 오차가 6us 이상이면 균열깊이 산정오차가 허용범위를 넘는다.
- T_o , T_c 에 의한 오차가 T_1 , T_2 에 의한 오차보다 작으며, T_c 가 선형성이 가장 크다.
- 균열깊이가 15cm 일 때가 5cm 일 때보다 오차가 작다.

따라서, 안정적 깊이산정을 위해서는 계산식에 $T_c - T_o$ 법을 포함해야 하며, 이를 위한 방안으로 아래의 균열깊이 산정절차를 마이크로프로세서에 담아 제품화할 것을 제안한다.

- Depth 버튼을 Depth1 과 Depth2, 두 개 따로 둔다.
- Depth1 버튼을 누르면 MBS 계산식에 의한 깊이를 표시한다.
- Depth2 버튼을 누르면 <균열이 없는 곳에서 속도를 측정하십시오.> 라는 표시를 하고 내외곽 2개의 탐촉자 set에 의해 콘크리트 속도를 구하고 이를 평균한다.
- 계속하여 <균열이 있는 곳에서 속도를 측정하십시오.> 라는 표시를 하고 이미 취득된 콘크리트 평균속도와 내외곽 2개의 탐촉자 set에 포착된 초동을 사용하여 2개의 MBS 균열깊이를 구하고 이를 평균하여 균열깊이로 표시한다.

사. 일체형 시스템 개발(2차 시제품)



회로개선(송-수신 회로분리)



균열깊이 계산식 내장 프로세서



일체형 시스템(2차 시제품)

사진 3.1.4.20 2차년도 일체형시스템(2차시제품)

1차 시스템에서 지적된 문제점들을 보완하기 위해서, 탐촉자 연결을 위한 잭을 별도로 연결하여 파라미터(신호분석, 거리별 테스트)를 분석하기 위한 시스템으로 개발하였다. 본 시스템의 1차년도 연구결과 미반영된 연구결과를 반영하기 위한 중간단계의 시제품이다.

추후 개선점:

탐촉자와 본체를 이어주는 어댑터의 역할이 매우 중요한 것으로 보이며 재료 선정과 디자인을 바꾸어야 할 것으로 보였다.

아. 성능시험

(1) 시험개요

2차시제품의 성능을 시험하기 위해서 마이크로프로세서가 내장된 본체시험과 개발된 소형 탐촉자 시험과 본체와 탐촉자가 결합된 2차 시제품에 대한 성능시험으로 구분하였다. 기존 본체(비교를 위한 초음파 장치)의 경우 1차년도 연구에서 사용성면에서 편리하다고 평가된 Tico장비를 사용하였다. 성능시험을 개요를 표시하면 그림 3.1.4.26과 같다.

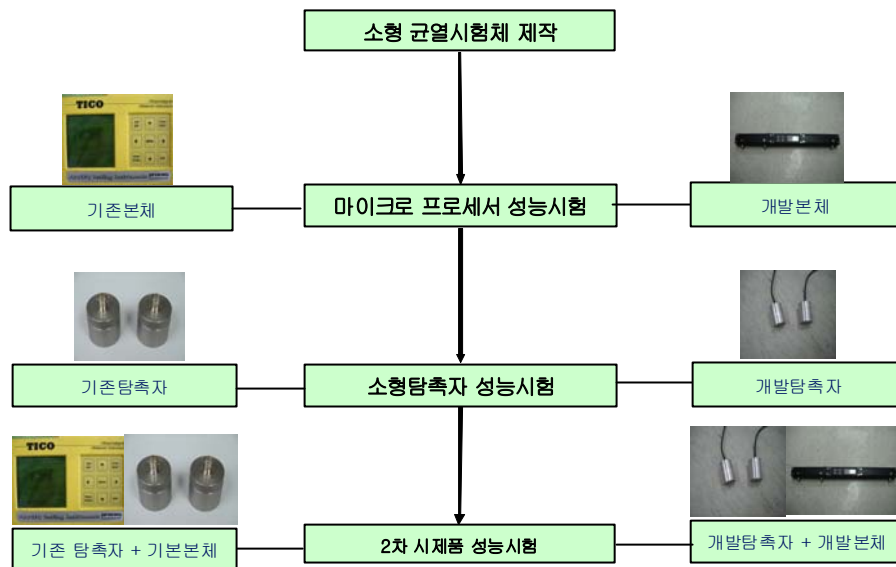


그림 3.1.4.26 성능시험개요도

(2) 마이크로프로세서 성능시험

마이크로프로세서의 성능시험은 장비의 캘리브레이션, 콘크리트 전달속도시험, 균열깊이 측정시험으로 구분하여 본체내의 마이크로프로세서의 성능을 시험하였고, 이를 표시하면 그림 3.1.4.27과 같다.

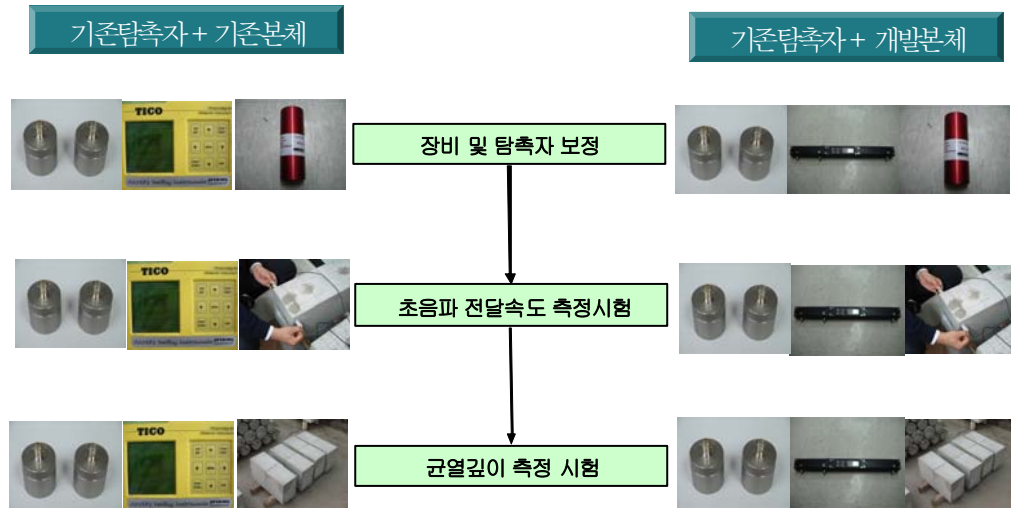


그림 3.1.4.27 마이크로프로세서 성능시험 개요도

(가) 장비 및 탐촉자 보정

기존본체와 개발된 본체를 이용한 측정을 위해서 캘리브레이션 바를 이용해서 탐촉자별 보정을 실시하였다. 이를 그림으로 표시하면 사진 3.1.4.21과 같다.



캘리브레이션바에 탐촉자 부착

기준값 보정

사진 3.1.4.21 캘리브레이션 바를 이용한 보정

(나) 콘크리트 초음파 전달속도 시험

본 실험은 성능 개선된 탐촉자의 성능을 테스트하기 위해, 콘크리트 전파속도실험을 수행하였다. 수행에 앞서 캘리브레이션 막대를 이용하여, 탐촉자와 본체의 오차를 보정한 뒤 측정하였다. 시험순서를 정리하면 사진 3.1.4.22와 같고, 시험결과는 표 3.1.4.3과 같다.



기존 초음파장비 본체(Tico)



2차년도 개발본체



기존초음파 탐촉자



전달속도 측정시험

사진 3.1.4.22 콘크리트 초음파전달속도 시험개요도(마이크로프로세서 성능시험)

균열 깊이	기존 탐촉자 + Tico				기존탐촉자 + 개발본체			
	좌측단		우측단		좌측단		좌측단	
	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)
50 mm	51	51	51	50	50	50	50	50
	51		50		51		51	
	50		50		51		50	
100 mm	50	50	50	50	50	50	51	50
	49		49		51		50	
	50		50		50		50	
150 mm	51	51	49	50	50	50	50	50
	51		50		49		51	
	50		50		51		51	

표 3.1.4.6 콘크리트 초음파 전달속도 시험결과(마이크로프로세서 성능시험)

기존 탐촉자를 연결한 경우와 개발된 소형 탐촉자를 연결한 경우 유사한 결과를 보였고 이를 통해서 개발된 소형탐촉자의 성능이 기존의 개발 탐촉자와 거의 대등하게 나타남을 알 수 있었다.

초음파 전달속도 시험결과 소형공시체의 거리 18cm에 대해서 평균 50초의 전달속도를 나타내었으므로, 약 3600m/sec의 속도로 초음파가 전달됨을 알 수 있었다.

(다) 균열깊이 측정시험

본 실험은 개발된 소형탐촉자의 성능을 실험하는데 그 목적이 있다. 실험을 위해서 기존의 탐촉자를 기존 초음파 탐사기에 연결하는 경우와, 개발된 탐촉자와 기존의 본체에 연결하는 경우 2가지에 대해서 실험을 실시하고자 한다. 시험순서를 정리하면 사진 3.1.4.23와 같고, 시험결과는 표 3.1.4.7와 같다.



기존 초음파장비 본체(Tico)



2차년도 개발본체



기존초음파 탐촉자



전달속도 측정시험

사진 3.1.4.23 균열깊이 측정 시험 개요도(마이크로프로세서 성능시험)

균열 깊이	기존탐촉자 + Tico				기존탐촉자 + 개발본체			
	(간격 10cm)		(간격 20cm)		(간격 10cm)		(간격 20cm)	
	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)
50 mm	72.4	72.7	115.6	115.7	77.5	76.3	124.1	122.4
	73.1		116.1		76.2		122.2	
	72.7		115.4		75.3		120.8	
100 mm	89.2	89.4	124.1	124.2	89.1	89.0	136.6	135.8
	89.6		124.6		89.5		135.8	
	89.5		123.9		88.5		135.1	
150 mm	114.8	114.8	134.9	135.0	104.5	103.9	150.4	149.3
	114.4		135.1		103.3		148.9	
	115.1		134.9		103.9		148.5	

표 3.1.4.7 균열깊이 측정시험 결과(마이크로프로세서 성능시험)

마이크로프로세서의 성능시험은 동일한 탐촉자(기존의 지름 5cm, 54Khz 초음파 탐촉자)를 사용하여 기존 초음파 탐사기와 새로 개발된 마이크로프로세서의 초음파 신호의 초동 신호 획득의 정확성을 검토하기위해 수행되었다. 계측결과를 분석해본 결과, 균열깊이가 50mm인 경우, 내측에서 최대 4.9%, 외측에서 최대 5.8%가 측정되었고, 균열깊이가 150mm인 경우, 내측에서 최대 9.5%, 외측에서 최대 10.5%의 오차가 발생하였다. 즉, 균열깊이 범위 50mm-150mm내에서 균열깊이가 깊어질수록 오차가 크게 발생함을 알 수 있었고, 최대 10%내의 오차가 발생함을 알 수 있었다.

(3) 소형 탐촉자 성능시험

소형탐촉자 성능시험은 장비의 캘리브레이션, 콘크리트 전달속도시험, 균열깊이 측정시험으로 구분하여 소형탐촉자의 성능을 시험하였고, 이를 표시하면 그림 3.1.4.28와 같다.

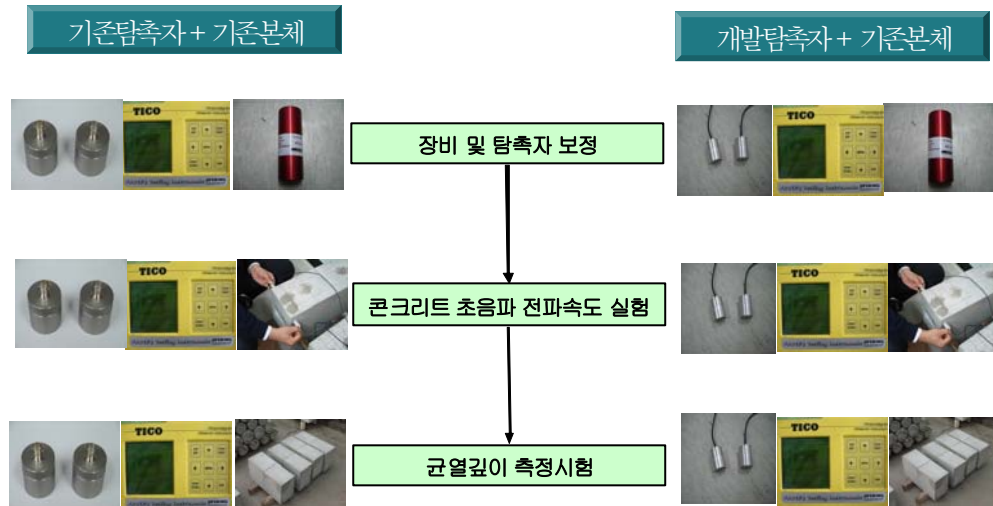
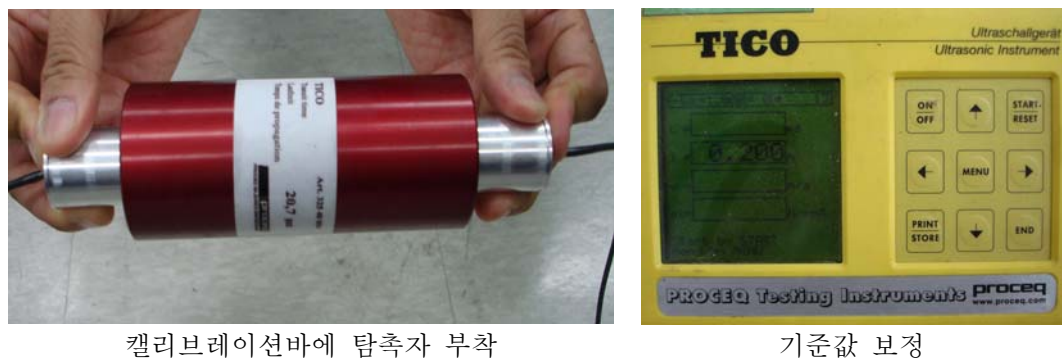


그림 3.1.4.28 소형탐촉자 성능시험 개요도

(가) 장비 및 탐촉자 보정

기존탐촉자와 개발된 탐촉자를 이용한 측정을 위해서 캘리브레이션 바를 이용해서 탐촉자별 보정을 실시하였다.



캘리브레이션바에 탐촉자 부착

기준값 보정

사진 3.1.4.24 캘리브레이션 바를 이용한 보정

(나) 콘크리트 초음파 전달속도 시험

본 실험은 성능개선된 탐촉자의 성능을 테스트하기 위해, 콘크리트 전파속도실험을 수행하였다. 수행에 앞서 캘리브레이션바를 이용하여, 탐촉자와 본체의 오차를 보정한 뒤 측정하였다. 시험순서를 정리하면 사진 3.1.4.25와 같고, 시험결과는 표 3.1.4.8와 같다.



Tico 장비



기존 탐촉자



개발된 소형탐촉자



전달속도 측정시험

사진 3.1.4.25 콘크리트 초음파 전달속도 시험 개요도(탐촉자 성능시험)

균열 깊이	기존 탐촉자 + Tico				개발된 소형 탐촉자 + Tico			
	좌측단		우측단		좌측단		좌측단	
	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)
50 mm	51	51	51	50	50	50	50	50
	51		50		50		51	
	50		50		51		50	
100 mm	50	50	50	50	50	50	51	50
	49		49		50		51	
	50		50		50		50	
150 mm	51	51	49	50	50	50	50	50
	51		50		49		50	
	50		50		51		51	

표 3.1.4.8 콘크리트 초음파 전달속도 시험결과(탐촉자 성능시험)

기존 탐촉자를 연결한 경우와 개발된 소형 탐촉자를 연결한 경우 유사한 결과를 보였고 이를 통해서 개발된 소형탐촉자의 성능이 기존의 개발 탐촉자와 거의 대등하게 나타남을 알 수 있었다.

초음파 전달속도 시험결과 소형공시체의 거리 18cm에 대해서 평균 50초의 전달속도를 나타내었으므로, 약 3600m/sec의 속도로 초음파가 전달됨을 알 수 있었다.

(다) 균열깊이 측정시험

본 실험은 개발된 소형탐촉자의 성능을 실험하는데 그 목적이 있다. 실험을 위해서 기존의 탐촉자를 기존 초음파 탐사기에 연결하는 경우와, 개발된 탐촉자와 기존의 본체에 연결하는 경우 2가지에 대해서 실험을 실시하고자 한다. 시험순서를 정리하면 사진 3.1.4.26와 같고, 시험결과는 표 3.1.4.9과 같다.



Tico 장비



기존 탐촉자



개발된 소형탐촉자



균열깊이 시험

사진 3.1.4.26 균열깊이 측정 시험 개요도(탐촉자 성능시험)

균열 깊이	기존탐촉자 + Tico				개발된 소형탐촉자 + Tico			
	(간격 10cm)		(간격 20cm)		(간격 10cm)		(간격 20cm)	
	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)
50 mm	72.4	72.7	115.6	115.7	73.3	73.3	112.2	113.2
	73.1		116.1		72.8		113.3	
	72.7		115.4		73.9		114.2	
100 mm	89.2	89.4	124.1	124.2	88.1	89.0	123.2	122.5
	89.6		124.6		89.1		122.3	
	89.5		123.9		89.7		122.1	
150 mm	114.8	114.8	134.9	135.0	111.7	113.0	132.9	133.0
	114.4		135.1		114.1		133.1	
	115.1		134.9		113.1		132.9	

표 3.1.4.9 균열깊이 측정시험 결과(탐촉자 성능시험)

탐촉자의 성능시험은 동일한 탐사기(TICO)를 사용하여 기존 탐촉자(지름 5cm)와 개발된 탐촉자(지름 2.5cm)의 초음파 신호의 송수신의 정확성을 검토하기위해 수행되었다. 계측결과를 분석해본 결과, 균열깊이가 50mm인 경우, 내측에서 최대 0.8%, 외측에서 최대 2.1%가 측정되었고, 균열깊이가 150mm인 경우, 내측에서 최대 1.6%, 외측에서 최대 1.5%의 오차가 발생하였다. 탐촉자의 경우 균열깊이 범위 50mm-150mm내에서 균열깊이에 상관없이 고른 오차를 나타냄을 알 수 있었다.

(4) 일체형 시스템 성능시험(2차 시제품)

본 실험은 개발된 시제품의 성능을 실험하는데 그 목적이 있다. 실험을 위해서 기존의 탐촉자를 기존 초음파 탐사기에 연결하는 경우와, 개발된 탐촉자와 개발된 본체에 연결하는 2가지에 대해서 실험을 실시하고자 한다.

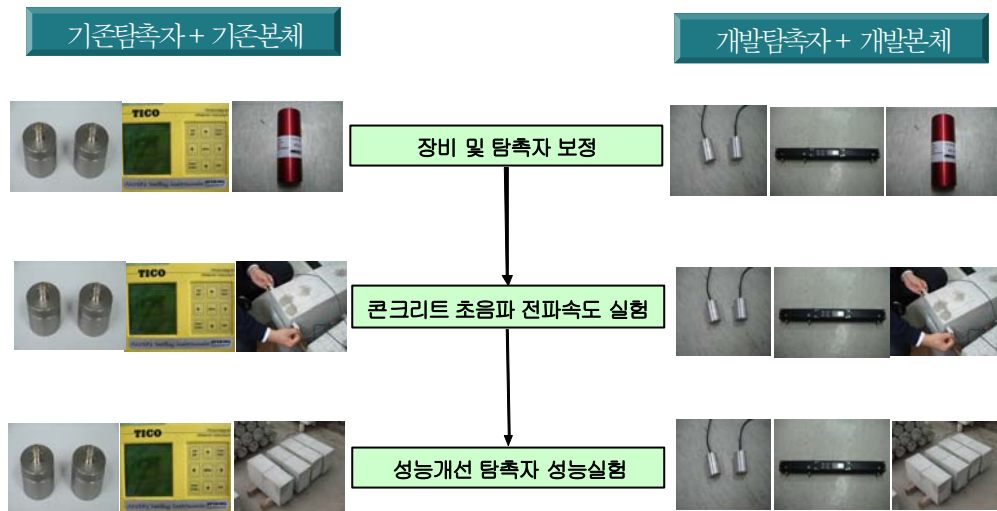


그림 3.1.4.29 2차 시제품 성능시험 개요도

(가) 콘크리트 초음파 전달속도 시험

본 실험은 성능개선된 탐촉자의 성능을 테스트하기 위해, 콘크리트 전파속도실험을 수행하였다. 수행에 앞서 캘리브레이션 막대를 이용하여, 탐촉자와 본체의 오차를 보정한 뒤 측정하였다.



Tico 장비



2차년도 개발본체



기존 탐촉자



개발된 소형탐촉자



전달속도 측정시험

사진 3.1.4.27 콘크리트 초음파 전달속도 시험 개요도(2차 시제품)

균열 깊이	기존 탐촉자 + Tico				개발된 소형 탐촉자 + 개발본체			
	좌측단		우측단		좌측단		좌측단	
	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)
50 mm	51	51	51	50	50	50	50	50
	51		50		50		51	
	50		50		51		50	
100 mm	50	50	50	50	50	50	51	50
	49		49		50		51	
	50		50		50		50	
150 mm	51	51	49	50	50	50	50	50
	51		50		49		50	
	50		50		51		51	

표 3.1.4.10 콘크리트 초음파 전달속도 시험결과(2차 시제품)

기존 탐촉자를 연결한 경우와 개발된 소형 탐촉자를 연결한 경우 유사한 결과를 보였고 이를 통해서 개발된 소형탐촉자의 성능이 기존의 개발 탐촉자와 거의 대등하게 나타남을 알 수 있었다.

초음파 전달속도 시험결과 소형공시체의 거리 18cm에 대해서 평균 50초의 전달속도를 나타내었으므로, 약 3600m/sec의 속도로 초음파가 전달됨을 알 수 있었다.

(나) 균열깊이 측정시험

본 실험은 개발된 소형탐촉자의 성능을 실험하는데 그 목적이 있다. 실험을 위해서 기존의 탐촉자를 기존 초음파 탐사기에 연결하는 경우와, 개발된 탐촉자와 기존의 본체에 연결하는 경우 2가지에 대해서 실험을 실시하고자 한다.



Tico 장비



2차년도 개발본체



기존 탐촉자



개발된 소형탐촉자



균열깊이 시험

사진 3.1.4.28 균열깊이 측정 시험 개요도(2차 시제품)

균열 깊이	기존탐촉자 + Tico				개발된 소형탐촉자 + 개발본체			
	(간격 10cm)		(간격 20cm)		(간격 10cm)		(간격 20cm)	
	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)	계측값 (us)	평균값 (us)
50 mm	72.4	72.7	115.6	115.7	76.5	76.0	119.1	119.9
	73.1		116.1		76.2		120.7	
	72.7		115.4		75.3		119.8	
100 mm	89.2	89.4	124.1	124.2	88.1	88.9	129.3	129.4
	89.6		124.6		89.5		127.8	
	89.5		123.9		89.2		131.2	
150 mm	114.8	114.8	134.9	135.0	106.8	106.7	143.2	143.0
	114.4		135.1		107.3		142.4	
	115.1		134.9		106.1		143.5	

표 3.1.4.11. 균열깊이 측정시험 결과(2차 시제품)

2차 시제품의 성능시험은 기존 장비와 기존 탐촉자를 사용하여 측정하는 경우와 개발된 마이크로프로세서와 개발 탐촉자를 상호 비교함으로써 개발된 일체형 시스템(2차 시제품)의 성능을 검토하기 위해서 수행되었다. 계측결과를 분석해본 결과, 균열깊이가 50mm인 경우, 내측에서 최대 4.8%, 외측에서 최대 3.6%가 측정되었고, 균열깊이가 150mm인 경우, 내측에서 최대 7.0%, 외측에서 최대 6.0%의 오차가 발생하였다.

이상의 결과로 부터 2차 시제품으로 개발된 일체형 시스템은 탐촉자의 경우 기존 탐촉자와 동등한 결과를 나타내었으나, 마이크로프로세서의 경우 기존 장비와 상당한 오차가 발생함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 초음파 신호의 초등신호 획득함에 있어서 상당한 변동성이 있어 이를 정확히 측정하는 것이 초음파 탐사기의 정확도를 올리는 가장 중요한 요소임을 알 수 있었다.

5. 최종 일체형 시스템 개발(2차년도: 2008년 7월 - 12월)

가. 개발개요

최종 개발 제품은 2차 시제품에서 발생된 문제점 중 신호지연오차를 줄이기 위해 송수신 각각 2개씩의 회로를 구성하였으나 공간최소화하기 위해 복층으로 제품을 구성하였고, 이를 기준으로 제작된 최종 제작된 회로를 개발제품 내부에 설치하였다. 또한 2차 시제품에서 탐촉자를 내부에 집적시키는 경우 초음파가 일체형 시스템의 본체를 타고 흐르는 문제점이 발생하여 초음파 차폐를 위한 장비를 추가적으로 개발 및 설치하였다. 이상의 개발개요를 그림으로 표시하면 다음과 같다.

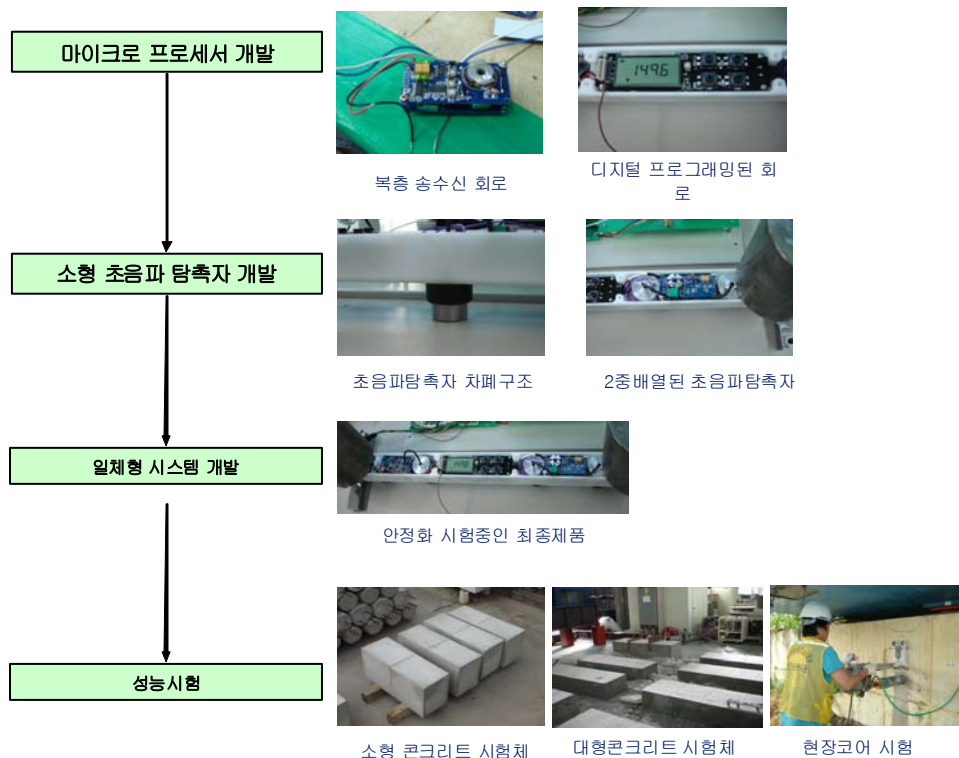


그림 3.1.5.1 최종 제품 개발 개요도

나. 일체형 시스템 개발(최종제품)

(1) 마이크로 프로세서(아날로그부)

(가) 최초 회로 구성도(1차년도)

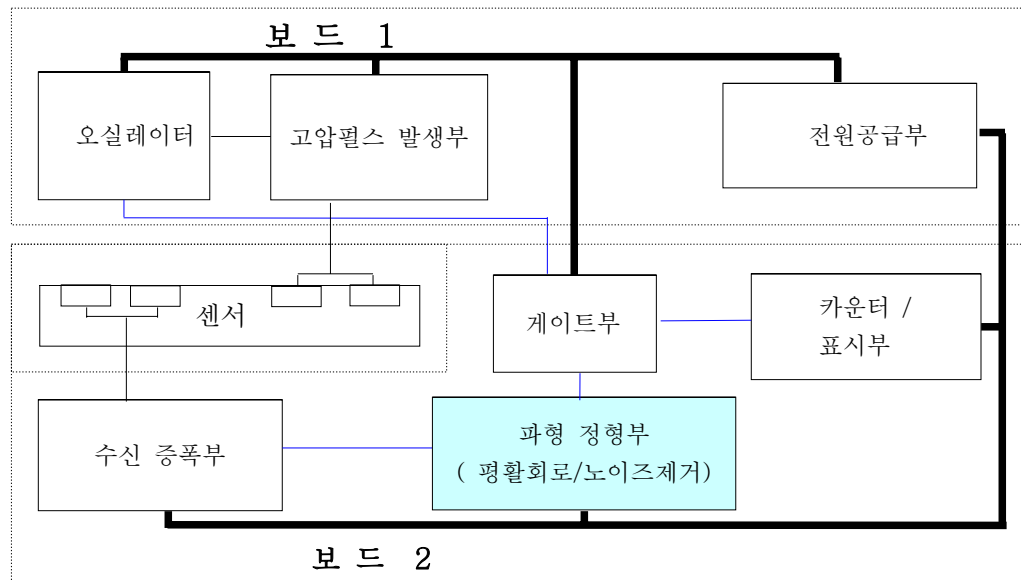


그림 3.1.5.2 최초 회로구성도

완전한 아날로그 형태로 펄스부 및 리시버부를 제작하고 단순히 펄스를 송신하고 수신하여 시간을 표시하는 형태로 제작하고 센서는 기 사용되고 있는 센서를 활용할 수 있도록 제작하였다. 제작된 회로를 나타내면 사진 3.1.5.1과 같다.

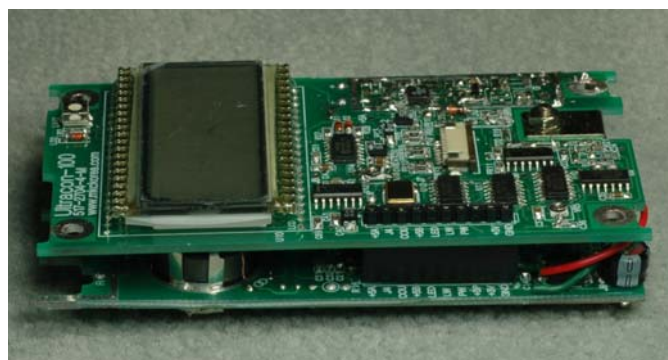


사진 3.1.5.1 최초 회로 구성된 표시부 및 펄스/리시버 부

(나) 1차 회로 개선도(2차년도 전반부)

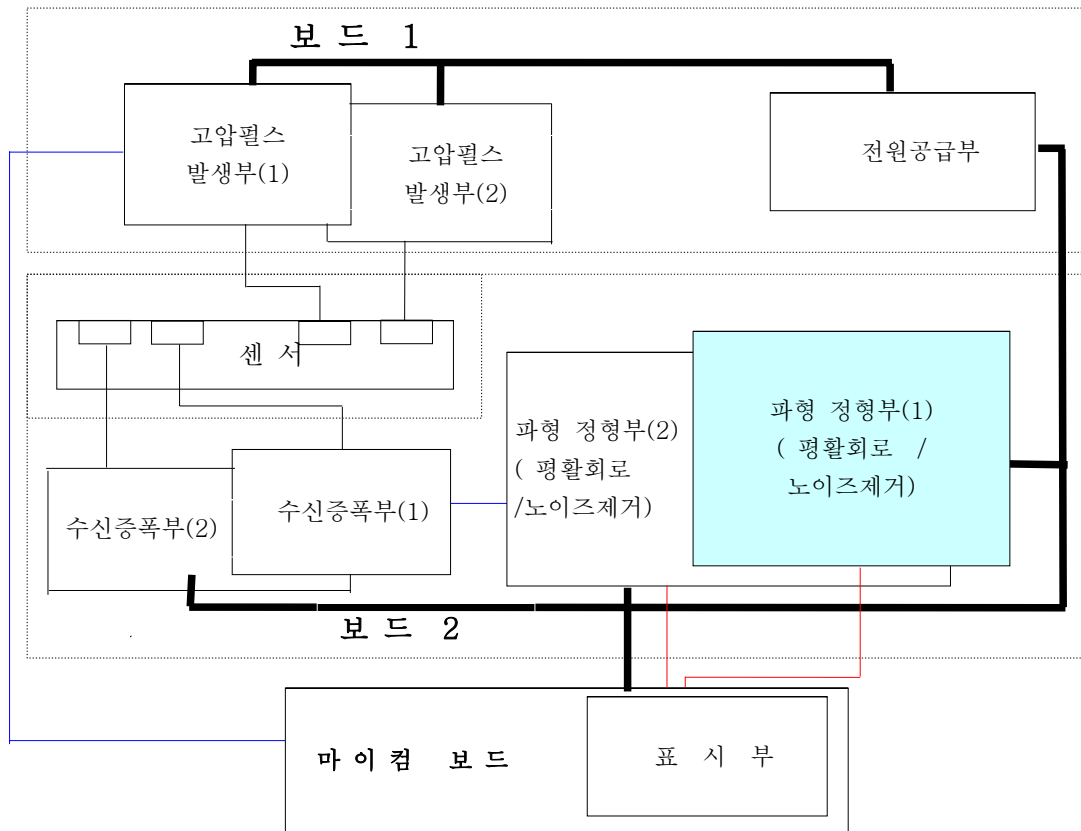
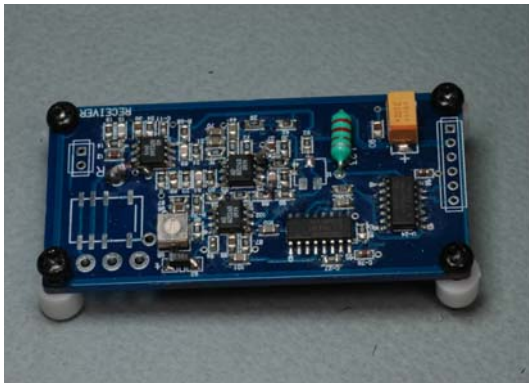
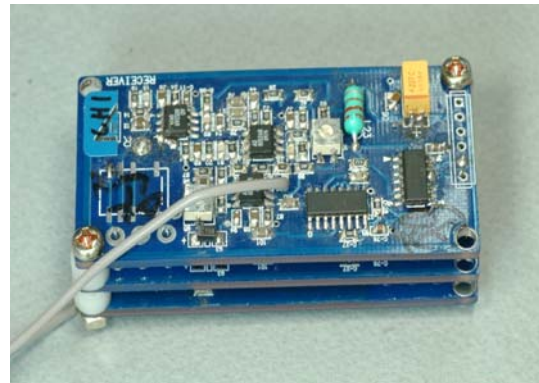


그림 3.1.5.3 1차 개선 회로구성도

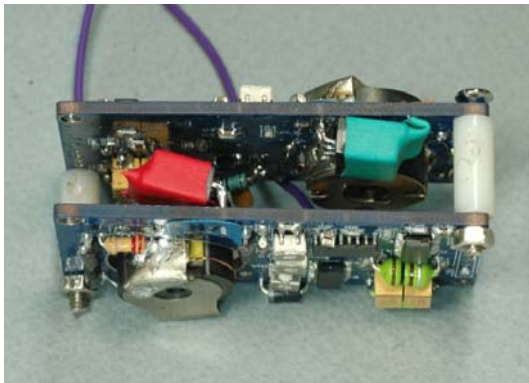
두 쌍의 고정 형 센서형으로 구성하는 장비에 적합하도록 최초 구성한 회로를 2개의 펄스부와 2개의 리시버부를 개선하였으며 신호를 잡음을 제거하고 정형하여 마이크로컴퓨터로 보내어 결함깊이를 계산하고 표출하도록 하드웨어 부분을 제작하였다. 제작된 회로를 나타내면 사진 3.1.5.2와 같다. 각 단계별 신호파형을 분석한 화면을 표시하면 사진 3.1.5.3과 같다.



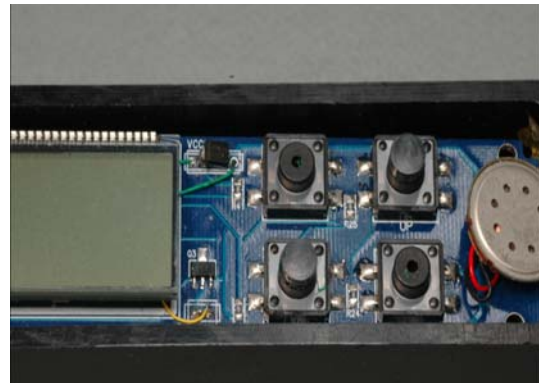
1개의 리시버 부



2개의 리시버 부

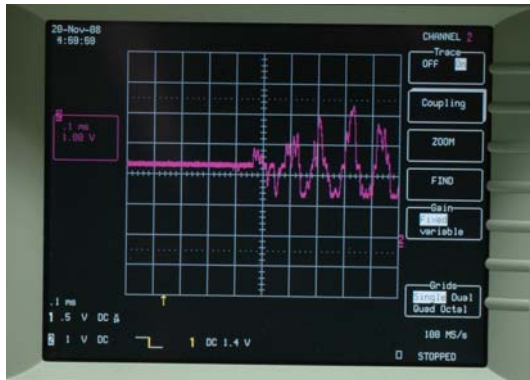


2개의 펄서 부

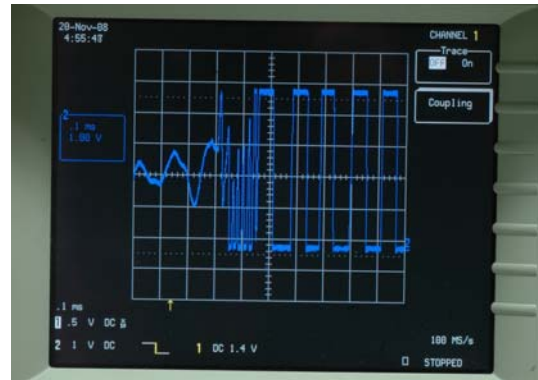


마이크 및 표시 부

사진 3.1.5.2 1차 개선 회로 구성된 표시부 및 펄서/리시버 부



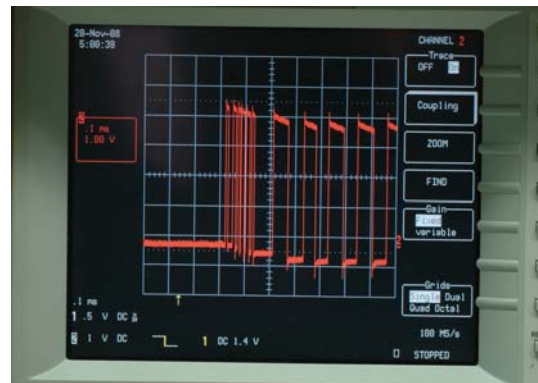
2단 증폭 후 신호 파형



3단 증폭 후 신호 파형
(잡음이 함께 증폭되고 있는 신호파형)



잡음제거 한 하측(-)부분 정형한 파형



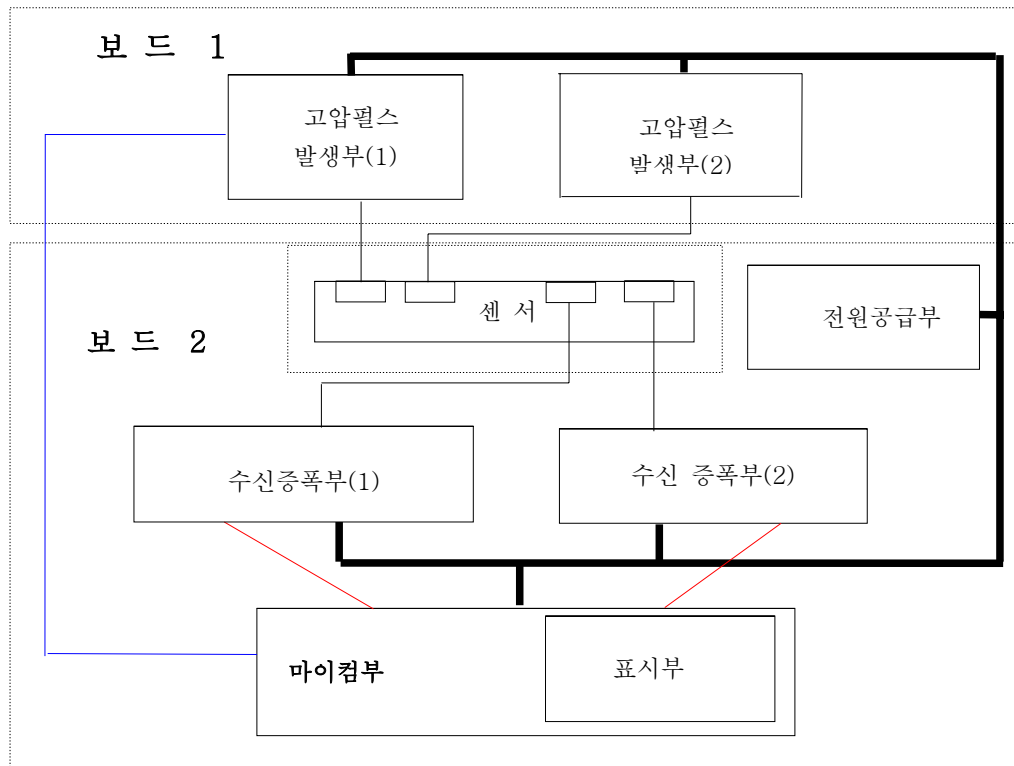
잡음제거 한 하측(-)부분 정형한 파형



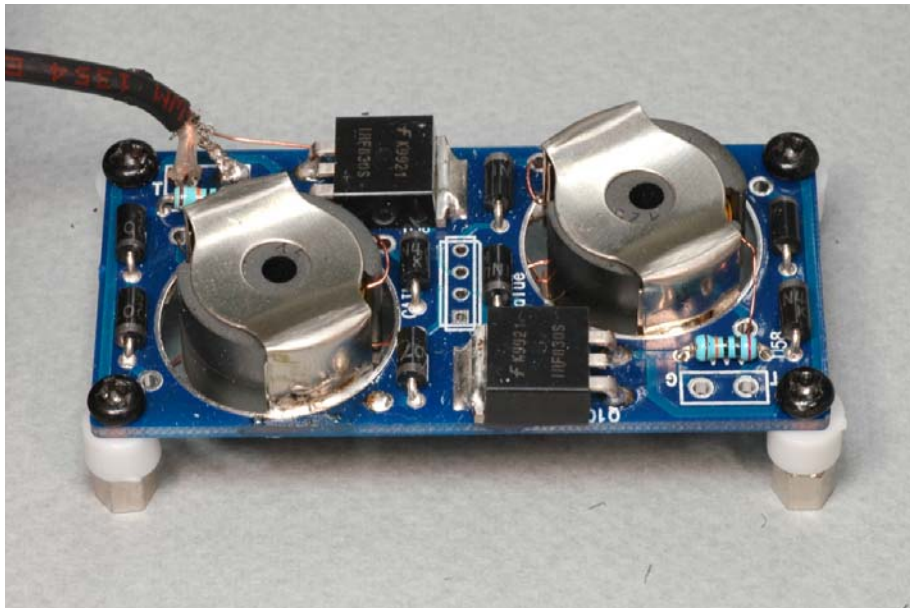
상 하측(+ -부분)부분 정형 후 합성한 파형

사진 3.1.5.3 1차 개선 회로 단계별 신호파형분석

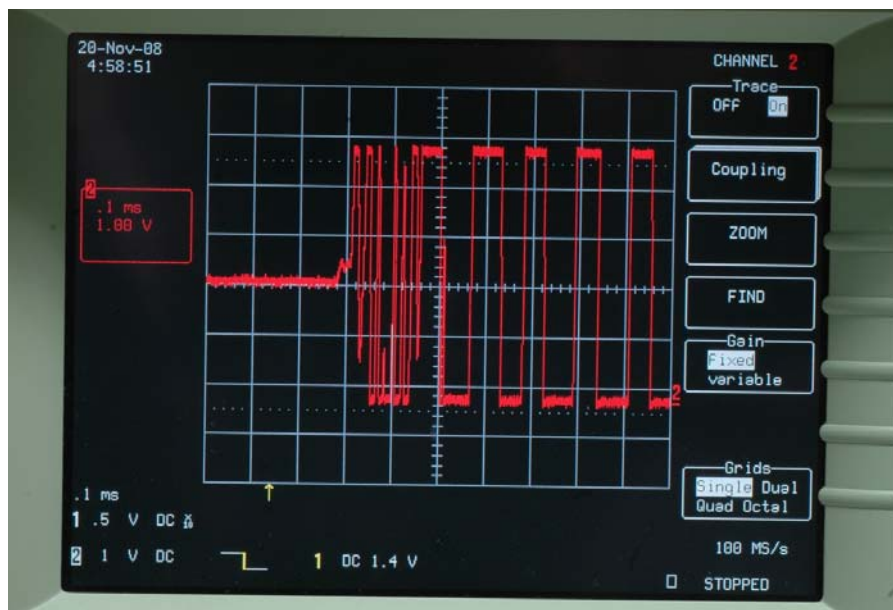
(다) 2차 회로 개선도(2차년도 후반부)



마이크에 의한 제어방식을 위해 단순하게 회로를 조정하였으며, 수신 부 회로를 개선함으로 S/N 비를 향상시킴으로 회로 잡음제거와 정형회로를 제거하고 고유의 RF 신호를 마이크 부로 보내어 결함값이를 계산하고 표출하도록 개선하였다.



마이크로제어를 통한 회로를 단순화한 펄서 부



수신부의 개선에 의한 S/N 비 개선 후 수신 부 파형

사진 3.1.5.4 2차 개선 회로구성과 신호파형분석

(2) 마이크로프로세서 개발(디지털부)

(가) 개요

마이크로프로세서 유닛은 콘크리트 균열깊이 측정의 정확성, 경량화, 배터리소모 최소화에 중점을 두고 설계하였다. 그림 3.1.5.4는 마이크로프로세서 유닛의 블록 다이어그램을 보여준다.

현장에서 장시간 사용하는 포터블 장비로서 사용자편의를 고려하여 키패드 조작을 간편하게 구성하였고 초음파 초동 신호를 사용자가 직접 확인할 수 있도록 무선 적외선 통신기능이 회로에 추가되었으며 PC용 어플리케이션도 Labview를 사용하여 프로그램 하였다.

Ultracon 140 마이크로 컨트롤러 유닛 다이어그램

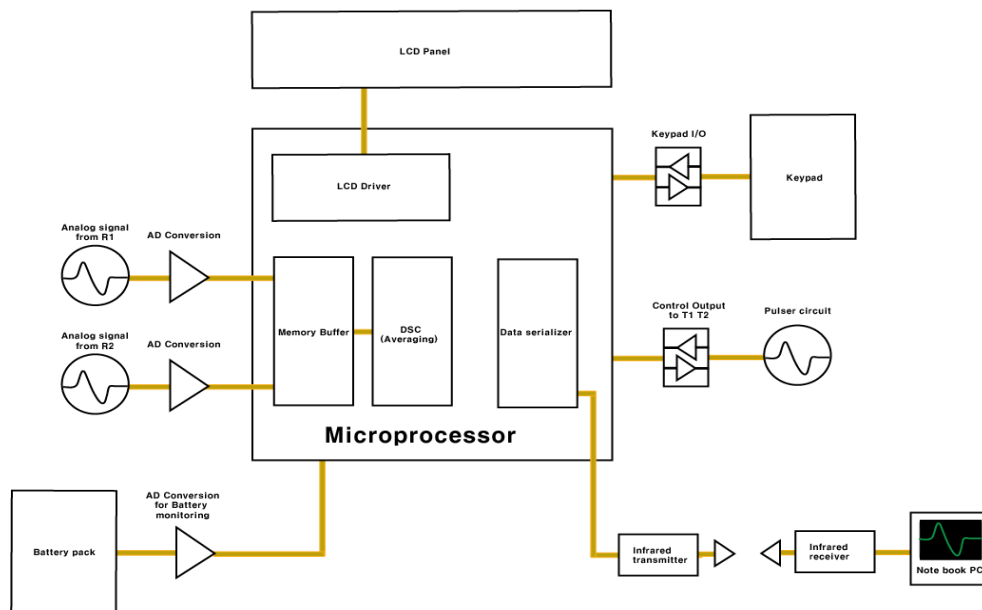


그림 3.1.5.4 마이크로 컨트롤러 유닛 다이어그램

(나) 시스템 기능 설명

① 마이크로 컨트롤러

마이크로 컨트롤러는 초음파 신호의 분석을 위해 디지털 신호처리를 지원할 수 있는 정도의 프로세싱 속도를 가진 동시에 최소한의 전력을 소모하는 제품으로 선정하였다.

② LCD 구동부

LCD 드라이버는 마이크로 컨트롤러에 포함되어 있으며 별도의 추가 회로 없이 마이크로 컨트롤러의 RAM버퍼에 데이터를 써넣으면 즉시 LCD 패널에 표시되는 구조이다.

③ A/D 변환

A/D변환은 8비트의 분해능으로 수행되며 변환된 데이터는 컨트롤러 내에서 디지털 신호처리를 위해 버퍼에 저장된다.

④ DSC(디지털 신호처리부)

DSC에서는 버퍼에 저장된 데이터를 반복 계산하여 RF신호를 Averaging하므로 잡음을 제거하고 초동 인식을 위해 적합한 파형 데이터로 변환한다.

⑤ 키패드

키패드는 컨트롤러의 GPIO를 통해 처리되며 4개의 버튼으로 모든 기능 조작이 가능하고 빠른 반응 속도를 가지도록 코딩되었다.

⑥ 배터리 전압 체크 부

배터리 전압은 내장된 A/D컨버터에 의해 연속적으로 체크되며 일정한 전압 이하로 내려가면 LCD에 배터리 전압이 낮음을 표시하여 배터리 교체를 사용자에게 알린다.

⑦ 적외선 통신

사용자가 필요시에는 초음파 신호를 직접 확인할 수 있도록 신호 데이터를 P C 로 전송하기 위해 적외선 통신 모듈을 회로에 추가하였다.

(다) 초동신호 인식 인공지능 알고리즘

① 초동신호 인식 알고리즘의 필요성

콘크리트 균열깊이 측정은 전달된 초음파 신호의 도착시간을 정확히 포착한 후 계산 하여 이루어진다. 일반적으로 초음파신호는 도달순간에 매우 미약하다가 점차 커지는 현상을 보인다. 그림 3.1.5.5에서 보는 것처럼 잡음의 영향 가운데 있는 이러한 미약한 초동 신호를 비교기 회로를 사용하여 전자적으로 잡아내는 데에는 한계가 있다. 실험결과 측정값의 안정성을 위해 비교기를 사용한 기존 설계방식과 다른 접근법의 필요성이 대두되었다. 잡음에 묻혀있는 미약한 초동신호를 정확히 잡아 내기 위해 초음파신호를 디지털화한 후 프로그램 상에서 인식 알고리즘을 적용하여 초동의 위치를 찾아내는 방식을 사용한 결과 비교적 안정적인 값을 얻을 수 있었다.

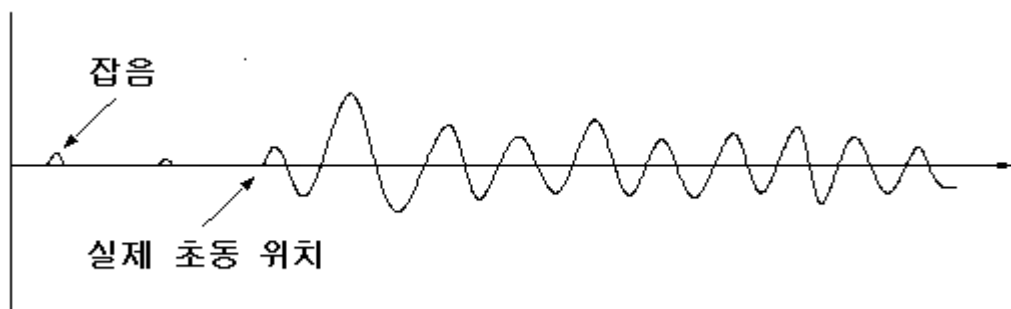


그림 3.1.5.5 잡음신호와 초동신호

② 초동신호 인식 계산 순서

그림 3.1.5.6 은 초동신호 인식 알고리즘의 프로우 차트를 보여주며 그림 3.1.5.7은 Labview로 프로그램된 PC용 어플리케이션에서 수집된 정보를 보여주는 화면이다. 각 단계의 설명은 다음과 같다.

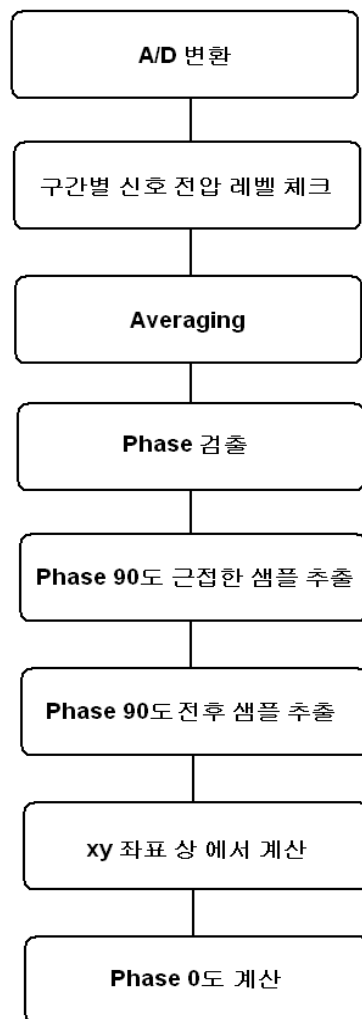


그림 3.1.5.6 초동신호 인식 알고리즘의 플로우차트

● A/D 변환

A/D변환은 계산의 속도를 고려하여 8bit분해능으로 수행된다.

● 구간별 신호 전압 레벨 체크

수집된 생과형의 구간별 전압 레벨을 체크하여 초동이 위치하는 샘플 프레임을 추출한다.

● 초음파 신호 Averaging

추출된 샘플프레임을 20회 Averaging하여 신호의 잡음을 제거한다.

● Phase 검출

신호 처리된 샘플의 위상을 인식한다.

● Phase 90도 제일 근접한 샘플 추출

각 샘플의 위상을 분석하여 Phase 90도 제일 근접한 샘플을 추출 한다.

● Phase 90도 샘플 전후 샘플 추출

추출된 Phase 90도 샘플 전후 샘플 1개씩을 추출한다.

● 3개의 샘플을 xy 좌표 상 에서 계산

추출된 3개의 샘플을 사용하여 x 좌표 상에서 Phase 90도의 정확한 위치를 계산한다.

● 계산된 시간 - 90

계산된 위치에서 -90도 위치에 초동이 존재 하므로 이 위치 값을 사용하여 깊이 계산을 한다.

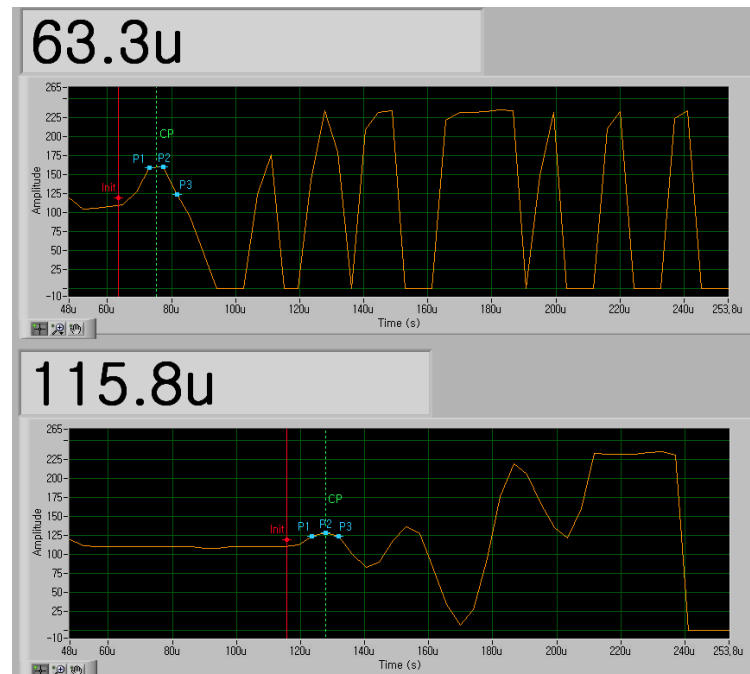


그림 3.1.5.7 PC용 어플리케이션에서 보여지는 초동 신호

(3) 소형 초음파 탐촉자

마이크로프로세서와 탐촉자를 일체화시키는 작업중, 탐촉자의 초음파 신호가 콘크리트의 내부를 전파하는 것이 아니라, 본체를 타고 흐르는 현상이 발생하였다. 따라서 이와같은 문제점을 해결하기 위해서 탐촉자와 본체간에 감쇠율이 큰 매개물질을 2중으로 설치함으로서 초음파 신호의 역행현상을 해결하였다. 이를 표시하면 사진 3.1.5.5와 같다.

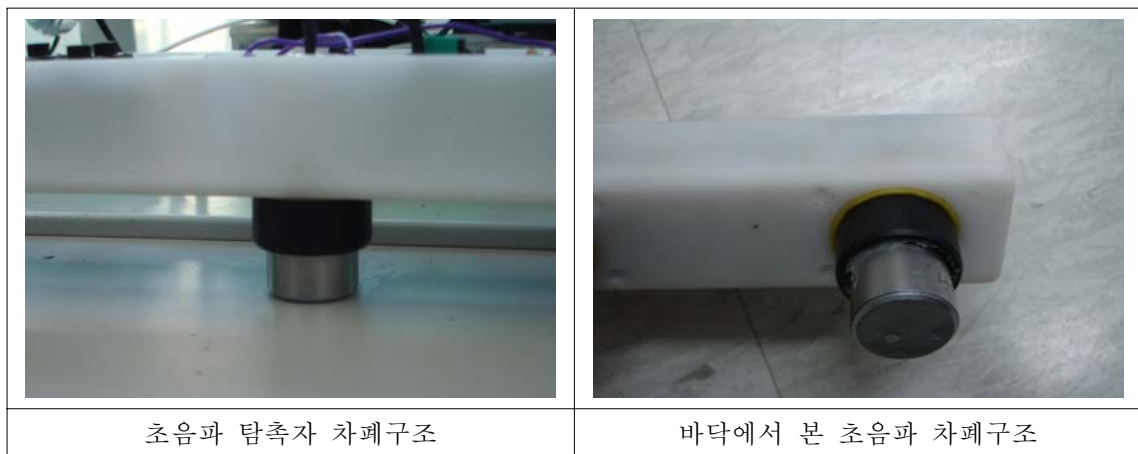


사진 3.1.5.5 초음파 차폐구조

다. 성능시험

(1) 시험개요

최종 개발된 일체형 시스템에 대한 성능시험은 소형콘크리트 시험체와 대형 콘크리트 시험체으로 구분하여 시험을 수행하였다. 소형시험체의 경우 파형분석을 통한 일체형 시스템의 초음파 신호의 발신/수신 신호 분석, 균열깊이 측정비교를 수행하였고, 대형시험체는 무근의 균열깊이 측정과 철근 배근의 균열깊이를 측정하여 결과값을 상호비교하였다. 또한, 현장코어시험을 통해 실제구조물의 균열과 개발장비에 의한 계측상의 균열을 상호비교하였다. 이상의 성능시험절차를 그림으로 표시하면 그림 3.1.5.8과 같다.

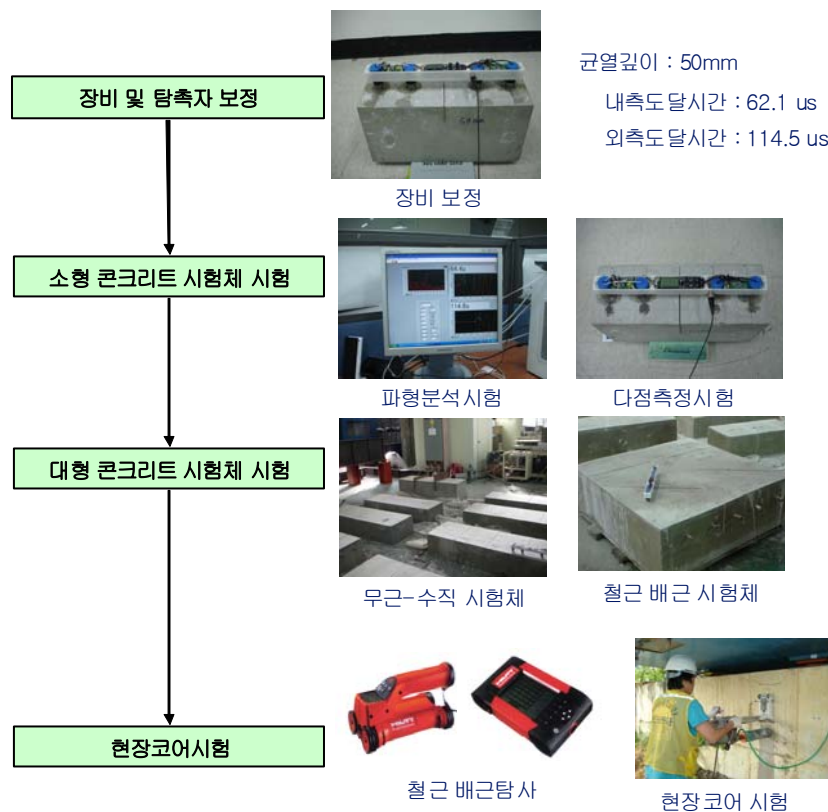


그림 3.1.5.8 성능시험 개요도(최종일체형 시스템)

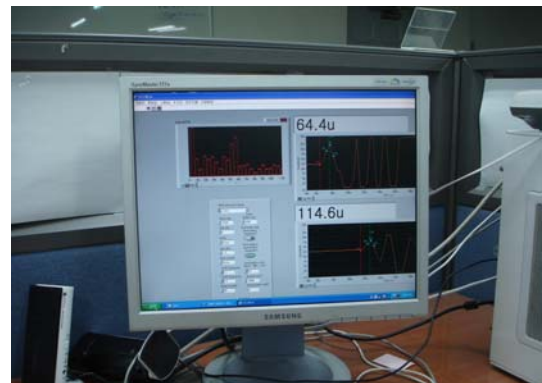
(2) 소형 콘크리트 시험체

(가) 파형분석시험

최종 일체형 시스템의 성능을 시험하기 위해서 파형분석과 균열깊이측정을 수행하였다. 파형분석을 위해 최종 일체형 시스템에서 측정되는 파형을 측정프로그램에서 볼수 있도록 연결잭을 제작하여 외부연결선을 이용해서 PC에 연결하여 시험을 수행하였다. 시험을 위한 시스템은 사진 3.1.5.6과 같고, 시험결과는 표 3.1.5.1과 같다.



외부연결잭



파형분석프로그램

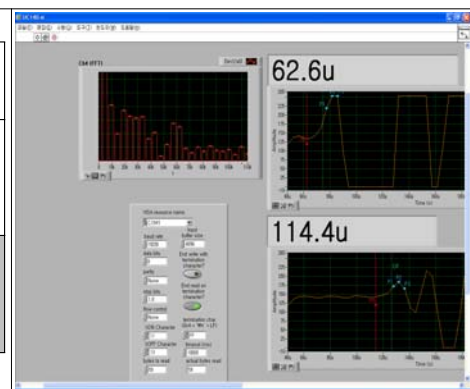
사진 3.1.5.6 파형분석을 위한 시스템

표 3.1.5.1 소형시험체 파형분석 및 균열깊이 측정시험

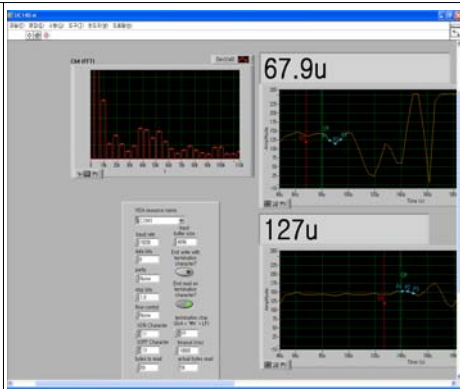
내측시간(us) a=10cm		외측시간(us) a=20cm		균열깊이 (mm)		
횟수	측측 시간 (us)	평균 시간 (us)	측측 시간 (us)	평균 시간 (us)	측측 깊이 (mm)	평균 깊이 (mm)
1회	62.6	62.6	114.3	114.3	53.0	53.0
2회	62.5		114.3		53.0	
3회	62.6		114.2		53.0	

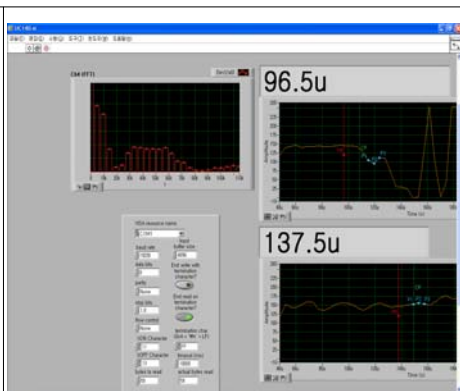
에러율 6%

소형시험체 균열깊이 50mm



소형시험체 균열깊이 50mm

		내측시간(us) a=10cm		외측시간(us) a=20cm		균열깊이 (mm)	
횃 수	계측 시간 (us)	평균 시간 (us)	계측 시간 (us)	평균 시간 (us)	계측 깊이 (mm)	평균 깊이 (mm)	
1회	64.4	66.7	121.1	120.9	110.0	104.7	
2회	67.9		114.5		109.0		
3회	67.8		127.1		95.0		
에러율 5%							
소형시험체 균열깊이 100mm							

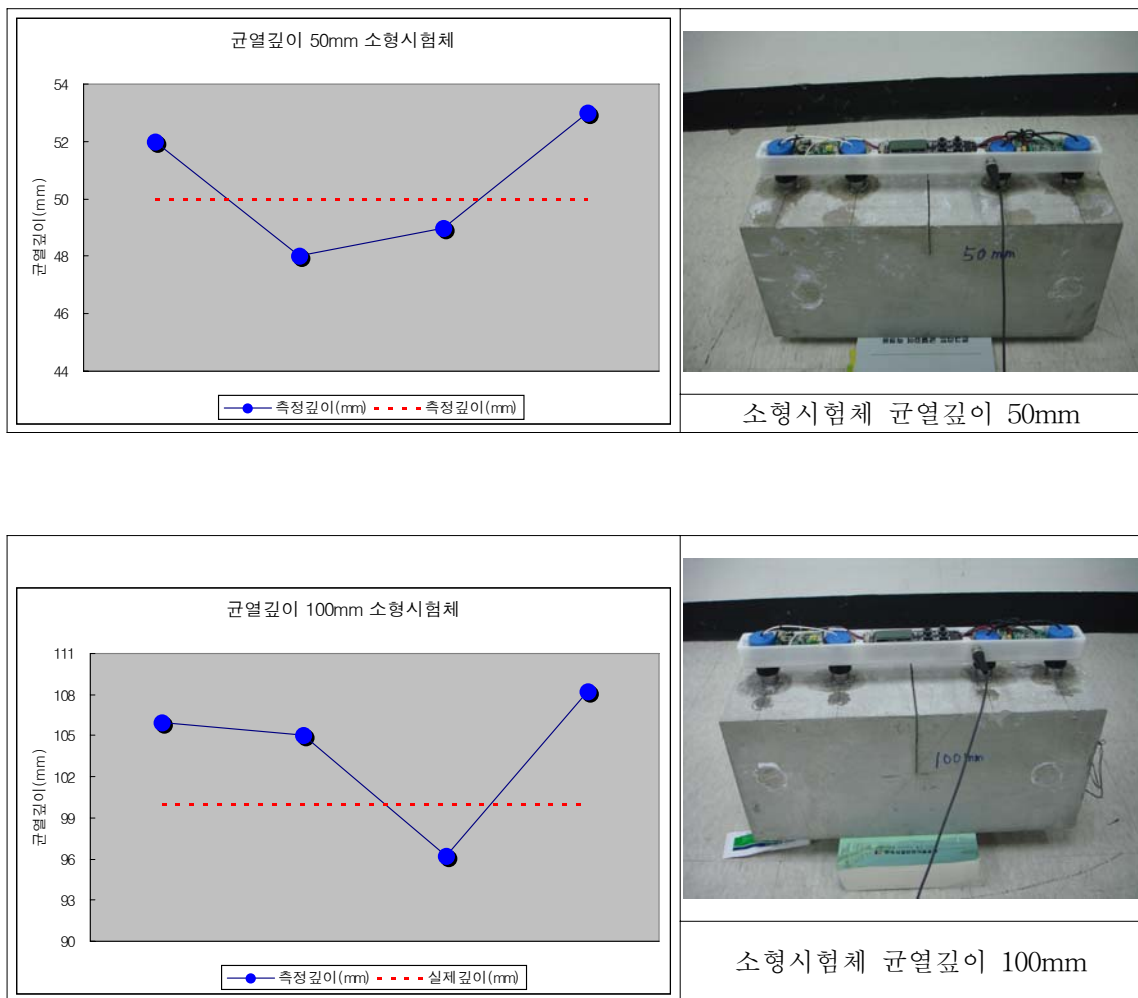
		내측시간(us) a=10cm		외측시간(us) a=20cm		균열깊이(mm)	
횟수	측측 시간 (us)	평균 시간 (us)	측측 시간 (us)	평균 시간 (us)	측측 깊이 (mm)	평균 깊이 (mm)	
1회	92.3	95.1	125.5	134.7	159.0	147.3	
2회	96.5		137.5		140.0		
3회	96.5		141.2		143.0		
에러율 2%							
소형시험체 균열깊이 150mm							

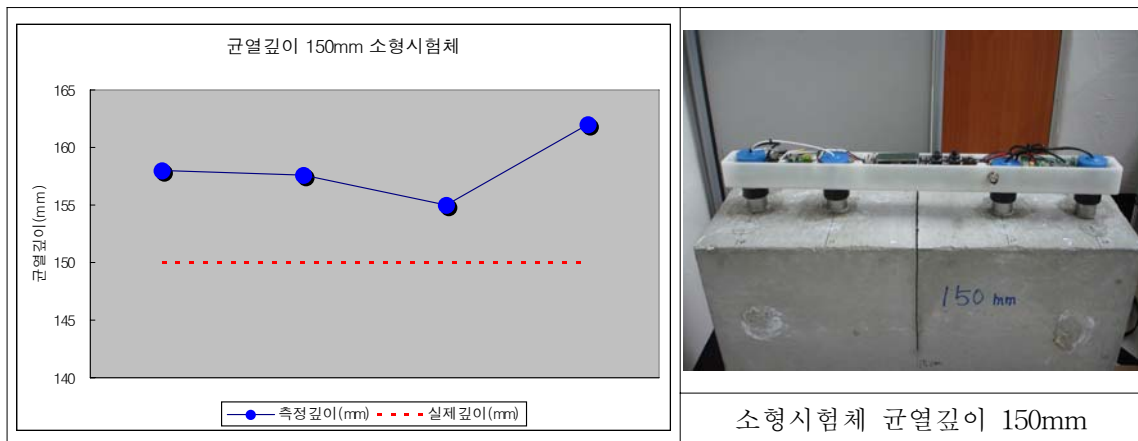
파형분석결과 소형 콘크리트 시험체 50mm - 150mm 내에서는 양호한 결과를 나타내었다. 다만 시험과정 중에 측정값이 갑자기 튀는 현상이 있었으나, 측정 후 값이 일정한 값이 수렴되는 시간이 필요하므로, 10-20초 이후의 값을 측정하는 것을 좋을 것으로 판단되었다.

(나) 다점측정시험

콘크리트의 균열깊이는 1점을 측정함이 원칙이나, 여러점을 측정한 후 균열측정점을 직선으로 연결 보간함으로서 내부 균열을 진행형상을 쉽게 표시할 수 있다. 본 시험에서는 콘크리트의 균열깊이를 4점 측정하여 실제 균열형상과 측정균열형상을 상호비교하였다. 결과를 표시하면 표 3.1.5.2와 같다.

표 3.1.5.2 소형시험체 다점측정(2D)





측정결과 50mm 소형시험체의 경우 오차율 1%이내에서 측정결과값이 일치하였고, 100mm 소형시험체의 경우 오차율 4%내에서 측정결과값이 일치하였다. 150mm의 경우 5%이내에서 측정값과 실제값과 일치하였다. 균열깊이가 깊어질수록 오차율이 다소 증가하였고, 실제균열깊이에 비해 값이 다소 증가하는 경향을 나타냈다.

(3) 대형 콘크리트 시험체

1차년도(2007년 2월) 연구개발시 제작된 대형 시험체를 대상으로 최종개발된 일체형시스템의 성능을 시험하였다. 대형시험체의 경우 현재(2008년 11월)까지 1년 6개월 이상 현장에서 양생되었고, 몇가지 여건에 있어 실제 현장여건과 유사한 환경(계절적 온도변화, 먼지)을 나타내었고, 소형시험체로 제작하지 못한 다양한 균열깊이(균열깊이 80mm, 120mm)를 대상으로 시험할 수 있었다. 대형시험체의 사진을 표시하면 사진 3.1.5.7과 같다.



대형시험체(압축강도 40Mpa)



대형시험체(압축강도 21Mpa)

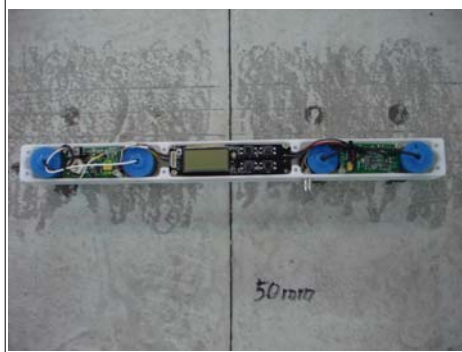
사진 3.1.5.7 대형콘크리트 시험체

(가) 무근-수직시험체

표 3.1.5.3 대형시험체 균열깊이 측정시험(압축강도 40Mpa)

횟수	측정깊이 (mm)	평균깊이 (mm)	실제 깊이 (mm)
1회	51.5	52.0	50.0
2회	51.3		
3회	53.2		

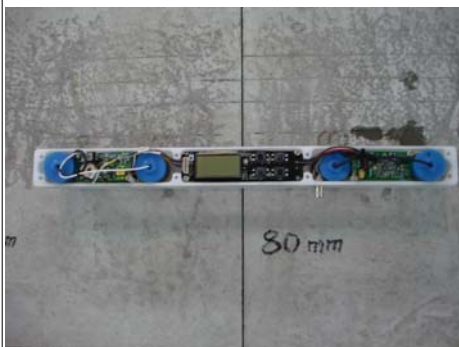
에러율: 4%



대형시험체 균열깊이
50mm(압축강도 40Mpa)

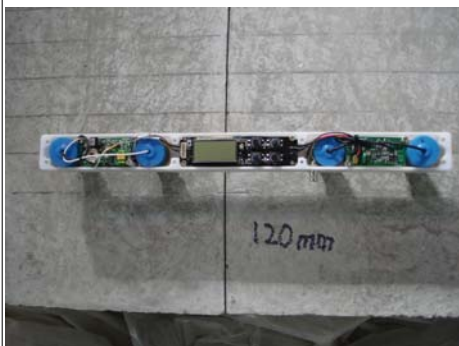
횟수	측정깊이 (mm)	평균 깊이 (mm)	실제 깊이 (mm)
1회	82.0	82.1	80.0
2회	81.2		
3회	83.1		

에러율: 3%



대형시험체 균열깊이
80mm(압축강도 40Mpa)

횟수	측정깊이 (mm)	평균깊이 (mm)	실제 깊이 (mm)
1회	132.5	128.6	120.0
2회	126.1		
3회	127.3		
에러율: 7%			

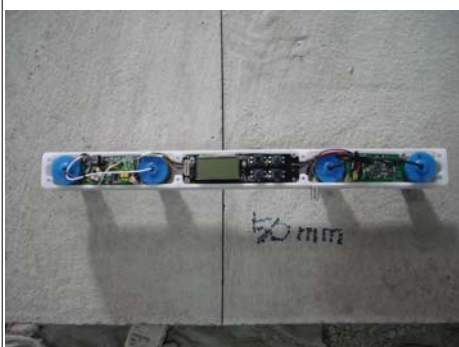


대형시험체 균열깊이
120mm(압축강도 40Mpa)

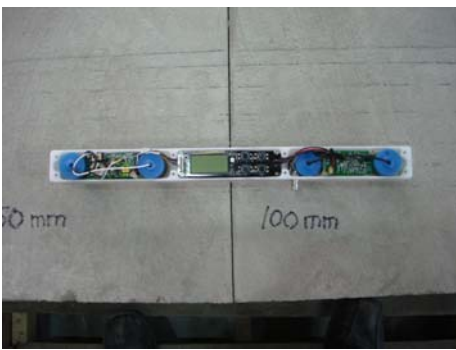
표 3.1.5.4 대형시험체 균열깊이 측정시험(압축강도 21Mpa)

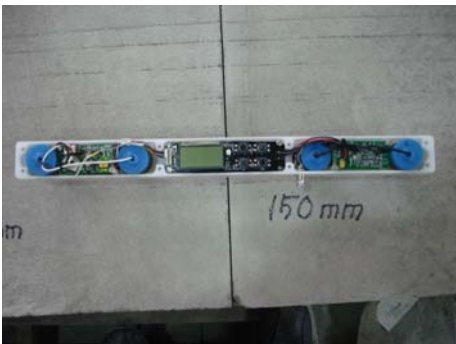
횟수	측정깊이 (mm)	평균깊이 (mm)	실제깊이 (mm)
1회	48.0	50.3	50.0
2회	51.0		
3회	52.0		

에러율: 1%



대형시험체 균열깊이
50mm(압축강도 21Mpa)

				
횟수	측정깊이 (mm)	평균깊이 (mm)	실제깊이 (mm)	
1회	106.0	106.7	100.0	
2회	106.0			
3회	108.0			
에러율: 7%				대형시험체 균열깊이 100mm(압축강도 21Mpa)

				
횟수	측정깊이 (mm)	평균깊이 (mm)	실제깊이 (mm)	
1회	147.0	160.0	150.0	
2회	168.0			
3회	165.0			
에러율: 7%				대형시험체 균열깊이 150mm(압축강도 21Mpa)

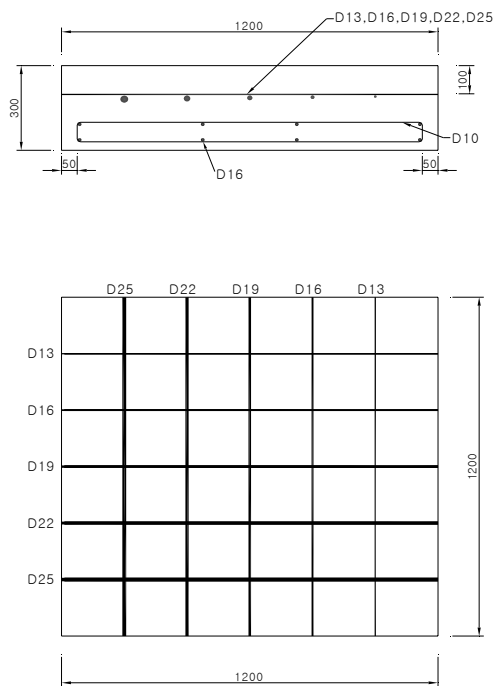
압축강도 40Mpa의 대형콘크리트 시험체의 경우 균열깊이 50mm, 80mm, 120mm로 구성되어 있으며, 50mm균열깊이의 경우 에러율 5%, 80mm인 경우 3%, 120mm인 경우 7%의 오차를 나타내었다.

압축강도 21Mpa의 대형콘크리트 시험체의 경우 균열깊이 50mm, 100mm, 150mm로 구성되어 있으며, 50mm균열깊이의 경우 에러율 1%, 100mm인 경우 7%, 150mm인 경우 7%의 오차를 나타내었다.

대형시험체의 방치된지 1년 6개월 이상 경과했으므로, 인공균열부에 먼지 및 콘크리트 박락으로 인해 균열이 메꾸어지는 현상도 발생하였고, 표면이 다소 물러진 곳도 발생하였다. 따라서, 표면을 정확히 정리하고 균열부의 먼지를 제거한 뒤 측정해야 정확한 결과값을 얻을 수 있었다. 균열 깊이 50mm - 120mm내에서 10%이내의 정도를 나타낼 수 있었다.

(나) 철근 배근 시험체

철근이 배근되어져 있는 경우, 초음파 발신/송신에 있어서의 영향을 분석하기 위해서 배근되어져 있는 콘크리트 시험체에 대해서 인공균열을 발생시킨 후 균열깊이 측정의 영향을 측정하였다. 철근직각방향과 철근배근 45°방향으로 인공균열을 발생시킨 후를 무균방향으로 측정한 초음파 측정결과와 상호 비교하였다. 측정시험체와 시험방법을 나타내면 사진 3.1.5.8과 같다.



철근배근된 시험체 도면



철근탐사기를 이용한 철근 배근 검사



철근 배근된 시험체(21Mpa)



균열깊이 측정시험

사진 3.1.5.8 철근 배근 시험체



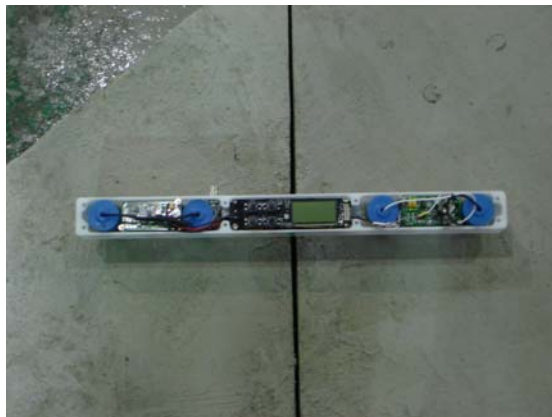
배근 시험체 균열깊이 65mm, 45° 교차
(압축강도 21Mpa)



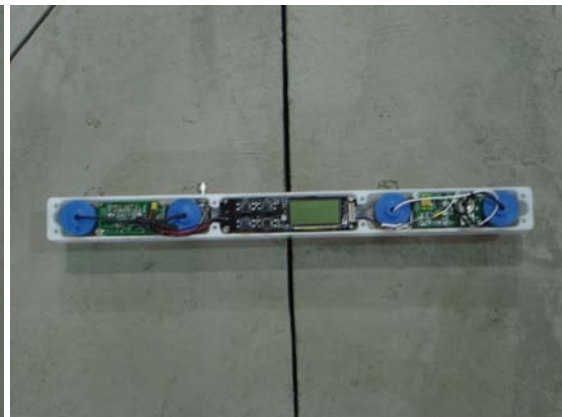
배근 시험체 균열깊이 65mm, 평행 교차
(압축강도 21Mpa)

횟수	무근깊이(mm)	배근깊이(mm)	수평각도 45°(mm)
1회	60.0	63.0	63.0
2회	67.0	63.0	63.0
3회	68.0	65.0	61.0
평균	65.0	63.7	62.3

표 3.1.5.5 철근배근 시험체 균열깊이 측정시험(균열깊이 65mm)



배근 시험체 균열깊이 90mm, 45° 교차
(압축강도 21Mpa)



배근 시험체 균열깊이 90mm, 평행 교차
(압축강도 21Mpa)

횟수	무근깊이(mm)	배근깊이(mm)	수평각도 45°(mm)
1회	102.0	86.0	86.0
2회	92.0	87.0	95.0
3회	95.0	97.0	85.0
평균	96.3	90.0	88.7

표 3.1.5.5 철근배근 시험체 균열깊이 측정시험(균열깊이 90mm)

시험결과, 균열깊이 65mm인 경우 무근깊이 대비 평행철근 배근깊이 측정값이 약 2.1% 오차가 발생하였고, 배근과의 각도가 45°로 교차해서 측정한 경우 4.1% 오차가 발생하였다. 균열깊이 90mm인 경우 무근깊이 대비 평행 배근깊이 측정값이 약 6.6%, 배근과의 각도가 45°인 경우 8.0%의 오차가 발생하였다. 배근각도가 45°인 경우가 배근각도가 평행인 경우에 비해서 오차가 다소 크게 발생하였으나, 콘크리트의 재료적 비등질성(non-homogeneous), 측정 시험체의 오차, 측정장치의 기계적 오차를 종합적으로 고려하여 허용오차범위 $\pm 10\%$ 라 가정한다면, 둘 다 허용된 범위내에서 만족하였다고 볼 수 있어, 철근의 영향이 미미하다고 볼수 있다. 특히 본 시험의 경우 균열을 철근위치까지 발생시키지 않고 철근주위의 영향을 고려했으므로, 실제적으로는 철근으로 인한 초음파의 영향을 없다고 보는 것이 타당할 것으로 판단된다.

(4) 현장코어시험

개발된 장비의 성능을 시험하기 위해서 현장시험을 수행하였다. 현장시험은 균열이 발생한 현장에 대해서 철근탐사를 수행한 후, 개발장비로 균열을 측정한 후 코어채취기로 코어를 채취하여 개발장비의 성능을 분석하였다. 이상의 시험과정을 표시하면 사진 3.1.5.9와 같다. 현장코어시험에 사용된 장비는 사진 3.1.5.10과 같다.



1) 철근탐사(배근위치파악)



2) 균열측정



3) 코어채취



4) 코어 균열깊이 분석

사진 3.1.5.9 현장 코어 시험 순서



코어채취기

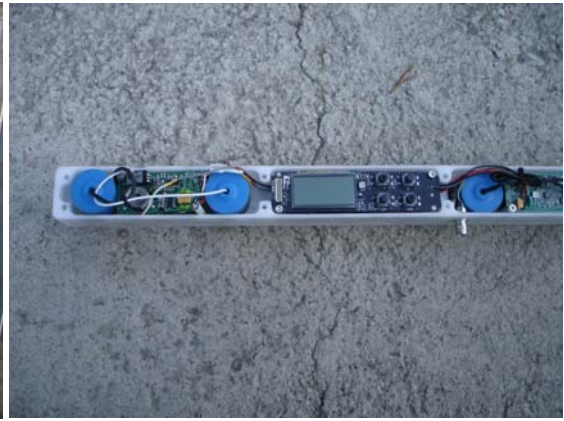


철근탐지기(PS 200)

사진 3.1.5.10 현장코어 시험 관련장비



배근탐사



균열깊이 측정



코어채취



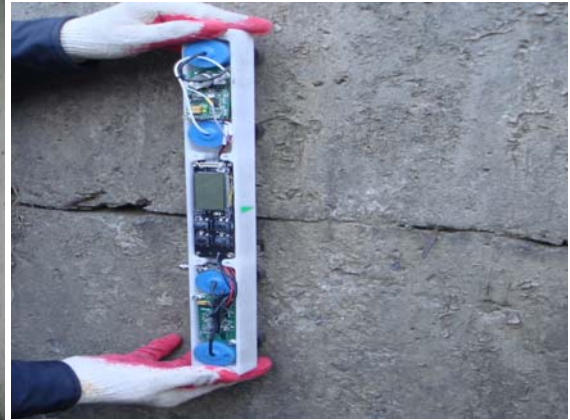
균열분석

횟수	균열깊이(mm)	코어균열깊이(mm)	비고
1회	74.0	60.5	1.28cm 오차
2회	77.5		
3회	68.5		
평균	73.3		

표 3.1.5.7 현장코어시험(1)



배근탐사



균열깊이 측정



코어채취



균열분석

횟수	균열깊이(mm)	코어균열깊이(mm)	비고
1회	22.0	16.0	0.37cm 오차
2회	17.0		
3회	19.7		
평균	19.7		

표 3.1.5.8 현장코어시험(2)

이상의 현장시험결과를 분석한 결과, 실제 균열깊이 대비 측정오차가 0.37cm-1.3cm정도 발생하였다. 이와 같이 오차가 발생하는 원인으로는, 현장콘크리트는 다양한 형태의 골재와 혼화제가 사용되는데 각각의 재료들이 비균질적으로 혼합되어 있는 경우가 많은데 이와 같은 경우 초음파의 송수신에 반사/회절/에너지감소 등에 의해 오차가 발생한다. 또한 현장시험결과 표면상의 균열이 내부에서는 경사가 발생해 균열점의 균열의 끝단이 표면상의 위치와 다른 경우가 많았다. 이외에 온도, 습도, 측정시 표면정리, 측정압력, 균열부의 이물질에 따라 오차가 발생하므로 이에 대한 파라미터 연구가 필요하여, 그 결과는 향후 제품의 S/W 및 H/W 업그레이드에 지속적 반영되어야 할 것으로 판단된다.

2절 연구결과

1. 일체형 시스템 개발을 위한 기초연구

가. 콘크리트 대형 시험체 제작(1차년도)

1차년도(2007년 1월 - 2007년 6월 : 약 6개월) 연구개발목표인, 성능비교 최적장비 선정, 탐촉자 최적 거리선정, 초음파 파형분석을 통한 최적주파수 선정을 위해 수행될 실험을 위해 대형시험체를 콘크리트 강도별(2종), 균열깊이별로 제작 및 설치하였다.

나. 비교측정기기 선정실험

정확성 측면에서 TR300이 가장 우수한 결과를 나타냈으며, 사용편의성 측면과 정확성을 모두 고려할 때 TICO가 상대적으로 우수하였다.

다. 탐촉자 최적거리선정 시험

최적 탐촉거리로써 시제품의 소형화 규격을 고려할 때 $a=100$, $n=2$ 를, 측정의 정도를 고려할 때 $a=150$, $n=2$ 를 제시하였다.

라. 접촉매질 선정시험

접촉매질로 고무나 실리콘을 사용하는 경우 콘크리트와 탐촉자 사이를 완전하게 접합할 수 없었고, 초음파가 박막재질을 통과하면서 음파감쇄가 발생하는 것으로 측정되었다. 음파감쇄를 막기 위해서는 완전접합과 박막두께를 최소화하는 것이 중요하나, 장비사용여건상 박막이 너무 얇아지는 경우 사용성에 문제가 발생하므로, 박막을 이용한 접촉매질 대체는 상당한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단되며 본 연구에는 적용하기 다소 어려울 것으로 판단된다.

바. 수신파 파형분석

탐촉자 주파수별로 초동추출에 성공적으로 사용된 횟수는 37, 53, 82 kHz가 각각

8, 10, 7회로 나타났고, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

2. 1차년도 일체형 시스템 개발

가. 마이크로프로세서 개발

전원공급 장치(배터리), 승압회로, 트리거발생회로, 필터회로, 펄스 발생회로, 신호 차폐, 신호 가공 회로 장치에 대한 기본 프로토 타입을 개발하였다.

나. 소형 초음파 탐촉자개발

초음파 탐촉자는 4개의 압전소자를 사용하며 란주방타입으로 조립된다. 알루미늄 하우징 바닥에는 스크류 홀이 있어 4개의 압전 소자를 조립한 후 볼트를 사용하여 바닥에 고정시킨다. 초음파 탐촉자의 바닥면은 발생된 초음파가 모아질 수 있도록 콘 모양으로 제작되었으며 바닥에는 실리콘 카플런트를 끼울 수 있도록 홈을 만들었다.

다. 일체형 시스템개발

1차년도 기초연구결과에 근거하여, 길이 50cm, 폭 10cm, 높이 10cm의 기본 치수를 선정하였고, 탐촉자 최적거리 선정시험에 근거하여 내측 탐촉자 간격 20cm, 외측 탐촉자 간격 40cm로 설치하였다.

3. 3차년도 일체형 시스템 개발

가. 콘크리트 소형시험체 제작(2차년도)

콘크리트 인공균열 소형시험체는 1차년도 연구결과를 기초로 하여 제작되는 초음파 탐사기의 성능을 제작과 동시에 주관 및 협동연구기관에서 동시적 및 상호보완적으로 평가하고 이를 연구에 반영하기 위해서 추가적으로 제작되었다.

제작은 균열깊이별로 3개를 제작하였다.

나. 마이크로 프로세서 개발

2차년도에는 1차년도에 개발된 마이크로 프로세서 회로를 기반으로 하여 고압 펄스부와 수신 증폭부, 파형 정형부를 쌍으로 제작하고 마이컴 보드에서 결합 깊이를 계산하여 표출하도록 개선하였다.

또한, 마이컴을 사용하여 4개의 센서로부터 측정된 값으로부터 균열의 깊이를 측정하게 해주는 기능을 추가하였다. BS법에 의한 균열 깊이측정법을 사용하였으며, 측정 test 결과 계산식의 결과와 일치한 균열 깊이 값을 얻을 수 있었다.

다. 소형 초음파 탐촉자 개발

타사 초음파 탐촉자 2종과 자사(MKC코리아) 탐촉자 6종에 대한 분석 및 업그레이드 등을 통해 최적의 탐촉자를 개발 및 적용하였다.

라. 이중채널 주파수 결정

- (1) 포착된 초동시간이 대체적으로 계산치보다 늦게 나타난다. 이는 잡음레벨이 높은 관계로 잡음으로부터 초동과 신호를 포착하는 동작이 늦어지기 때문인 것으로 보인다.
- (2) 탐촉자의 면적이 넓을수록(3.5cm 이상) 신호레벨이 커진다.
- (3) 분해능의 우수성으로 인해 고주파 탐촉자(82kHz)가 정확한 초동의 포착에 유리하나, 신호/잡음비 정도에 영향을 받는다. 주행거리가 50cm 이상일 때는 저주파 탐촉자(37 kHz)가 양호하다.
- (4) 콘크리트 균열깊이 탐지에는 주행거리 25-40cm, 입사각 20° - 40° , $d=10\text{cm}$ 범위에서 양호한 탐사가 이루어진다.

마. 깊이계산식 결정

- (1) 대체적으로, 초동포착오차가 2us 일 때 균열 깊이에 1-2cm 오차, 4us 일 때 2-5cm 오차, 6us 일 때 3-5cm 이상의 오차를 보인다.
- (2) 초동포착 오차가 6us 이상이면 균열깊이 산정오차가 허용범위를 넘는다.
- (3) T_o , T_c 에 의한 오차가 T_1 , T_2 에 의한 오차보다 작으며, T_c 가 선형성이 가장 크다.
- (4) 균열깊이가 15cm 일 때가 5cm 일 때보다 오차가 작다.

바. 일체형 시스템 개발(2차 시제품)

1차 시스템에서 지적된 문제점들을 보완하기 위해서, 탐촉자 연결을 위한 잭을 별도로 연결하여 파라미터(신호분석, 거리별 테스트)를 분석하였다.

사. 성능시험

개발된 시제품의 성능을 테스트하기 위해서 마이크로프로세서 성능시험, 소형탐촉자 성능시험, 2차 시제품 성능시험을 수행하였다. 마이크로 프로세서 성능이 10% 내외 정도로 오차가 발생하였다. 탐촉자의 성능의 경우 최대 2%내외의 정도로 오차가 발생하였다. 2차 일체형 시스템의 경우 최대 7%내외의 오차가 발생하였다. 이상의 성능시험결과 탐촉자 성능은 대체적으로 성능을 만족하나 마이크로 프로세서 개발에는 추가적인 연구가 필요함을 알수 있었다.

4. 최종 일체형 시스템 개발 및 성능시험(2차년도: 2008년 7월 - 2008년 12월)

가. 일체형 시스템 개발(최종제품)

● 마이크로프로세서(아날로그부)

마이컴에 의한 제어방식을 위해 단순하게 회로를 조정하였으며, 수신부 회로를 개선함으로 S/N 비를 향상시킴으로 회로 잡음제거와 정형회로를 제거하고 고유의 RF 신호를 마이컴 부로 보내어 결합깊이를 계산하고 표출하도록 개선하였다.

● 마이크로프로세서(디지털 부)

잡음의 영향 가운데 있는 이러한 미약한 초동 신호를 비교기 회로를 사용하여 전자적으로 잡아내는 데에는 한계가 있다. 실험결과 측정값의 안정성을 위해 비교기를 사용한 기존 설계방식과 다른 접근법의 필요성이 대두되었다. 잡음에 묻혀있는 미약한 초동신호를 정확히 잡아 내기위해 초음파신호를 디지털화한 후 프로그램 상에서 인식 알고리즘을 적용하여 초동의 위치를 찾아내는 방식을 사용한 결과 비교적 안정적인 값을 얻을 수 있었다.

나. 소형 초음파 탐촉자

마이크로프로세서와 탐촉자를 일체화시키는 작업중, 탐촉자의 초음파 신호가 콘크리트의 내부를 전파하는 것이 아니라, 본체를 타고 흐르는 현상이 발생하였다. 따라서 이와같은 문제점을 해결하기 위해서 탐촉자와 본체간에 감쇠율이 큰 매개물질을 2중으로 설치함으로써 초음파 신호의 역행현상을 해결하였다.

다. 성능시험

소형 콘크리트 시험체를 통한 파형분석시험, 다점측정시험과 대형콘크리트 시험체를 통한 무근 및 배근 콘크리트 시험체 시험을 통해서 최종 개발 시제품의 성능을 시험하였다. 소형콘크리트 시험체의 경우 2%-6%정도의 오차를 발생시켜 비교적 정확한 균열깊이를 측정할수 있었다.

대형시험체의 경우 무근의 경우 3%-7%의 오차가 발생하여 소형시험체와 유사한 결과를 나타냈다. 철근배근 시험체의 경우 철근배근의 각도에 따른 측정값의 변화량은 없었고, 콘크리트 균열이 철근까지 진전되지 않는다는 전제하에서 최대 8%의 오차가 측정되었다.

현장코어시험 결과 오차가 실제 균열깊이 대비 0.37cm-1.3cm가 발생하였다. 콘크리트 구조물의 경우 다양한 형태의 골재와 혼화제가 비균질적 혼합, 경사방향 균열에 따른 표면과 내부의 균열위치 차이 등으로 오차, 온도, 습도, 측정지점의 표면정리상태, 측정압력 등 여러가지 원인으로 오차가 발생되었는데 이에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

5. 보완사항 및 향후 연구계획

가. 내구성 향상 및 검증

본 연구 과제인 콘크리트 크랙 깊이 측정 장비를 개발하는데 있어 현장에서 사용 시 실제 상황에서 어느 정도의 내구성을 갖는지를 확인하기 위하여 낙하 시험을 하였다. 시험은 일반적인 측정(작업자가 장비를 휴대하고 이동하는 높이, 또는 측정시 액정판을 통해 치수를 읽는 높이)을 기준으로 하여 약 1.5 - 2 미터의 높이를 선택해서 측정기를 떨어뜨렸을 때를 흙으로 떨어지는 경우와 콘크리트 바닥으로 떨어지는 경우를 나누어 장비를 시험하였다. 낙하충격시험은 낙하 후 장비의 작동여부와 파손여부를 집중적으로 분석하였다.



낙하 충격 시험



배터리부 파손



탐촉자부 충돌발생



몸체단부 충돌발생

사진 3.2.5.1 낙하실험 및 측정기 파손형태

실험결과, 흠으로 떨어지는 상황을 약 20회 실시하였으나 플라스틱 하우징에는 별 손상을 주지 않는 것으로 나타났다. 기기도 정상적으로 작동되며 LCD 부 내부의 회로에는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 반면에 아랫면에 있는 배터리 카바 부분은 약한 충격에도 하우징에서 탈락되는 것으로 나타났다.

콘크리트 바닥으로 떨어지는 상황을 측정기가 떨어지는 방향을 바꾸어가며 시연하였는데 결과는 비슷하게 배터리 카바가 탈락되는 문제가 나타났다. 하우징 내부와 LCD 및 조작 패널 부분은 거의 손상되지 않는 것을 알게 되었다. 또한 플라스틱 하우징의 양끝이 외형적으로 많이 손상되었고 탐촉자 부분도 외형상으로는 손상되었으나 전체적으로 깨어지거나 뒤틀리는 상황은 일어나지 않았고 기기의 작동에는 없어 측정기를 사용하는 데는 문제가 없는 것으로 보인다.

이상의 낙하시험결과, 최종 개발된 일체형 시스템의 충격 시 장비의 작동의 안정성, 장비의 구조적 강성 및 강도를 높이기 위해서 시스템의 본체 주요부에 대해서 몇 가지 보강을 실시하였다.

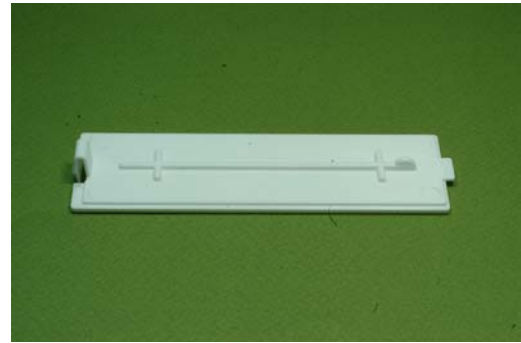
첫째, 충격으로부터 배터리 캡이 파손되어 시스템 내부로 이물질이나 물이 침투되는 것을 막도록 하였고, 충격으로부터 내부 배터리의 이동 및 탈락을 막기 위해 배터리를 고정시켜주는 스크류로 고정하는 장치를 추가하였다.

둘째, 화면 표시부(액정부)와 이와 연결된 마이크로 프로세서부가 외부 충격으로부터 파손, 이동, 함몰 되는 것을 막을 뿐만 아니라, 본체 전체가 휘어지는 것을 구조적으로 방지하기 위해서 본체 액정부 하단에 횡방향 가로부재를 삽입하였다.

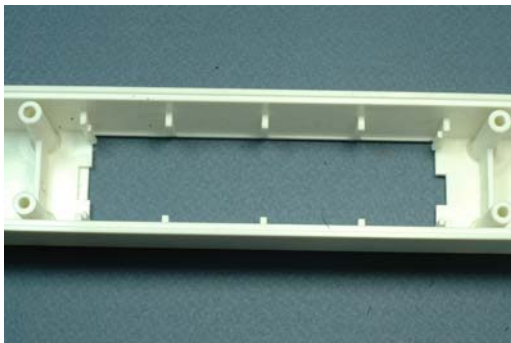
셋째, 낙하시 충격돌이 많이 발생하는 측정기 양끝에 고무재질의 캡을 끼워 충격을 흡수할 수 있는 장치를 추가하였다. 이상의 보강사항을 나타내면 그림 3.2.5.2과 같다.



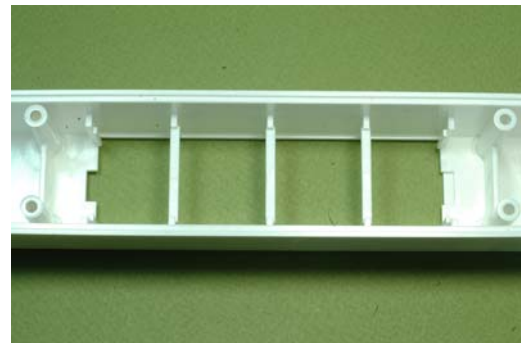
배터리캡(보강 전)



배리티캡(보강 후)



몸체 내부(보강 전)



몸체 내부(보강 후)



배터리캡(보강 전)



배리티캡(보강 후)

사진 3.2.5.2 구조적 강도 및 내구성 보강

나. 제품화를 위한 소요경비 및 홍보

최종 일체형 시스템의 향후 판매를 위한 제작경비 및 소요경비에 대한 사항을 정리하였다. 제작경비로는 크게 금형(사출포함)과 내부장비 부품비, 기타비용으로 구분할 수 있으며, 소요경비로는 인건비, 사후 AS비용, 기업이윤으로 구분하였으며, 각각의 항목별 내용을 정리하면 표 3.2.5.1과 같다.

표 3.2.5.1 일체형 시스템 경비관련 분석표

Ultracon-140(일체형 시스템) 초음파 콘크리트 크랙 깊이 측정기 가격 산출표			
구 분 내 역	총 제작 비용(원)	개별 비용(원)	비고
금 형	₩35,000,000	₩175,000	디자인, 도면, 제작, 샌딩,
하우징 사출/코팅	2,000,000	10,000	PC 재질 사출 후 고무 코팅
탐촉자 (4개)	80,000,000	400,000	압전소자, 보호 지연재, 무계추,
전자 부품	30,000,000	150,000	고압트랜스, 다이오드, LCD, LCD 드라이버, 마이컴 IC 증폭 IC, 백라이트
탐촉자 장착 링	20,000,000	100,000	외부 홀더, 내부 홀더, 스프링
휴대용 가방	4,000,000	20,000	
아크릴 블록	14,000,000	70,000	500 x 100 x 25 mm 인공 크랙 1개
카플런트	2,000,000	10,000	실리콘 그리스, 120 그램 튜브 타입
광고/인쇄 비용	10,000,000	50,000	브로셔 1000장, 포스터 제작, 전시회 3회 참가
제작 인건비	60,000,000	300,000	1.5일 소요
사후 서비스 비용	40,000,000	200,000	교육 및 수리 2회 예상 시
기업/판매 이윤	300,000,000	1,500,000	
합 계(판매 예상 가격)	562,035,000	2,985,000	
# 200개 제작 시 기준(2008년 말 기준)			

※ 자체분석에 의한 자료이므로, 실제 제작에 있어 오차가 있을 수 있음.

본 연구를 통해서 개발된 초음파 크랙(균열) 측정기는 현재 자체테스트와 모형실험(소형, 모형 시험체)과 실외 현장실험을 지속적으로 수행하고 있으며, 제품홍보와 판매를 위해 제작 업체 홈페이지(www.mkckorea.com)와 카달로그를 제작하여 제품홍보에 최선을 다하고 있다.

초음파 크랙 깊이 측정기 Ultracon-140



현대에는 콘크리트 건물이 많이 존재하며 아주 이상적인 건축물로 각광을 받고 있습니다. 하지만 여러 가지 요인에 의하여 콘크리트에 크랙이 발생하게 되는데 외부에서는 크랙의 깊이가 육안으로 관찰되지 않으므로 오래 전부터 초음파를 이용한 크랙 깊이 측정 방법이 사용되어 왔습니다. 초음파의 전달 시간은 초음파가 진행한 거리에 비례하므로 알은 크랙에서 보다 깊은 크랙에서의 초음파 전달 시간이 길어지게 됩니다. 이를 이용한 초음파 측정이 보편적으로 사용되기는 하였지만 콘크리트 표면에 푸루브 간의 거리를 표시하고 근거리와 윗거리에서의 측정값을 구한 후 공식에 의하여 계산을 하게 되므로 시간이 많이 소요될 뿐 아니라 여러 가지 변수에 의해 측정값이 부정확해지는 경우가 있어 왔습니다.

Ultracon-140은 높은 전압을 송신 탐촉자에 가하여 초음파가 발생하게 하고 이 에너지는 콘크리트 내에 있는 크랙의 하단부를 지나 수신 탐촉자로 전달됩니다. 콘크리트 내부의 크랙이 있을 때 초음파의 전달 시간은 짧고 반대로 크랙이 깊을 때 초음파의 전달 시간은 길어지게 됩니다.

Ultracon-140은 두 개의 펄서와 두 개의 리시버, 4개의 탐촉자 및 마이컴 회로를 사용하므로 초음파의 전달 시간을 정확하게 측정하는 물론 측정기를 검사물에 접촉하는 순간 관 크랙의 깊이를 볼 수 있게 합니다.

Ultracon-140은 국토해양부의 "신기술 개발 사업"의 일환으로 정부 출연금의 보조를 받아 에스큐엔지니어링에서 엠케이씨코리아, 지오솔로비스와 공동으로 개발한 장비입니다.

Ultracon-140 초음파 크랙 측정기의 특징

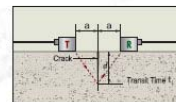
- 콘크리트에 발생된 크랙의 깊이를 자동으로 측정하여 디스플레이
- 4개의 푸루브가 장착되어 한 명의 연직선으로 크랙 측정 작업 가능
- 내장된 충전용 배터리를 사용하므로 휴대와 사용이 간편하며 각 푸루브 간 초음파 전달 시간을 확인할 수 있도록 하여 실수로 인한 오류 측정 방지 가능
- 간접법에 의한 콘크리트 표면에서의 초음파 전달 시간 측정

Ultracon-140 1/2

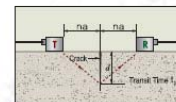
초음파 크랙 깊이 측정기 Ultracon-140

Ultracon-140 초음파 크랙 측정기의 측정 원리

Ultracon-140의 측정 방법은 수정된 BS-408에 근거한 것입니다. 이 측정 방법에서는 2개의 푸루브로 가까운 거리와 먼 거리 두 곳을 측정한 후 공식에 의하여 계산을 하게 되는데 Ultracon-140은 마이컴에 의해 모든 작업이 순식간에 이루어지므로 측정과 동시에 측정값을 볼 수 있게 합니다.



BS-408에 의한 근거리 측정



BS-408에 의한 윗거리 측정

Ultracon-140 기본 구성

- 초음파 측정기
- 본체 휴대용 케이스
- 초음파 카뮬런트
- 기준 시험편
- 배터리 충전기 및 전원 코드
- 사용설명서

Ultracon-140 기본 사양

- 크랙 측정 범위: 5 mm - 150 mm
- 디스플레이: 4 1/2행 Digit
- 커넥터: XTR™
- 사용 온도: -10~50°C
- 전원: 4 x AA 알칼라인 혹은 충전용 배터리
- 배터리 사용 시간: 5시간 이상
- 크 기: 460(W) x 70(H) x 45mm(D)
- 무 게: 1.8kg (배터리를 포함한 본체)



152-759 서울 구로구 구로동 189-1번지 KCCOX 벤처센터 601호
TEL: 82-2-804-3600, 3636 FAX: 82-2-893-0468
Web: www.mkckorea.com Email: ndi@mkckorea.com

* Specifications are subject to change without notice

Ultracon-140 2/2

사진 3.2.5.3 제작 완료된 제품홍보용 카달로그

다. 균열-탐촉자간 거리 오차의 영향

한국시설안전기술공단 2002년 12월 “콘크리트 및 강재 비파괴 시험 평가 검증방안연구”의 내용을 살펴보면, 균열-탐촉자간 거리오차로 인해 균열깊이 산출에 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 공단 연구에서는 탐촉자 기점을 탐촉자 앞면, 앞면으로부터 9mm, 탐촉자 중앙으로 3가지의 경우에 탐촉자의 위치를 변경하면서 시험을 수행하였고, 실험결과 탐촉자 앞면으로부터 탐촉자 중심방향으로 움직임에 따라 균열깊이 추정치는 실제값에 비해 작은 결과를 나타냈다. 따라서 계측장치에 대해서는 탐촉자의 기점을 탐촉자 중심으로 설정하는 것은 타당하지 않고, 탐촉자 전면으로부터 9mm내측에 들어오는 것으로 하는 것이 바람직하다고는 결론을 내고 있다.

본 연구에서 개발되는 일체형 탐촉자는 수직균열을 위해서는 균열-탐촉자 거리 a 를 고정하여 측정시 개인별로 발생할 수 있는 잘못된 거리측정에 의한 오차를 없애므로써 정확도를 개선하였다.

참고 문헌:

“콘크리트 및 강재 비파괴 시험 평가 검증 방안연구”, 한국시설안전기술공단, 2002년 12월, pp.25-pp.31참조

라. 커플란트 개발 연구

본 연구에서는 커플란트(액상의 구리스) 대체물질을 찾기 위해 노력을 기울였으나 유사한 성능을 주는 대체물질을 찾지 못하였다. 이는 독립된 연구분야로 장기적으로 연구가 필요한 분야로 보였다. 이와 관련된 연구자료는 다음과 같다.

“접촉식 초음파 시험에서 접촉매질의 영향에 관한 고찰”, 이성식외 4인, 1994, KAIST

“초음파 속도 측정에 있어서 접합매체로 인한 오차보정연구”, 김영실, 1993, 이화여자대학교

마. 개발장비 장비성능비교 및 실내외실험

본 연구를 통해 개발된 최종 장비에 대해서 기존장비들과의 비교성능실험을 수행하였다. 비교성능시험은 소형시험체, 대형시험체, 실제 현장으로 구분하여 시험하였고, 측정 결과는 분석 후 DataBase구축을 통해서 향후의 장비 업그레이드 및 개발에 적용토록 하였다. 이상의 실험내용을 정리하면 그림 3.2.5.1과 같다.

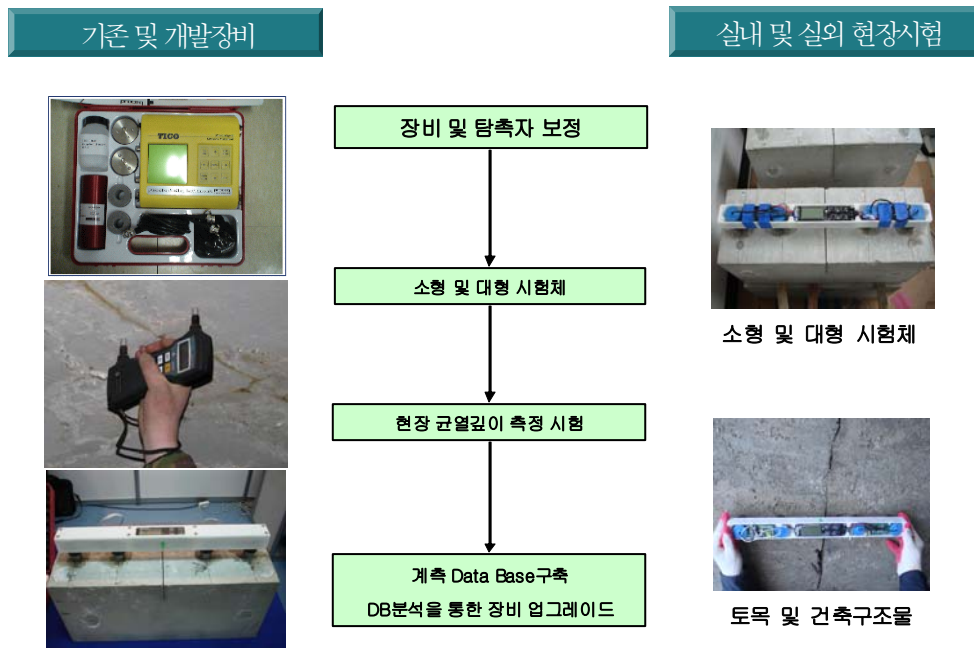


그림 3.2.5.1 향후 장비 개발 및 업그레이드 계획

(1) 소형시험체 성능시험

콘크리트 균열깊이 소형시험체를 대상으로 본 연구 개발장비와 TICO(영국), UK-401(러시아) 장비를 대상으로 성능시험을 수행하였다. 개발장비와 UK-401는 내장프로그램을 이용하여 균열깊이를 바로 계산하였고, TICO는 내측과 외측의 초음파시간을 측정하여 BS법을 사용하여 균열깊이를 계산하였다. 성능시험 결과는 표3.2.5.2와 같다.



실험횟수	개발장비	TICO	UK-401
1회	51mm	52.4mm	88mm
2회	45mm	51.9mm	86mm
3회	52mm	52.7mm	84mm
평균	49.3mm	52.3mm	86mm

표 3.2.5.2a 소형시험체(균열깊이 50mm) 개발장비 성능시험



실험횟수	개발장비	TICO	UK-401
1회	110mm	137mm	81mm
2회	92mm	136mm	77mm
3회	114mm	137mm	79mm
평균	105.3mm	137mm	79mm

표 3.2.5.2b 소형시험체(균열깊이 100mm) 개발장비 성능시험



실험횟수	개발장비	TICO	UK-401
1회	156mm	468mm	99mm
2회	171mm	797mm	101mm
3회	-	389mm	107mm
평균	163.5mm	551mm	102.3mm

표 3.2.5.2c 소형시험체(균열깊이 150mm) 개발장비 성능시험

콘크리트 소형시험체에 대해서 3개사 제품의 성능을 비교 테스트한 결과, 균열깊이 50mm 시험체의 경우 본 개발장비는 평균오차가 1.4%, TICO의 경우 4.7%, UK-401의 경우 72%의 오차가 발생하였다. 균열깊이 100mm 시험체의 경우 본 개발제품의 경우 약 5.3%, TICO의 경우 35%, UK-401의 경우 14%오차가 발생하였다. 균열깊이 150mm 시험체의 경우 본연구개발제품의 경우 약 9%, TICO의 경우 256%, UK-401의 경우 31.8% 오차가 발생하였다.

이상의 결과로 부터 본 연구개발제품은 균열깊이 50mm-150mm내에서 안정된 결과값을 나타냈으나, 균열깊이가 증가할수록 오차율이 다소 증가하는 현상을 나타냈으나 최대 10% 내의 오차율을 나타냈다. 현재 현업에서 많이 사용하고 있는 TICO장비의 경우 균열깊이가 증가할수록 오차율이 급격히 증가하는 현상을 나타냈고, 균열깊이가 50mm이상에서는 측정 신뢰도가 급격히 떨어지는 문제점을 보였다. UK-401는 횡파를 이용한 측정장비로 최대 25mm까지를 측정범위를 가지는 장비로 제품스펙상에 기록되어 있어서 본 실험에 사용된 시험체가 측정범위를 벗어나므로 측정값의 정도를 평가하기에는 다소 무리라고 판단된다.

(2) 대형시험체 성능시험

콘크리트 균열깊이 대형시험체를 대상으로 본 연구 개발장비와 TICO(영국), UK-401(러시아) 장비를 대상으로 성능시험을 수행하였다. 대형시험체는 2007년 2월에 제작을 완료하여 현장(서울시립대)에 약 2년 거치된 상태로 보관되고 있어서, 온도, 습도, 먼지 등의 악조건에 상당기간 노출되어 있어 현장여건과 상당수 유사하다고 볼수 있다. 개발장비와 UK-401는 내장프로그램을 이용하여 균열깊이를 바로 계산하였고, TICO는 내측과 외측의 초음파시간을 측정하여 BS법을 사용하여 균열깊이를 계산하였다. 성능시험 결과는 표 3.2.5.3와 같다.

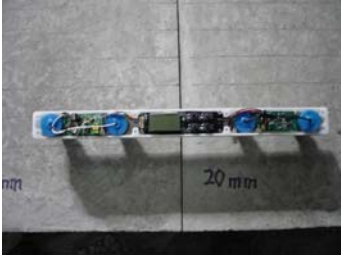
	실험횟수	개발장비	TICO	UK-401
	1회	23mm	26mm	20mm
	2회	24mm	20.5mm	21mm
	3회	24mm	22mm	22mm
	평균	25mm	22.8mm	21mm

표 3.2.5.3a 대형시험체(균열깊이 20mm) 개발장비 성능실험

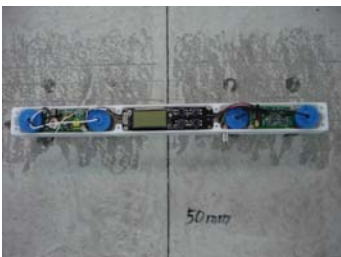
	실험횟수	개발장비	TICO	UK-401
	1회	51mm	54.6mm	81mm
	2회	52mm	52.6mm	82mm
	3회	52mm	53.5mm	79mm
	평균	52mm	53.6mm	81mm

표 3.2.5.3b 대형시험체(균열깊이 50mm) 개발장비 성능실험

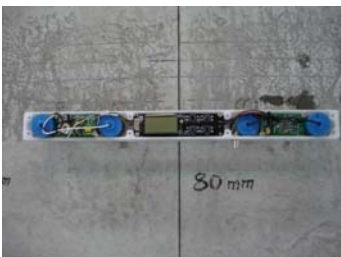
	실험횟수	개발장비	TICO	UK-401
	1회	74mm	74mm	81mm
	2회	91mm	76mm	77mm
	3회	-	77mm	78mm
	평균	82.5mm	75.6mm	79mm

표 3.2.5.3c 대형시험체(균열깊이 80mm) 개발장비 성능실험

콘크리트 대형시험체에 대해서 3개사 제품의 성능을 비교 테스트한 결과, 균열깊이 20mm 시험체의 경우 본개발제품의 평균오차가 18%, TICO의 경우 14%, UK-401의 경우 5%의 오차가 발생하였다. 균열깊이 50mm 시험체의 경우 본연구개발제품의 경우 약 4.0%, TICO의 경우 7.2%, UK-401의 경우 62%오차가 발생하였다. 균열깊이 80mm 시험체의 경우 본연구개발제품의 경우 약 3.1%, TICO의 경우 5.5%, UK-401의 경우 1.3%오차가 발생하였다.

이상의 결과로 부터 본 연구개발제품은 콘크리트 재령이 2년정도 소요된 경우 균열깊이 20mm에서 다소 오차가 많이 발생했으나, 균열깊이 50mm, 80mm내에서 안정된 결과값을 나타냈다. 현재 현업에서 많이 사용하고 있는 TICO장비의 경우 또한 본사에서 개발된 장비와 유사한 결과값을 나타냈다. UK-401는 횡파를 이용한 측정장비로 최대 25mm까지를 측정범위를 가지는 장비로 균열깊이 20mm에서 가장 정확한 값을 나타냈으나, 균열깊이가 증가할수록 오차율이 급격히 증가하는 경향을 나타냈다.

(3) 현장 성능시험

콘크리트 현장을 대상을 본 연구 개발장비와 TICO(영국), UK-401(러시아) 장비를 대상으로 성능시험을 수행하였다. 개발장비와 UK-401은 내장프로그램을 이용하여 균열깊이를 바로 계산하였고, TICO는 내측과 외측의 초음파시간을 측정하여 BS법을 사용하여 균열깊이를 계산하였다. 성능시험 결과는 표3.2.5.4와 같다.



실험횟수	개발장비	TICO	UK-401
1회	17mm	22mm	21mm
2회	16mm	25mm	20mm
3회	19mm	21mm	21mm
평균	17mm	23mm	21mm

표 3.2.5.4a 현장시험1 개발장비 성능실험



실험횟수	개발장비	TICO	UK-401
1회	39mm	45mm	81mm
2회	44mm	44mm	77mm
3회	38mm	40mm	79mm
평균	41mm	43mm	79mm

표 3.2.5.4b 현장시험2 개발장비 성능실험

현장의 실제시험을 균열폭이 작은 경우와 균열폭이 다소 큰 경우로 2가지로 나누어서 시험을 실시하였다. 균열깊이를 알수 없는 상태에서 3가지 장비의 상호성능을 테스트하였다. 첫번째 균열폭이 작아 상대적으로 균열깊이가 적을 것이라고 판단되는 경우에는 개발장비가 UK-401과 유사한 결과값을 나타냈고, 균열폭이 다소 커 균열깊이가 깊을 것이라고 판단되는 경우에는 개발장비가 TICO와 유사한 결과를 나타냈다. 이상의 결과를 부터 정확히 균열깊이를 비교할수는 없었지만, 측정결과로부터 본 개발장비가 균열깊이가 작은 경우(20mm이하)와 다소 큰 경우(균열깊이 50mm)이상의 경우에도 신뢰성 있는 결과값을 나타낼 수 있었다.

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

1절 연구개발목표 달성도

1. 연구목표 및 연구계획

연차	연구목표	주요연구계획
1차년도	- 이중채널 탐촉자 시스템을 위한 적정주파수 실험·분석	- 콘크리트 모형실험에 의한 최적거리선정 - 콘크리트 최적 주파수 선정
	- 박판보호막 재질 결정을 위한 실험·분석	- 국내외 Protective Membrane 제작사의 제품성능 실험 및 적정성 검토
	- 깊이계산식 분석	- 선택된 주파수, 보호막, 표준 모형 등에 적합한 깊이계산 분석
2차년도 (당해연도)	- 이중채널 탐촉자 시스템을 위한 적정주파수 결정	- 이중채널 시스템에 사용 될 두 개의 주파수 선정 (내측 및 외측 탐촉자 주파수) - 소형화 및 경량화된 탐촉자 개발
	- 박판보호막 재질 결정	- 1차년도 연구결과 중 적정성 검토반영
	- 깊이계산식 결정	- 선택된 주파수, 보호막, 표준모형 등에 적합한 깊이계산 결정 - Tc-To법, BS-4408법 또는 회절신호의 신뢰도에 따른 가중치를 포함한 혼합형으로 구성
	- 마이크로프로세서 회로개발	- 상기 연구에 의해 결정된 이중채널 처리절과 및 깊이 계산식에 부합하는 마이크로프로세서 회로개발
	- 일체형 시스템 시제품 개발 - 성능분석 및 개량 - 상품화	- 상기 이중채널 시스템의 본체부 및 탐촉자를 포함하는 일체형 시제품 개발 - 소형 탐촉자 외주 제작 - 모형실험, 현장코어시험, 깊이 계산치 비교 - 규격 등 하드웨어 개량 - 제품 디자인 - 상품생산 - 시판을 위한 메뉴얼 및 카탈로그 제작

2. 연구목표 및 연구 성과

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	○ 이중채널 탐촉자 시스템을 위한 적정주파수 실험 · 분석	- 콘크리트 모형시험 ① 인공균열 시험체 제작 ② 측정장비 선정 시험 ③ 탐촉거리 선정 시험 - 탐촉주파수 분석
	○ 박판보호막 재질 결정을 위한 실험 · 분석	- 박판보호막 제작 및 수집 - 박판보호막 파형분석 실험(직접법) - 콘크리트 모형시험에 의한 박판보호막 성능시험(간접법) - 실험결과분석을 통한 박판보호막의 적용성 검토
	○ 깊이계산식 분석	- 2차년도로 연기
2차년도 (당해년도)	○ 이중채널 탐촉자 시스템을 위한 적정주파수 결정	- 균열깊이별, 측정거리별, 주파수변화별 초음파 파형 분석
	○ 깊이계산식 결정	- 주파수, 보호막 모형실험 data 분석을 통한 적합 깊이 계산식 결정 - Tc-To법, BS-4408법 또는 반사신호의 신뢰도에 따른 가중치를 포함한 혼합형 계산식 결정
	○ 박판보호막 재질 결정	- 1차년도 연구결과 중 적정성 검토반영
	○ 마이크로프로세서 회로 개발	- 결정된 이중채널 처리절차 및 깊이 계산식에 부합하는 마이크로프로세서 회로개발 - 초동신호 인식 개선 알고리즘 개발 및 적용(인공지능개념적용)
	○ 일체형 시스템 시제품 개발	- 소형화 및 경량화된 초음파 탐촉자 개발 - 이중채널 시스템의 본체부 및 탐촉자를 포함하는 일체형 시제품 개발 - 초음파 탐촉자는 외주 제작
	○ 성능분석 및 개량	- 모형실험(소형 시험체, 대형시험체) - 현장코어시험 - 하드웨어 개량
	○ 상품화	- 제품 디자인 - 시판을 위한 제품 및 카탈로그 제작 - 상품 생산

3. 당해연도 연구목표치 대비 실적치

연구목표	성과지표	목표치	실적치	성과물 명칭
이중채널 탐측자 시스템을 위한 적정주파수 결정	기술수준 향상도	적정주파수 케이스 분석	초동오차분석 12가지	관련 연구 보고서
깊이계산식 결정	기술수준 향상도	깊이계산식 케이스 분석	깊이계산식 분석 (Tc-To법 2가지, BS법 2가지)	관련 연구 보고서
마이크로프로세서 회로개발	기술수준 향상도	깊이계산식 프로그래밍 & 초동인식 개선 알고리즘 개발	BS법에 의한 깊이계산식 내장 & 초동인식 개선 알고리즘 개발 및 프로그래밍	관련 연구 보고서
일체형 시스템 시제품 개발	기술수준 향상도	소형 경량화 탐측자 개발 & 시제품개발	1차 시제품(2007년 5월) 2차 시제품(2008년 3월)	1차, 2차 시제품 (보고서 사진 참조)
성능분석 및 개량	기술수준 향상도	소형모형체 시험 대형시험체 시험 현장코어시험	소형모형체 시험 총 27회 (3가지 종류 각각 9회씩) 대형시험체 시험 총 54회 (6가지 종류 각각 9회씩) 현장코어시험 총2회	관련 연구 보고서
상품화	기술개발에 의한 비용절감 효과	일체형 시스템 개발	3차 시제품(최종 시제품) 2008년 10월 기존 탐측자에 비해 크기 50%, 무게 50%이상 축소	최종 시제품

4. 당해연도 연구개발 주요내용

연 차	연구 내용	연구 결과
2차 년도	이중채널 탐촉자 시스템을 위한 적정주파수 결정	(1) 타사 및 자체 제작 탐촉자 분석탐촉자 타사 탐촉자 분석(2종) 자체 제작 탐촉자 분석(6종) (2) 이중채널 주파수 결정 균열깊이 3종, 측정거리 4종, 탐촉자 4종 각 5회, 총 240회 측정실험
	마이크로프로세서 회로개발	(1) 2차 마이크로프로세서 개발 최초 구성한 회로를 2개의 펄스부와 2개의 리시버부를 개선하였으며 신호를 잡음을 제거하고 정형하여 마이컴부로 보내어 결합 깊이를 계산하고 표출하도록 하드웨어 부분을 제작 (2) 3차 마이크로프로세서 개발 마이컴에 의한 제어방식을 위해 단순하게 회로를 조정하였으며, 수신 부 회로를 개선함으로 S/N 비를 향상시킴으로 회로 잡음 제거와 정형회로를 제거하고 고유의 RF 신호를 마이컴 부로 보내어 결합깊이를 계산하고 표출하도록 개선
	깊이계산식 분석	(1) Tc-To의 시간지연에 따른 깊이계산시 오차분석 (12회 분석) (2) MBS의 시간지연에 따른 깊이계산시 오차분석 (12회 분석)
	성능분석 및 개량	(1) 2차 시제품 마이크로 프로세서 성능시험(72회) 소형탐촉자 성능시험(72회) (2) 3차 최종시제품 마이크로 프로세서 성능시험(72회) 소형탐촉자 성능시험(72회) 일체형 시스템 성능시험(400회 이상)
	상품화	(1) 2차 시제품제작 (2) 3차 시제품제작(최종 개발품)

5. 연구개발 목표의 달성도

목 표	달성도(%)	내 용
깊이계산식 결정	100	1) Tc-To법 분석 2) MBS(Modified british Standard)법 분석
마이크로프로세서 회로개발	100	1) 디지털 신호분석 시스템 개발 2) 초동신호 분석 알고리즘 개발 (인공지능 기법 적용)
일체형 시스템 시제품 개발	100	1) 1차, 2차 시제품 제작 2) 최종 시제품 제작(3차 시제품)
성능분석 및 개량	95	1) 소형 모형 시험체 시험 2) 대형 모형 시험체 시험 3) 현장코어시험
상품화	95	1) 매뉴얼 및 카달로그 제작 2) 제품 디자인 개선 3) 상품 생산

2절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 측면

- 균열로 인한 콘크리트 구조물의 성능저하특성에 따른 분석 및 자료 축적
- 실용적이며 체계적인 균열평가로 실무 적용성 향상
- 차후 균열평가시스템 개발로 관련 기술 분야의 국가 경쟁력 향상
- 콘크리트 구조물의 보수 및 보강시의 기초자료로 활용
- 초음파 비파괴검사 시스템 및 콘크리트의 비파괴검사방법의 개선
- 장기공사 중 및 유지관리 시 계측을 통하여 균열로 인한 구조물의 역학적 특성을 파악하여 콘크리트 구조물의 안전성 판단에 활용
- 시공단계별로 발생된 균열측정을 통하여 공정별 구조해석에 적용
- 균열 측정 자료를 유지관리기술에 적용
- 국내 계측/안전진단 업체의 기술개발유도로 기술수준 및 경쟁력 향상
- 정확한 균열손상상태 파악으로 저비용 고효율의 콘크리트 유지관리 기술력 확보
- 콘크리트 균열계측은 1인 작업이 가능하도록 발전

2. 사회·경제적 측면

- 구조물 안전에 대한 신뢰성 회복과 국가 이미지 제고
- 개선된 성능과 충분한 잔존수명을 갖는 콘크리트 구조물의 유지
- 대형붕괴사고를 사전에 방지하여 인명과 재산피해 발생 예방
- 균열의 정량적 평가로 콘크리트 구조물 사용자에게 신뢰성 있는 기술서비스 제공
- 합리적인 균열 단면평가로 과도한 보수 및 보강 비용의 절감
- 균열로 인한 하자의 사전방지로 불필요한 보수비용 절감
- 사회간접시설의 사용연한 증가 및 유지관리비용 절감
- 국내 균열계측기술의 자립화 및 국제화 유도

- 선진외국의 기술 의존도를 탈피하여 기술 선진국과 동등한 수준에 도달
- 계층업계의 수익성 및 기술개발 촉진에 기여

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1절 추가연구의 필요성

- 균열측정 시 균열의 모든 제원(폭, 길이, 깊이, 진행각도)을 동시에 측정하는 계측시스템 개발
- 균열의 제원을 정량화하여 3차원 형상을 이용하여 균열형상의 시각화
- 균열의 시간에 따른 변형상태를 3차원으로 시각화하며, 구조물에 대한 균열의 역학적 영향력을 분석하는 기법 개발
- 구조물의 손상(균열 포함)을 통합적으로 관리하는 프로그램 개발

2절 타 연구에의 응용

- 사회기반시설물의 안정된 사용성의 보장으로 산업발전에 기여
- 정확한 균열 측정과 유지보수비용 절감으로 유지보수업체의 수익성 증가
- 계측장비 생산과 초음파계측기술 향상으로 계측기생산업체의 수익 향상
- 계측 모니터링 분야와 관련된 IT기술 분야의 동반기술 상승효과와 사업 창출효과 기대

3절 연구결과의 기업 활용방안

1. 참여기업의 현황분석

(업체현황)

에스큐엔지니어링(주)는 토목공학1을 전공한 이래철 박사와 석박사급 인력이 주축이 되어 1998년 6월 설립한 회사이다. 회사관련 기본사항은 다음과 같다.

주소: 서울 송파구 가락동 160-11 드림빌딩

전화: 02-400-5200

업종: 안전점검 및 안전진단 (표준산업분류번호: 742104)

사업자등록번호: **내용삭제**

벤처기업 확인서 발급: 서울지방 중소기업청

주요생산품목: 토목 안전진단 서비스

에스큐엔지니어링(주)은 토목 관련 안전점검 및 안전진단 전문업체로서 초음파를 이용한 콘크리트 균열 깊이 측정기와 관련된 기술을 보유하고 있으며, 특히 기존의 측정기가 가지는 단점을 보완하는 구조설계를 통해 사용자의 편의성을 증대시키고, 측정의 신뢰성을 확보할 수 있는 구조와 관련된 특허를 보유하고 있다. 자체적인 사업아이디어를, 기존의 사업을 기반으로 하여 사업화하고자 한다.

(경영 분야)

에스큐엔지니어링(주)의 2004년 매출은 43.5억원(순이익 1.5억원)이고 자본금은 8억원이다. 에스큐엔지니어링(주)의 주요 매출은 토목 안전진단에서 대부분 이루어진다. 현재 대표이사인 이래철 박사는 2000년부터 회사를 경영하고 있으며, 최근 3년간 매년 1.5억원 정도의 흑자를 기록하고 있고, 현재 이익잉여금이 4.5억원 정도 회사에 유보되어 있다. 동사는 동일업종 내에서 주도적인 위치를 확보하고 있는 회사로 현재의 업종에서 안정적으로 운영되고 있다.

(연구개발 분야)

2000년 3월 한국산업기술진흥회로부터 부설연구소 설립을 인증 받았고, 2002년 6월에는 병역 특례업체로 지정받았다. 2002년 3월에는 미국 MIT NDE Lab.(MIT 비파괴평가 연구실)과 공동연구 협정을 체결, 비파괴 검사관련 기술을 연구하였다.

그 밖에 본 연구소의 연구개발실적으로는 토목구조, 항만분야, 균열계측에 관한 연구를 진행하여 다음과 같은 지적재산권으로 보유하고 있다.

구조해석에 관한 완료된 프로그램 개발은 다음과 같다.

- 비등방성 3차원 구조체의 탄성해석 (등록번호: [내용삭제])
- 직교이방성 판형구조의 좌굴해석 프로그램 (등록번호 [내용삭제])
- 직교이방성 판형구조의 동적해석 프로그램 (등록번호 [내용삭제])
- 이동하중을 고려한 박스형 교량의 3차원 동적해석 프로그램 (등록번호 [내용삭제])

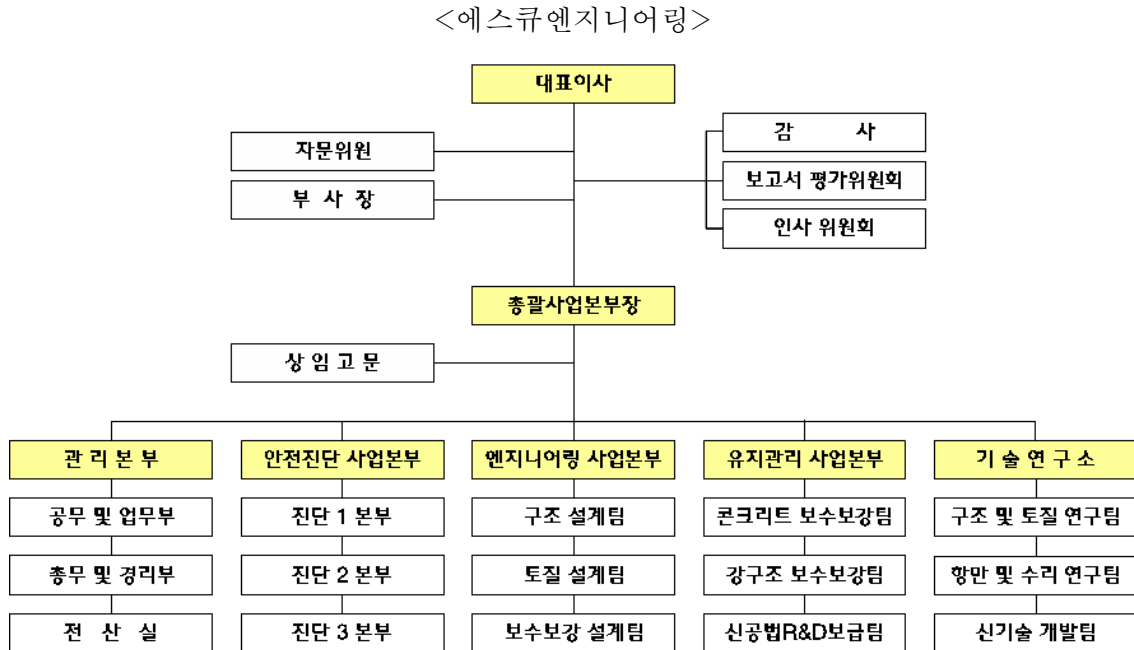
균열 계측 및 항만 분야의 연구결과로 취득한 지적재산권은 다음과 같다.

- 콘크리트균열깊이 측정용 간이초음파장치 (등록번호:0454361)
- 강제파일의 보수공법 및 그 구조물 (등록번호:0473776)
- 항만용 강제지주의 부식방지구조물 (등록번호:0310466)
- 슈미트햄머 타점표시기 (등록번호:0340495)
- 균열간이측정기 (등록번호:0342888)
- 회전반사경을 이용한 균열폭 측정기 (등록번호: [내용삭제])
- 콘크리트의 균열진행측정기 (등록번호 [내용삭제])
- 레이저 이미지를 이용한 균열측정 장치 및 방법(출원번호 [내용삭제] 현재 특허출원 중)

또한 2004년 7월부터 현재까지 사회기반시설물 성능평가통합시스템구축(건설기술 연구개발사업 중점분야) 연구에 참여기업으로서 참여하고 있다.

(회사조직도)

현재의 조직은 기존 사업인 안전점검 및 진단 분야의 인력들로 구성되어 있으며, 그 외에 부설연구소를 통해 필요 기술을 개발하고 있다.



에스큐엔지니어링(주)의 자본금은 8억원이며, 대표이사의 지분율 58.8%를 포함한 회사 경영진의 지분율은 70.8%이다. 현재 기관의 투자는 없는 상황이며, 개인주주로 구성되어 있다.

본 개발과제를 통하여 안전진단업체인 에스큐엔지니어링(주)은 향상된 성능의 장비를 통하여 균열계측기술의 발전을 도모할 수 있으며, 진단업체 기술발전에 기여할 수 있으며, 장비판매사업을 통하여 사업영역을 확대할 수 있다.

계측관련 전자장비 제조업체인 엠케이씨코리아는 초음파탐상기 제조기술 향상을 도모할 수 있으며 탐사장비개발업체인 지오글로버스(주)는 초음파탐사기술 향상을 도모할 수 있다.

2. 참여기업별 연계방안 및 추진전략

번호	기업명	과제에 대한 기업 관심영역	연 계 방 안									
			기업 활용	장비 활용	교육 연계	기술 상담	정보 제공	기술 지도	기술 이전	공동 연구	창업 지원	매출 확대
1	에스큐엔지니어링	안전진단기술	V	V								V
2	엠케이씨코리아	초음파장비제조								V		V
3	지오글로버스	초음파탐사기술								V		V
합 계			1	1						2		3

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1절 다중주파수사용 초음파탐사기(1차년도:2007년 4월)

콘크리트 초음파탐사기(횡파사용) A1220 Monolith - Russia

- 제작사 : Acoustic Control Systems
- 판매사 : NIhon Matech Cooperation
- 장비설명

측정장비 A1220은 콘크리트 면에 부착하여 측정된 데이터로 콘크리트 내부의 손상을 3차원으로 구성하여 볼 수 있다.

탐사기 A1220은, 본체(스크린, 키보드)와 24개 (6×4)의 매트릭스안테나어레이(AA)로 구성되어 있다. 디바이스의 AA소자는, 카플란트없이, 드라이 접촉의 초음파송수신이 가능하다. 각 AA소자는 스프링을 장치하고 있기 때문에, 곡면이나 울퉁불퉁한 표면에도 사용이 가능하다. 2심법도 가능. 전파경로가 다른 송수신 각 12개의 에 의해서 SN(Signal/Noise)비를 개폭적으로 개선했다.



그림 6.2 A1220 Monolith

장비사양	
최대콘크리트 투과력(透過力)	2150mm
횡혈검출능력(橫穴檢出能力)	직경 12mm
검출 가능한 깊이의 측정오차	10%
초음파의 규정동작주파수	15~250kHz
표시	LCD 백라이트기능(320×240픽셀)
전원	알칼리 AA 건전지 6개
연속동작시간	14시간 (라이트를 끈 경우)
동작온도범위	-10~+50℃
본체치수	245×120×40 mm
안테나부 치수	145×90×75 mm
본체중량	650g
안테나 중량	760g

■ 장비사용범위

- 콘크리트 제조공장, 타설현장
- 원자력 발전소
- 철도
- 도로 유지관리
- 교량, 터널의 유지보수
- 빌딩 구조

■ 장비의 특징

- 펄스 에코식
- 카플란트 불필요
- 에코신호의 A-Scan과 B-Scan표시가능
- 노이즈로부터 미약신호의 검출
- 자동, 수동 차별 분류에 두께판정
- 데이터 모델링
- 백라이트 가능 스크린
- 적외선 통신에 따른 외부 컴퓨터로의 데이터전송
- 외부컴퓨터에의 데이터송수신장치(옵션)

■ 장비의 목적

- 철근콘크리트, 석재, 플라스틱, 그 외의 감쇄가 큰 재료의, 내부의 불순물, 공동, 균열의 비파괴검사
- 콘크리트건조물의 두께, 피복두께 측정
- 철근의 위치, 방향의 검출
- 조립재의 내부구조의 연구
- 투과법에 의한 콘크리트의 강도계측

2절 일체성 시스템 구조(1차년도:2007년 4월)

UK1401 콘크리트 초음파 음속/전달시간/균열깊이 측정장치 - Russia

- 제작사 : Acoustic Control Systems
- 판매사 : Nihon Matech Cooperation
- 장비설명

측정 장비 UK1401은 균열이 발생한 면에 양 끝의 센서를 접촉한 후 센서간의 초음파 시간을 측정하여 균열의 깊이를 측정하는 장치이다.

탐사기 UK1401은 본체와 탐촉자가 일체식으로 제작되어 있어, 사용하기 간편한 특징을 가진다. 양쪽 센서부에는 스프링장치가 있어서 표면이 울퉁불퉁한 경우에도 적용할 수 있는 장점을 가진다.



그림 6.2 A1220 Monolith

장비사양	
시간측정범위	15-100ms
초음파음속측정범위	100-9990m/s
균열심도측정범위	10-50mm
시간과 음속측정정도	±1%
사용초음파주파수	70kHz
송신펄스 주파수	5-20kHz
동작온도	-20-45℃
전원	알칼리 AA, 3개
동작시간	100시간
사이즈	200×120×35 mm
중량	350g
데이터 메모리용량	4,000 데이터

■ 장비의 응용범위

- 콘크리트 제조공장, 타설 현장
- 원자력 발전소
- 철도
- 도로 유지관리
- 교량, 터널의 유지보수
- 빌딩 구조

■ 장비의 목적

- 거리를 고정해서 2개의 송수신 센서간의 초음파 전달시간으로부터 음속을 연산
- 운송시간의 변화에 따라, 개구균열의 깊이 측정
- 운반음속을 측정하고, 콘크리트 강도/밀도의 평가
- 콘크리트 기둥, 교량의 잔존강도의 평가
- 콘크리트 표면 개구손상깊이 측정
- 암석의 구멍, 손상된 복합재료내의 이방성과 구조 등의 평가

■ 장비의 특징

- 고정거리간의 운반시간을 측정해, 음속자동연산
- 운반시간의 증가로부터 균열깊이의 측정
- 카플란트 불필요
- 스프링부착 임팩트칩으로 안정측정
- 초음파신호수신의 음향시그널 부착
- 포켓사이즈
- 자동 스위치 off
- 단위선택가능(mm, m/s, in)
- 외부 컴퓨터와의 적외선통신
- PC에 수신신호의 표시
- 자동감도조정(AGC)장치
- 거리진폭보정감도(DAC)장치부착
- 신호강도의 레벨표시부착

3절 접촉매질 개선 시스템(1차년도:2007년 4월)

Non-Couplant STP5-1 Russia

■ 제작사 : Sonatest Japan

■ 판매사 : Sonatest Japan

■ 장비설명

초음파 송수신부에 기존의 접촉매질(Couplant) 대신에 고무재료를 이용함으로써 간편하게 초음파 장비를 사용할 수 있다. 이때 교환 가능한 선단 소프트 팁은 확실하게 초음파를 입사하게 하고, 또한 진동자로의 충격을 완화하여 탐촉자의 수명도 길게 하고, 빠른 시간에 측정할 수 있는 특징을 가진다.

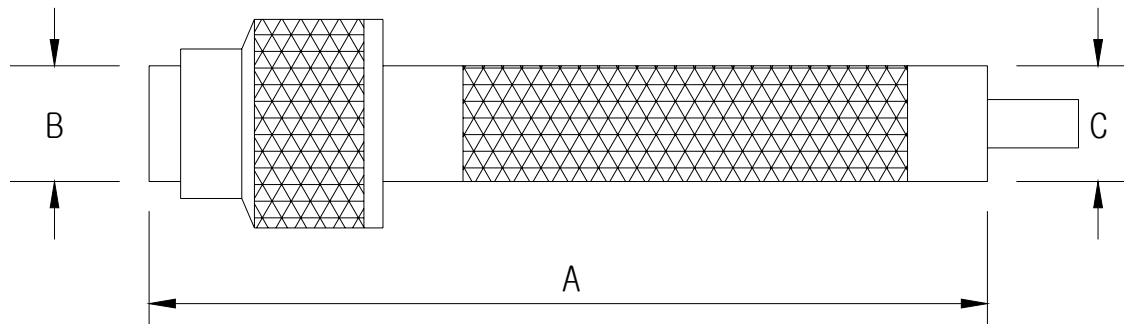
Sonast dry contact transducers for testing highly attenuative materials such as composites, rubber, wood, cermics, friction material and, in particular, the inspection of bonded materials. Operate in through transmission or from one side only. Arrange of holders are available for these transducers.



그림 6.2 Soft Tipped Transducers

Ideally suited to test specimens with complicated geometry or for investigating suspect or damaged areas. Replaceable soft tips provide long life for these transducers. Available in two sizes and frequencies, and fitted with subvis connectors as standard.

Soft Tipped Transducers



Transducer Dimensions(mm)

Element Diameter	A	B	C
5	9.8	30	7.6
10	20	36	7.6

Transducer Codes

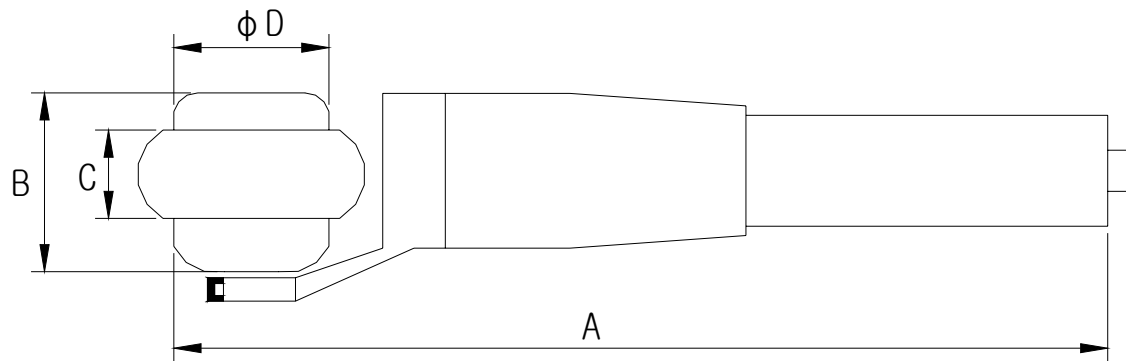
Frequency (MHz)	Element Diameter	
	5	10
0.5	STP5-2	STP10-2
1.25	STP5-1	STP10-1



그림 6.2 Roller Transducers

For use in automated testing or where large areas require hand scanning techniques to be applied. Renewable tyres prolong the life of the transducers. Miniature BNC connectors are fitted as standard

Roller Transducers



Transducer Dimensions(mm)

Element Diameter	A	B	C	D
9	113	36	10	25
15	75	100	–	–

Transducer Codes

Frequency (MHz)	Element Diameter	
	9	15
0.5	RP25HS-2	–
1.25	RP25HS-1	RP75HS-1

4절 초음파 절단기와 코어채취기(2차년도: 2008년 8월)



ソノスプリッター SS-230

本品は郵政省で定める高周波利用設備許可申請の型式指定を受けております。(第AK-98002号)



●オプション(ケーブル)

① W-6	④ DIAW-30250	⑦ DIAW-30R100
② W-12	⑤ DIAW-30F100	⑧ W-30(標準型)
③ W-18	⑥ DIAW-30R150	⑨ W-60(ダブル型)

従来の切断工法は騒音、粉じん、振動、そして薬剤による汚染など、周辺環境へ及ぼす影響が大きいのは勿論。作業中にも相当大きな負担を与えていました。それを超音波振動切断マシン、ソノスプリッターが大きく変えました。環境保護が声高に叫ばれる昨今、リフォームにおいてもいかにクリーンで人にやさしく作業が行えるかが最も重要な課題となっています。現場で誰にでも楽に建物内装、塗装、弾性タイル、(アクリル)マステックなどの塗膜、内装Pタイル、屋上の防水、窓枠サッシの目地などの切断作業が低騒音、低振動、粉じんですべてできます。ソノスプリッター-SS-230は、そんな現代のニーズにマッチした最新の超音波振動切断マシンです。

特 徴

- 特に安定した性能を發揮できる発振回路を採用しています。
- 煩雑な作業に対応できる充分な出力をもち、しかも小型軽量な発振部とハンドピースで、安易な作業が可能です。
- オーバードライブセーブ回路が備わっているため、過大な負荷によってもオーバーヒートが完全に予防し、さらに故障が抑制されることも安定した作業ができます。
- ケーブルを固定しても、前後傾斜調整が容易で、刃が一定の速度で移動します。
- 高周波を用途に対応できるよう各種ケーブルが用意されています。
- ケーブル先端は特殊高周波材料を使用し、さらに刃先は作業性を充分考慮した形状になっています。

仕 様

電 圧 形 式	AC100V・50/60Hz 単相	最大消費電力	200W
電 流 形 式	300VA MAX	使用ケーブル寸法	W180mm×H40mm×D30mm
機 体 重 量	ワンジェン型約27kg(動力)	機 体 重 量	4.9kg
機 体 寸 法	170mm×150mm	ケーブル重量	70kg
機 体 形 式	スウェーデン製に自給材料方式	ケーブル重量	1.2kg (ケーブル長 6m)

※一年間保証(本体のみ)

製造・販売元

多賀電気株式会社

〒146-0003
東京都大田区五反田3丁目1番1号
TEL: 03-3757-1151(代)
FAX: 03-3757-0323

お取扱い店

명 칭 : 초음파 절단기

제조사 : TAGA 전기주식회사

초음파를 고주파신호를 이용한 물건 절단시 저진동, 저소음을 이용해서 쉽게 재료를 절단할수 있고 상당히 표면이 매끈하게 절단되었다. 이와 같은 제품은 콘크리트 표면 정리 및 철거 시에 유용하게 적용될 수 있는 장비이다.

超低騒音型超音波穿孔装置

ソノドリル SS-500

特許・実用新案特許
特許申請中

驚異の低騒音を実現!!

超音波でコンクリートに穴をあけます。

超音波振動をドリルに印加することで切削抵抗が激減し、従来のドリルとは比較にならない低騒音・低振動を実現しました。粉じんを低レベルにおさえ、作業環境も大幅に改善されます。特に、音や振動が気になるリニューアル工事、耐震補強工事に最適です。



¥65,000

多賀電気株式会社



【特徴】

- 病院・ホテル・マンション・事務所など音や振動が気になるリニューアル工事、耐震補強工事には最適です。
- 騒音・振動・粉じんが驚くほど少ないため、作業環境や生活環境に優しく安心して作業ができます。
- 作業時には熱線を表示。音や振動が従来のドリルに比べ非常に優しいため逆流作業から解放されます。
- 常に安定した性能を発揮できる発振回路を採用しています。
- 各種ワールを使用しております。(オプション)

【構成】

発振器、ハンドピース(ケーブル5m付)、
手動注式ポンプ(注、ホース付)

【仕様】

定 額 電 圧	AC100V 50/60Hz 単相
額 定 電 力	600W
消費電力	350W
モーター出力	200W
振 動 子	ランジェロウ型PZT
発 振 周 波 数	21kHz ±1.5kHz
振 動 方 式	スカラー波ロングitudinal振動伝達
振動伝達長さ	620mm×φ140mm×φ40mm
振動伝達率	800~1300 R.P.M. 可変
電 源 電 圧	9.5kg
ハンドピース重量	5.7kg(ケーブル5m付、5m)

※仕様は予告なく変更することがあります。

製造・販売元
多賀電気株式会社

〒146-0033
東京都大田区矢口3丁目1番1号
TEL. 03-3757-1151(代)
FAX. 03-3757-0323

お問い合わせ

명 칭 : 초음파 소형 코어 채취기

제조사 : TAGA 전기주식회사

초음파를 고주파신호를 이용한 콘크리트의 소형코어를 채취할수 있는 장비로 보통 소형(지름 5cm)의 코어채취를 저진동 및 무소음으로 할수 있고, 실제로 일본통신회사(NTT)에 활용되고 있음.

제 7 장 참고문헌

1. 컴퓨터 내장형 비파괴검사용 초음파탐상기 개발 / 이원흠 외
수록지명 비파괴검사학회지 제17권 제2호 (1997. 5) pp.108-113
발행사항 韓國非破壞檢査學會 20040430
청구기호 620.09 ㄴ439
2. 대구경 초음파 탐촉자를 이용한 표면균열 평가 /조용상 ;김재훈
수록지명 비파괴검사학회지 제24권 제2호 (2004. 4) pp.180-185
발행사항 韓國非破壞檢査學會 20040430
청구기호 620.09 ㄴ439
3. 비파괴검사기술의 최신 연구동향 /이승석 ;김기복
수록지명 비파괴검사학회지 제24권 제1호 (2004. 2) pp.64-85
발행사항 韓國非破壞檢査學會 20040228
청구기호 620.09 ㄴ439
4. Air-coupled 트랜스듀서를 이용한 발전설비 배관에서의 유도초음파 모드 규명 /박
익근 ;김현목 ;김용권 ;송원준 ;조용상 ;장경영 ;조윤희
수록지명 비파괴검사학회지 제24권 제4호 (2004. 8) pp.341-347
발행사항 韓國非破壞檢査學會 20040830
청구기호 620.09 ㄴ439
5. 수분 함유량이 콘크리트의 종파 속도에 미치는 영향에 관한 연구 /이회근 外
수록지명 비파괴검사학회지 19,4('99.8) pp.259-269
발행사항 韓國非破壞檢査學會
청구기호 620.09 ㄴ439
6. 콘크리트 구조물 비파괴 검사 /도서출판 일광 초음파 .탄성파에 의한 비파괴검사법

(1996. 5) pp.32-82

7. 초음파속도법을 이용한 콘크리트 구조물의 균열측정 / 오병환 외
콘크리트학회 논문집(VOL.11 NO.2 1999.11) pp.659-662

8. 콘크리트 표면균열깊이 측정을 위한 비파괴시험 요령 한국시설안전기술공단 콘크리트 및 강재비파괴시험 평가·검증방안연구 pp.174-196

9. 김상진, 왕종배, 센서의 기초와 활용, 연학사, 2001

주 의 사 항

1. 본 보고서는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업의 최종(중간) 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

- | | |
|---------------------|------------------|
| ■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 | TEL 031)381-6311 |
| 에스큐엔지니어링(주) | TEL 02)400-5200 |
| 엠케이씨코리아 | TEL 02)804-3600 |
| 지오글로버스(주) | TEL 02)3017-8730 |

R&D / 06건설핵심C01

콘크리트 균열깊이 측정용 소형 초음파 탐사기 개발 연구보고서

- 발행일 / 2008. 12. 16
- 발행처 / 에스큐엔지니어링(주)
서울시 송파구 가락동 160-11 드림빌딩
TEL : 02-400-5200(대)
- 인쇄처 / 대종상사