

제 3 차년도
년차보고서

BSPG 00123-378-5

한반도 주변해역 해저퇴적물의 음향학적 특성연구(Ⅲ)

- 감쇠계수특성 -

A Study on the Acoustic Characteristics of
the Sediments of the Korean Seas (Ⅲ)
- Attenuation Coefficient of the Seafloor -

1991. 7.

연구기관
한국해양연구소

寄贈	
과학기술처	一九九一年 九 月 五
국립해양조사원	

과학기술처

제 출 문

과학기술처 장관 귀하

본 보고서를 “한반도 주변해역 해저퇴적물의 음향학적 특성연구”
의 3차년도 최종보고서로 제출합니다.

1991 년 7 월

주관연구기관명 : 한국해양연구소

총괄연구책임자 : 김 성 렬

연 구 원 : 석 봉 출

정 대 교

박 찬 흥

이 용 국

최 동 립

권 수 재

주 용

신 동 혁

박 건 태

이 하 응

윤 호 일

함 석 현

윤 지 원

박 충 화

여 백

요 약 문

I. 제 목

한반도 주변해역 해저퇴적물의 음향학적 특성연구(III)

- 음향감쇠계수특성 -

II. 연구개발의 중요성 및 목적

우리나라는 해양자원을 최대한으로 활용하고자하는 방향으로 최근 해양 개발기술의 축적뿐만 아니라 해양자원의 잠재력 조사를 수행하고 있으며, 해저케이블, 파이프라인, 인공어초 및 석유시추시설등의 각종 해저구조물의 건설이 날로 증가하고 있다. 이와같은 요구에 따른 해양지질의 현상을 파악 하기 위해서는 해저지형 및 퇴적물에 대한 음향특성을 이용함으로써 광범위 한 지역내의 해저퇴적물 분포, 해저면의 형태와 상황, 그리고 퇴적물의 물 성에 대한 물성의 정밀조사가 가능해질 것이다.

음파의 특성을 이용하는 연구방법과 체계가 수립되므로서 각종 해 안 및 연안구조물의 설계, 임해산업기지의 건설, 해저통신 및 전력망의 설 치, 유용해저광물자원의 부존량 파악등과 같은 산업적 측면에서의 활용뿐만 이 아니라 국방과학의 한분야로서 해상방위력 증강을 위해 필수적인 수중음 향특성의 기본자료 획득이 가능해지는 바 그 활용가치는 매우 광범위 하다.

본 연구 (제 3 차년도) 에서는 해저퇴적물의 음파감쇠 특성을 밝힐 수 있는 측정방법을 개발하고, 이것을 조사해역의 퇴적물에 적용한 결과를 그 물성과 관련시키므로써 해저퇴적물의 음향특성을 파악하는 체계를 수

립하고자 하였다. 이에 따른 본 연구사업의 목적은 다음과 같다.

1. 현장측정 방법에 의한 중심주파수 3.5~7.0kHz 대역의 음향감쇠 계수 측정체계의 확립
2. 해저 표층퇴적물 채취에 의한 중심주파수 500kHz 대역의 음향감쇠 계수 측정체계 개발
3. 해저퇴적물의 지질공학적 특성과의 대비를 통한 퇴적물 음향자료 처리결과의 검증
4. 해저퇴적물에 관련된 지질음향체계의 확립

III. 연구개발의 내용

1. 3.5 ~ 7.0 kHz 음향감쇠계수 측정

- 가. 현장관측용 측정시스템의 자체제작
- 나. 획득자료의 계수화 처리시스템 구성
- 다. 체계적인 분석이론의 정립
- 라. 실제측정결과에 의한 퇴적물의 퇴적상 별 음향감쇠계수 산출
- 마. 해저퇴적물의 지질공학적 특성과의 상관성 구명

2. 500 kHz 음향감쇠계수 측정

- 가. 실내분석용 측정시스템 구성
- 나. 획득자료의 계수화 처리시스템 체계화
- 다. 체계적인 분석이론의 정립

- 라. 실제 측정결과에 의한 퇴적물의 퇴적상별 음향감쇠량 산출
- 마. 해저퇴적물의 지질공학적 특성과의 상관 구명

IV. 연구개발의 결과

1. 해저퇴적물의 음향감쇠계수 측정시스템

- 가. 현장관측용 측정시스템 국내자체개발 성공
- 나. 실내분석 측정시스템의 자립화
- 다. 감쇠계수 측정자료의 계수화변환 및 전송시스템 개발
- 라. 분석 및 처리체계의 규격화
- 마. 해저퇴적물의 정량적 음향감쇠계수의 계산

2. 퇴적환경과 감쇠계수와의 상관성 구명

- 가. 연구해역의 현생퇴적환경 특성 파악
- 나. 연구해역퇴적물의 지질공학적 분포특성
- 다. 퇴적환경 및 퇴적상에 따른 음향감쇠계수의 유형별 분류
- 라. 해저퇴적물의 음향학적 특성 예측체계 기반구축

V. 활용에 대한 건의

- 1. 해저퇴적물로 부터 실측 및 실내분석법에 의해 측정된 음향감쇠 계수값을 이용하여 해저면의 퇴적상 분류가 가능하게 됨에 따라 음파를 이용한 광범위한 해역에서도 퇴적물의 분포특성을 간접적으로 추정 및 해석에

대한 활용이 기대된다.

2. 본 연구의 현장 및 실내 측정시 이용된 3.5~7.0 kHz 와 500 kHz 의 중심주파수 대역 뿐만이 아니고, 좀더 연속적이고 다양한 주파수 대역에서 관측하므로써 퇴적물에 대한 음향감쇠의 상관관계를 구명하는 데에 구체적인 목적을 두어야 할 것으로 판단된다.

3. 특히 현장의 해저퇴적물을 직접 이용한 음향감쇠계수의 측정은 국방과 관련하여 SONAR 장비의 운용을 위한 수중 및 저질음향의 기본적인 해양환경 자료로서의 활용가치가 매우 클것으로 기대된다.

4. 본 연구는 연구해역이 국한된 결과이므로 한반도 근해 전체에 대한 해저퇴적물의 음향특성에 적용하기는 어렵다. 보다 적절한 저질음향 예측체계의 구축을 위해서는 지속적인 연구결과의 축적과 함께 다양한 측정 방법으로 본 분야의 연구가 추진될 수 있는 저변확대가 필요하다.

SUMMARY

I. Title

A Study on the Acoustic Characteristics of the Sediments of the Korean Seas(III) - Attenuation Coefficient of the Seafloor -

II. Purpose and Significance of Study

Korea has fully devoted itself to investigation of potential marine resources and to advancement of marine technology which contributes to oceanic construction such as subsea pipe-line and cable routing, artificialshelter for aquaculture, and oil drilling rig. It is necessary for good designing of the aboved submarine to understand geological features in the site area. This study on the acoustic characteristics of the seafloor and sub-bottom sediments makes it possible to find out the overall distribution of subsea sediments and their surface features, and the physical properties of sediments.

The systematic usage of acoustic waves helps not only the constructions of coastal and subsea structures, coastal industrial complexes, and electric power or telecommunication cables but also the estimation of substrate mineral resources. And the data acquired by an acoustic survey is much valuable for the national naval defence, too.

This study(3rd year) concentrate on the development of new techniques which the degree of acoustic attenuation can be measured in marine sediments. The techniques are also applied to the various sediments in the survey area. And the results are compared with physical properties of the sediments to set up a general system for analysing acoustic characteristics.

The detailed objectives of this study are :

1. To establish a field measuring system for acoustic attenuation coefficients of waves with frequency between 3.5 kHz and 7.0 kHz.
2. To develop a measuring system for acoustic attenuation coefficients of 500 kHz-frequency waves from sampled seafloor sediments
3. To examine the resulting acoustic coefficients comparing with the geotechnical properties of sediments
4. To set up a systematic acoustic characteristics for seafloor sediments

III. Scope of the Study

1. Measurement of acoustic attenuation coefficients through field surveys (3.5 kHz ~ 7.0 kHz)
 - 1) Developing a field measuring system for a field survey.
 - 2) Building a digitizing system of field data
 - 3) Establishing a systematic theory

- 4) Calculating an acoustic attenuation value for each type of marine sediments by the real measured results
 - 5) Comparing with the geotechnical properties of marine sediments
2. Measurement of acoustic attenuation coefficients through laboratory works (500 kHz)
- 1) Developing a measuring system for a laboratory analysis
 - 2) Set up the digitizing techniques for acoustic data
 - 3) Re-establish the back ground theory about the acoustic attenuation
 - 4) Systematic calculating of the acoustic value about the sediments
 - 5) Comparing the acoustic value with properties of sediments

IV. Result of the Study

1. Development of the measuring system of the acoustic attenuation coefficients for marine sediments
 - 1) Establishment of an own measuring system for a field survey
 - 2) Building of an own measuring system for laboratory analysis
 - 3) Development of the retrieval systems of the acquired acoustic data
 - 4) Development a standard analysing and processing system
 - 5) Calculation of the quantitative coefficients of acoustic

attenuation for marine sediments

2. Finding out the correlation between a sedimentary environment and its acoustic attenuation coefficient

- 1) Study on the characteristics of the recent sedimentary environment in the survey area
- 2) Investigation of the distribution pattern of the geotechnical properties for the marine sediments in the survey area
- 3) Classification of the acoustic attenuation coefficients according to the types of sedimentary environment and facies
- 4) Building the identification and prediction system of marine sediments using the acoustic characteristics

V. Suggestions

1. To identify sedimentary facies can be done with the acoustic attenuation coefficient data acquired through a field survey and laboratory analysis from marine sediments. Consequently, sediment distribution can be predicted and interpreted using the acoustic characteristics.

2. Acoustic waves with further wide-range frequencies as well as 3.5 to 7.0 kHz and 500 kHz should be employed on a field survey and laboratory work. And the linear correlation between marine sediment and its acoustic characteristics should be clarified.

3. The acoustic field data from marine sediments is valuable as the basic information for operating a sonar system, which is often used the navy.

4. Since this study is limited to the small area, it is difficult to apply the results to the oevrall acoustic characteristics of the marine sediments in the Korean Seas. Building a better prediction system of the acoustic characteristics requires a furthermore study carried out with various measuring methods.

여 백

CONTENTS

List of tables.....	19
List of figures.....	20
Chapter 1. Introduction.....	25
Chapter 2. Acoustic characteristics of the marine sediments.....	29
Section 1. Attenuation of the marine sediments.....	31
Section 2. Acoustic characteristics and properties of the marine sediments.....	32
1. Porosity and density.....	35
2. Porosity and sound velocity.....	35
3. Porosity and reflection coefficients.....	36
4. Porosity and bottom loss.....	37
Chapter 3. Geologic setting of the study area.....	41
Section 1. Sea bottom topography.....	43
Section 2. Near shore geology.....	44
Chapter 4. Ocean survey and data analysis methods.....	45
Section 1. survey method and survey points.....	47
Section 2. System explanation of 500 kHz measuring unit.....	50
Section 3. System explanation of 3.5 ~ 7.0 kHz measuring unit.....	52
Section 4. System comparision of 500 kHz with 3.5 ~ 7.0 kHz measuring unit.....	53

Section 5. Positioning system	58
1. Decca Trisponder System	60
2. Basic principles	61
Section 6. Properties analysis of the marine sediments	67
1. Mean grain size	67
2. Water content	71
3. Void ratio	71
4. Porosity	72
Section 7. Laboratory test of 500 kHz acoustical properties	72
1. Standard and sediment samples	72
2. Sound velocity measurements	75
3. Attenuation coefficient measurements	76
Section 8. Laboratory test of 3.5 ~ 7.0 kHz acoustical properties	80
1. Data communication	80
2. Data processing	84
Chapter 5. Result and discussion	101
Section 1. Distribution of the marine sediments	103
Section 2. 500 kHz acoustical properties	108
1. Sound velocity	108
2. Attenuation coefficients	110
3. Anisotropy	117
Section 3. 3.5 ~ 7.0 kHz acoustical properties	121
1. Sound velocity	121
2. Attenuation coefficients	126

3. Relation Sound velocity with Attenuation coefficients	126
4. Aeral distribution	130
Section 4. Measuring result comparision of 500 kHz with 3.5 ~ 7.0 kHz	134
Chaper 6. Conclusion	139
References	143
Appendix	149

목 차

표 목 차.....	19
그림목차.....	20
제 1 장 서 론.....	25
제 2 장 해저퇴적물의 음향특성.....	29
제 1 절 해저퇴적물의 음향감쇠.....	31
제 2 절 해저퇴적물의 물성과 음향특성.....	32
1. 공극율과 밀도.....	35
2. 공극율과 음속.....	35
3. 공극율과 반사계수.....	36
4. 공극율과 음향손실.....	37
제 3 장 조사해역의 지질개관.....	41
제 1 절 해저지형.....	43
제 2 절 주변지질.....	44
제 4 장 해양조사 및 분석방법.....	45
제 1 절 조사방법과 측정위치.....	47
제 2 절 500 kHz 조사장비 및 특성.....	50
제 3 절 3.5 ~ 7.0 kHz 조사장비 및 특성.....	52
제 4 절 500 kHz 및 3.5 ~ 7.0 kHz 측정시스템 비교.....	53
제 5 절 해상위치 측정장비.....	58
1. Decca Trisponder System.....	60

2. 기본원리.....	61
제 6 절 해저퇴적물 실내분석.....	67
1. 입도분석.....	67
2. 함수율.....	71
3. 공극비.....	71
4. 공극율.....	71
제 7 절 500 kHz 음향특성 분석.....	72
1. 분석시료와 표준시료.....	72
2. 음속측정.....	75
3. 감쇠계수 측정.....	76
제 8 절 3.5 ~ 7.0 kHz 음향특성 분석.....	80
1. 분석자료의 전송.....	80
2. 자료처리.....	84
제 5 장 결과 및 토의.....	101
제 1 절 해저퇴적물의 분포.....	103
제 2 절 해저퇴적물의 500 kHz 음향특성.....	108
1. 음속과 해저퇴적물.....	108
2. 감쇠계수와 해저퇴적물.....	110
3. 음속과 감쇠계수의 비등방성.....	117
제 3 절 해저퇴적물의 3.5 ~ 7.0 kHz 음향특성.....	121
1. 음속과 해저퇴적물.....	121
2. 감쇠계수와 해저퇴적물.....	126
3. 음속과 감쇠계수.....	126
4. 음속과 감쇠계수의 지역적분포.....	130
제 4 절 500 kHz 및 3.5 ~ 7.0 kHz 측정결과 비교.....	134

제 6 장 결 론.....	139
참고문헌.....	143
별첨부록.....	149

표 목 차

Table 2-1.	Attenuation coefficient of sediments around the Korea Peninsula compared with Hamilton(1972) (After Kim et al., 1990).	33
Table 2-2.	Sediment impedance, reflection coefficient, and bottom loss at normal incidence (after Hamilton, 1970).	39
Table 4-1.	Position of the sediment sampling and acoustic properties measurement station.	48
Table 4-2.	Specifications of 500 kHz acoustic properties measuring system.	51
Table 4-3.	Specifications of 3.5 ~ 7.0 kHz acoustic properties measuring system.	54
Table 4-4.	Q and velocity for reference materials*.	73
Table 5-1.	Results of the sediment composition, type, statistical parameters and geophysical properties.	104
Table 5-2.	Results of sound velocity and attenuation coefficient on the horizontal and vertical direction by using the 500 kHz acoustic measuring system.	109
Table 5-3.	Results of sound velocity and attenuation coefficient by using the 3.5 ~ 7.0 kHz acoustic measuring system.	122

그림 목차

Fig. 2-1.	Attenuation versus frequency in natural, saturated sediments and sedimentary strata. Symbols: circle = sands; squares=clayey silt, silt clay; triangles = mixed size. Line labeled f_1 indicates slope of any line having a dependance of attenuation on the first power of frequency (after Hamilton, 1972).	34
Fig. 4-1.	Station map of the survey area.	49
Fig. 4-2.	Schematic representation of Decca Trisponder System.	63
Fig. 4-3.	Typical serial line's information of DDMU-540.	64
Fig. 4-4.	General flow diagrams of the program "KONAV" with Decca Trisponder System.	66
Fig. 4-5.	Schematic representation of screen display for the program " KONAV ".	68
Fig. 4-6.	Examples of sediemt sample's signal trace.	77
Fig. 4-7.	Digitized p-wave time and frequency domain data (a) and (b) 3 μ sec gated 500 kHz ultrasonic pulse for aluminum and sediment, respectively.	81
Fig. 4-8.	Result of the amplitude spectrum magnitude (FFT) with aluminum and sediment sample.	82

Fig. 4-9. Result of the spectral amplitude ratio with aluminum and sediment sample. 83

Fig. 4-10. Attenuation signal traces at 3.5 kHz. H_1 , H_2 and H_3 are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is disturbing seismic signal on the all channels. 86

Fig. 4-11. Attenuation signal traces at 5.0 kHz. H_1 , H_2 and H_3 are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is disturbing seismic signal on the all channels. 87

Fig. 4-12. Attenuation signal traces at 7.0 kHz. H_1 , H_2 and H_3 are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is disturbing seismic signal on the all channels. 88

Fig. 4-13. Attenuation signal traces at 3.5 kHz. H_1 , H_2 and H_3 are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is removed from seismic signal on the all channels. 90

Fig. 4-14. Attenuation signal traces at 5.0 kHz. H_1 , H_2 and H_3 are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is removed from seismic signal on the all channels. 91

Fig. 4-15. Attenuation signal traces at 7.0 kHz. H_1 , H_2 and H_3 are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is removed

	from seismic signal on the all channels.	92
Fig. 4-16.	Signal traces at 5.0 kHz for the sound velocity estimation with gated window zone.	93
Fig. 4-17.	The gated two pulses with same phase for attenuation coefficient calculation.	94
Fig. 4-18.	Result of the amplitude spectrum magnitude with H_2 and H_3 at 5.0 kHz.	96
Fig. 4-19.	Result of the spectral amplitude ratio with no bandpass filtered two pulses.	97
Fig. 4-20.	Logarithmic ratio of amplitude spectra of bandpass filtered two pulses H_2 and H_3	99
Fig. 5-1.	Distribution of surface sediment types in the survey area.	105
Fig. 5-2.	Mean grain size of surface sediments in the survey area.	106
Fig. 5-3.	Standard deviation (sorting) of surface sediments in the study area.	107
Fig. 5-4.	Mean grain size of sediment versus sound velocity with 500 kHz ultrasonic sound source.	111
Fig. 5-5.	Porosity of sediment versus sound velocity with 500 kHz ultrasonic sound source.	112
Fig. 5-6.	Wet-density of sediment versus sound velocity with 500 kHz ultrasonic sound source.	113
Fig. 5-7.	Mean grain size of sediment versus attenuation coefficient with 500 kHz ultrasonic sound source. ...	114

Fig. 5-8.	Porosity of sediment versus attenuation coefficient with 500 kHz ultrasonic sound source.	115
Fig. 5-9.	Wet-density of sediment versus attenuation coefficient with 500 kHz ultrasonic sound source. ...	116
Fig. 5-10.	Mean grain size of sediment versus anisotropy of attenuation coefficient ($A\gamma$) and sound velocity (A_V) with 500 kHz ultrasonic sound source.	118
Fig. 5-11.	Porosity of sediment versus anisotropy of attenuation coefficient ($A\gamma$) and sound velocity (A_V) with 500 kHz ultrasonic sound source.	119
Fig. 5-12.	Wet-density of sediment versus anisotropy of attenuation coefficient ($A\gamma$) and sound velocity (A_V) with 500 kHz ultrasonic sound source.	120
Fig. 5-13.	Mean grain size of sediment versus sound velocity with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source.	123
Fig. 5-14.	Porosity of sediment versus sound velocity with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source.	124
Fig. 5-15.	Wet-density of sediment versus sound velocity with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source.	125
Fig. 5-16.	Mean grain size of sediment versus attenuation coefficient with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source. The shaded area is Hamilton (1972)'s measurement.	127
Fig. 5-17.	Porosity of sediment versus attenuation coefficient with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source. The shaded area is Hamilton (1972)'s measurement.	128

Fig. 5-18. Wet-density of sediment versus attenuation coefficient with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source. 129

Fig. 5-19. Sound velocity versus attenuation coefficient with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source. 131

Fig. 5-20. Sound velocity distribution of surface sediments in the survey area. Contour unit is m/sec. 132

Fig. 5-21. Attenuation coefficient distribution of surface sediments in the survey area. Contour unit is dB/kHz-m. 133

Fig. 5-22. Sound velocity versus attenuation coefficient to compare 500 kHz result with 3.5 ~ 7.0 kHz. 135

Fig. 5-23. Mean grain size of sediment versus attenuation coefficient to compare 500 kHz result with 3.5 ~ 7.0 kHz. The shaded area is Hamilton (1972)'s measurement. 136

Fig. 5-24. Porosity of sediment versus attenuation coefficient to compare 500 kHz result with 3.5 ~ 7.0 kHz. The shaded area is Hamilton (1972)'s measurement. 137

제 1 장
서 론

여 백

제 1 장 서 론

해저면은 지역에 따라 서로 다른 퇴적물의 물성 (physical properties) 을 갖는다. 이러한 해저퇴적물은 그 유형에 따라 지역적으로 각기 다른 음향반응 (acoustic response) 을 보이며, 해저면의 표층 퇴적물은 대개 mud, silt, sand 등으로 크게 세 종류로 분류되고 이에 따른 지질학적 의미는 지구물리자료 해석에 매우 유용하게 이용될 수 있다.

해저퇴적물로부터 획득된 음향자료를 이용하여 해저면을 정의하는 분야를 지질음향모델링 (geoacoustic modelling) 으로 분류하고, 이에 따라 얻어진 결과를 확장하고 예측하므로써 해저면에서의 음파의 반사, 굴절, 산란 그리고 감쇠특성을 구명할 수 있다. 특히 음향자료의 분석은 퇴적물의 지질학적, 지질공학적 특성분석과 함께 지진파에 연관된 연구에도 크게 기여할 수 있다.

이런 분야의 연구는 선진국의 경우 20 세기 이후 개발되기 시작한 음향장비를 군사적 목적뿐만 아니고 해양자원 개발분야에도 널리 활용함으로써 큰 효과를 얻고 있다. 특히 최근들어서는 해저면(Seafloor) 에 대한 수중음향학 (underwater acoustics) 의 활발한 연구를 진행하고 있다. 이러한 분야에는 크게 나누워 음향학을 이용하여 해저면을 조사하는 분야와, 해저면이 음파의 거동에 미치는 영향을 결정하는 두 분야로 구분이 되지만 두 분야 모두에서 매개변수로 작용하는 퇴적물의 음향특성에 그 연구 초점을 맞추고 있다.

우리나라의 경우에는 해양자원의 탐사목적으로 1970 년대부터 한국 과학기술원 해양연구소(현 한국해양연구소) 및 기타 관련 연구기관에서 음파를 이용한 해양조사를 수행해 오고 있으나 퇴적물의 물성과 연관지은 음

향특성 연구는 극히 미미한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 해저면에 대한 음향자료를 이용하여 해저면을 분류하는 지질음향모델링 체계를 다음과 같은 연구 단계로 수행해 왔다.

- (1) 측정체계의 기술개발
- (2) 퇴적물 물성과 음향자료 분석결과와의 상관성 구명
- (3) 현장 및 실내검증
- (4) 음향특성 예측시스템의 개발

해저지형, 해저면의 형태 그리고 해저지층구조 등을 파악하는 데 있어 각 사용장비는 그 특정 주파수 대역을 갖는 음파의 송신 및 수신이 이루어지므로 조사목적에 따른 특정 주파수에 따른 해저퇴적물의 음향특성을 분류한다는 것은 매우 큰 의미를 부여하게 되는 것이다.

본 보고서는 1 차 및 2 차년도 후방산란 및 해저면반사에 대한 연구에 이어 최종년도 보고서로 해저퇴적물의 음향감쇠특성에 대한 정량적인 해석과 이에 따른 퇴적물의 음향특성의 예측에 필요한 기본적인 측정방법의 개발에 그 목표를 두었으며, 비교적 국한된 지역이기는 하나 경상북도 영일만 해역(북위 36°에서 36°10', 동경 129°20'에서 129°35')에서 획득된 퇴적물의 음파자료를 이용하여 음향감쇠에 대한 각종 결과값을 유도해 내었다. 특히 본 연구결과의 검증을 위하여 연구해역에서 채취된 해저퇴적물로부터 구해진 퇴적상, 평균입도, 공극율 밀도 등의 물성과의 관계를 심도있게 검토하였다. 본 연구의 특징은 채취된 퇴적물로부터 조사선 선상에서 500 kHz 의 초음파를 이용한 측정된 결과와 3.5 ~ 7.0 kHz 의 음파를 이용하는 측정시스템을 자체적으로 제작하여 실제 해저면으로 부터 얻은 자료를 함께 비교해 보았다는 데 그 의미는 매우 클 것으로 기대되며 세계적으로 이러한 시도는 처음일 것으로 생각한다.

제 2 장
해저퇴적물의 음향특성

여 백

제 2 장 해저퇴적물의 음향특성

제 1 절 해저퇴적물의 음향감쇠

음파가 퇴적물내에서 전파될 때의 에너지손실은 전파거리에 따른 기하학적 확산손실 (geometric spreading loss), 전달손실 (transmission loss), 그리고 흡음손실 (absorption loss) 로 나누어 진다. 기하학적인 확산손실은 퇴적물의 특성과 관계없이 음파의 전달과정 중 파면이 넓어지면서 단위 면적당의 음파에너지가 감소하는 현상이며, 전달손실은 음향임피던스가 다른 경계면에서 발생하는 음파의 반사 및 mode 의 변환등과 같은 에너지의 분배에 의해서 발생하는 손실로 위의 두가지 손실요인은 균질한 퇴적물의 특성과는 상관이 없다. 흡음손실은 퇴적물의 물리적 성질과 밀접한 관계를 가지며 퇴적물을 비탄성 모형으로 나타내는 데 있어서 매우 중요하며 특별하게 음향감쇠 (attenuation) 로 정의 된다. 특히 음향감쇠는 음파의 전달속도가 매질의 탄성특성 (elastic properties) 에 따르는 반면 비탄성 특성(anelastic properties) 을 보이며, 매질의 물리적인 상태, 포화도 등에 대한 정보를 지시하므로 퇴적물의 음향계수로서 매우 중요한 의미를 갖는다.

현재까지 알려진 감쇠의 주요 원인은 퇴적물의 결합구조와 관계되는 입자간의 접촉면에서 마찰손실과 결합구조상에 존재하는 해수의 점성에 의한 점성손실로 크게 나누어지며, sand 및 sandy silt 와 같이 큰 입자의 퇴적물에서는 마찰손실에 의한 것이며, clay 와 같이 세립퇴적물에서는 입자 상호간의 전기화학적 (electrochemical) 결합에 기인된 것으로 추정하고 있다(Stoll, 1974).

음파 P_0 가 거리 r 을 진행하였을 때의 음향감쇠는,

$$P_r = P_0 \cdot \exp(ar) \quad (1)$$

$$a = \gamma \cdot f^n / (20 \log e) \quad (2)$$

로 표현되며, 여기서 γ 는 주파수의 함수로서 dB/kHz-m 의 단위로 감쇠계수 (attenuation coefficient) 를 나타내며, f 는 음파의 주파수(kHz)이다.

Table 2-1 은 김 등 (1990) 이 한반도 주변해역의 표층퇴적물에 대해 dB/kHz-m 단위로 직접 구한 감쇠계수를 Hamilton (1970) 이 제시한 결과와 함께 정리한 것으로 퇴적물의 유형별 감쇠특성을 보인다. 이는 해양탐사시에 이용되는 주파수 대역과 비교하여 높은 주파수를 이용한 감쇠특성의 측정으로 실제 원하는 주파수대역의 감쇠계수는 식 (2) 에서 지수 n 을 결정해야한다. 그러나 Fig. 2-1 의 예시 결과와 마찬가지로 어떠한 유형의 퇴적물에 대해서도 n 의 값은 거의 1 의 값으로 특정의 측정주파수에서 구한 감쇠계수를 이용하여 관심 주파수대역에서의 감쇠특성을 예측할 수 있다.

해저퇴적물내의 음향감쇠계수는 일반적으로 fine sand 에서 coarse silt 사이의 입도에서는 최대이고, coarse sand 와 silt 에서 감소하여 fine silt 와 clay 에서 최저인 특성을 보인다. 특히 감쇠계수는 fine sand 에서 coarse sand 에 해당되는 음속인 1,550 m/sec ~ 1,600 m/sec 사이에서 최대가 된 후 감소하는 경향을 보이고, 퇴적물 물성 상호간의 선형적인 높은 상관관계를 보여준다. 감쇠계수가 최대인 퇴적물내에서는 강성율도 최대인 것으로 알려져 있다 (Hamilton, 1970).

제 2 절 해저퇴적물의 물성과 음향특성

해저면은 서로 다른 물성을 갖는 퇴적물로 덮혀 있으며 이러한 물성은 음파의 반사 및 굴절을 연구하는데 있어 필수적이다. 해저퇴적물은 다

Table 2-1. Attenuation coefficient of sediments around the Korea Peninsula compared with Hamilton(1972) (After Kim et al. 1990).

Sediment Type	k(dB/kHz-m)	
	Kim et al(1990)	Hamilton(1972)
Sand coarse	0.66	0.23-0.51
medium	-	0.25-0.60
fine	0.52	0.29-0.71
very fine	0.42	0.35-0.83
Silt coarse	0.58	0.22-0.84
medium	0.35	0.08-0.82
fine	0.20	0.05-0.33
very fine	0.13	0.04-0.21
Clay	0.16	0.02-0.17

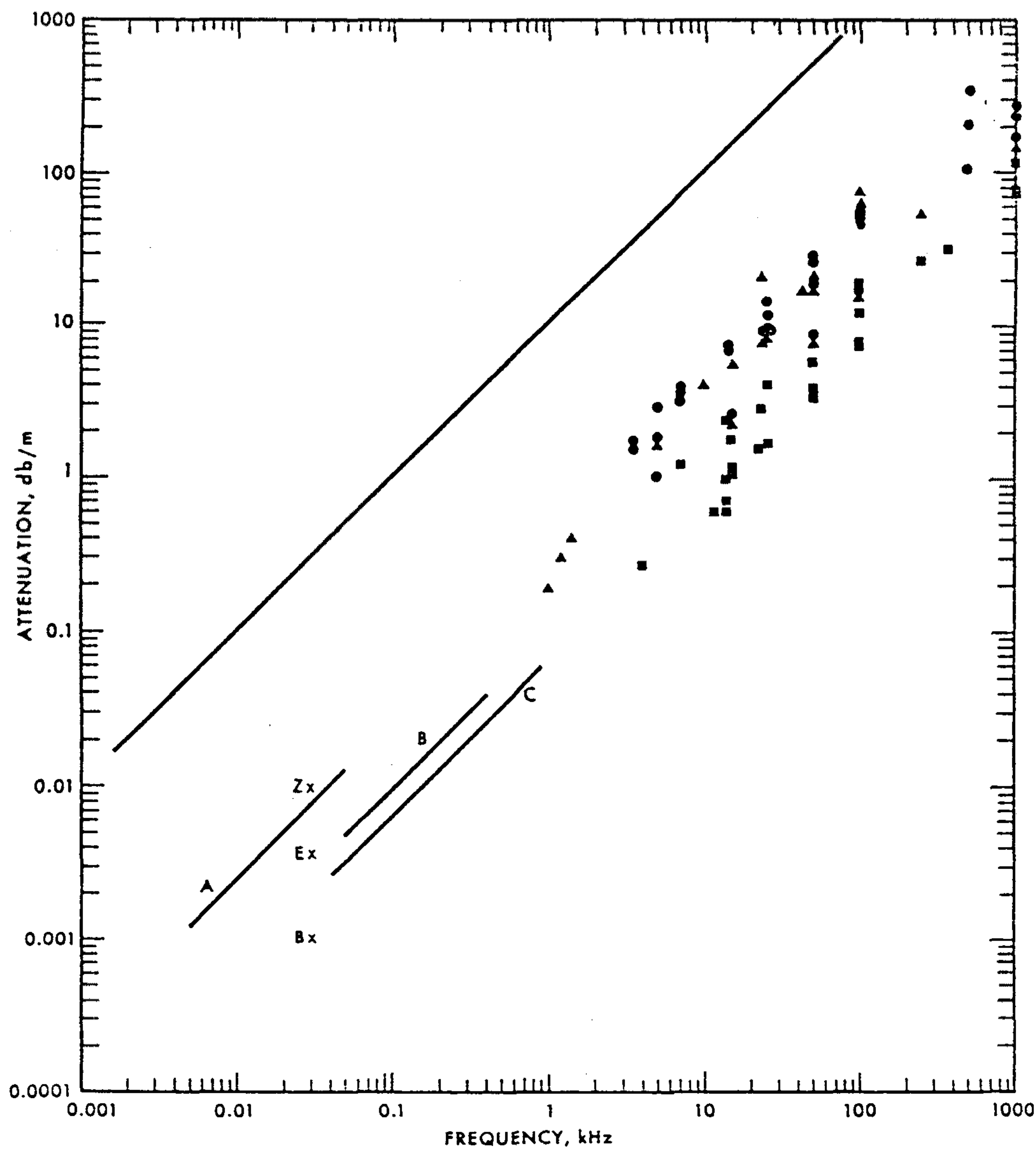


Fig. 2-1. Attenuation versus frequency in natural, saturated sediments and sedimentary strata. Symbols: circle = sands; squares=clayey silt, silt clay; triangles = mixed size. Line labeled f_1 indicates slope of any line having a dependence of attenuation on the first power of frequency (after Hamilton, 1972).

양한 광물의 결합체로서 입자와 입자사이의 공극이 해수로 충전되어 있다. 수직입사파에 대한 해저면의 반사계수를 결정하는 변수는 퇴적물의 밀도와 음속으로서, 퇴적물의 음향계수와 물성과의 관련성을 연구하는 것이 지질음향모델링에서 매우 중요한 과제이다.

1. 공극율과 밀도

퇴적물에서의 공극율 (porosity) 과 밀도 (density) 의 관계는 비교적 많이 보고 되어 있는데 (Shumway, 1960; Breslau, 1967; Akal, 1972), 두 변수는 상호간에 다음의 선형적 관계식으로 표현된다 (Akal, 1972).

$$\langle \rho \rangle = 2.604 - 1.606 \cdot p$$

여기에서 $\langle \rho \rangle$ 는 해수에 대한 퇴적물의 상대밀도 (ρ' / ρ), 그리고 p 는 공극율이다.

2. 공극율과 음속

음파를 전달하는 매질로서 작용하는 퇴적물은 고체입자 및 해수로 충전된 공극공간 (pore space) 의 두가지로 구성된다. 압축파가 퇴적물내에서 전파하는 속도는 퇴적물의 탄성특성에 의해서 결정된다.

Woods (1941) 는 광물의 입자에 미치는 음향압력이 균질한 해수에 미치는 압력과 같다고 가정하였다 즉 음파의 전달시 광물입자와 해수는 동일한 위상으로 (in phase) 움직인다고 가정할때 압축파의 속도 V_p 는

$$V_p = 1 / \beta_s \cdot \rho'$$

으로 표현되고 여기서 β_s 는 퇴적물의 압축율 (compressibility) 이다. Woods (1941) 는 고체입자가 부유하고 있는 상태로서 퇴적물을 가정하였으

므로 용적압축율 (bulk compressibility) 이 입자 각각과 해수의 압축율의 합

$$\beta_s = p \cdot \beta_{s a} + (1 - p) / \beta_d$$

와 같이 쓸 수 있다고 고려하였다. 여기에서 β_s 및 β_d 는 해수 및 광물입자의 압축율이다.

이에 상응하는 관계식으로는 전밀도 (bulk density) 에 대해서도 다음과 같이 성립된다.

$$\rho' = p \cdot \rho + (1 - p) \cdot \rho_d$$

여기서 ρ_d 는 광물입자의 건밀도 (dry density) 이다. Nafe and Drake (1957) 는 퇴적물 내에서 공극율에 따른 압축파 속도의 변화에 대한 실험결과가 윗식을 만족함을 보였다.

Shumway (1960) 는 위에서 논의된 Woods (1941) 의 논의가 강성율을 무시했기 때문에 공극율이 낮은 경우의 제약성이 있음을 보였고 다음과 같은 강성율에 대한 작은 계수값 (rigidity modulus) 을 첨가하여 압축파의 속도를

$$V_{Shumway} = (k + b \cdot (1 + p) \phi / \rho')^{1/2}$$

로 표현하였다. 여기서 k 는 퇴적물의 용적계수 (bulk modulus), b 는 상수 (=0.8), ϕ 는 직경이 62.5 micron 보다 큰 입자들의 응집도이다.

Akal (1972) 은 북대서양 및 노르웨이해에서 채취한 8,287 개 퇴적물 시료의 공극율과 음속을 측정하여 회귀방정식

$$V_p = 1.631 - 1.78 \cdot p + 1.2 \cdot p^2$$

로서 음속과 공극율의 관계를 제시하였다. 이 식에서 해수에 대한 퇴적물의 상대음속 (V_p/V_s) 은 1.30 ~ 0.95 이며 공극율의 범위는 25 ~ 95 % 이다.

3. 공극율과 반사계수

해수와 퇴적물의 경계에서 발생하는 음향반사에서, 해저면 최상부 지층의 두께가 파형요소에 비해서 충분히 크다면 해저면에서 반사된 파형과 하부의 지층경계면에서 반사된 파형을 분리, 구별할 수 있다. 이 경우 최상부의 퇴적층을 무한의 반공간 (infinite half-space) 으로 가정하는 데 반사계수는 음파의 주파수에 영향을 받지 않는다.

수직입사파에 대한 해저면의 반사계수는 표층퇴적물의 밀도와 음속에 의해 결정되는 데 Akal (1972) 은 퇴적물의 밀도와 음속의 측정치로부터 반사계수 R_0 를 구한 후 이것을 공극율 p 와 대비할 때 강한 선형적인 관계가 있음을 인지하고, 회귀방정식

$$R_0 = 0.589 - 0.59 \cdot p \quad (= 0.025)$$

를 제시하였다.

이와는 달리 Faas (1969) 는 둘 사이의 관계를 회귀방정식을

$$R_0 = 0.6468 - 0.6456 \cdot p$$

으로 제시하였다. 반사계수가 공극율에 좌우되는 것은 Urick (1947) 이 최초로 보였으며, Breslau (1967) 는 여기에 퇴적물의 평균입도와 공극율 사이에서 관측한 관계를 더하여 음향반사 자료로부터 퇴적물의 입도를 예측하였다 (Hamilton, 1970).

4. 공극율과 음향손실

퇴적물의 물성 및 해수의 밀도와 속도가 정확하다면 다음의 식을 이용하여 정확한 반사계수를 계산할 수 있다.

$$R_0 = R(\varepsilon=0) = (\rho' \cdot V_p - \rho \cdot V_0) / (\rho' \cdot V_p + \rho \cdot V_0), \quad \varepsilon=0$$

계산결과와 측정된 물성을 비교한 여러 자료들은 (Breslau, 1965, 1967; Fry and Raitt, 1961; Hastrup, 1970) 이러한 방법이 해수와 퇴적물의 경계

면에서 음향손실 (acoustic bottom loss, dB) 에 대해 신뢰할 수 있는 예측치를 제시하였다 (Hamilton, 1970). 여기에서 수직의 입사파에 대한 해저면에서의 음향손실 BL 은

$$BL = -20 \cdot \log R_0$$

로 주어진다.

Table 2-2 는 실험실에서 측정된 퇴적물의 밀도와 속도값을 이용하여 계산한 음향반사계수 및 손실을 퇴적물의 유형에 따라 정리한 것으로 (Hamilton, 1972), 퇴적물의 유형에 따라 음향변수값이 특징적인 값을 보인다. 따라서 전술된 관계를 이용하여 신뢰할 수 있는 범위내의 퇴적물의 물성을 이용하여 음향반사계수를 추정할 수 있다. 그러나 해저면의 음향특성은 몇 가지의 한정된 퇴적물의 물성에 의해서 결정될 수 없으므로 밀도와 공극율등의 물성과 음향학적 변수와의 상관관계가 있다고 해도 음속, 반사계수, 그리고 음향손실 등의 음향학적 변수 들은 음향자료로 부터 직접 구하는 것이 타당하다고 할 것이다.

Table 2-2. Sediment impedance, reflection coefficient, and bottom loss at the normal incidence (after Hamilton, 1970).

Environment	ρV_p		R		BL	
	Ave.	SE	Ave.	SE	Ave.	SE
Continental Terrace (Shelf and Slope) -						
Sand						
Coarse	3.7347	-	0.4008	-	7.8	-
Fine	3.4433	0.040	0.3749	0.005	8.6	0.12
Very fine	3.2645	-	0.3517	-	9.1	-
Silty sand	3.0633	0.050	0.3228	0.008	9.9	0.20
Sand silt	2.4201	-	0.2136	-	13.5	-
Sand-silt-clay	2.4939	0.059	0.2504	0.010	12.1	0.36
Clayey silt	2.1989	0.026	0.1767	0.012	15.2	0.66
Silty clay	2.1571	0.024	0.1586	0.005	16.1	0.29
Abyssal Plain (Turbidite) -						
Sandy silt	2.6795	-	0.2676	-	16.6	-
Silt	2.6111	-	0.2208	-	12.0	-
Calcyey silt	2.1154	0.048	0.1506	0.011	16.7	0.76
Silty clay	1.8919	-	0.0944	-	20.7	-
Clay	1.8911	-	0.0941	-	20.6	-
Abyssal Hill (Pelagic) -						
Calcyey silt	2.1615	-	0.1596	-	15.9	-
Silty clay	2.0674	0.021	0.1412	0.005	17.2	0.31
Clay	2.1118	0.035	0.1477	0.008	16.7	0.54

Notes : Laboratory value : 23°C, 1 atmosphere.

ρV_p = Sediment impedance, gm/cm³ sec X 10⁶ ;

R = Rayleigh reflection coefficient ;

BL = Bottom loss(db);

SE = Standard error of the mean

여 백

제 3 장
조사해역의 지질개관

여 백

제 3 장 조사해역의 지질개관

제 1 절 해저지형

영일만은 한반도의 동남부에 위치하여 한반도 동부에 남북방향으로 뻗어 있는 태백산맥의 끝단 일부가 본 지역의 북서부에 걸쳐 있고 장기갑으로부터 경주의 토함산을 잇는 남서방향의 산계가 본 지역의 남부에 분포하고 있다. 이 두 산계 사이에 남서방향으로 형상강이 흘러 영일만으로 유입되고 포항 부근에 널리 충적층을 형성하고 있다.

형상강의 유역 면적은 1,167 km² 에 달하며 길이는 약 62 km 로 영일만으로 가장 많은 하수를 공급하고 있다. 곡강의 경우는 영일만의 북부에 위치하고 있는 분지상의 홍해지역으로부터 영일만의 북부로 유입되고 있다. 합천은 남서부의 연안에 분포한 산간지역으로부터 영일만으로 유입된다. 영일만의 서측해안선은 넓은 충적층 사이에 해빈사를 형성하고 그외 지역의 해안에는 대부분 단애를 이루고 있다.

영일만의 면적은 약 200 km² 로 남서와 북동방향으로 놓여진 장방형의 형태로 대부분의 만에서는 그 수심이 30 m 이하 이다. 해저의 지형은 완만한 경사를 보이는 대지의 형태이고, 남측과 북측의 해안선에서는 급한 경사로 육지로 이어지고, 서측에서는 비교적 완만한 경사로 육지로 이어진다. 영일만내의 최심부는 장기갑의 서남동의 연안부로서 약 30 m 의 깊이이고, 동해와 연결되는 본 만의 동측에서는 급격한 수심의 하강으로 동해의 대륙붕과 연결된다. 영일만 부근의 대륙붕은 좁은 대상의 분포를 보이며 동해의 심해저로 연결된다.

본 영일만의 주위에 발달한 형상강, 곡강 및 합천은 다량의 퇴적물

을 영일만으로 운반하고 계절에 따라 운반되는 퇴적물의 양은 유수의 증감에 따라 심한 변화를 보여준다.

제 2 절 주변지질

영일만의 지질은 경상계로 구성되어 있고, 대부분 제 3 계의 니암, 사암 및 소규모의 낙암으로 구성된 퇴적암류와 조면암 및 유문암으로 구성되어 있다. 영일만의 주변으로 멀어짐에 따라 경상계 종류의 퇴적암류, 화산암류 및 화강암으로 구성되어 있다. 영일만으로 유입되는 하천인 형상강에는 비교적 넓은 충적층으로 구성되어 있고, 그 하구에는 삼각주 형태로 넓은 충적층이 만의 연안에 구성되어 있다. 만의 북서 해안은 제 3 계의 여남층과 두호층으로 구성되어 있고 여남층은 주로 니암으로 분포되어 있고, 사암은 다소 협재되어 있다. 경사는 대체로 10° 내외로 동북방향이며, 주향은 동남을 보인다. 두호층에서는 대부분 니암과 사암이 호층을 이루고 있고, 층후는 대체로 150 내지 200 m 이며, 주향과 경사는 여남층과 유사하다. 그러나 곳에 따라서는 1 m 내외의 낙암이 협재하기도 한다.

만의 남서연안은 형상강으로부터 유입되어 퇴적된 삼각주상의 충적상으로 구성되어 있고, 이 충적층은 자갈, 모래, 펄 및 점토로 구성되어 세립질의 펄과 점토질로 분포되어 있다.

동남해안은 제 3 계 늪대리 조면암질 응회암과 제 4 계 연일 현무암 및 안산암으로 구성되어 있다. 늪대리 조면암질 현무암은 층리가 명확하지 않아 지층의 주향 및 경사가 일정하지 않으나 대체로 20° 내외의 남서방향의 경사를 보인다. 영일 현무암 및 안산암은 주로 조면암질 현무암으로 석영은 거의 없고 극소량의 감람석이 함유되어 있다. 일반적으로 영일만 부근의 지질은 제 3 계의 니암 및 화산암이 우세하며 형상강으로 부터의 충적 퇴적물로 구성되어 있다.

제 4 장
해양조사 및 분석방법

여 백

제 4 장 해양조사 및 분석방법

제 1 절 조사방법과 측정위치

연구해역의 전반적인 해저퇴적물 분포특성과 음향특성이 도면화될 수 있도록 격자망의 조사정점을 설정 (Table 4-1 과 Fig. 4-1) 한 다음 정확하게 조사정점을 찾아가기 위하여 Decca Trisponder System 에 의한 조사선의 항법장치를 이용하였다.

해저퇴적물 시료는 grab sampler를 이용하여 채취 되었으며, 500 kHz 초음파를 이용한 퇴적물 음향특성 측정은 조사선 선상에서 바로 음속 및 감쇠계수 분석을 위한 측정실험을 수행하였다. 아크릴 용기로 수직 및 수평방향의 시료를 채취할 때에는 최소한의 교란을 유지하며 grab sampler 에 채취된 시료의 표층퇴적물을 사용하였다. 나머지 시료는 밀봉된 플라스틱 용기에 담아 실험실로 옮겼다.

3.5 ~ 7.0 kHz 음향특성을 위한 현장자료 획득방법은 퇴적물을 채취한 위치에서 조사선이 투묘 (anchoring) 된 상태에서 측정장비를 해저면에 완전히 안착시킨 다음 측정자료를 획득하였다.

Table 4-1 에서 보면 조사정점 좌표는 있으나 퇴적물 채취가 없었거나 혹은 음향특성 분석자료를 얻지 못한 지점들이 있다. 처음에 계획했던 조사정점이 어망지역인 경우는 측정이 불가능하였고, 조립질 퇴적물이 분포하는 지역에서는 퇴적물 채취는 가능하였으나 500 kHz 의 측정실험이 불가능한 경우도 있었다. 그리고 3.5 ~ 7.0 kHz 측정실험의 경우 퇴적물시료가 없이도 분석된 결과도 있으며 퇴적물 자료가 있어도 분석하기에 아주 불량한 신호파형이 획득되었을 경우에는 생략되었다.

Table 4-1. Position of the sediment sampling station.

ST.	LAT. (N)	LONG. (E)	Sediment sample	500 kHz	3.5 ~ 7.0 kHz
1	36°02'30.40"	129°29'40.61"	0	0	0
2	36°03'04.00"	129°30'29.22"	0	0	0
3	36°04'34.01"	129°32'09.43"	0	0	-
4	36°05'30.41"	129°32'13.03"	0	-	0
5	36°03'54.40"	129°30'23.22"	0	0	0
6	36°02'18.40"	129°28'38.21"	0	0	0
7	36°01'36.39"	129°27'46.00"	0	0	0
8	36°03'05.20"	129°28'24.41"	0	0	0
9	36°03'41.20"	129°29'10.01"	0	0	0
10	36°04'47.81"	129°30'16.02"	0	-	0
11	36°05'31.61"	129°31'08.23"	0	-	-
12	36°06'15.42"	129°31'31.63"	0	-	0
13	36°04'40.61"	129°29'09.41"	0	-	0
14	36°02'24.40"	129°26'32.19"	0	0	0
15	36°02'20.80"	129°25'39.39"	0	0	0
16	36°03'31.01"	129°26'54.40"	0	-	0
17	36°03'56.21"	129°27'22.60"	0	-	0
18	36°04'27.41"	129°27'52.01"	0	-	0
19	36°05'37.63"	129°29'12.42"	0	-	0
20	36°06'08.82"	129°29'56.83"	0	-	-
21	36°06'15.42"	129°28'49.01"	0	-	0
22	36°05'25.02"	129°27'53.21"	0	-	-
23	36°03'58.01"	129°26'20.20"	0	-	0
24	36°03'05.80"	129°25'26.79"	0	-	0
25	36°02'19.61"	129°24'40.58"	0	0	0
26	36°01'35.79"	129°29'27.41"	0	0	0
27	36°05'03.42"	129°26'52.60"	0	-	0
28	36°05'35.21"	129°33'15.20"	0	-	-

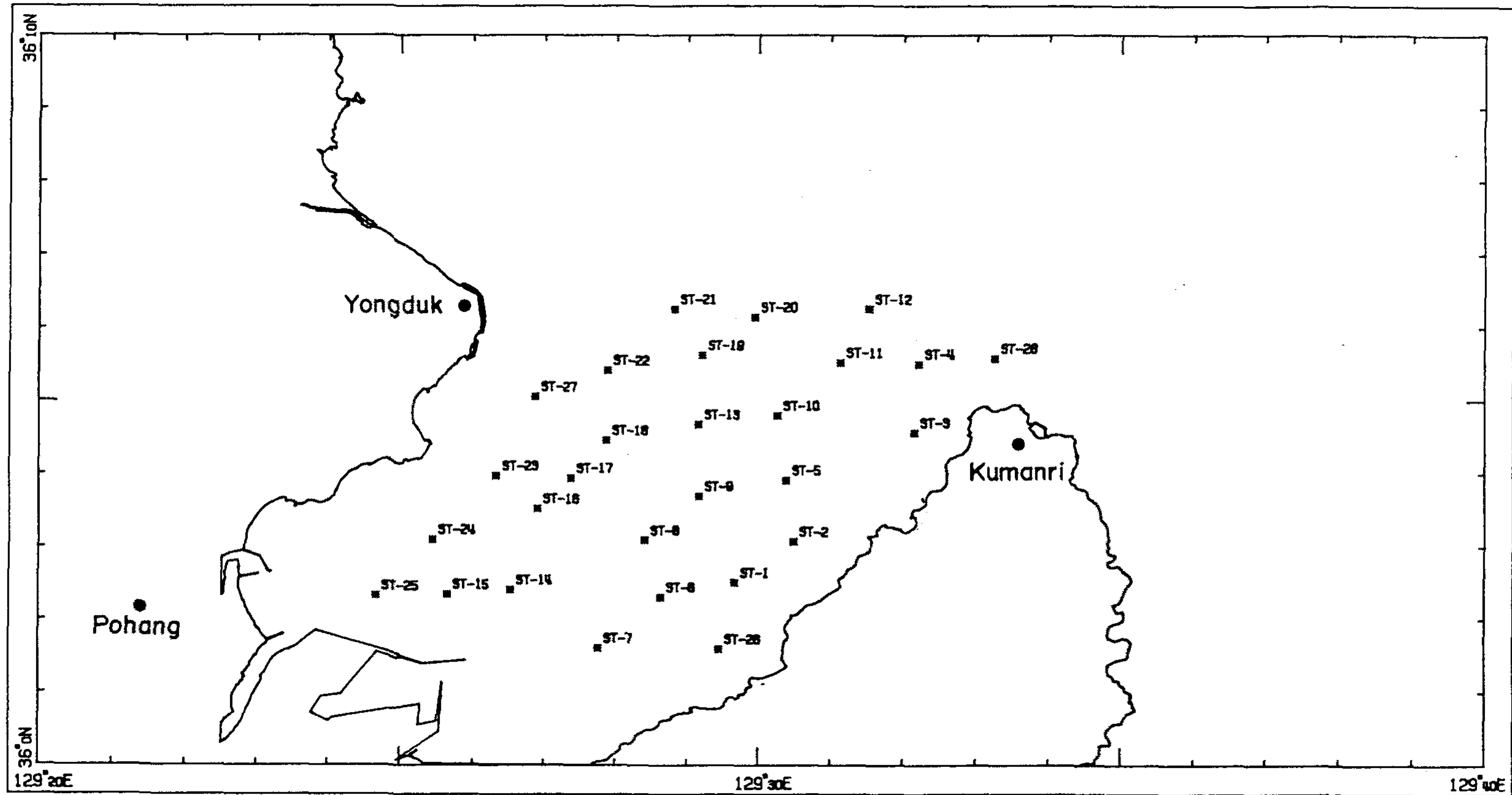


Fig. 4-1. Station map of the survey area.

제 2 절 500 kHz 조사장비 및 특성

암석시료의 음속을 측정하는 OYO 사의 SONICVIEWER 170 (Model 5228) 를 이용하였다. 본 장비의 주된 사용 목적은 암석에서의 음속측정이므로 측정시료를 육면체나 원통형의 일정한 모양으로 규격화시킨 다음 사용하게되어 있다. 본 연구에서는 해저퇴적물 시료이므로 2 cm x 4 cm x 4 cm 의 정방형 아크릴 용기를 제작하여 측정시료로 사용하였다. 해저퇴적물 시료는 Grab 을 이용하여 채취한다음 조사선 선상에서 바로 수직방향과 수평방향 두방향의 시료를 아크릴 용기로 재채취하여 측정분석 하였다. 본 장비의 주 목적은 음속이지만 음속측정을 위한 신호파형이 시스템 자체에 내장되므로 이 신호파형을 이용하게되면 음향감쇠 특성을 계산해낼 수 있기 때문이다.

본 장비의 구성은 측정부분과 자료처리부분 그리고 변환기 등의 크게 세가지로 나누어져 있다. 측정부분은 이득조정 (gain control), 필터링, A/D 변환, sampling rate, 기록시간 등의 기능이 있으며, 자료처리부분은 신호파형을 보여주는 모니터, 열감응기록지 (thermal roll paper) 에 프린팅, 3.5 인치 플로피디스켓에 저장, RS-232C 및 GP-IB interface 등의 기능을 갖추고 있다. 특히 계수화된 신호파형 자료가 플로피디스켓에 저장될 수 있어서 현장에서는 모니터로 양질의 신호인가만 확인하면서 기록한 다음 실험실에서 개인용 컴퓨터를 이용하여 자료를 처리할 수 있도록 되어 있다. 변환기는 P-파와 S-파 두가지가 있으며 P-파에는 중심주파수가 63, 200 및 500 kHz 세종류가 있으며 S-파는 33 및 100 kHz 두종류가 있다. 본 연구에서는 P-파의 500 kHz 변환기를 이용하여 실험하였으며 그밖의 다른 주파수 대역에서는 측정이 불가능한 이유는 다음절에 설명되어 있다. 본 장비의 구체적인 사양은 Table 4-2 에 상세히 요약 정리되어 있다.

Table 4-2. Specifications of 500 kHz acoustic properties measuring system.

● Measuring Unit :	
Gain	2 ~ 1000 times(Steps are 1, 2, and 5)
Filter L.C.F.	30 kHz or 500 Hz
H.C.F.	1 MHz or 200 kHz
A/D convertor	8 bit
Sampling range	50, 100, 200, 500, 1000, 2000 nsec
Recording length	2 K word
● Processing Unit :	
CRT display	Function for waveform contraction and scroll equipped
Printer printing	Waveform data plottable
Floppy diskette	3.5", 720Kbyte, 3.5" formatted
RS-232C interface	
GP-IB interface	
Function to calculate the Dynamic elastic constants equipped	
● Workable environment :	
Working temperature ·	0 ~ 40 °C
Working environment ·	Humidity 20 ~ 80 % R.H. (Subject further to dewdrop)
Power voltage	DC 8 ~ 13 Volt
Current consumption ·	7A max.
● Dimensions :	
Outer dimension	390(W) X 355(H) X 370(D) mm
Weight	18 kg(including the system case)
● Transducer :	
P-wave transducer (Model-5211) :	f= 63 kHz
P-wave transducer (Model-5224) :	f= 200 kHz
P-wave transducer (Model-5227) :	f= 500 kHz
S-wave transducer (Model-5212) :	f= 33 kHz
S-wave transducer (Model-5223) :	f= 100 kHz

제 3 절 3.5 ~ 7.0 kHz 조사장비 및 특성

3.5 ~ 7.0 kHz 중심주파수 대역에서 음속 및 음향감쇠 특성을 측정할 수 있는 장비는 아직까지 제품화되어 있는 것은 없으며, 본 연구를 위해 특별히 고안하여 제작하였다. 일반적으로 고해상도의 해저지층탐사 단면도를 얻기위하여 3.5 ~ 7.0 kHz sub-bottom profiler 라는 장비를 사용하게 되는데, 본 연구는 여기서 아이디어를 얻게되었다. 3.5 ~ 7.0 kHz 지층탐사단면은 전 세계적으로 사용되고 있는 자료이므로 이 주파수대역 내에서 음속과 음향감쇠 특성자료를 함께 구할 수 있다면 지질구조 해석상에 많은 도움을 줄 수 있다는 판단에서 시도해본 것이다.

측정장비의 구성은 천부지층탐사장비 중에서 음파신호를 제어하는 TRANCEIVER (ORE, Model 140) 은 그대로 이용하였고, ORE 사의 음파를 내고 받는 변환기 (Model 137D) 는 지층탐사에서는 4 개를 사용하지만 본연구에서는 한개만 사용하였다. 그리고 변환로 부터 일정한 거리를 이격시킨 위치에서 음파신호를 받기위하여 4 m x 20 cm 의 철재 구조물을 제작한 다음 Model 137D 의 변환기를 한쪽 끝에 고정 부착시키고 거리가 1 m 되는 위치마다 4 cm x 15 cm 정도의 얇은 철판조각을 용접한다음 그위치에 BENTHOS 사의 음향수진기 (hydrophone, Model AQ - 1) 을 한개씩 고정시켰다. 심해 환경하에서는 본 장비구성은 개선의 여지가 있지만 수심 100 m 정도의 연근해 해양환경하에서는 사용에 무리가 없을 것으로 판단하고 신호케이블은 200 m 씩 각각 연결하였다. 특히 변환기와의 연결케이블에는 별다른 영향을 미치지 않지만 음향수진기와의 연결케이블에서는 케이블 자체가 가지고 있는 저항 때문에 신호파형의 상당량이 감쇠될 것을 감안하여 저항이 가능한 적은 케이블 선택에 유의하였으며 길이는 똑 같도록 제작하였다. 음파신호의 수신 및 기록은 4 채널의 오실로스코프에서 먼저 trigger pulse 와 함께

3 개의 음향수진기로 부터 동시에 들어오는 파형들을 확인한 다음 다채널의 아날로그형 자기테이프 기록계 (KYOWA, Model RTP - 600B) 에 녹음기록하게 되며, 계수형 오실로스코프 (Tektronix, Model 11201A) 를 통해 분석될 자료가 개인용 컴퓨터에 입력된다.

본 측정시스템에 문제점은 있다. 해저면이 어느정도 soft 하다고 보고 4 cm x 15 cm 정도의 얇은 철판을 부착하여 그 부분이 음향수진기와 함께 해저면에 박히도록 구상한 것이지만 해저면이 딱딱할 경우 들어오는 신호파형은 해저퇴적물을 통과한 것 이라기보다는 해수층을 통과한 신호파형이 잡힐 가능성이 있다. 따라서 상당히 고화된 사질의 해저퇴적물임에도 불구하고 측정된 음속이나 감쇠계수값이 낮다고 판단되는 경우는 측정자료의 신빙성은 없다고 보아야 할 것 이다. 본 연구에서 자체적으로 제작한 음향감쇠계수 현장관측용 측정시스템의 장비구성을 요약 정리하면 Table 4 - 3 와 같다.

제 4 절 500 kHz 및 3.5 ~ 7.0 kHz 측정시스템 비교

500 kHz 초음파를 이용하는 측정방법은 적은량의 시료를 이용하면서 비교적 저렴한 비용으로 측정 결과를 얻을 수 있다는 점과 시추퇴적물을 이용하여 퇴적물의 음향특성 계수를 측정할 수 있다는 입장에서 퇴적물의 하부층까지의 자료도 산출해 낼 수 있는 이점이 있다. 그러나 단점은 다양한 종류의 퇴적물에서는 측정의 한계가 있어서 조립질 또는 사질 퇴적물에서는 측정용 시료채취가 불가능하는 점과 적은량의 시료를 사용하기때문에 시료의 정확한 크기 또는 길이가 얼마나 정확히 유지되느냐에 따라서 측정 결과의 신빙성이 결정된다.

3.5 ~ 7.0 kHz 를 이용하는 측정시스템은 천해용 지층탐사 장비와

Table 4-3. Specifications of 3.5 ~ 7.0 kHz acoustic properties measuring system.

● O.R.E. Model 140 transceiver	
Transmit Section :	
Output Power-Adjustable	1 - 10 kW
Transmit Frequency-Adjustable	1 - 12 kHz
Transmit Pulse Length-Adjustable ..	0.2 - 10 ms
Internal Repetition Rate-	
Adjustable	1 - 10/second
Output Impedance-Adjustable	5 - 100 ohms
Short Circuit and Over Load Protected	
Receive Section :	
Receiver Frequency-Adjustable	1 - 12 kHz
Receiver Band Width-	
Adjustable	0.5 - 5 kHz
Input Impedance	10 k ohms
Output Impedance	Less than 100 ohms
Maximum Output Voltage	4 V P-P minimum
Sensitivity	30 microvolts RMS input (for 20 db signal-to-noise ration) Produce 1 V RMS output
Time Varying Gain Section(TVG) :	
TVG Rate	Adjustable for normal water SpreadingLoss(-20logR)- (-40logR)
TVG Delay	Adjustable 1 ms - 1 sec (can be adjusted up to 15 seconds)
TVG "Finder"	Used to mark TVG on recorder
TVG Bottom Tracker	Automatically starts ramp when first bottom return is received.

Table 4-3. continued

Power Requirement	200 watts, 115 - 230 VAC, 1.7 - 0.9 amps, 50 - 60 Hz
Chassis	Bench or Rack Mounted 43 X 43 X 18 cm 22 k σ
Transducer(132B) :	
Transducer	70 cm X 48 cm X 40 cm
Staff Assembly	(2) 2 meter lengths (threaded coupling)
Frequency	2 - 7 kHz (for maximum efficiency)
Maximum Power	10 kW at 1 % duty cycle
Beam Width	55° at 3.5 kHz 40° at 5.0 kHz 30° at 7.0 kHz
Source Level	214 db re 1 μ Pa@1m
Total Shipping Weight	120 kg
● Hydrophone Model AQ-1	
Used in making hydrones and Streamer Arrays	
Small size and shape for higher towing speed	
Depth range to 1,828 meters	
Uniform sensitivity and capacity from unit to unit assures easy matching	
Capacity(pf nominal)	14,500
Sensitivity	-103 db
Response	\pm 0.5 db from 0.5 Hz to 3 kHz response is flat at -103 db from 50 Hz to 300 Hz
Directivity	Omnidirectional within 0.5 db in horizontal(XY) plane

Table 4-3. continued

Weight in Air	17 grams
Depth Rating	1,828 meters(6,000ft)
● Recording Unit (RTP-600B)	
Recording mode :	FM mode, DR possible by unit change
Track/Channel :	14 track + double edge track FM14CH + voice 1 CH
Tape :	Video cassette tape L-500
Tape drive :	Dual capstan drive Fixed tension reel servo
Fast forward/ rewind time :	Approx. 3.5 minutes(L-500)
Start/Stop time :	3 seconds or less
Tape Speed	
Accuracy :	Within $\pm 0.2\%$
Input Level :	± 0.2 V to 16 V peak
Input Impedence:	FM 100 k Ω unbalance DR 10 k Ω unbalance
Output Level :	Voltage 0 to ± 5 V peak, Impedence 600 Ω or more Current 0 to ± 20 mA, Impedence 30 Ω (FM only)
Input Level Shift :	Optional $\pm 100\%$ shifting
Filter :	Linear phase and flat amplitude, switchable
Output impedance :	FM 10 Ω unbalanced DR 75 Ω unbalanced
Crosstalk :	Below noise level
Drift :	Within $\pm 1\%$ (15 minutes after power on)
Power supply :	DC 11 V to 30 V, 7.5A or less AC voltage (90 to 130 V, 180 to 260 V) (48 to 440 Hz)
Operating Temperature range :	0 to 40°C, 20 to 80% RH

Table 4-3. continued

Outer Dimension	: 444(W) X 220(H) X 349(D)
Weight	: 17.5 kg (Approx. 38.6 lbs)
● Digitizing Oscilloscope (Tektronix-11201A)	
Horizontal System :	
Time Base	..... Two identical built-in time bases
Record Duration	..... 5.12ns to 1024 s in 1-2-5sequence
Time base Accuracy	..... 100ps + 0.002% of measurement interval
Record Length	..... 512 points to 10,240 points
Sampling Rate	..... 20 MS/s Max.
Single Trigger Precision	200 ps
Repetitive Precision	..... 10 ps, after 100 average
Accuracy	..... 250 ps + 0.002% of record duration
Trigerring System :	
Range	..... ±Full screen
Bandwidth	..... 400 MHz Max.
HF Reject Coupled	..... 0.7 div from dc to 30 kHz
LF Reject Coupled	..... 0.7 div from 80 kHz to 50 MHz, increasing to 2 div at 400 MHz
Inputs/Outputs :	
Printers and Plotters	... Centronics interface supports Epson graphics-compatible dot matrix printers
Power Requirements :	
Line-Voltage Range	..... 90 to 132 V RMS; 180 to 250V RMS
Line Frequency	..... 48 to 440 Hz
Maximum Power Consumption	320 W

동일한 주파수 대역에서 음향특성 계수를 측정함에 따라 결과로 산출되는 자료의 활용성은 대단히 높다. 그리고 측정자료를 해저면에서 직접 관측하여 얻는 방법이므로 해수의 온도와 염분도 그리고 수심에 의한 압력 등이 현장조건 그대로 라는 점에서 실질적인 자연환경하에서 측정된다는 이점이 있다. 단점은 우선 비용이 저렴하지 않다는 점과 상당한 규모의 여러가지 장비가 투입되어야 한다. 그리고 현재의 개발된 시스템으로써는 수심이 연근해 환경이 아니면 여러가지 측정하기 어려운 문제점들이 대두된다. 예를 들면 신호케이블 문제가 가장 심각하다. 연결문제와 함께 케이블 선택과 보관, 방수처리와 수명 등 그리고 winch 문제까지 고려의 대상이 된다. 조류가 강한 해역에서는 철재구조물을 보다 단단하고 중량감있게 고안하여야 할 필요도 있다. 또한 중요한 요건은 변환기와 음향수진기가 수압에 견딜 수 있는 적절한 제품을 선택해야 한다는 점 등을 들 수 있다.

이상의 몇가지 두 측정시스템의 장단점에 관하여 언급하였으나 여기서 가장 중요한 사실은 있는 장비를 그대로 이용하면서 해저퇴적물의 음향특성 계수를 측정하기 위한 독자적인 연구방법을 구상하고 시도해 본다는 데 본 연구사업의 큰 의미가 있다고 본다.

제 5 절 해상위치 측정장비

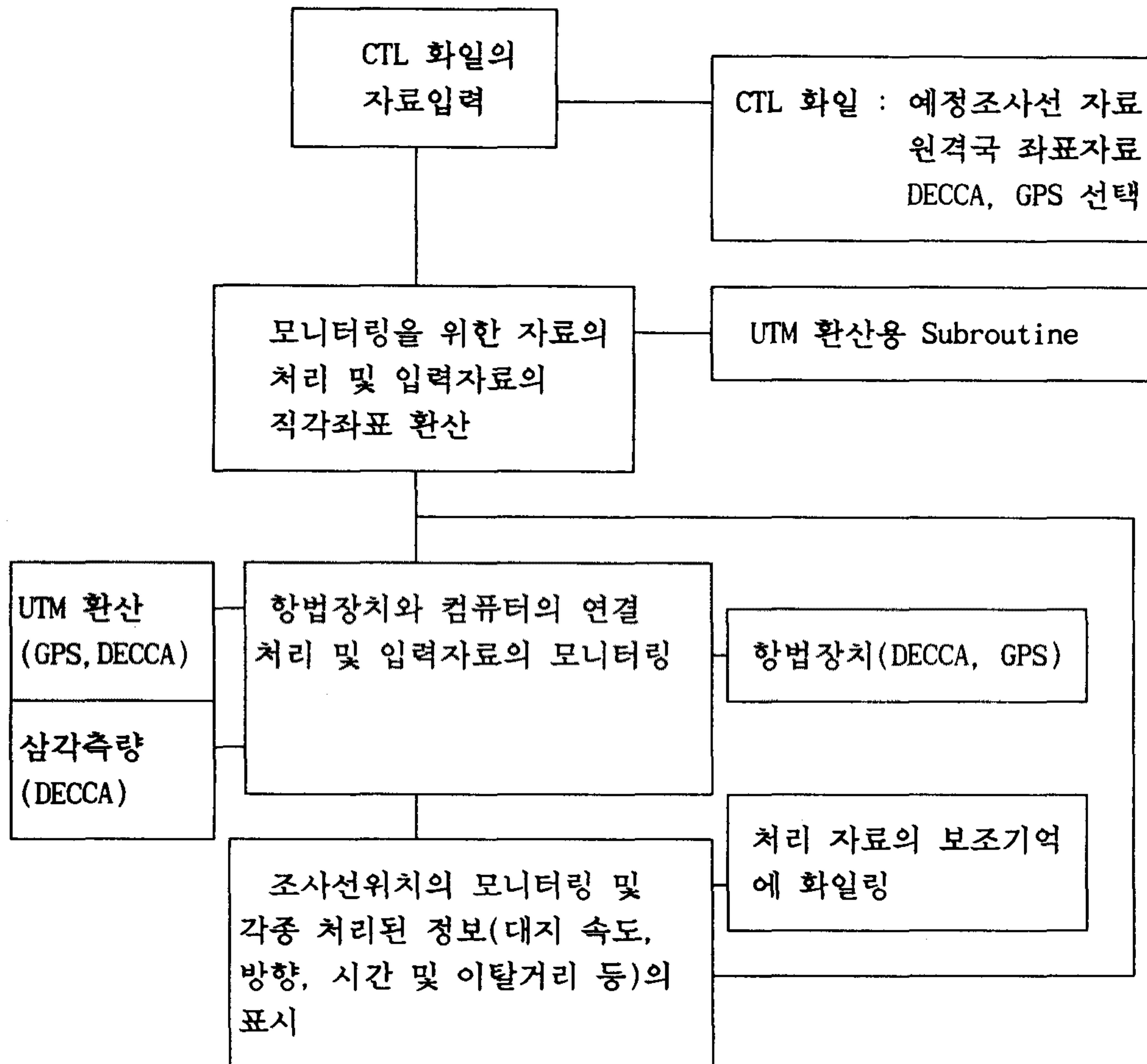
본 조사에 사용된 해상위치 측량 장비인 Decca Trisponder System 은 해상에서 조사선의 정확한 위치 (오차 : ± 1.0 m) 를 측정하는 장비로써 위치를 알고 있는 2 개 물표의 육상국에 원격국 (remote station / slave station) 을 설치한 후 조사선에 설치되어 있는 주국 (master station) 으로부터의 발신 및 수신에 의한 시간차에 의한 전파특성을 고려한 두지점 간의 정밀거리가 측정되고 동시에 수신된 2 개의 원격국의 거리에 의한 삼각측량

으로 주국의 정밀위치를 측정하게 된다.

Decca (또는 GPS) 에 의한 정밀 위치자료의 실시간처리 (real time processing) 를 위하여 개인용컴퓨터 (IBM PC/AT, 100% compatibility) 제어의 소프트웨어를 개발 운영하였는데, 이는 기존의 측위 방법을 하나의 모듈화하여 처리하게 된다. 하나의 모듈화한 처리시스템은 제 1 모니터와 제 2 모니터로 구성되어 있으며 제 1 모니터는 조사를 위한 항해를 전반적으로 제어하며, 제 2 모니터는 조사선의 측선 유지를 위하여 조타실에 설치하게 된다.

소프트웨어의 내용으로는 항법장비로 부터 수신된 거리 및 위치자료의 이용에 있어서, Decca System 은 삼각측량의 원리를 이용하여 1차로 직각좌표 (UTM: Universal Transverse Mercator) 로 환산하고 이를 다시 경, 위도 좌표로 환산하는 데 좌표정보에 의해 부속적으로 얻어지는 (대지속도, 방향, 조사예정선 정보, 예정조사선으로 부터의 이탈거리 등) 정보는 실시간으로 모니터에 표시된다. 특히 종국에 의한 거리정보 및 정확한 시간 정보는 컴퓨터 기억장치 (80 Mb Hard Disk) 에 기억되며, 조사후의 보정처리 및 도면제작 등의 작업에 이용되기 위하여 화일링 (filing) 되어 보관된다. GPS 에 의한 경위도의 입력자료는 한 차례의 직교좌표처리에 의해 전술의 모든 정보를 일괄처리하여 모니터링하게 되며 특히 GPS 의 경우에는 인공위성 상태에 대한 추가의 정보를 후처리과정에서의 오차 수정 (GDOP: Geometric Dilution of Precision) 을 위하여 화일링된다. 본 시스템은 특히 정밀한 위치자료를 선상에서 실시간 (real time) 처리가 가능하고, 별도의 조사항적을 위한 각종 도면에 대한 사전작업이 필요없으며, 조사가 완료된 후 조사선에서 또는 연구실에서의 분석을 위한 자료의 보관이 용이하여 후처리를 빠른시간에 완료할 수 있는 (도면의 제작, 항적의 재현 및 다른 자료해석을 위한 항적자료) 장점이 있어 실시간의 직선항해를 요하는 조사

에는 반드시 필요하여 조사선의 예정선 유지에 유용하다. 본 시스템의 소프트웨어 및 하드웨어에 대한 일반적인 구성은 다음과 같다.



1. Decca Trisponder System

본 장비는 거리방식 (ranging system) 의 대표적인 측위방법으로

전파를 이용하여 해상의 고정밀 위치를 측정한다. 특히 전파를 이용하는 관 계로 주야 및 해상조건등에 대해서 큰 영향을 받지 않는 특징이 있다.

장비의 구성 : DDMU(Digital Distance Measurement Unit)-540

1 Master 217C/218C Trisponder

2 Remote 217C/218C Trisponder

최대측정거리 : 80,000 m (직선거리)

최소측정거리 : 100 m

거리측정단위 : 1 m

거리분해능 : 0.5 m

거리정밀도 : -3 m - +3 m

전 원 : 24 - 25 VDC

이용가능최대고도 : 30,000 ft

2. 기본원리

정밀측량된 육상의 2 개 물표에 종국 (slave station) 을 설치하고 조사선에는 주국 (master station) 을 설치하여 움직이는 조사선의 주국 전 파발신 시각 T_0 에 의한 두 종국으로부터의 수신 시각 T_1, T_2 를 주국의 내장 시계에 의하여 계산하여 기억하고 다음식에 의하여 두 종국과의 사이 거리를 각각 계산한다.

$$D_1 = V \times (T_1 - T_0) / 2$$

$$D_2 = V \times (T_2 - T_0) / 2$$

여기서 각 변수는 다음과 같다.

T_0 : 주국의 발신신호 시각

T_1, T_2 : 종국 1과 2로부터의 신호 수신 시각

V : 대기중의 전파의 속도

D1, D2 : 주국과 종국 1 및 2의 각각 거리

위의 식에 의해 계산된 D1 및 D2 거리에 의한 두곡선의 교점은 조사선의 위치가 된다(Fig. 4-2).

기본원리에 의해 계산, 산출된 D1 및 D2의 거리정보는 주국의 main unit로부터 개인용컴퓨터 (286 PC/AT)로 직렬방식 (serial communication port)에 의하여 전송된다 (Fig.4-3). 입력된 D1 및 D2는 실행프로그램에 최초로 입력된 두 종국의 TM (Transverse Mercator) 또는 UTM (Universal Transverse Mercator)의 X, Y (즉 North 및 East 거리)에 따라 다음의 삼각측량시 이용되는 공식에 의하여 선위를 계산한다.

$$D12 = \sqrt{(y2-y1)^2 + (x2-x1)^2}$$

$$AN1 = \text{Tan}^{-1}((y2-y1)/(x2-x1))$$

$$\text{AREA} = (D1+D2+D12)/2$$

$$\text{ANGLE} = \text{Tan}^{-1}(((\text{AREA}-D12) \times (\text{AREA}-D1)) / (\text{AREA} \times (\text{AREA} \times (\text{AREA}-D2))))$$

$$\text{DEG} = \text{ANGLE} - \text{AN1}$$

$$X = D1 \times \text{SIN}(\text{DEG}) + x1$$

$$Y = D1 \times \text{COS}(\text{DEG}) + y1$$

여기서 각변수는 다음과 같다.

D12 : 두 종국 사이의 거리 (BASELINE DISTANCE)

AN1 : 두 종국의 회전각

AREA : 두 종국과 주국 사이의 면적

DEG : 주국과 종국사이의 회전각

X, Y : 두 종국의 좌표에 의해 계산된 주국의 좌표

위의 식에 의한 선위의 계산은 1 초내로 이루어 지고 Decca Trisponder

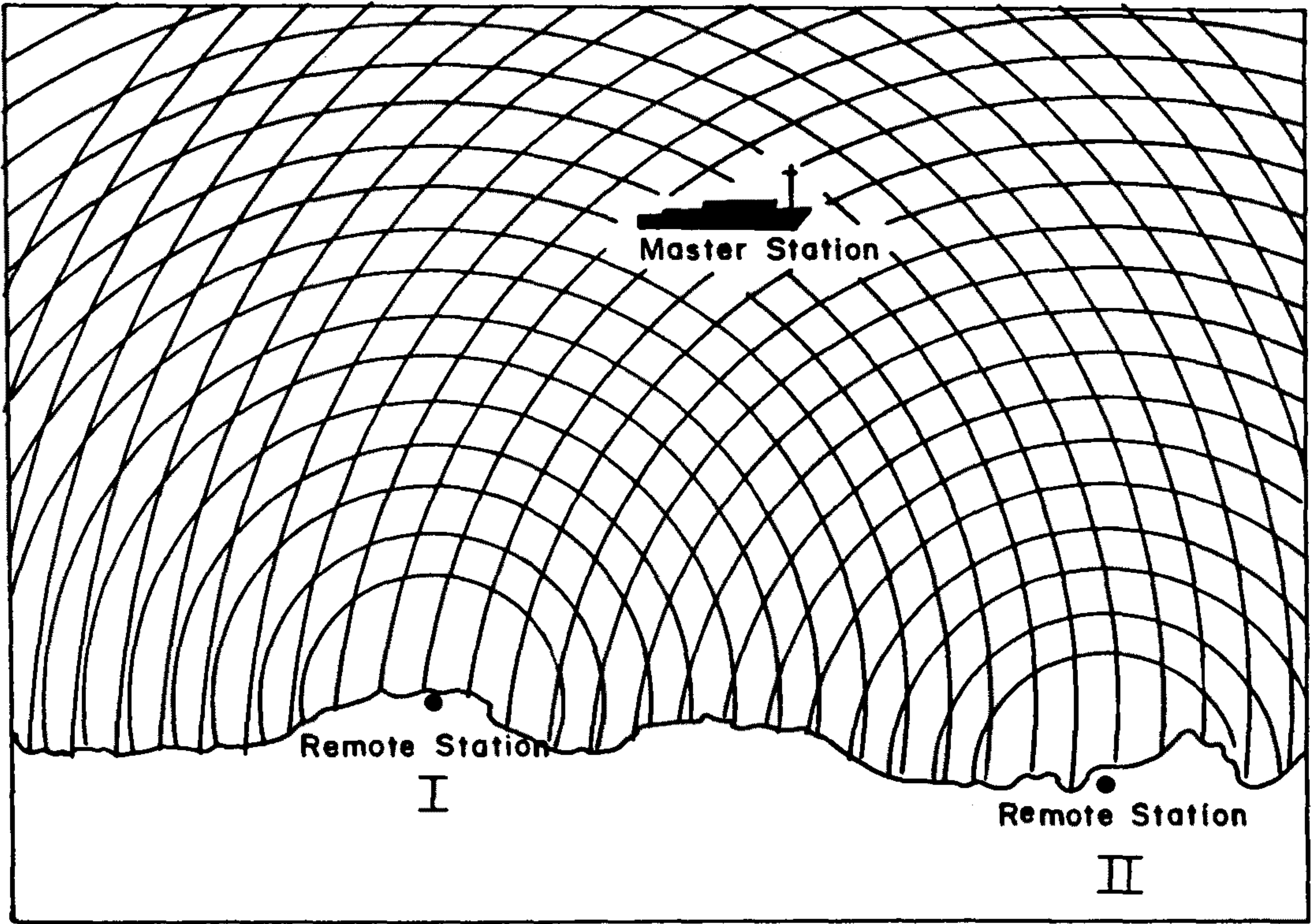


Fig. 4-2. Schematic representation of Decca Trisponder System.

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
943	62	2851.0	72	2850.8	64	2850.3	78	2850.3	CRLF	
944	62	2859.0	72	2858.8	64	2858.3	78	2858.2	CRLF	
945	62	2867.0	72	2866.8	64	2866.2	78	2866.1	CRLF	
946	62	2874.9	72	2874.7	64	2874.1	78	2874.0	CRLF	
947	62	.	72	.	64	.	78	.	CRLF	

where

- 1 = event number
- 2 = first code
- 3 = predict value or "?" or space
- 4 = first range
- 5 = second code
- 6 = second range
- 7 = third code
- 8 = third range
- 9 = fourth code
- 10 = fourth range
- CR = carriage return
- LF = line feed

Fig. 4-3. Typical serial line's information of DDMU-540.

System 의 입력자료는 매 초 또는 5 초까지의 발신주기의 조정이 가능함으로 매 초당의 선위측정이 가능하다. 현장 조사시에 이용되는 프로그램에 대한 일반적인 흐름은 Fig.4-4 에 도시하였고 이에 대한 자세한 설명은 다음과 같다 (부록 소프트웨어 내용 참조).

- (1) 예정된 조사선의 항적 및 기준좌표에 대한 정보를 입력한다.
- (2) 환산좌표의 계산에 필요한 각종 Geodetic 변수의 자료가 입력된다.
- (3) Decca Trisponder System 과 개인용컴퓨터와의 직렬연결 (serial data communication) 을 위한 소프트웨어 및 하드웨어의 변수를 결정한다.
- (4) 현장조사시의 조사선 운영 및 컴퓨터의 화상표현 부분이며, 실험실과 조타실에 각각 설치된 monitor 에 동시에 항적의 궤적이 표시된다.
- (5) 프로그램의 운영시 필요한 화상표현의 변경 및 입력, 출력자료의 수정 등에 필요한 개인용 컴퓨터의 function key 를 정의한다.
- (6) (1)항에 의한 입력자료에 대한 예정조사항적 및 측정등을 monitor 상에 표시한다.
- (7) Decca Trisponder System 으로부터 기본적인 정보 (event no., 종국의 고유번호, 및 거리 정보) 를 컴퓨터가 수신한다.
 - (7-1) (7) 항의 입력자료를 삼각측량의 원리에 의하여 좌표를 계산한다.
 - (7-2) (7-1) 의 좌표를 경, 위도좌표로 환산한다.
- (8) 계산된 좌표정보를 graphic monitor 상의 축적등을 고려하여 표시한다.

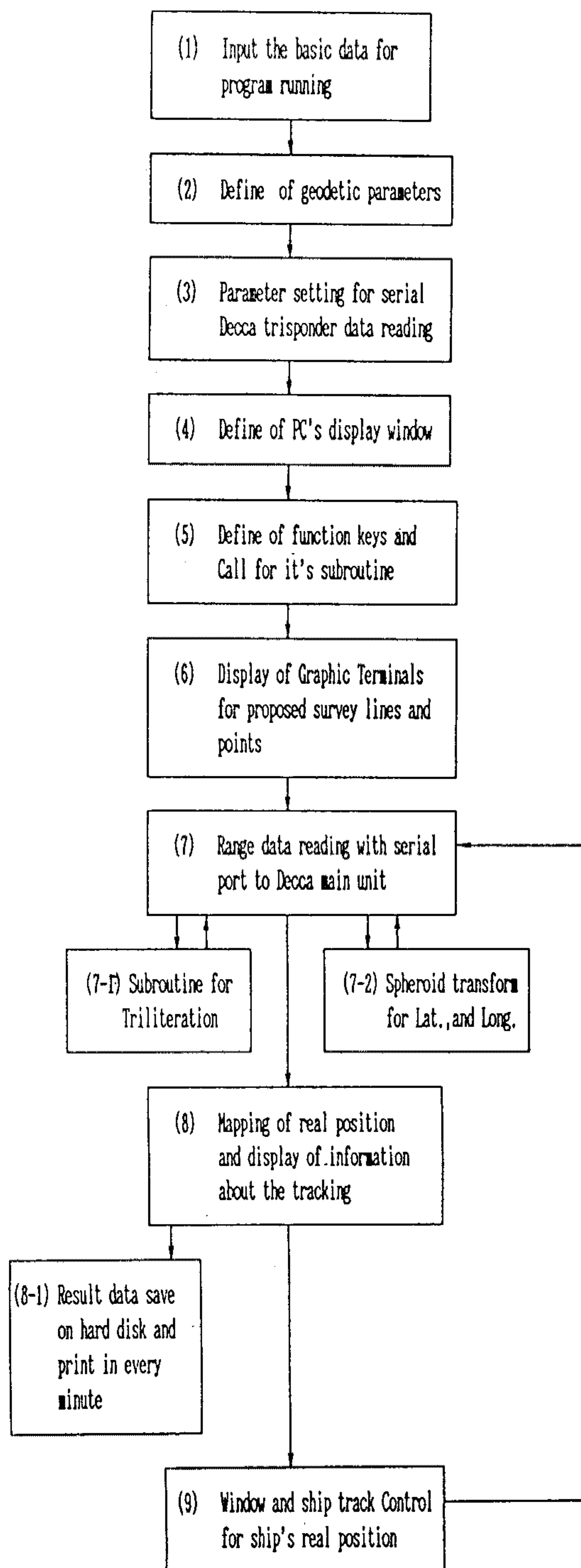


Fig. 4-4. General flow diagrams of the program "KONAV" with Decca Trisponder System.

(8-1) 계산 및 표시가 완료된 정보를 개인용 컴퓨터의 기억장치 및 출력장치로 전송한다.

(9) graphic monitor 상의 정보상황의 변경 및 선위의 조절에 필요한 정보 - 조사선의 예정선 이탈정도, 조사선에 대한 대지속도, 방향 정보, 컴퓨터의 시간정보, 예정 조사선에 대한 방향 및 거리 정보, 경, 위도 좌표의 환산에 따른 KGS, WGS-72, WGS-84에 대한 정보 등 (Fig. 4-5).

제 6 절 해저퇴적물 실내분석

1. 입도분석

퇴적물은 입자의 크기에 따라 크게 sand, silt 그리고 clay 로 나뉜다. 직경이 $62.5 \mu\text{m}$ 이상인 sand 는 습식체질방법 (wet sieving) 에 의거하였고 silt 와 clay 는 자동입도분석기 (Sedigraph 5000D) 로 입도를 측정하였다.

퇴적물의 입도분석을 위해서는 사전처리가 필요하다 (Carver, 1971). 우선 퇴적물 시료에 포함되어 있는 염분을 제거하기 위하여 3 ~ 4 일간 증류수로 퇴적물을 반복 세척한다. 이러한 과정을 거친 후, 탐산염을 제거하기 위해 10 % 의 염산을 기포발생이 멈출 때까지 천천히 첨가한 후 80°C 내지 90°C 까지 온도를 높여 반응작용을 촉진시킨다. 충분히 반응시킨 후 매우 묽은 염산 (약 0.1 %) 으로 2, 3 회의 세척을 한다. 또한 퇴적물내의 유기물을 제거하기 위해서는 6 % 의 과산화수소수 (H_2O_2) 를 천천히 휘저으면서 가한다. 약 1 시간 동안 40°C 로 가열한다. 만약 유기물의 함량이 높다면 30 % 의 과산화수소를 가한 후 1 ~ 2 시간 동안 40°C 내지

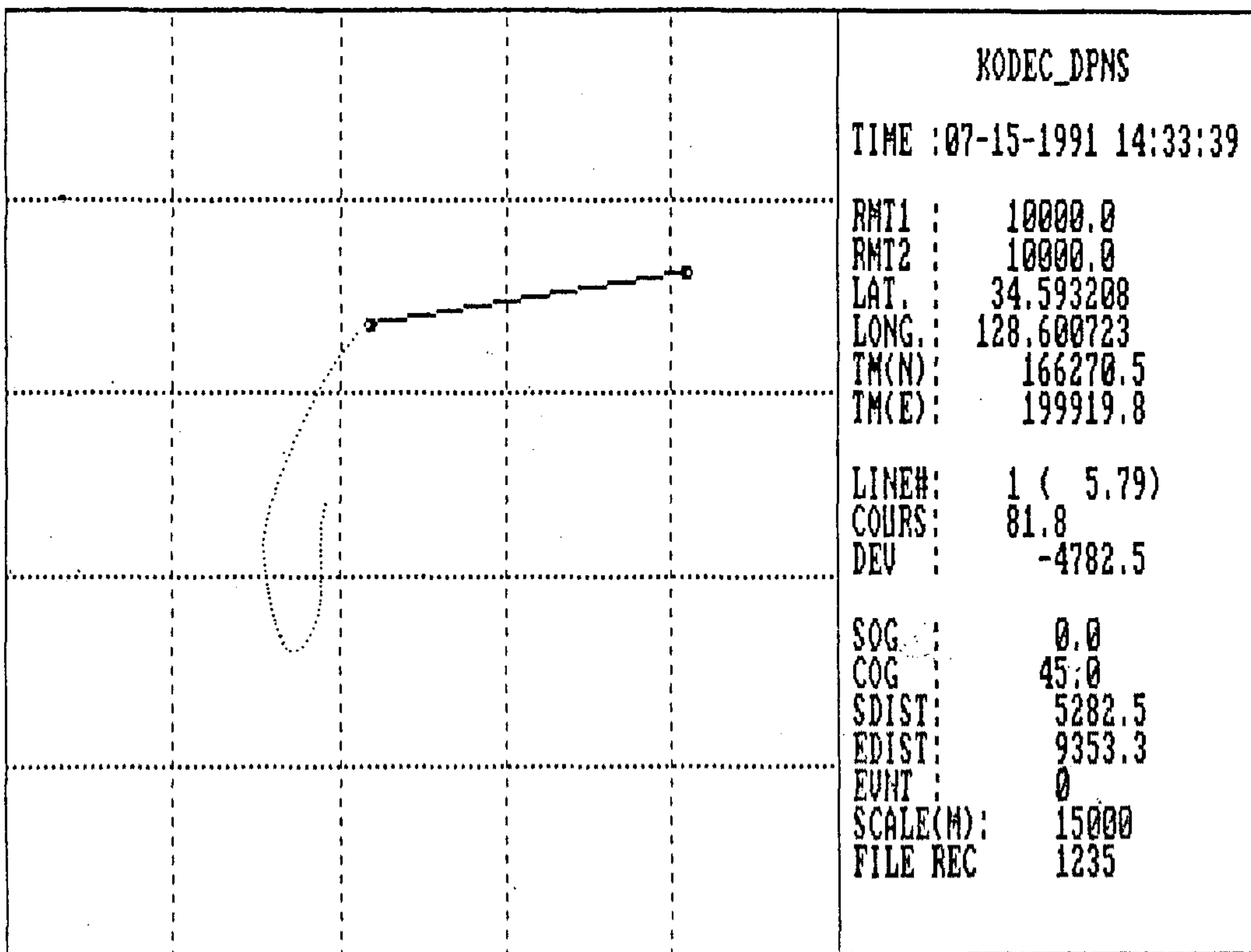


Fig. 4-5. Schematic representation of screen display for the program " KONAV ".

60° C 에서 반응 시킨다.

위의 사전처리가 끝난 시료는 대기중 혹은 오븐 내에서 40° C 로 건조 시키고, clay 가 없는 경우에는 100° C 에서 건조 시킬 수 있다. 이후에는 약 1 시간 동안 실내에서 방치한 후 실내의 습도와 평형을 이루게 하여 시료의 무게를 0.01 g 까지 정밀 측정한다. 입도분석에 들어가기 전 최종의 전처리로서 확산제 (dispersal) 를 가한다. 이는 sand 의 입자들이 clay 의 입자들로 피복 (coating) 되어 있는 경우가 흔하기 때문에 각 입자들을 분리하기 위함이다. 시료에 증류수를 가한 후, 확산제인 Calgon 을 10 % 로 희석시킨 후 clay 1 g 당 1 ml 를 첨가하여 확산제가 충분히 작용하도록 24 시간 동안 실온에서 방치해 둔다.

가. 습식체질

62.5 μm 체를 이용하여 1,000 ml 용 매스실린더로 시료를 걸러낸다. 증류수로 고르게 세척하여 미세입자들이 체를 통과하도록 한다. 체 위에 남은 sand 들을 모아 110° C 로 오븐에서 건조시킨 후 건조로 (desiccator) 에 넣는다. 일련의 체들을 체공 (sieve opening) 이 큰 것부터 위에서 아래로 쌓아 Ro-Tap Mechanical Shaker 를 약 10 분간 작동시킨다. 각각의 체에 남아 있는 입자들을 부드러운 붓을 이용하여 큰 종이에 남김없이 받아내어 무게를 0.01 g 까지 정밀하게 측정한다. 맨 하단부의 체를 통과한 silt 와 clay 는 매스실린더에 넣는다.

나. 세립질 퇴적물 분석

매스실린더에 분산된 silt 와 clay 를 농축 시킨 후 충분히 휘저어 그 일부를 취하여 Sedigraph 5000D 의 측정용 cell 에 채운다. X-ray beam 을 cell 내로 통과시켜, 시간에 따른 농도의 감소를 통과 beam 의 강도 변

화로 추적한다. 이에 따른 전기적 신호를 입자의 침강속도를 나타내는 Stoke's law 에 적용하여 입도의 변화로 환산시켜, silt 와 clay 의 입도 분포곡선을 그려낸다. 전체시료에 대한 비율을 알기위해 매스실린더와 cell 에 들어있는 silt 와 clay 를 말려서 무게를 잰다. 이와같이 sand 와 silt, clay 의 상대적인 분포곡선과 무게를 이용하여 총 체적의 각 입도별 절대분포곡선이 얻어진다. silt 와 clay 에 대해서는 종래의 Pipette 방법이 많이 쓰였으나, 이 방법 역시 Stoke's law 를 기초로 고안되었으며 시간과 인력이 많이 드는점 때문에 자동입도분석기 (Sedigraph 5000D) 를 사용하였다. 그러나 결과에 있어서는 Pipette 방법과 크게 다르지 않다.

다. 통계처리

입도분석중 가장 중요한 항목은 평균값이다. 평균값은 입도분포곡선의 중앙값을 나타낸다. 평균값에 대한 여러가지 방법은 다음과 같다.

Trask(1930) : Median, $\Phi 50$

Inman(1952) : $M\Phi = (\Phi 16 + \Phi 84)/2$

Folk and Ward(1957) : $Mz = (\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84)/3$

McCammon(1962) : $(\Phi 10 + \Phi 30 + \Phi 50 + \Phi 70 + \Phi 90)/5$

이중 Folk and Ward (1975) 의 방법이 세계적으로 가장 많이 사용되므로 본 연구의 시료분석 또한 이 방법에 준하였다. 여기서 Φ 는 입도를 나타내는 단위로 $-\log_2 D$ 를 취한다. D 는 입자의 크기로서 mm 의 단위인데, $\Phi 50$ 은 누적곡선상에서 50 % 에 해당되는 Φ 값을 의미한다.

라. 퇴적물의 입도에 따른 분류

sand, silt 그리고 caly 의 양을 토대로 시료 퇴적물의 입도에 따른 분류가 가능한데, 삼각다이어그램 등 여러 모델이 제시되어 있다. 특히

Shepard (1954) 와 Folk (1954; 1968) 의 분류방법이 많이 이용되는데 본 연구에서는 Shepard 의 방법에 따랐다.

2. 함수율

퇴적물의 함수율 (water content, W) 은 퇴적물이 함유하고 있는 해수와 퇴적물과의 무게비로 정의 된다.

$$W = (W_1 - W_2)/(W_2 - W_c)$$

여기서 W_1 은 원래시료와 용기전체의 무게, W_2 는 건조시료와 용기전체의 무게이고, W_c 는 용기의 무게이다. 특히 시료는 110° C 또는 105° C로 24 시간 동안 오븐에서 말린다.

3. 공극비

공극비 (void ratio, e) 는 시료의 공극부피 (V_v) 에 대한 입자의 전체부피 (V_s) 의 비로 정의된다

$$e = V_v/V_s = (G \gamma_w V)/W_s - 1$$

여기서

G : 퇴적물 입자들의 비중

γ_w : 해수의 밀도(unit weight or density)

V : 퇴적물 전체의 부피(V_v+V_s)

W_s : 퇴적물 입자들의 무게

이며 공극부피는 퇴적물내에서 입자들이 채워지지 않은 공간을 의미한다.

4. 공극율

공극율 (porosity, n) 은 공극부피 (V_v) 에 대한 시료 전체의 부피 (V) 의 비율로 정의 된다.

$$n = V_v / V = 1 - W_a / G \gamma_w V$$

공극율은 보통 % 의 단위로 표시되는데, 공극비와 함께 공극율은 퇴적물의 압밀정도 (denseness) 를 나타내는 지시자이다. 토질역학에서는 공극비를 더 선호하나 퇴적학 특히 석유개발 부분에서는 공극율을 주로 이용한다. 공극비와 공극율은 다음식에 의해서 서로 상대값을 구하는데 사용될 수 있다.

$$n = e / (1 + e)$$

또는

$$n = n / (1 - n)$$

제 7 절 500 kHz 음향특성 분석

1. 분석시료와 표준시료

음속 및 음향감쇠의 측정에 이용된 시료는 현장의 퇴적물 채취시에 표층에서 그 크기가 항상 일정할 수 있도록 아크릴용기 (2 cm x 4 cm x 4 cm) 를 사용하여 수직 및 수평방향으로 채취하였다. 특히 수직 및 수평방향의 시료채취는 퇴적물내에서도 두 방향의 음속이 다소 차이가 있는 것으로 알려져 있다.

해저퇴적물의 음향감쇠 실내분석시에는 분석할 시료의 크기와 똑같은 모양의 표준시료가 필요하다. 이러한 표준시료로는 순수한 물이나 고순도의 알루미늄을 이용한다. Table 4-4 은 여러 매질에서의 음속과 음향감쇠의 관련계수 Q 값들을 요약정리한 것으로 (Johnston, 1981), quality fFactor 를 의미하는데 이 Q 값이 클수록 전달 에너지의 감쇠량이 적은 때

Table 4-4. Q and velocity for reference materials*.

material	Q	V(km/sec) ¹	Mode	Frequency Range	
Aluminum	200,000	5.00	Longitudinal resonance	1 to 200 kHz	
	5,900	6.32	P-wave pulse	3.1 to 7.5 MHz	
	7,630	6.32	P-wave pulse	5 to 15 MHz	
	19,400	3.10	S-wave pulse	3.5 to 4.5 MHz	
	17,200	3.10	S-wave pulse	3 to 6.8 MHz	
Brass	655	3.48	Flexural resonance	-	
Copper	Unannealed	2,180	3.81	Longitudinal resonance	2.5 to 30 kHz
		4,380	2.31	Torsional resonance	3 to 30 kHz
	Annealed	1,770	4.76	P-wave pulse	15 to 65 MHz
		5,830	5.01	P-wave pulse	25 to 75 MHz
Lead	36	1.21	Longitudinal resonance	1.6 to 15 kHz	
	34	0.69	Torsional resonance	1 to 9 kHz	
Magnesium	965	5.77	P-wave pulse	7 to 76 MHz	
Nickel	980	4.90	Flexural resonance	12 to 33 Hz	
Steel	1,850	5.20	Flexural resonance	2 to 8 Hz	
Celluloid	7	2.81	Flexural resonance	0.5 to 18 Hz	
Fused Quartz	44,500	3.76	S-wave pulse	5 to 19 Hz	

Table 4-4. continued

material	Q	V(km/sec) ¹	Mode	Frequency Range
Glass	490	5.36	Flexural resonance	12 to 27 Hz
Glass(Pyrex)	1,860	5.17	Longitudinal resonance	10 kHz
Glass(Soda lime)	1,450	4.54	Longitudinal resonance	5.6 to 6.1 kHz
	1,340	2.84	Torsional resonance	3.6 to 64 kHz
Lucite ²	23	2.11	Longitudinal resonance	1 kHz
Plexiglas ³	20	2.59	Longitudinal resonance	10 kHz
Polystyrene	240	2.24	Longitudinal resonance	20 to 60 kHz
Air				
Dry	562	0.343	Resonance	100 Hz
	3,485	0.343		10 kHz
100 percent humidity	4,139	0.345	Resonance	100 Hz
	1,434	0.345		10 kHz
Water				
Fresh(17°C)	210,000	1.48	Resonance	100 kHz
Salt(36ppm)	63,000	1.52		150 kHz

* These data are taken primarily from the compilation of Bradley and Fort(1966), Knopoff(1964), and the Chemical Rubber Company Handbook of Chemistry and Physics.

¹ Velocities represent typical values for the mode of excitation listed., ² Winkler, K., 1979, Ph.D. thesis, Stanford Univ.

³ Johnston, D. H., 1978, Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology.

질을 의미한다. 또한 반대로 Q 값이 작은 값이면 에너지가 많이 감쇠되는 매질로 순수한 물 다음으로는 알루미늄이 200,000 정도의 가장 큰 값을 보인다. 순수한 물이 해저퇴적물과 음속이 비슷하고 Q 값도 높아서 표준시료로는 적합하나 액체이기 때문에 취급이 어렵고 온도에 민감할 뿐만 아니라 분석시료와 동일한 모양의 조건하에서 신호파형을 획득하기가 매우 어렵다. 따라서 고체인 알루미늄을 표준시료로 사용하게 되는데, 본 연구에서는 순도 99.82%의 인도 (NALCO)에서 생산 수입된 알루미늄괴를 2 cm x 4 cm x 4 cm로 제작하여 표준시료로 사용하였다.

2. 음속측정

아크릴 용기를 사용한 퇴적물의 시료는 변형되지 않게 수직 및 수평방향으로 각각의 음속을 측정하였다. 신호의 파형이 불량하거나 분석하기에 적합하지 못한 진폭 (너무 작거나 너무 커서 clipping이 되는 진폭)인 경우에는 이득 (gain) 기능을 적절히 조절하여 재 측정하였다. 특히 모든 음속 및 음향감쇠량의 측정시에는 sampling rate를 50 nsec, 자료갯수는 2,048개로 고정하였다.

음속은 시간과 거리의 함수이므로 정밀한 시료의 길이 측정과 신호 파형의 최초의 신호 (first break point)의 정확한 선택이 측정오차를 결정하게 된다. 여러개의 아크릴용기를 제작하는 과정에서 미세하지만 약간씩의 길이 차이가 있고, 변환기를 아크릴 용기의 원형 구멍에 밀착시킬 때 용기의 벽면 두께와 변환기의 돌출 부분에서 생기는 길이의 차이, 그리고 변환기와 퇴적물 시료의 면과 완전하게 밀착시키기 위하여 힘을 가할 때 생기는 퇴적물의 점성에 의한 시료의 밀립에 의한 길이의 변화등이 매우 복잡하게 작용된다. 시료 자체가 단단하지 못하고 초음파를 사용하기 때문에 퇴적

물과 시료의 경계면의 밀착상태가 불량하면 명확한 첫신호의 파형결정이 어렵게 된다. 완전한 밀착을 위하여 힘이 가해지는 경우 시료의 내부변형에 의한 영향도 측정오차의 원인으로 작용될 수 있을 것이다.

따라서 분석시료의 양쪽면에 완전히 밀착시킨 상태에서 측정기 (caliper) 를 사용하여 전체의 길이를 잰 다음 두 변환기의 두께에 의한 길이를 빼는 방법으로 분석시료의 길이를 결정하였으며, 음파가 시료를 통과한 후 첫 신호까지의 시간을 이용하여 음속을 계산하였다. Fig. 4-6 은 시료의 수직방향에 대한 500 kHz 의 신호 파형으로 첫 신호의 명확한 구별이 가능하다.

3. 감쇠계수 측정

해저퇴적물 시료에 대한 음향감쇠량을 측정하기 위하여 적용된 분석방법은 표준시료 (2 cm x 4 cm x 4 cm 의 알루미늄 괴) 에 대한 분석시료 (2 cm x 4 cm x 4 cm 의 아크릴 용기의 시료) 의 상대적인 진폭 스펙트럼의 비율 (amplitude spectral ratio) 을 구하여 감쇠계수를 산출하였다. 음파 에너지가 임의의 매질을 통과할 때 주행거리에 따른 에너지의 감소를 전달 손실 (transmission loss) 라고 정의한다. 그 요인은 단순 기하학적 손실 (geometrical loss) 과 매질의 구성물질 및 조직에 따라 달라지는 흡음, 산란 그리고 기하학적이 아닌 그 밖의 요인에 의한 손실 (absorption, scattering, and nongeometrical effect) 로 구성된다 (Kinsler et al., 1982). 특히 후자에 의한 손실을 감쇠량으로 구분하며 어떤 특정한 음향의 주파수에 대한 감쇠량을 음향감쇠계수 (attenuation, dB/unit-length) 로 정의한다.

실내분석방법으로 감쇠계수를 측정할 경우 기하학적 손실량의 보정

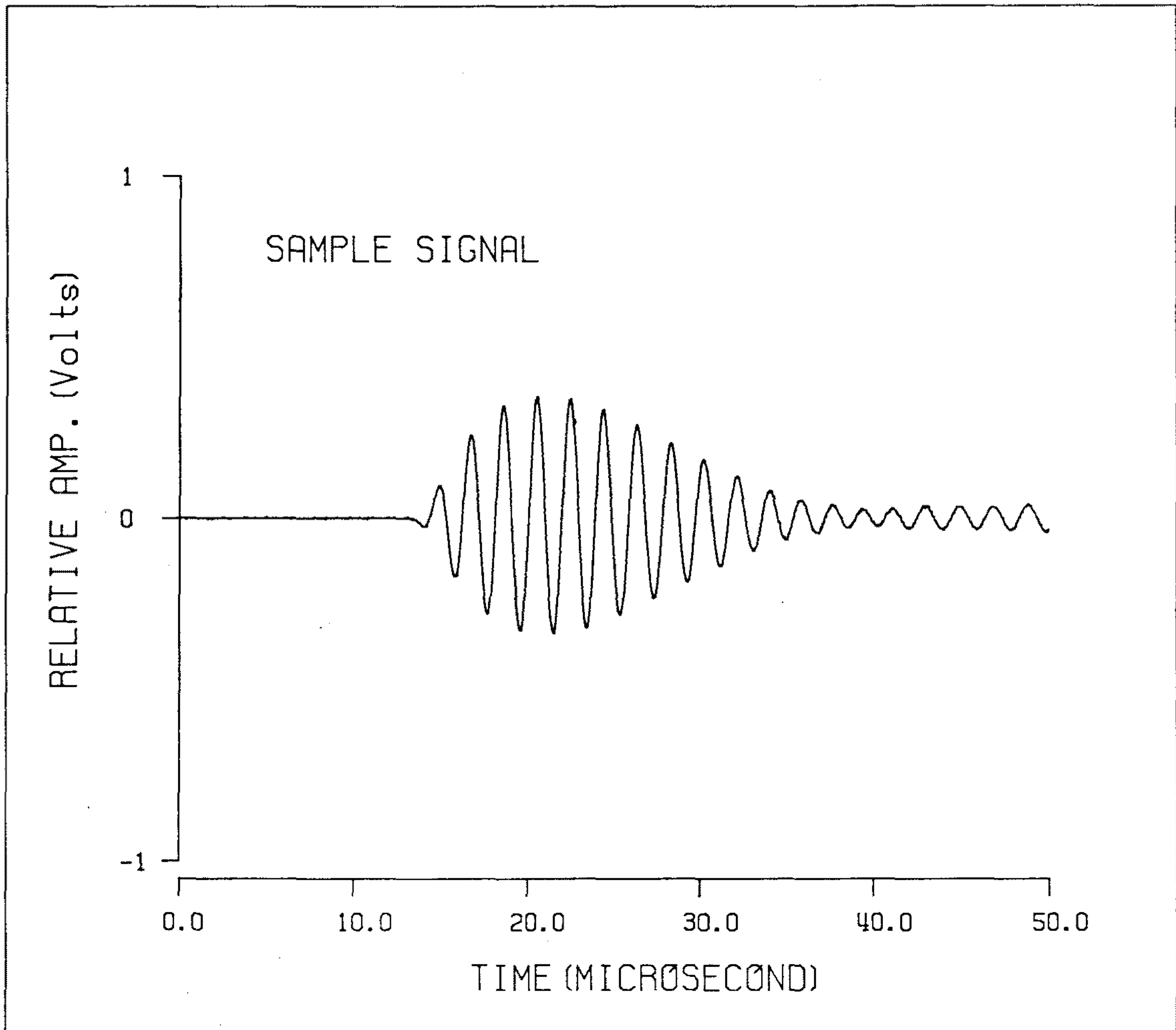


Fig. 4-6. Examples of sediment sample's signal trace.

이 어려우므로, 표준시료와 분석시료의 모양을 똑같이 함으로써 기하학적인 효과를 동일한 량으로 취급하여 계산하는 방법을 채택하게 된다. 이러한 측정방법은 Toksoz et al. (1979) 이 암석시료에 적용한 후 Sears and Bonner (1981) 가 암염에서 그리고 Kim et al. (1983) 이 태평양 심해저 시추퇴적물에서 각각 적용한 바 있으며, 국내에서는 김 등 (1991) 이 동해 시추퇴적물에서 적용한 자료가 있다.

표준시료와 분석시료에서 각각의 감쇠효과에 의한 진폭은

$$A_1(f) = G_1(f, z) \cdot \exp(-\alpha_1(f)z + i(2\pi ft - k_1z)) \quad (1)$$

$$A_2(f) = G_2(f, z) \cdot \exp(-\alpha_2(f)z + i(2\pi ft - k_2z)) \quad (2)$$

로 표현되며 여기서 A 는 진폭, f 는 주파수, z 는 거리, k 는 wave number, G(f, z) 는 geometrical factor, 그리고 α 는 주파수에 따른 감쇠 계수이다. 첨자 1 과 2 는 표준시료와 분석시료를 각각 의미한다. 식 (1) 을 식 (2) 로 나누어 진폭의 비율로 표현하면

$$A_1/A_2 = G_1/G_2 \cdot \exp(-(\alpha_1 - \alpha_2)z) \quad (3)$$

또는

$$\ln(A_1/A_2) = (\alpha_2 - \alpha_1)z + \ln(G_1/G_2) \quad (4)$$

로 정의된다. 감쇠계수 α 를 주파수에 따른 1차함수로 표현하면,

$$\alpha(f) = \gamma f \quad (5)$$

로 표현되며, γ 는 감쇠계수와 관련된 상수로서 quality factor Q 와는 아래와 같은 관계식을 갖는다.

$$Q = \pi / \gamma V \quad (6)$$

여기서 V 는 매질의 음속이다. 식 (4) 와 식 (5) 를 다시 정리하면

$$\ln(A_1/A_2) = (\gamma_2 - \gamma_1)zf + \ln(G_1/G_2) \quad (7)$$

과 같이 최종적인 관계식을 얻게 된다. 여기서 $\ln(G_1/G_2)$ 는 geometrical factor 로서 표준시료 및 분석시료의 모양이 동일하므로 상수이고, 시료의

길이 z 도 역시 상수이다. 따라서 식 (7) 은 일차함수

$$y = ax + b \quad (8)$$

의 형태를 취하게 된다. 진폭스펙트럼을 구하여 그 비율에 대한 자연대수를 취한 값 즉, $\ln(A_1/A_2)$ 와 주파수 f 의 관계를 1차식에 fitting 시킴으로써 γ 값을 구하게 되고 식 (6) 에서 Q 값을, 식 (5) 에서 감쇠계수 α 값을 산출하게 된다. 특히 γ_1 은 알루미늄을 이용한 표준시료를 사용하고 있으므로 Table 2-3 에서 Q 의 값은 200,000이고, 식 (6) 을 이용하여 γ_1 을 계산해보면 약 3.0×10^{-9} 정도이다. 그러나 해저퇴적물의 경우 감쇠계수값의 분포 범위는 500 kHz 의 주파수 대역에서 약 100 ~ 350 dB/m 정도이므로 (Hamilton, 1980; Stoll, 1985), γ_2 는 $(2.0 \sim 7.0) \times 10^{-4}$, Q 는 10.5 ~ 3.0 정도의 값이 계산된다. 따라서 표준시료에 대한 분석시료의 γ 비율은 약 10^{-5} 이므로 표준시료를 알루미늄으로 사용할 경우 γ_1 은 0 으로 처리하여도 무방함을 알 수 있다.

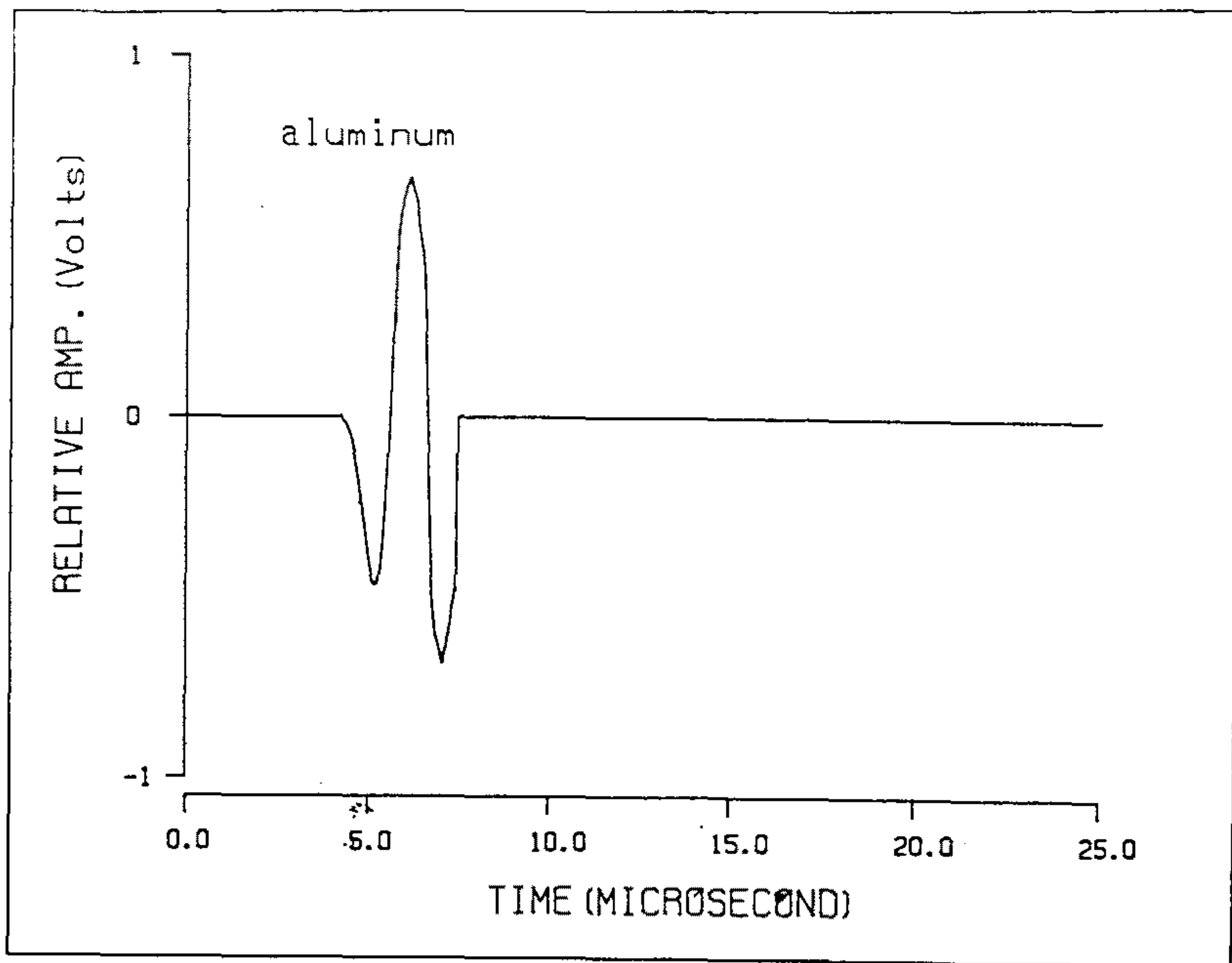
진폭스펙트럼을 구하는데 있어 신호파형의 첫신호로 부터 어느부분까지의 음파신호를 사용해야 할 것인가를 결정해야한다. 두 변환기 사이의 작은공간 (대략 20mm 내외) 내에서 음파에너지가 수회에 걸친 반사와 굴절을 반복하므로 어느 일정시간 이후의 신호파형은 잡음이 섞이거나 변형된 파형을 보인다. 따라서 변환기의 음원을 점원 (point source) 으로 간주하고 알루미늄의 음속이 약 5,000 m/sec 이면, 표준시료의 길이가 약 2 cm 이므로 신호파형의 첫 신호는 약 4 μ sec 부근이다. 그리고 약 2 cm 길이의 아크릴용기의 가장자리 면에서 반사 (굴절) 된 최초의 신호파형은 그 최단거리가 2/5 cm 이므로 약 8.9 μ sec 이다. 따라서 첫신호로부터 교란 직전까지의 시간 차이는 약 4.9 μ sec 가 된다. 실제로 500 kHz 의 주파수는 한파장의 주기 T 는 2 μ sec 이므로 진폭스펙트럼분석에 이용할 수 있는 음파신호의 파장수는 약 두파장반을 이용할 수 있다. 그리고 200 kHz 의 경우 주

기 T 는 $5 \mu\text{sec}$, 63 kHz 는 $15.87 \mu\text{sec}$ 이므로 이 두 주파수 모두 주기가 $4.9 \mu\text{sec}$ 보다 길어서 실제의 분석이 불가능하다. 따라서 이러한 문제점에 대한 개선은 저주파의 음향감쇠의 측정을 위하여 표준시료 및 분석시료가 커져야 하는데, 실제로 퇴적물채취시의 분석방향을 고려한다면, 음향감쇠만을 위한 시료의 확보가 어려운 입장이다.

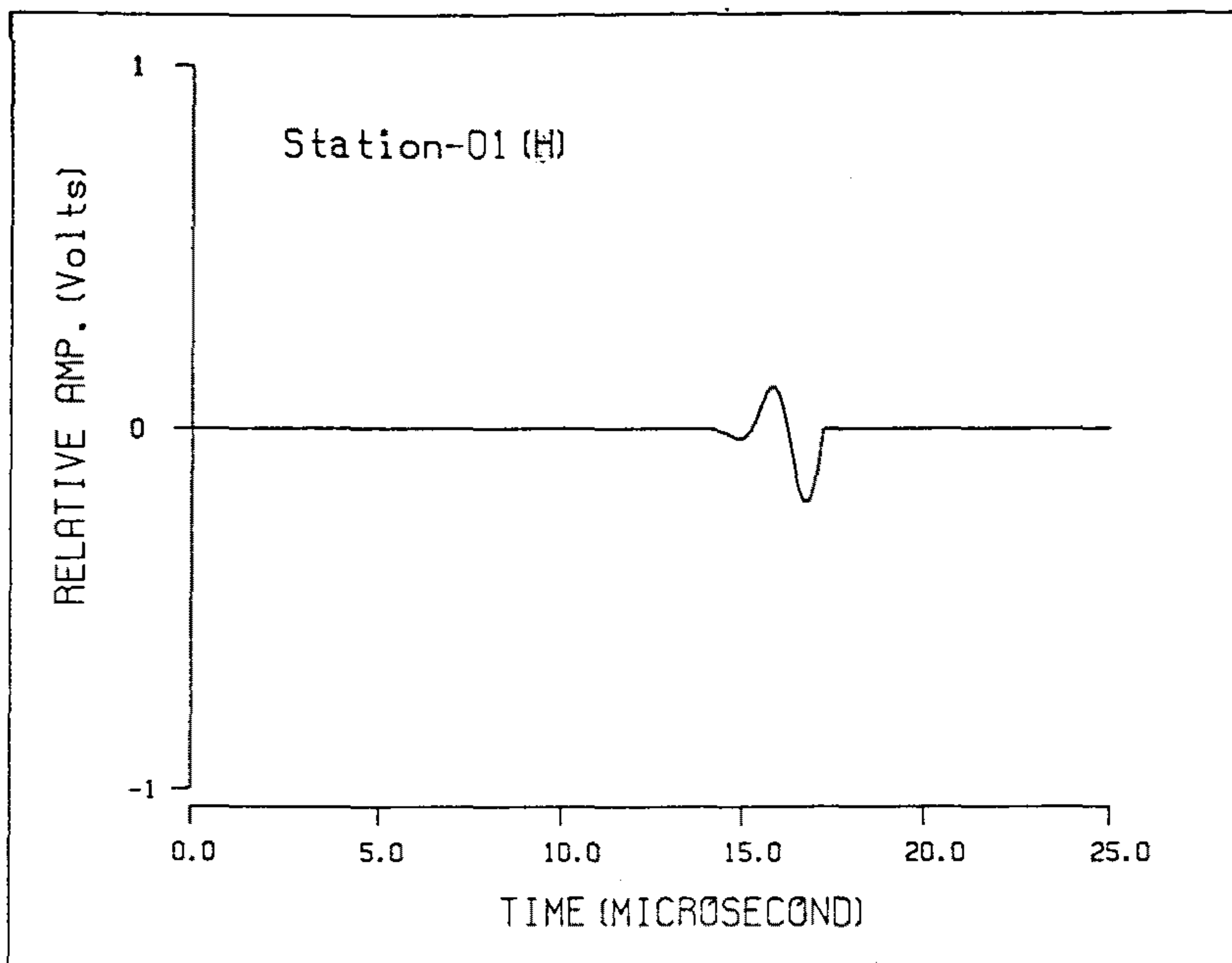
Fig. 4-7 는 감쇠계수 계산에 적용된 표준시료 알루미늄과 퇴적물 분석시료 각각에 대한 첫신호로부터 약 $3 \mu\text{sec}$ 동안의 500 kHz 의 신호파형이다. 이들 두개의 신호파형을 Fourier 변환 (fast Fourier transform, FFT) 방법으로 진폭스펙트럼을 구한 결과가 Fig. 4-8 이다. 분석시료에 비해서 표준시료의 진폭스펙트럼이 훨씬 큰 값을 보이고 있으며, 중심 주파수가 500 kHz 부근에서 나타남을 알 수 있다. 식 (7) 을 적용하여 주파수의 변화에 따른 $\ln(A_1/A_2)$ 의 관계곡선과 500 kHz 를 중심으로 약 450 kHz 에서 550 kHz 까지 비교적 선형적인 관계를 보이는 부분을 식 (8) 에 적용된 1차식의 fitting 결과가 Fig. 4-9 이다. 여기서 구해진 기울기는 식 (7) 에서 $(\gamma_2 - \gamma_1)z$ 에 해당된다. 여기서 γ_1 은 거의 무시할 수 있고, 시료의 길이 z 를 소거하면 γ_2 값을 얻게 되는데 이것은 진폭 스펙트럼의 비율을 자연로그로 취한 결과이므로 neper 의 단위이다 (Sheriff, 1984). 일반적으로 사용되는 dB 의 단위로 환산하기 위하여 $20 \cdot \log(e)$ 즉 8.686을 곱한 후 식 (5) 에서 감쇠계수 α 를, 식 (6) 에서 quality factor Q 의 값을 각각 얻게 된다.

제 8 절 3.5 ~ 7.0 kHz 음향특성 분석

1. 분석자료의 전송



(a)



(b)

Fig. 4-7. Digitized p-wave time and frequency domain data (a) and (b) 3 μ sec gated 500 kHz ultrasonic pulse for aluminum and sediment, respectively.

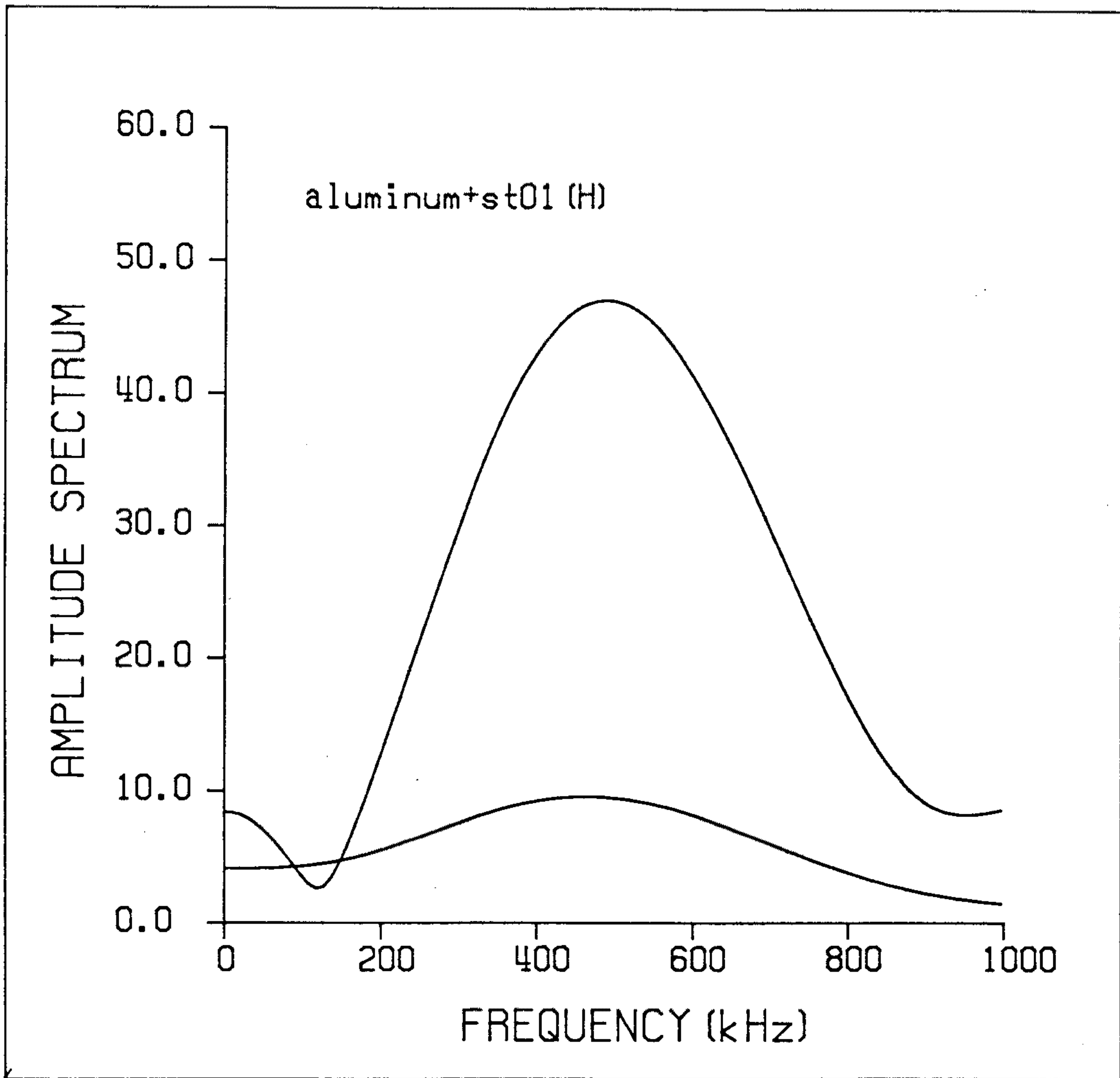


Fig. 4-8. Result of the amplitude spectrum magnitude (FFT) with aluminum and sediment sample.

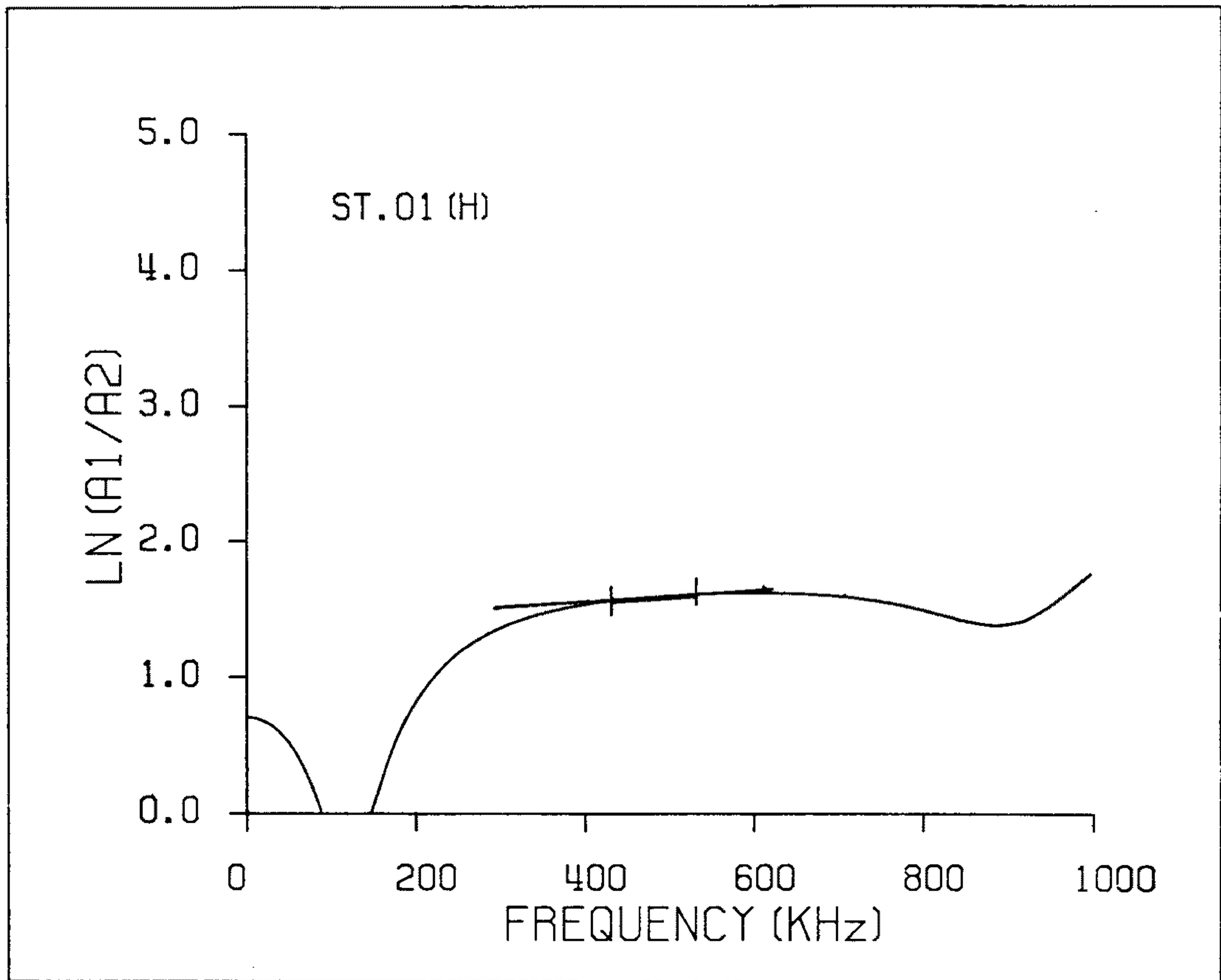


Fig. 4-9. Result of the spectral amplitude ratio with aluminum and sediment sample.

현장에서 획득된 음파신호 자료는 아날로그형 자기테이프 기록계 (KYOWA, Model RTP - 600B) 에 수록되어 있으나 음속 및 음향감쇠계수를 산출하기 위해서는 아날로그형의 자료형태를 계수화 작업이 일단계의 처리과정이다. 자료의 전송은 계수형 오실로스코프 (TEKTRONIX, Model 11201A)에 일차적으로 옮긴 다음 RS - 232C 신호케이블을 개인용컴퓨터에 연결하여 처리할 자료 file 을 만들었다.

계수화 처리는 sampling 간격을 5 μsec 로 총 1024 개씩이었으며 trigger pulse 가 들어오기 560 μsec 전부터 이므로 실제로는 0 μsec 부터 4555 μsec 까지의 계수화된 자료이다. 음파의 중심주파수는 3.5 ~ 7.0 kHz 이므로 Nyquist frequency 를 감안하면 최소한 14 kHz 이상으로 계수화 처리되어야 원래의 신호파형 특성을 그대로 유지한다고 볼때 5 μsec 의 sampling rate 는 200 kHz 이고 Nyquist frequency 100 kHz 에 해당되므로 충분하다. 그리고 계수화된 자료의 총 시간길이는 4555 μsec 인데 해저퇴적물에서의 제일 낮은 음속을 1,400 m/sec 로 가정하더라도 3 m 의 거리를 음파가 전달되는 시간은 약 2143 μsec 이므로 약 두배의 시간길이가 된다.

음속 및 감쇠계수 계산은 개인용컴퓨터 386/PC (56 MHz, 200 Mb memory) 를 이용하였으며 그림도면의 출력은 Hewlett Packard 사의 Model DraftPro DXL 을 사용하였다.

2. 자료처리

변환기로 부터 1 m 거리에 위치한 음향수진기의 신호파형을 H_1 으로 그리고 2 m 와 3 m 의 신호파형은 각각 H_2 와 H_3 로 부르기로 하고 자료 처리 과정을 설명하고자 한다. 그런데 한가지 문제점은 현장조사 작업시 H_1 의 신호케이블에 이상이 생겨서 H_1 의 신호파형은 3.5 ~ 7.0 kHz 변환기

에서 출력되는 유도전류에 의한 잡음신호만 잡히고 실제의 해저면을 통과한 신호파형은 아니라는 점을 감안해야 한다. 따라서 H₂ 신호파형의 진폭에 대한 H₃ 의 진폭비율을 계산하는 진폭스펙트럼 분석방법을 적용하였다. 앞에서 언급된

$$\ln(A_2/A_3) = (\alpha_3 - \alpha_2)z + \ln(G_2/G_3)$$

식에서 해저퇴적물에서는 α_2 와 α_3 는 동일한 값이고 다만 z_2 는 2 m 그리고 z_3 는 3 m 이므로

$$\ln(A_2/A_3) = \alpha(z_3 - z_2) + \ln(G_2/G_3)$$

로 표현될 수 있으며, $z_3 - z_2$ 의 거리는 1 m 이고

$$\alpha(f) = \gamma f$$

이므로

$$\ln(A_2/A_3) = \gamma f + \ln(G_2/G_3)$$

로 정리된다. 여기서 A₂ 과 A₃ 는 각각 H₂ 와 H₃ 의 진폭스펙트럼이며, γ 는 dB/kHz-m 로 표현되는 음향감쇠계수, f 는 3.5 ~ 7.0 kHz 대역의 주파수 그리고 G₂ 와 G₃ 는 각각 geometrical factor 이다. 따라서 자연대수를 취한 $\ln(A_2/A_3)$ 과 주파수 f 와의 1차 회귀방정식을 구하면 그 기울기는 바로 감쇠계수인 γ 에 해당된다.

Fig. 4-10 에서 Fig. 4-12 까지는 각각 3.5 kHz, 5.0 kHz 및 7.0 kHz 의 신호파형을 보여주고 있다. 앞에서 언급했듯이 H₁ 의 파형은 변환기에서 유도되는 잡음신호가 각각의 주파수 별로 모양을 달리하면서 나타나고 있다. H₃ 에서는 원하는 신호파형과 유도전류에 의한 잡음신호가 분리되어 있으나 H₂ 에서는 해저퇴적물을 통과한 신호파형의 첫부분과 잡음신호의 끝부분이 함께 섞여 있음을 볼 수 있다. 잡음신호의 모양을 살펴보면 3 개의 신호파형 모두에서 똑 같은 것 같이 보이지만 실제로는 전반적인 윤곽만 비슷하고 한 파장, 한 파장 마다 그 진폭과 파장이 조금씩 차이가 있으며 각

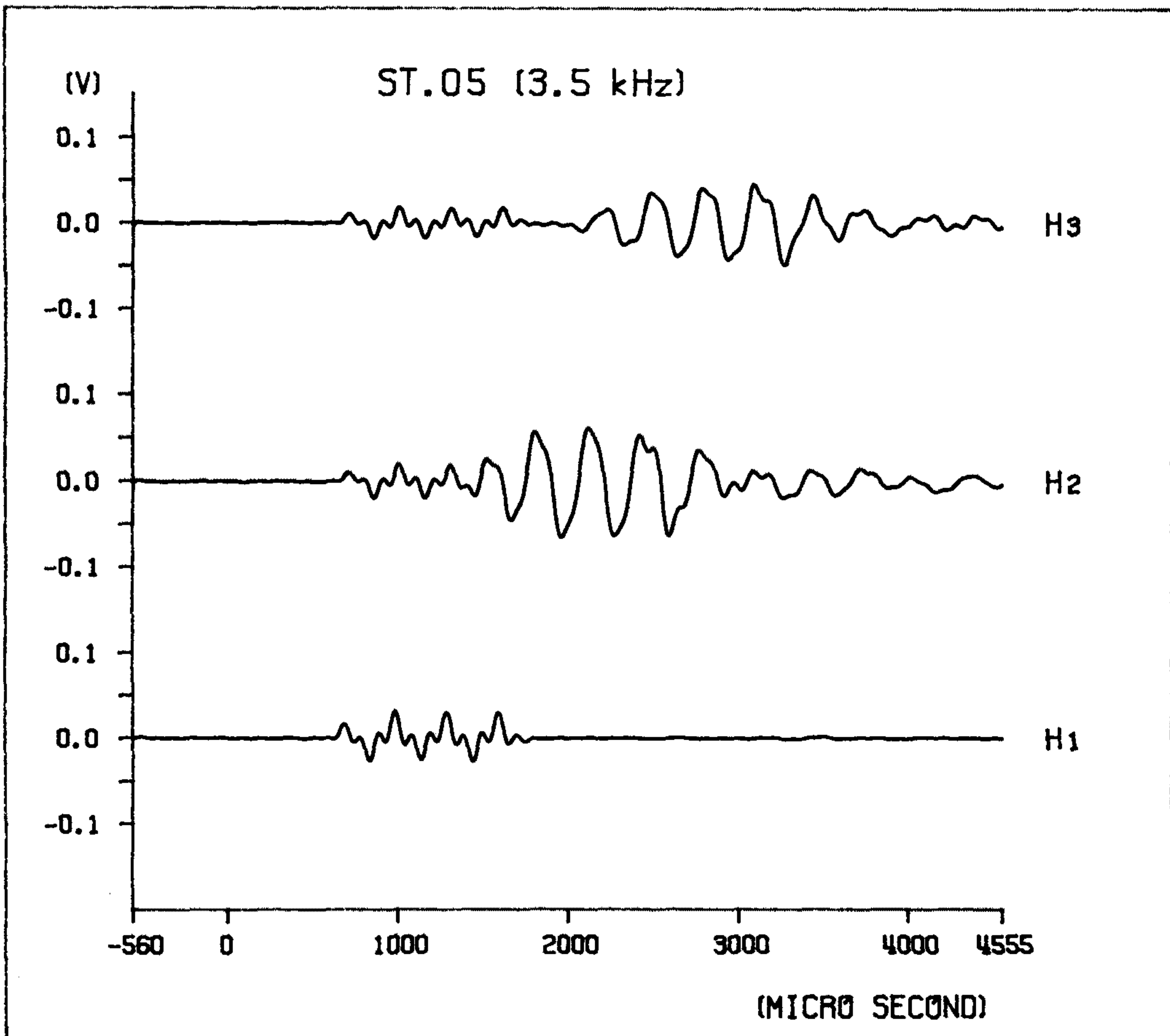


Fig. 4-10. Attenuation signal traces at 3.5 kHz. H₁, H₂ and H₃ are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is disturbing seismic signal on the all channels.

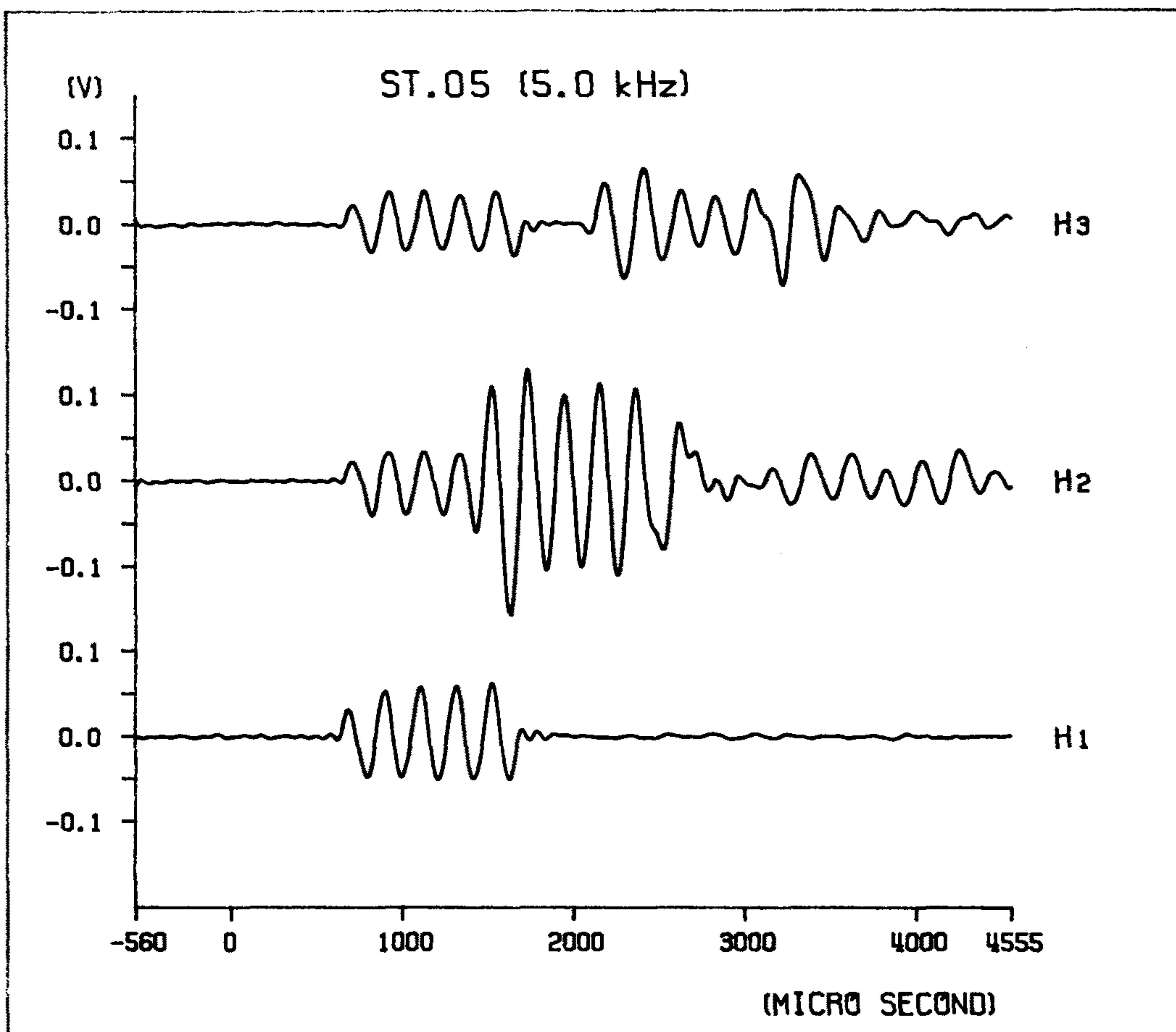


Fig. 4-11. Attenuation signal traces at 5.0 kHz. H₁, H₂ and H₃ are fixed at 1 m, 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is disturbing seismic signal on the all channels.

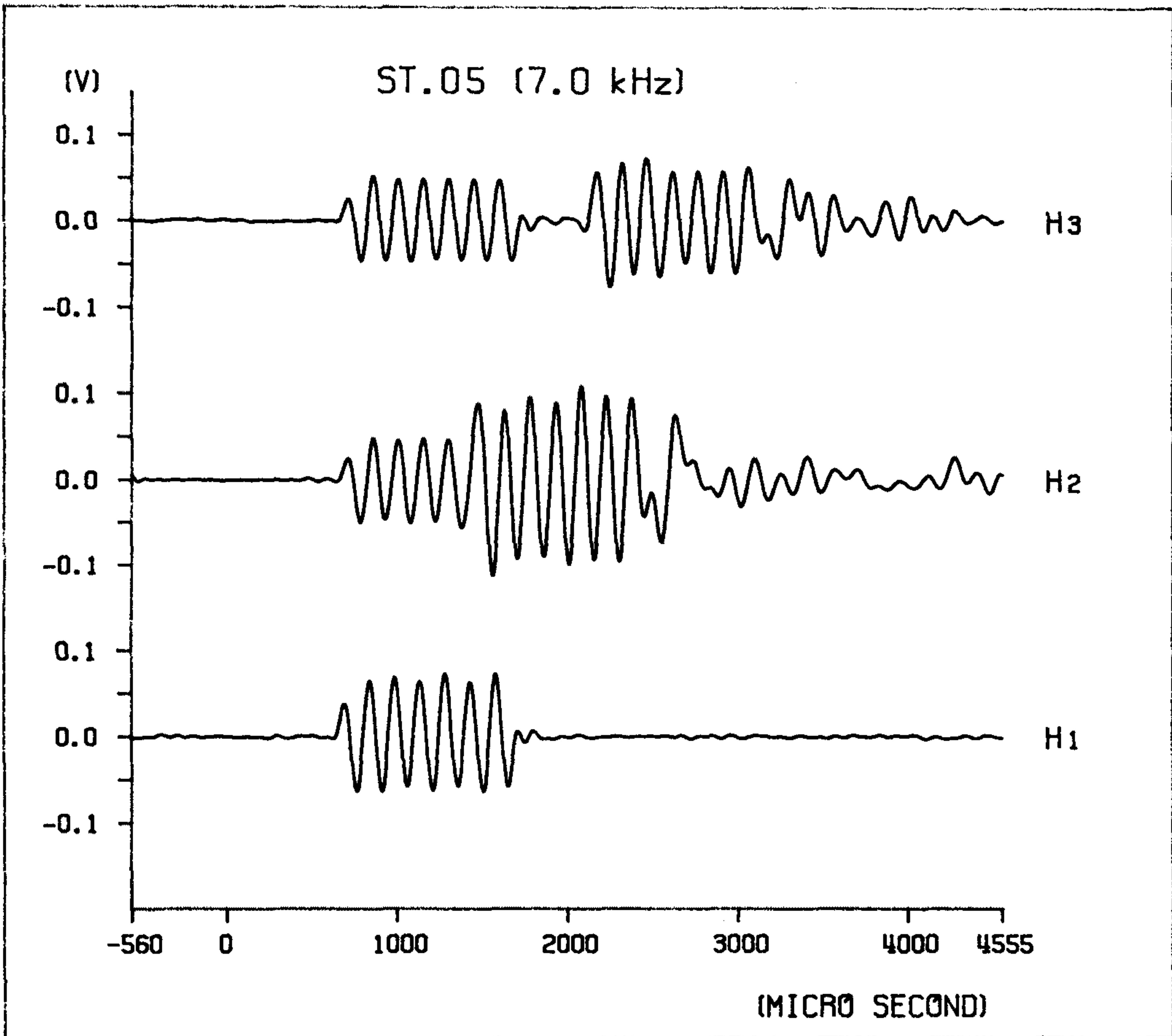


Fig. 4-12. Attenuation signal traces at 7.0 kHz. H₁, H₂ and H₃ are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is disturbing seismic signal on the all channels.

각의 채널별로도 모양을 달리하고 있다.

Fig. 4-13 에서 Fig. 4-15 까지는 각각의 주파수 별로 앞부분의 잡음을 제거한 신호파형을 보여주고 있다. H_1 의 잡음신호는 비교해 보기 위하여 원래 그대로의 상태이다. Fig. 4-10 에서 Fig. 4-12 까지의 신호파형과 비교해 볼때 잡음신호가 상당량 제거되었으며 특히 H_2 의 신호파형에서는 잡음신호와 원하는 신호의 섞여있던 부분이 완벽하게 재생되고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 4-16 은 잡음신호가 제거된 각각의 신호파형을 이용하여 해저 퇴적물에서의 음속을 구한 결과이다. 음속은 아래의 2 가지 방법으로 계산한 다음 이들 중에서 빈도수가 많은 것으로 선택하였다. 1) 첫신호가 도착하는 시간점 (first break point) 을 찾고 H_2 와 H_3 는 음원으로 부터 각각 2 m 와 3 m 씩 떨어져 있으므로 음속을 구할 수 있다. 2) H_2 와 H_3 는 거리가 1 m 밖에 차이가 나지 않으므로 동일한 주파수 특성을 비교적 잘 유지하고 있다고 가정한다면, 이들 두 신호파형의 상호상관 (cross correlation) 을 이용하여 시간차이를 계산하면 바로 음속을 구할 수 있다. 그러나 여기서 신호파형의 전체를 이용하여 상호상관을 보는 것 보다는 선택된 구간에서와 같이 두 파장 정도만 이용하는 것이 바람직 하다. 그 이유는 각각의 신호파형들 뒷부분은 전부다 잡음으로 간주되기 때문이다.

Fig 4-17 은 진폭스펙트럼비율 (amplitude spectrum ratio) 방법을 적용하여 해저퇴적물에서의 음향감쇠계수를 구하는데 사용되는 두파장의 신호파형을 보여주고 있다. 그러면 여기서 한파장이나 또는 세파장 정도를 사용해도 되지않느냐는 문제점과 두파장을 선택해서 사용하는 이유를 설명할 필요가 있다. 각각의 신호파형들은 1 m 씩의 거리를 유지하고 있고 해저퇴적물에서 음속의 분포범위는 전반적으로 1,400 m/sec 에서 1,800 m/sec 의 범위 내에 들어간다고 본다면 1 m 를 통과하는데 걸리는 시간은 약 555 μ

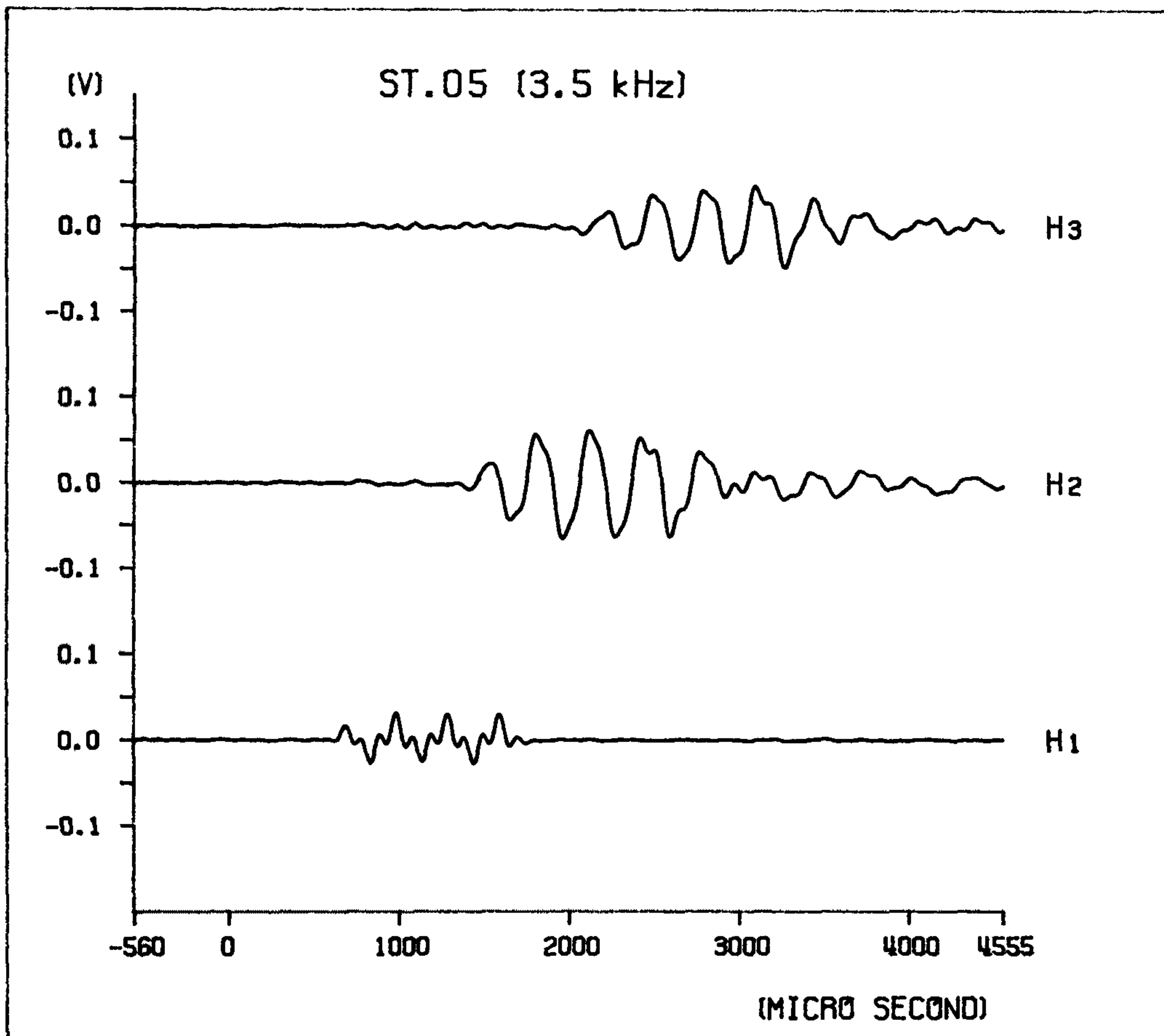


Fig. 4-13. Attenuation signal traces at 3.5 kHz. H₁, H₂ and H₃ are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is removed from seismic signal on the all channels.

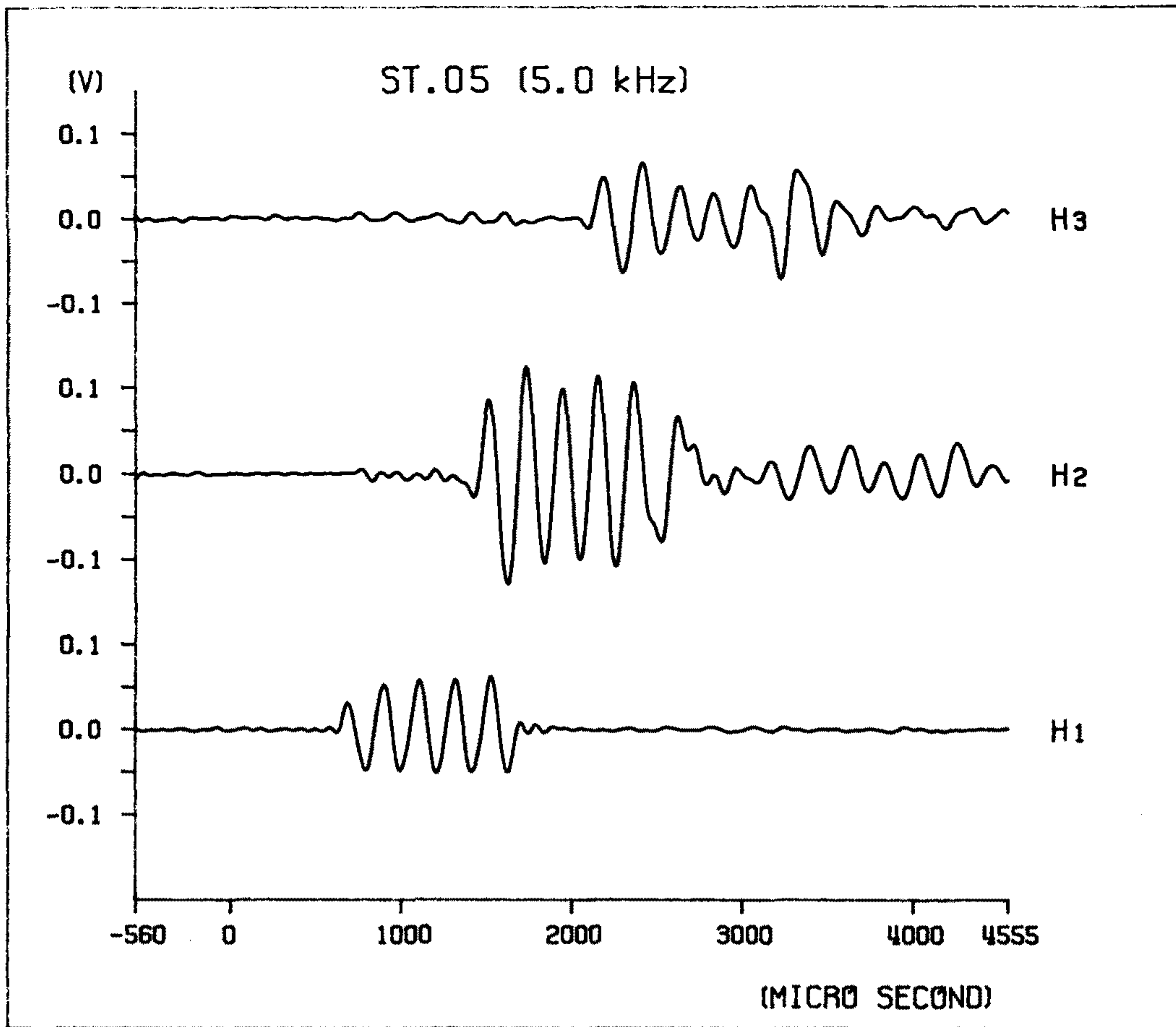


Fig. 4-14. Attenuation signal traces at 5.0 kHz. H₁, H₂ and H₃ are fixed at 1 m, 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is removed from seismic signal on the all channels.

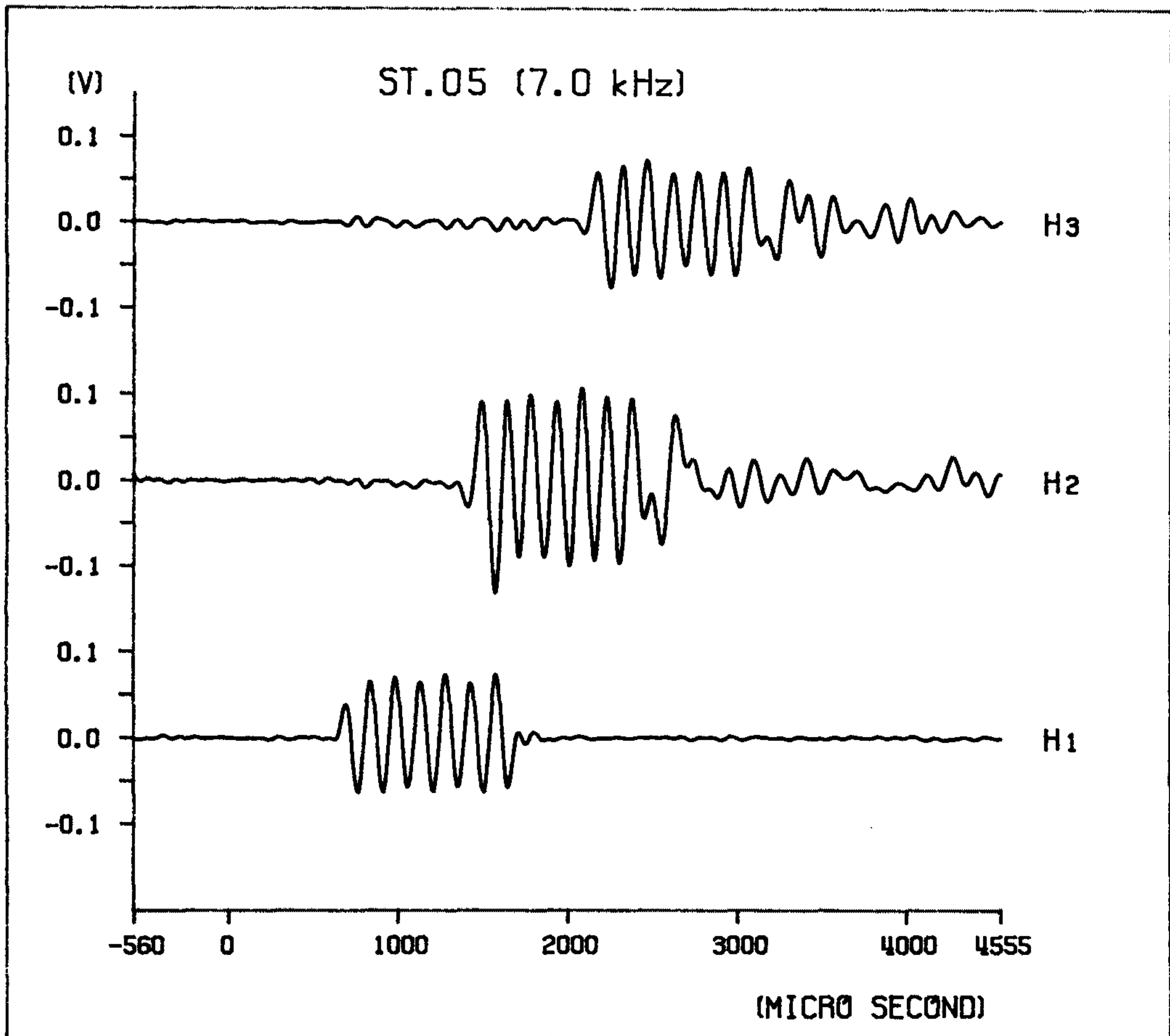


Fig. 4-15. Attenuation signal traces at 7.0 kHz. H₁, H₂ and H₃ are fixed at 1 m , 2 m and 3 m distance from sound source, respectively. Induction noise is removed from seismic signal on the all channels.

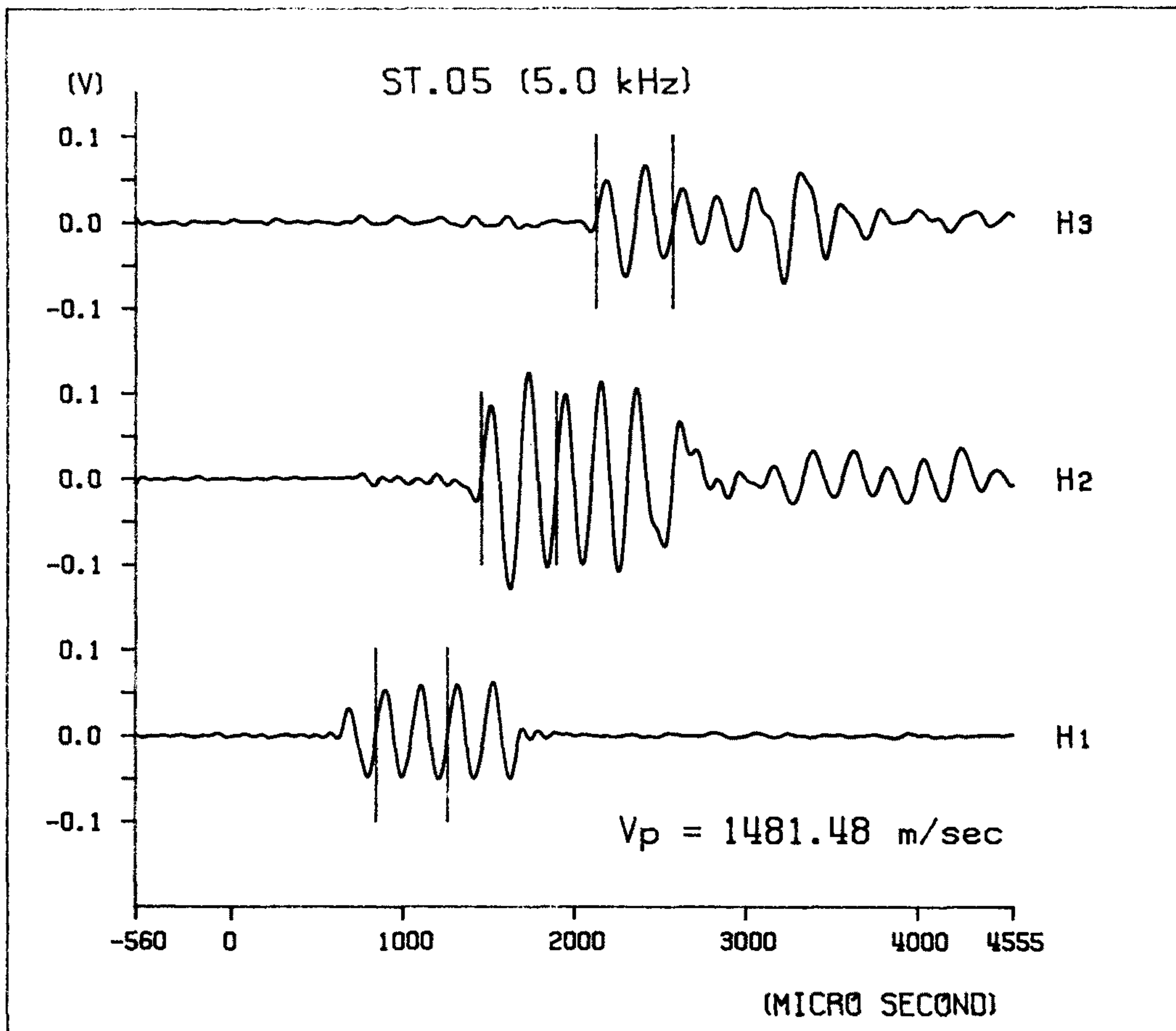


Fig. 4-16. Signal traces at 5.0 kHz for the sound velocity estimation with gated window zone.

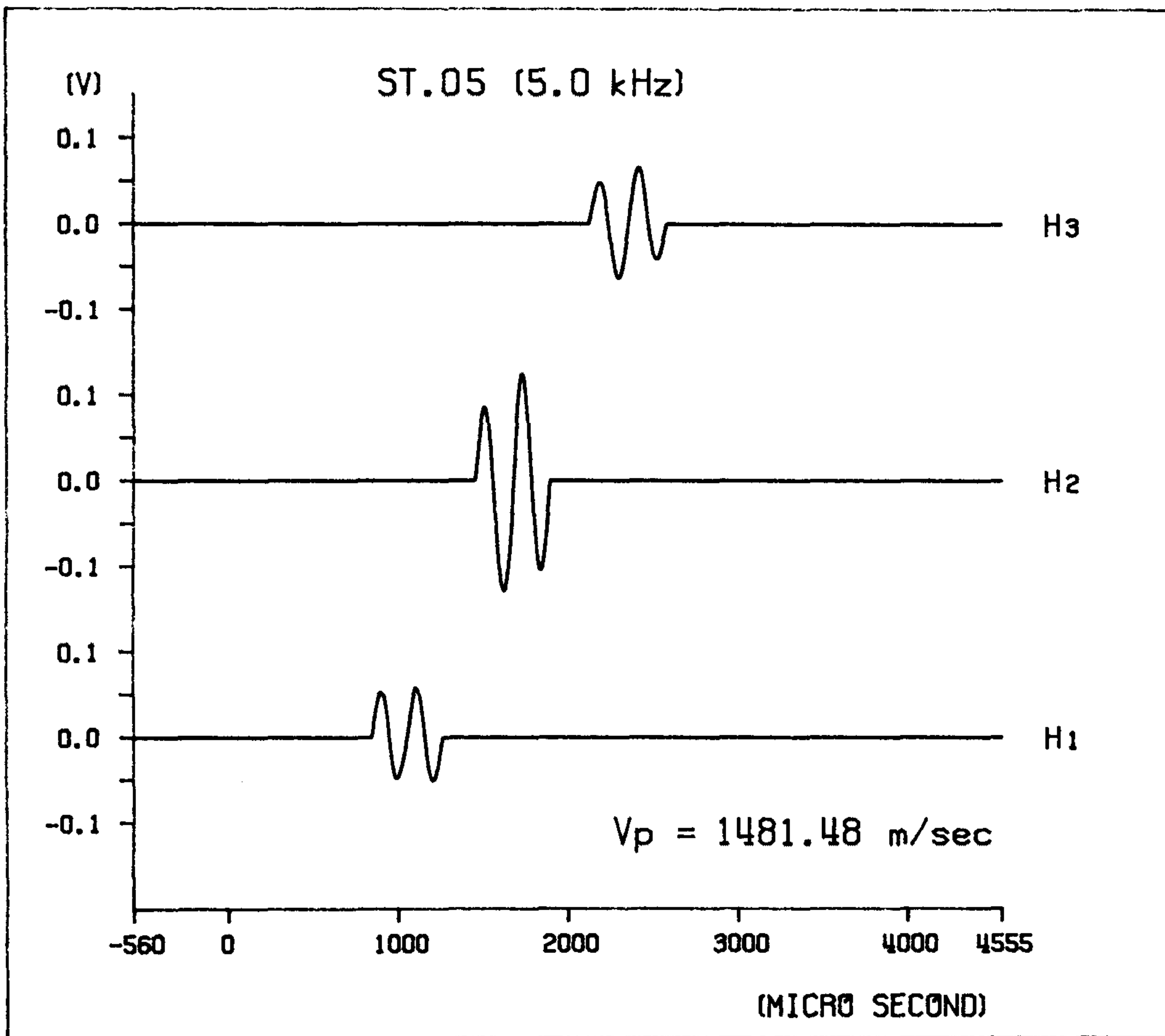


Fig. 4-17. The gated two pulses with same phase for attenuation coefficient calculation.

sec 에서 714 μ sec 정도이다. 한편 3.5 kHz 의 신호파형에서 한파장의 시간 길이는 약 286 μ sec 정도이므로 최대로 사용할 수 있는 파장수는 약 두파장 반 정도가 된다. 따라서 우리가 스펙트럼분석에 최대로 이용할 수 있는 파장수는 두파장 정도라는 결론을 얻을 수 있다. 7.0 kHz 의 경우는 파장의 길이가 더 짧아지므로 4 파장 정도 사용할 수 있지만 자료처리 과정을 일괄성 있게 유지하기 위하여 두파장으로 고정하여 계산하였다.

Fig. 4-18 는 두파장 신호파형에 대한 스펙트럼을 보여주고 있으며, 여기서 H_1 의 값은 음원의 유도전류에 의한 잡음의 결과이다. 음원의 중심주파수가 5.0 kHz 임에도 불구하고 스펙트럼의 최대치는 전반적으로 다소 낮은 값을 보여주고 있다. 그 이유는 2 가지로 해석할 수 있는데 하나는 장비의 계기판에서 5.0 kHz 로 맞추었다고 하더라도 실제로는 5.0 kHz 로 음파가 발신이 되지않는 경우로서 장비의 tuning error 일 가능성이 있다. H_1 은 음원의 '유도전류에 의한 결과인데 이 값이 4.688 kHz 로 나타나고 있기 때문이다. 그러나 다른 이유 하나는 음원으로 부터 거리가 멀어지면 멀어질수록 신호파형의 중심주파수 특성은 점점 낮은 주파수 쪽으로 옮겨진다는 일반적인 현상을 잘 보여주고 있다. H_2 의 스펙트럼 최대값은 4.297 kHz 에서 그리고 H_3 는 4.102 kHz 로 점차 낮은 중심주파수를 보여주고 있다. 여기서 우리가 사용해야할 주파수대역은 약 2.0 kHz 에서 7.0 kHz 구간이므로 대역필터링 (band-pass filtering) 을 적용해야할 필요가 있다. 그러나 대역필터링 구간을 어떻게 설정하느냐에 따라서 음향감쇠계수 결과치는 상당히 차이가 있다. 그림에서 알수 있드시 2.0 kHz 에서 7.0 kHz 까지가 적절하기는 하지만 그 부근에서 좀더 명확한 값을 찾기에는 다소 망설여 진다.

Fig. 4-19 은 H_2 와 H_3 의 진폭스펙트럼 비율을 자연대수로 취한 $\ln(A_2/A_3)$ 과 주파수 관계를 대역필터링을 하지않은 상태에서 그려본 결과

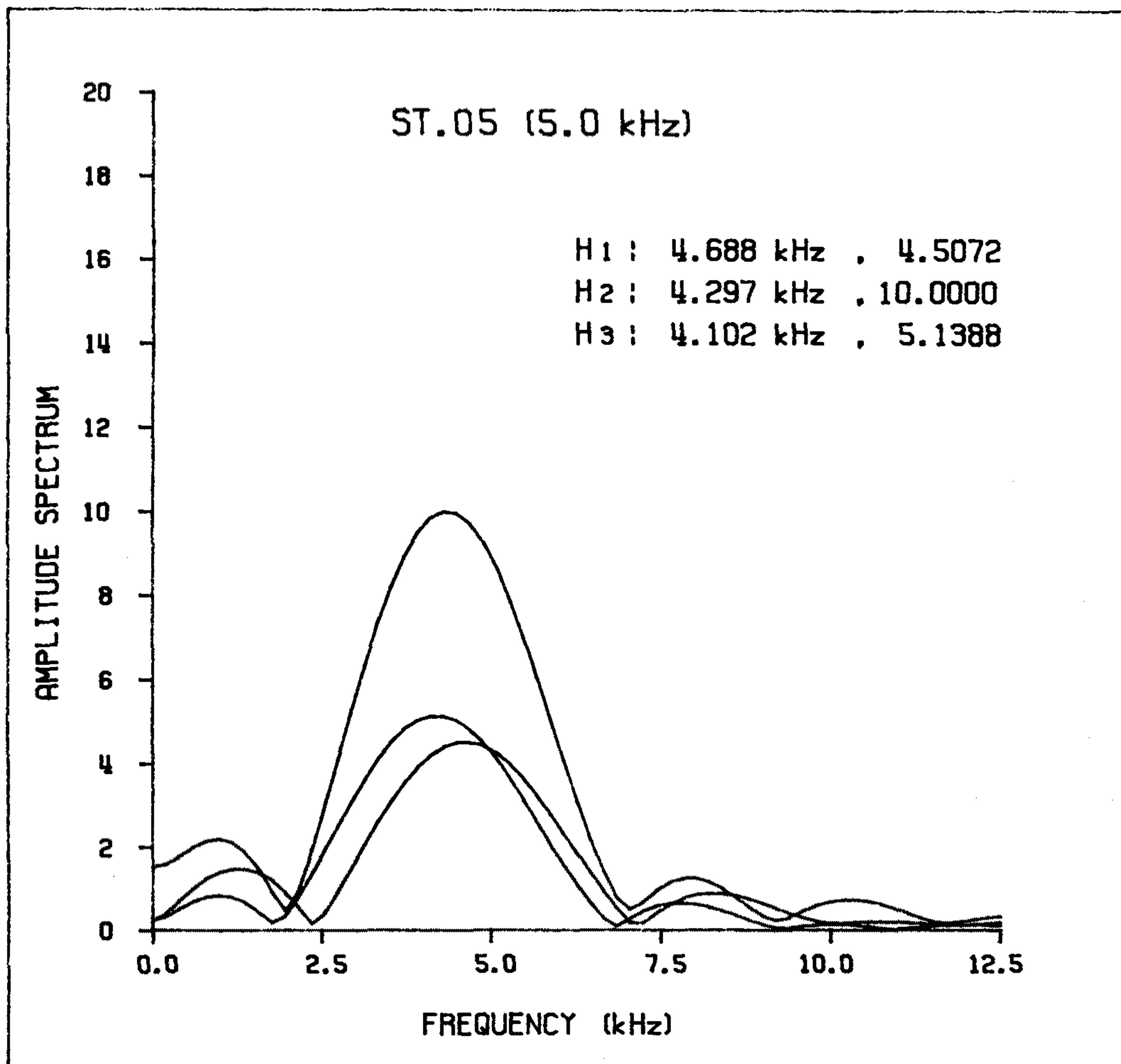


Fig. 4-18. Result of the amplitude spectrum magnitude with H₂ and H₃ at 5.0 kHz.

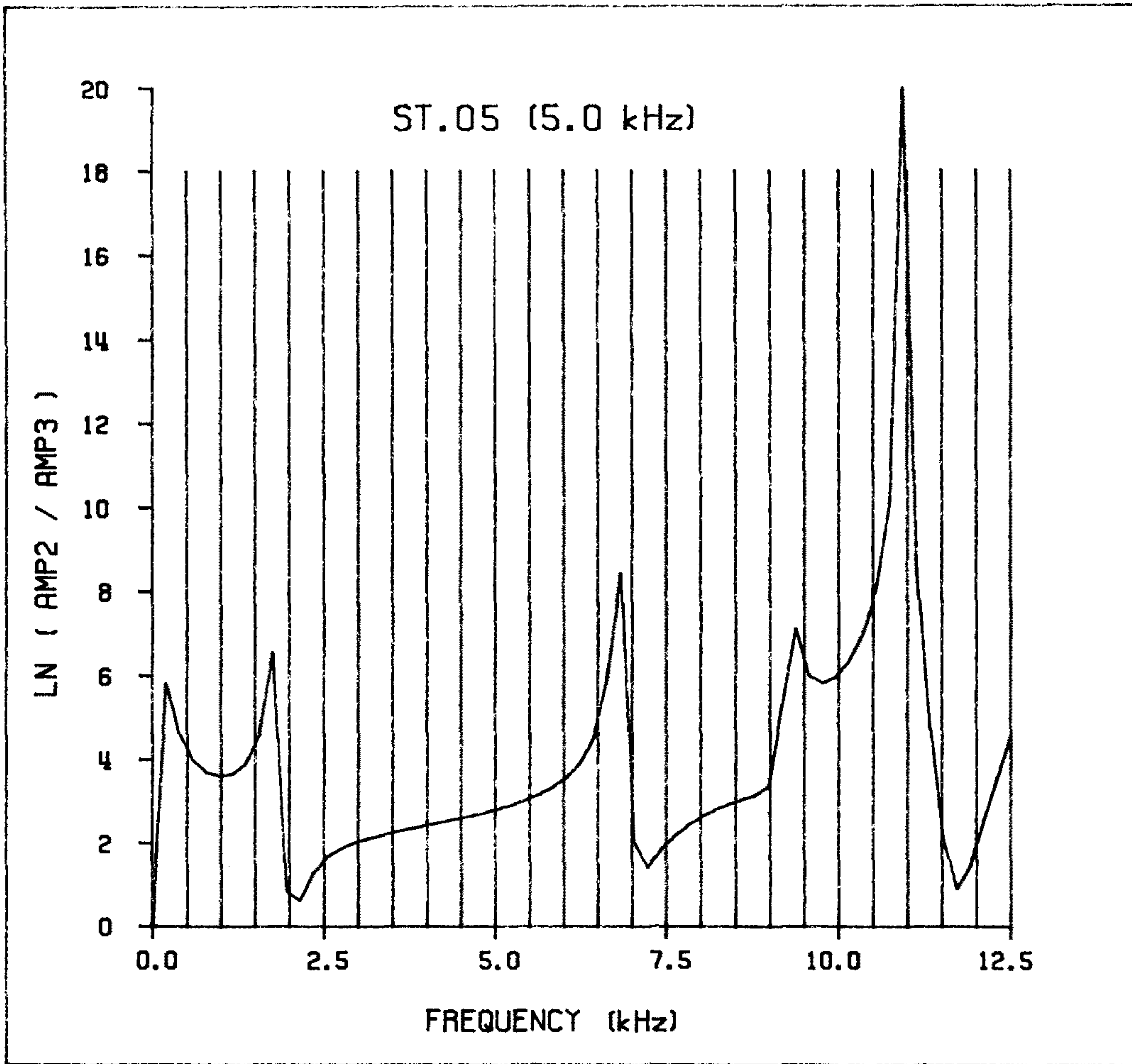


Fig. 4-19. Result of the spectral amplitude ratio with no bandpass filtered two pulses.

이다. 결국에는 이 $\ln(A_2/A_3)$ 의 결과를 이용할 것이므로 미리 한번 살펴보면 대역필터링을 해야할 구간이 명확히 설정된다. 비교적 완만한 직선관계를 보여주고 있는 부분이 3.0 kHz 에서 5.5 kHz 구간임을 알 수 있지만 대역필터링 구간을 이와 똑같이 잡으면 여러가지 필터링효과 중에서 edge effect 현상으로 오히려 원래의 신호파형을 왜곡시킬 우려가 있다. 따라서 대역필터링의 구간은 완만한 직선구간을 포함하면서 Fig. 9 의 구간을 만족시키는 2.2 kHz 에서 7.2 kHz 까지의 대역이 가장 적절하다고 판단하였다.

Fig. 4-20 은 음향감쇠계수를 구하기 위한 최종 결과이다. 여기서 사용된 신호파형은 1차적으로 유도전류에 의한 잡음이 제거되었고 두파장의 신호파형만 선택된 다음 대역필터링을 거친 신호파형이다. 중심주파수는 H_2 에서 확인되었드서 4.296875 kHz 이고 1차회기방정식에서 구한 기울기는 0.030631 로 계산되었다. 여기서의 기울기값은 neper 의 단위이므로 dB/kHz-m 의 단위로 환산하기 위하여 $20 \cdot \log(e)$ 즉 8.686 을 곱하면 음향감쇠계수값 γ 인 0.266060 을 얻게된다. 1차회기방정식의 상관계수는 상당히 양호한 편으로서 0.999936 값으로 나타나고 있다.

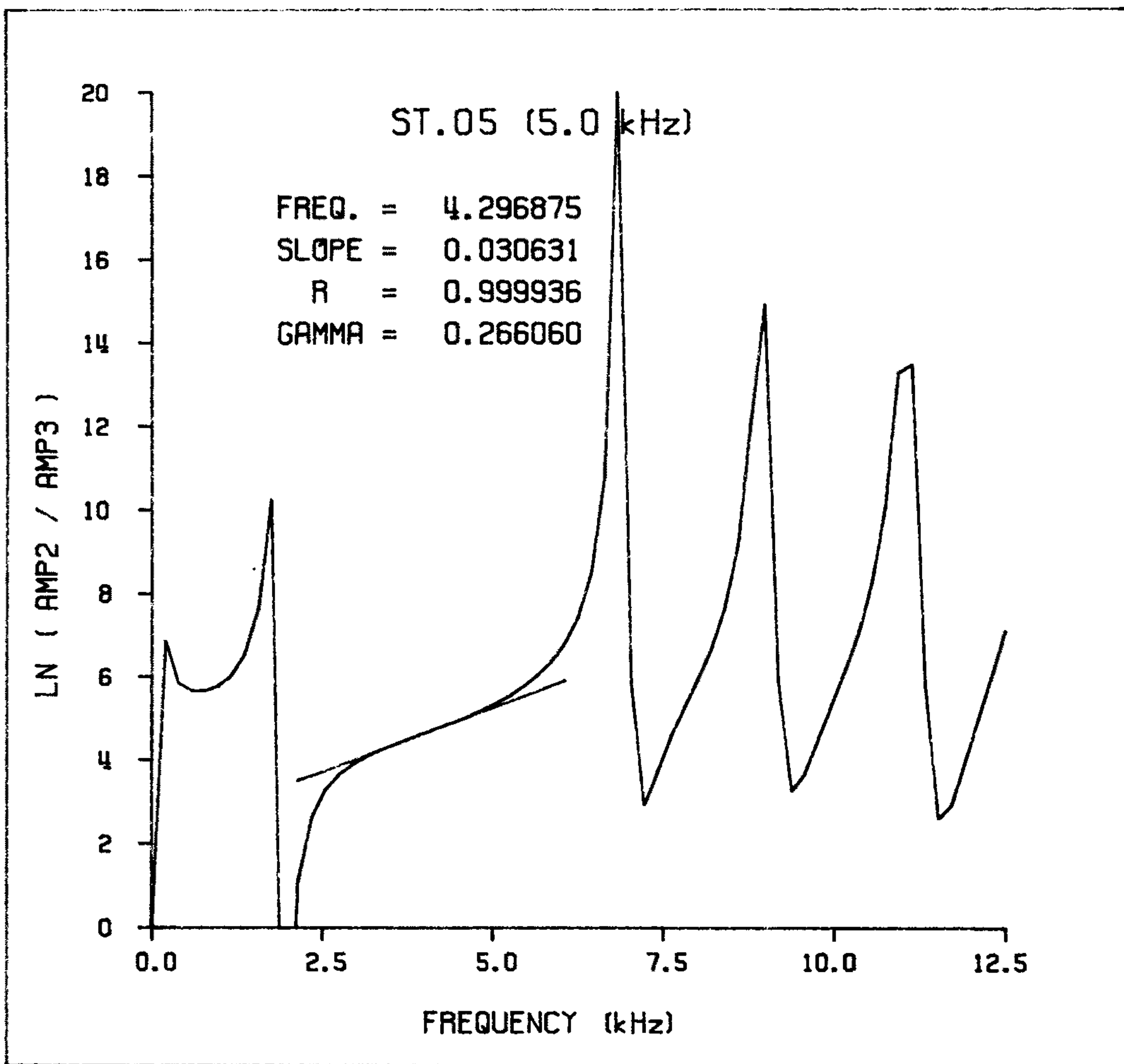


Fig. 4-20. Logarithmic ratio of amplitude spectra of bandpass filtered two pulses H₂ and H₃.

여 백

제 5 장
결과 및 토의

여 백

제 5 장 결과 및 토의

제 1 절 해저퇴적물의 분포

해저퇴적물의 분포를 알기 위하여 총 22 개 지점에서 표층퇴적물을 채취 하였으며 분석 결과는 Table 5-1 에 표시하였다. 연구지역의 표층퇴적물의 분포는 북부지역에 입자가 가장 굵은 조립질의 모래가, 만내에서는 silty sand, sandy silt 또는 sandy mud 가, 만입구의 남부지역에 입자가 가장 가는 세립질의 silt 가 분포하고 있으며, 대체로 북부지역에서 반시계 방향으로 가면서 점차 세립질 퇴적물이 분포하는 특성을 보여준다 (Fig 5-1). 이러한 경향은 퇴적물의 평균입도분포 역시 마찬가지로, 북부지역에 가장 굵은 입자인 3 ϕ 이하의 값이 나타나고 반시계 방향으로 가면서 점차 세립질로 바뀌어 구만리 지역에서 가장 세립질의 7 ϕ 이상의 퇴적물이 분포한다 (Fig. 5-2). 정점 19에서 세립질의 sand가 나타나는것은 주변이 암반 지형으로 해류나 파도의 영향으로부터 보호되어 세립질퇴적물이 부분적으로 퇴적된 결과로 보인다. 퇴적물의 크기별 혼합된 정도를 지시하는 퇴적물의 분급도 (standard deviation) 는 값이 높을수록 여러 크기의 퇴적물이 혼합된 poorly sorted 퇴적물로 분류된다. Fork (1974) 의 분류법에 따른 연구 지역 퇴적물의 분급도는 moderately sorted (1.0 이하) 퇴적물이 북부지역에 분포하며 대부분 poorly sorted 또는 very poorly sorted 퇴적물로 구성되어 있다 (Fig. 5-3 ; Table 5-1). 연구지역 북부에서 남부로 가며 퇴적물의 분급도가 moderately sorted 에서 very poorly sorted 로 변하는것은, 북부지역이 해류의 영향으로 퇴적물의 분급이 좋은 sand 로 구성되어 있으나 그 영향이 점차 감소하는 남부지역에서는 sand 와 세립질의 silt 가 혼

Table 5-1. Results of the sediment composition, type, statistical parameters and geophysical properties.

Sample No.	Composition(%)			Sed. Type	Statistical Parameters				Water Content (%)	Bulk Densit (g/cm)	Void Ratio	Porosity (%)
	Sand	Silt	Clay		MZ(θ)	St.De.	Skew	Kurt.				
ST.1	7.37	81.05	11.58	Z	5.78	1.71	1.25	4.41	79.94	1.55	2.11	67.8
ST.2	0.40	76.86	22.74	Z	6.82	1.96	1.01	3.44	99.03	1.48	2.61	72.3
ST.3	0.09	66.50	33.41	Cz	7.62	1.87	0.77	3.02	131.06	1.39	3.46	77.6
ST.5	0.17	68.43	31.40	Cz	7.46	2.08	0.82	2.82	140.64	1.37	3.71	78.8
ST.6	21.52	63.81	14.67	Sz	5.71	2.15	1.18	3.89	60.22	1.67	1.63	61.9
ST.7	80.35	16.57	3.08	S	3.91	1.36	3.55	17.69	51.06	1.73	1.36	57.6
ST.8	21.54	69.90	8.56	Sz	5.27	1.78	1.64	6.02	49.98	1.74	1.34	57.3
ST.9	5.95	80.13	13.92	Z	6.19	1.83	1.06	4.44	73.84	1.58	1.96	66.2
ST.10	91.87	5.98	2.15	S	2.73	1.48	3.23	15.30	35.29	1.86	0.92	47.8
ST.13	96.87	1.55	1.58	S	2.38	1.42	2.55	19.13	37.93	1.83	0.99	49.7
ST.14	24.94	51.19	23.87	Cz	6.30	2.64	0.77	2.64	63.22	1.65	1.69	62.9
ST.15	21.97	49.71	28.32	Cz	6.71	2.77	0.60	2.26	79.40	1.56	2.13	68.0
ST.16	96.53	2.43	1.04	S	2.55	1.06	5.19	40.00	28.88	1.93	0.75	42.9
ST.17	95.03	3.93	1.04	S	2.60	1.09	4.42	30.60	38.73	1.82	1.01	50.2
ST.18	98.74	1.26	0.00	S	2.29	0.60	-0.43	6.23	38.95	1.82	1.01	50.3
ST.20	98.20	1.80	0.00	S	2.50	0.48	0.42	10.91	37.70	1.83	0.98	49.5
ST.22	36.14	38.45	25.41	Cz	5.88	3.01	0.16	1.98	90.06	1.52	2.41	70.7
ST.23	92.03	5.57	2.40	S	3.19	1.40	3.20	17.41	45.23	1.76	1.18	54.0
ST.24	87.61	8.28	4.11	S	3.23	1.80	2.60	10.81	28.91	1.93	0.75	42.9
ST.25	73.51	22.85	3.64	Zs	4.05	1.47	2.80	12.19	48.72	1.75	1.30	56.5
ST.26	17.53	71.34	11.13	Sz	5.46	1.96	1.72	5.61	61.86	1.65	1.65	62.3
ST.27	95.51	4.49	0.00	S	2.70	0.89	-1.06	6.26	43.61	1.77	1.13	53.1

S : Sand, Z : Silt, Sz : Sandy silt, Zs : Silty sand, Cz : Clayey silt

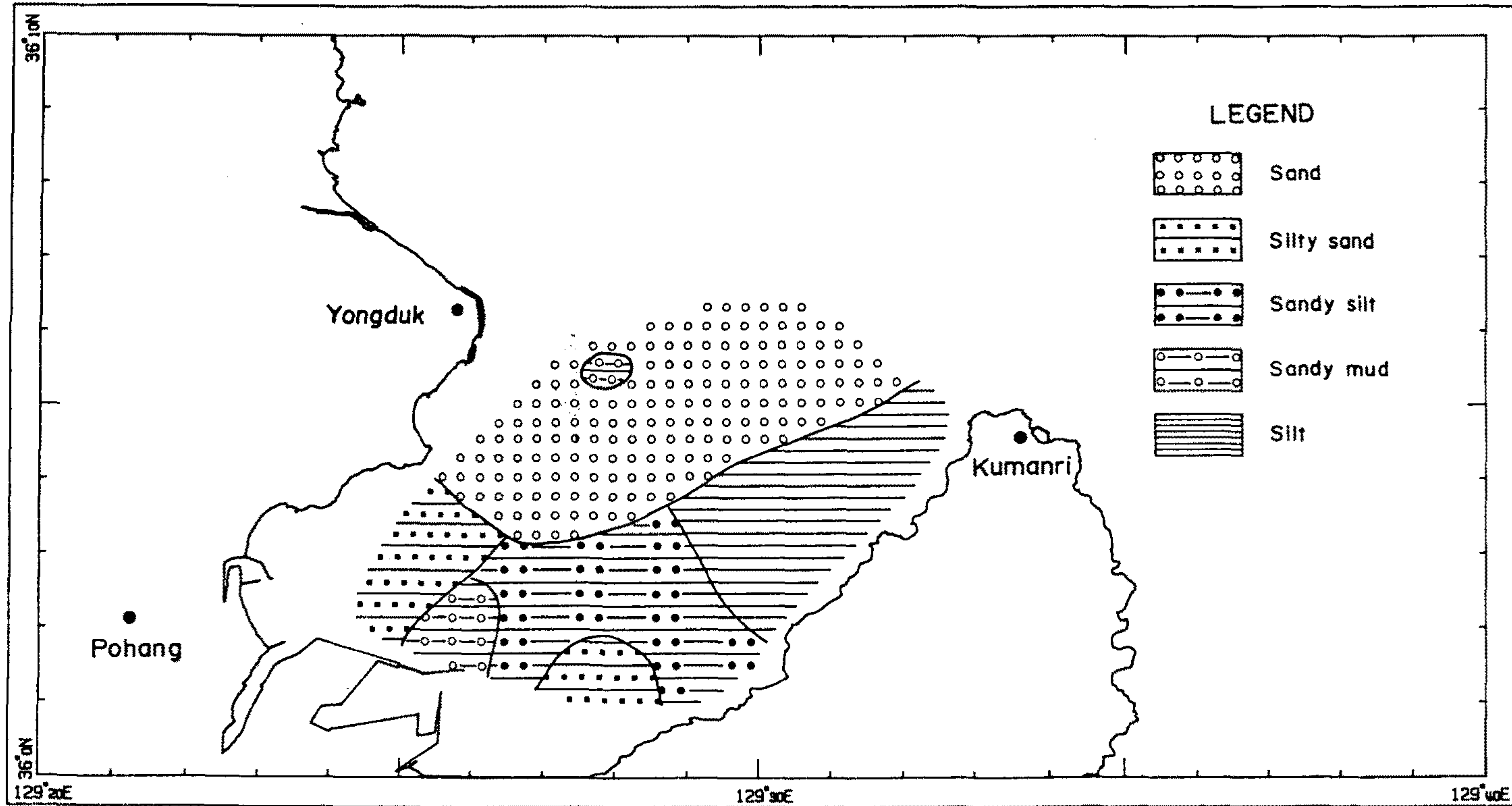


Fig. 5-1. Distribution of surface sediment types in the survey area.

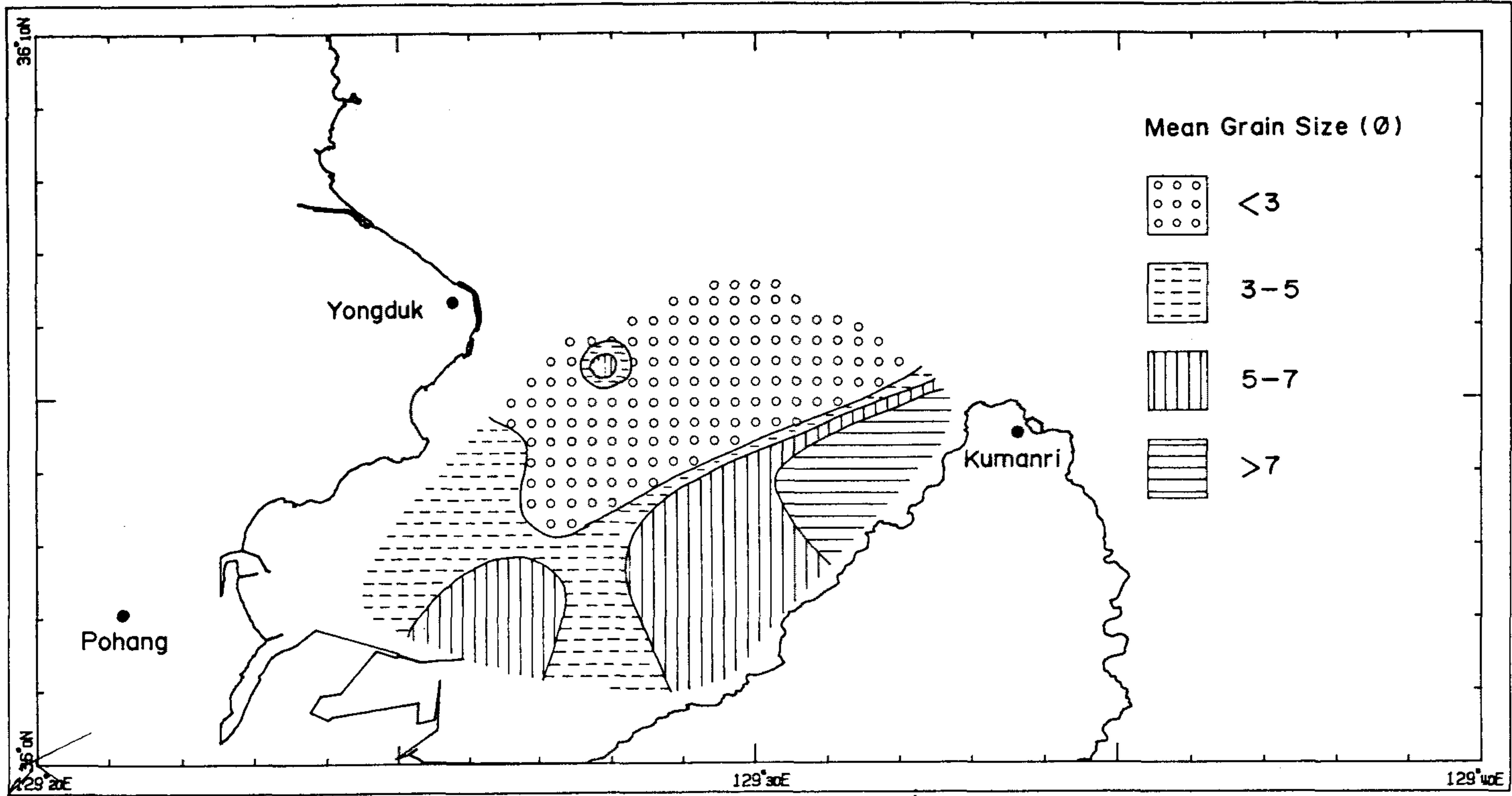


Fig. 5-2. Mean grain size of surface sediments in the survey area.

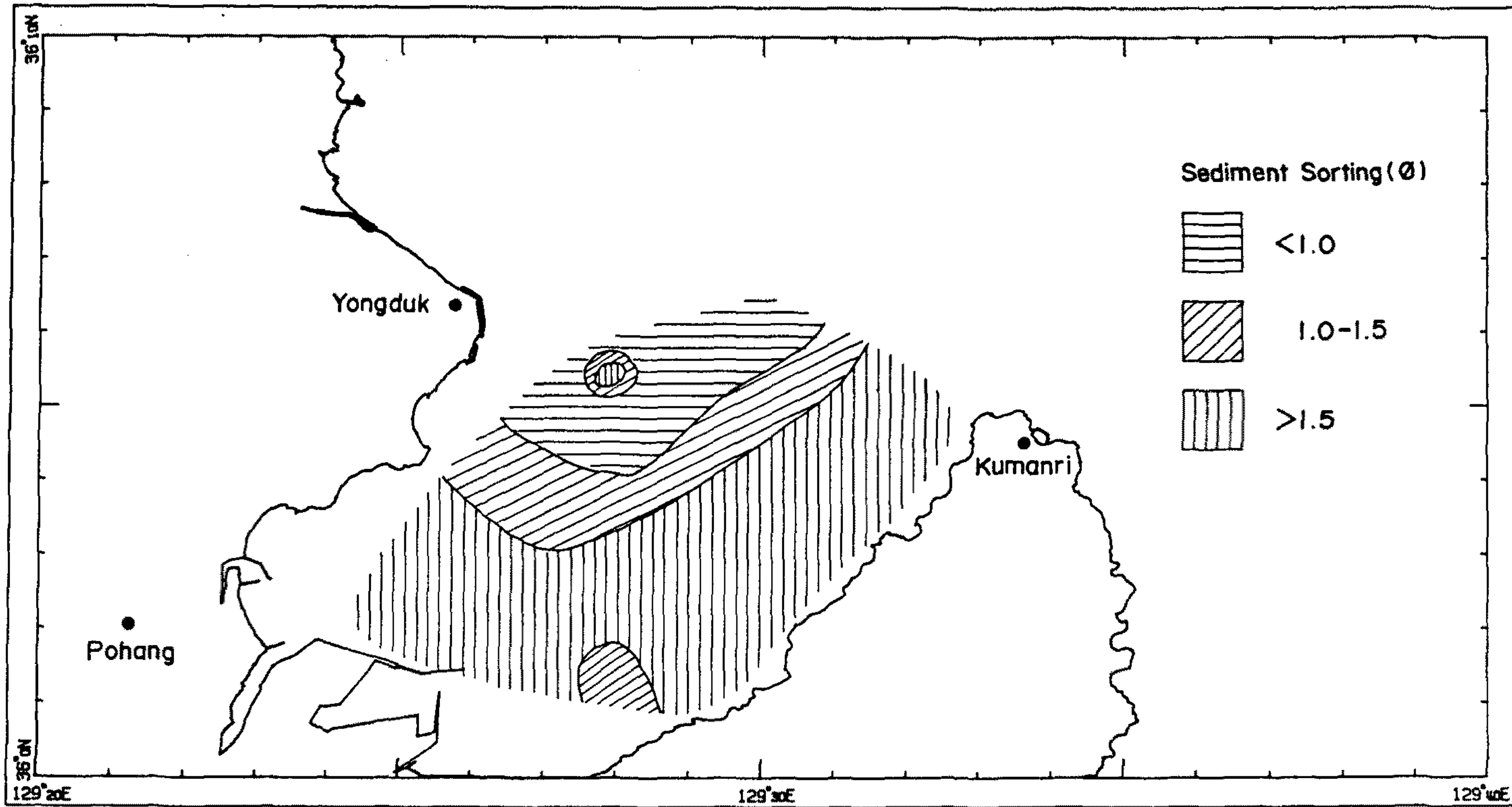


Fig. 5-3. Standard deviation (sorting) of surface sediments in the study area.

함 퇴적되어 나타나는 결과로 보인다.

일반적으로 해저퇴적물 분포에 가장 큰 영향을 미치는 것은 해류로서 해류의 세기에 따라 그 퇴적분포 양상을 달리한다. 연구지역은 조석간만의 차가 미약하여 조류는 퇴적물 이동에 큰 영향을 미치지 못한다. 수로국 보고서 (1971) 에 의하면, 영일만내에 우세하게 나타나는 해류는 외만의 북부해안을 따라 만 내부로 흐르고 형산강 하구에서 남부 해안을 따라 만밖으로 이동하는 반시계 방향의 특성을 갖는다. 이러한 반시계 방향의 환류는 풍속이 강한 북북동풍에 의한 것으로 에너지가 커서 만의 북부지역에 세립질 물질을 부유 이동 시킬수 있다. 영일만내의 해저퇴적물의 분포가 반시계 방향으로 가며 점차 세립질의 퇴적물이 분포하는 것 역시 이러한 환류의 영향이 큰 요인으로 작용하는 것으로 사료된다.

제 2 절 해저퇴적물의 500 kHz 음향특성

500 kHz 에 의한 퇴적물의 음속과 감쇠계수 측정결과는 Table 5-2 에 요약 정리되어 있다. 아크릴 용기를 이용하여 해저퇴적물을 채취하는 측정방법을 사용하기 때문에 시료의 물성이 입자가 굵은 모래질 또는 자갈인 경우 실질적으로 시료채취가 불가능하기 때문에 본 연구에서는 퇴적물 의 평균입도가 비교적 큰 니질퇴적물에 대한 분석결과만 얻을 수 있었다.

수평방향으로 측정된 결과에서는 1,525 ~ 1,632 m/sec 정도의 음속범위와 0.088 ~ 0.352 dB/kHz-m 정도의 감쇠계수 분포범위를 보이고 있으며, 수직방향으로 측정된 결과에서는 1,494 ~ 1,582 m/sec 정도의 음속범위와 0.221 ~ 0.401 dB/kHz-m 정도의 감쇠계수 분포범위를 보이고 있다.

1. 음속과 해저퇴적물

Table 5-2. Results of sound velocity and attenuation coefficient on the horizontal and vertical direction by using the 500 kHz acoustic measuring system.

Station	Sample Length (mm)		Velocity (km/sec)		GAMMA (γ)	
	HOR.	VER.	HOR.	VER.	HOR.	VER.
01	19.75	19.50	1.5251	1.5415	0.2639	0.2673
02	19.75	19.50	1.5019	1.4943	0.2199	0.3118
03	19.75	19.70	1.4469	1.5271	0.3079	0.2205
05	19.75	19.90	1.5675	1.5731	0.0880	0.3055
06	19.75	19.70	1.5635	1.5635	0.2199	0.2645
07	19.75	-	1.6322	-	0.3079	-
08	19.75	19.50	1.5430	1.5234	0.3518	0.4009
09	19.75	19.15	1.5430	1.5138	0.1759	0.2268
14	19.75	19.70	1.5613	1.5823	0.3079	0.2205
15	19.75	19.70	1.5797	1.5391	0.2639	0.2205
25	19.75	-	1.5992	-	0.2639	-
26	19.75	19.70	1.5800	1.5573	0.2639	0.2205

Fig. 5-4 에서 Fig. 5-6 까지는 측정된 음속 결과와 해저퇴적물의 물성 중에서 평균입도, 공극율 및 밀도와의 관계를 나타내고 있다. 평균입도와의 관계에서는 수평방향으로 측정된 2 개의 최대 및 최소값을 제외하고는 전반적으로 힌군데에 모여있는 결과를 보이고 있으며 평균입도 5 ~ 8 ϕ 에서 집중적으로 측정되었음을 알 수 있다. 또한 수직방향의 경우는 평균입도와의 뚜렷한 연관성을 보이지 않지만 수평방향의 경우는 전반적으로 평균입도가 증가함에 따라 음속은 감소하는 경향을 확인할 수 있다.

공극율과의 관계에 있어서는 약 60 ~ 80 % 범위에서 집중적으로 측정되었음을 보여주고 있다. 평균입도에서와 마찬가지로 수직방향의 경우는 공극율과의 뚜렷한 연관성을 보이지 않지만 수평방향의 경우는 전반적으로 공극율이 증가함에 따라 음속은 급속히 감소하는 경향을 확인할 수 있다. 퇴적물의 밀도는 공극율 또는 평균입도와는 서로 역비례관계에 있드시 음속과의 관계에 있어서도 밀도가 증가함에 따라 음속도 증가하고 있다. 음속이 측정된 퇴적물의 밀도범위 약 1.4 ~ 1.8 g/cc 에 집중적으로 밀집되어 있으며 수직방향에서 보다 수평방향의 음속값이 더 좋은 상관관계를 보이고 있다.

2. 감쇠계수와 해저퇴적물

Fig. 5-7 에서 Fig. 5-9 까지는 측정된 감쇠계수 결과와 해저퇴적물의 물성 중에서 평균입도, 공극율 및 밀도와의 관계를 나타내고 있다. 해저퇴적물의 입자가 굵어지는 평균입도의 감소에 따라 감쇠계수는 비교적 완만하게 증가하고 있음을 알 수 있으며, 수직방향의 측정 결과 보다는 수평방향에서 더욱 뚜렷한 상관관계를 보여 주고 있다. 공극율 역시 감쇠계수와는 역비례관계에 있으나 밀도와는 비례관계에 있음을 알 수 있다. 음속에서

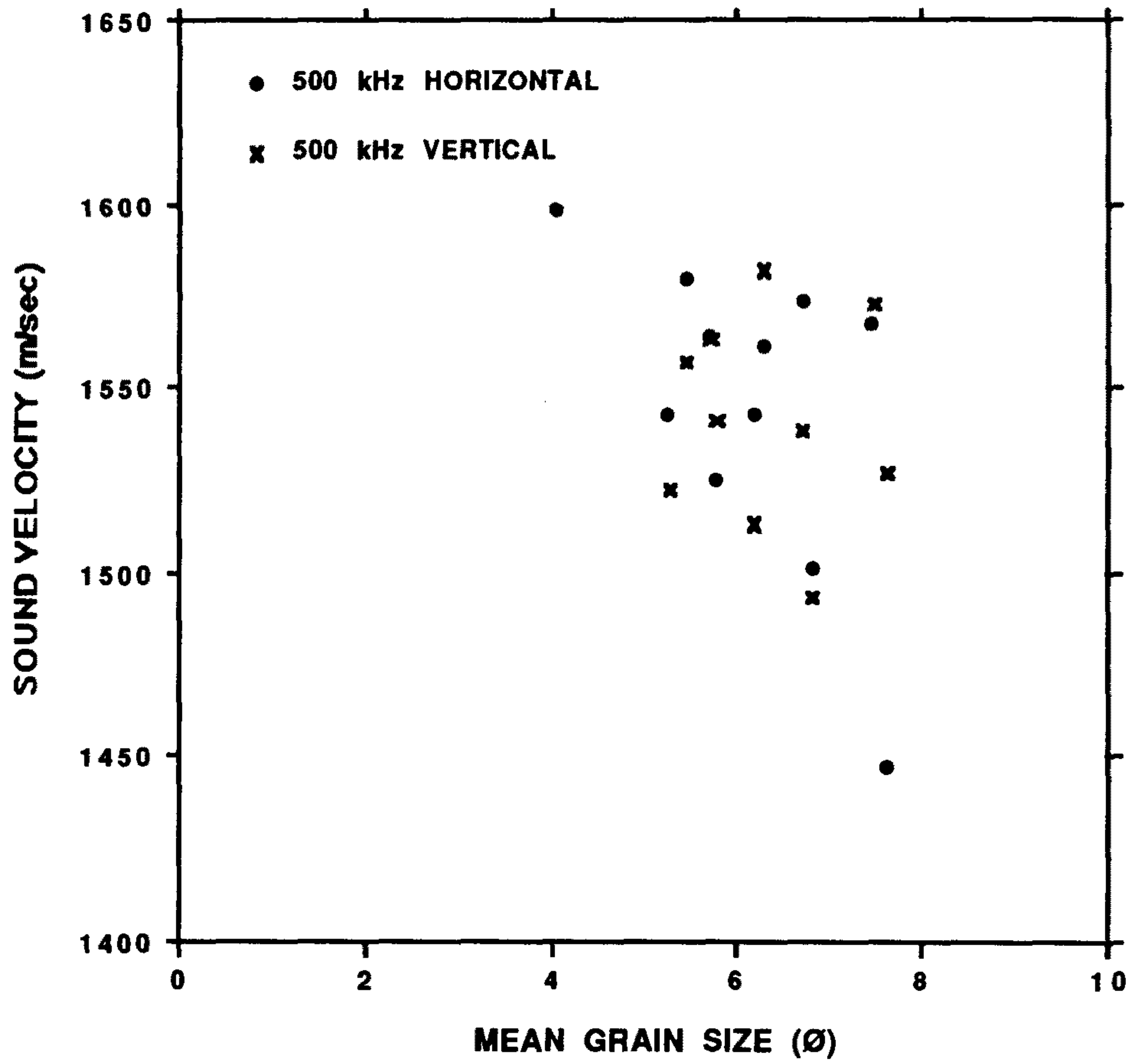


Fig. 5-4. Mean grain size of sediment versus sound velocity with 500 kHz ultrasonic sound source.

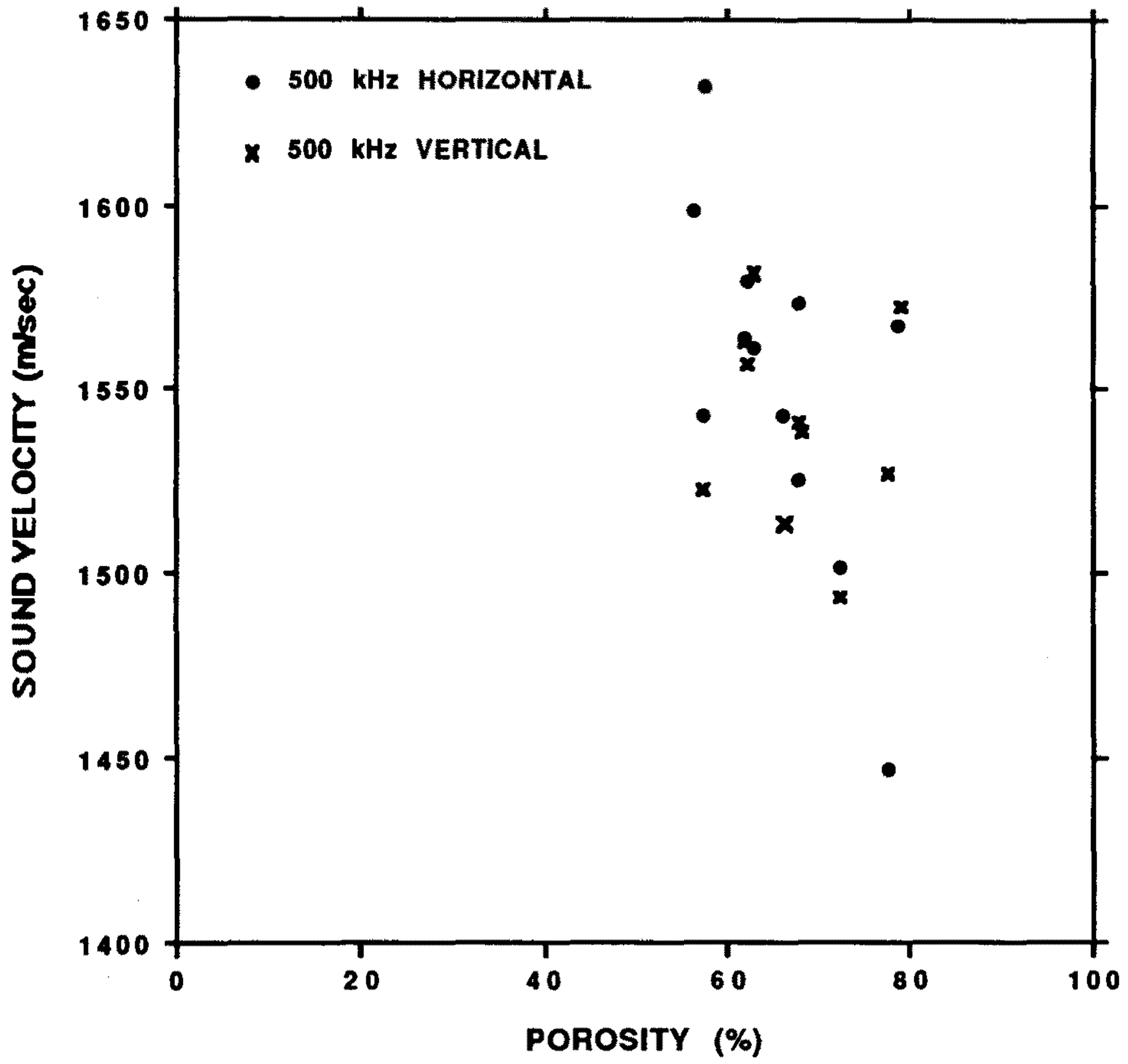


Fig. 5-5. Porosity of sediment versus sound velocity with 500 kHz ultrasonic sound source.

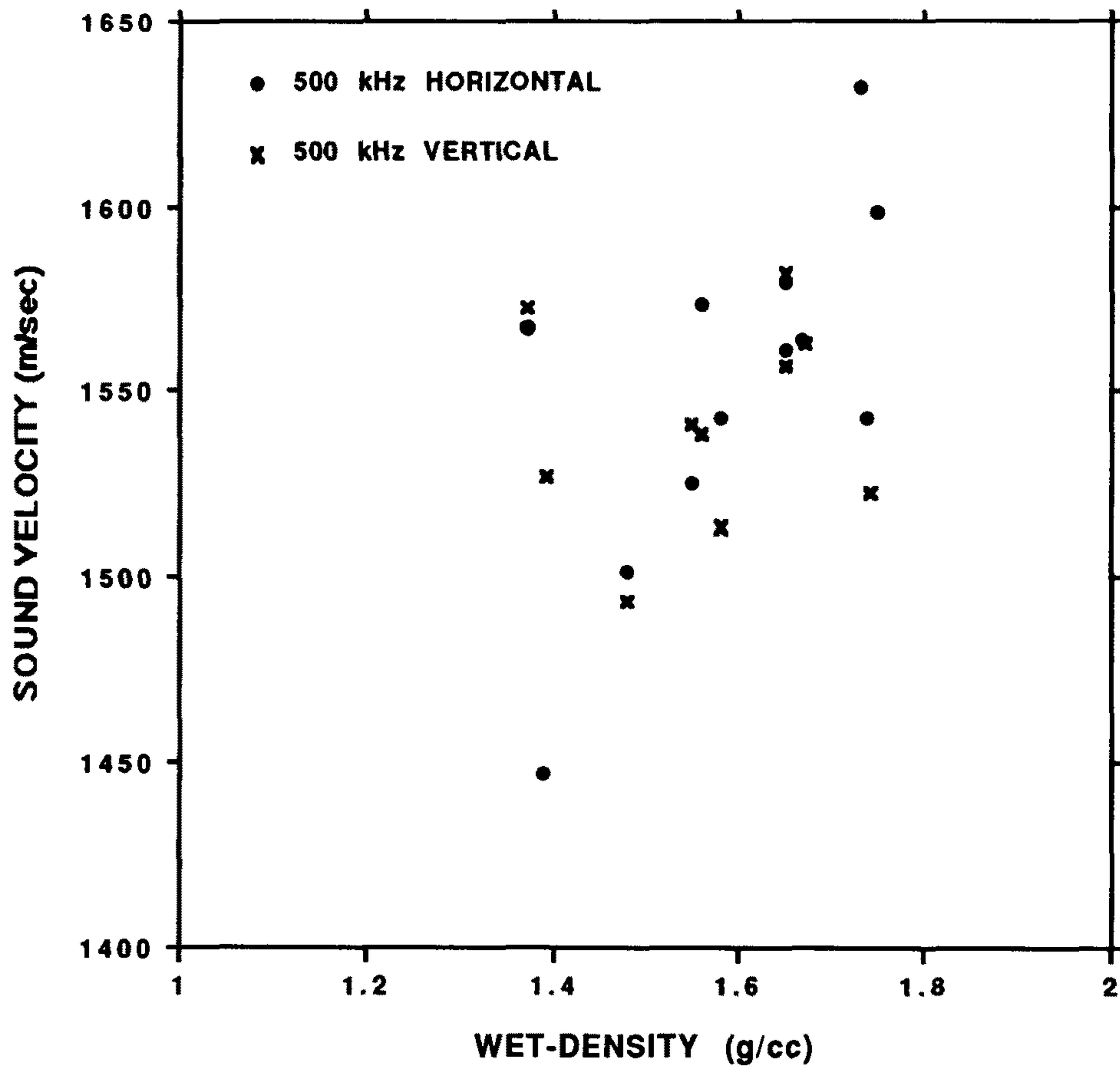


Fig. 5-6. Wet-density of sediment versus sound velocity with 500 kHz ultrasonic sound source.

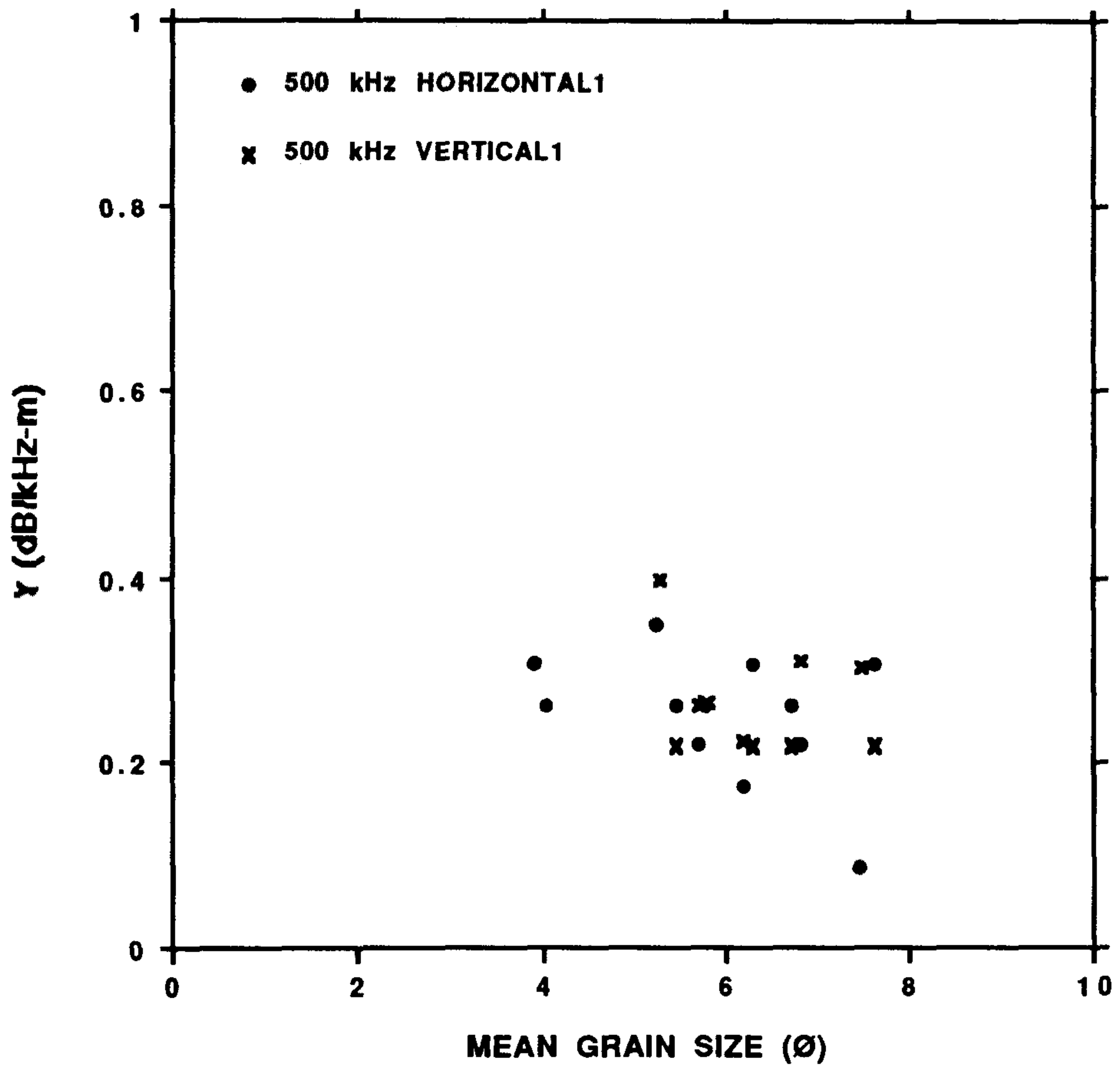


Fig. 5-7. Mean grain size of sediment versus attenuation coefficient with 500 kHz ultrasonic sound source.

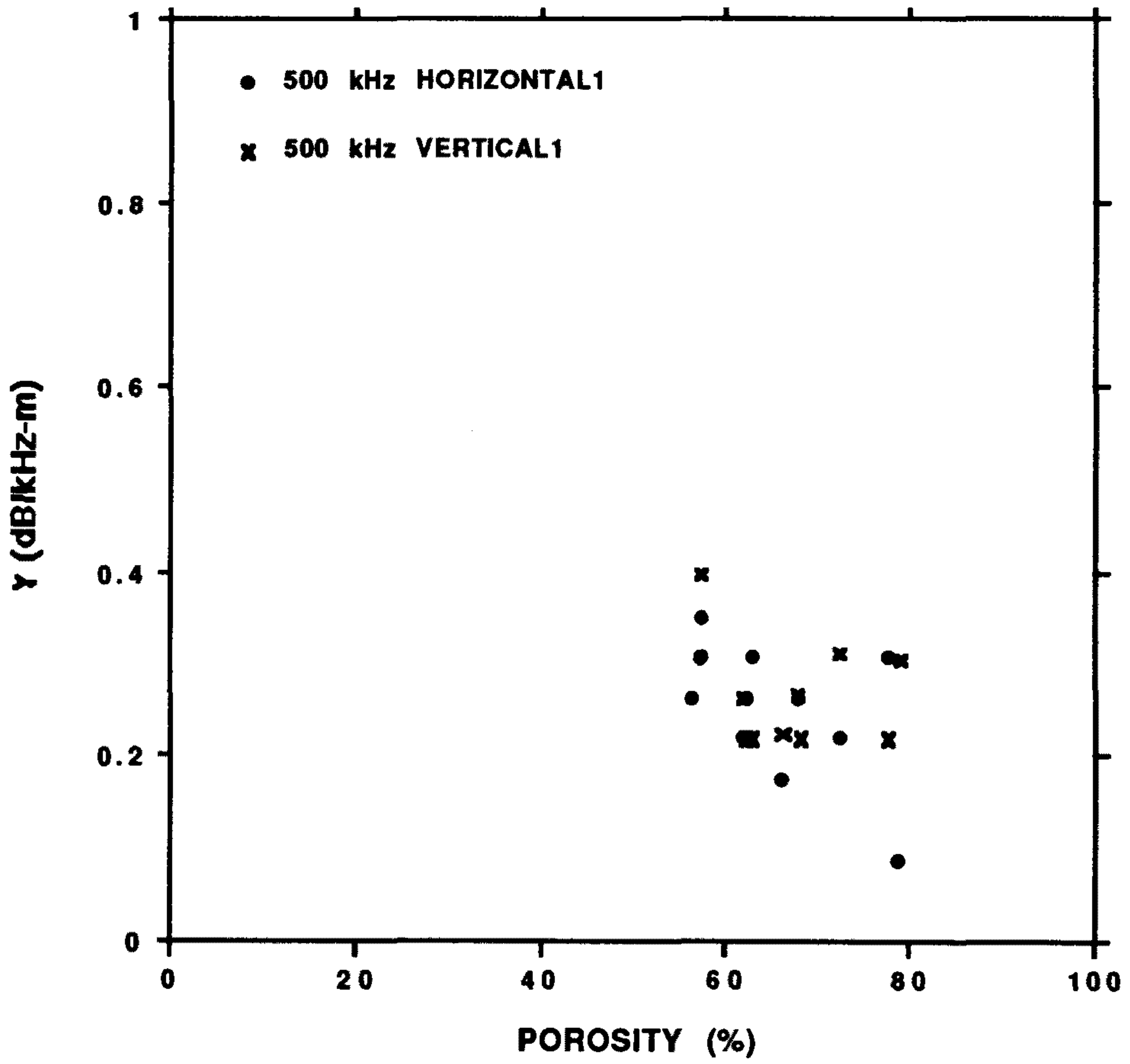


Fig. 5-8. Porosity of sediment versus attenuation coefficient with 500 kHz ultrasonic sound source.

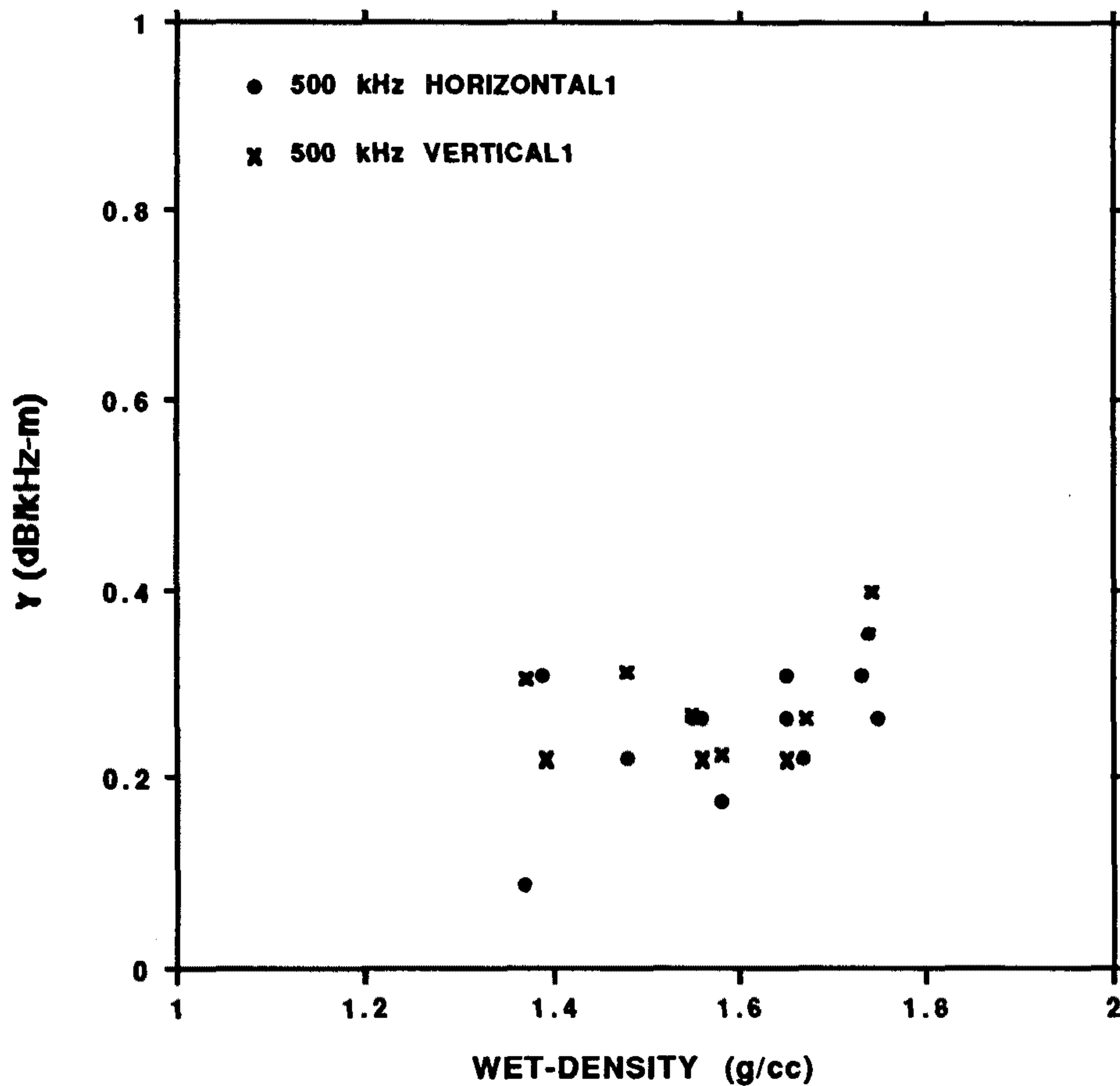


Fig. 5-9. Wet-density of sediment versus attenuation coefficient with 500 kHz ultrasonic sound source.

와 마찬가지로 수직방향에서 보다 수평방향의 감쇠계수값이 해저퇴적물의 물성과는 더 좋은 상관관계를 보이고 있다.

3. 음속과 감쇠계수의 비등방성

음속의 비등방성 (A_V) 과 감쇠계수의 비등방성 (A_γ) 은

$$A_V(\%) = 200 \cdot (V_H - V_V) / (V_H + V_V)$$

$$A_\gamma(\%) = 200 \cdot (\gamma_H - \gamma_V) / (\gamma_H + \gamma_V)$$

로 각각 표현되며 여기서 첨자 H 와 V 는 수평방향과 수직방향을 의미한다. 따라서 단위는 백분율이며, 수평방향이 클 경우 그 값은 양의 부호를 나타내게 된다.

Fig. 5-10 에서 Fig. 5-12 까지는 음속과 감쇠계수의 비등방성과 해저퇴적물의 평균입도, 공극율 및 밀도와의 관계를 나타내고 있다. 전반적으로 음속의 비등방성은 수평방향이 우세하지만 감쇠계수의 비등방성에 있어서는 수직방향이 우세하게 나타나고 있다. 평균입도는 작아지고 공극율과 밀도는 커지는 조립질 퇴적물 쪽으로 갈수록 음속과 감쇠계수의 비등방성은 모두 점차적으로 0 % 에 수렴하고 있는 현상이 나타나고 있다.

음속의 경우 Hamilton (1970) 은 평행층리 구조가 발달해 있는 해저퇴적물에서는 수직방향에서 보다 수평방향에서 다소 빠르면서 퇴적물 깊이 (burial depth) 에 따라 음속의 비등방성은 증가할 것으로 예측하였고, Bachman (1979) 은 1959 년부터 1978 년까지 세립질 퇴적물 및 퇴적암에서 측정된 음속자료들을 총정리하여 수평과 수직의 관계를 조사해 본 결과 해저면에서는 음속의 비등방성은 거의 0 % 이며, 퇴적물 깊이가 증가함에 따라 비등방성은 8 ~ 14 % 정도로 증가하고 있음을 확인하였다. 그러나 해저 표층퇴적물에서 감쇠계수의 비등방성에 관한 연구결과는 현재까지 보고된

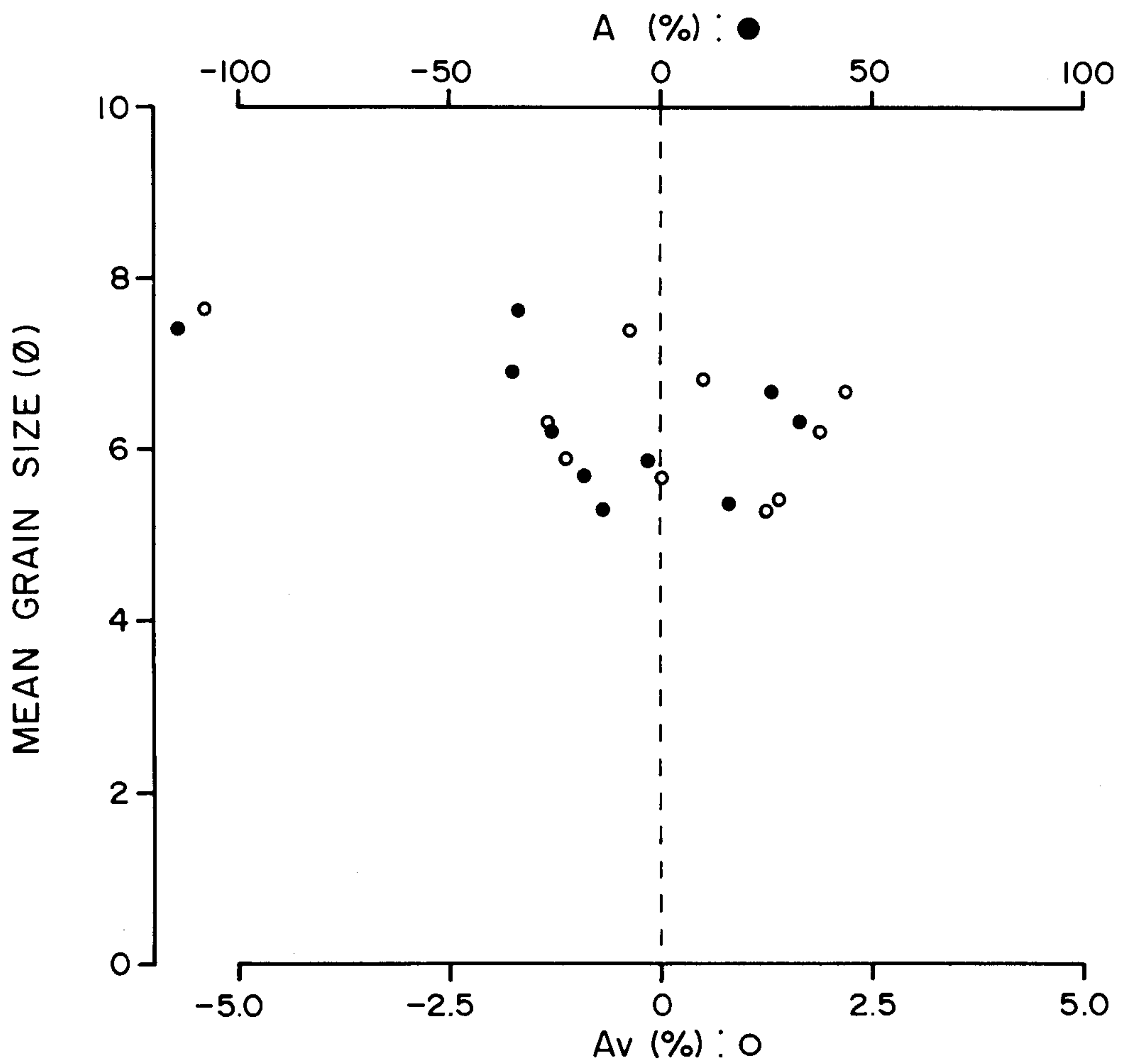


Fig. 5-10. Mean grain size of sediment versus anisotropy of attenuation coefficient ($A\gamma$) and sound velocity (A_v) with 500 kHz ultrasonic sound source.

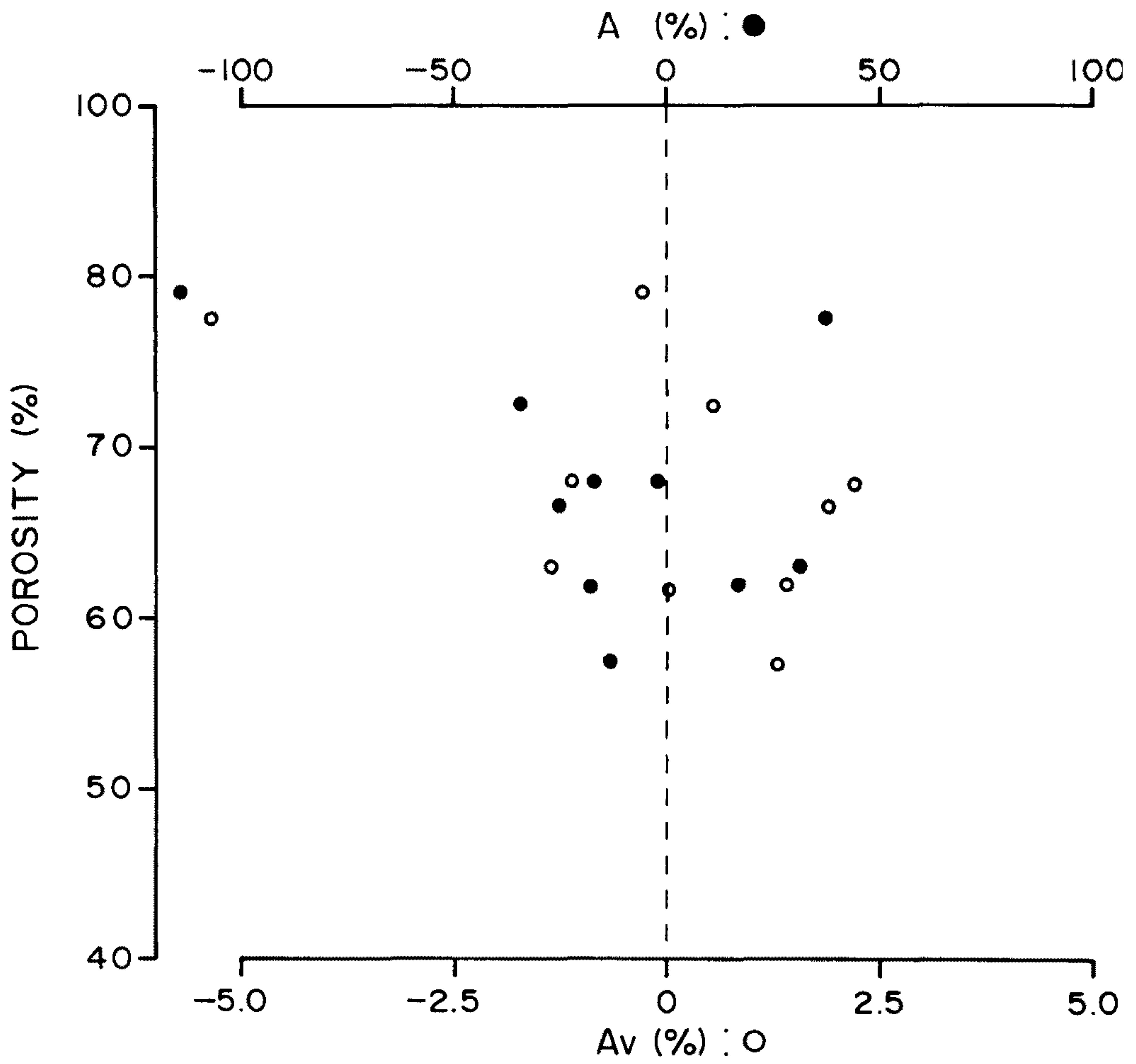


Fig. 5-11. Porosity of sediment versus anisotropy of attenuation coefficient ($A\gamma$) and sound velocity (A_v) with 500 kHz ultrasonic sound source.

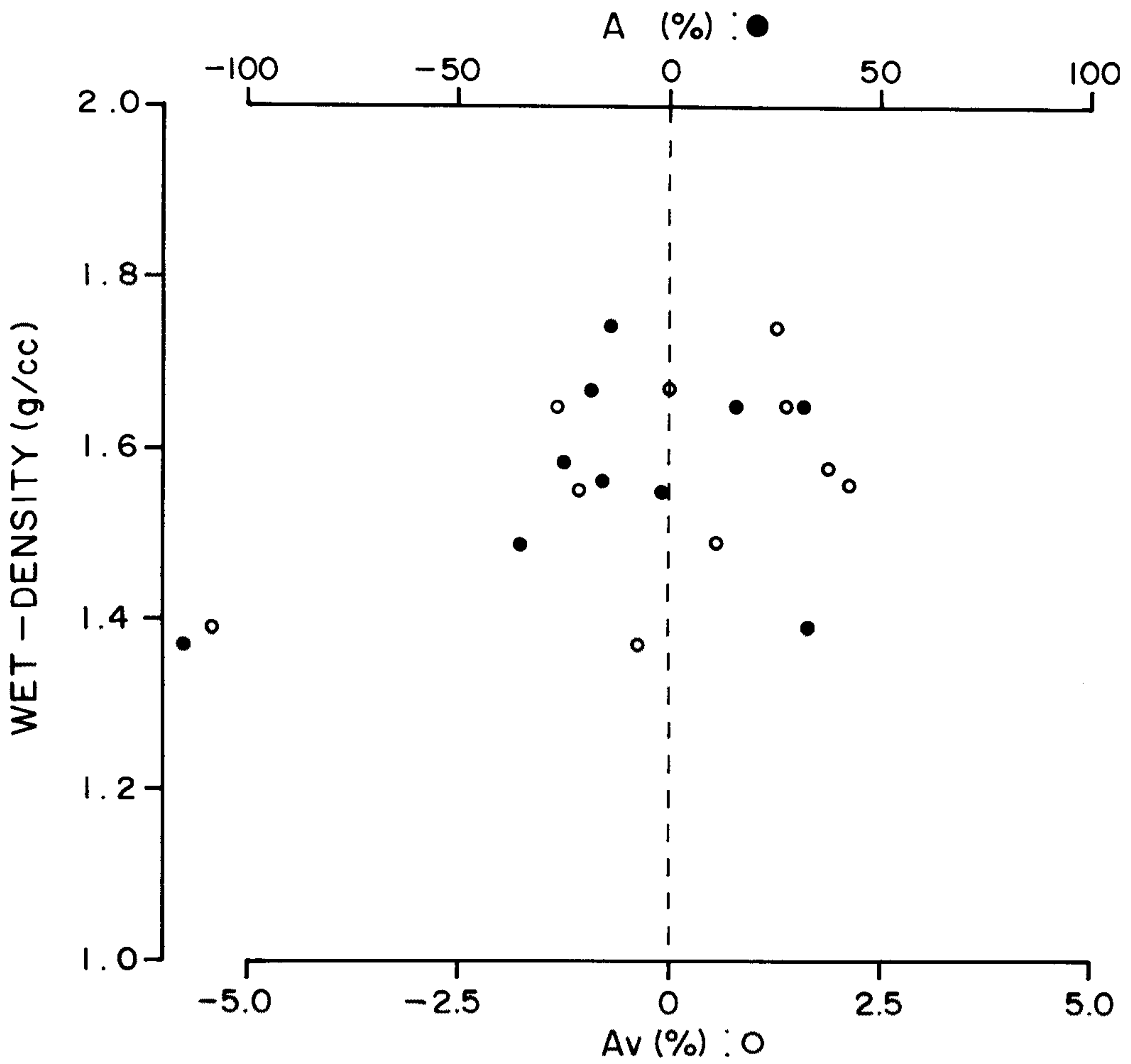


Fig. 5-12. Wet-density of sediment versus anisotropy of attenuation coefficient ($A\gamma$) and sound velocity (A_V) with 500 kHz ultrasonic sound source.

자료가 없다.

따라서 본 연구해역의 경우 음속의 비등방성은 수평방향이 다소 우세한 것으로 미루워 니질퇴적물에서는 어느 정도 층리구조가 발달되어 있을 것으로 판단된다. 또한 감쇠계수의 비등방성은 수직방향이 우세한 것으로 나타난다는 것은 수직방향에서 음파의 감쇠가 더 심하다는 것을 의미하며 이것 역시 본 연구해역의 니질퇴적물은 층리구조를 갖고 있다는 간접적인 증거라고도 볼 수 있다.

제 3 절 해저퇴적물의 3.5 ~ 7.0 kHz 음향특성

3.5 ~ 7.0 kHz 의 중심주파수에서 측정된 해저퇴적물의 음속과 감쇠계수는 Table 5-3 에 요약 정리되어 있다. 신호파형이 불량하여 분석이 불가능한 몇개의 지점도 있었으며, 또한 예상외로 결과가 양좋은 자료도 있었으나 일단 모두 제시하기로 한다. 측정된 음속의 분포범위는 1,481 ~ 1,587 m/sec 정도이며 감쇠계수의 분포범위는 0.111 ~ 0.843 dB/kHz-m 정도로 나타나고 있다.

1. 음속과 해저퇴적물

Fig. 5-13 에서 Fig. 5-15 까지는 측정된 음속 결과와 해저퇴적물의 물성 중에서 평균입도, 공극률 및 밀도와의 관계를 나타내고 있다. 평균입도와의 관계에 있어서는 전반적으로 조립질 퇴적물일수록 음속은 빠르게 나타나고 있다. 특히 2 ~ 3 ϕ 범위의 퇴적물에서는 음속의 분포범위가 1,530 ~ 1,580 m/sec 정도로 넓은데 비해 평균입도의 변화는 없다. 따라서 사질의 퇴적물일수록 음속은 빠르면서 광범위하게 분포함을 시사한다고 볼

Table 5-3. Results of sound velocity and attenuation coefficient by using the 3.5 ~ 7.0 kHz acoustic measuring system.

Station	Velocity(m/sec)	gamma(γ)
01	1492.537	0.267564
02	1515.151	0.215339
04	1503.795	0.031955
05	1481.481	0.266060
06	1492.537	0.213457
07	1526.718	0.370629
08	1492.537	0.262606
09	1515.151	0.229042
10	1562.500	0.392157
12	1503.795	0.182083
13	1538.462	0.288348
14	1492.537	0.294914
15	1503.795	0.106702
16	1587.302	0.511928
17	1550.388	0.805600
18	1574.803	0.623754
19	1526.718	0.179703
21	1515.151	0.195339
23	1526.718	0.404713
24	1526.718	0.111457
25	1515.151	0.843174
26	1526.718	0.439909
27	1550.388	0.456198

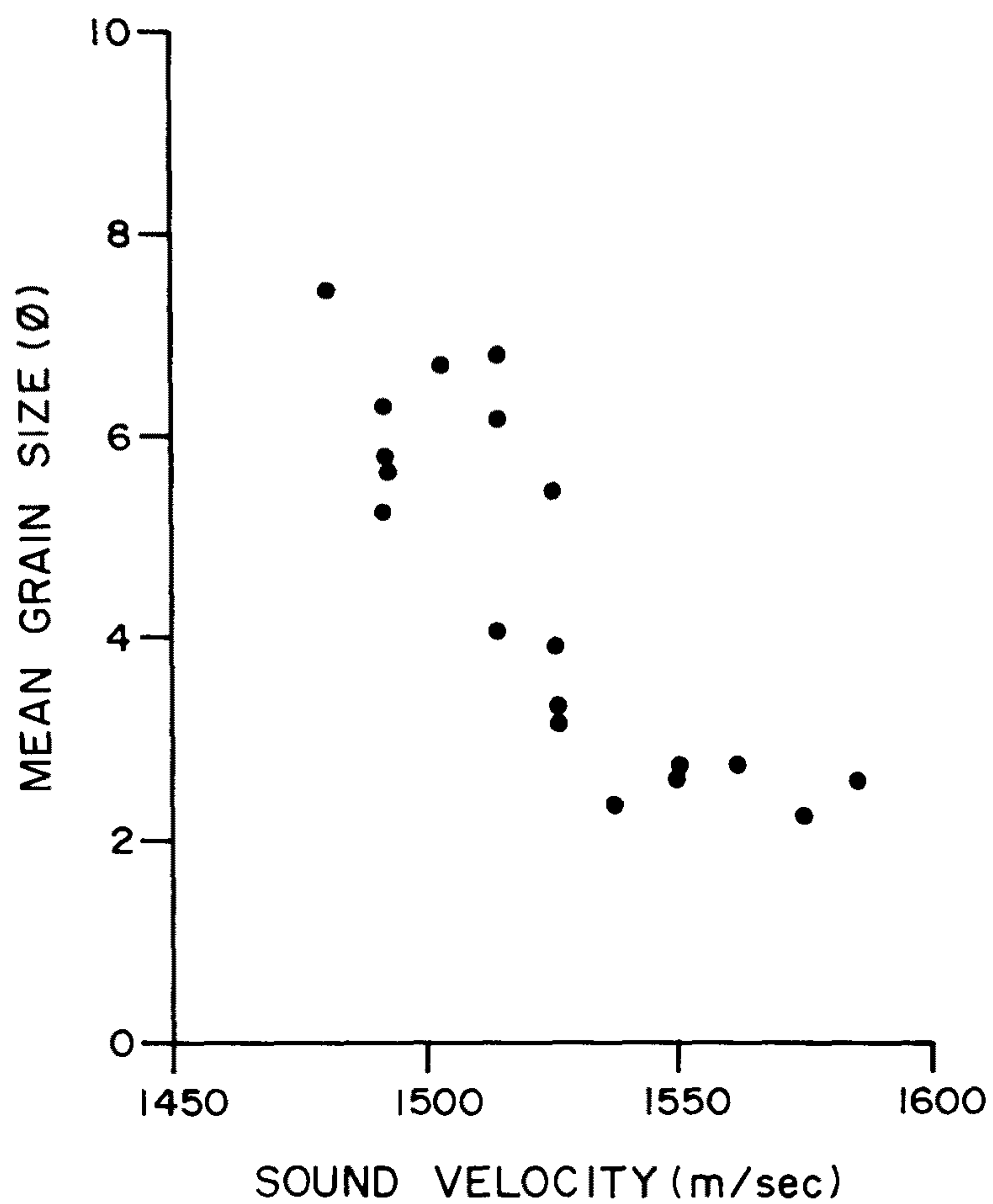


Fig. 5-13. Mean grain size of sediment versus sound velocity with 3.5
 ~ 7.0 kHz sound source.

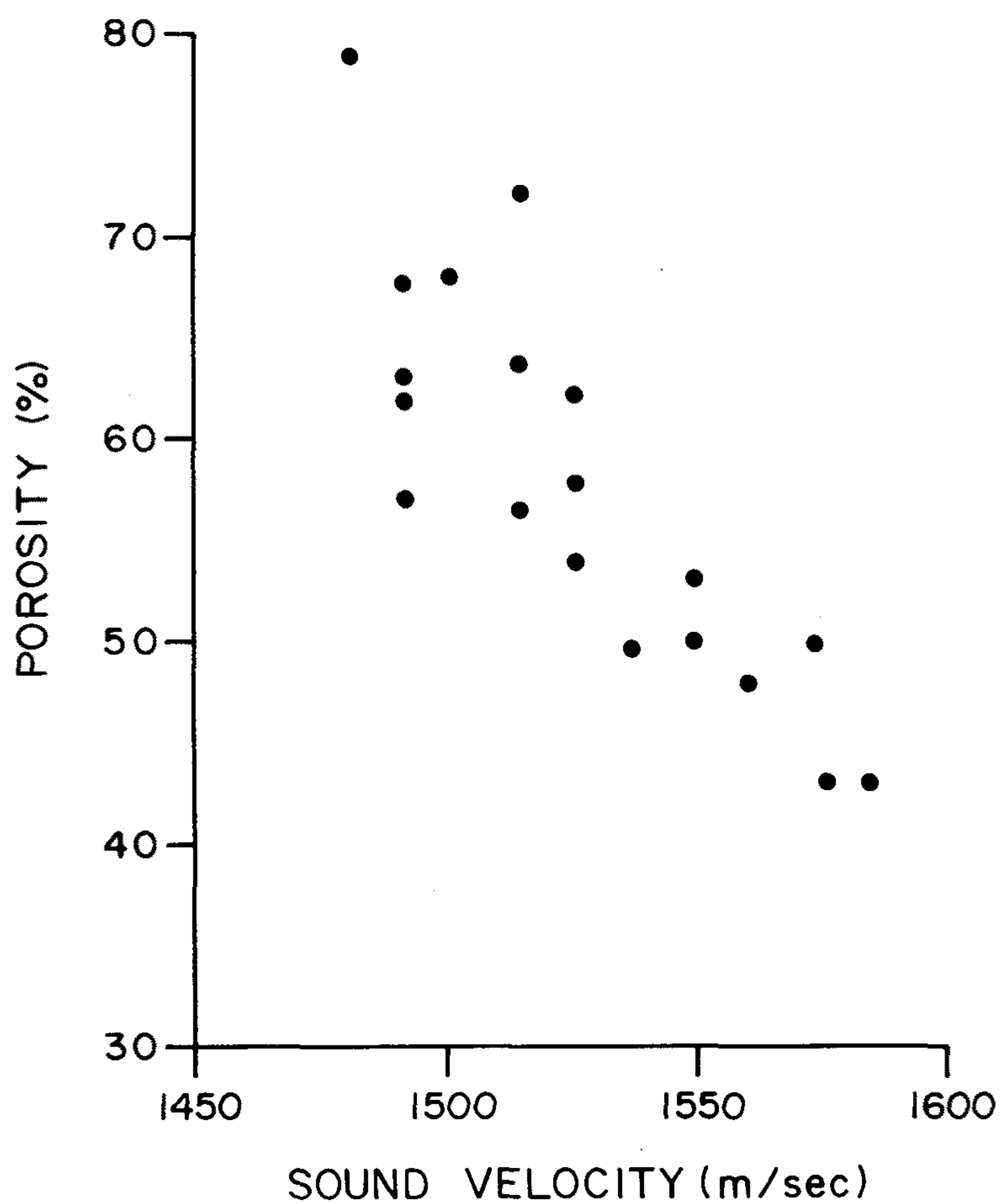


Fig. 5-14. Porosity of sediment versus sound velocity with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source.

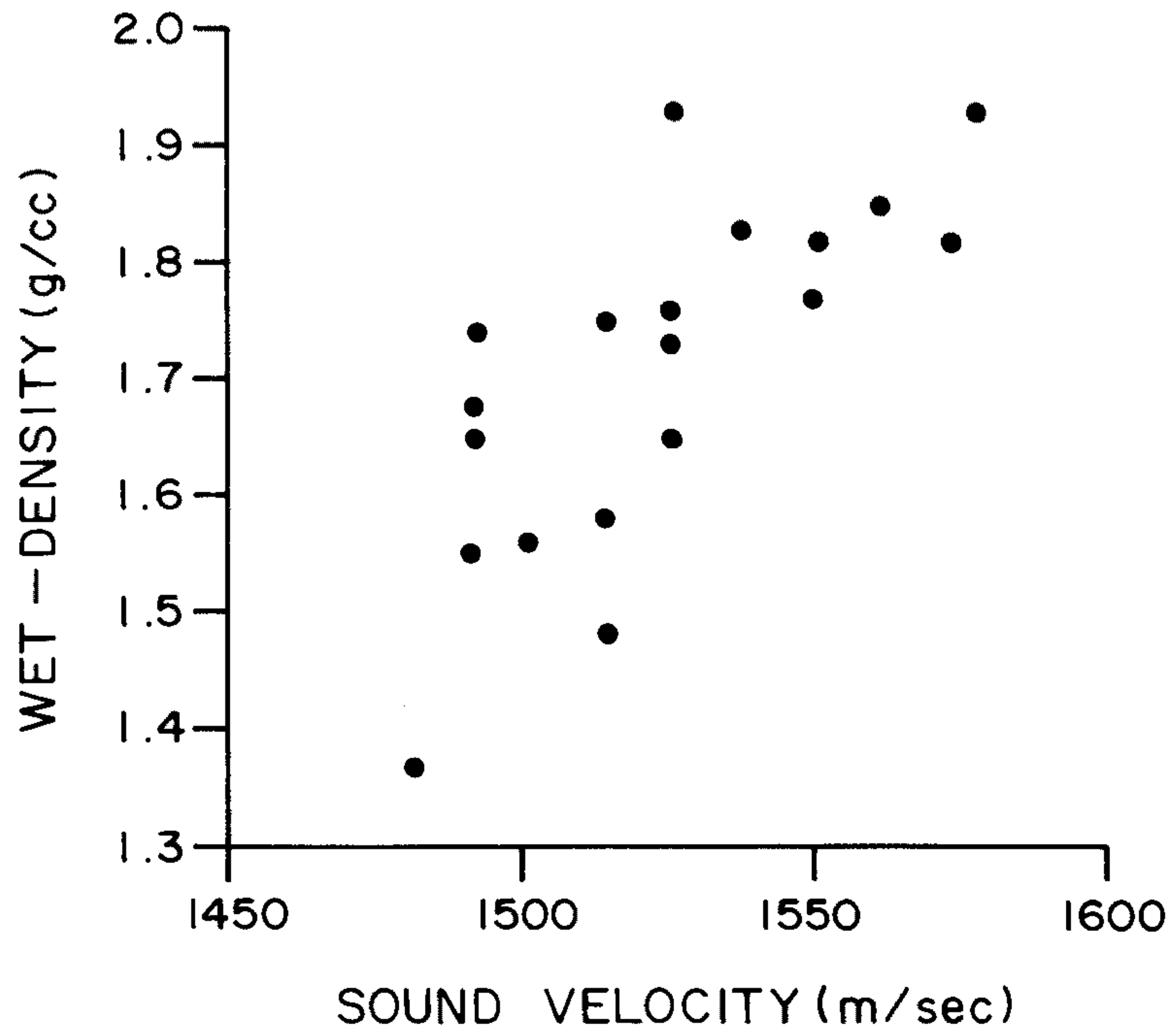


Fig. 5-15. Wet-density of sediment versus sound velocity with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source.

수 있다. 그러나 공극율과의 관계에 있어서는 서로 역비례하는 원만한 상관 관계를 보여주고 있지만, 밀도와의 관계에 있어서는 다소 분포범위가 넓게 나타나고 있다. 이것은 퇴적물의 물성 자체가 밀도에 있어서는 크게 변화하지 않는 요인도 무시할 수는 없기 때문이다. 그럼에도 불구하고 음속과 밀도와의 관계는 서로 비례하는 경향을 뚜렷히 찾아볼 수 있다.

2. 감쇠계수와 해저퇴적물

Fig. 5-16 에서 Fig. 5-18 까지는 측정된 감쇠계수 결과와 해저퇴적물의 물성 중에서 평균입도, 공극율 및 밀도와의 관계를 나타내고 있다. 특히 Fig. 5-16 과 Fig. 5-17 에서는 Hamilton (1972) 이 제시한 측정예상 구역을 함께 투입하여 본 것이다. 평균입도 3 ~ 5 ϕ 범위에서 음향감쇠는 최대로 나타나고 있음을 시사한다. 본 연구결과에서는 니질퇴적물은 기존의 연구결과와 상당히 일치하고 있으나 사질퇴적물에서는 어느정도 차이를 보이고 있다. 공극율과의 관계에 있어서는 기존의 연구결과와 다소의 차이를 보이고 있으나 이 역시 50 ~ 60 % 범위에서 감쇠계수는 최대치를 보이고 있음을 알 수 있다. 밀도와의 관계에 있어서는 밀도가 증가함에 따라 감쇠계수도 함께 증가하지는 않는다는 현상을 찾아볼 수 있다. 즉 감쇠계수 0.4 ~ 0.6 dB/kHz-m 범위를 중심으로 퇴적물의 밀도가 가장 크게 나타나고 있다. 따라서 감쇠계수의 특성은 사질퇴적물과 니질퇴적물의 중간 정도에서 음파의 감쇠가 가장 심하다는 결론을 얻을 수 있다.

3. 음속과 감쇠계수

일반적으로 음속과 감쇠계수와의 관계는 아직 명확하게 확립되어

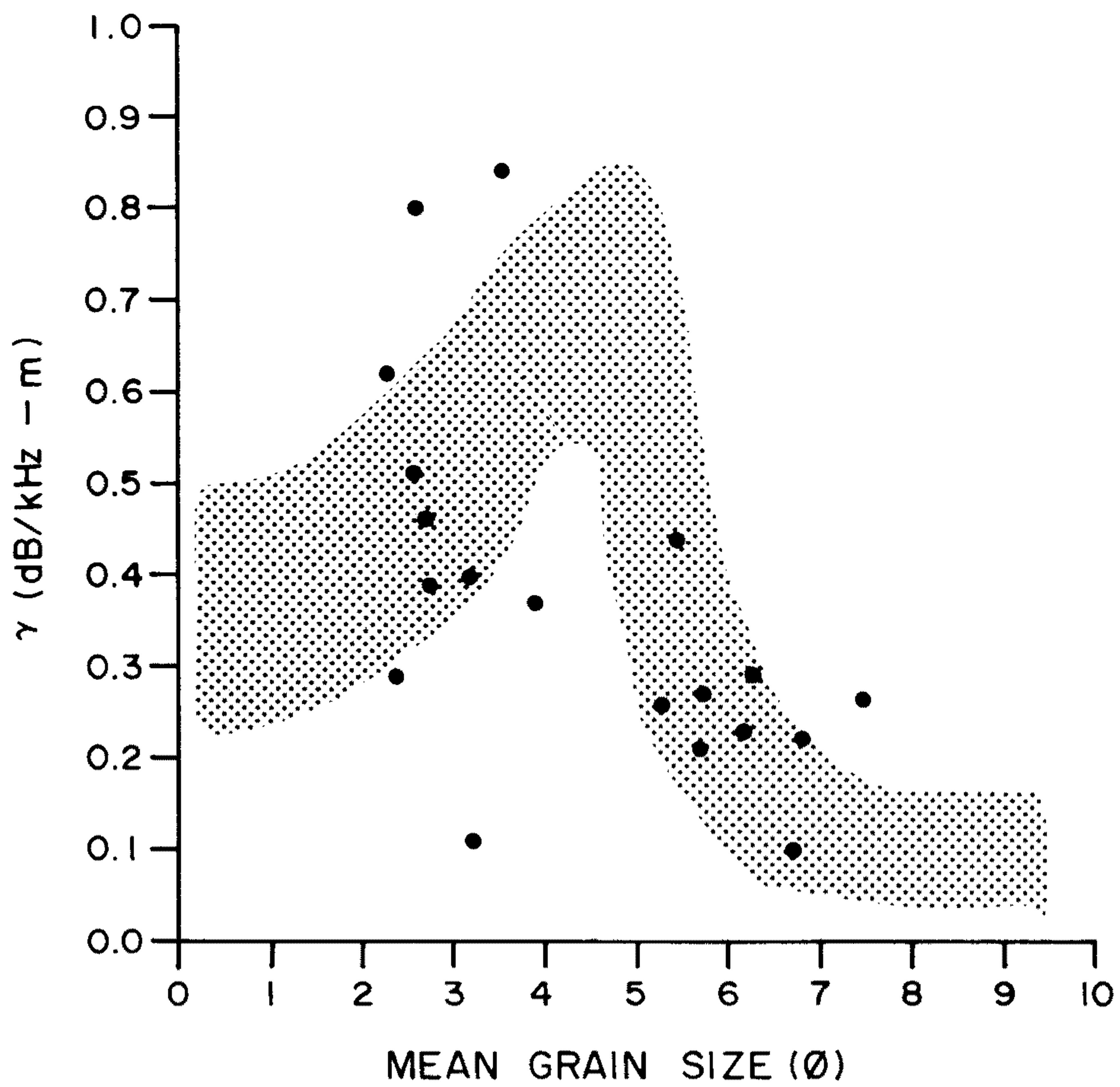


Fig. 5-16. Mean grain size of sediment versus attenuation coefficient with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source. The shaded area is Hamilton (1972)'s measurement.

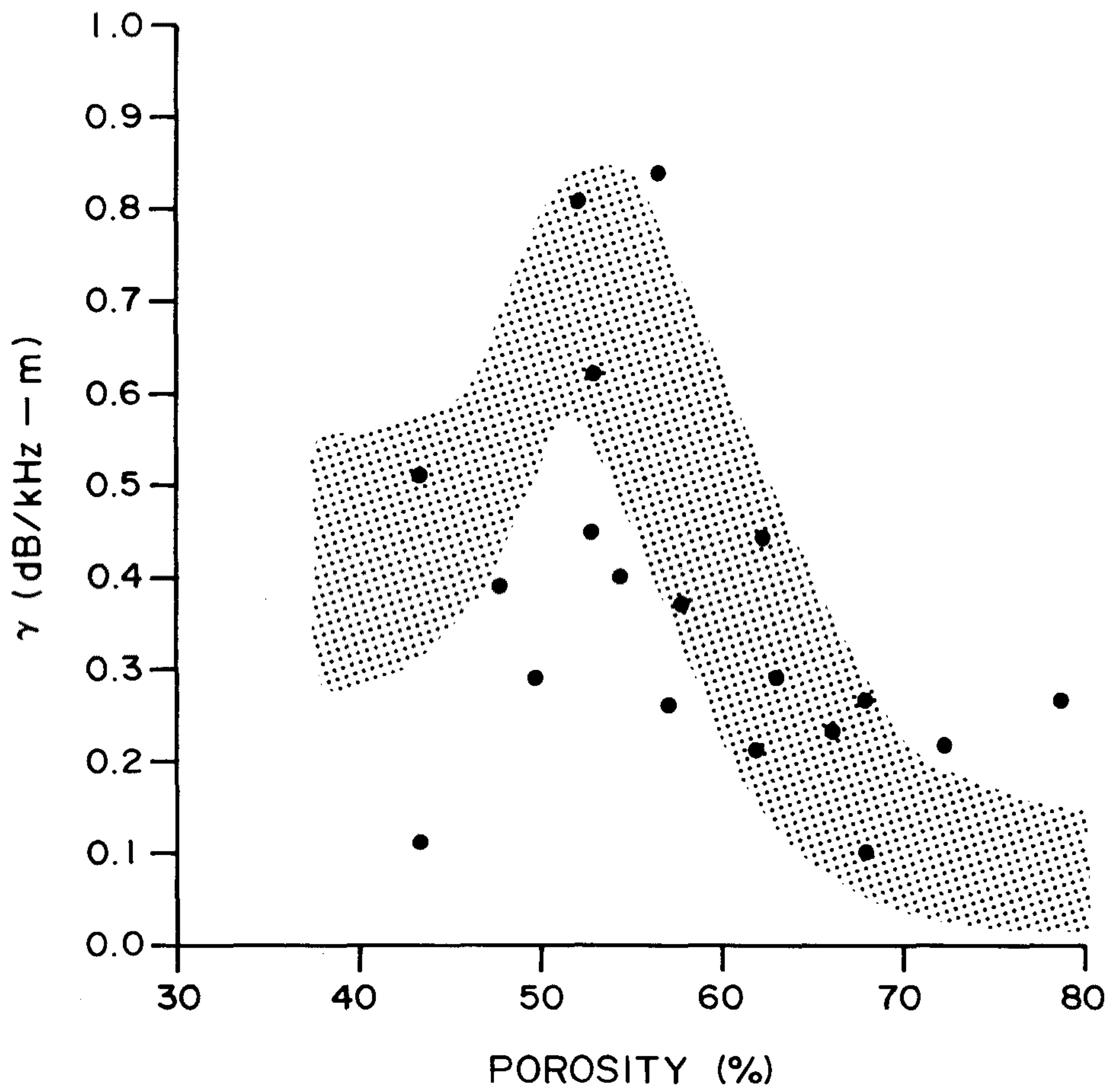


Fig. 5-17. Porosity of sediment versus attenuation coefficient with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source. The shaded area is Hamilton (1972)'s measurement.

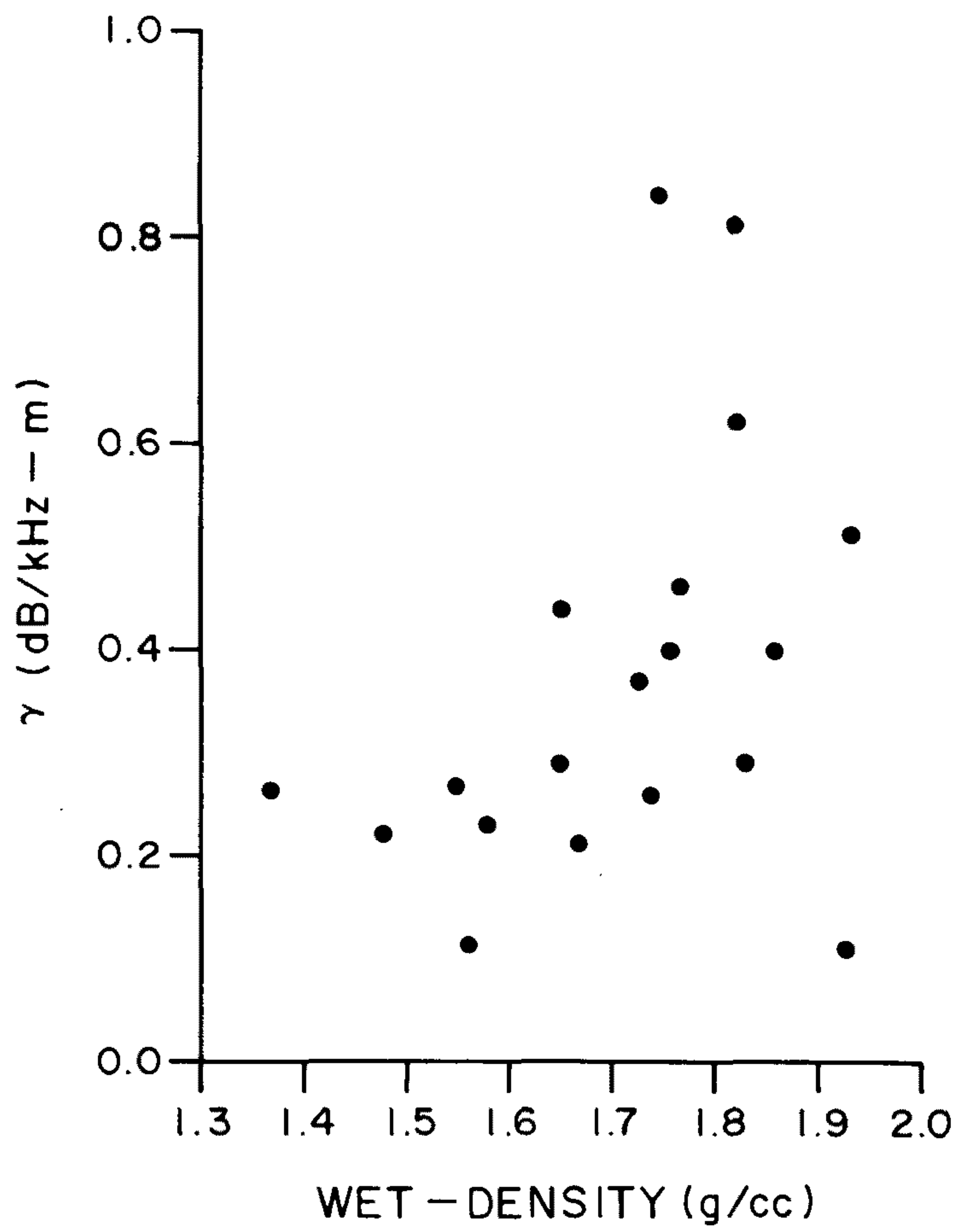


Fig. 5-18. Wet-density of sediment versus attenuation coefficient with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source.

있지 않다. Shumway (1960) 에 의하면 음속이 1,550 ~ 1,600 m/sec 에서 음파의 감쇠가 가장 심하다는 결론을 내린 이후 아직까지 음속분포가 광범위한 상태에서 감쇠계수를 측정한 결과가 없기 때문이다. Fig. 5-19 는 음속과 감쇠계수의 관계를 나타내고 있다. 감쇠계수가 크게 나타나는 자료의 수가 적기는 하지만은 0.4 ~ 0.6 dB/kHz-m 범위에서 음속의 최대값 약 1,580 m/sec 을 보이고 있으며 기존의 자료와 일치하는 경향을 보이고 있다. 그러나 이 관계에 있어서는 좀더 많은 자료가 수집 정리된 이후에 좀더 확실한 결론을 내릴 수 있을 것이다.

4. 음속과 감쇠계수의 지역적분포

Fig. 5-20 은 측정된 음속결과를 이용하여 본 연구해역의 음속분포도를 작성한 것이다. 연구해역의 중앙을 동서방향으로 횡단하는 1,520 m/sec 의 등음속선을 중심으로 상부해역과 하부해역으로 크게 양분됨을 볼 수 있다. 상부해역의 해저퇴적물 구성은 전반적으로 조립질 퇴적물임을 시사하며 반면에 하부해역은 세립질 퇴적물이 주로 분포하고 있음을 알 수 있다. 표층퇴적물의 물성분포도 (Fig. 5-1, 5-2 및 5-3) 과 비교하여 보면 상부해역의 퇴적상은 sand 와 silty sand 로, 평균입도는 대부분이 3 ϕ 이하로, 그리고 sediment sorting 은 1.5 이하로 나타나고 있으며, 하부해역에서는 sandy silt ~ sandy mud ~ silt 의 퇴적상과 3 ~ 7 ϕ 의 평균입도 그리고 1.5 이상의 sorting 값을 보이고 있다.

Fig. 5-21 은 측정된 감쇠계수 결과를 이용하여 본 연구해역의 감쇠계수분포도를 작성한 것이다. 음속분포도에서 음속이 1,540 m/sec 이상으로 제일 높게 분포하는 지역을 중심으로 0.3 ~ 0.8 dB/kHz-m 정도의 높은 감쇠현상을 보이고 있으며 그밖의 지역에서는 전반적으로 0.2 ~ 0.3

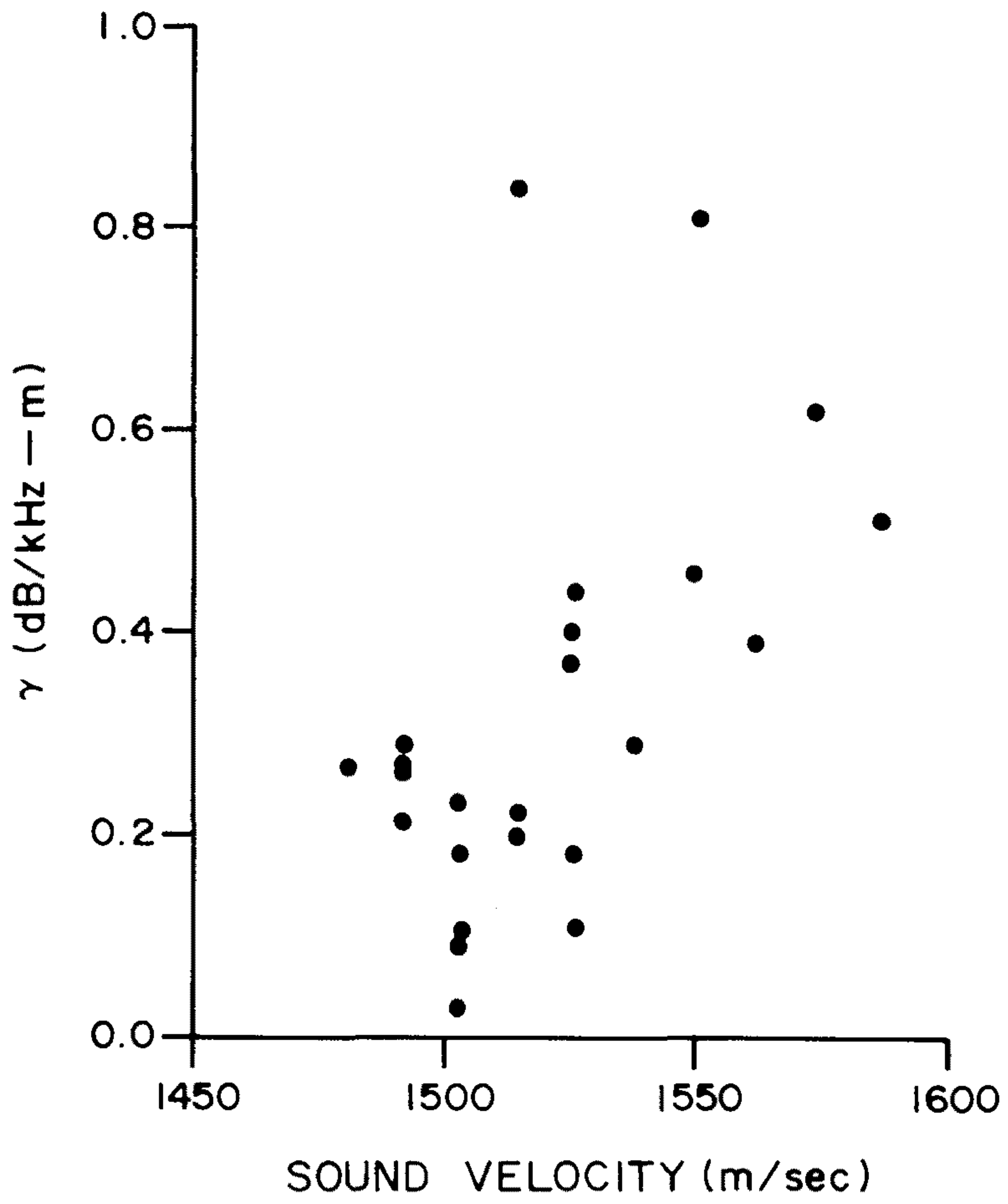


Fig. 5-19. Sound velocity versus attenuation coefficient with 3.5 ~ 7.0 kHz sound source.

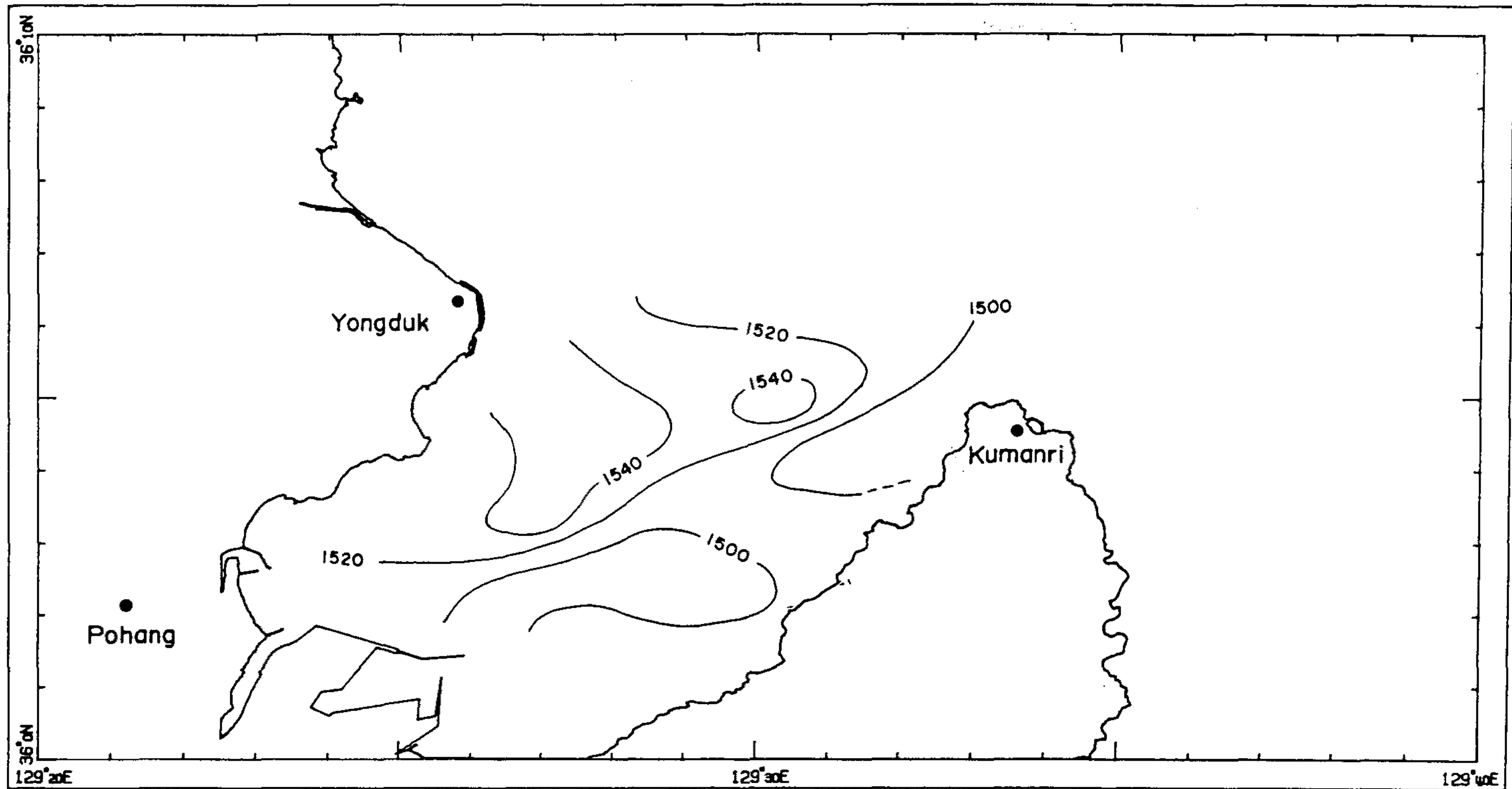


Fig. 5-20. Sound velocity distribution of surface sediments in the survey area. Contour unit is m/sec.

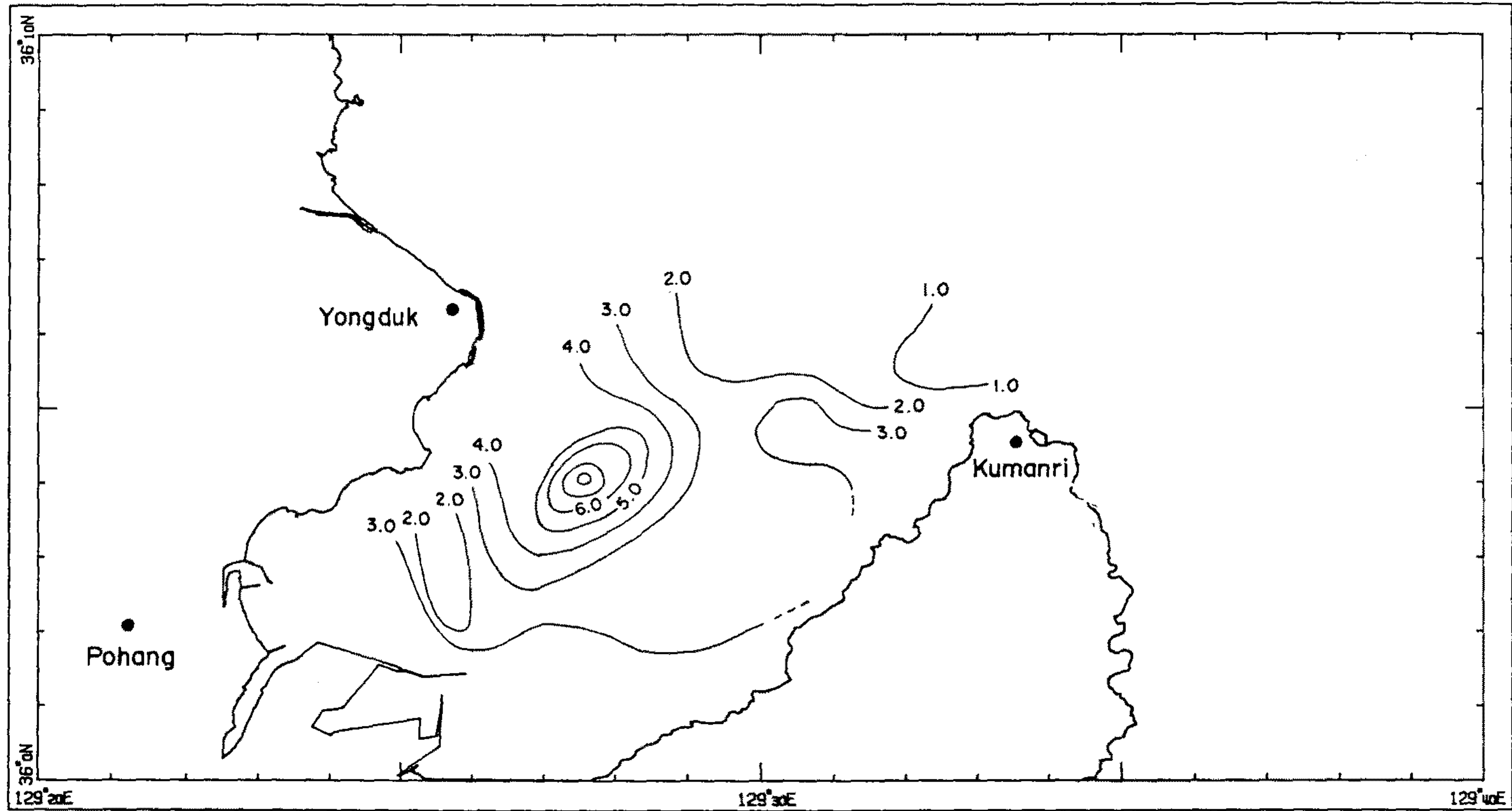


Fig. 5-21. Attenuation coefficient distribution of surface sediments in the survey area. Contour unit is dB/kHz-m.

dB/kHz-m 정도의 낮은 분포값을 보이고 있다. 퇴적물의 물성분포도와 비교해 보기에는 다소 무리가 있으나 감쇠계수의 분포값이 높은 지역의 퇴적상은 주로 sand 로 구성되어 있으며 평균입도는 3 ϕ 이하로 그리고 sorting 은 1.5 이하로 나타나고 있다. 음속은 해저퇴적물의 물성과 일반적으로 그 경향이 비슷하지만 감쇠계수의 경우 앞에서 언급했듯이 퇴적물의 물성과 선형적인 상관관계에 있지 않기 때문에 감쇠계수분포도는 퇴적물의 물성분포도와 꼭 일치하지는 않는다. 특히 0.3 dB/kHz-m 이하의 분포지역에서는 퇴적물의 평균입도가 대부분이 5 ϕ 이상이겠지만 3 ϕ 이하에서도 나올 수 있기 때문이다.

제 4 절 500 kHz 및 3.5 ~ 7.0 kHz 측정결과 비교

두가지 분석방법이 비슷함에도 불구하고 측정결과에서는 다소 차이를 보이고 있다. Fig. 5-22 은 음속과 감쇠계수 관계를 보여주고 있다. 3.5 ~ 7.0 kHz 로 측정된 결과에 비해 500 kHz 에서 측정된 음속값이 전반적으로 빠르게 나타나고 있으며 그 범위 역시 넓게 분포하고 있다. 그러나 감쇠계수 측정범위는 비교적 좁은 구간 내에 밀집되어 나타난다. 현재로서는 어느쪽 자료가 더 신빙성이 있다고는 판단하기 어렵지만 500 kHz 분석방법은 퇴적물의 종류가 비교적 니질퇴적상에 국한되어 있다는 점을 감안할때 광범위한 음속분포 범위는 기대하기 어렵다고 판단된다. 그러나 3.5 ~ 7.0 kHz 측정방법에서의 음속은 철재구조물이 완벽하게 해저면에 박히지 않았을 가능성을 배제할 수 없으므로 해수층을 통과한 음파신호를 분석했을 가능성도 있다고 본다면 500 kHz 에서 측정된 음속값 보다 다소 낮은 분포범위를 보일 수도 있다고 생각된다.

Fig. 5-23 과 Fig. 5-24 는 각각 평균입도와 공극율을 감쇠계수와

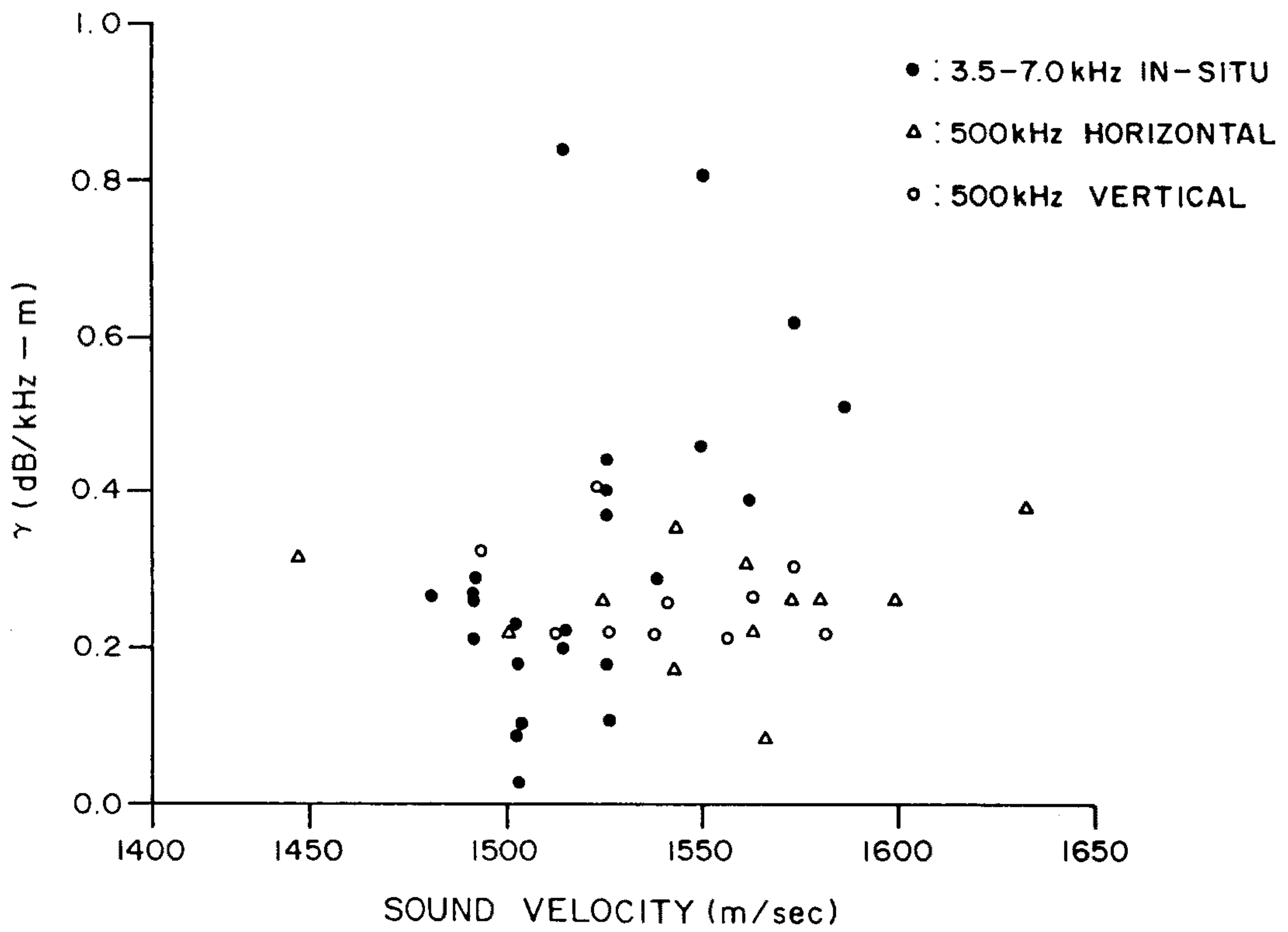


Fig. 5-22. Sound velocity versus attenuation coefficient to compare 500 kHz result with 3.5 ~ 7.0 kHz.

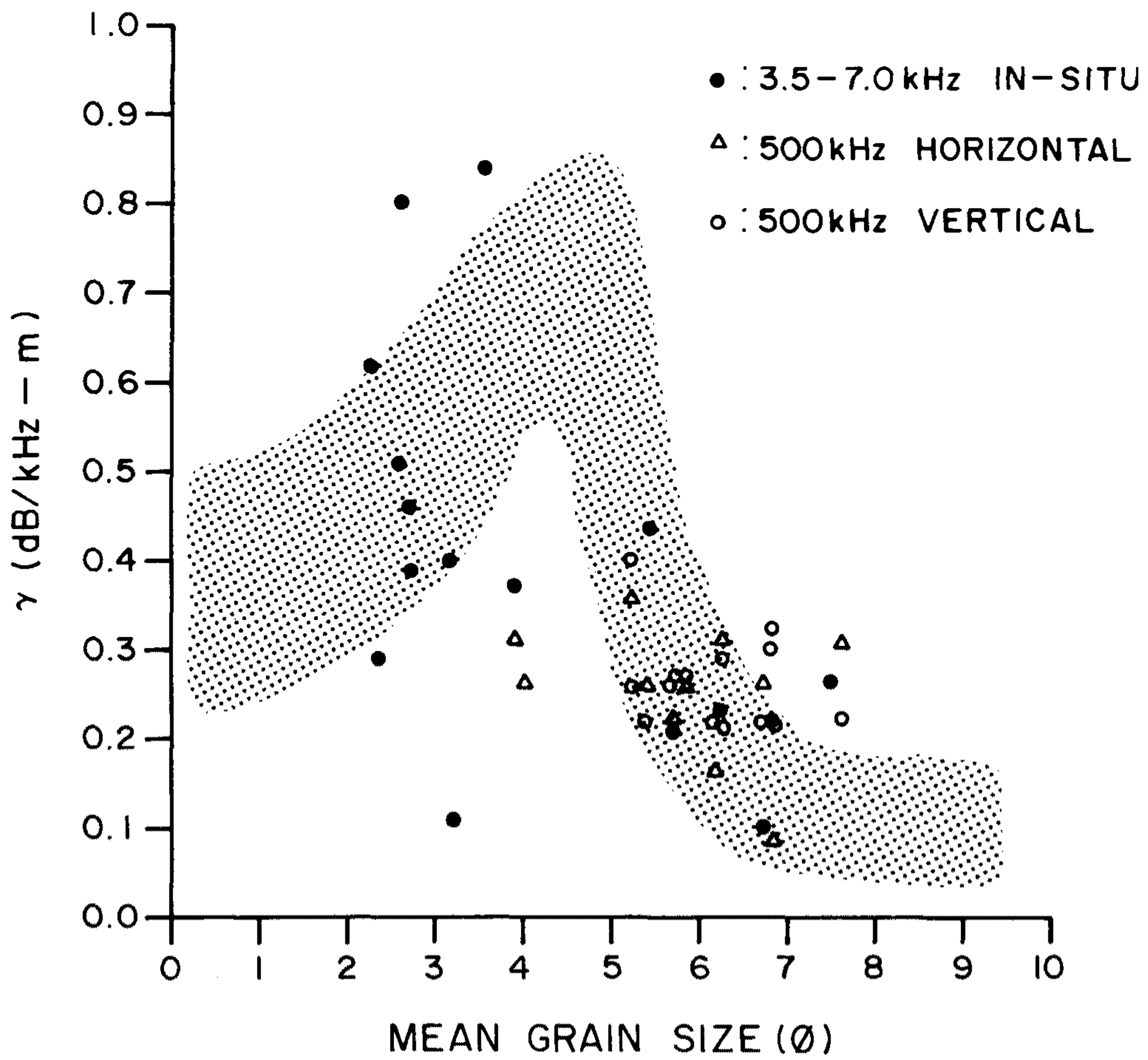


Fig. 5-23. Mean grain size of sediment versus attenuation coefficient to compare 500 kHz result with 3.5 ~ 7.0 kHz. The shaded area is Hamilton (1972)'s measurement.

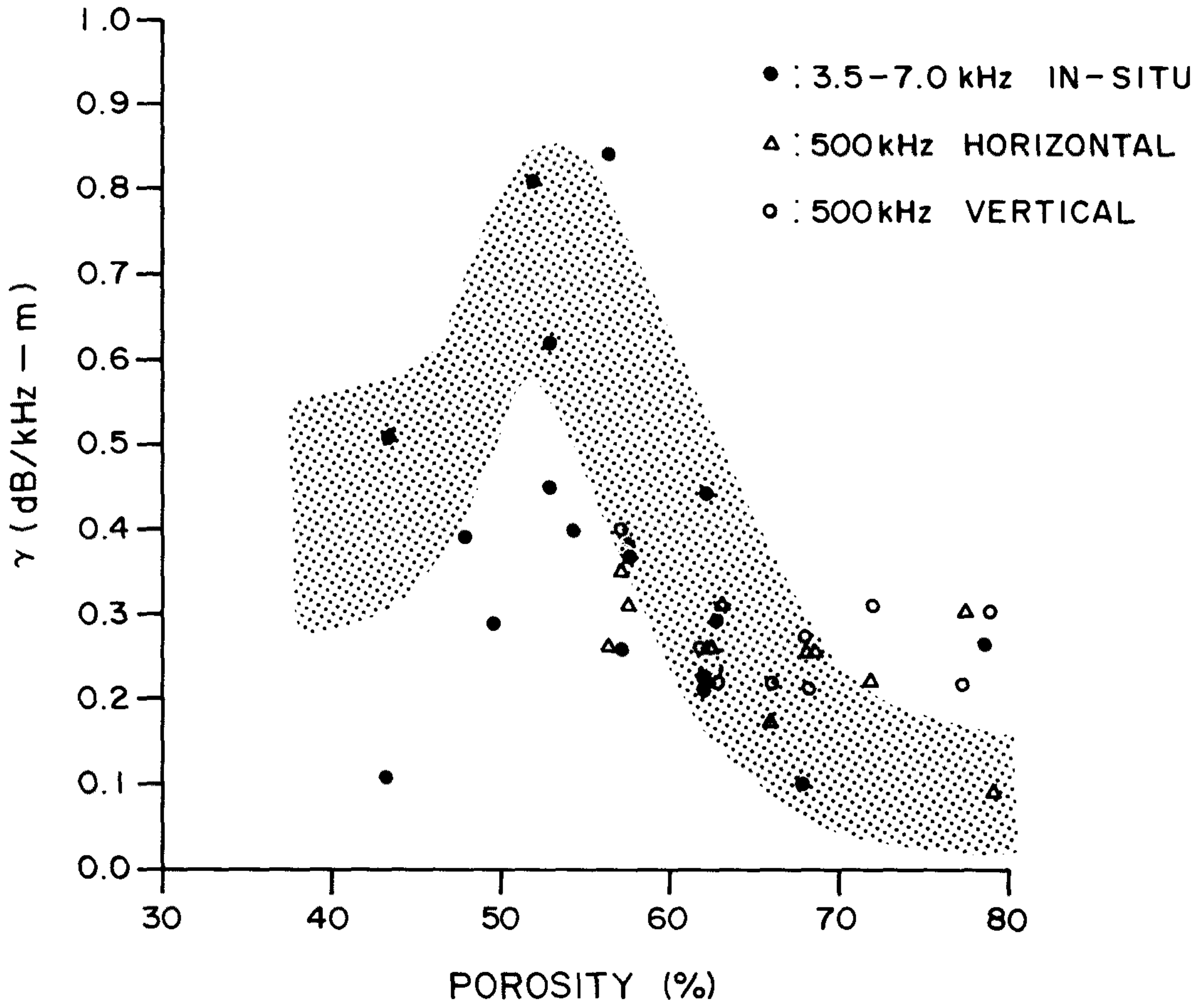


Fig. 5-24. Porosity of sediment versus attenuation coefficient to compare 500 kHz result with 3.5 ~ 7.0 kHz. The shaded area is Hamilton (1972)'s measurement.

비교해 본 결과이다. 500 kHz 에서 측정된 감쇠계수값은 비교적 밀집되어 있고 어느정도 안정된 분포범위를 보이고 있다. 따라서 퇴적물의 물성자료가 양질의 실험결과라고 인정한다면 Hamilton (1970) 이 제시한 측정 예상 구역 안에 들어가지 않으면서 500 kHz 와 3.5 ~ 7.0 kHz 모두 비슷한 위치에 있는 측정결과들은 본 연구해역의 해저퇴적물 고유의 음향특성이라고 결론지을 수 있다. 특히 평균입도와의 관계에서 4 ϕ 와 7 ~8 ϕ 부근의 측정결과와 공극율 관계에서 55 % 와 80 % 부근의 측정자료는 신빙성있는 측정결과라고 볼 수 있다.

제 6 장
결 론

여 백

제 6 장 결 론

본 연구는 “한반도 주변해역 해저퇴적물의 음향학적 특성연구”의 제 3 차 년도 사업으로서 해저퇴적물에서의 음속과 감쇠계수에 관한 음향특성 구명에 연구의 목표를 두었다. 본 연구사업을 통하여 얻은 결과와 개발된 연구내용을 결론적으로 제시하고 본 연구사업과 관련된 현재의 입장을 아래와 같이 정리한다.

1. 본 연구사업을 통하여 해저퇴적물에서의 음속과 감쇠계수를 측정할 수 있는 측정시스템이 확립되었으며 측정방법에 있어서 새로운 장비의 도입이나 임차없이 자체적인 아이디어로 연구방법이 개발되었다. 현재까지는 측정시스템에 개선의 여지를 남기고는 있지만 이러한 문제는 본 연구를 통하여 근본적인 골격은 갖춘상태이므로 앞으로 지속적인 연구결과의 축적을 통해 개선책은 얼마든지 해결될 수 있으리라고 생각한다.

2. 해저퇴적물에서의 음향특성 자료는 특히 국방의 문제와 직결되므로 해양선진국에서는 실질적인 측정방법은 공개하지 않고 있으며 극히 일부분의 결과만 제시하는 상태에 있다. 그러나 본 연구를 통하여 국내에서 자체적으로 시도해 본 결과가 잘 맞아들어가고 있다는 확신을 갖게됨에 따라 우리 나름대로의 방법으로 해저퇴적물에 대한 음향특성자료를 지속적으로 획득하여 집대성 해야할 필요가 있다.

3. 감쇠계수의 경우 본 연구에서는 일차적으로 500 kHz 와 3.5 ~ 7.0 kHz 음향주파수 구간 내에서의 연구결과이지만 앞으로 긴급하게 필요한

측정기술은 그밖의 다른 여러가지 주파수 대역에서의 측정기술이 요구된다.

4. 본 연구해역의 표층퇴적물의 분포는 북부지역에 가장 입자가 굵은 조립질의 sand 가 나타나며 반시계 방향으로 가며 점차 세립질 퇴적물이 분포하는 특성을 갖는다. 퇴적물의 분급도 또한 북부지역에 moderately sorted 가 우세하며 남부지역으로 가며 very poorly sorted 로 변한다. 이러한 경향은 연구지역을 지배하는 해류가 북부해안을 따라 만의 내부를 반시계방향으로 흐르는 환류로, 그영향이 큰 요인으로 작용하는 것으로 보인다.

5. 본 연구해역에서 해저퇴적물의 음향특성을 요약하면 음속은 약 1,400 ~ 1,800 m/sec 의 분포범위를 보이고 있다. 감쇠계수는 0.088 ~ 0.843 dB/kHz-m 의 범위로 나타나고 있으며 평균입도 3 ~ 5 ϕ 부근에서, 공극율 50 ~ 70 % 부근에서 음파의 감쇠현상이 가장 심하다는 사실이 확인되었다. 음속의 비등방성은 ± 2.5 % 이내 이며 수평방향의 음속이 다소 빠르게 나타나고 있는 반면 감쇠계수의 비등방성은 ± 50 % 정도의 범위를 보이면서 수직방향에서 좀더 감쇠가 심한 것으로 보인다. 500 kHz 와 3.5 ~ 7.0 kHz 의 측정결과를 비교해 본 결과 음속에서는 다소의 차이가 있으나 감쇠계수 측정결과는 비교적 잘 일치하고 있다. 음속결과의 차이는 분석과정에서 오는 오차 보다는 측정시스템이 서로 상이한 데 기인하는 것으로 판단되며, 이에 대한 해결은 다소의 시간이 요구된다.

참 고 문 헌

여 백

참 고 문 헌

- 김성렬, 이용국, 석봉출, 신동혁, 1991. 동해 심해분지 시추퇴적물의 음속과 감쇠계수. 한국해양학회지, v.26. p.59-66.
- 김한준, 석봉출, 김성렬, 한상준, 1990. 한반도 주변해역 해저 표층퇴적물의 음파감쇠계수와 생물기원 기체함량. 한국해양학회지, v.25, p.26-35.
- 수로국, 1971. 영일만 및 부근 일대 해양관측 결과보고서. 90p.
- Akal, T., 1972. The relationship between the physical properties of underwater sediments that affect bottom reflection. Mar. Geol., v.13, p.251-266.
- Bachman, R. T., 1979. Acoustic anisotropy in marine sediments and sedimentary rocks. J. Geophys. Res., v.84, p.7661-7663.
- Breslau, L. R., 1967. The normally incident reflectivity of the sea floor at 12 kc and its correlation with physical and geological properties of naturally -occurring sediments : Woods Hole Oceanographic Inst. Ref.67-16
- Carver, R. E., 1971. Procedures in sedimentary petrology. Wiley-Interscience, NY, 653pp.
- Faas, R. W., 1969. Analysis of the relationship between acoustic reflectivity and sediment porosity. Geophysics, v.34, p.546-553.
- Fry, J. C. and Raiit, R. W., 1961. Sound velocities at the surface of deep sea sediments. J. Geophys. Res., v.66, p.589-597.
- Folk, R. L., 1954. The distinction between grain size and mineral

- composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geol.*, v.62, p.334-359.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957. Brazos River bar, a study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Pet.*, v.27, p.3-27.
- Folk, R. L., 1968. *Petrology of sedimentary rocks : Austine, Texas, Hemphill's*. 170pp.
- Folk, R.L. 1974. *Petrology of sedimentary rock*. Austin, Tex: Hemphills
- Hamilton, E. L., 1970. Reflection coefficients and bottom losses at normal incidence computed from Pacific sediment properties. *Geophysics*, v.35, p.995-1004.
- , 1970. Sound velocity and related properties of marine sediments, North Pacific. *J. Geophys. Res.*, v.75, p.4423-4446.
- , 1972. Compressional-wave attenuation in marine sediments. *Geophysics*, v.37, p.251-266.
- , 1980. Geoacoustical modelling of the sea floor. *J. Acous. Soc. Am.*, v.68(5), p.1313-1340.
- Hastrup, O. F., 1970. Digital analysis of acoustic reflectivity in the Tyrrhenian Abyssal Plain. *J. Acous. Soc. Am.*, v.70, p.600-626.
- Inman, D. L., 1962. Measures for describing the size distribution of sediment. *J. Sed. Pet.*, v.22, p.125-599.
- Johnston, D. H., 1981. Attenuation: A state-of-the-art summary. IN: *Seismic Wave Attenuation*, Toksoz, M. N. and D. H. Johnston ed. *Geophysics Reprint Series, No. 2*, Society of Exploration Geophysicists, p.123-135.

- Kinsler, L. E., A. R. Frey, A. B. Coppens, and J. V. Sanders, 1982. Fundamentals of acoustics, 2nd ed., John Wiley & Sons, 480pp.
- McCammon, R. B., 1962. Efficiencies of percentile measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles. *J. Geol.*, v.70, p.453-465.
- Nafe, J. E. and Drake, C. L., 1963. Physical properties of rocks of basaltic composition, in *Basalts*: H. Hess and A. Poldervaart, editors, New York, Interscience Publishers, p. 483-502.
- Sears, F. M. and B. P. Bonner, 1981. Ultrasonic attenuation measurement by spectral ratios utilizing signal processing technique. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, GE-19, p.95-99.
- Shepard, F. P., 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sed. Pet.*, v.24, p.151-158.
- Sheriff, R. E., 1984. Encyclopedic dictionary of exploration Geophysics, 2nd ed., Society of Exploration Geophysicists, 323pp
- Shumway, G., 1960. Sound speed and absorption studies of marine sediment by sesonance method, part I and part II. *Geophysics*, v.25, p.451-467 and p.659-682.
- Stoll, R. D., 1985. Marine sediment acoustics. *J. Acous. Soc. Am.*, v.77(5), p.1789-1799.
- Toksoz, M. N., D. H. Johnston, and A. Timur, 1979. Attenuation of seismic waves in and dry and saturated rocks: I. Laboratory measurements. *Geophysics*, v.44, p.671-690.
- Trask, P. D., 1930. Mechanical analysis of sediments by centrifuge. *Econ. Geol.*, v.25., p.581-599.

Urick, R. J., 1947. A sound velocity method for determining the compressibility of finely divided substances. J. Appl. Phys., v.18, p.983-987.

Woods, A. B., 1941. A text book of sound London. G Bell and sons.

별첨부록

여 백

```

Program for GPS_PLOTTING_NAVIGATION_SYSTEM
      "" GPNS-91 ""
*INST. : G.P.S. SYNCHRONIZED CLOCK
- Main Source : KOrdi NAVigation UTM --> KONAV.BAS
- Control Card: KOrdi NAVigation UTM --> KONAV.CTL

- Made by GEOPHYSICAL LABORATORY
      28/DEC/1989 (Release-1.0)
      20/JUN/1991 (Release-2.0)

```

SCREEN 3: HERCULES ADAPTOR : Resolution 720 x 348

CLS : clear the screen

CLEAR : clear the memory buffer

LOCATE 5, 8

PRINT

PRINT

PRINT " *****"

PRINT " * *"

PRINT " * PLEASE CONNECT YOUR INTERFACE CABLE TO *"

PRINT " * PC's COM1: PORT *"

PRINT " * *"

PRINT " * pls check your LINE INFO. FILE *"

PRINT " * pls check your PRINTER POWER *"

PRINT " * *"

PRINT " *****"

PRINT

'....

LOCATE 19, 18

INPUT "TYPE THE OUTPUT FILE NAME ? "; outfile\$

LOCATE 21, 18

INPUT "TYPE THE CONTROL FILE NAME? "; otfill\$

'....

'....

CLS

'....

'.... memx and memy : position memory banks

DIM memx(0 TO 20), memy(0 TO 20), aa(1 TO 6)

DIM stpoint(1 TO 100, 1 TO 2), edpoint(1 TO 100, 1 TO 2)

'....

CONST pi = 3.1415926547#

CONST rad = 57.29577951#


```

'.... screen window setup and function key definition
'
keyfun:
    CLS
    LINE (0, 0)-(600, 348), , B
    LINE (425, 0)-(600, 348), , B
    ,
'.... screen windowing
'
    FOR ij = 1 TO 4
    ix = 85 * ij
    iy = 69 * ij
    LINE (0, iy)-(425, iy), 3, , &HCCCC
    LINE (ix, 0)-(ix, 348), 3, , &HCCCC
    NEXT ij
'.... function key define
    KEY(1) ON
    KEY(2) ON
    KEY(3) ON
    KEY(4) ON
    KEY(5) ON
    KEY(6) ON
    KEY(7) ON
    KEY(8) ON
'
'....
    ON KEY(1) GOSUB mscale: ' change screen plotting scale
    ON KEY(2) GOSUB mcentr: ' centered last survey position points
    ON KEY(3) GOSUB mfile: ' new memory bank file open
    ON KEY(4) GOSUB mline: ' select the new survey line
    ON KEY(5) GOSUB mupper: ' screen up
    ON KEY(6) GOSUB mlefts: ' screen left
    ON KEY(7) GOSUB mright: ' screen right
    ON KEY(8) GOSUB mdowns: ' screen down
'
'=====
'.... calculation of deviation distance from the line
    GOSUB pdevi
'....
'=====

graph1:
    scale = skey

graph2:
    xxscale = 425 / scale

```

```

        yyscale = 345 / scale
        xydist = scale / 2
'....
        xorg = xkey - xydist
        yorg = ykey - xydist
'....
'.... line course check
        firstx = stpoint(lline, 1): firsty = stpoint(lline, 2)
        utmx = edpoint(lline, 1): utmy = edpoint(lline, 2)
'.... course checking
        GOSUB ccoogg
'....
        LOCATE 12, 56
        PRINT USING "####.#": cog
'....
        x1 = (stpoint(lline, 1) - xorg) * xxscale
        y1 = (stpoint(lline, 2) - yorg) * yyscale
        x2 = (edpoint(lline, 1) - xorg) * xxscale
        y2 = (edpoint(lline, 2) - yorg) * yyscale
'....
        xdd = (stpoint(lline, 1) - edpoint(lline, 1)) ^ 2
        ydd = (stpoint(lline, 2) - edpoint(lline, 2)) ^ 2
'....
        CIRCLE (x1, y1), 3, 6
        LINE (x1, y1)-(x2, y2), 3, , &HCCC
        CIRCLE (x2, y2), 3, 6
'.... re-call the buffered data
        FOR q1 = 0 TO 20
            psx = (memx(q1) - xorg) * xxscale
            psy = (memy(q1) - yorg) * yyscale
            PSET (psx, psy), 5
        NEXT q1
'=====
'.... title mark display
'
        GOSUB tt11
'=====
        jk = 0
DO
        firstx = utmx
        firsty = utmy
'=====

```

```

'.... posiiton lat. long. data reading with communication port
'
      GOSUB readcom
'=====
      LOCATE 22, 59
      scap = scale / 1000!
      PRINT USING "####.##"; scap
'....
'....print the position data
'....
      LOCATE 6, 56
      PRINT USING "###.#####"; lat0
      LOCATE 7, 56
      PRINT USING "###.#####"; lon0
'....
'.... utm caculation for x,y plotting
'.....
      GOSUB toutm
'.....
'....
      LOCATE 8, 56
      PRINT USING "#####.#"; utmy
      LOCATE 9, 56
      PRINT USING "#####.#"; utmx
'....
'.....
      GOSUB devia
'.....
'....
      LOCATE 13, 56
      PRINT USING "+#####.#"; devi
'....
      ppx = (utmx - xorg) * xxscale
      ppy = (utmy - yorg) * yyscale
'....
      GOSUB dista
'....
      LOCATE 18, 55
      PRINT USING "#####.#"; sdist
      LOCATE 19, 55
      PRINT USING "#####.#"; edist
'....
      IF (jk >= 21) THEN jk = 0

```

```

memx(jk) = utmx
memy(jk) = utmy
jk = jk + 1
'....
IF (ppx <= 0 OR ppx >= 425 OR ppy <= 0 OR ppy >= 200) THEN GOSUB mcentr
'....
PSET (ppx, ppy), 10: BEEP: BEEP
'.... result data saving in hard disk memory
PRINT #3, rec00$: rec11$: rec22$: rec44$: rec55$
PRINT #3, USING "####.#####": lat0:
PRINT #3, USING "####.#####": lon0:
PRINT #3, USING "#####.#": utmy:
PRINT #3, USING "#####.#": utmx
'....
LOCATE 11, 56
PRINT USING "###": lline
LOCATE 11, 60
PRINT USING "####.#": ldist
LOCATE 23, 60
quot = LOF(3) / 1024
PRINT USING "####.#": quot
'....
GOSUB ccoogg
'....
LOCATE 16, 55
PRINT USING "#####.#": cog
LOCATE 15, 55
PRINT USING "#####.#": sog
'....
LOOP UNTIL INKEY$ = "S"
'....
pstop:
'....
CLOSE #1
CLOSE #2
CLOSE #3
END
'=====
'=====
readcom:
p$ = CHR$(80)
t$ = CHR$(84)
s$ = CHR$(83)

```

```

retry:
'....
    IF INKEY$ = "S" THEN GOTO pstop
'....

    PRINT #1, t$
    LINE INPUT #1, rec0$
    nr0 = LEN(rec0$)
    IF (nr0 <> 14) THEN GOTO retry
    rec00$ = MID$(rec0$, 2, 13)
    PRINT #1, p$
    LINE INPUT #1, rec1$
    nr0 = LEN(rec1$)
    rec11$ = MID$(rec1$, 2, 13)
    LINE INPUT #1, rec2$
    nr0 = LEN(rec2$)
    rec22$ = MID$(rec2$, 2, 13)
    LINE INPUT #1, rec3$
11$ = MID$(rec1$, 4, 2): 12$ = MID$(rec1$, 7, 2): 13$ = MID$(rec1$, 10, 4)
    la1 = VAL(11$): la2 = VAL(12$) / 100: la3 = VAL(13$) / 10000
    lat0 = la1 + la2 + la3
11$ = MID$(rec2$, 3, 3): 12$ = MID$(rec2$, 7, 2): 13$ = MID$(rec2$, 10, 4)
    la1 = VAL(11$): la2 = VAL(12$) / 100: la3 = VAL(13$) / 10000
    lon0 = la1 + la2 + la3
    PRINT #1, s$
    LINE INPUT #1, rec4$
    nr0 = LEN(rec4$)
    rec44$ = MID$(rec4$, 2, 13)
    LINE INPUT #1, rec5$
    nr0 = LEN(rec5$)
    rec55$ = MID$(rec5$, 2, 10)

'===== TIME MARK and PLOTTING
    LOCATE 4, 54
    PRINT rec00$

'===== GPS TRACKING and STATUS DATA
    LOCATE 20, 53
    PRINT rec44$
    LOCATE 21, 49
    PRINT rec55$: "    "

'=====
RETURN
'....
'.... subroutine coordinate conversion to UTM from WGS-84
'....

```

```

toutm:
  aa0 = 111088.49937#
  aa1 = 6378137#
  ee1 = 6.739497# * 10 ^ -3
  ee2 = 6.69437999# * 10 ^ -3
  ak = .9996
  phi = 3.14159265# / 180
    aa(2) = -16032.09325919#
    aa(4) = 16.825880116197#
    aa(6) = -2.197558013# * 10 ^ -2
'... latitude
  yy = lat0
  yy1 = INT(yy)
  yy4 = (yy - yy1) * 100
  yy2 = INT(yy4)
  yy3 = (yy4 - yy2) * 100
  yy = (yy1 + yy2 / 60 + yy3 / 3600)
'... longitude
  xx = lon0
  yy1 = INT(xx)
  yy4 = (xx - yy1) * 100
  yy2 = INT(yy4)
  yy3 = (yy4 - yy2) * 100
  xx = (yy1 + yy2 / 60 + yy3 / 3600)
'... main calculation
  ccc = ee1 * (COS(yy * phi)) ^ 2
  sss = ee1 * (SIN(yy * phi)) ^ 2
'...
  t00 = (SIN(yy * phi) / COS(yy * phi)) ^ 2
  tt00 = SIN(yy * phi) / COS(yy * phi)
  bbb = (xx - cm) * phi * COS(yy * phi)
  aaa = bbb * aa1 * ak / SQR(1 - ee2 * ((SIN(yy * phi)) ^ 2))
  z = aa0 * yy
'...
  FOR k = 2 TO 6 STEP 2
  z = z + aa(k) * SIN(k * yy * phi)
  NEXT k
'...
  qn1 = bbb ^ 2 * (5 - t00 + (9 + 4 * ccc) * ccc) / 12
  qn2 = bbb ^ 4 * (61 + (t00 - 58) * t00 + 270 * ccc - 330 * sss) / 360
  qn = z + ((1 + qn1 + qn2) * aaa * bbb * tt00) / 2
  pq1 = (1 - t00 + ccc) / 6
  pq2 = (5 + (t00 - 18) * t00 + 14 * ccc - 58 * sss) / 120

```

```

        e = 5 * 10 ^ 5 + (1 + bbb ^ 2 * pq1 + bbb ^ 4 * pq2) * aaa
'....
        utmy = qn
        utmx = e
'....
RETURN
'....
mscale:
        LOCATE 2, 5
        INPUT "*** TYPE THE SCALE ? ", skey
        IF skey = 0 THEN GOTO mscale
        CLS
RETURN keyfun
'....
mcentr:
        xkey = utmx
        ykey = utmy
RETURN keyfun
'....
mupper:
        xkey = xkey
        ykey = ykey - skey / 4
RETURN keyfun
'....
mlefts:
        xkey = xkey + skey / 4
        ykey = ykey
RETURN keyfun
'....
mright:
        xkey = xkey - skey / 4
        ykey = ykey
RETURN keyfun
'....
mdowns:
        xkey = xkey
        ykey = ykey + skey / 4
RETURN keyfun
'....
mfile:
        CLOSE #3
        LOCATE 2, 5
        INPUT "*** TYPE THE OUTPUT FILE NAME ? ", outfile$

```



```

'....
      OPEN ofile$ FOR OUTPUT AS #3
'....
RETURN keyfun
'....
mline:
      LOCATE 2, 5
      INPUT "** TYPE THE SURVEY LINE NUMBER ? ", lline
      IF lline > pno OR lline = 0 THEN GOTO mline
RETURN keyfun
'....
tt11:
LOCATE 2, 49
PRINT "KONAV_GPNS(WGS-84)"
LOCATE 4, 49
PRINT "TIME:"
LOCATE 6, 49
PRINT "LAT. : "
LOCATE 7, 49
PRINT "LON. : "
LOCATE 8, 49
PRINT "UTMN : "
LOCATE 9, 49
PRINT "UTME : "
LOCATE 10, 49
PRINT "======"
LOCATE 11, 49
PRINT "LINE#: "
LOCATE 11, 59
PRINT "(      )"
LOCATE 12, 49
PRINT "COURS: "
LOCATE 13, 49
PRINT "DEV. : "
LOCATE 14, 49
PRINT "======"
LOCATE 15, 49
PRINT "SOG : "
LOCATE 16, 49
PRINT "COG : "
LOCATE 18, 49
PRINT "SDIST:"
LOCATE 19, 49

```

```

PRINT "EDIST:"
LOCATE 20, 49
PRINT "STS:"
LOCATE 22, 49
PRINT "SCALE(KM):"
LOCATE 23, 49
PRINT "FILE REC. "
RETURN
'....
ccoogg:
    x1 = firstx: y1 = firsty
    x2 = utmx: y2 = utmy
    x = x2 - x1
    y = y2 - y1
'....
    u = SQR(x ^ 2 + y ^ 2)
    sog = (u / .5144) * 3
'....
    IF (y1 = y2) THEN y = .1 ^ 30
    IF (x2 = x1) THEN x = .1 ^ 30
    w = y / x
    v = ATN(w)
    IF (x1 > x2) THEN v = v + pi
    IF (v < 0) THEN v = v + pi2
    v1 = v * rad
'....
    cog = 360 - v1 + 90
'....
    IF (cog > 360) THEN cog = cog - 360
RETURN
'=====
pdevi:
    taal = edpoint(lline, 2) - stpoint(lline, 2)
    taa2 = edpoint(lline, 1) - stpoint(lline, 1)
    IF (taa2 = 0) THEN taa2 = .000001
    TAA = taal / taa2
    disxy = SQR(taal ^ 2 + taa2 ^ 2)
    ldist = disxy / 1000
    tbb = -1
    tcc = stpoint(lline, 2) - TAA * stpoint(lline, 1)
    bunmo = SQR(TAA ^ 2 + tbb ^ 2)
RETURN
'=====

```

```

devia:
    bunja = TAA * utmx + tbb * utmy + tcc
    IF (bunmo = 0) THEN bunmo = .000001
    devi = bunja / bunmo
RETURN
'=====
'
dista:
    s1 = (stpoint(lline, 1) - utmx) ^ 2
    s2 = (stpoint(lline, 2) - utmy) ^ 2
    sdist = SQR(s1 + s2)
    s3 = (edpoint(lline, 1) - utmx) ^ 2
    s4 = (edpoint(lline, 2) - utmy) ^ 2
    edist = SQR(s3 + s4)
RETURN

```