

공 학 석 사 학 위 논 문

시료교란 정도를 고려한 낙동강 하구
유역 점토의 토질역학적 특성

2002년 9월

부 경 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

이 경 은

공 학 석 사 학 위 논 문

시료교란 정도를 고려한 낙동강 하구
유역 점토의 토질역학적 특성

지 도 교 수 정 두 회

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2002년 9월

부 경 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

이 경 은

이경은의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 9월

주 심 공 학 박 사 이 동 욱 인

위 원 공 학 박 사 정 진 호 인

위 원 공 학 박 사 정 두 회 인

목 차

	page
표 목 차	vii
그 립 목 차	viii
기 호	x
Abstract	xii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구목적 및 배경	1
1.2 연구동향	2
제 2 장 시료 교란 · 불교란의 정의와 그 요인	4
2.1 시료 교란 · 불교란의 정의	4
2.2 유효응력의 변화과정	4
2.3 시료교란의 원인	5
제 3 장 자료조사	7
3.1 조사위치 및 토질주상도	7
3.2 각 조사지역의 지질개요	9
3.3 각 조사지역의 물리적 · 역학적 특성	10
제 4 장 시료의 교란과 불교란으로의 분류	13
4.1 압밀시험에 의한 평가	13
4.1.1 $e - \log P$ 그래프에 의한 방법	13
4.1.2 $\log C_v - \log P$ 그래프에 의한 방법	16

목 차 (계 속)

	page
4.1.3 $\log m_v - \log P$ 그래프에 의한 방법	17
4.2 일축압축시험에 의한 평가	17
4.2.1 응력-변형률 그래프에서의 파괴변형률(ϵ_f)	17
4.2.2 일축압축강도의 분포도	18
4.2.3 변형계수(Deformation Modulus)	21
제 5 장 낙동강 하구 유역의 교란 · 불교란으로 분류된	
시료의 토질역학적 특성	24
5.1 함수비와 단위중량의 상관성	24
5.2 단위중량과 간극비의 상관성	25
5.3 간극비와 함수비의 상관성	25
5.4 소성지수와 액성한계의 상관성	27
5.5 간극비와 압축지수의 상관성	28
제 6 장 결 론 및 향 후 과 제	
참고문헌	32

표 목 차

	page
표 1 조사자료의 위치	7
표 2-1 조사지역의 물리적 특성	11
표 2-2 조사지역의 역학적 특성	12
표 3-1 교란 · 불교란 시료의 압축지수의 평균 (양산, 내외지구)	11
표 3-2 교란 · 불교란 시료의 압축지수의 평균 (명지, 녹산지구)	14
표 3-3 교란 · 불교란 시료의 압축지수의 평균 (장유지구)	15
표 3-4 교란 · 불교란 시료의 압축지수의 평균 (대저지구)	15
표 3-5 교란 · 불교란 시료의 압축지수의 평균 (가덕도지구)	15
표 4-1 간극비-압축지수의 상관관계 (양산 · 물금지구)	28
표 4-2 간극비-압축지수의 상관관계 (양산 · 구포, 내외지구)	28
표 4-3 간극비-압축지수의 상관관계 (장유지구)	29
표 4-4 간극비-압축지수의 상관관계 (명지 · 녹산지구)	29
표 4-5 간극비-압축지수의 상관관계 (대저지구)	30
표 4-6 간극비-압축지수의 상관관계 (가덕도지구)	30

그림 목 차

	page
그림 1 샘플링과 유효응력의 변화(Ladd and Lambe, 1963)	5
그림 2 해당 지역 토질 주상도	8
그림 3 $\log P - \log c_v$ 그래프(YM1의 경우)	16
그림 4 $\log P - \log m_v$ 그래프(YM1의 경우)	17
그림 5 심도별 일축압축강도의 변화(YM1 지역)	19
그림 6 심도별 일축압축강도의 변화(JU3 지역)	19
그림 7 심도별 일축압축강도의 변화(MJ2 지역)	20
그림 8 심도별 일축압축강도의 변화(NS1 지역)	20
그림 9 심도별 일축압축강도의 변화(KD1 지역)	21
그림 10 $q_u / 2 - E_{50}$ 그래프	22
그림 11 $\varepsilon_f - E_{50} / (q_u / 2)$ 그래프	23
그림 12 함수비와 단위중량의 관계 그래프	24
그림 13 단위중량과 간극비의 관계 그래프	25
그림 14 함수비와 간극비의 관계 그래프	26
그림 15 액성한계와 소성지수의 관계 그래프	27

기 호

e	: 간극비
P	: 하중
c_v	: 압밀계수
m_v	: 체적압축계수
E_{50}	: 변형계수
q_u	: 일축압축강도

Soil Characteristics of soft clay in Nakdong-River Basin by considering Sample Disturbance

Kyong-Eun Lee

*Department of Civil Engineering, Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

Recent study of soft clay of Nakdong-River basin has been taken correlation between soil properties by regression analysis without distribution whether the sample is disturbed or not, or treated as a whole area without proposing local correlation equation to Jang-U or Dae-Joe which has a specific locality. Accordingly, Those tendency cause the reliability of correlation between compression index and void ratio low and then design underestimate and uncertain eventually.

In this study, Distributing the soft clay of Nakdong-River basin with failure strain of 6%, the suggestion by Skempton(1957), TakeNaka(1966)-the more sample is undisturbed, the more the ratio of E_{50} and q_u , $\alpha = E_{50}/(q_u/2) = 1/\epsilon_{50}$ is high-is satisfied with the value of which α is 50 and It could be taken enough data in the condition of domestic. Besides other indices also make the distribution suitable. In conclusion, This study is supposed to propose the locally subdivided regression equation between compression index and void ratio considering the sample disturbance.

Keywords : sample disturbance, failure strain, regression equation

제 1 장 서 론

1.1 연구목적 및 배경

현재 낙동강 하류 유역에 분포하고 있는 연약점토의 특성은 시료의 교란성에 대한 구분 없이 획득한 토질정수를 단지 수학적 통계 수단인 회귀분석을 통하여 토질정수들 간의 상관관계를 구하거나 국지적으로 지역적인 특이성을 보이는 장유나 대저지역에 대한 지역별 상관식이 제시되어지지 못하고 낙동강 유역 전체로 일괄처리하고 있는 실정이다. 따라서 이 지역에 대한 압축지수와 간극비의 상관관계는 신뢰성이 낮아 불필요한 과소설계나 불확실한 설계를 초래하게 된다.

본 연구에서는 낙동강 하구 유역의 점토를 대상으로 실내토질시험을 통해 구해진 토질 정수에 대한 신뢰도를 증가시키기 위해 토질공학적 기본 특성에 바탕을 두어 일축압축시험에서의 파괴변형률 6%와 각종의 지표를 기준으로 시료를 교란·불교란으로 구분하고 그 타당성을 입증하여 시료의 교란 정도를 고려한 압축지수와 간극비에 대한 지역별로 세분화된 회귀식을 제안하고자 한다.

또한, 여러 문헌에서 언급되어 있는 압밀시험 결과로부터 시료의 교란·불교란 여부를 평가하는 $e - \log P$, $\log c_v - \log P$, $\log m_v - \log P$ 곡선에 의한 방법, 압밀항복응력, 팽창지수, 2차압축계수, 일축압축시험으로부터의 응력-변형률 그래프, 파괴 변형률 6%, 일축압축강도의 심도에 따른 일정 분포, 변형계수에 근거하여 시료의 교란·불교란을 구분하여 보았다.

그러나, 대부분의 지표는 주관적인 평가가 어느 정도 내제되어 그 신뢰성을 확신할 수 없었으며, 이 중 일축압축시험에서의 파괴 변형률 6%로 객관적인 기준을 제시할 수 있을 것으로 판단되어 파괴변형률 6%를 기준으로 시료를 구분하였다.

파괴 변형률 6%를 기준으로 시료를 교란·불교란으로 구분 시 그 타당성에 대해서는 물리적 성질은 변화하지 않고 역학적 성질이 변화된다는 교란의 정의에 근거하였다. 물리적 성질인 자연함수비와 액성한계, 단위중량, 간극비의 상관관계는 교란 유무에 관계없이 유사한 경향을 보였으나, 역학적 성질에 대해서는 Skempton, 竹中の 연구에서 언급한 바와 같이 불교란 시료에서는 $q_u/2$ 에 대한 E_{50} 값이 커지게 된다는 특성에 기본하여 본 토질정수의 교란·불교란 구분시에는 불교란 시료에 대해서는 그 비가 50이상으로 커지며 교란 시료에 대해서는 50미만으로 작아져 그 타당성을 확보하였다. 간극비와 압축지수와의 관계에서도 교란시 간극비와 압축지수가 작아져 결국 압축지수를 과소 평가하게 되는 교란 시료의 영향을 제거하였을 때, 그 상관계수가 커졌다. 낙동강 하구 유역을 전체가 아닌 물리적 특성의 동질성을 보이는 지역별로 세분화시 간극비 압축지수간의 상관관계 역시 동질성을 지니는 식이 도출됨을 보였다

1.2 연구동향

낙동강 유역 토질의 물리적 특성 및 역학적 특성을 규명하고자 하는 노력과 토질 정수간의 경험식을 산출하고자 하는 노력은 많은 연구자들에 의해 제안되고 있으며 그 연구동향을 살펴보면 다음과 같다.

권기호, 배종건, 고광진, 정성교(1996) 등은 낙동강 하류 지역의 충적점토에 대한 토질 역학적 특성을, 이남기, 조기영, 유갑용, 정성교(1996) 등은 양산·물금 지역의 충적점토에 대한 일정변형률 압밀특성을, 김상규(1997) 등은 낙동강 하구 및 인접해안 충적층에 대한 토질 특성을, 조기영, 이남기, 정진교 등은 낙동강 하류지역의 미완숙 압밀점토에 대한 토질특성 및 압밀침하예측을, 최성민, 박춘식(2000)등은 김해지역의 토질 특성과 압축지수와의 상관성에 관

한 연구를 하였다.

최근에 정성교(2000) 등은 이와 같이 수많은 연구와 프로젝트가 10년이 넘는 조사기간을 소비하면서 수행되었음에도 불구하고도 부산점토의 토질특성에 대한 평가의 불확실성에 대한 문제점을 제시하였다. 그 문제점에 대해 요약하면 다음과 같다. 첫째, 과거의 퇴적환경을 포함한 지질학적 특징이 거의 조사되어 있지 않다. 또한 수많은 낙동강 주변 유역의 지반 공학적 자료가 데이터 베이스화 되어 있지 못하며, 보다 나은 토질조사를 위한 샘플링, 운송, 저장 등에 의한 시료 교란에 대한 연구가 필요하다. 둘째, 부산점토는 70m가 넘는 곳이 있을 정도로 매우 두터움에도 불구하고 단지 몇몇 심도에 대한 샘플링으로 토질 주상도를 작성하기에는 그 횟수가 절대적으로 부족하다. 셋째, 피에조미터가 너무 적게 설치되어 점토층에서의 간극수압 주상도와 점토층 아래에 존재하는 모래층의 수리학적 특징은 확실히 알 수 없다.

제 2 장 시료 교란 · 불교란의 정의와 그 요인

2.1 시료 교란 · 불교란의 정의

흙 시료를 채취하여 토질시험에 공급하기까지 시료를 취급하는 과정에서 외적인 작용에 의해 시료의 구조, 전단강도, 변형성, 압축성, 나아가서는 함수비 등 흙의 상태와 그 역학적 성질이 원위치에 있을 때와 달라지는 상태를 시료 교란이라 한다. 즉 “교란되었다”는 것은 물리적 성질은 변하지 않고 흙의 구조, 밀도 및 역학적 성질이 변한 상태를 의미한다. 연약지반 설계시 시료의 교란으로 말미암아 압축지수가 과소평가 되어 침하량 예측결과가 설계치보다 크게 나타나는 경우가 많아 불확실한 설계를 유도하게 된다. 시료교란에는 막을 수 있는 것과 막을 수 없는 것이 있다. 시료를 지중에서 잘라내는 것에 따라 원위치 흙에 작용하던 구속응력이 해방되는 현상은 피할 수 없는 것이며, 이로 인한 시료 내부의 응력 변화 및 팽창은 불가피한 교란이다. 이와 같이 시료를 채취하는 과정에서 발생하는 불가피한 현상을 보통 교란이라 하지 않는다. 시료 채취와 시편을 제작하는 과정에서 과대한 전단응력을 받아 생기는 구조의 저위화(degradation of structure)를 교란이라 한다.

2.2 유효응력의 변화과정

그림 1은 Ladd & Lamb이 시료채취에서 전단시험 전까지 발생하는 유효응력의 변화를 모식적으로 표한 것이다. 즉 원 지반에서 이상적인 시료의 상태인 A점의 응력상태에 있던 것이 시추 굴착으로 응력상태가 변화되어 B점에 도달된다. 다시 시료를 채취한 후 샘플러를 지상으로 끌어 올리는 과정에 의해 C점에 도달하고 시료 튜브에서의 시료 추출에 의해 D점의 상태로 된다. 시료는 그 후 함수비의 변화로 E점으로, 실내시험을 위한 성형(trimming)으로

F점에 도달하며 다시 삼축시험장치에서 구속압력(등방압밀압력)을 가함으로써 G점에 이른다. 이 G점의 상태가 전단시험의 출발점이 된다.

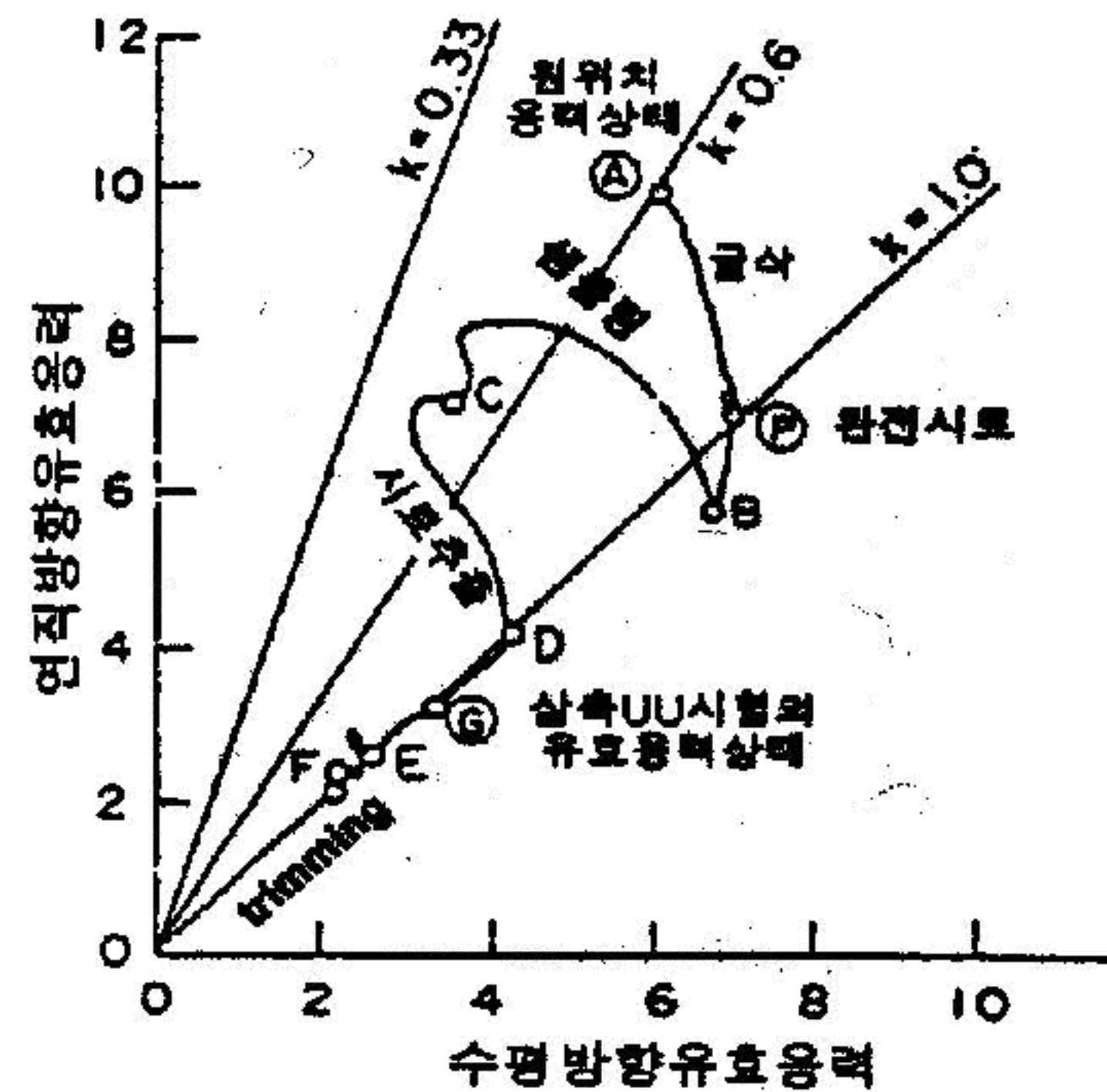


그림 1 샘플링과 유효응력의 변화
(Ladd and Lambe, 1963)

2.3 시료교란의 원인

현장에서 채취한 시료는 여러 과정을 거쳐 토질시험에 사용되기 때문에 이러한 과정에서 교란을 야기시키는 요인이 많이 발생하므로 토질시험 결과를 설계에 적용하는 경우, 시료의 교란도 판정이 설계의 정밀도에 중요한 영향을 미친다. 시추, 샘플링, 운반 및 보관, 시료성형, 토질시험의 각 단계에서 시료는 여러 가지 원인에 의해 교란된다.

시료교란은 주로 다음과 같은 세 가지 요인에 의해 발생된다.

첫째, 기계적인 교란으로서 이는 시료가 교란되는 주 원인이다.

둘째, 응력해방에 따른 재팽창이다.

셋째, 수분, 가스의 방출 및 온도변화이다.

시추에서 토질 시험에 이르는 과정 중 시료가 교란될 우려가 있는 작업들은 다음과 같다.

첫째, 천공 및 시료 인발시 토압 및 수압의 해제

둘째, 코아튜브의 압입, 회전, 물의 분사시 지반의 압축과 전단 및 팽윤

셋째, 튜브 관입시 압축과 전단

넷째, 튜브 인발시 인장과 뒤틀림

다섯째, 운반 및 보관시 충돌과 변질

여섯째, 실험실에서의 시료추출 및 성형시 압축과 전단

제 3 장 자료조사

3.1 조사위치 및 토질주상도

본 연구는 낙동강 하구 지역을 중심으로 그 주변지역인 양산-물금지역, 장유지역의 연약점토의 토질특성과 압축지수와의 관계를 평가하기 위하여 기존의 지반조사 보고서 내의 토질시험결과를 수집하였으며, 수집한 내용을 표 1에 정리하였다. 토질 자료는 토질 조사를 전문으로 하는 두 회사에 의해 조사 시험된 결과이다. 그림 2는 해당 지역의 토질 주상도이다.

표 1 조사자료의 위치

기호		위치
양산 물금	YM1	양산물금시험시공지구
	YM2,3	양산물금면,동면일원 2,3단계
양산	YK1	양산-구포간 고속도로변
구포	YK2	(OOCorp.OOG.C.)
내외	NO1	김해시 내외동
장유	JU1	김해시 화목동 죽림동(하수처리장)
	JU2	김해 웅달리(후포-수가)
	JU3	김해 화목동-이동
명지 녹산	MJ1	명지주거단지내
	MJ2	(주거단지, OOAPT)
	MJ3	부산시 강서구 명지동
	MJ4	(OO교회,녹산)
	NS1,2	강서구녹산동 (녹산국가단지, OOCorp.)
대저	DJ1	강서구 대저동 일원
	DJ2	(지하철,하키장부지)
가덕도	KD1	가덕도 동방파제
	KD2	가덕도 서방파제

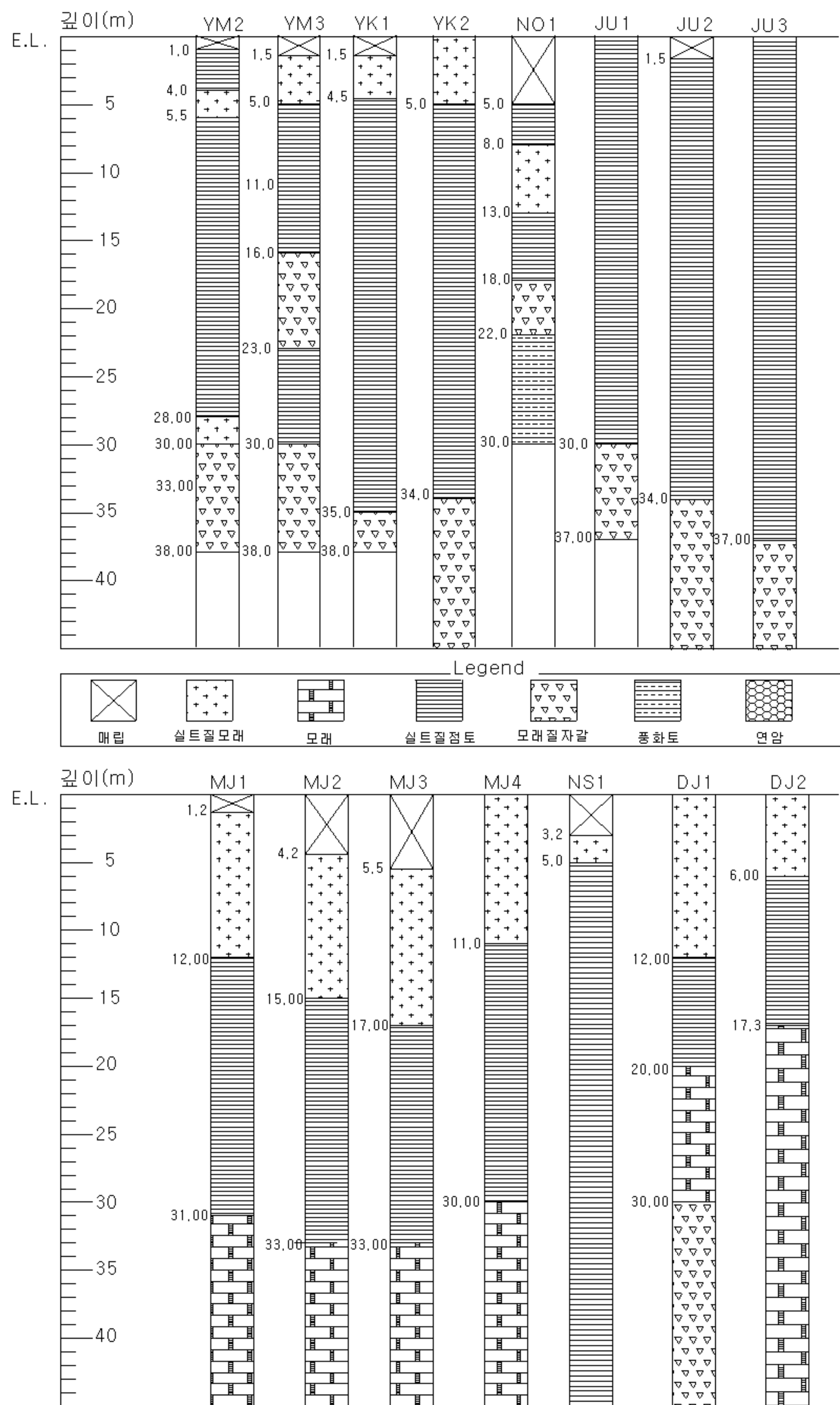


그림 2 해당 지역 토질 주상도

양산·물금 지구는 점토층의 두께가 각각 평균 22-34m정도이다. 내외지구는 점토층 사이에 모래층이 존재한다. 장유지구는 표면부터 바로 실트질점토층이 존재한다. 명지주거단지의 연약지반은 평균두께 약 10m의 실트질모래층 아래 평균 18m정도의 실트질 점토층으로 구성된다. 녹산지구는 매립층을 포함해 평균두께 5m정도의 모래층과 두께 10-45m이상의 점토층으로 구성된다.

3.2 각 조사지역의 지질개요

양산, 물금지역은 경상계 퇴적암층과 이를 관입 또는 분출한 화산암류와 그 이후에 이를 관입한 불국사 화강암류, 맥암류등으로 대별된다. 지역의 대표적인 지질은 백악기 불국사 화강암류로 그 종류는 화강섬록암, 각섬석화강암, 흑운모화강암 및 안산암질 암류가 기반암을 이루고 있으며 그 위를 제 4기의 충적층이 부정합으로 덮고 있다. 이 충적층은 낙동강 하구 부근을 따라 넓게 분포하고 있으며 충적퇴적물은 주로 점성토와 미세한 모래로 되어있어 비옥한 농토를 형성시켰으며 하곡 연변을 따라 대소의 자갈들이 점성토 및 모래와 혼재하고 있다.

김해 내외지구는 자연제방이 없는 평탄한 논농사 지대로 삼각주성 주변분지로 명칭된다. 이 지역은 동국여지승람의 기록에 의하면 바다로 되어있는 것으로 나타난다. 이것은 김해 삼각주가 형성되기 이전에 이 만이 우리나라 남, 서해안에서 흔히 볼 수 있는 섬을 갖고 있는 화강암류와 분출암류가 주 분포를 이루며 충적층이 기반암층을 부정합으로 피복하고 있다는 것을 말해준다. 주 삼각주의 서쪽에 위치하는 이 지역은 전술한 바와 같이 최근에 육화된 곳이다. 주 삼각주는 낙동강의 영향을 받아 빨리 퇴적되었고, 자연제방도 발달되어 있다. 그러나 주변부는 주류로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 중류부의 배후습

지와 같이 본류가 범람할 때 퇴적되어 형성되었기 때문에 주삼각지역보다 늦게까지 바다로 남아 있었다.

장유지구의 조사지역은 중생대 백악기의 화강암질과 안산암질이 기반암으로 폭 넓게 분포하며 제 4기 충적층이 그 위를 덮고 있다.

명지, 녹산지역은 상류로부터 운반되어온 막대한 양의 하상 퇴적물이 집적되어 광대한 충적평야인 삼각주 평야를 형성하고 있다. 이 지역의 충적층 하부 기반암의 지질은 중생대 백악기말 경상계에 속하는 유천층군의 화산분출암인 화산각력암으로 구성된다. 암상은 대체로 암회색을 띠며 각력의 크기는 1 ~ 2cm로 본암은 전반적으로 화강암의 관입으로 심하게 열변질 받아 치밀 견고하게 분포한다.

대저지구의 조사지역은 중생대 경상계 신라통의 안산암질류와 불국사 화강암류의 각섬석화강암 그리고 마산암류의 미문상 화강과 규장암이 기반암으로 폭넓게 분포하고 있으며, 그 상부를 신생대 제 4기 충적층이 덮고 있다.

3.3 각 조사지역의 물리적·역학적 특성

조사지역에 분포하고 있는 점토는 표 2-1, 표 2-2에 나타낸 바와 같이 흙의 분류상 CL, CH에 속한다. 전체적으로 평균 함수비는 43-70.9%, 액성한계는 양산·물금 지구를 제외하고는 함수비와 거의 유사하거나 크게 나타났다. 이러한 경향은 여러 논문에서 구술하는 바와 유사하다(김 등, 2001). 특히 장유지구는 다른 지역에 비해서 자연함수비, 액성한계, 초기간극비, 압축지수는 가장 크게 나타났으며, 모래함유율과 일축압축강도가 낮은 것으로 나타났다. 대저지구는 자연함수비, 액성한계, 초기간극비, 압축지수는 가장 작게 나타났으며, 모래함유율은 가장 많은 것으로 나타났다.

표 2-1 조사지역 점토의 물리적 특성

*()내는 평균치임

기호		시료수	함수비(%)	비중	액성한계(%)	초기간극비
양산 물금	YM1	31	31.5-78.7(60.1)	2.67	28.8-55.5(43.9)	0.77-2.21(1.58)
	YM2	79	37.4-73.9(59.2)	2.71	29-66(48)	1.06-2.05(1.65)
	YM3	143	29.1-77.5(53.6)	2.66	29-69.1(46.8)	0.66-2.01(1.47)
	Total	253	(57.6)	(2.68)	(46.2)	(1.57)
양산 구포	YK1	52	32.4-63.9(50.9)	2.71	28.6-64(46.7)	0.93-1.77(1.42)
	YK2	35	31.2-57.4(44.5)	2.63	25.7-47.6(36)	0.72-1.4(1.14)
	Total	87	(47.7)	(2.67)	(41.35)	(1.28)
내외	NO1	27	25-75(54)	2.69	31.9-91.9(60.9)	0.69-1.91(1.48)
장유 지구	JU1	11	52.8-92.9(68.2)	2.61	33.5-78.5(51.5)	1.37-2.31(1.71)
	JU2	19	49.3-96.3(75.8)	2.65	55.4-102(81.2)	1.36-2.54(2.06)
	JU3	22	29.1-92.4(71.2)	2.64	35.7-97.4(77.1)	0.89-2.56(1.91)
	Total	52	(71.7)	(2.63)	(69.9)	(1.89)
명지 녹산	MJ1	28	39.9-61.4(49.3)	2.71	55.5-90.2(70.8)	1.19-1.77(1.46)
	MJ2	18	33.4-58.4(45.9)	2.7	40.1-87.6(66.1)	1.05-1.73(1.37)
	MJ3	12	45.3-82.1(64.3)	2.61	45.3-82.1(64.3)	1.07-1.65(1.33)
	MJ4	20	47.6-65.2(56.8)	2.72	47.3-80.5(64)	1.31-1.86(1.55)
	NS1	255	23.3-71.9(46.6)	2.65	25.6-94.9(57.8)	0.7-2.08(1.27)
	NS2	60	34.8-87.7(54.2)	2.68	36-81(57.1)	0.92-2.49(1.48)
	Total	393	(52.9)	(2.68)	(63.4)	(1.41)
대저 지구	DJ1	17	29-50(43.3)	2.65	35.7-61.8(50.8)	0.78-1.31(1.16)
	DJ2	25	34.4-56(42.7)	2.63	33.8-59.2(47.3)	0.97-1.44(1.17)
	Total	42	(43)	(2.64)	(49.1)	(1.17)
가덕도 지구	KD1	30	46.2-91.4(68.5)	2.69	29.5-104(67.1)	1.33-2.58(1.81)
	KD2	19	34.6-79.9(64.3)	2.69	39.3-94.5(68.1)	0.86-2.28(1.79)
	Total	49	(66.4)	(2.69)	(67.6)	(1.8)

표 2-2 조사지역 점토의 역학적 특성

*()내는 평균치임

기호		점토	실트	모래	일축압축강도(kg/cm^2)	압축지수
양산 물금	YM1	-	-	-	0.04-0.95(0.43)	0.29-0.95(0.63)
	YM2	43.5	52.7	3.8	0.07-0.86(0.42)	0.27-0.83(0.62)
	YM3	13.6	73.5	13	0.03-1.11(0.42)	0.12-1.15(0.61)
	Total	(28.6)	(63.1)	(8.4)	(0.42)	(0.62)
양산 구포	YK1	32.1	55.5	12.3	0.17-0.61(0.37)	0.24-0.82(0.52)
	YK2	35.2	48.9	16.2	0.09-0.98(0.45)	0.16-0.76(0.42)
	Total	(33.7)	(52.2)	(14.3)	(0.41)	(0.47)
내외	NO1	58.7	30.7	12.2	0.23-1.33(0.89)	0.24-1.17(0.69)
장유 지구	JU1	53.5	43.2	3.4	0.11-0.35(0.2)	0.56-1.37(0.89)
	JU2	61.1	37.2	1.7	0.17-0.58(0.33)	0.5-1.63(1.04)
	JU3	58.8	37	5.3	0.18-0.85(0.47)	0.27-1.5(0.99)
	Total	(57.8)	(39.1)	(3.5)	(0.33)	(0.97)
명지 녹산	MJ1	46.6	49.3	4.1	0.2-1.32(0.7)	0.27-0.97(0.58)
	MJ2	45.4	49.3	5.3	0.42-1.12(0.67)	0.31-0.79(0.51)
	MJ3	50.8	43.4	5.7	0.5-1.58(0.9)	0.37-0.77(0.56)
	MJ4	-	-	-	0.33-1.94(0.79)	0.46-1.17(0.76)
	NS1	38.8	47.5	13.8	0.16-2.18(0.82)	0.1-1.24(0.51)
	NS2	47	47.6	5.3	0.05-1.36(0.67)	0.2-1.12(0.54)
	Total	(45.7)	(47.4)	(6.84)	(0.76)	(0.58)
대저 지구	DJ1	38.8	30.6	30.6	0.19-0.9(0.56)	0.2-0.69(0.47)
	DJ2	40.2	26.4	34.7	0.09-0.7(0.37)	0.2-0.74(0.47)
	Total	(39.5)	(28.5)	(32.7)	(0.47)	(0.47)
가덕도 지구	KD1	27.7	63.5	8.8	0.08-0.96(0.36)	0.45-1.18(0.75)
	KD2	24.1	70.8	5.2	0.12-0.86(0.52)	0.26-0.98(0.75)
	Total	(25.9)	(67.2)	(7)	(0.44)	(0.75)

제 4 장 시료의 교란과 불교란으로의 분류

4.1 압밀시험에 의한 평가

4.1.1 $e - \log P$ 그래프에 의한 방법

일반적으로 교란이 적은 시료는 선형압밀하중 이하에서의 간극비 변화가 작고, 선형압밀하중이 크고 명확한 항복점이 나타나며, $e - \log P$ 곡선에서의 처녀압축곡선의 기울기가 가파르게 나타나므로 압축지수가 크다. 표 3-1은 양산 내외지구에 대한 교란·불교란 시료의 압축지수의 평균을 비교한 것으로 불교란 시료의 경우 압축지수의 평균이 0.64~0.69인 반면 교란시료의 압축지수는 평균이 0.43~0.55로 그 범위가 작게 분포한다. 표 3-2는 명지, 녹산지구에 대한 교란·불교란 시료의 압축지수의 평균을 비교한 것으로 불교란 시료의 경우 압축지수의 평균이 0.55~0.63인 반면 교란시료에 대해서는 압축지수의 평균이 0.35~0.45로 그 범위가 작게 분포한다. 표 3-3은 장유, 대저, 가덕도 지구에 대한 교란·불교란 시료의 압축지수의 평균을 비교한 것으로 장유지구는 불교란 시료의 압축지수는 평균이 0.95~1.05인 반면 교란시료는 압축지수의 평균이 0.57~0.9, 대저지구는 불교란에 대해서 그 압축지수의 평균이 0.48~0.5인 반면 교란시료에 대해서는 그 압축지수의 평균이 0.2~0.43, 가덕도지구의 불교란에 대해서 그 압축지수가 0.76인 반면 교란시료에 대해서는 그 압축지수의 평균이 0.71~0.72로 그 범위가 작게 분포한다. 이와 같이 본 연구에서 수집한 자료에 대해서 교란시료와 불교란 시료의 압축지수를 비교한 결과 불교란 시료의 압축지수가 교란시료에 비해 크게 나타났다.

표 3-1 교란·불교란 시료의 압축지수의 평균
(양산, 내외지구)

()내는 평균치임

지역		불교란	교란
양산 물금	YM1	0.29-0.95 (0.69)	0.31-0.6 (0.44)
	YM2	0.27-0.83 (0.65)	0.3-0.7 (0.55)
	YM3	0.12-0.97 (0.64)	0.16-0.83 (0.43)
양산 구포	YK1	0.31-0.82 (0.6)	0.24-0.78 (0.44)
	YK2	0.16-0.76 (0.47)	0.22-0.66 (0.36)
내외	NO1	0.24-1.17 (0.69)	0.61

표 3-2 교란·불교란 시료의 압축지수의 평균
(명지, 녹산지구)

()내는 평균치임

지역		불교란	교란
명지 녹산	MJ1	0.34-0.97 (0.62)	0.27-0.56 (0.42)
	MJ2	0.31-0.8 (0.56)	0.34-0.47 (0.41)
	MJ3	0.37-0.77 (0.56)	-
	NS1	0.1-1.24 (0.55)	0.13-0.69 (0.35)
	NS2	0.28-1.12 (0.63)	0.2-0.78 (0.45)

표 3-3 교란·불교란 시료의 압축지수의 평균
(장유지구)

()내는 평균치임

지역		불교란	교란
장유 지구	JU1	0.56-1.37 (0.95)	0.64-0.79 (0.74)
	JU2	0.5-1.63 (1.05)	0.53-1.26 (0.9)
	JU3	0.42-1.55 (1.05)	0.57

표 3-4 교란·불교란 시료의 압축지수의 평균
(대저지구)

()내는 평균치임

지역		불교란	교란
대저	DJ1	0.27-0.69 (0.5)	0.2
	DJ2	0.2-0.74 (0.48)	0.33-0.6 (0.43)

표 3-5 교란·불교란 시료의 압축지수의 평균
(가덕도지구)

()내는 평균치임

지역		불교란	교란
가덕 도	KD1	0.45-1.18 (0.76)	0.47-0.88 (0.72)
	KD2	0.26-0.98 (0.76)	0.57-0.85 (0.71)

이외에도, 시료의 교란은 재 압축구간에서 압축성을 증가시키고 팽창지수를

증가시킨다. 처녀압축하중 범위에서 시료의 교란으로 2차압축계수가 작게 나타나는 경향이 있다.

4.1.2 $\log c_v - \log P$ 그래프에 의한 방법

교란시료일수록 압밀계수는 초기압력에서 작고 정규압밀상태에 가까울수록 거의 일정한 수치를 보인다. 시료의 교란은 재압축과 처녀압축의 압밀계수를 감소시키며, 불교란 시료의 경우, c_v 는 보통 선행압밀응력에서 갑자기 감소한다. 이러한 경향은 심하게 교란된 시료에서는 나타나지 않는다. 그림 3은 조사 대상지역 중 YM1의 경우로 이를 만족함을 보이며 다른 지역의 경우도 비슷한 형상의 그래프를 나타낸다.

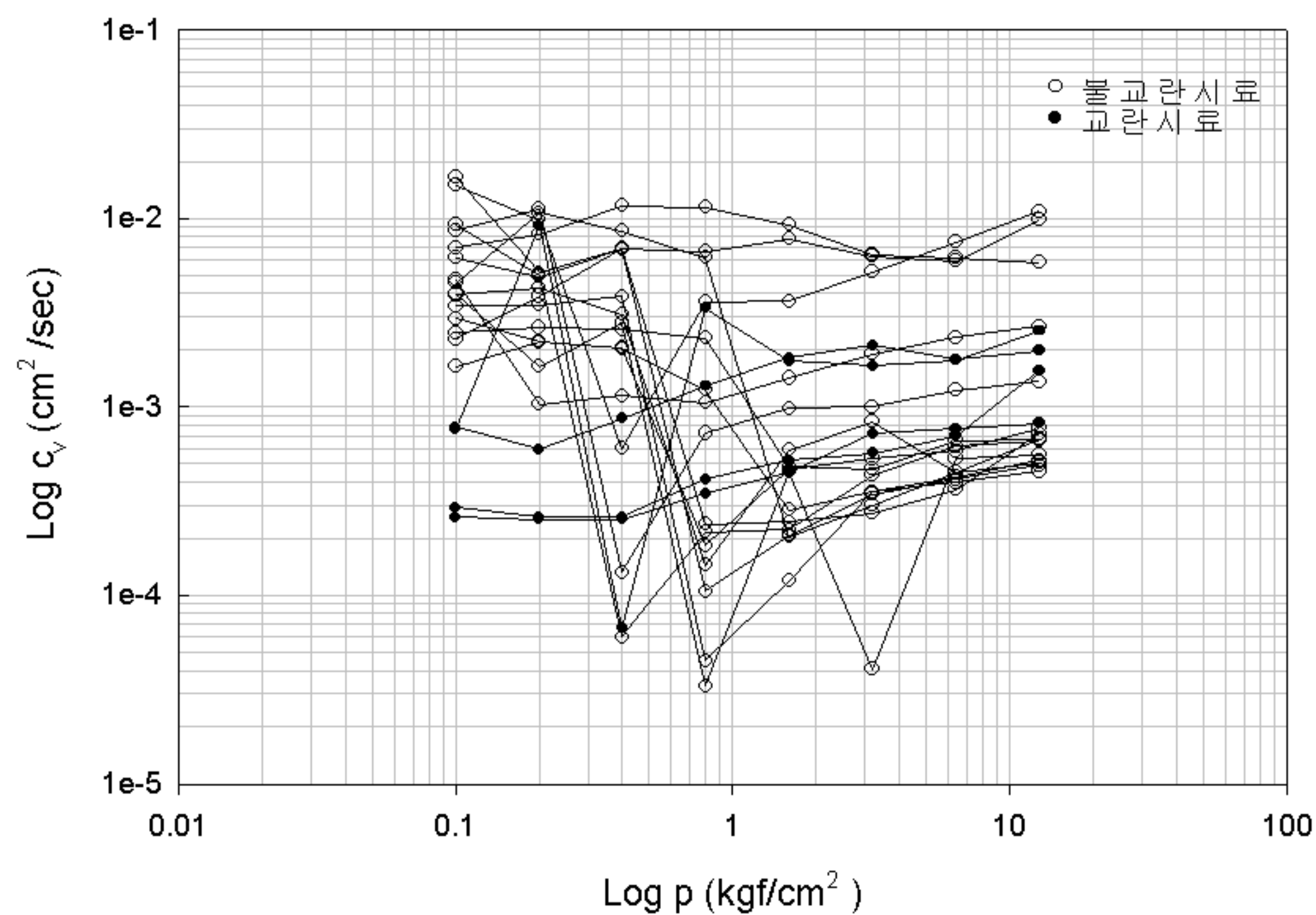


그림 3 $\log P - \log c_v$ 그래프 (YM1의 경우)

4.1.3 $\log m_v - \log P$ 그래프에 의한 방법

체적압축계수 m_v 는 흙의 압축성을 나타내는 계수로서 불교란 시료의 체적 압축계수는 압밀압력이 작은 범위에서 작고, 압밀항복응력 부근에서 증가하다가 감소하는 것이 일반적이며 그림 4는 YM1의 경우로 이를 만족시키며, 다른 지역의 경우도 비슷한 형상의 그래프를 보인다.

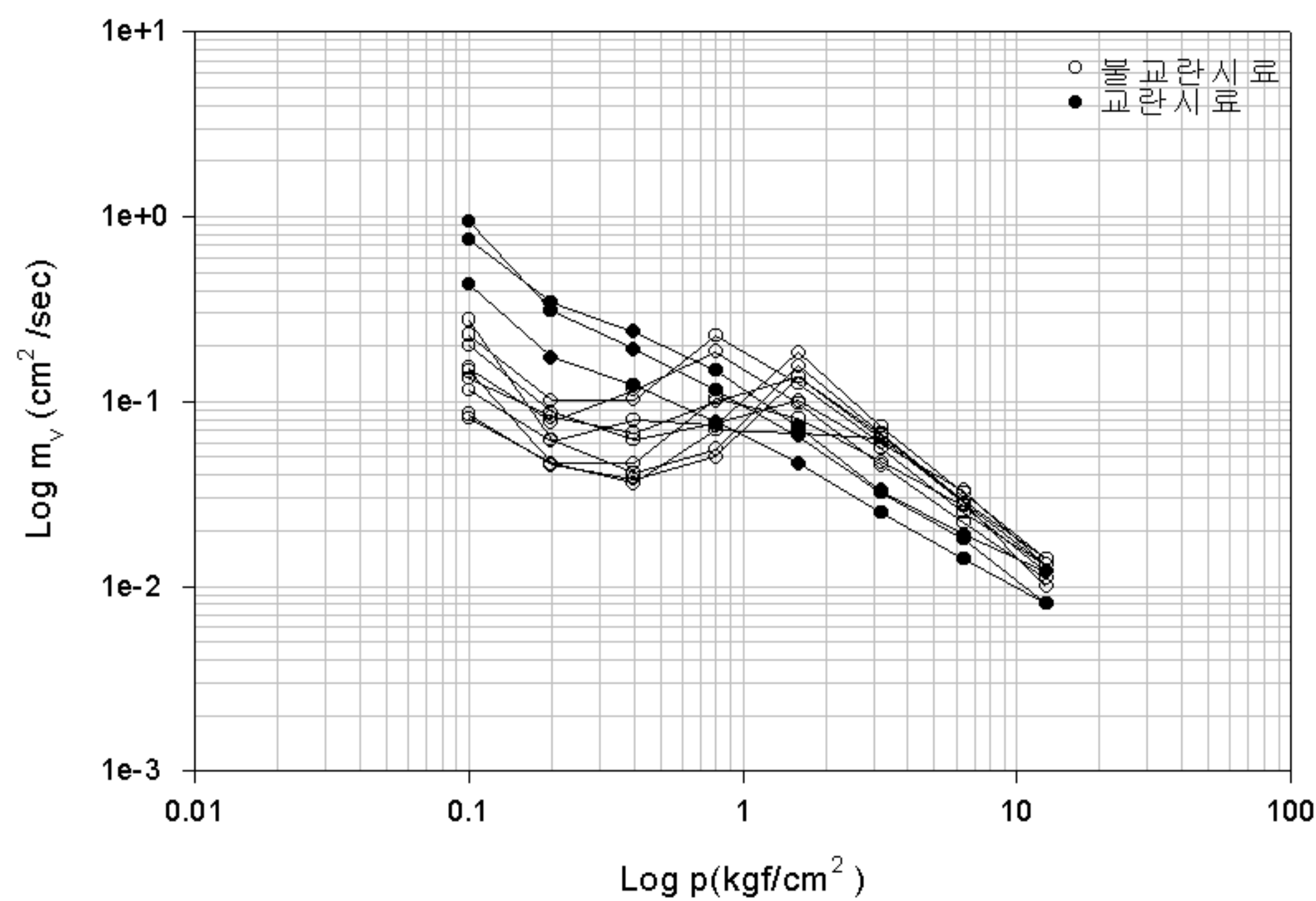


그림 4 $\log P - \log m_v$ 그래프 (YM1의 경우)

4.2 일축압축시험에 의한 평가

4.2.1 응력-변형률 그래프에서의 파괴변형률(ϵ_f)

시료 교란의 정도가 심할수록 클수록 응력-변형률 곡선에서 정점이 명확하게 나타나지 않는다. 연약점토의 파괴변형률은 흙의 종류에 따라 다르지만 일반적으로 불교란 시료에 대한 파괴변형률 ϵ_f 의 값은 충전점토에서는 6%이하,

샌드드레인으로 개량된 지반 또는 부식토에서는 10%정도이다. 즉 충적점토에서는 $\epsilon_f > 6\%$ 이상이면 교란의 영향을 받은 것으로 판단한다(황,1999). 일본에서는 충적층의 점토에서는 일반적으로 그 파괴 변형률이 2 - 6%이다.(日本土質工學會,1996) 파괴변형률 5%, 4%로 구분 시 6%로 구분시보다 동일 간극비에 대한 압축지수를 약간 크게 평가하는 경향이 있으나 오히려 자료개수가 줄어들어 그 데이터에 대한 신뢰성이 불확실하였다.

4.2.2 일축압축강도의 분포도

균질토인 경우, 심도가 깊어짐에 따라 q_u 값이 직선적으로 증가하는 경향을 나타내므로 토질의 변화가 없음에도 불구하고 이 직선에서 크게 벗어나는 시료에 대하여는 교란된 것으로 판정할 수 있다. 본 논문의 대상 지역 중 균질한 지층으로 구성된 YM1, JU3, MJ2, NS1, KD1지역에 대한 심도별 일축압축강도의 분포를 나타낸 그림 5~그림 9에서 나타낸 바와 같이 교란 시료에 대한 일축압축강도를 제외하면 심도에 따라 일축압축강도가 증가하는 경향이 나타나는 것을 알 수 있다.

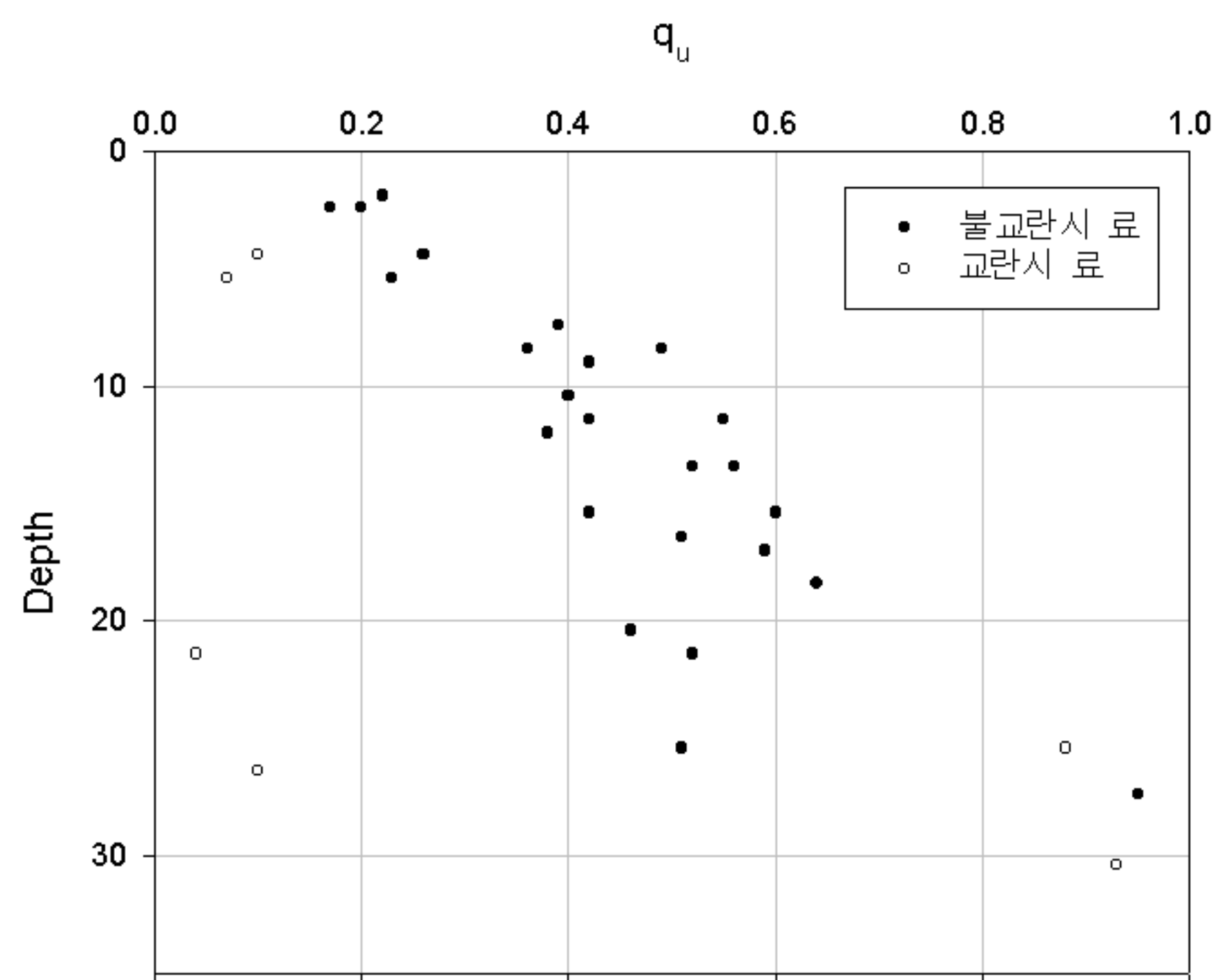


그림 5 심도별 일축압축강도의 변화
(YM1지역)

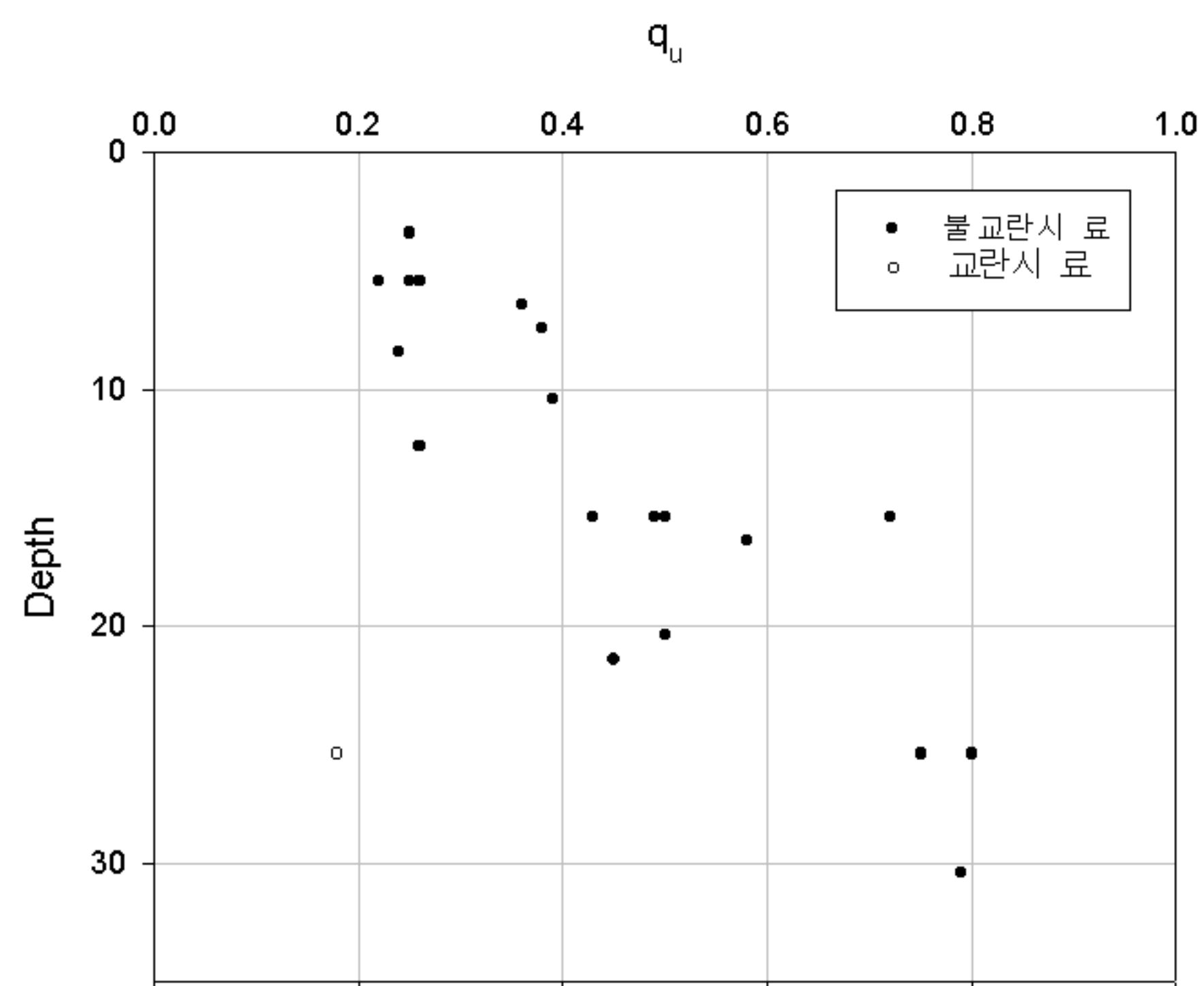


그림 6 심도별 일축압축강도의 변화
(JU3지역)

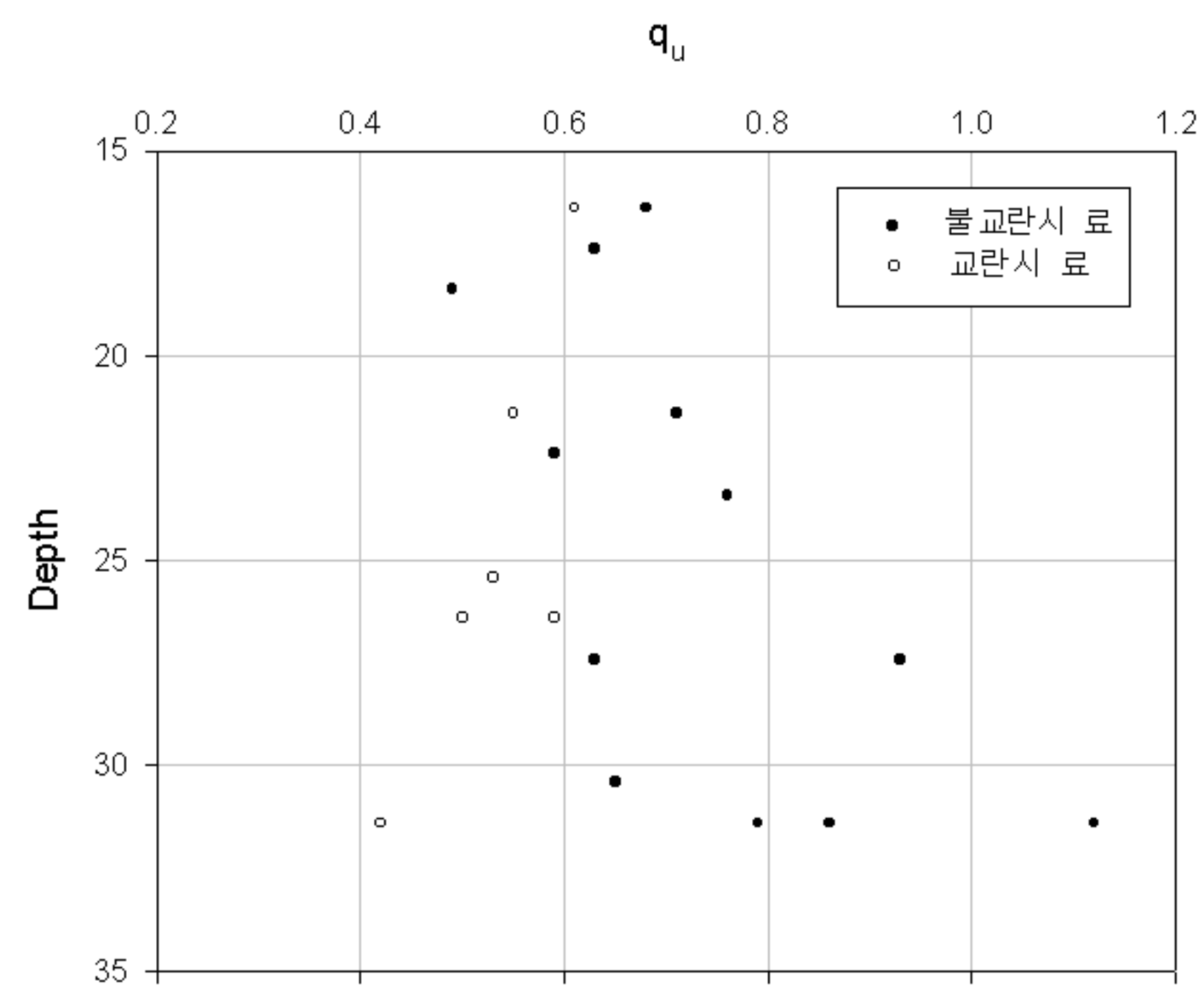


그림 7 심도별 일축압축강도의 변화
(MJ2지역)

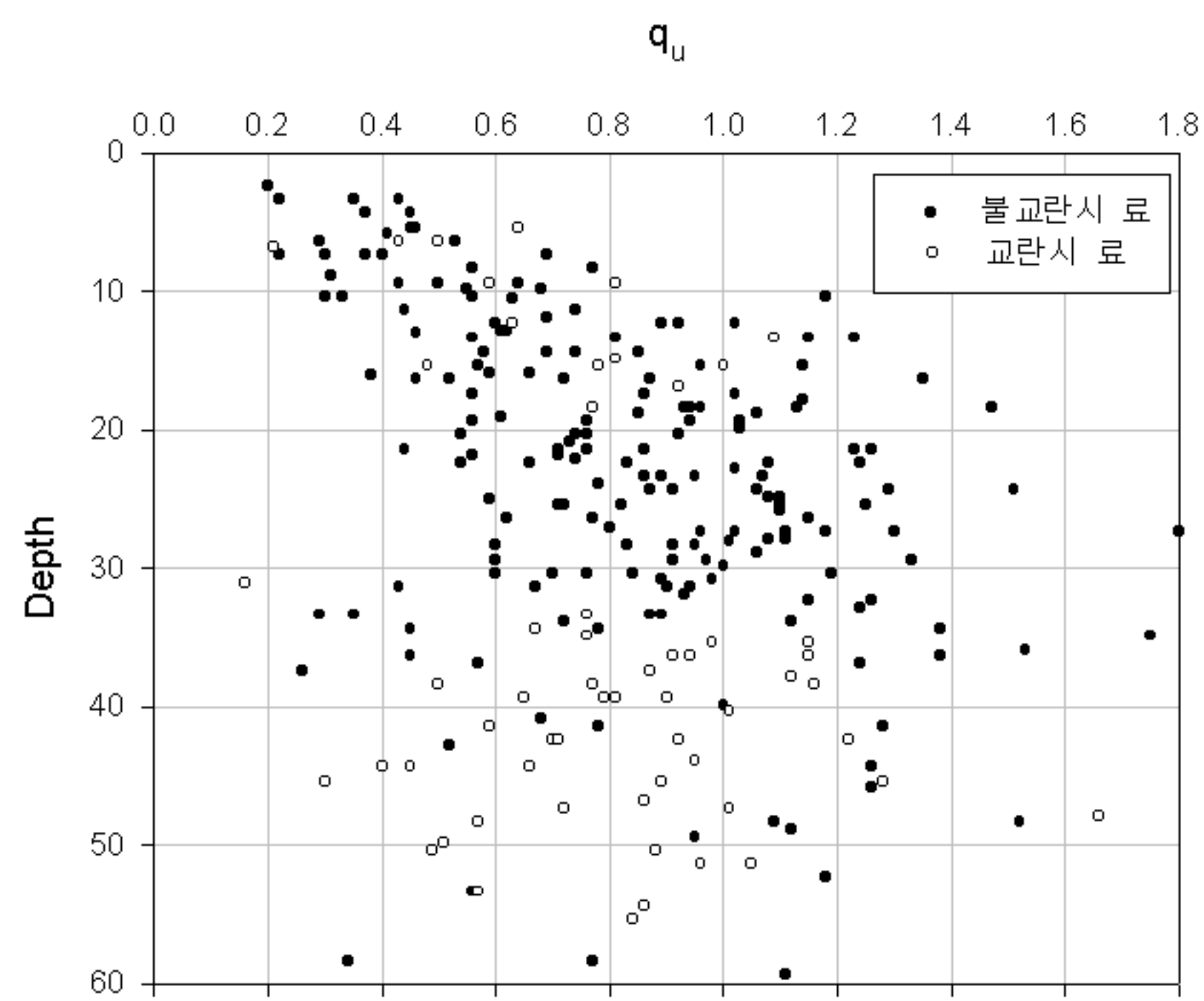


그림 8 심도별 일축압축강도의 변화
(NS1지역)

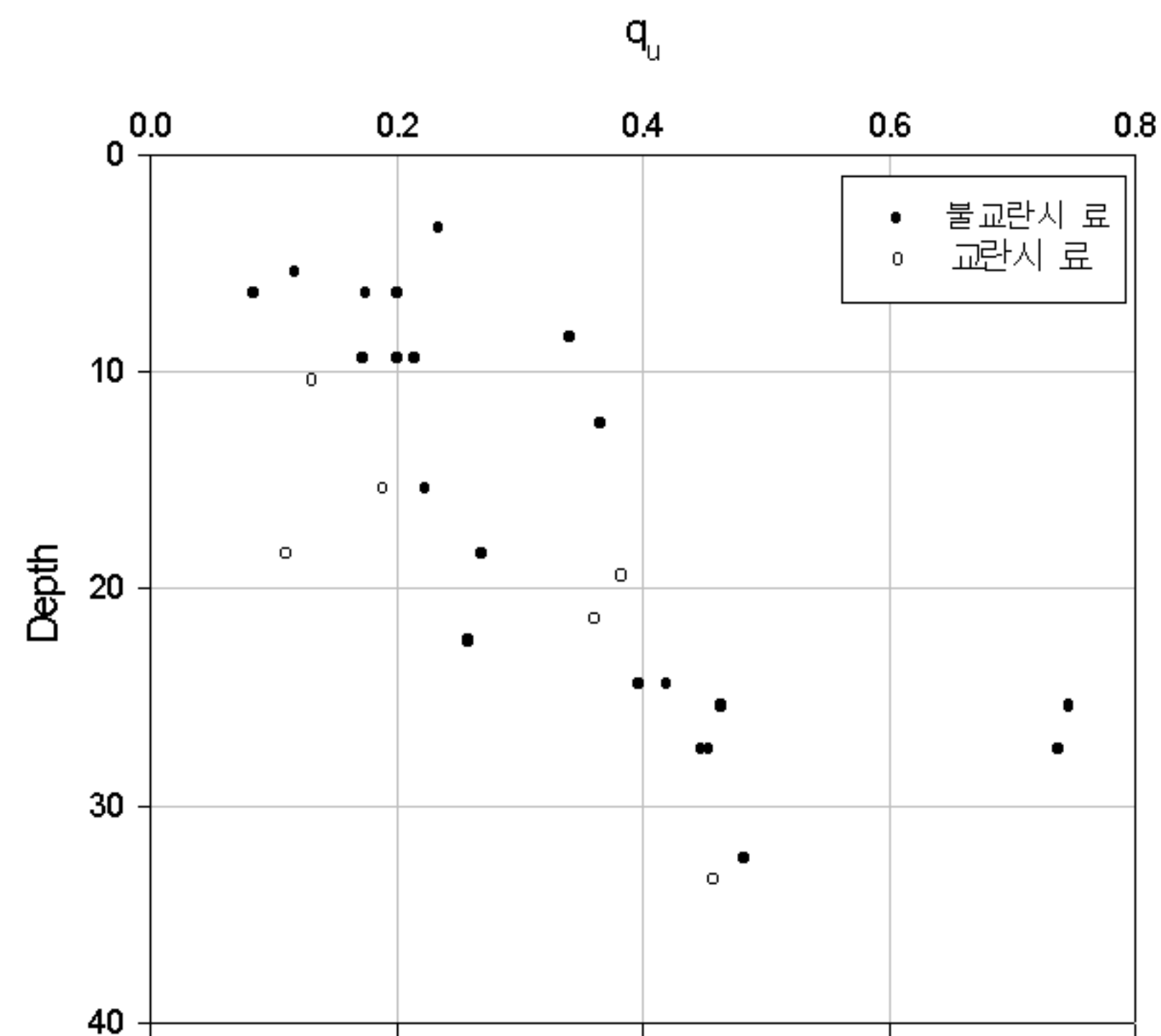


그림 9 심도별 일축압축강도의 변화
(KD1지역)

4.2.3 변형계수(Deformation Modulus)

교란시료에서는 일축압축강도의 지하보다 변형계수의 지하가 더욱 현저하게 나타난다. 여러 학자(Skempton 등, 1957)에 의해 E_{50} 과 q_u 의 비 $\alpha = E_{50}/(q_u/2) = 1/\epsilon_{50}$ 가 클수록 불교란 시료로 판정할 수 있음이 밝혀졌으며 이는 흙 시료의 교란정도를 판정하는 기준으로서 사용 가능하다. 竹中(1996)의 경우 $E_i=210 c_u$ 의 관계가 있으며, 보통의 불교란 시료에서는 교란이 심할수록 그 계수가 감소함을 발견하였다. 또한 고결작용을 받은 홍적점토에 대해 공시체 중앙부 변형률을 측정하여 $E_i=480 c_u$, 横振과 千葉등의 해성점토에 대해서는 $E_{50}/q_u=90$ 정도임을 밝혀내었다. 불교란 시료에 대한 α 의 값은 London 점토에서 140, 해성점토에서 165~210정도라고 하였다.(황,1999)

그림 10에서 q_u 가 클수록 E_{50} 도 비례적으로 증가하며 파괴변형률 6% 기준 시 E_{50} 과 $q_u/2$ 의 비가 50을 기준으로 불교란은 대략 그 비가 50-243(110) 교란은 32-50(42)의 범위에 존재한다. 그림11에서도 파괴변형률 6% 이전에는 $E_{50}/(q_u/2)$ 이 50이상의 값을, 6% 이후에는 50이하의 값을 보임을 알 수 있다.

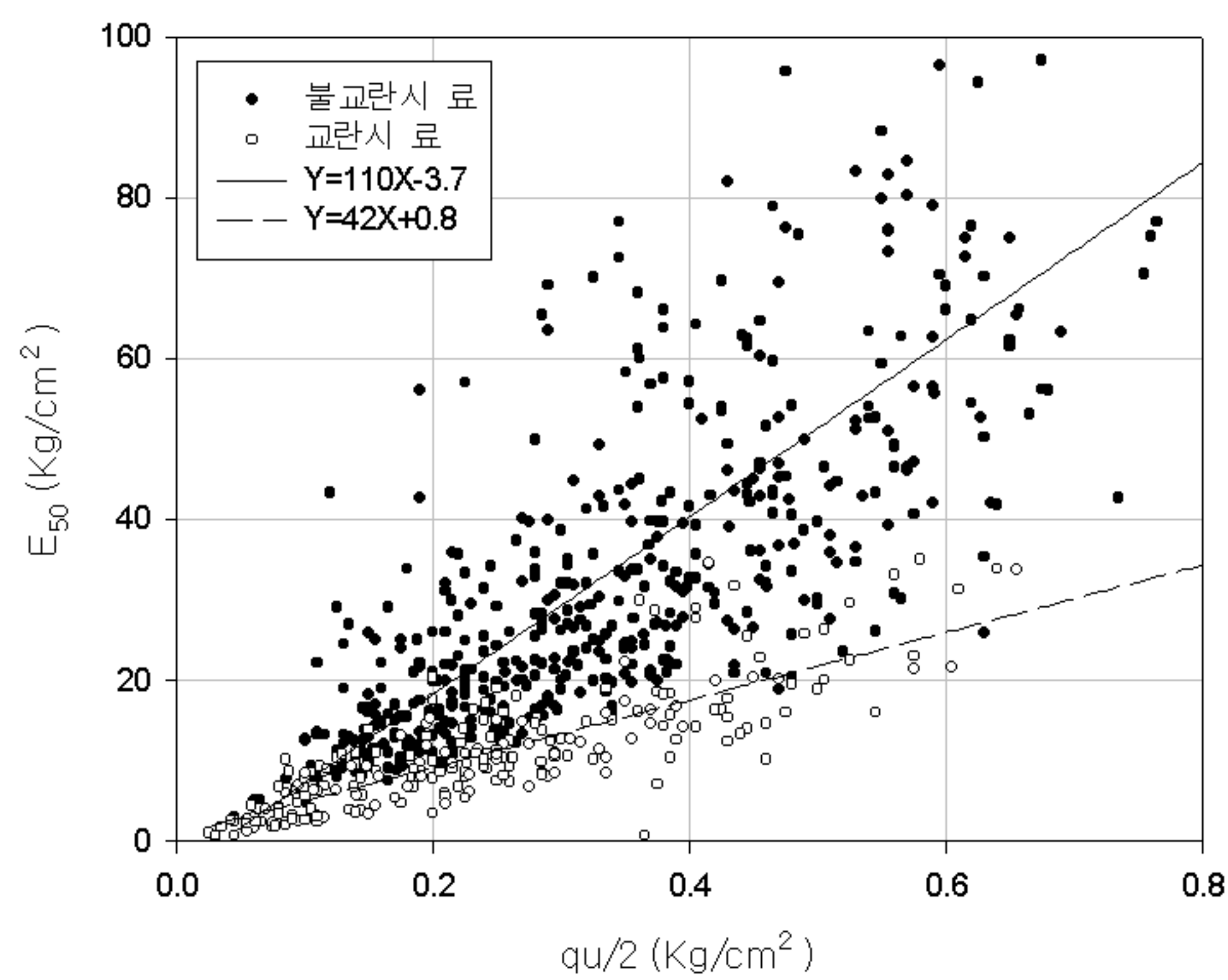


그림 10 $q_u/2$ - E_{50} 그래프

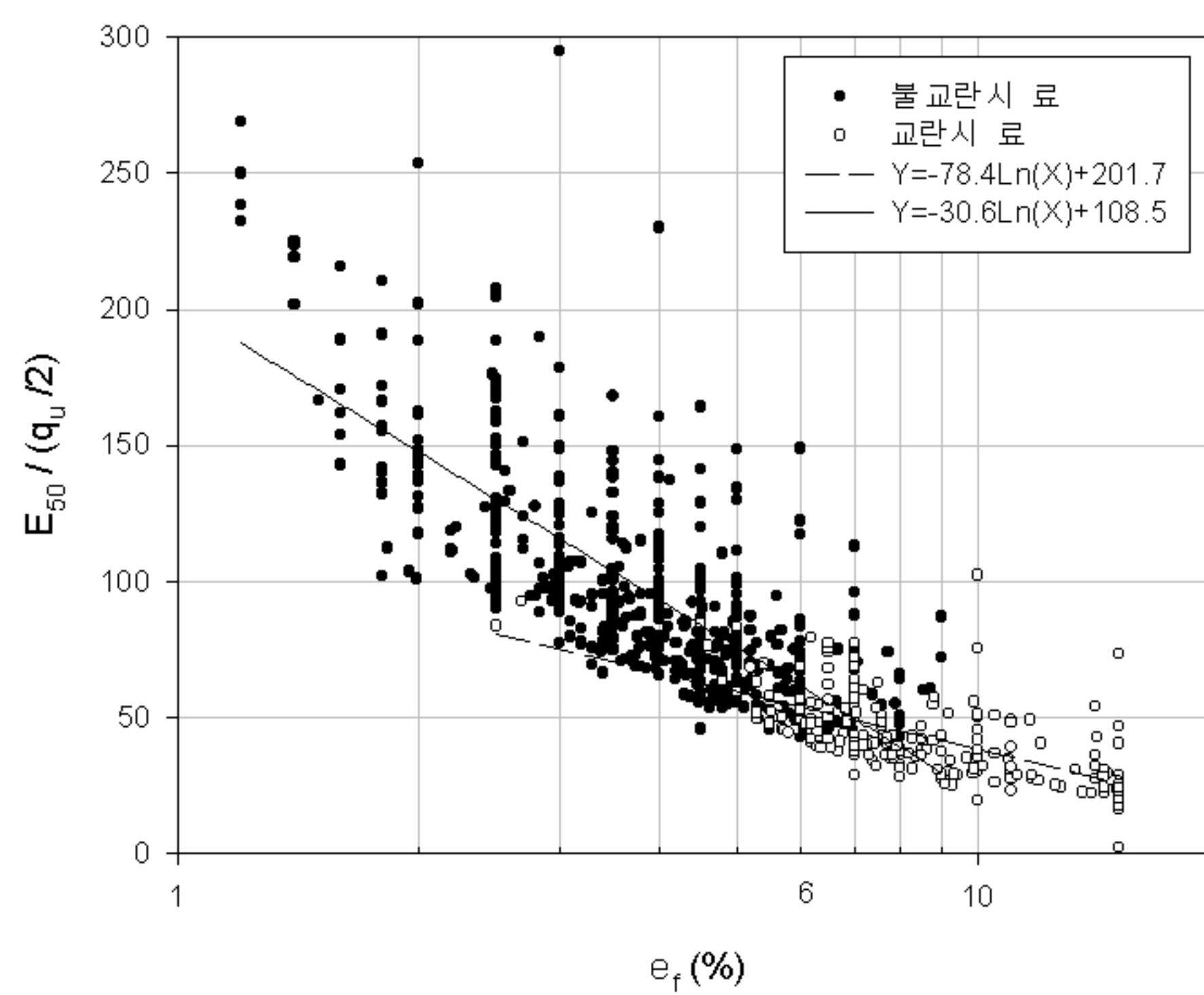


그림 11 $\epsilon_f - E_{50}(q_u/2)$ 그래프

제 5 장 낙동강 하구 유역의 교란 · 불교란으로 분류된 시료의 토질역학적 특성

5.1 함수비와 단위중량의 상관성

낙동강 하구 유역을 전체가 아닌 물리적 특성이 동질성을 보이는 지역별 7 지구로 세분화하고 각각을 교란 · 불교란으로 분류시 다음과 같은 물리적 · 역학적 특성을 보였다. 그림 12에서 불교란 시료와 교란시료의 함수비와 단위중량의 상관성이 아래 관계식 (1),(2)와 같이 비슷함을 알 수 있다.

$$\text{불교란 시료 : } r_t = -0.0063 W + 2.03 \quad (1)$$

$$\text{교란시료 : } r_t = -0.0064 W + 2.03 \quad (2)$$

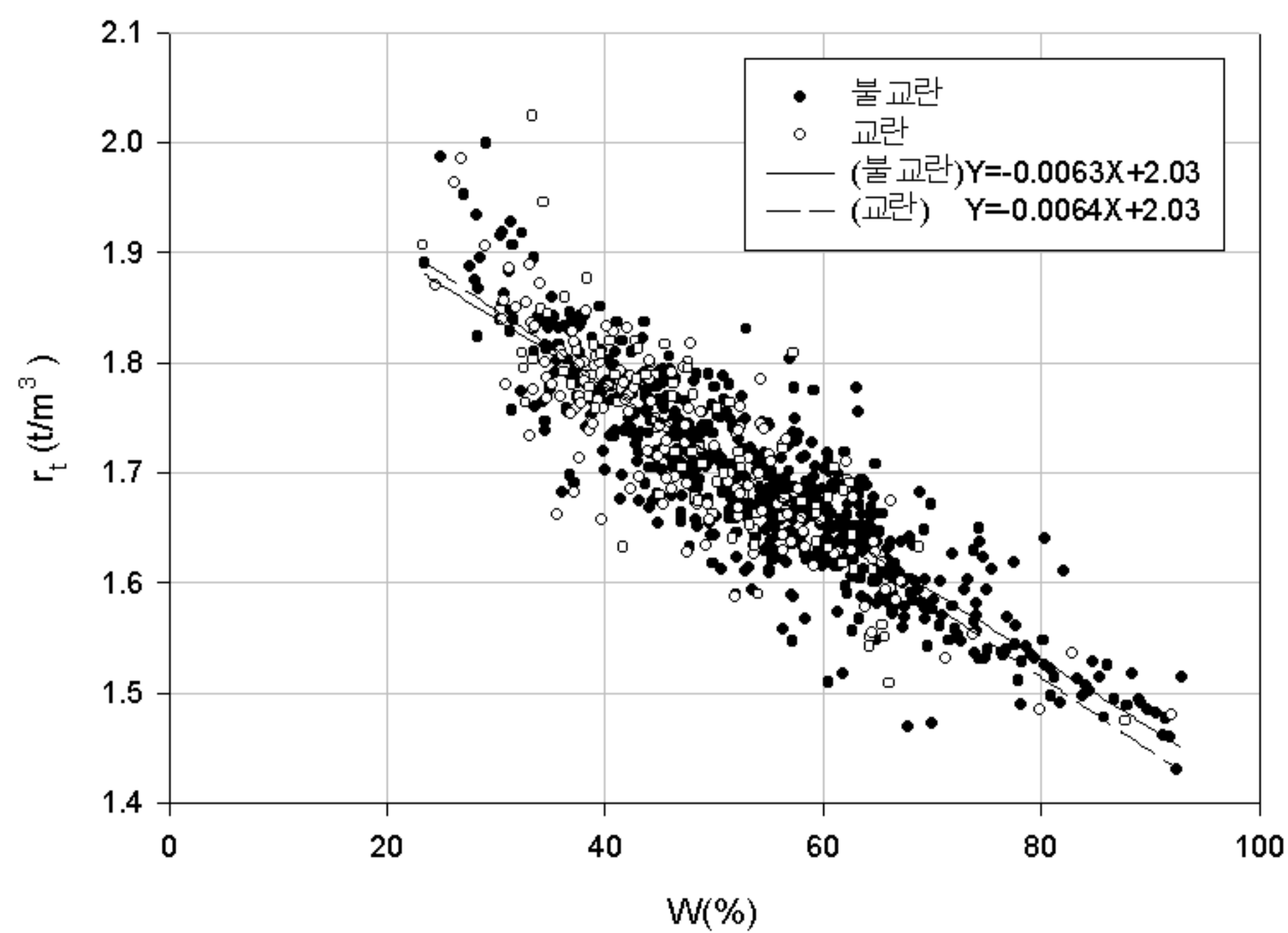


그림 12 함수비와 단위중량의 관계 그래프

5.2 단위중량과 간극비의 상관성

그림 13에서 불교란 시료와 교란시료의 단위중량과 간극비의 상관성이 아래 관계식 (3),(4)와 같이 비슷함을 알 수 있다. 단위중량과 간극비에 대한 상관도에서 동일 밀도에서 비중이 큰 값일수록 상측에 plot되는 경향을 보이며, 간극비의 변화폭은 0.5정도이다.

$$\text{불교란 시료 : } e = -3.335r_t + 7.12 \quad (3)$$

$$\text{교란시료 : } e = -3.234r_t + 6.9 \quad (4)$$

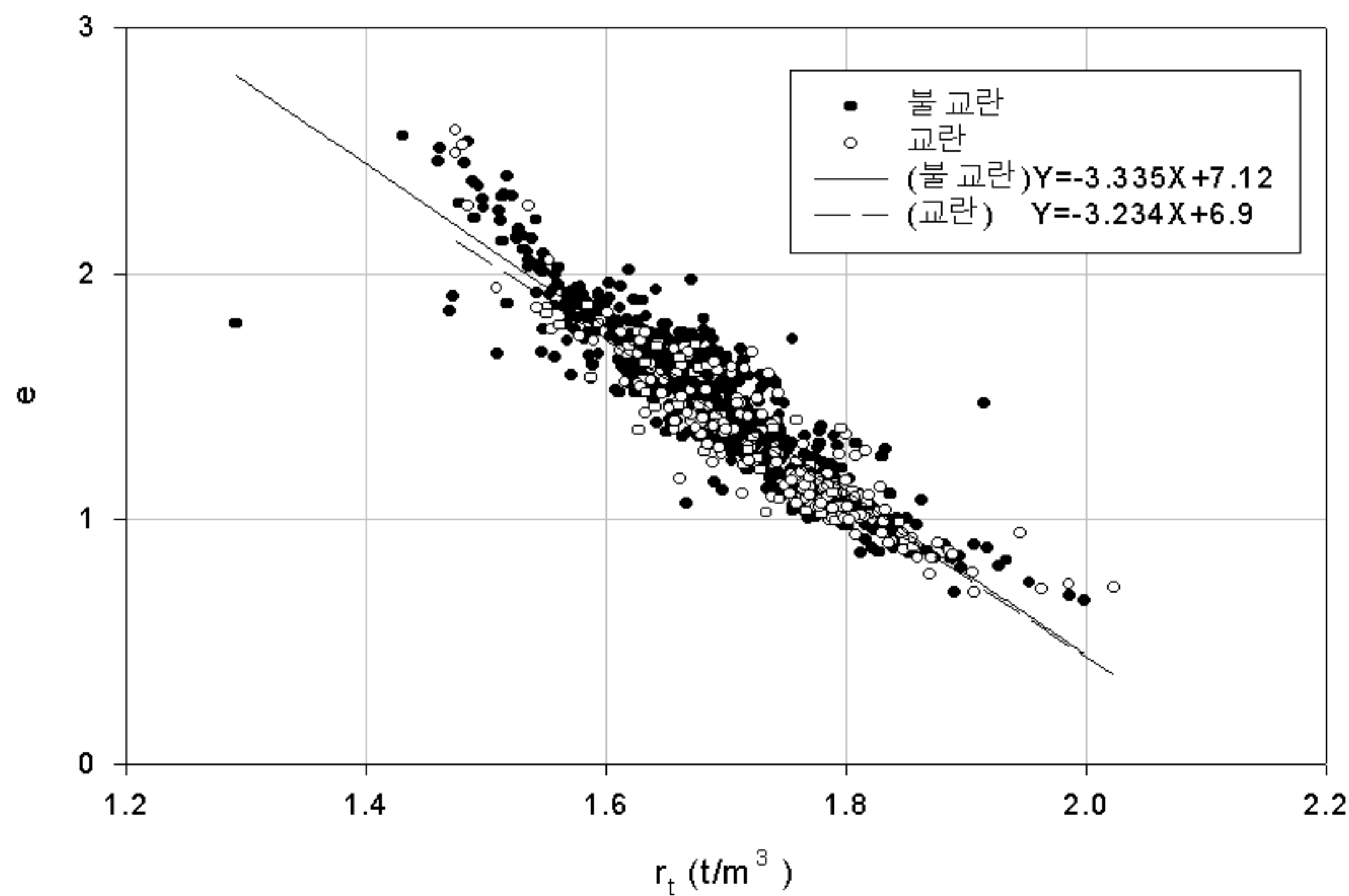


그림 13 단위중량과 간극비의 관계 그래프

5.3 간극비와 함수비의 상관성

그림 14과 같이 간극비는 함수비의 증가와 함께 비례적으로 증가하며 상관관계는 식 (3)과 같다. 초기 간극비의 범위는 0.57-2.58이고 이에 대응하는 자

연 함수비는 18.95-87.9%이다. 보통 국내 해성 점토는 $\frac{e_0}{W_n}$ 의 구배가 0.02-0.03이나 낙동강 지역의 $\frac{e_0}{W_n}$ 은 0.025로 평균치에 가까운 값을 보임을 알 수 있다. 불교란 시료와 교란시료의 함수비와 간극비의 상관관계는 식(3)과 같이 유사하게 나타났다.

$$\text{불교란 시료 ; } e=0.0251W+0.123 \quad (5)$$

$$\text{교란 시료 : } e=0.0256W+0.0984 \quad (6)$$

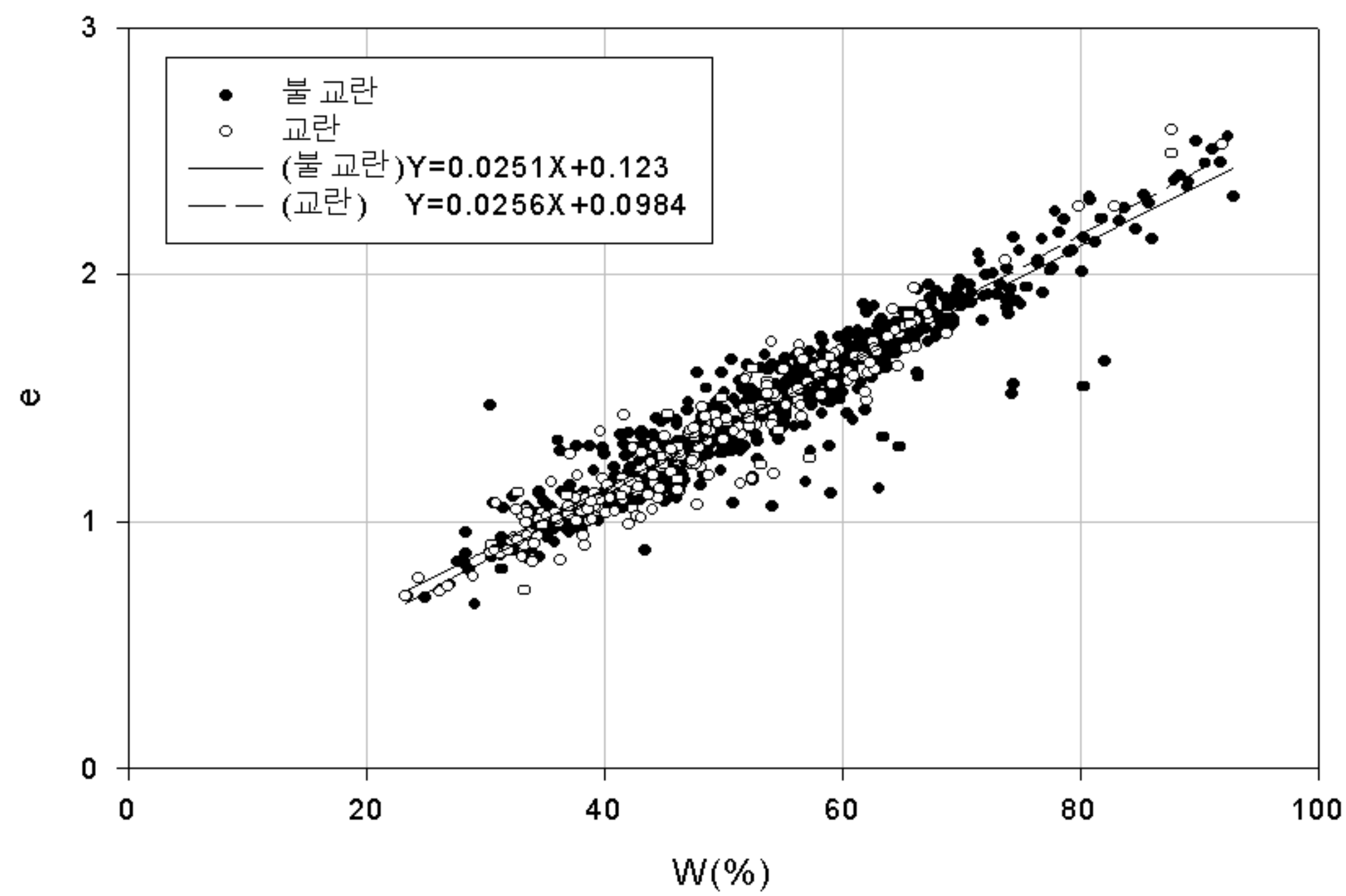


그림 14 함수비와 간극비의 관계 그래프

5.4 소성지수와 액성한계의 상관성

그림 15에서 소성도표 상으로 볼 때 이 지역의 흙들은 자료의 분산정도가 그리 크지 않으며 주로 A선과 U선 사이에 분포하며 통일 분류법에 의하면 CH와 CL에 속한다. 소성지수와 액성한계의 상관관계는 $R^2=0.947$ 로 강한 상관성을 나타내며 식(7)과 같이 소성지수와 액성한계 사이에 직선관계가 성립함을 알 수 있다. 식(7)은 A Casagrande가 제안한 A선 $PI=0.73(LL-20)$ 보다 위에 위치한다. 액성한계가 최소 30%이상이므로 이 지역의 흙은 무기질의 중, 고소성의 점토임을 알 수 있다.

$$PI = -16.9 + 0.834LL = 0.834(LL - 20.264) \quad (7)$$

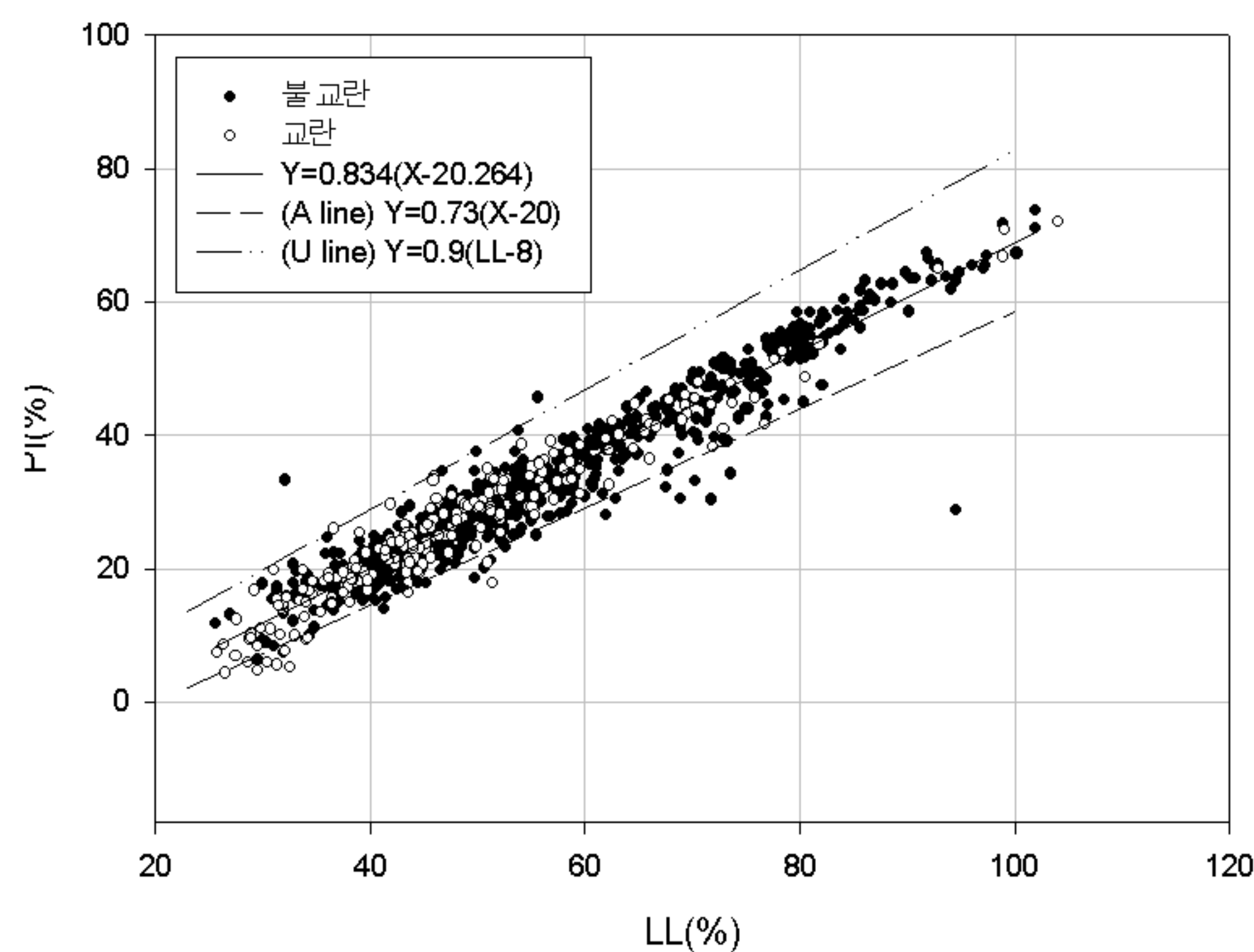


그림 15 액성한계와 소성지수의 관계 그래프

5.5 간극비와 압축지수의 상관성

낙동강 유역의 압축지수와 간극비의 관계는 표 4와 같이 정리할 수 있다.

표 4-1 간극비-압축지수의 상관관계 (양산·물금지구)

() 내는 R^2 , 시료개수

		불교란		교란	TOTAL
양산 물금	YM1	6%	$Cc=0.6e-0.3$ (84%,N=24)	$Cc=0.34e-0.05$ (51%,N=6)	$Cc=0.55e-0.24$ (71%)
	YM2	6%	$Cc=0.57e-0.3$ (70%,N=53)	$Cc=0.41e-0.06$ (62%,N=26)	$Cc=0.51e-0.22$ (71%)
	YM3	6%	$Cc=0.6e-0.3$ (76%,N=102)	$Cc=0.48e-0.2$ (68%,N=35)	$Cc=0.6e-0.3$ (73%)

표 4-2 간극비-압축지수의 상관관계 (양산·구포, 내외지구)

() 내는 R^2 , 시료개수

		불교란		교란	TOTAL
양산 구포	YK1	6%	$Cc=0.71e-0.3$ (70%,N=28)	$Cc=0.6e-0.33$ (77%,N=25)	$Cc=0.64e-0.4$ (77%)
	YK2	6%	$Cc=0.7e-0.4$ (65%,N=16)	$Cc=0.64e-0.32$ (51%,N=17)	$Cc=0.7e-0.4$ (62%)
내외	NO1	6%	$Cc=0.61e-0.22$ (75%,N=26)	-	$Cc=0.61e-0.2$ (74%)

표 4-3 간극비-압축지수의 상관관계 (장유지구)

() 내는 R^2 , 시료개수

		불교란		교란	TOTAL
장유 지구	JU1	6%	$Cc=0.82e-0.53$ (83%,N=8)	-	$Cc=0.78e-0.46$ (81%)
	JU2	6%	$Cc=0.69e-0.38$ (74%,N=15)	-	$Cc=0.68e-0.36$ (80%)
	JU3	6%	$Cc=0.76e-0.5$ (90%,N=20)	-	$Cc=0.75e-0.43$ (92%)

표 4-4 간극비-압축지수의 상관관계 (명지·녹산지구)

() 내는 R^2 , 시료개수

		불교란		교란	TOTAL
명지 녹산	MJ1	6%	$Cc=0.69e-0.41$ (45%,N=25)	$Cc=0.15e+0.22$ (7%,N=7)	$Cc=0.64e-0.36$ (41%)
	MJ2	6%	$Cc=0.69e-0.4$ (60%,N=12)	$Cc=0.2e+0.16$ (27%,N=6)	$Cc=0.57e-0.27$ (42%)
	MJ3	6%	$Cc=0.65e-0.3$ (88%,N=12)	-	$Cc=0.65e-0.31$ (88%)
	MJ4	6%	$Cc=0.66e-0.21$ (51%,N=16)	$Cc=0.77e-0.63$ (99%,N=4)	$Cc=0.55e-0.08$ (32%)
	NS1	6%	$Cc=0.67e-0.34$ (82%,N=194)	-	$Cc=0.67e-0.34$ (83%)
	NS2	6%	$Cc=0.64e-0.31$ (62%,N=30)	$Cc=0.3e+0.003$ (36%,N=30)	$Cc=0.4e-0.06$ (32%)

표 4-5 간극비-압축지수의 상관관계 (대저지구)

()내는 R^2 , 시료개수

		불교란		교란	TOTAL
대저 지구	DJ1	6%	$Cc=1.13e-0.9$ (64%,N=16)	-	$Cc=0.91e-0.58$ (69%)
	DJ2	6%	$Cc=1.24e-0.97$ (88%,N=22)	-	$Cc=1.24-0.97$ (88%)

표 4-6 간극비-압축지수의 상관관계 (가덕도지구)

()내는 R^2 , 시료개수

		불교란		교란	TOTAL
가덕 도 지구	KD1	6%	$Cc=0.53e-0.2$ (83%,N=21)	$Cc=0.32e+0.1$ (68%,N=6)	$Cc=0.45-0.08$ (72%)
	KD2	6%	$Cc=0.55e-0.21$ (88%,N=14)	$Cc=0.3e+0.14$ (95%,N=5)	$Cc=0.48e-0.12$ (80%)

표 4에서 물리적인 특성에서 동질성을 나타내는 지구별로 세분화시 각 지구별로 어느 정도의 유사한 상관식이 도출됨을 알 수 있다. 시료를 교란·불교란으로 구분하고, 각 지구별로 세분화시켰을 때, 그 상관식은 차이를 보이고 있다. 일반적으로, 교란시 구조의 저위화에 의한 동일 간극비에서의 압축지수 감소현상과 같이 교란된 시료의 압축특성은 불교란 시료의 그것과 다르다는 점등으로부터 설계시 불교란 시료에 대한 압축특성의 추정이 필요하게 된다.

제 6 장 결 론 및 향 후 과 제

낙동강 하류 유역에 분포하고 있는 연약점토의 토질 특성에 대해 일축압축 시험에서의 파괴변형률 6%와 $E_{50}/(q_u/2)$ 을 주로, 그리고 각종의 지표를 기준으로 시료의 교란·불교란을 구분하여 그 압축특성을 국지적으로 구하여 보았다. 구분 기준의 타당성을 입증하기 위해 교란·불교란의 정의에 바탕을 두어 그 물리적 특성에 대해서는 함수비와 액성한계, 단위중량, 간극비, 간극비와 단위중량의 상관관계가 거의 일치함을 보였으며, 역학적 특성에 대해서는 간극비와 압축지수의 관계에서 교란시 구조의 저위화에 의한 동일 간극비에서의 압축지수 감소현상을 보이며, Skempton(1957), 竹中(1996)의 연구에서 언급한 바와 같이 불교란 시료에서는 $q_u/2$ 에 대한 E_{50} 값이 커지게 된다는 특성에 기본하여 본 토질정수의 교란·불교란 구분시에는 불교란 시료에 대해서는 그 비가 50이상으로 커지며 교란시료에 대해서는 50미만으로 작아져 그 타당성을 확보하였다. 또한, 물리적 특성에서의 동질성을 보이는 지구별 즉 국지적으로 구분시 각 지구가 간극비와 압축지수의 관계에서 어느 정도의 동질성을 보이는 관계를 획득하였으며 이러한 것을 국지적으로 다루지 않고 총괄적인 대표 식으로 산정시 침하량을 과소평가하는 결과를 초래할 수 있다.

각 조사지역의 자료의 축적을 통하여 토질정수간의 관계를 도출하였고, 이러한 관계를 통하여 이 지역의 토질 특성을 파악할 수 있었다. 또한 향후에도, 이 지역의 토질시험시 참고자료로 활용할 수 있는 근거가 된다. 앞으로 지반 조사 데이터에 대한 각종 DB화 작업이 이루어져야 할 것이다. 또한, 토질시험 데이터 정리에 대한 어떠한 양식 규정이 있었으면 한다. 기술자가 보고 흙을 판단할 수 있게 정리될 수 있는 규정의 필요성은 각 회사마다 그 양식이 틀려 기술자가 그 것을 다시 정리하고 판단하는데 시간이 많이 소비되기 때문이다.

참고문헌

- 김상규, 박성재, 정성교 (2001), "대심도 연약지반에 시공된 매립단지 및 구조물의 기초공법에 대한 평가", ISSMGE ATC-7 Symposium, pp. 3-24
- 이용길, 이영남 (1998), "채취된 시료의 교란도에 따른 토질 특성변화에 대한 연구", 한국지반공학회 '98 봄학술발표회 논문집, pp. 67-74
- 정경환 등(2001), "양산지역의 한일 공동조사 결과", ISSMGE ATC-7 Symposium, pp. 165-183
- 정성교,곽정민, 김규중, 백승훈 (2001), "부산점토의 지반공학적 특성에 관한 고찰", ISSMGE ATC-7 Symposium, pp. 27-41
- 조기영, 이대명, 정성교 (1997), "낙동강 유역의 충적점토에 대한 토질특성", 동아대학교 연구 논문집, 제 21권 제 1호, pp. 47-55
- 신은철, 김기한 (1995), "인천해안지역에 분포하는 해성점토의 토질특성" KGS Spring '95 Conference, pp. 15-20
- 한국지반공학회 (1998), 양산 물금지구 연약지반 관련 학술연구 용역 보고서, pp. 4.1-4.68
- 한영철 (2001), "낙동강 유역의 연약점성토 퇴적 특성에 대한 고찰" ISSMGE ATC-7 Symposium, pp. 45-53
- 황정규 (1999), 건설기술자를 위한 지반공학의 기초이론, 구미서관 pp. 349-391
- AMR S. Azzouz, Raymond J. Krizek and Ross B. Corotis (1976), "Regression Analysis of Soil Compressibility", Soils and Foundations, Vol. 16, No. 2, pp. 19-29
- A. Nakase, Osamu Kusakabe and H. Nomura (1985), "A method for correction of undrained shear strength for sample disturbance", Soils and

Foundations, Vol. 25(1), pp. 52-64

A.W.N. Al-Khafaji and O.B. Andersland(1992), "Equations for Compression Index Approximation," ASCE. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 108, No. 1, pp.148-153

Burland J. G. (1990), "On Compressibility and Shear Strength of Natural Clays", Geotechnique, Vol. 40, No. 3, pp. 329-378

Charles C. Ladd and T. William Lambe (1964), "The strength of "Disturbed" clay determined from undrained tests", ASTM STP 361, pp. 342-371

Chung S. G., Giao P. H., Kim G. J. and Leroueil, S. (2001), Geotechnical properties of Pusan clays, submitted to Canadian Geotechnical Journal

Gholamreza Mesri, A. M. ASCE and Paul M. Godlewski., (1977) "Time-and Stress-Compressibility Interrelationship", Journal of the Geotechnical Engineering, pp. 417-430

Herrero, O. R. (1980). "Universal compression index equation." J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, 106(11), pp. 1179-1200

Koppula, S.D., "Statistical Estimation of Compression Index," Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 4, No. 2, June, 1981, pp 68-73

Lame, T. W., Whitman, R. V., (1986), Soil Mechanics, SI Version, John Wiley & Sons, Inc.

Li, K. S. (1991). Discussion of 'Correlations between index tests and compressibility of Egyptian clays'. Soils and Foundations, 31(3): pp. 146-148

Oswald Rendon-Herrero, A. M. ASCE (1983) "Universal Compression Index Equation" Journal of the Geotechnical Engineering pp. 753-761

Peck, R. B., Hanson, W. E., and Thornburn, T. H. (1973), Foundation

Engineering, 2nd ed., John Wiley and Sons.

Skempton, A. W. & Henkel, D.J.(1957), "Tests on London Clay from Deep Borings at Paddington", Victoria and the South Bank. 4th ICSMFE, Vol.1, pp. 100-106

Skempton, A. W. & Bjerrum L. (1980), "A contribution to the Settlement analysis of foundation on clay", Soils and Foundations

梶鳥, 孝, 油田敬吾(1969); 有明軟弱土 にあける 壓密特性値 の 相關性 について, 土と基礎, vol.17 No.1, pp. 39~42

鬼塚克忠, 吉武茂樹(1985); 有明粘土 の 壓縮指數 と 物理的 性質 の 相關, 土と基礎, vol. 33 No. 4, pp. 57~59

감사의 글

대학 3학년 때부터 어학연수로 대학원을 1년간 휴학한 것을 제외하더라도 꼬박 4년을 정 두 회 지도교수님과 실험실 오빠들과 보낸 실험실 생활입니다. 제일 황금기 같은 시절을 학교 집 학교로 다람쥐 쳇바퀴 돌듯이 보냈지만 이제 사회생활을 막 시작하는 사회 초년병으로서는 그 모든 시간들이 소중한걸 벌써 그리워합니다. 토목을 시작하면서 여자로서의 자리매김에 힘들어 할 때 늘 격려해주시고 때로는 짧은 생각에 저지른 수많은 잘못에 아버지처럼 호되게 야단쳐 주시고 또 뒤돌아서서 마음이 아파 달래주시던 교수님, 힘들어 그만 두겠다던 생각에 실험실 생활을 접으려 할 때마다 다 받아주시던 교수님 전 그 은혜를 잊지 않으렵니다. 제 논문의 주심이자 늘 공대에서 공부하는 것을 기특하게 여기고 딸같이 귀여워해 주시고 많이 격려해주신 이 동 옥 교수님, 늘 그윽한 웃음과 조용조용한 말솜으로 강의를 재미있게 해주신 토질 정 진 호 교수님, 구조역학에 대해 자신감을 갖게 해 주시고 늘 다정다감하게 너무나 상세히 답변해 주시는 장 회 석 교수님, 시간 개념에 철저하시고 학생시절부터의 공학자의 자세를 강조하신 엄격하지만 자상하신 이 환 우 교수님, 많은 가르침을 주신 김 상 용 교수님, 김 종 수 교수님, 손 인 식 교수님, 이 종 섭 교수님, 이 종 출 교수님, 이 영 대 교수님, 김 명 식 교수님, 국 승 규 교수님, 이 상 호 교수님 감사합니다.

우리 실험실 1기 대학원생이고 학사장교를 마치고 한창 논문을 쓰고 있는 재 환오빠, 실험실과의 인연을 닿게 해준 2기 종태오빠, 실험실 입실 동기인 덕 에 늘 챙겨주려 애쓰며 함께 이끌어 주려던 유돈오빠, 비록 석사모를 같이 쓰지는 못하지만 엔지니어링 회사에서 열심히 일하고 있는 태완이, 늦게 합류해서도 실험실의 중추가 된 세심한 용준오빠, 성격 좋고, 후배들 많이 사주고 모든 일에 앞장서서 추진하는 말이 준명오빠, 사회에 나와서 어떻게든 실험실 후배들 취직시키랴, 사회 실무 가르쳐주랴 동분서주하는 종철오빠, 늘 자기일

보다 다른 사람 일에 앞장서서 도와주려는 도희오빠, 의젓하게 자리를 지키는 태효오빠, 아직도 신사같이 보이기만 하는 태환오빠, 독자적이고 창조적인 생각에 때로 보수적인 나랑은 의견일치가 안 되었던 훈규오빠, 실험실 막내둥이 이자 실무를 접하고 들어와서 그런지 성격 좋고 일 잘하는 도형오빠 이외에도 많은 산업대학원 선배님들 정말 모두에게 너무나 감사할 따름입니다. 늘 옆에 있어주고 힘들 때마다 같이 울고 웃어주던 측량실 유미언니, 많이 들어 주시고 조언해 주신 수리실 인주선배, 실험에 대해 많은 조언을 주던 토질실 병길선배, 프로그램이나 공부에 많은 조언을 주고 늘 선배로써 많은 조언을 주신 태순선배. 생각하면 왜 그 때는 이해하지 못했을까 하는 후회가 막심하지만 이제는 웃을 수 있는 것 같습니다.

자식에 대한 사랑에 한없이 주고도 또 주시는 사랑하는 아버지, 같은 동문이며 기계공학을 전공하셨지만 많은 인생의 우여곡절로 지금은 가족의 뒷바라지를 위해 관광버스를 운전하시는 아버지 많은 것을 포기하고 고생하셨지요. 자식에게 남겨줄 것은 재산보다 머리에 든 산지식이라며 늘 격려해주신 든든한 아버지 늘 아버지의 성실함을 배우겠습니다. 때로는 친구같이 힘들 때마다 버팀목이 대어준 여리지만 강한 내 어머니, 많이 배우는 것보다 인간미가 더 중요함을 강조하시는 어머니, 꼭 그 말씀대로 살도록 노력할 겁니다. 지금은 서울에서 인테리어 회사에서 건축 일을 하고 있는 멋진 내 남동생 종훈이와 곧 결혼할 나미, 종훈아 철없는 누나 이해해주고 든든한 힘이 되 주어 고맙구나.

논문의 많은 자료 수집을 위해 도움을 주신 동아지질의 윤연수 과장님, 김동해 과장님, 실무적인 경험이 부족한 저에게 많은 조언을 주신 동아지질의 정경환 사장님 감사합니다. 주신 조언을 좀더 향상된 자세로 받아 들여야 하는데 많이 부족한 것 같아 부끄러울 따름입니다.

논문을 다 완성하지 못한 채 취직한 탓으로 학회모임이나 여러 일정으로 회사를 비울시 늘 따뜻하게 격려해주신 첫 번째 직장인 대한콘선탄트의 김응상 이

사님, 임대호 차장님, 이상호 차장님, 이선집 차장님 그리고 이 회사와 인연을 맺게 해준 김종철 대리님에게도 한번 더 감사한 마음을 전하고 싶습니다. 난에 꽃을 피우기 위해서는 한 겨울동안 죽지 않을 정도로 말려야 합니다. 그렇게 많은 고통을 겪은 난일수록 따뜻한 봄날 그 만개한 꽃대에서의 꽃은 화려하고 그 향내가 그윽하게 된다고 합니다. 아직은 그 꽃을 피우기에는 더 많이 배우고 더 많은 시련을 겪어야 함을 알고 있습니다. 이제 시작입니다. 제게 주신 많은 관심과 사랑에 보답하기 위해서라도 사회에서 늘 성실히 제 직분에 충실한 인간미 넘치는 설계자가 되기 위해 노력하겠습니다. 여러분 감사합니다. 그리고 사랑합니다.