



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위 논문

낙동강 하구 상부 퇴적사질토의 상대밀도와
세립분 함유율에 따른 전단강도와 투수성에
대한 연구

A Study on Shear Strength and Permeability to
Relative Density and Fine Content of Upper Sedimented Sandy
at the Nakdong River Estuary



2016년 7월

한국해양대학교 대학원

토목환경공학과

김병준

본 논문을 김병준의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장 : 서영교 (인)

위원 : 이재하 (인)

위원 : 김태형 (인)

2016년 07월 29일

한국해양대학교 일반대학원

목 차

List of Tables	4
List of Figures	6
Abstract	8
1. 서 론	1
1.1 연구의 배경.....	1
1.2 연구의 동향.....	3
1.3 연구내용 및 범위.....	4
2. 기존 연구	6
2.1 낙동강 하구 퇴적환경.....	6
2.1.1 녹산국가공업단지.....	6
2.1.2 신호지방공업단지.....	7
2.1.3 명지주거단지.....	7
2.1.4 임해공업단지.....	8
2.1.5 서낙동강교.....	8
2.1.6 김해공항.....	9
2.2 낙동강 지역 모래의 공학적 특성.....	11
2.2.1 물리적 특성.....	12
2.2.2 역학적 특성.....	15

2.3 주문진 표준사의 공학적 특성.....	17
2.3.1 물리적 특성.....	17
2.3.2 역학적 특성.....	19
3. 상부퇴적사질토의 물리적 특성.....	21
3.1 연구개요.....	21
3.1.1 시추조사.....	22
3.1.2 표준관입시험.....	22
3.2 분포 현황.....	24
3.3 심도별 물리적 특성.....	25
3.4 입도분포.....	27
3.5 XRD를 이용한 세립분 광물 분석.....	29
3.6 분석.....	31
3.6.1 퇴적특성.....	31
3.6.2 함수비 및 비중.....	32
3.6.3 입도분포.....	33
3.6.4 점토광물.....	34
4. 상부퇴적사질토의 역학적 특성.....	35
4.1 전단강도특성.....	35
4.1.1 시험절차.....	35
4.1.2 시료조성.....	37

4.1.3 시험결과.....	39
4.1.3.1 불교란 시료.....	39
4.1.3.2 재성형 시료.....	41
4.1.4 분석.....	51
4.1.4.1 불교란 및 재성형 시료.....	51
4.1.4.2 상부퇴적사질토와 낙동강 중류 모래 및 주문진 표준사.....	52
4.2 투수특성.....	54
4.2.1 시험절차.....	54
4.2.2 시료조성.....	57
4.2.3 시험결과.....	58
4.2.3.1 현장투수시험.....	58
4.2.3.2 실내투수시험.....	59
4.2.4 분석.....	60
5. 결론.....	62
감사의 글.....	64
참고문헌.....	66
부록 A.....	69

List of Tables

Table 2.1 Characteristic of sand at the Nakdong river midstream.....	13
Table 2.2 Results of permeability coefficient at the Nakdong river midstream.....	16
Table 2.3 Characteristics of Joomujin sand.....	18
Table 2.4 Direct shear test results of Joomunjin sand.....	19
Table 3.1 Range for investigation.....	21
Table 3.2 Properties of upper sedimented sandy soil.....	24
Table 3.3 Physical properties of upper sedimented sandy soil.....	25
Table 3.4 Results of water content.....	32
Table 3.5 Results of specific gravity.....	32
Table 3.6 Particle criterion of soil.....	34
Table 4.1 Test batch of direct shear tests.....	38
Table 4.2 Results of direct shear test on undisturbed sample.....	39
Table 4.3 Results of direct shear test on remolded sample.....	42
Table 4.4 Comparison of direct shear test results between undisturbed sample and remoulded sample.....	51
Table 4.5 Comparison of internal friction angle between midstream sand and upper sedimented sandy of Nakdong.....	52
Table 4.6 Comparison of direct shear test results between upper sedimented sandy of Nakdong river and	

Joomunjin sand	53
Table 4.7 Condition of constant head permeability test	57
Table 4.8 Limit of permeability coefficient application	58
Table 4.10 Results of permeability test in BH-1	58
Table 4.11 Comparison of permeability between midstream sand and upper sedimented sandy of Nakdong river	61



List of Figures

Fig. 1.1 Soil profile and soft soil improvement technique.....	2
Fig. 2.1 Map of research area.....	9
Fig. 2.2 Stratum cross section diagram of Nakdong river estuary.....	10
Fig. 2.3 Water content.....	12
Fig. 2.4 Particle size distribution of sand at the Nakdong river midstream.....	14
Fig. 2.5 Results of direct shear test at the Nakdong river midstream.....	15
Fig. 2.6 Results of constant head permeability test.....	16
Fig. 2.7 Particle size distribution.....	18
Fig. 2.8 Direct shear test results of Joomunjin sand.....	20
Fig. 3.1 The distribution of soil layers in Eco-delta city located at the Nakdong river estuary.....	23
Fig. 3.2 N value distribution of upper sedimented sandy soil.....	24
Fig. 3.3 Physical properties of upper sedimented sandy soils with depth	27
Fig. 3.4 Particle size distribution curve of representative sedimented sandy soil samples obtained from different depths of BH-1, 2, 3.....	28
Fig. 3.5 Representative results of XRD test.....	30
Fig. 3.6 Particle size distribution of Joomunjin,	

Nakdong river estuary and midstream sands.....	34
Fig. 4.1 Direct shear test under the constrained normal displacement condition.....	36
Fig. 4.2 Specimen saturation condition of direct shear tests.....	36
Fig. 4.3 Process of direct shear tests on saturation.....	37
Fig. 4.4 Remolded process of sample.....	38
Fig. 4.5 Results of direct shear test on dry specimen.....	40
Fig. 4.6 Results of direct shear test on saturation specimen.....	40
Fig. 4.7 Characteristics of shear strength for $D_r=20\%$ and fine content 0%.....	42
Fig. 4.8 Characteristics of shear strength for $D_r=20\%$ and fine content 5%.....	43
Fig. 4.9 Characteristics of shear strength for $D_r=20\%$ and fine content 10%.....	43
Fig. 4.10 Characteristics of shear strength for $D_r=20\%$ and fine content 15%.....	44
Fig. 4.11 Characteristics of shear strength for $D_r=30\%$ and fine content 0%.....	44
Fig. 4.12 Characteristics of shear strength for $D_r=30\%$ and fine content 5%.....	45
Fig. 4.13 Characteristics of shear strength for $D_r=30\%$ and fine content 10%.....	45

Fig. 4.14 Characteristics of shear strength for $D_r=30\%$ and fine content 15%	46
Fig. 4.15 Characteristics of shear strength for $D_r=40\%$ and fine content 0%	46
Fig. 4.16 Characteristics of shear strength for $D_r=40\%$ and fine content 5%	47
Fig. 4.17 Characteristics of shear strength for $D_r=40\%$ and fine content 10%	47
Fig. 4.18 Characteristics of shear strength for $D_r=40\%$ and fine content 15%	48
Fig. 4.19 Results of direct shear test	50
Fig. 4.20 Mimetic diagram of field permeability test	55
Fig. 4.21 Laboratory permeability test	56
Fig. 4.22 Remolded process of constant head permeability test	57
Fig. 4.23 Results of constant head permeability test	60

A Study on Shear Strength and Permeability to Relative Density and Fine Content of Upper Sedimented Sandy at the Nakdong River Estuary

Kim, Byeng Jun

Department of Civil and Environmental Engineering, Graduate School
of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

This study was a basic research to obtain the knowledge of physical properties of the upper sedimented sandy soil in delta City, located at the Nakdong river. The characteristics of shear strength and permeability to fine content and relative density were also investigated. The upper sedimented sandy soil near paddy and lower soft clay layers showed high percentage of fine content, and the rest area had about 5% of fine content. The specific gravity regardless of depth and location was almost constant. The upper sedimented sandy soil mostly had particle size about 0.1 ~ 0.4mm regardless of sedimentation environment and has illite, a clay mineral, in the entire soil samples. The results of direct shear test on remolded specimens of the upper sedimented sandy soil revealed that the friction angle and cohesion increased with relative density, but its effect was not significant. The fine content was significant, that as increasing it, the friction angle decreased and cohesion increased linearly. The permeability decreased with relative density and fine content, and the permeability of soil containing more than 15% of

fine content was independent on the relative density.

KEY WORDS : Upper sedimental sandy 상부퇴적사질토; Direct shear test 직접전단시험; Permeability 투수계수; Relative density 상대밀도; Fine content 세립분 함유율.



제 1 장 서론

1.1 연구의 배경

국토개발산업의 발전과 국민경제의 활성화에 따라 한정된 육지를 이용하기 위하여 주택단지, 공장용지, 항만 및 공항개발을 위해 해안 및 강 주변에 대규모 단지조성사업이 활발히 진행되고 있다. 또한 부족한 산업부지 확충과 새로운 건설부지 확보차원에서 해안 및 강 주변 연약지반의 활용도도 점차 증가하고 있으며, 대표적으로 낙동강 하구 델타지역에 위치한 연구지역은 서부산권에코델타시티 조성사업이 현재 진행 중이다. 에코델타 조성사업은 낙동강 하구를 기반으로 규모는 $11,888\text{km}^2$ (약 360만평)이며, 인구 약 7만5천명 수용이 가능하다. 또한 서부산권의 경제성장의 요충지이며, 경남·거제·부산을 잇는 교통중심지 역할을 담당할 예정이다(Kwater, 2014a).

낙동강 하구 델타지역은 국내에서 퇴적층의 심도가 가장 깊은 연약지반(최대 70m)으로 알려져 있다. 상부에는 실트질 층적토 또는 사질토층이 분포하며 아래로 연약한 실트질 점토층, 모래층 및 자갈층 순이다. 낙동강 하구 델타지역의 퇴적층은 제 4기 퇴적층으로 풍화암층 위에 퇴적되어있으며, 압밀침하를 유발하는 연약지반이 분포할 경우 일반적으로 연직배수공법과 재하성토에 의한 연약지반 개량공법이 적용되고 있다. 또한 장비의 주행성 확보 및 원활한 배수를 위해 토목섬유와 모래에 의한 수평배수층을 설치하는 것이 보편적 방법이다. 하지만 서해안의 경우와 다르게 낙동강 하구 델타지역은 상부퇴적사질토층이 연약지반 상부에 두텁게 분포하고 있으며, 본 연구의 대상지역의 경우 상부퇴적사질토층이 10~15m 층후로 전반에 걸쳐 분포하고 있다. 이와 같은 이유로 상부퇴적사질토층의 역할이 분명히 존재할 것으로 예상되며, 이를 무시하고 기

존 연약지반개량에서와 같은 P.E.T Mat을 포설 후 모래투수층을 두고 다시 P.E.T Mat를 포설하고 재차 성토를 하는 것은 문제가 있는 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 기존 설계방향의 적절성에 대한 보다 정확한 판단근거를 얻기 위해 낙동강 하구 델타지역에 위치한 연구지역의 상부퇴적사질토층에 대한 물리적 특성을 조사하였으며, 상대밀도와 세립분 함유율에 따른 전단강도와 투수성을 연구하였다. 추가적으로 본 연구결과를 낙동강 하구 델타지역의 연구지역에 설계 및 시공 시 기초적 근거 자료로 제시하고자 한다.

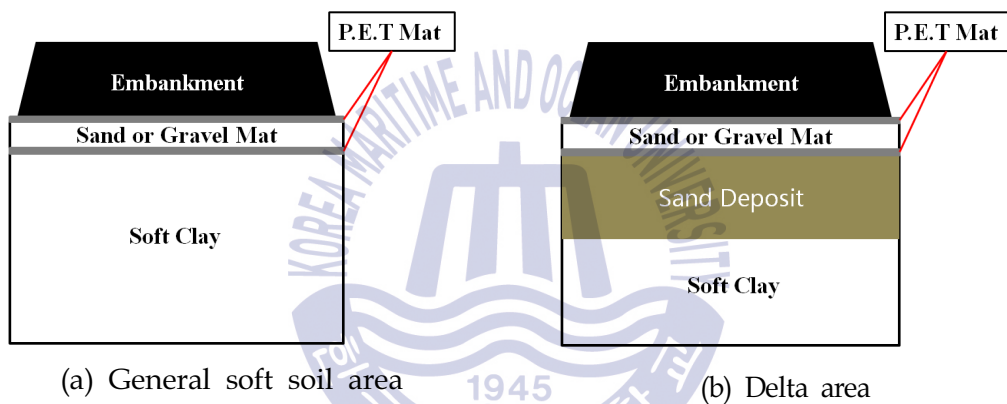


Fig. 1.1 Soil profile and soft soil improvement technique

1.2 연구의 동향

낙동강 하구에 관한 연구는 다양한 분야에서 수많은 목적으로 과거부터 현재까지 활발히 진행되어오고 있다. 특히 급진적인 건설기술 발달에 의한 연약지반개량의 효율성 증대, 공기 단축, 경제적 효율성의 증대는 낙동강 하구에 연약지반개량을 통한 부지 활용을 가능하게 하였으며, 이러한 이유로 다양한 분야에서 지리적 이점이 큰 낙동강 하구 녹산, 신호, 임해, 명지 등에 대한 국토개발사업이 활발히 진행되었다. 또한 국토개발사업을 진행하기 앞서 낙동강 하구 지역에 대한 연구들이 선행(Bak, 1998; Jang, 2004; Lee, 2012)되었다. 대표적으로 Bak(1998)은 낙동강 하구 녹산, 신호, 임해, 명지, 김해공항 부지에 대한 퇴적특성을 연구하였다. 연구의 핵심적 내용은 낙동강 하구의 전반적 퇴적층상과 연약점토층의 거동에 대한 연구이며, 상부사질토층에 대한 연구는 함수비가 유일하다. 뿐만 아니라 서낙동강교 건설을 위한 연구의 일환으로써 말뚝길이 감소를 위해 하부 모래지반에 대한 연구가 선행(Lee, 2012)되었으며, 낙동강 하구 지역에 대단위 부지조성과 관련하여 예측된 침하에 비하여 과대침하가 발생하는 원인을 규명하고자 퇴적사질토층에 대한 침하량 산정 연구도 선행되었다(Kim et al., 2011).

낙동강 하구 델타지역에 관련된 연구는 주로 상부퇴적사질토층 아래에 두텁게 분포하고 있는 연약점토층의 물리·역학적 특성 연구에 초점이 맞춰져 진행되었으며, 구체적으로는 점성토의 압밀특성의 규명 및 연직배수재와 관련된 적용성 평가 등이 대표적이다(Chung, 2005; Chung et al, 2010a, 2010b, 2010c). 결과적으로 현재까지 선행되어 온 기존의 연구 내용으로 보아 낙동강 하구 델타지역 상부퇴적사질토층에 관한 구체적 연구는 진행 된 바가 없으며, 향후 낙동강 하구 델타지역의 효율적, 경제적 설계 및 시공을 위해서는 퇴적사질토층에 대한 연구가 반드시 필요하다.

1.3 연구내용 및 범위

본 연구의 목적은 낙동강 하구 델타지역에 위치한 연구지역의 상부퇴적사질토에 관한 물리·역학적 특성을 연구하여 효율적이고 경제적 설계를 위한 근거 자료의 제시에 있다. 이유는 낙동강 하구 델타지역은 연약점토층이 상부에 노출되어 있는 서해안 지역과 달리 상부퇴적사질토층이 연약점토층 상부에 두텁게 분포하고 있기 때문에 이에 대한 충분한 연구가 요구된다.

본 논문은 총 5장으로 구성되었으며 제 1장 서론과 제 5장 결론을 제외한 각 장의 구체적인 내용은 다음과 같다.

제 2장에서는 본 연구에 앞서 낙동강 하구 녹산, 신호, 명지, 임해, 서낙동강 교, 김해공항 지역에 대한 퇴적층상을 기존 연구를 통하여 조사하였으며, 낙동강 중류 모래 및 주문진 표준사와의 물리·역학적 비교를 통한 상부퇴적사질토의 상대적 효율성을 검증하기 위해 이에 대한 기존 연구를 조사하여 물리·역학적 특성을 제시 및 상부퇴적사질토와 비교분석하였다.

제 3장에서는 본조사를 통해 낙동강 하구 델타지역에 위치한 연구지역의 상부퇴적사질토층에 대한 물리적 특성을 조사하였으며, 3개소(BH-1, 2, 3)를 기준으로 시추조사를 수행하였다. 시추조사 결과를 통하여 연구지역 상부퇴적사질토층의 심도와 분포 현황을 조사하였고, 심도별로 채취된 시료의 세립분에서 점토를 분리하여 XRD 광물 성분 분석을 수행하였다. 마지막으로 델타지역을 포함한 낙동강 하구의 전반적인 퇴적특성을 일반화하기 위하여 기존 연구와 비교분석을 수행하였다.

제 4장에서는 채취된 상부퇴적사질토의 전단강도특성과 투수성을 알아보기 위하여 각각 직접전단시험과 현장 및 실내투수시험을 수행하였다. 직접전단시험은 3개소(BH-1, 2, 3)의 심도별로 채취된 시료를 상대밀도와 세립분 함유율에 따라 시료를 재성형 하여 시험을 수행하였으며, 불교란 시료 채취를 통한 시험도 함께 수행하여 상부퇴적사질토에 대한 전단강도특성을 분석하였다. 추가적으로 연구지역의 상부퇴적사질토와 낙동강 중류 모래 및 주문진 표준사를 비교

분석하여 상부퇴적사질토의 상대적 효율성을 검증하였다.

연구지역 상부퇴적사질토의 투수성 경우 시추를 통한 심도별 불교란 시료 채취가 사실상 불가능하여 현장투수시험을 수행하였으며, 현장투수시험을 통한 결과와 퇴적특성을 고려하여 정수위 실내투수시험을 수행하였다. 추가적으로 낙동강 중류의 실트질 모래와의 상대밀도 및 세립분 함유율에 따른 투수성을 비교분석하여 상대적 효율성을 검증하였다.



제 2 장 기존 연구

2.1 낙동강 하구 퇴적환경

낙동강 하구 델타지역 상부퇴적사질토층은 설계 및 시공법 선정에 있어 매우 중요한 요인으로 작용한다. 상부퇴적사질토층의 분포도를 조사하기 위해서 시추조사와 델타지역을 연구한 기존 문헌(Kwater, 2014b)조사를 수행하였다. 또한 조사 자료의 신뢰성을 확보하기위해 기존 문헌 결과를 추가적으로 분석하였다. 기존 문헌 연구를 통한 낙동강 하구의 전반적인 퇴적환경을 조사하여 연구지역과 비교함으로써 낙동강 하구 전 지역에 대한 퇴적특성을 일반화하며, 결과적으로 연구지역에 대한 연구결과의 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

2.1.1 녹산국가공업단지

부산광역시 강서구 송정동 하부 녹산국가공업단지 내에 위치하고 있다. 기반암, 모래질 자갈층, 실트질 모래층, 실트질 점토층, 실트질 모래층의 1 순환과정의 퇴적구조를 나타내고 있으며, 조사된 퇴적층의 최대두께는 71.0m이다. 연약점토층은 단지 내 전지역에 걸쳐 14.8~55.0m 두께로 대단히 두텁게 분포하고 있다. 또한 실트, 모래, 패각이 함유되어 있으며, 층 내부에 최대 3.5m 두께의 모래질 자갈층이 Lens상으로 협재되어 있다. N치는 0~50이상으로 변화가 심한 편이다. -30m를 경계로 상부는 0~10의 대단히 연약내지 중간정도 견고한 상태이며, 하부는 10이상의 견고내지 고결된 상태이다. 상부 실트질 모래층은 2.5~13.3m 두께로 실트, 점토, 세립질 모래가 혼재 되어있다. 일정한 퇴적양보다 박층의 실트질 점토층이 교호되거나 점토, 점토질 실트, 모래질 실트층이 우

세하게 분포하기도 한다. N치는 1~20의 분포대이나 전반적으로 10이하의 대단히 느슨내지 느슨한 상태이다(Bak, 1998).

2.1.2 신호지방공업단지

부산광역시 강서구 신호동 서낙동강 하구지역 서측에 위치하고 있다. 모래질 자갈층, 실트질 모래층, 실트질 점토층, 실트질 모래층의 1 순환과정의 퇴적구조를 나타내고 있다. 전체부지에서 조사된 퇴적층의 최대두께는 73.0m이다. 연약점토층은 19.8~60.1m의 두께로 하부 실트질 모래층과의 경계부에서는 점토질 실트, 세립질 모래섞인 실트상태로 분포되어 있으며, 패각이 함유되어 있다. 상부에서는 N치는 1~3의 대단히 연약내지 연약한 상태이나 하부에서는 3~9의 연약 내지 중간정도 견고한 상태이다. 상부 실트질 모래층은 일부 지표면을 형성하고 있는 0.5~2.6m 두께의 매립층 하부에 분포하고 있으며, 2.2~13.5m 두께의 실트섞인 세립질 모래로 구성되어있다. 패각도 발견 할 수 없고 실트질 점토가 혼재되어 있다. N치는 2~11의 대단히 느슨내지 중간정도 조밀한 상태이다(Bak, 1998).

2.1.3 명지주거단지

부산광역시 강서구 명지동 명지주거단지 매립지로서 서낙동강 하구지역 동측에 위치하고 있다. 기반암, 모래질 자갈층, 모래층, 점토층, 실트질 모래층의 1 순환과정의 퇴적구조를 나타내고 있으며, 조사된 퇴적층의 두께는 66.0~79.8m이다. 연약점토층은 19.0~21.0m의 두께로 실트 및 패각이 함유되어 있는 해안성 퇴적물로 구성되어 있다. 세립질 모래층이 Lens상으로 협재되어 있으며, N치는 2~6으로 대단히 연약한 상태이다. 하지만 세립질 모래의 영향으로 일부구간에서 N치는 상승현상을 보인다. 지표면을 형성하고 있는 매립층의 하부에 분포하고 있는 상부 실트질 모래층은 8.6~11.0m 두께로 패각이 발견되지 않는 실트섞인 세립내지 중립질 모래로 구성되어 있다. N치는 2~22의 대단히 느슨내

지 중간정도의 조밀한 상태이다(Bak, 1998).

2.1.4 임해공업단지

낙동강 본류 하구부의 다대포지역 일대에 위치하고 있다. 기반암, 모래질 자갈층, 실트질 모래층, 실트질 점토층, 실트질 모래층의 1 순환과정의 퇴적구조를 나타내고 있으며, 전체부지에서 조사된 퇴적층의 두께는 해수면 1.7m 하부에 최대 70.0m이다. 또한, 이 지역의 특성상 해진, 해퇴의 해수준 변동과 삼각주의 전진 등 퇴적속도의 복잡한 퇴적환경으로 인하여 퇴적구조가 다른 지역에 비해 불규칙하게 분포되고 있는 특징을 나타내고 있다. 연약점토층은 5.0~45.0m 두께로 바다측으로 두터워지고 동서 방향은 서측으로 갈수록 두터워지는 경향이 있다. 실트섞인 점토, 점토로 구성되어 있으며, N치는 4~8의 연약내지 느슨한 상태이다. 상부 실트질 모래층은 5.0~15.0m 두께로 분포하고 있으며, N치는 12~47의 중간내지 조밀한 상태이다(Bak, 1998).

2.1.5 서낙동강교

부산광역시 강서구 강동동과 봉림동을 연결하는 교량이다. 지반조사결과 퇴적심도는 61.0~64.0m 정도이며, 지층은 상부로부터 매립층, 충적층, 풍화암, 연암의 순으로 분포하고 있다. 최 상부를 기점으로 실트질 모래층이 0.7~1.0m 분포하고 있으며, 아래로 중립 및 조립 모래층이 평균 13.0m 두께로 분포하고 있다. N치는 0~14로 대단히 느슨한 상태이다. 연약점토층은 7.0~10.0m 두께로 분포하고 있으며, N치는 0~8로 대단히 느슨한 상태이다. 아래로는 모래섞인 실트 및 모래층이 22.5~23.0m 두께로 분포하며, N치는 6~50으로 현 구간의 상부의 경우 느슨한 상태이지만 심도가 깊어질수록 N치는 커지는 경향을 보인다. 다음으로는 실트섞인 점토층이 3.0~3.5m로 비교적 얇은 두께로 분포하고 있으며, N치는 15~50으로 중간 또는 대단히 조밀한 상태이다(Lee, 2012).

2.1.6 김해공항

부산광역시 강서구 대저2동의 김해공항 부지에 위치하고 있다. 기반암, 모래질 자갈층, 실트질 모래층, 실트질 점토층, 실트질 모래층의 1 순환과정의 퇴적 구조를 나타내고 있다. 하천측 보다는 내륙측에 위치하고 있어 기반암층이 확인되고 있으며, 조사된 퇴적층의 두께는 46.8~47.3m이다. 연약점토층은 32.2~41.2m 두께로서 매우 두텁게 분포하고 있다. 층 내부에 3.5~6.0m 두께의 실트질 모래층이 Lens상으로 협재되어 있다. 모래, 실트의 함유가 높으며, 세립질 모래, 실트섞인 점토, 모래섞인 실트, 점토섞인 실트가 교호되며 분포하고 있다. N치는 3~30의 연약내지 견고한 상태이다. 일부 구간의 층 하부에서는 모래의 영향으로 N치는 20이상의 견고한 상태이다. 매립층 하부에 위치하는 상부 실트질 모래층은 일부 구간에서 8.5m 두께로 분포한다. N치는 17~22의 중간정도 조밀한 상태인 실트, 세립질 모래로 구성되어 있다(Bak, 1998).

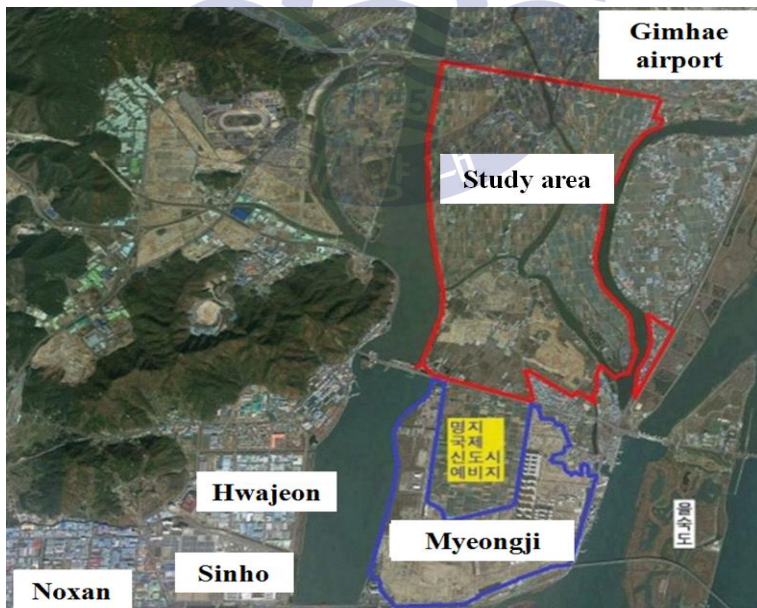


Fig. 2.1 Map of research area

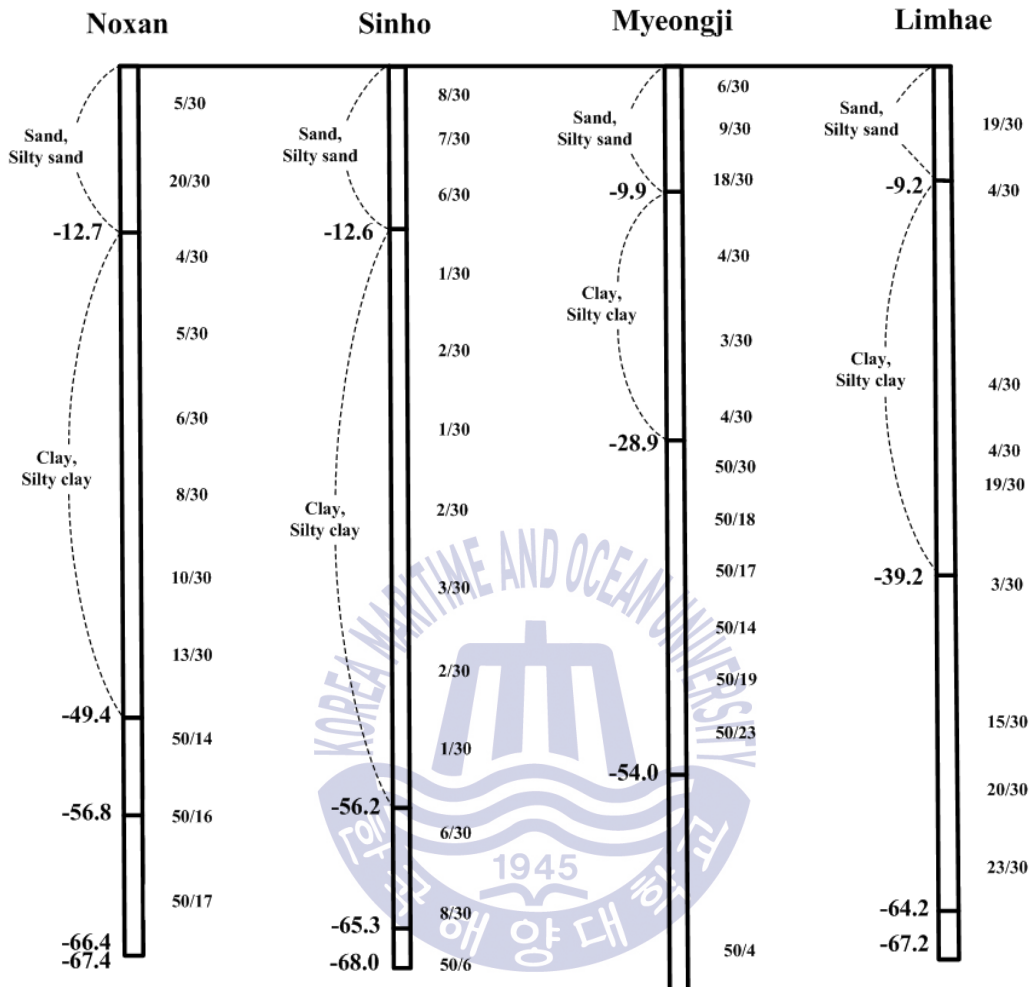


Fig. 22 Stratum cross section diagram of Nakdong river estuary(Bak, 1998)

2.2 낙동강 지역 모래의 공학적 특성

모래는 사회 기반시설공사에서 필수적으로 사용하는 재료중의 하나이다. 모래는 콘크리트 등의 건설 구조용 재료에 사용될 뿐만 아니라 간척사업, 항만공사와 같은 대규모 공사에서 성토재, 매립재, 뒷채움재 등의 재료로서 폭넓게 사용되고 있다. 국내에서 생산되는 대부분의 모래는 하천과 바다에서 굴착된 것이다. 과거에는 주로 낙동강 중류 하천에서 나오는 모래를 건설재료로 사용하였으나, 자원의 고갈과 운송비 증가 등의 문제로 인해 바다모래를 사용하는 곳이 증가하는 추세이다.

모래는 전단강도 및 물리·역학적 특성은 밀도 또는 공극비에 큰 영향을 받는다. 하지만 밀도나 공극비는 절대적인 수치로서 흙의 역학적 상태와 직접적으로 연결하기는 어렵다. 따라서 모래의 역학적 상태를 정량적으로 표현하기 위해 주로 상대밀도와 세립분 함유율을 사용하고 있으며(Lambe & Whitman, 1979), 이에 대한 연구도 활발히 수행되었다(Kim & Kim, 2005, 2009; Cha, 2009; Gang, 2011; Zhou, 2015).

연구의 동향에서 설명한 바와 같이 낙동강 하구 델타지역의 상부퇴적사질토층에 대한 구체적 연구는 미흡하며, Kwater(2014b)에서 최근 에코델타시티조성 사업을 기점으로 상부퇴적사질토에 대한 연구를 진행 중에 있다. 결과적으로 상부퇴적사질토층에 대한 선행 연구 내용이 부족하기 때문에 본 연구의 결과에 대한 신뢰성 검증에 다소 어려움이 있다. 본 연구에서는 기존에 선행 연구된 낙동강 지역 모래의 공학적 특성을 조사하고 상부퇴적사질토와의 비교분석을 수행하여 상대적 신뢰성을 검증하자 한다.

2.2.1 물리적 특성

Bak(1998)은 낙동강 하구 녹산, 임해, 명지, 신호 지역의 상부사질토층의 자연 상태 함수비를 조사하였다. 연구 대상지의 함수비는 40~50%범위 내에 분포하며, 아래 연약점토층의 경우 함수비가 50~70% 범위 내에 분포한다. 상부 사질토층과 연약점토층의 경계를 기준으로 함수비는 증가하는 경향을 보이며, 하부 사질토층의 경우 다시 함수비가 감소하는 경향을 보인다. 전체적으로 심도가 깊어질수록 함수비는 감소하는 경향을 보이지만 상부사질토층과 연약점토층의 경계를 기준으로 함수비는 증가하는 경향을 보인다(Bak, 1998).

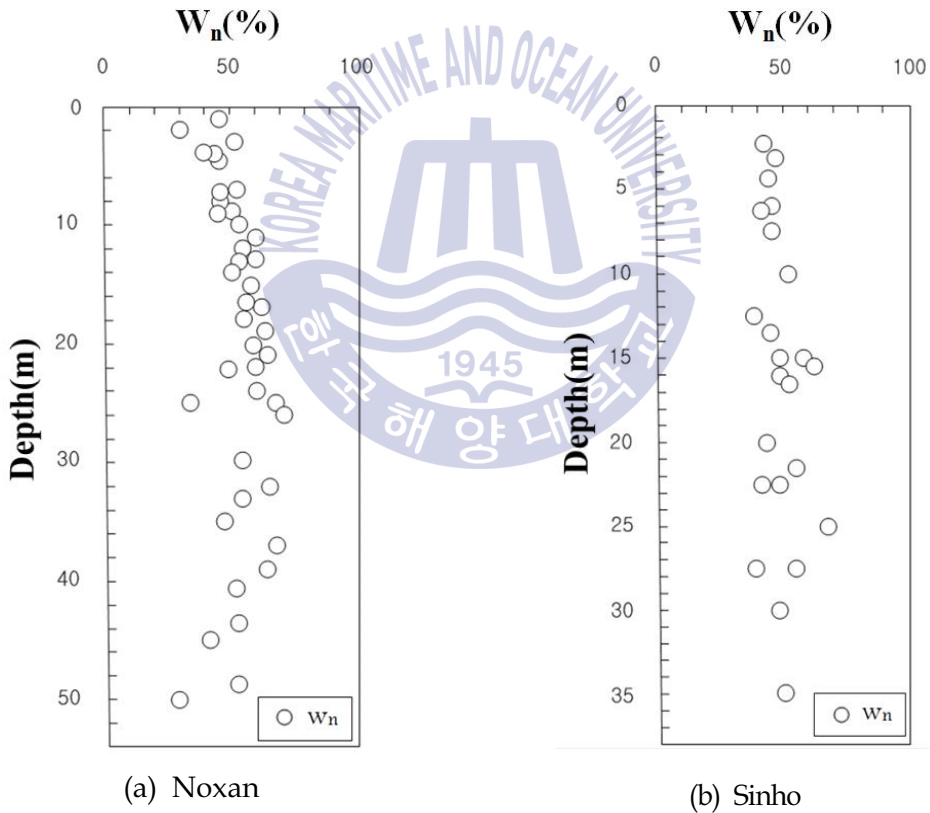


Fig. 2.3 Water content(Bak, 1998)

Kim & Kim(2005; 2009)은 낙동강 중류 모래에 대한 물리적 특성을 연구하였다. 연구에 사용된 모래는 낙동강 중류 지역의 모래로 채취 후 균질한 모래에 대한 시험을 위하여 #20~200체 사이의 잔류모래를 흐르는 물에 씻어서 Clean sand로 만들어 시험에 사용하였다. 시험 결과 비중(G_s)은 2.637, 균등계수(C_u)는 1.760, 곡률계수(C_g)는 1.113로 조사되었다. 일반적으로 모래는 균등계수(C_u)가 6보다 크고, 곡률계수(C_g)는 1~3이면 양입도로 판단한다. 곡률계수(C_g)는 양입도의 조건에 해당이 되지만 곡률계수(C_u)의 경우 조건에 부적합하여 입도 불량한 모래로 판단할 수 있으며, 통일분류법(USCS)에 의한 분류 역시 SP로 입도 불량한 모래로 나타났다. 또한 중간크기 모래와 가는 모래(0.1~1m)가 주로 분포하고 있으며, 모래시료에 대한 입도곡선 및 기본 물성치의 시험결과는 Fig. 2.4와 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Charateristic of sand at the Nakdong river midstream(Kim & Kim, 2005)

Index properties	Sand
G_s	2.637
D_{10}	0.25
D_{30}	0.35
D_{60}	0.44
C_u	1.760
C_g	1.113
e_{min}	1.138
e_{max}	0.727
Roundness	Subangular or Subrounded
USCS	SP

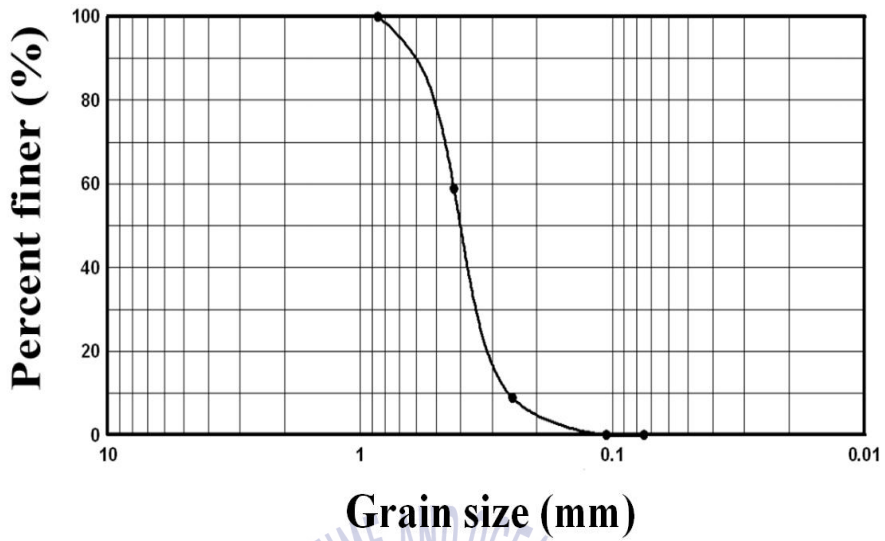


Fig. 2.4 Particle size distribution of sand at the Nakdong river midstream(Kim & Kim, 2005)



2.2.2 역학적 특성

Zhou(2015)는 낙동강 중류 모래를 이용하여 직접전단시험을 수행하였다. 시험에 사용된 모래는 대구광역시 달성군 낙동강 인근에서 채취하여 모래의 균질성을 유지하기 위해 #20~200체 사이의 잔류모래를 사용하였다. 연구에 사용된 낙동강 모래는 비중(G_s)은 2.58, 최대간극비(e_{max})는 0.93, 최소간극비(e_{min})는 0.66이다. 모래가 느슨한 경우 상대밀도는 41%이며, 건조단위중량 $13.97kN/m^3$ 으로 시료 성형하였고, 모래가 조밀한 경우 상대밀도는 83%이며, 건조단위중량 $14.89kN/m^3$ 으로 시료를 성형하였다. 느슨 및 조밀한 조건으로 직경 5cm의 원형 공시체를 성형한 다음 수직응력을 100kPa과 200kPa로 직접전단시험을 수행하였다. Fig. 2.5의 시료에 대한 전단응력-수평변위 관계이다. 이로부터 계산된 마찰각은 느슨한 모래의 경우 33° , 조밀한 모래의 경우 39° 로 나타났다.

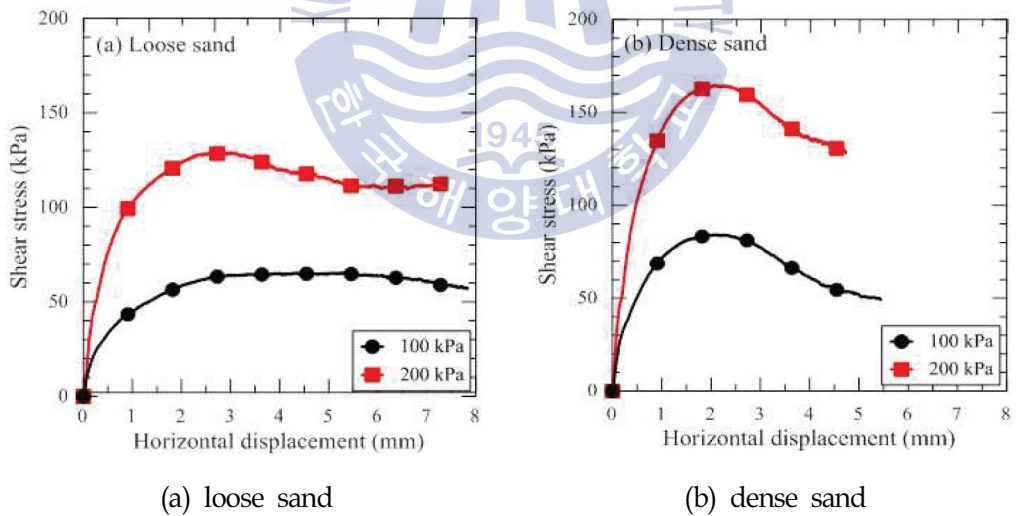
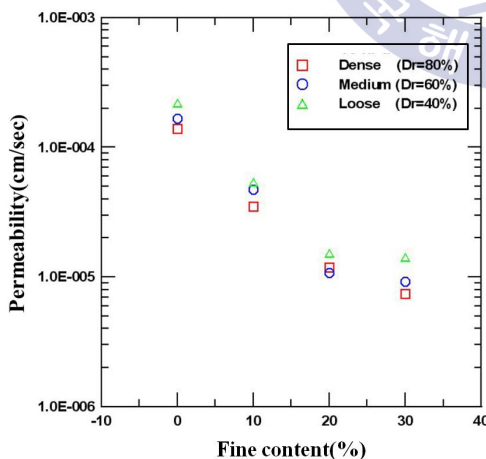


Fig. 2.5 Results of direct shear test at the Nakdong river midstream(Zhou, 2015)

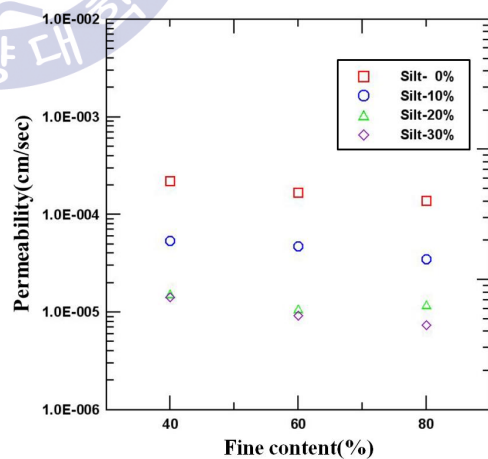
Gang(2011)은 낙동강 중류 실트질 모래를 사용하여 상대밀도 및 세립분 함유율에 따른 투수시험을 수행하였다. 시험조건은 #20~200체 사이의 잔류모래를 사용하였으며, 실트의 경우 모래를 채취한 장소에서 #200체 위의 시료를 제거한 뒤 남은 시료를 자연건조 시켜 사용하였다. 상대밀도 기준은 40%, 60%, 80%이며, 세립분 함유율은 0%, 10%, 20%, 30%를 혼합하여 시험을 수행하였다. 투수시험결과 실트 함유율의 증가에 대체적으로 투수계수 값이 낮아진다. 하지만 실트 함유율이 일정량 이상이 되면, 투수계수 값의 차이가 크게 나타나지 않게 되는 경향을 보인다. 결과는 Table 2.2와 같다.

Table 2.2 Results of permeability coefficient(Gang, 2011)

Relative density(%)	Fine content(%)	Permeability coefficient (<i>cm/sec</i>)	Remark
40	0	3.09E-04	Saturation
	10	7.05E-05	
	20	3.96E-05	
	30	2.44E-05	



(a) permeability vs. Fine content



(b) Permeability vs. Fine content

Fig. 2.6 Results of constant head permeability test(Gang, 2011)

2.3 주문진 표준사의 공학적 특성

국내 주문진 표준사는 1966년 KS L 5100(시멘트강도용 표준사) 표준에서 강원도 강릉시 주문진 읍 향호리 산으로 지정하여 현재까지 시멘트 관련 산업체, 학계, 연구소 등에서 널리 사용해왔다. 그러나 표준사 관련 국제표준 ISO 679의 경우 표준사의 품질기준을 SiO_2 함유율 98% 이상, 입도분포를 6단계로 세분화 하여 규정하고 있는 반면, KS L 5100은 SiO_2 함유율 규정이 없고 입도분포를 3단계로 규정하는 등 표준사의 품질기준에 큰 차이가 존재한다(MKE, 2008). 현재 주문진에서 생산되고 있는 주문진 표준사의 경우 생산업체에 따라 다소 차이가 있지만 향상된 생산 공정 과정을 통하여 그 품질의 우수성을 인정받고 있으며, 시멘트강도용 표준사로 국내에 보급되고 있다. 이와 같이 다양한 분야에서 사용되고 있는 주문진 표준사를 이용한 연구는 국내에서 과거부터 활발히 수행되어왔다(Eum et al., 2004; Kim et al., 2012). 본 연구에서는 지속적인 연구를 통해 KS를 기준으로 검증된 주문진 표준사와 연구지역의 상부퇴적 사질토에 대한 물리·역학적 비교분석을 위해 주문진 표준사에 대한 특성을 조사하고자 한다.

2.3.1 물리적 특성

Eum et al.(2004)은 주문진 표준사에 대한 물리적 특성을 조사하였다. 조사 항목으로는 함수비, 비중, 균등계수, 곡률계수, 통일분류법(USCS)에 의한 분류로 기초적 시험을 수행하였다. 자연 상태의 함수비(W_n)는 0.04%이며, 모래라는 점을 감안하여 액·소성한계는 배제하였다. 비중(G_s)은 2.627이며, 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_g)는 각각 1.9, 1.11로 조사되었다. 통일분류법(USCS)에 의한 결과로는 SP로 입도 불량한 모래이며, 가는 모래와 중간 크기의 모래(0.1~1mm)가 주류인 것으로 조사되었다. 물리적 시험을 시행한 결과는 Table 2.3이며, 입도 분포곡선은 Fig. 2.7과 같다.

Table 2.3 Characteristics of Joomunjin sand(Eum et al., 2004)

Sample	Joomunjin Sand
W_n (%)	0.04
W_p (%)	-
I_p	NP
G_s	2.627
C_u	1.9
C_g	1.11
USCS	SP
$\gamma_{d_{max}}$ (g/cm^2)	1.670
$\gamma_{d_{min}}$ (g/cm^2)	1.380

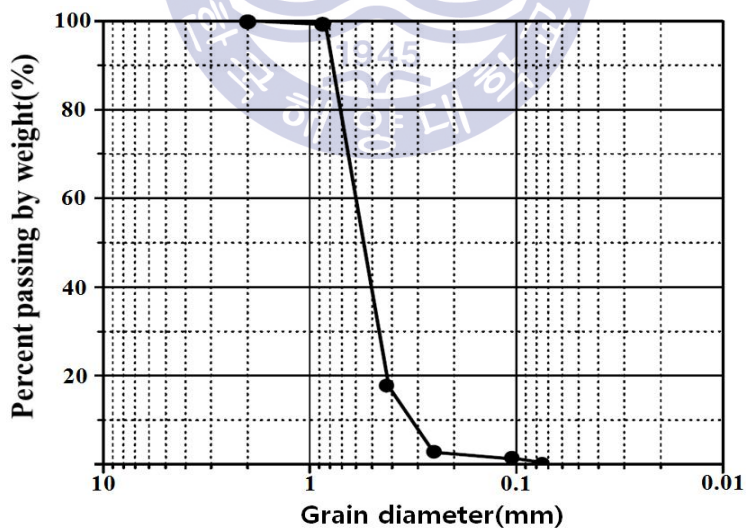


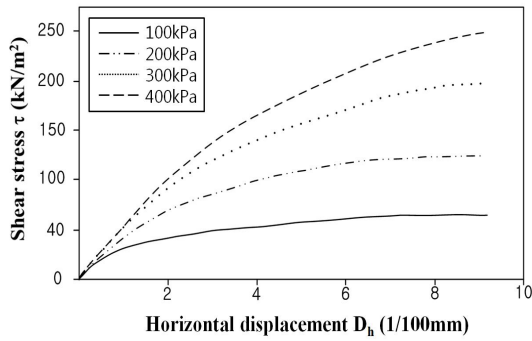
Fig. 2.7 Particle size distribution(Eum et al., 2004)

2.3.2 역학적 특성

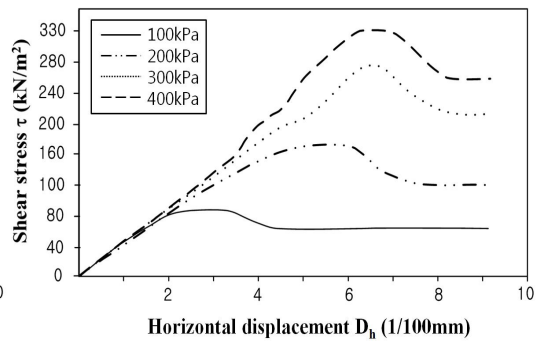
주문진 표준사를 이용한 직접전단시험을 통해 역학적 연구를 수행하였다 (Eum et al., 2004). 시험에서는 용기를 제작하여 7mm의 구멍을 통해 낙하 높이를 변화시키면서 낙하 시 몰드에 퇴적된 시료의 높이만큼 일정하게 용기가 시료의 밀도를 조절하는 공중낙하법을 이용하였다. 직접전단시험 조건은 상대 밀도 25%, 50%, 75%, 연직응력 100kPa, 200kPa, 300kPa, 400kPa로 직접전단시험을 수행하였다. 시험결과 주문진 표준사의 전단응력과 변형특성은 상대밀도 25%, 50%일 때 느슨한 모래의 경향을 나타내며, 전체적으로 뚜렷한 파괴점 (Peak Point)을 나타내고 있지 않다. 정점 이후에 계속 변형되어도 전단저항 응력이 하강되지 않고 더 이상의 응력의 변화가 없는 탄·소성거동을 나타내고 있다. 상대밀도가 75%일 때는 확실한 파괴점을 나타내고 있고, 파괴점 이후에 계속 되는 변형에 어느 정도 저항하다가 일정한 수준에서 곡선이 더 하강하지 않고 그대로 유지되는 유연성 파괴를 나타낸다. 상대밀도 50% 이하에서는 점착력(c)는 1.3kPa, 내부마찰각(ϕ)는 32° 정도로 유사하고, 상대밀도 75%에서는 점착력(c)는 12.80kPa, 내부마찰각(ϕ)는 37.93°으로 크게 나타났다. 결론적으로 전단정수의 변화를 분석한 결과, 상대밀도가 25%, 50% 일 때 Coulomb의 파괴포락선에 의한 내부마찰각은 30° ~ 32° 정도이고 상대밀도가 75%일 때 38° 정도로 나타났다. 결과는 Table 2.4와 같다(Eum et al., 2004).

Table 2.4 Direct shear test results of Joomunjin sand(Eum et al., 2004)

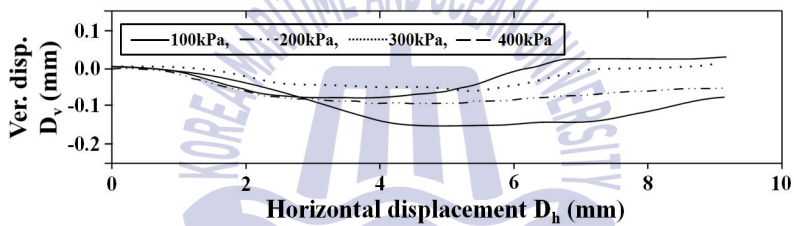
Sample	Relative density(%)	Cohesion (kPa)	Internal friction angle(°)	Remark
Joomunjin standard sand	25	1.3	32	Fine content 0%
	50			
	75	12.80	37.93	



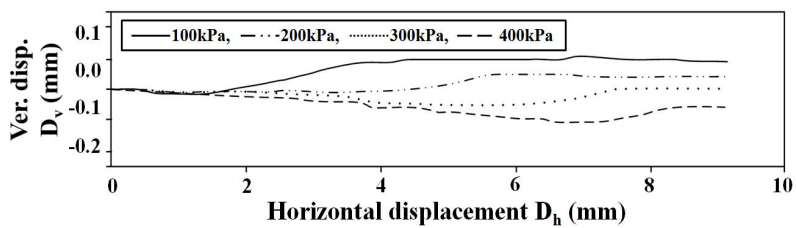
(a) Shear stress vs. Horizontal displacement ($D_r=25\%$)



(b) Shear stress vs. Horizontal displacement ($D_r=75\%$)



(c) Vertical displacement vs. Horizontal displacement ($D_r=25\%$)



(d) Vertical displacement vs. Horizontal displacement ($D_r=75\%$)

Fig. 2.8 Direct shear test results of Joomunjin sand (Eum et al., 2004)

제 3 장 상부퇴적사질토의 물리적 특성

3.1 연구개요

본 조사는 낙동강 하구 델타지역에 위치한 연구지역의 토질조사로서 현장조사, 현장시험 및 실내시험결과에 따른 지층의 구성 상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 등을 파악하고 조사된 각종 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공을 위한 공학적 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

연구지역의 조사 위치는 부산광역시 강서구 명지동, 강동동, 대저 2동 일원으로 총 4개의 공구로 구역이 구분되어 있다. 본 토질조사를 위한 위치의 선정은 현황 측량도상에서 시추조사 3개소를 계획한 후, 현장답사 및 기존 문헌을 조사하여 적합한 위치를 선정하였으며, Fig. 3.1은 조사위치를 나타내었다.

상기의 목적을 위하여 수행된 조사범위는 Table 3.1과 같다.

Table 3.1 Range for investigation

Section		Test methods
Field survey		Geostatistical integration of borehole
		Sampling of disturbed and undisturbed
Field test		Standard penetration test
		Field permeability test
Laboratory test	Physical test	Water content, Specific gravity, Particle size distribution, Sieve analysis
	Mechanical test	Constant head permeability test, Direct shear test

3.1.1 시추조사

시추조사는 델타지역에 위치한 연구지역 상부퇴적사질토층의 분포상태 및 기초공학적 자료를 수집하기 위하여 1, 2, 3공구에 대하여 각각 1개씩 총 3개소를 수행하였으며, 각 시추공의 굴진 심도는 조사목적에 감안하여 지표면하 15m 심도까지 굴진하였다.

본 조사지역의 시추조사는 NX Size로 시행하였고, 시추방법은 시추공의 붕괴를 방지하기 위하여 NX 규격의 케이싱을 설치하여 굴진작업과 병행하여 매 1.0m간격으로 실시하고 시험시에 분리형 샘플러(Split spoon sampler)에 의해 채취된 시료는 육안관찰 후 실내토성시험을 실시하기 위하여 시료병에 넣어 운반하였다. 표준관입시험시 채취된 시료와 N치를 근거로하여 지층분포 상태를 확인 하였다.

3.1.2 표준관입시험

표준관입시험은 시추조사와 병행하여 지층의 상대밀도(Relative density), 연경도(Consistency index) 및 구성성분을 파악하기 위하여 한국산업규격(KS F 2307)에 규정된 방법에 의거 1.0m 간격으로 연속성 있게 실시하였으며, 교란된 시료도 함께 채취하였다. 표준관입시험에 의한 타격횟수(N치)는 중량 63.5kg의 해머를 76cm 높이에서 자유낙하시켜 표준외경 50.8mm의 분리형 샘플러(Split spoon sampler)가 30cm 관입하는데 소요되는 타격횟수로서 45cm 관입하는데 소요되는 타격횟수를 측정하였으며, 초기 15cm 관입에 소요된 타격횟수는 예비 타격으로 간주하여 제외하였고, 나머지 30cm 관입에 소요된 타격횟수를 관입저항치인 N치로 표기하였다. 그리고 지층이 대단히 조밀하여 50회 이상 타격을 가하여도 30cm 관입이 불가능한 지층에서는 50회 타격에 의한 관입량을 측정하여 주상도에 기록하였다. 표준관입시험에 의해 채취된 시료는 함수비의 변화가 없도록 시료병에 넣어 필요한 사항(조사명, 조사일자, 공번, 시료채취심도, N치, 토질명 등)을 기재하여 시료표본 상자에 정리 보관하였다.

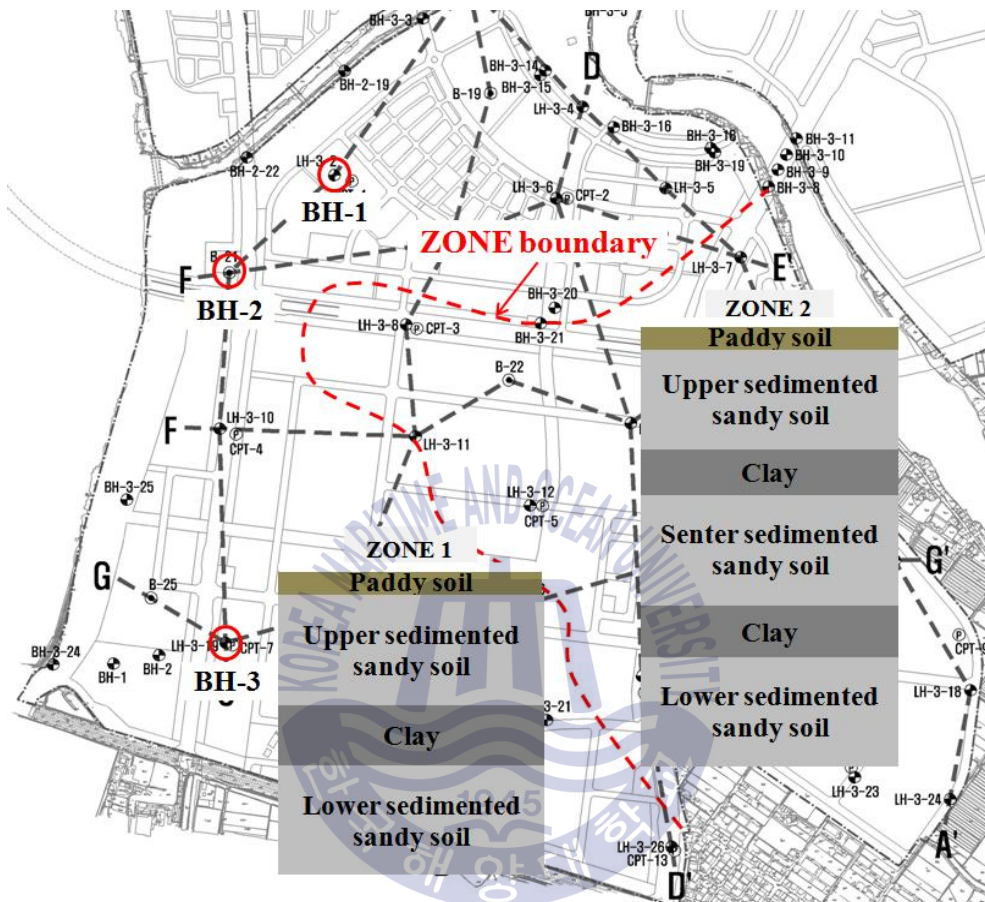


Fig. 3.1 The distribution of soil layers in Eco-delta City, located at the Nakdong river estuary

3.2 분포 현황

Kwater(2014b)는 낙동강 하구 델타지역의 상부퇴적사질토층 분포현황을 조사하기 위해 시추조사를 실시하였으며, 조사결과 상부퇴적사질토층의 분포심도는 4.0~13.0m를 이루며 표준관입시험결과 N치는 3~12로 측정되었으며, 대단히 느슨한 또는 중간정도 느슨한 상태인 것으로 판단된다. 낙동강 하구 델타지역에 대한 구체적인 조사 결과는 부록에 첨부되어 있다.

통일분류법(USCS)으로 토성을 분류한 결과 상부퇴적사질토층은 주로 실트질 또는 점토질 모래로 구성되어 있으며, 표준관입시험 결과를 이용하여 설계 시 내부마찰각은 25.0°, 점착력은 5.0kPa를 적용하였다(Table 3.2, Fig. 3.2)

Table 3.2 Properties of upper sedimented sandy soil(Kwater, 2014b)

Item	Value
Standard Penetration Test (SPT)	3~12
Unified Soil Classification System (USCS)	SM, SC
Internal friction angle applied in design(°)	25.0
Cohesion applied in design (kPa)	5.0

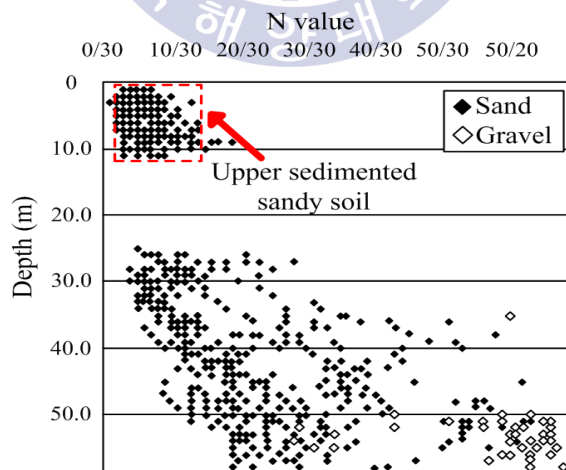


Fig. 3.2 N value distribution of upper sedimented sandy soil(Kwater, 2014b)

3.3 심도별 물리적 특성

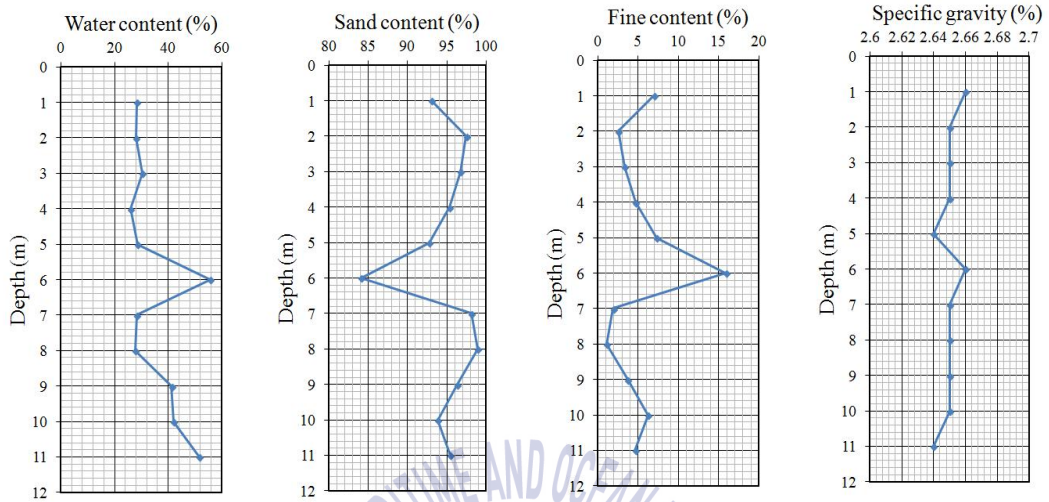
본 연구 대상지에서 수행된 3개소(BH-1, 2, 3)의 시추조사 결과에 의하면 조사지역의 지층은 상부로부터 전담토층, 상부퇴적사질토층, 연약점토층 순으로 구분된다. 전담토층은 조사지역의 최상부에 위치한 지층으로써 얇은 두께로 분포하고 있다. 지층의 구성성분은 대체로 실트질 점토 및 점토 구성되어 있으며, 통일분류법에 의한 분류는 ML로 나타나고 있다. 상부퇴적사질토층은 조사지역의 상부에 위치한 지층으로써 4~13m 정도의 두께로 두텁게 분포하고 있다. 지층의 구성성분은 실트 섞인 모래가 주로 구성되어 있으며, 국부적으로 점토질 모래가 분포하고 있다. 통일분류법에 의한 분류는 SM, SC로 나타났다.

본 연구에서는 3개소(BH-1, 2, 3)에 대한 심도별로 세분화된 조사를 수행하였다. 연구지역 상부퇴적사질토층의 일반적인 세립분 함유율은 20% 이하로 조사되었다. 하지만 BH-2의 2m 구간은 36.07%로 가장 높은 세립분 함유율을 갖는 것으로 나타났으며, 13m 구간에서도 26.58%로 비교적 높은 세립분 함유율을 나타내는 것으로 조사되었다.

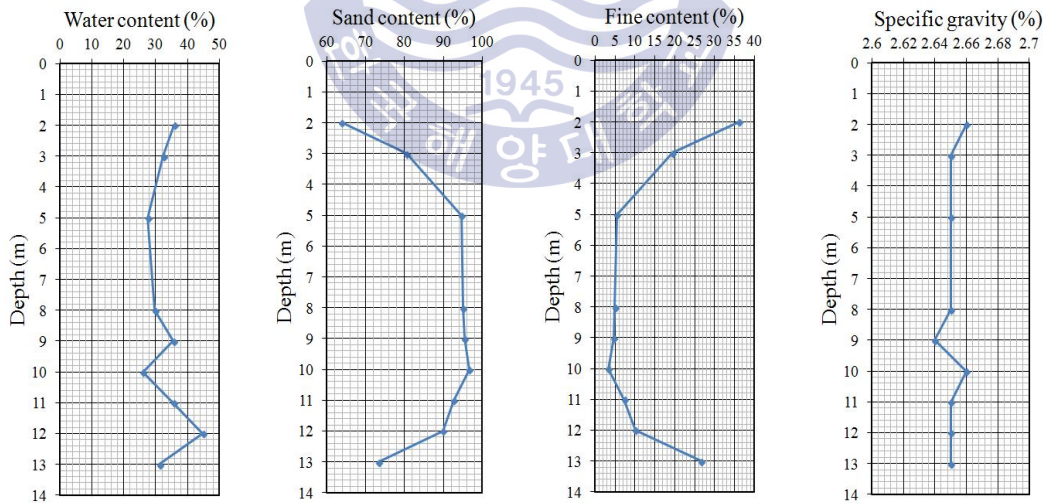
세립분 함유율이 높은 구간에서는 함수비가 높게 측정되었으며, 이는 세립분 함유율과 함수비가 비례관계를 나타내고 있다. 또한 전담토층과 하부연약점토층에 인접할수록 세립분 함유율이 증가하며, 함수비도 세립분 함유율에 비례하여 증가하는 경향을 나타내고 있다. 비중의 경우에는 2.62~2.66%로 전 구간 큰 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 3.3, Fig. 3.3).

Table 3.3 Physical properties of upper sedimented sandy soils

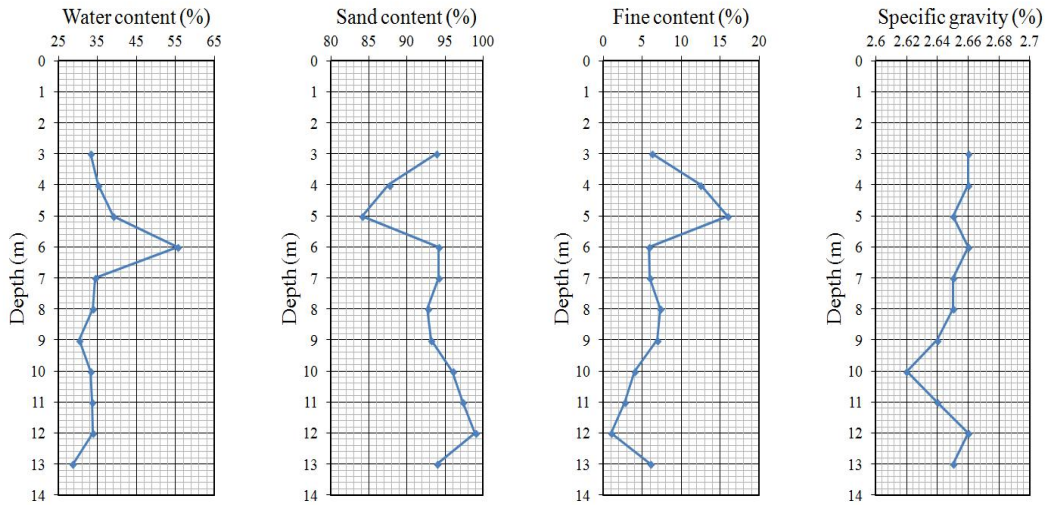
Borehole number	Water content(%)	Coarse(%)	Silt(%)	Clay(%)	Specific Gravity(%)
BH-1	26.09~55.61	84.13~98.91	0.79~12.67	0.3~3.2	2.64~2.66
BH-2	26.03~44.79	63.93~96.66	2.54~28.27	0.8~7.8	2.64~2.66
BH-3	28.63~55.60	48.10~98.97	0.73~10.7	0.3~5.2	2.62~2.66



(a) BH-1



(b) BH-2



(c) BH-3

Fig. 3.3 Physical properties of upper sedimented sandy soils with depth

3.4 입도분포

입도분포는 일반적으로 흙입자의 전체구성이 무게비로 볼 때 어느 정도의 입경으로 분포되어 있는가를 의미한다. 세립토와 사질토, 자갈의 구성비가 어떤지를 입경과 백분율의 그래프로 나타내며, 이 흙시료의 입경에 따른 구성비와 입도의 연속성 등을 확인할 수 있다. 또한 모래의 전단강도와 투수계수 특성 역시 흙입자 입경의 크기에 영향을 받는다. 그러므로 상부퇴적사질토층의 입도분포가 어느 범위 내에 분포하는지에 관한 분석은 대단히 중요하다.

조립토와 세립토의 구분은 입경 $0.074mm$ 를 기준(USCS, ASTM)으로 하며, 조립토의 경우는 무게가 나가기 때문에 체에 넣고 흔들면 아래로 떨어져 체의 크기가 큰 것부터 차례로 쌓고 흔들면 입경의 분포를 알 수 있지만, 세립토의 경우는 $0.074mm$ 간격의 체 이하로 체를 만들기가 거의 불가능하므로 그 이하의 입도분포는 물에 떨어뜨려 흙입자가 가라 앉는 속도를 측정하여 간접적으로 구

하게 된다.

본 연구에서는 연구지역 상부퇴적사질토의 전단강도와 투수성을 분석하기 위해 각 심도별 상부퇴적사질토층의 입도분포 자료를 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 3.4와 같다. 상부퇴적사질토층의 경우 퇴적환경에 상관없이 주로 0.1~0.4 mm의 가는 모래가 주를 이루고 있다.

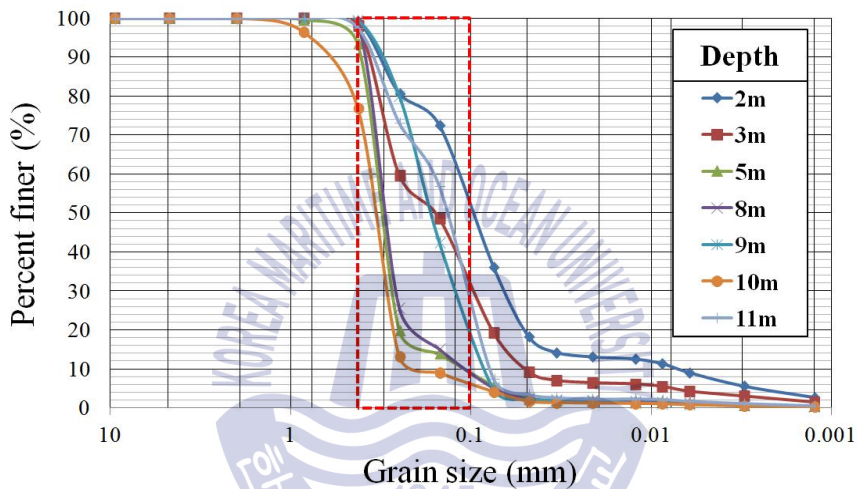
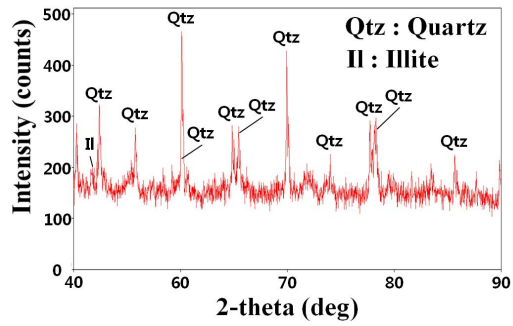


Fig. 3.4 Particle size distribution curve of representative sedimented sandy soil samples obtained from different depths of BH-1, 2, and 3

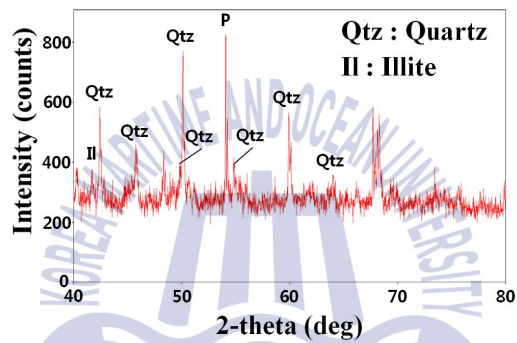
3.5 XRD를 이용한 세립분 광물 분석

X-선은 가시광선과 같은 파 형태의 에너지의 일종으로써 특정한 에너지대(파장)를 가지는 영역을 말한다. 그 중 장파 영역(낮은 에너지 영역)은 인체의 뼈 사진을 얻을 때 주로 사용되며 단파 영역(높은 에너지 영역)은 고체 결정질의 구조분석에 활용된다. 이는 단파 영역의 파장이 결정질 물질의 분자의 크기와 비슷하여 원자구조에 의한 회절현상(Diffraction)을 잘 일으키기 때문인데 이를 이용한 구조 분석을 X-ray 회절 분석(X-Ray Diffraction, XRD)이라 한다. 회절 분석결과는 결정질 물질의 구조에 의해 생성되는 결정면들의 면간거리 측정결과로 나타나는데 이렇게 나타난 면간거리의 조합으로 물질의 구조를 분석하며, 결정질 고체의 구조분석에 가장 널리 보편적으로 사용된다(Jeong, 2009). 본 연구에서는 세립분 함유율이 높지 않아 활성도에 의한 구분방법을 적용하기에 다소 어려움이 있어 XRD 광물분석에 의한 방법으로 퇴적환경에 따른 세립분에 함유되어 있는 점토의 구성요소를 분석하고자 한다.

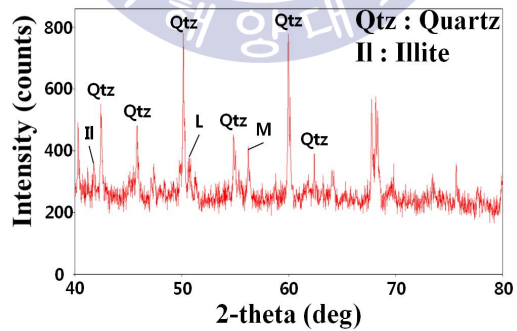
위치 및 심도에 따른 점토광물을 분석하기 위해 채취된 시료를 #200체를 통과한 시료를 다시 점토와 실트로 분류하여 XRD 광물분석을 실시하였다. 심도는 각 공구별 상, 중, 하 3구간으로 구분하여 시험을 수행하였으며, 시험에 사용된 장비는 SmartLab(RIGAKU, JAPAN)이다. 분석결과 위치 및 심도와 관계없이 석영(Qtz.)과 일라이트(Illite)가 검출되었으며, 석영의 경우 일라이트와 비교했을 시 Peak점이 상대적으로 많다. 반대로 일라이트는 상대적으로 Peak점이 적은 것으로 나타났다. 이러한 경우 XRD 성분 분석의 특성상 석영의 함유율이 일라이트의 함유율에 비해 대단히 지배적인 것으로 볼 수 있으며, 일라이트의 함유율은 대단히 소량일 것으로 판단된다. 광물을 구성하는 대표성분은 카올리나이트, 일라이트, 몬모틸로나이트이며, 광물의 종류에 따라 전단강도가 각각 다르며, 칼로리나이트의 경우 일라이트, 몬모틸로나이트보다 전단강도가 크고 일라이트는 중간정도의 전단강도를 보인다(Olson, 1974). Fig. 3.5는 각 시추 홀별 대표시료에 대한 XRD 분석결과이다.



(a) BH-1



(b) BH-2



(c) BH-3

Fig. 3.5 Representative results of XRD test

3.6 분석

3.6.1 퇴적특성

낙동강 하구 녹산, 신호, 명지, 임해, 김해공항의 퇴적특성은 상부사질토층의 경우 보통 4.5~13.0m의 심도로 분포하고 있고, 점토, 점토질 실트, 모래질 실트를 함유하고 있으며, 국지적으로 더 우세하게 분포하는 구간도 존재한다. 또한 패석의 함유율이 대단히 낮으며, N치는 임해지역을 제외하고 1~17로써 일부 지역을 제외하면 대부분 대단히 느슨 또는 중간정도의 느슨한 상태를 보인다. 하지만 임해지역의 경우 퇴적과정이 인근지역과 다소 차이를 보임에 따라 N치가 12~47로 비교적 대단히 중간정도의 느슨 또는 조밀한 상태를 보인다.

낙동강 하구 퇴적특성은 연구지역을 포함하여 상부사질토층이 최소 2m에서 최대 15m로 분포하고 있으며, 상부사질토층은 낙동강 하구 전 구간에 걸쳐 느슨한 상태로 분포하고 있는 것으로 판단된다. 하지만 연구지역의 경우 상부퇴적사질토층에 대한 패석함유율이 비교적 높은 것에 비해 녹산, 신호, 명지, 임해, 김해공항은 패석 함유율이 없거나 또는 대단히 낮은 것으로 나타났다.

연약점토층의 경우 분포 심도가 14.65~46.47m로 대단히 두텁게 층을 형성하고 있으며, 층 내부에 모래 및 자갈층이 Lens상으로 최대 3.5m의 두께로 일부 구간에 분포하고 있다. 또한 패석과 실트가 함유되어있으며, N치는 녹산지역을 제외하고 2~6로 비교적 느슨한 상태이며, 심도가 깊어질수록 N치가 증가하여 점점 조밀해지는 경향을 보인다. 녹산지역의 경우 N치는 0~50으로 변화가 대단히 심한 것으로 조사되었으며, 실트, 모래, 패각의 함유율이 높고 층 내부에 Lens상으로 협재되어있는 자갈층 구간이 존재한다.

3.6.2 함수비 및 비중

연구지역의 상부퇴적사질토층 함수비는 26.09~55.61% 이내에 분포하며, 6~9 m 구간에서의 함수비가 최대를 나타내는 유형이다. 기존의 연구(Bak, 1998)에 따르면 녹산, 시호, 명지, 임해 지역 상부사질토의 함수비는 보통 40~50% 이내에 분포하고 있는 것으로 조사되었으며, 아래의 연약점토층과 인접할수록 함수비는 증가하는 경향을 보인다. 이와 같이 연구지역의 경우에도 상부사질토층 아래의 연약점토층과 인접할수록 함수비는 증가하는 경향을 보인다.

주문진 표준사와 낙동강 중류에서 채취된 시료의 비중은 2.627로 대표적인 값을 보인다. 하지만 연구지역 상부퇴적사질토의 비중은 2.62~2.66으로 조사되었으며, 평균적으로 2.65의 비중 값을 나타낸다. 주문진 표준사 및 낙동강 중류 모래에 비해 비교적 높은 비중 값을 보이지만 그 차이는 다소 미비할 것으로 판단된다.

Table 3.4 Results of water content

Area	Water content(%)
Nakdon river estuary	26.09~55.61
Noxan, Sinho, Myengjii, Limhae	40~50

Table 3.5 Results of specific gravity

Item	Nakdong river estuary	Joomunjin sand	Nakdong river midstream
G_s	2.62~2.66	2.627	2.627

3.6.3 입도분포

기존에 연구된 주문진 표준사 및 낙동강 중류 모래와의 입도분포를 비교 분석하여 입도의 좋고 나쁨과 자갈·모래·실트·점토 등의 구성 비율을 비교하고자 한다. 비교 분석을 위해 연구지역 10m심도의 입도분포를 제시하였다. 이 위치의 세립분 함유율은 1.09~4.02%로 조사된 3개소 모든 구간에서 평균적으로 가장 낮으며, 주문진 표준사 및 낙동강 중류 모래와 가장 유사한 조건을 나타낸다.

각각의 입도분포를 통하여 비교 분석을 수행한 결과 경향은 유사하게 나타나지만 #40체에서의 결과에 다소 차이를 보이는 것으로 나타났다. 주문진 표준사는 낙동강 중류 모래 및 연구지역 상부퇴적사질토층에 비해 입경이 비교적 크고 균질하게 분포하는 하고 있으며, 중간크기의 모래가 주류인 것으로 판단된다. 낙동강 중류의 모래는 주문진 표준사와 유사하게 중간크기의 모래가 주류이지만 가는 모래의 함유율이 주문진 표준사에 비해 비교적 높은 것으로 판단된다. 연구지역 상부퇴적사질토층의 경우 중간크기 모래의 함유율은 비교적 낮고 가는 모래가 주류인 것으로 조사되었으며, 통일분류법(USCS)을 통하여 좀더 정확하게 분류하면 주문진 표준사와 낙동강 중류의 모래는 SP로 입도 불량한 모래를 뜻한다. 반면 상부퇴적사질토층은 SM, SC로 실트질 및 점토질을 일부 함유하는 것으로 조사되었다. 결과적으로 중간크기의 모래 함유율에 다소 차이가 있지만 입도분포 경향은 주문진 표준사 및 낙동강 중류 모래와 낙동강 하구 상부퇴적사질토는 대단히 유사한 것으로 판단된다.

통일분류법(USCS)에 의하면 사질토는 조립토에 해당되며, 조립토는 세립분 함유율이 0~49%까지를 포함하고 있다. Kwon(2012)의 연구에 따르면 모래와 점토의 혼합율에 따른 전단강도시험 결과 모래의 함유율 65%를 기준으로 모래 또는 점토의 역학적 거동이 구분되는 천이구간이 발생하는 것으로 나타났다. 그러므로 연구지역 상부퇴적사질토 역시 모래와 세립분(실트, 점토)의 비율에 따라 모래와 점토의 중간적인 거동 등을 보일 가능성이 있을 것으로 판단된다. 이를 검증하기 위해 4장에서는 실제 상부퇴적사질토층에 대한 세립분 함유율에

따른 전단강도와 투수특성을 분석하였다.

Table 3.6 Particle criterion of soil(Budhu, 2012)

USCS	Fines (silt, clay)	Sand			Gravel	
		Fine	Medium	Coarse	Fine	Coarse
	0.001~0.075	0.075~0.425	0.425~2	2~4.75	4.75~75	

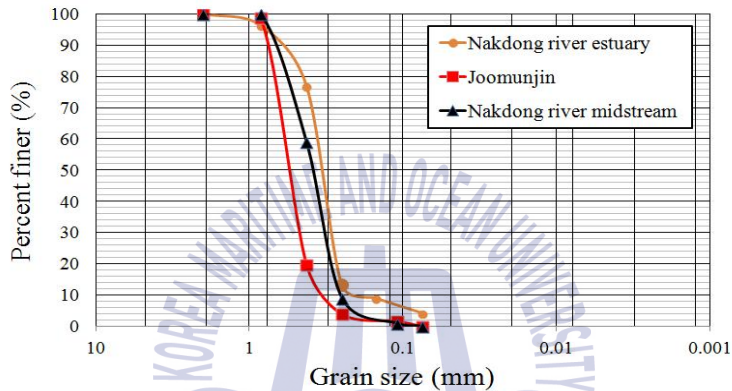


Fig. 3.6 Particle size distribution of Joomunjin, Nakdong river estuary and midstream sands.

3.6.4 점토광물

일반적으로 점토광물의 함유율과 마찰각의 상관관계를 보면 점토광물의 함유율이 증가할수록 전단강도가 낮아지므로 마찰각이 감소하는 경향을 보인다 (Park & Nong, 2014). 이러한 이유로 상부퇴적사질토층의 세립분 함유율 중 점토의 비율이 높은 구간에서는 마찰각이 다소 감소할 것으로 판단된다. 또한 점토광물의 구성 성분에 따라 전단강도에 영향을 줄 수 있으며, 상부퇴적사질토층의 점토광물을 구성하는 대표 성분이 일라이트인 것과 함유율이 상대적으로 작음을 감안 하였을 때 전단강도에 미치는 영향은 미비할 것으로 판단된다. 다만 본 연구의 대상지역에 점토광물이 전반적으로 분포하고 있어 전단강도에 약간의 영향을 줄 것으로 판단된다.

제 4 장 상부퇴적사질토의 역학적 특성

4.1 전단강도특성

4.1.1 시험절차

직접전단시험은 시험용 공시체를 전단상자에 넣고, 연직응력을 달리 가해서 전단파괴 시킨 결과로 수평변형, 전단응력, 변위(수직, 수평)의 관계도를 그려서, Mohr-Coulomb의 강도정수와 한계상태의 정보를 구하고자 한다. 직접전단 시험은 KS F 2343-92에 정의되어 있으며, 이에 제안되어 있는 기준으로 시험을 수행하였다. 본 연구에서는 다양한 조건에 따른 불교란 및 재성형 시료의 특성을 파악하기 위해 포화상태와 건조상태의 조건으로 각각 시험을 수행하였으며, 초기 수직응력은 57, 113, 170kPa, 전단속도는 시료가 사질토임을 감안하여 1%/min으로 설정하였다.

직접전단시험기의 Load cell에 대한 보정을 실시한 후 전단상자 내부에 불교란 또는 재성형 된 시료를 장착한다. 장착 된 시료는 포화상태와 건조상태의 조건으로 직접전단시험을 수행하게 되는데, 포화상태는 전단박스 내부에 물을 가득 담아 수행하였으며, 건조상태의 경우 전단박스 내부의 수분이 없는 상태에서 시험을 수행하였다(Fig. 4.2). 단 재성형 시료는 포화상태 조건만으로 상대 밀도와 세립분 함유율에 따른 직접전단시험을 수행하였다.

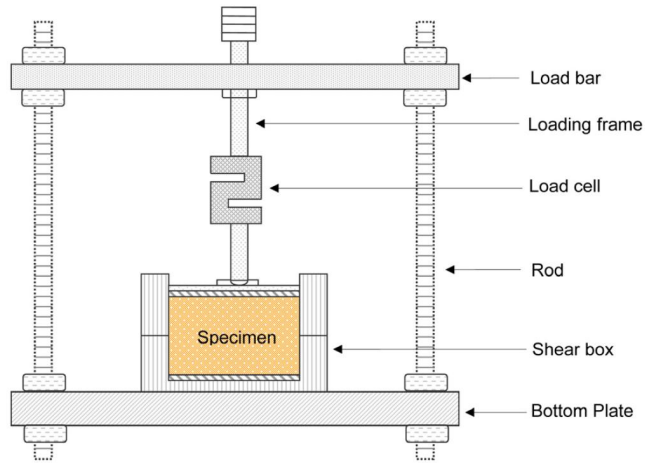


Fig. 4.1 Direct shear test under the constrained normal displacement condition



(a) Dry

(b) Saturation

Fig. 4.2 Specimen saturation condition of direct shear tests



(a) Shear box installation (b) Saturation of sample (c) Completion

Fig. 4.3 Process of direct shear tests on saturation

4.1.2 시료조성

본 연구에서는 상부퇴적사질토의 전단강도특성을 연구하기 위해 시추를 통한 심도별 시료채취를 수행하였다. 하지만 상부퇴적사질토는 점착력이 대단히 낮아 시추를 통해 채취되는 시료는 그 양이 많지 않고, 교란이 발생되었다. 연구 대상지역의 지하수 수위가 높고 중·대형 장비의 진입이 어려운 점을 감안하여 인력을 동원하여 표층을 기준으로 6m정도 삽으로 파낸 후 시험에 사용될 전단링을 삽입하여 불교란 시료를 채취하였다. 채취 당시 삽입된 전단링 주변부 사방 30cm 범위를 전반에 걸쳐 채취 한 후 시험실로 운반 한 뒤 성형을 실시하여 불교란 시료에 대한 직접전단시험을 수행하였다.

재성형 시료의 성형조건은 Kwater(2014b)에서 조사 된 내용과 직접 시추조사를 통해 조사 된 내용을 토대로 결정되었다. 상부퇴적사질토층의 경우 대단히 느슨하게 퇴적(Kwater, 2014b)되어 있으며, 세립분 함유율이 1.03~36.07%로 형

성되어 있는 것으로 조사되었다. 이러한 이유로 본 연구에서는 연구지역 상부 퇴적사질토층의 퇴적특성을 반영하여 상대밀도를 20%, 30%, 40%(느슨한 상태)로 설정하고, 각각의 상대밀도에 세립분 함유율을 0%, 5%, 10%, 15%로 시료를 성형하였다.

Table 4.1 Test batch of direct shear tests

Item	Relative density(%)	Fine content (%)	Remark
Test condition(%)	20	0	Saturation condition
		5	
		10	
		15	
	30	0	
		5	
		10	
		15	
	40	0	
		5	
		10	
		15	



Fig. 4.4 Remolded process of sample

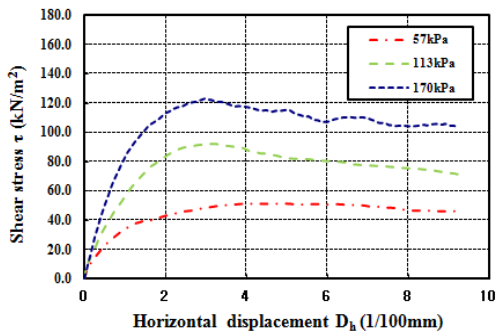
4.1.3 시험결과

4.1.3.1 불교란시료

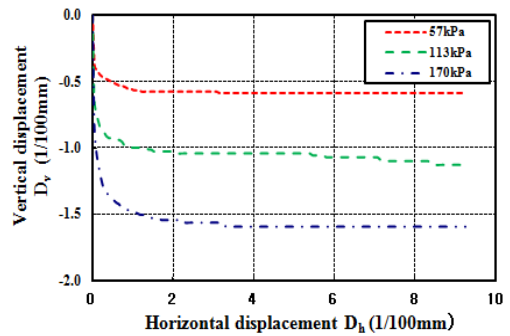
불교란 시료에 대한 직접전단시험은 포화시와 건조시로 구분하여 수행하였으며, 시험결과 포화시보다 건조시의 전단응력이 크게 나타났으며, 건조시의 전단응력은 연직응력이 증가함에 따라 과압밀토와 유사한 경향을 보이고, Peak점이 나타난다. 또한 수평방향 변형율에 따른 연직방향 변형율도 포화상태의 경우가 건조시보다 큰 폭으로 변화하는 것을 확인 할 수 있다. 이와 같은 직접전단시험결과를 토대로 내부마찰각과 점착력을 결정하였으며, 내부마찰각은 포화시 27.8°, 건조시에는 32.2°로 나타났으며, 점착력은 포화시 12.2kPa, 건조시 17.8 kPa로 나타났다.

Table 4.2 Results of direct shear test on undisturbed sample

Condition	Water content of natural ground (%)	Grain size analysis		Dry unit weight (kN/m^3)	Internal friction angle (°)	Cohesion (kPa)
		Coarse (%)	Fine (%)			
Saturation	33.9	77.91	22.09	14.10	27.8	12.2
Dry	36.5	76.20	23.81	14.20	32.2	17.8

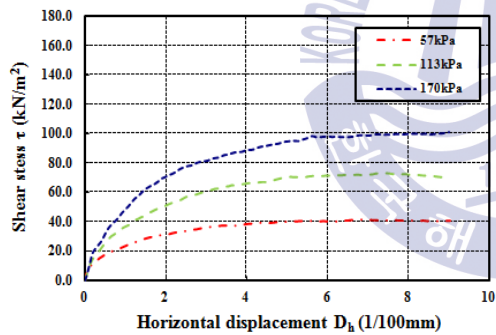


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

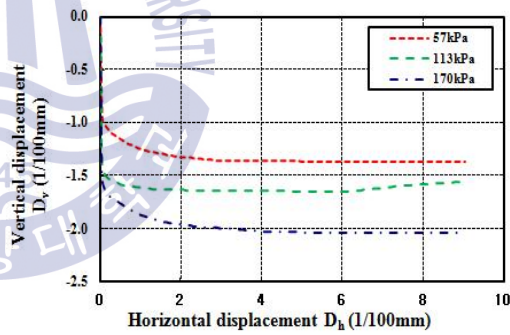


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.5 Results of direct shear test on dry specimen



(a) Shear stress vs. Horizontal displacement



(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.6 Results of direct shear test on saturation specimen

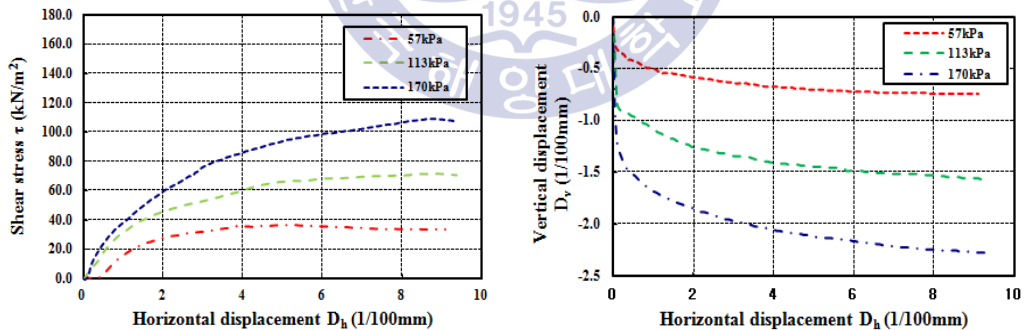
4.1.3.2 재성형시료

재성형 시료를 이용한 직접전단시험 결과(Table 4.3) 세립분 함유율이 높을수록 전단응력은 감소하는 경향을 보이며, 잔류응력에서 그 차이는 현저하게 나타난다. 또한 상대밀도의 증가 역시 전단응력 증가의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만 20~40%의 상대밀도에 따른 전단응력 증가의 차는 분명 존재하지만 그 차이는 크지 않다. 또한 연직응력(57, 113, 170kPa)이 클수록 수평방향 변형율에 따른 연직방향 변형이 크게 발생하는 것을 확인할 수 있으며, 세립분 함유율이 클수록 변화의 폭이 큰 것으로 나타났다.

본 연구에서는 직접전단시험을 통해 상대밀도와 세립분 함유율에 따른 내부마찰각 및 점착력을 구하였으며, 상대밀도가 증가할수록 내부마찰각 및 점착력은 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 상대밀도의 증가에 따른 내부마찰각과 점착력의 증가는 그렇게 크지 않은 것으로 나타났다. 반면 세립분의 영향이 크게 나타났는데, 예상했던 바와 같이 세립분 함유율이 증가할수록 내부마찰각은 감소하였으며, 점착력은 선형적으로 증가하는 경향이 나타났다(Fig. 4.19(c, d)). 특히 세립분 함유율이 10%에서 15%로 증가할 때, 내부마찰각의 증가량 보다 점착력의 증가가 현저하게 나타났다.

Table 4.3 Results of direct shear test on remolded sample

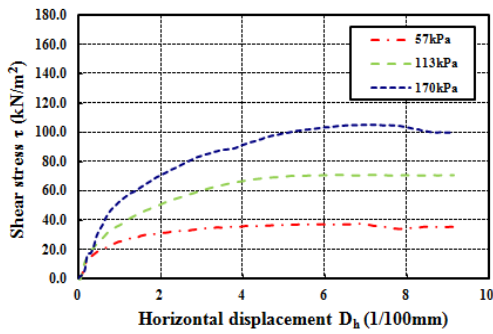
Relative density (%)	Fine content (%)	Dry unit weight (kN/m^3)	Internal Friction angle($^\circ$)	Cohesion (kPa)
20	0	12.69	32.62	0.0
	5	12.69	30.88	3.4
	10	12.69	30.36	6.6
	15	12.69	24.27	16.0
30	0	12.90	33.12	0.0
	5	12.90	32.11	3.8
	10	12.90	29.15	6.7
	15	12.90	25.10	15.0
40	0	13.15	33.81	0.0
	5	13.15	31.60	4.6
	10	13.15	28.60	8.8
	15	13.15	25.70	17.1



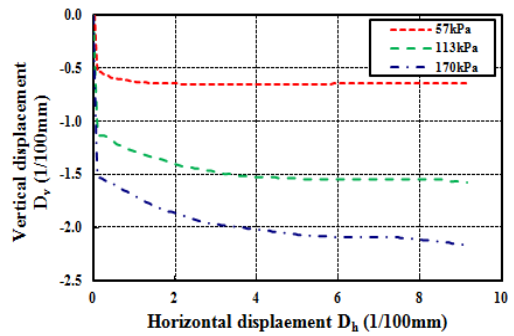
(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.7 Characteristics of shear strength for $D_r=20\%$ and fine content 0%

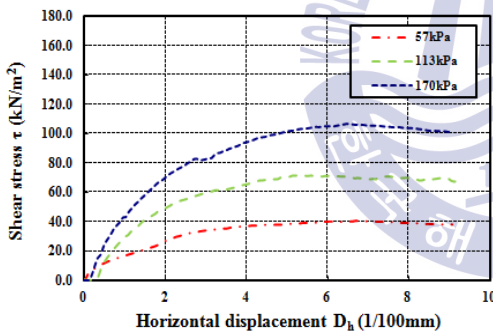


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

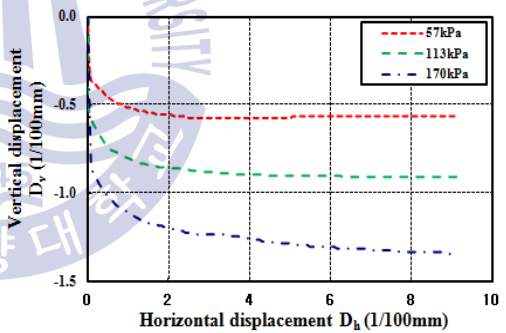


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.8 Characteristics of shear strength for $D_r=20\%$ and fine content 5%

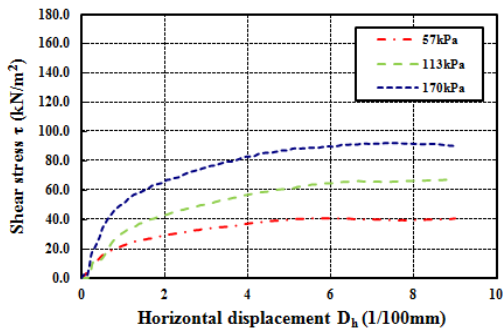


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

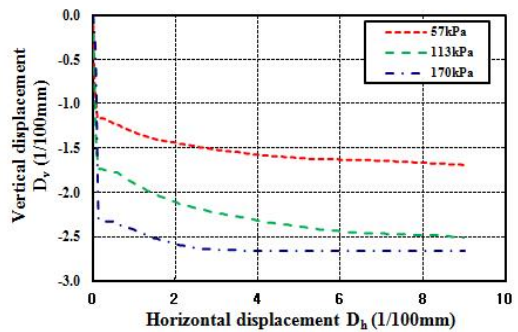


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.9 Characteristics of shear strength for $D_r=20\%$ and fine content 10%

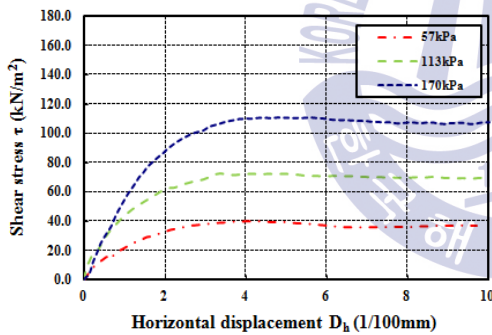


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

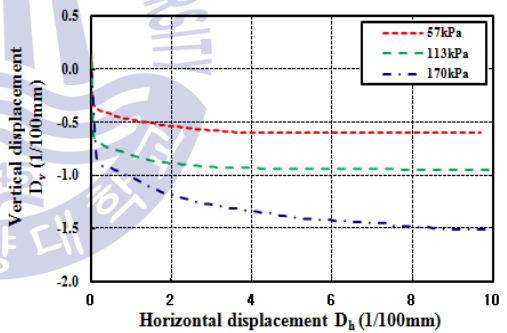


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.10 Characteristics of shear strength for $D_r=20\%$ and fine content 15%

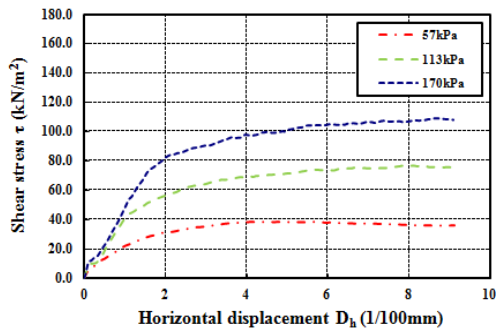


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

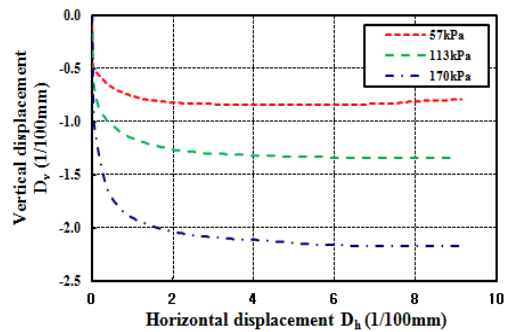


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.11 Characteristics of shear strength for $D_r=30\%$ and fine content 0%

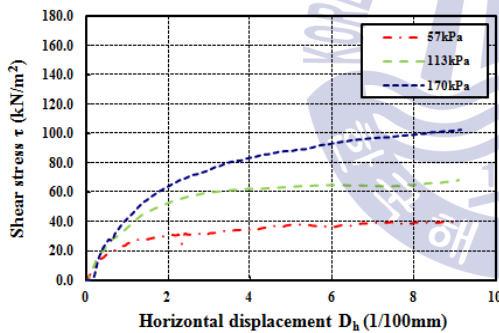


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

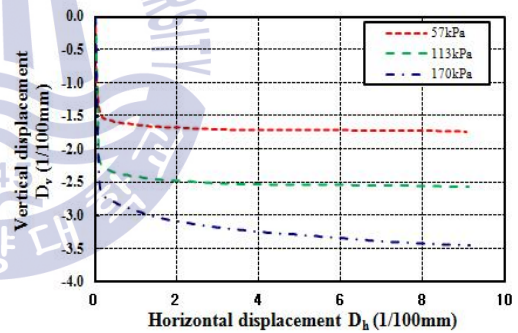


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.12 Characteristics of shear strength for $D_r=30\%$ and fine content 5%

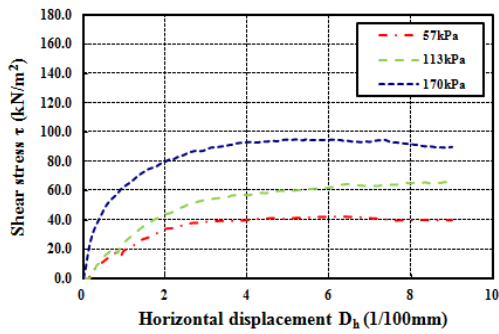


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

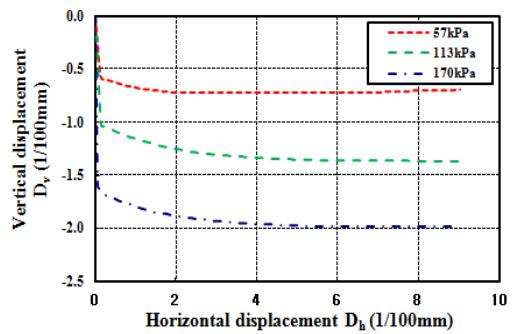


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.13 Characteristics of shear strength for $D_r=30\%$ and fine content 10%

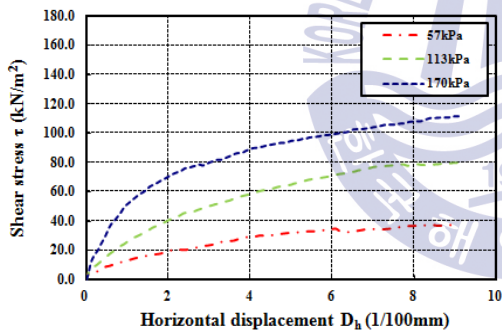


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

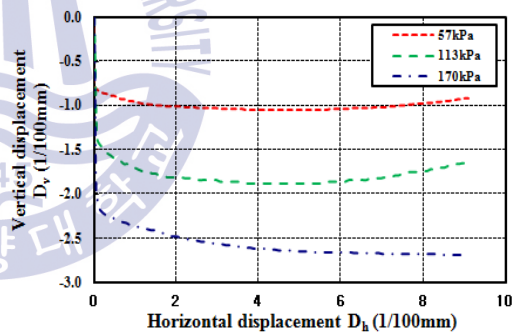


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.14 Characteristics of shear strength for $D_r=30\%$ and fine content 15%

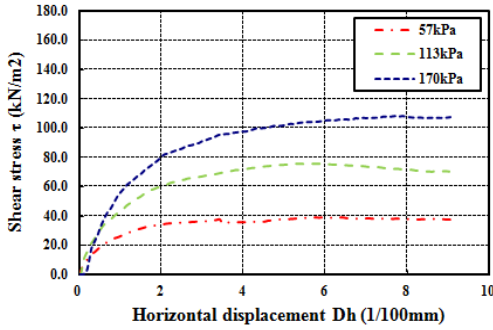


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

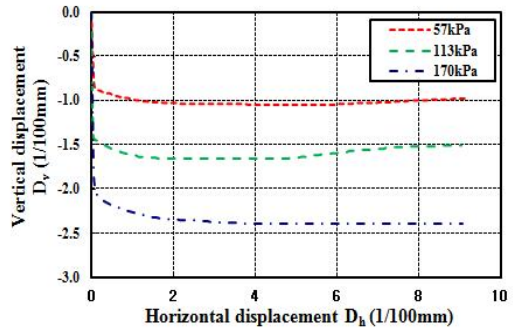


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.15 Characteristics of shear strength for $D_r=40\%$ and fine content 0%

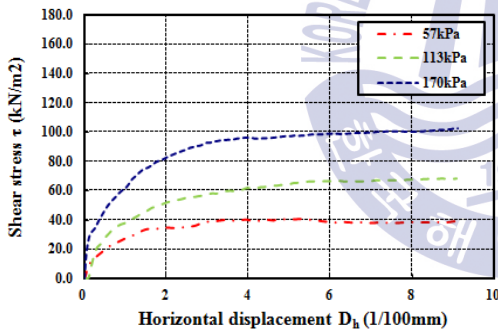


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

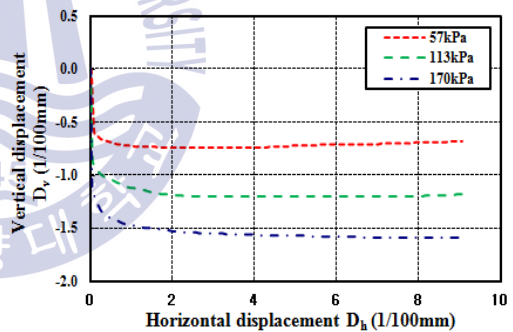


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.16 Characteristics of shear strength for $D_r=40\%$ and fine content 5%

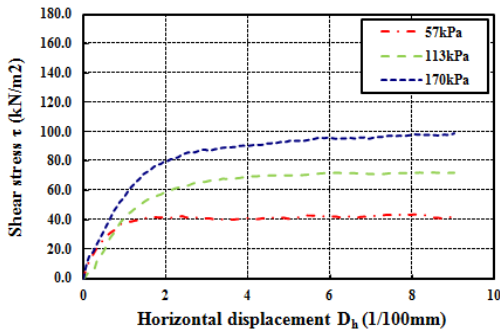


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

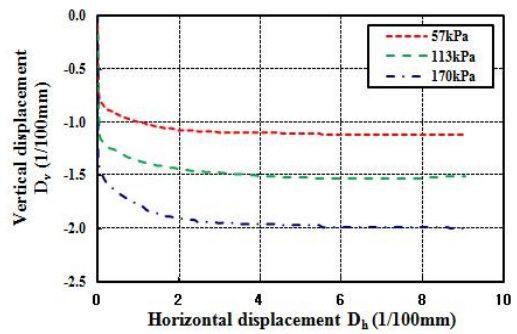


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

Fig. 4.17 Characteristics of shear strength for $D_r=40\%$ and fine content 10%

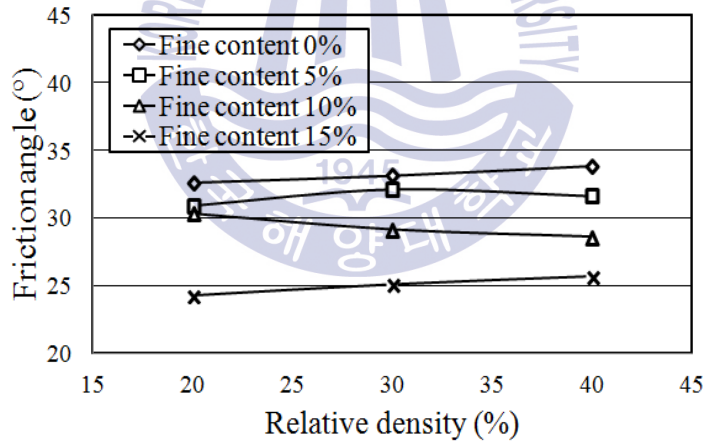


(a) Shear stress vs. Horizontal displacement

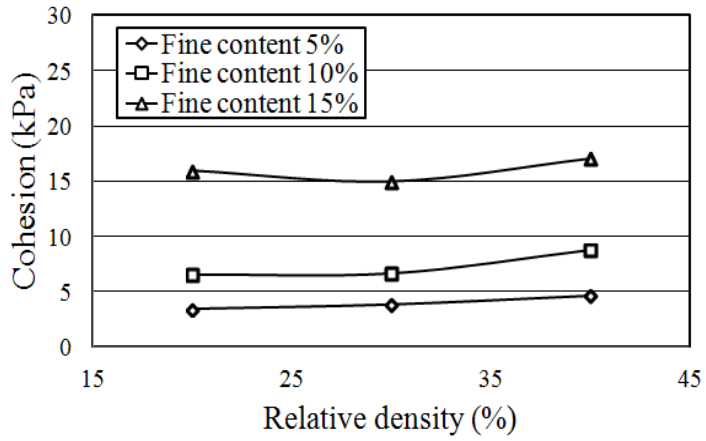


(b) Vertical displacement vs. Horizontal displacement

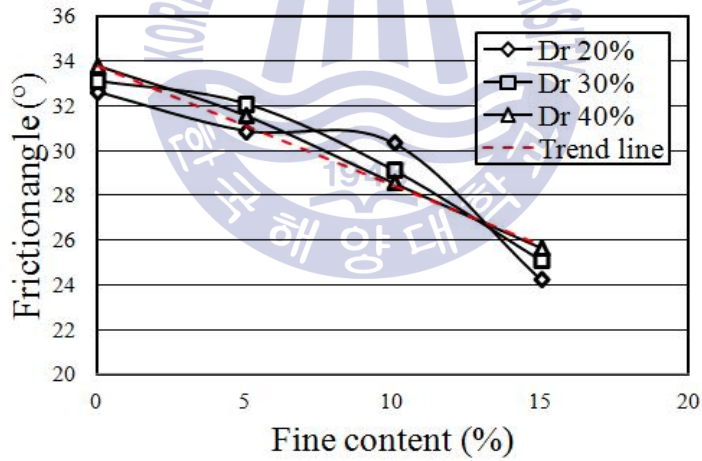
Fig. 4.18 Characteristics of shear strength for $D_r=40\%$ and fine content 15%



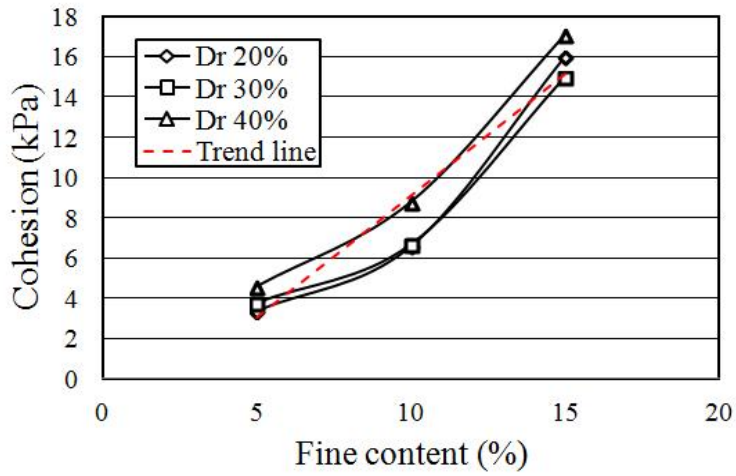
(a) Relative density(D_r) vs. Internal friction angle(ϕ)



(b) Relative density (D_r) vs. Cohesion (c)



(c) Fine content vs. Internal friction angle (ϕ)



(d) Fine content vs. Cohesion

Fig. 4.19 Results of direct shear test

세립분 함유율과 내부마찰각, 점착력의 상관관계를 검토하여 다음의 식(1, 2)을 제시하였다.

$$\phi = 0.5328F_{content} + 33.773(\text{상관관계 } R^2 = 0.9142) \quad (1)$$

$$c = 1.21F_{content} - 2.9889(\text{상관관계 } R^2 = 0.9176) \quad (2)$$

4.1.4 분석

4.1.4.1 불교란 및 재성형 시료

불교란 시료의 세립분 함유율 확인 결과 세립분은 22.09~23.81%로 나타났으며, 유사한 세립분 함유율의 재성형 시료의 시험결과와 비교한 결과 내부마찰각은 불교란 시료가 높게 나타났다. 점착력의 경우에는 약간 낮게 평가된 것으로 나타났다(Table 4.4). 사실 세립분 함유율이 불교란 시료가 높아 내부마찰각은 교란시료에 비해 작고, 점착력은 클 것으로 예상되었으나 결과는 그렇게 나오지 않았다. 다만 상대밀도가 불교란 시료가 재성형 시료에 비해 커서 이로 인해 내부마찰각이 크게 발생한 것으로 판단된다. 그 외 불교란 시료가 갖는 입자간 결합 특성으로 이와 같은 결과가 발생된 것으로 판단된다. 입자간 결핍 특성은 추후 추가적인 연구가 필요한 부분이다.

Table 4.4 Comparison of direct shear test results between undisturbed sample and remolded sample

Item	Fine content (%)	Dry unit weight (kN/m^3)	Internal friction angle ($^\circ$)	Cohesion (kPa)	Remark
Undisturbed sample	22.09	14.10	27.8	12.2	Saturation
Remolded sample	15.00	13.15	25.7	17.1	

4.1.4.2 상부퇴적사질토와 낙동강 중류 모래 및 주문진 표준사

낙동강 중류(고령, 칠곡, 대구달성군)의 모래는 과거부터 골재로써의 가치를 인정받아 건설, 토목 시공시 사용되었으며, 모래에 대한 물리적, 역학적 연구도 활발히 진행되었다(Zhou, 2015; Kim & Kim, 2005, 2009). 또한 주문진 표준사의 경우도 입경이 크고 비교적 균질하며, 대표적인 모래로써 건설골재 및 기타 분야에서 흔히 사용되고 있는 것으로 조사되었다(Eum et al., 2004). 다음과 같은 이유로 낙동강 중류 모래와의 내부마찰각 비교분석을 통해 상부퇴적사질토와의 상대적 특성을 비교할 수 있을 것으로 판단된다.

기존 연구에서 설명한 바와 같이 Zhou(2015)는 낙동강 중류 모래를 이용한 직접전단시험을 수행하였으며, 시험결과 상대밀도 41%일 때 내부마찰각 32.63°로 상부퇴적사질토의 상대밀도 30%, 40%의 경우에 비해 내부마찰각이 작은 것으로 나타났다. 상부퇴적사질토의 경우 상대밀도와 관계없이 세립분 함유율 0%와 5%의 내부마찰각 차이가 평균 1.65°인 것을 감안하여 상부퇴적사질토층의 구간별 세립분 함유율이 5%내외일 경우 낙동강 중류 모래와 내부마찰각의 차이가 거의 없을 것으로 판단된다.

Table 4.5 Comparison of internal friction angle between midstream sand and upper sedimented sandy of Nakdong river

Sort	Relative density(%)	Cohesion(°)	Remark
Sand of midstream on Nakdon river	41	32.63	Fine content 0%
	83	38.82	
Upper sedimented sandy	40	33.81	
	30	33.12	

기존에 선행 연구되었던 주문진 표준사의 역학적 결과(Eum et al., 2004)와 연구지역 상부퇴적사질토의 역학적 결과를 비교분석하였다. 연구지역 상부퇴적사질토의 상대밀도 조건은 20%, 30%, 40%으로 주문진 표준사의 상대밀도 50%, 75%보다 낮음에도 불구하고 상부퇴적사질토의 내부마찰각이 상대적으로 높다. 이러한 결과를 토대로 연구지역의 세립분 함유율이 5% 이하로 낮은 구간에서는 주문진 표준사와 대단히 유사한 마찰각 특성을 나타낼 것으로 판단된다.

Table 4.6 Comparison of direct shear test results between upper sedimented sandy of Nakdong river and Joomunjin sand

Item	Relative density(%)	Cohesion (kPa)	Internal friction angle(°)	Remark
Upper sedimented sandy	20	0	32.62	Fine content 0%
	30	0	33.12	
	40	0	33.81	
Joomunjin sand	25	1.6	30.1	
	50	3.8	30.3	
	75	4.8	30.5	

4.2 투수특성

4.2.1 시험절차

흙의 투수성은 세립분 함유율에 의해 크게 영향을 받으며, 흙의 투수성 결정에 있어 중요한 변수가 된다. 연구지역의 시추조사결과 심도에 따른 세립분 함유율이 일부 큰 차이를 보이므로 이를 고려하여 본 연구에서는 세립분 함유율 및 상대밀도의 변화에 따른 상부퇴적사질토의 투수성을 분석하고자 한다.

투수 시험은 KS F 2322에 정의되어 있으며, 이에 제안되어 있는 기준으로 시험을 수행하였다. 상부퇴적사질토층은 자연적인 퇴적환경에 의해 수직·수평 투수계수가 위치와 심도에 따라 변화하며, 이를 평가하기 위해서는 위치별 투수시험이 수행되어야 한다. 그러나 상부퇴적사질토층은 토질의 특성상 지표면을 제외하고 완벽한 불교란 시료 채취가 어려워 정확한 투수계수 산정에 문제점이 있으며, 지표면과 가까운 상부퇴적사질토층의 경우에도 세립분 함유율이 낮을 경우 진동에 의한 교란이 쉽게 발생하여 정확한 투수계수 평가가 어렵다. 이러한 이유로 현장 및 실내투수시험을 수행하였다.

현장투수시험의 경우 연구지역에 분포하는 상부퇴적사질토층에 대한 투수계수 측정 및 지층의 구성 물질에 따른 투수계수의 변화를 측정하기 위하여 케이싱 내부에 물을 채운 후 수위 강하속도를 측정하여 투수계수를 산출하였다. 투수계수를 산출하는 관계식은 시험구간이 지하수면 하부에 위치하는 경우와 지하수면 상부에 위치하는 경우로 나누어 측정하였으며, 시험에 사용된 산출관계식은 다음과 같다.

시험구간이 지하수면 하부에 위치하는 경우.

$$K = \frac{d^2 \times \ln\left(\frac{2L}{D}\right)}{8L \times (t_2 - t_1)} \times \ln\left(\frac{H_2}{H_1}\right) \quad (3)$$

시험구간이 지하수면 상부에 위치하는 경우.

$$K = \frac{Q}{2\pi L^2} \left[2.30 \cdot \log_{10} \frac{L}{\gamma} + \sqrt{1 + \left(1 + \frac{L}{\gamma}\right)^2} - 1 \right] \quad (4)$$

시험구간이 지하수면 하부에 위치

시험구간이 지하수면 상부에 위치

K : 투수계수(cm/sec)

K : 투수계수(cm/sec)

L : 시험구간(cm)

Tu : 시험심도에서 지하수위까지

d : 케이싱 직경(cm)

거리(cm)

t_1, t_2 : 경과시간

L : 시험구간(cm)

D : 시추공경(cm)

γ : 케이싱 반경(cm)

H_1, H_2 : Piezometric Head(cm)

Q : 주입유량(cm^3/sec)

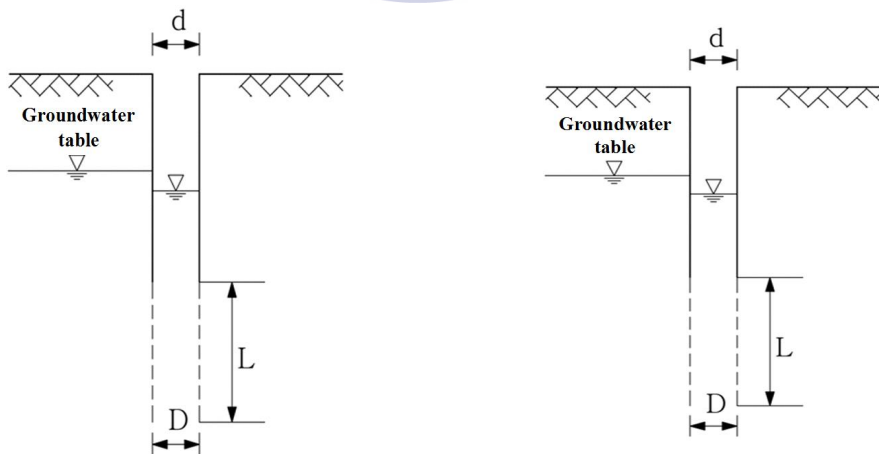


Fig. 4.20 Mimetic diagram of field permeability test

실내투수시험의 경우 상부퇴적사질토층의 투수성이 대단히 양호한 것으로 판단되어 정수위 투수시험을 수행하였다. 현장에서 채취된 시료를 시험용 몰드에 재성형하여 사용하였으며, Kumpung 정수위 실내투수시험기(HANSIN, Korea)로 시험을 수행하였다. 시료는 시험 몰드에 부직포와 함께 직접 성형하였으며, 성형이 완료된 몰드는 하부 월류 수조 안에 넣어 월류구를 막은 후 수돗물을 흘려 시료를 포화시켰다. 하부 월류구의 유출량이 일정한 것을 확인한 후 수위차(h)를 측정하고 Valve를 열음과 동시에 t 초 동안 침투된 유량(Q, cc)과 수온($T, ^\circ C$)을 잰다. 이 과정을 3회 이상 반복하여 측정하였다.

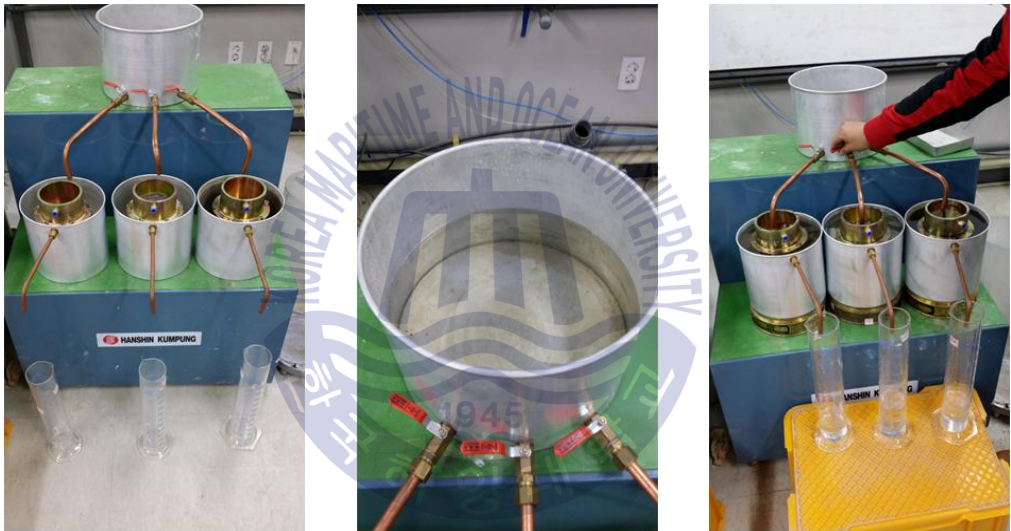


Fig. 4.21 Laboratory permeability test

4.2.2 시료조성

낙동강 하구 상부퇴적사질토층의 경우 현장투수시험을 통하여 투수성이 매우 양호하다는 것을 확인하였으며, 앞서 조사된 기본 물성치와 N치(3~12)를 통하여 지반의 상태가 연약한 사질토임을 감안하여 시료의 조성은 상대밀도 20%, 30%, 40%, 세립분 함유량 0%, 5%, 10%, 15%로 조성하여 정수위 투수시험을 수행하였다.

Table 4.8 Condition of constant head permeability test

Relative density (%)	Fine content (%)	Remark
20	5	Saturation
	10	
	15	
30	5	
	10	
	15	
40	5	
	10	
	15	

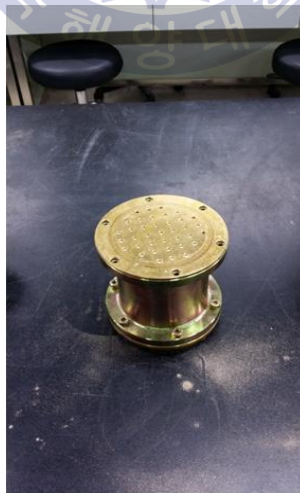
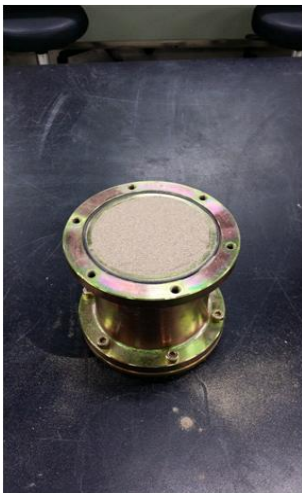


Fig. 4.22 Remolded process of constant head permeability test

4.2.3 시험결과

4.2.3.1 현장투수시험

연구지역 상부퇴적사질토층은 지반의 상태가 느슨하여 일정 구간 이상 불교란 시료 채취가 곤란하다. 그러므로 현장에서 투수시험을 실시하여 상부퇴적사질토의 투수계수를 평가하여야한다. 현장투수시험은 BH-1에서 2번 수행되었으며, 시험결과 일반적인 모래의 투수계수(Table 4.9)를 기준으로 판단하였을 경우 BH-1의 상부퇴적사질토층의 투수성은 대단히 양호한 것으로 나타났다.

BH-2, BH-3의 퇴적특성이 BH-1과 대단히 유사하기 때문에 BH-2, BH-3의 투수 결과도 BH-1의 결과와 유사할 것으로 예상된다. 투수시험결과는 Table 4.10과 같다.

Table 4.8 Limit of permeability coefficient application(Kim, 2002)

Permeability coefficient	100~1 (<i>cm/sec</i>)	$1 \sim 10^{-3}$ (<i>cm/sec</i>)	$10^{-3} \sim 10^{-7}$ (<i>cm/sec</i>)
Sort	Gravel	Sand and Gravel	Organic and minerals silt, sand+silt+clay mixing, bedded sedimentary clay
Drainage	Good($100 \sim 10^{-4}$ <i>cm/sec</i>)		Normal ($10^{-4} \sim 10^{-7}$ <i>cm/sec</i>)

Table 4.10 Results of permeability test in BH-1

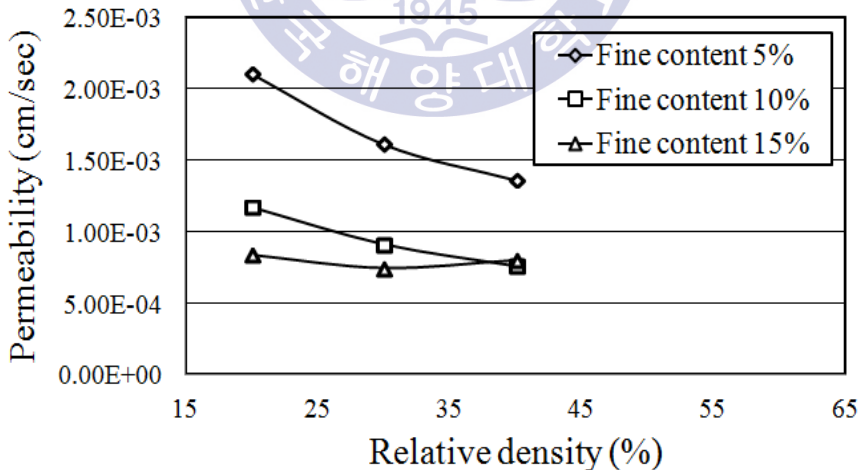
Item	Depth(G.L(-), <i>m</i>)	Permeability (<i>cm/sec</i>)
BH-1 (1)	3.5~4.2	1.174E-03
BH-1 (2)	8.0~8.7	2.46E-04

4.2.3.2 실내투수시험

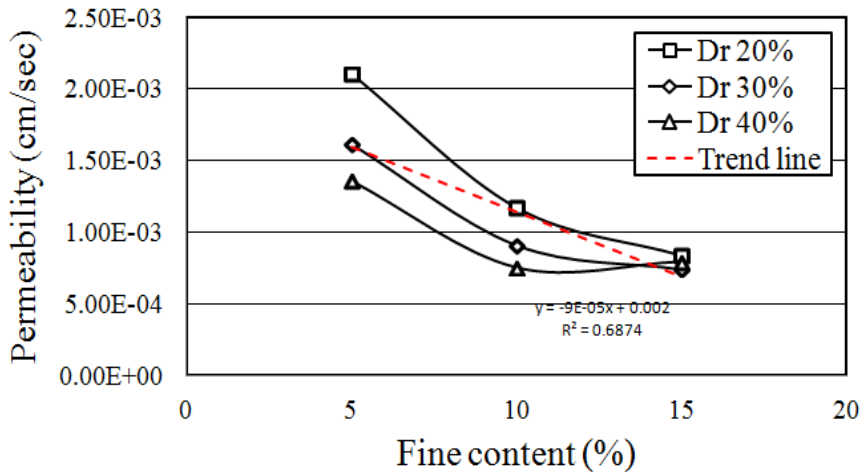
시험결과 상대밀도 및 세립분 함유율이 증가할수록 투수계수는 낮아진다. 하지만 세립분 함유율이 낮은 경우(10% 이하) 투수계수에 미치는 상대밀도의 영향이 존재하나 15%인 경우 상대밀도에 의한 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 결과적으로 15% 이상의 세립분이 함유된 모래의 경우 투수계수는 상대밀도의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 세립분에 따른 투수계수를 구할 수 있는 식(5)을 Fig. 4.23(b)을 이용하여 다음과 같이 제시하였으며, 시험결과는 Fig. 4.23과 같다.

$$k = -9E-05F_{content} + 0.002 \text{ (상관관계 } R^2 = 0.6874) \quad (5)$$

여기서 k 는 투수계수, $F_{content}$ 는 세립분 함유량이다.



(a) Coefficient of permeability vs. Relative density(D_r)



(b) Coefficient of permeability vs. Fine content

Fig. 4.23 Results of constant head permeability tests

4.2.4 분석

낙동강 중류 지역의 모래는 시험결과 상대밀도 40%일 경우 세립분 함유율에 따라 각각 다른 투수계수를 나타내며, 세립분 함유량 10%의 경우 가장 큰 투수계수를 나타낸다. 본 연구에서는 상부퇴적사질토와 동일한 조건에서 시험이 수행된 세립분 함유율 10%와 비교분석하였다. 그 결과 낙동강 중류 모래는 상부퇴적사질토와 동일하게 세립분 함유율이 증가할수록 투수계수가 낮아지며, 상대밀도와 상관없이 세립분 함유율이 10%이상 증가할수록 세립분 함유율에 따른 투수계수의 차이가 점차 감소하는 경향을 보인다. 결과적으로 낙동강 중류 모래와 상대밀도 및 세립분 함유율에 따른 거동은 유사한 경향을 보이며, 동일한 시험조건(상대밀도 40%-세립분 함유율 10%)에서는 상부퇴적사질토의 투수계수가 낙동강 중류 모래와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 비교결과는 Table 4.11과 같다.

샌드매트에 관한 규정은 일본과 캘리포니아 규정이 있다. 일본의 경우

Skempton이 제안한 입도분포를 적용하며, 투수계수는 $1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ 이상으로 규정한다. 캘리포니아의 경우 Skempton이 입도분포와 유사하거나 세립분 통과량이 5%이하라는 기준을 적용하고 있다. 본 실험결과 수평배수층으로 투수계수 조건을 만족하지 못하고 일부 세립분 함유율이 5% 이상인 경우도 수평배수층 조건을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

상부퇴적사질토의 수평배수층 역할은 투수계수나 입도분포의 분포두께 재하하중 등을 고려하여 좀 더 세밀한 분석이 필요하다.

Table 4.11 Comparison of permeability between midstream sand and upper sedimented sandy of Nakdong river

Sort	Relative density (%)	Fine content (%)	Permeability coefficient (cm/sec)	Remark
Sand of midstream on Nakdon river	40	10	7.05E-05	Saturation
Upper sedimented sandy			7.58E-04	

제 5 장 결론

본 연구의 목적은 낙동강 하구 델타지역에 위치한 연구지역의 상부퇴적사질토에 대한 물리적, 역학적 특성을 조사하여 단지조성 계획시 효율적이고 경제적인 설계를 위한 근거를 제시하고자 한다. 물리적, 역학적 특성을 조사하기 위해 시추조사, XRD를 이용한 성분 분석, 표준관입시험(Standard Penetration Test), 세립분 함유율에 따른 직접전단 및 투수시험을 수행하였다. 또한 기존 모래에 대한 연구 결과와의 비교분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 시추조사를 통해 상부퇴적사질토층의 특성을 조사하였으며, 그 결과 분포심도는 4.0~13.0m의 층후를 이루며, 표준관입시험결과 N값은 3~12로 대단 느슨한 상태로 분포하는 것으로 조사되었다. 통일분류법으로 분류한 결과 상부퇴적사질토는 주로 실트질 모래(SM) 또는 점토질 모래(SC)로 구성되어 있는 것으로 조사되었다. 또한 낙동강 하구 녹산, 신호, 명지 지역의 상부사질토층과 비교 분석해본 결과 심도, 분포 현황, 퇴적상태(N치), 통일분류법(USCS)에 의한 분류에 있어서 대단히 유사한 경향을 보인다. 하지만 임해와 김해공항의 경우 퇴적상태(N치)가 연구지역에 비해 비교적 높은 것으로 나타났다.

2. 상부퇴적사질토층은 표층 및 하부연약점토층과 인접한 구간에서 세립분 함유율이 높은 것으로 조사되었으며, 그 외 구간(일부제외)에서는 5%내외의 세립분 분포를 보이는 것으로 조사되었다. 또한 상부퇴적사질토층의 경우 퇴적환경에 상관없이 주로 0.1~0.4mm의 가는 모래로 분포하는 것으로 나타났으며, 전 구간에서 일라이트가 검출되는 것으로 조사되었다. 추가적으로 주문진 표준

사와 낙동강 중류 모래와의 물리적 특성과 입도분포를 비교해본 결과 중간크기의 모래 함유율에 다소 차이가 있지만 분포 경향과 기초적 물리특성은 대단히 유사한 것으로 판단된다.

3. 상부퇴적사질토의 상대밀도와 세립분 함유율에 따른 전단강도 특성을 분석하였으며, 시험결과 상대밀도가 증가할수록 내부마찰각 및 점착력은 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 상대밀도의 증가에 따른 내부마찰각과 점착력의 증가는 비교적 크지 않은 것으로 나타났다. 반면 세립분의 영향이 크게 나타났는데, 예상했던 것과 동일하게 세립분 함유율이 증가할수록 내부마찰각은 감소하였으며, 점착력은 선형적으로 증가하는 경향이 나타났다. 특히 세립분 함유율이 10%에서 15%로 증가할 때, 내부마찰각의 증가량 보다 점착력의 증가가 현저하게 나타난다. 또한 추가적으로 낙동강 중류 모래 및 주문진 표준사와의 역학적 비교 분석을 수행하였으며, 그 결과 상부퇴적사질토의 내부마찰각은 세립분이 일부 함유되어 있음에도 불구하고 낙동강 중류 모래 및 주문진 표준사와 대단히 유사한 것으로 나타났다. 입경의 크기는 낙동강 중류 모래 및 주문진 표준사는 중간크기의 모래(SP)가 주류이지만 상부퇴적사질토의 경우 가는 모래(SM, SC)가 주류인 것으로 나타났다.

4. BH-1 상부퇴적사질토층의 현장 투수시험결과 투수성이 대단히 양호한 것으로 나타났다. 상부퇴적사질토의 실내투수시험결과 투수계수는 상대밀도 및 세립분 함유율이 증가할수록 낮아지지만, 세립분 함유율이 낮은 경우(10% 이하) 투수성에 미치는 상대밀도의 영향이 존재하지만, 세립분 함유율이 15%인 경우 상대밀도에 의한 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 결과적으로 15% 이상의 세립분이 함유된 모래의 경우 투수계수는 상대밀도의 영향을 받지 않을 것으로 판단된다. 또한 상대적 효율성 검증을 위해 낙동강 중류 모래와의 투수성을 비교분석을 수행하였으며, 결과적으로 낙동강 중류의 모래와 대단히 유사한 투수성을 나타내는 것으로 조사되었다.

감사의 글

처음 해양대학교에 입학한 게 엇그제 같은데 벌써 8년이라는 긴 시간이 흘러 사회로 나가는 관문 앞에 서게 되니, 후련한 마음보다는 많은 아쉬움과 후회가 남습니다. 하지만 2년이라는 대학원 생활은 부족했던 저를 한층 더 발전시킬 수 있었던 값진 시간이었습니다. 많은 학문적 지식과 평생 잊지 못할 추억을 갖게 해준 많은 분들께 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

짧은 글로 다 표현할 수 없지만 먼저, 항상 저의 꿈과 뜻을 펼칠 수 있도록 응원과 사랑과 지원을 아끼지 않는 사랑하는 부모님께 가장 먼저 깊은 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 늘 부족하고, 철 없는 아들이지만 묵묵히 아들을 위해 서라면 무엇이든 앞장서 지원해주시고 도와주신 부모님 앞으로는 아들이 부모님을 위해 또 가족을 위해 든든한 지원군이 되도록 하겠습니다.

저를 받아주시고 또 수 많은 조언과 저의 부족한 점을 채워주신 존경하는 교수님. 전문 지식이 부족하고, 철 없던 저를 묵묵히 지도해주시고 이끌어주신 교수님께 깊은 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 비록 이 짧은 글로 2년이 넘는 긴 시간동안의 감사한 마음을 모두 전할 수 없지만 29년 동안 학교라는 곳을 다니면서 진정한 스승님이라 생각이 든 분은 김태형 교수님이 유일하였습니다. 졸업을 하고 사회에 나가더라도 결코 잊지 않고 교수님께 감사의 마음을 전하겠습니다.

인자하신 미소와 카리스마 넘치는 사투리로 늘 웃으며, 저에게 안부를 물어주시던 김도삼 교수님. 늘 오가는 길에 마주치면 웃으시며 저에게 “논문은 잘 되가니?”, “일은 잘 되가니?” 물어주시던 그 모습이 졸업을 해도 늘 기억 속에 남아있을 것 같습니다. 또 도로에 대한 지식이 전혀 없던 저를 열정을 다해 가르쳐주시고, 다양한 경험적 지식을 알려주신 김태곤 교수님. 앞으로 제가 사회에 나아감에 있어 어떤 길을 걷는 것이 가장 효율적인지에 대해 가장 많은 조언을 해 주셨던 것 같습니다. 그리고 최종 논문이 완성되기까지 저의 논문을 평가해주시고 지도해주셨던 이재하 교수님과 해안지반연구실의 서영교 교수님께 진심으로 감사드립니다.

본 연구를 위해 물심양면으로 도움을 주신 수자원공사의 김재홍 박사님. 함께 현장에서 여러 가지 시험을 수행하며, 다양한 경험을 쌓을 수 있도록 해주시고, 현장에 관련된 시험방법들에 대해 자세히 설명해주셨던 박사님께 깊은 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

함께 연구실 생활을 해 왔던 가족 같았던 응기형님과 진영이, 호성이. 아직 사회를 나가보지 못했고, 많은 사람들을 봐오지 못했지만 응기형님을 볼 때마다 정말 대단하다는 생각을 합니다. 저희가 모르는 모든 것을 다 알고 있으셨던 형님. 또 모르는 것을 물어보고 또 물어봐도 늘 대답해 주시던 형님께 늘 감사했었습니다. 정말 철 없고, 부족한 동생이었지만 묵묵히 이해해주시고, 도와주셔서 정말 감사했습니다. 아마 선배라는 존재에 정의를 내린다면 형님의 모습이 가장 먼저 떠오를 것 같습니다. 그리고 나와 함께 동거동락하며, 산전수전 다 겪은 순둥이 막내 진영이. 성격도 좋고, 체격도 좋고, 순한 동생. 형이 잘 챙겨주지 못해 늘 미안하고, 형이 짜증을 부려도 늘 웃으며 이해해줘서 고맙다.

항상 아침에 학교를 나오면 학과 사무실에 들려 커피를 마실 때 늘 웃으며, 반겨주시던 조교누나. 업무 관련 차 여러 가지를 물어봐도 늘 웃으며, 친절하게 알려주시던 그 모습에 늘 감사했습니다. 아마 졸업해도 학과사무실 앞에 붙여 있던 '교내' 스티커는 기억에 남을 것 같습니다.

마지막으로 내가 가장 믿고 의지하는 내 친구 동찬, 상민, 으뜸. 직장생활 때문에 늘 바쁜 일상을 보내고, 힘들어 하면서도 내가 부르면 늘 달려와 주고, 내가 필요한 것들을 하나하나 챙겨주던 가장 소중한 친구들. 아마 내가 살아오에 있어서 가장 많은 시간을 함께했을 너희들 덕분에 늘 힘도 나고, 마음이 든든했습니다. 그리고 나와 같은 길을 걷고 있는 똑똑하고, 성실하고, 착한 으뜸에게는 그 어떤 사람보다 가장 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

앞으로 더 열심히 배우고, 승리해서 높은 더 높은 위치에 올라가 이 은혜 꼭 보답하겠습니다.

References

- Bak, K.J., 1998. Effect of Depositional Environments on Engineering Characteristics of Marine Deposits in the Nakdong River Mouth and its Neighboring Coast. Master Thesis, Seoul:Dongguk university.
- Cha, B.G., 2010. Unsaturated shear strength characteristics of Nak-dong River silty sand. Master Thesis, Daegu:Kyungpook National University.
- Chung, S.G. Lee, N.K. Lee, J.M. Min, S.C. & Hong, Y.P., 2010a. Hydraulic Characteristics of Busan Clay in the Floodplain of the Nakdong River Delta. *Journal of Korean Geotechnical Society*, 26(11), pp.47-61.
- Chung, S.G. Chung, J.G. Jang, W.Y. & Lee, J.M., 2010c. Correlations between CPT and FVT results for Busan Clay. *Marine Georesources and Geotechnology*. 28(1). PP.49-63.
- Chung, S.G. & Lee, N.K., 2010b. Smear effect and well resistance of PVD-installed ground based on hyperbolic method. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(4), pp.640-642.
- Chung, S.G. Ryu, C.K. Jo, K.Y. & Huh, D.Y., 2005. Geological and geotechnical characteristics of marine clays at the Busan newport. *Marine Georesources and Geotechnology*, 23(3), pp.235-251.
- Eum, S.J. Won, M.S. & Kim, H.J., 2004. Shearing Strength Characteristics of Sand by Direct Shear Test. Academic conference of Korean Society of Civil Engineers, pp.5329-5334.
- Gang, C.G., 2011. Unsaturated permeability Characteristics of silty sand on the Nak-dong River. Master Thesis, Daegu:Kyungpook National University.
- Jang, H.S., 2004. Study on the engineering Characteristics about the soft clay

- at the mouth of Nakdong river and management of settlement include 2th. Master Thesis, Busan:Busan National University.
- Jeong, H.S., 2009. The Effects of Annealing Temperature on Structure and Composition of Actinolite on EPMA, XRD. Master Thesis, Samnye:Woosuk University.
- Kim, Y.P., 2002. *Geotechnical engineering test*. Sejinbook:Seoul.
- Kim, M. Do, H.Y. Kim, G.J. & Chung, S.G., 2000. Settlement Characteristics of Sand Deposit in the Mouth of Nakdong River. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol.2, pp.501-504.
- Kim, Y.S. & Kim, D.M., 2005. Characteristics of Underdrained Shear Behavior for Nak-Dong River Sand Due to Aging Effect. *Conference of Korean Geotechnical Society*, pp.25~26.
- Kim, Y.S. & Kim, D.M., 2009. Characteristics of Friction Angles between the Nak-dong River Sand and Construction Materials by Direct Shear Test. *Journal of Korean Geotechnical Society*, 25(4), pp.105-112.
- Kwon, J.G., 2012. Study on the Development of Quality Assurance Method of the Sand Compaction Pile. Ph.D. Thesis, Busan:Busan National University.
- Korea Water Resource Corporation(Kwater), 2014a. http://www.ecodeltacity.kwater.or.kr/Ecodeltacity/sub_01
- Korea Water Resource Corporation(Kwater), 2014b. Soil Investigation Report of Busan Eco-Delta City Section 3. pp.38.
- Lee, H.K., 2012. Comparison and Analysis in Bearing Power of Nakdong River Bridge's Large Diameter Drilled Shaft Constructed. Master Thesis, Busan:Busan National University.
- Lambe, T.W. & Whitman, R.V., 1979. *Soil Mechanics*, Si Version. 1st Edn.,

John Wiley and Sons:New York, ISBN; 0471024910.

Olson, R.E., 1974. Shearing Strength of Kaolinite, Illite and Montmorillonite. Journal of the Geotechnical Division, ASCE, 100(11), pp.1215-1299.

Park, S.S. & Nong, Z.Z., 2014. Effect of Sand Contents on Plastic and Liquid Limits and Shear Strength of Clays. Journal of Korean Society of Civil Engineers, 30(2), pp.65-76.

Zhou, A., 2015. Vane Shear Tests on Nakdong River Sand. Master Thesis. Daegu:Kyungpook National University, pp.19-20.

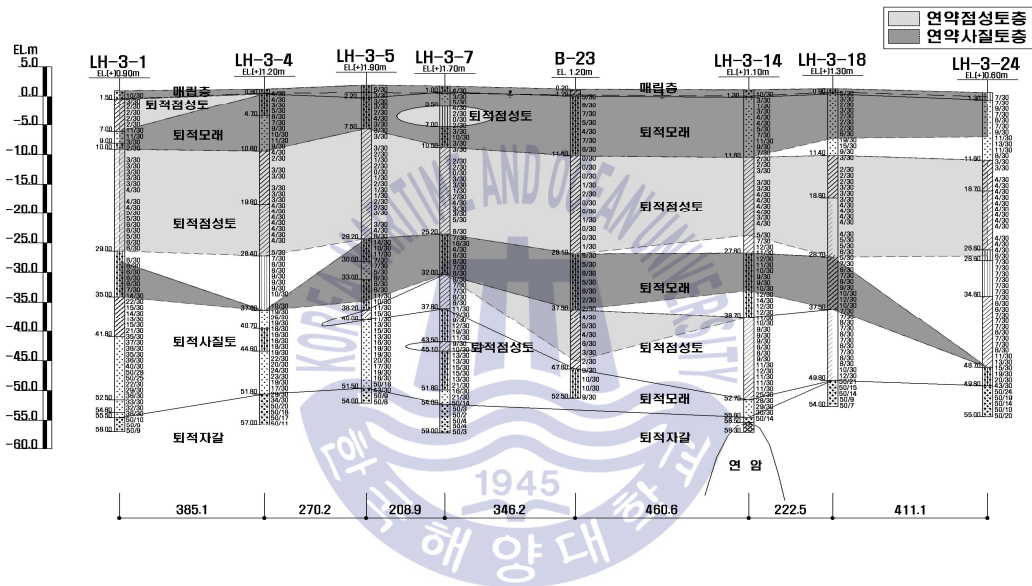


부록 A

A.1 상세지층분포(kwater, 2014b)

Section A ~ A' (관련시추공: 8개소)

본 단면에 대한 세부적인 지반 분포현황은 다음과 같다.



구분	퇴적토층(m)				풍화 토층 (m)	풍화 암층 (m)	연암층 (m)	시추 심도 (m)	비 고
	점토	실트	모래	자갈					
LH-3-1	23.2	-	30.3	3.0	-	-	-	58.0	성토부
LH-3-4	17.8	9.2	24.0	5.2	-	-	-	57.0	
LH-3-5	20.5	-	28.8	2.5	-	-	-	54.0	
LH-3-7	22.1	3.5	27.4	5.0	-	-	-	59.0	
B-23	26.8	-	24.5	-	-	-	-	52.5	
LH-3-14	30.2	-	24.1	0.9	-	-	1.8	58.3	
LH-3-18	29.4	-	19.3	4.4	-	-	-	54.0	
LH-3-24	27.3	7.8	13.4	5.2	-	-	-	55.0	

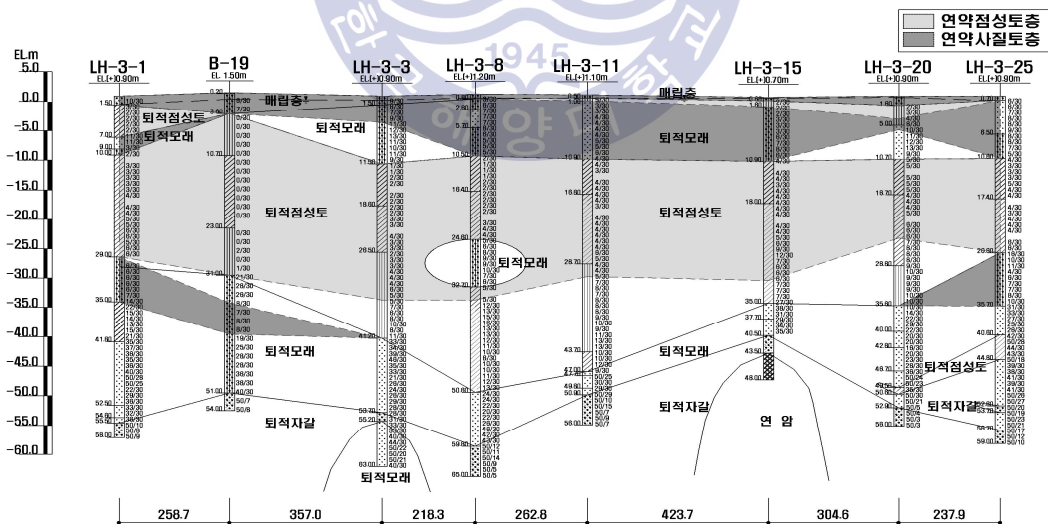
구 분	층 두께 (m)	구 성 상 태	N치 범위 (회/cm)	비 고
매립토층	0.8~2.2	<ul style="list-style-type: none"> • 자갈섞인 실트질 모래, 모래질 자갈, 실트질 점토 • 담갈색, 암갈색, 담갈색~암갈색 	3/30~10/30	LH-3-24 제외
전답토층	1.3	<ul style="list-style-type: none"> • 점토질 실트 • 암갈색 	7/30	LH-3-24 확인
퇴 적 토 층	세립 토 20.5~35.1	<ul style="list-style-type: none"> • 점토, 실트질 점토, 점토질 실트, 모래질 실트 • 담회색~암회색, 담회색~회갈색, 담회색, 암회색 	0/30~25/30	전시추공 확인
	조립 토 24.5~33.3	<ul style="list-style-type: none"> • 모래, 실트질 모래, 점토질 모래, 자갈질 모래, 모래질 자갈 • 담회색, 담회색~회갈색, 암회색 	1/30~50/3	전시추공 확인
연암층	1.8 이상	<ul style="list-style-type: none"> • 화강암 • 담회색~청회색 	TCR: 100% RQD: 17%	LH-3-14 확인

지반분석 결과

- 연약지반 분포 두께는 0.5~27.4m 정도 형성됨
- 연약지반 N치는 0/30~5/30 정도로 분포

Section B ~ B' (관련시추공: 8개소)

본 단면에 대한 세부적인 지반 분포현황은 다음과 같다.



구 분	퇴적토층(m)				풍화 토층 (m)	풍화 암층 (m)	연암층 (m)	시추 심도 (m)	비 고
	점토	실트	모래	자갈					
LH-3-1	23.2	-	30.3	3.0	-	-	-	58.0	성토부
B-19	12.3	15.1	20.0	3.0	-	-	-	54.0	
LH-3-3	15.0	14.7	30.3	1.5	-	-	-	63.0	
LH-3-8	32.0	-	27.0	5.2	-	-	-	65.0	
LH-3-11	21.1	15.0	14.3	5.1	-	-	-	56.0	
LH-3-15	24.1	-	15.8	3.0	-	-	4.5	48.0	
LH-3-20	19.2	10.2	21.9	3.1	-	-	-	56.0	
LH-3-25	20.2	-	35.8	2.3	-	-	-	59.0	

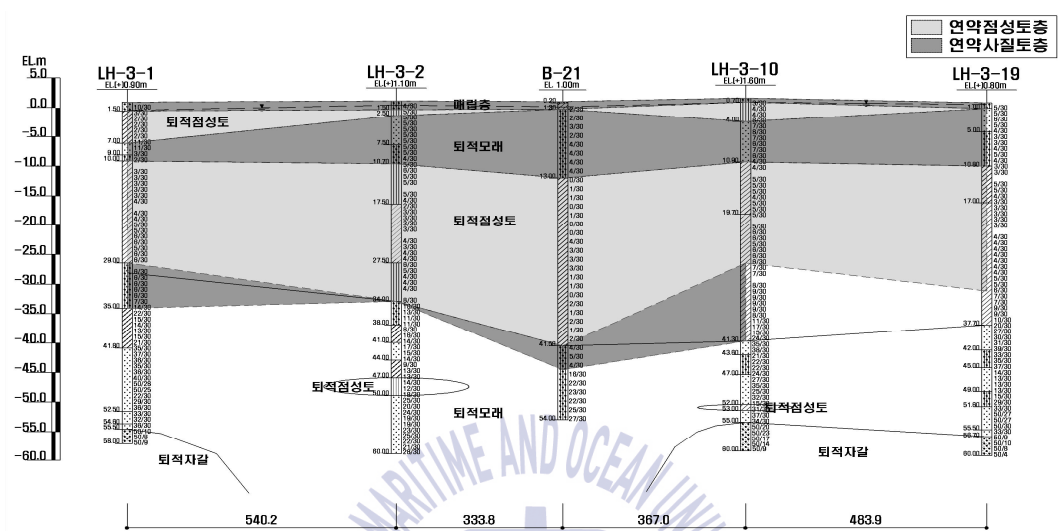


구 분	층 두께 (m)	구 성 상 태	N치 범위(회/cm)	비 고
매립토층	0.5~3.6	<ul style="list-style-type: none"> • 자갈섞인 실트질 모래, 모래질 자갈 • 암갈색, 담갈색, 갈색~담갈색 	6/30~10/30	전시추공 확인
퇴 적 토 층	세립토 20.2~36.1	<ul style="list-style-type: none"> • 실트질 점토, 점토, 점토질 실트, 모래질 실트 • 담회색~암회색, 담회색~회갈색, 암갈색, 담갈색 	0/30~50/28	전시추공 확인
	조립토 19.4~38.1	<ul style="list-style-type: none"> • 실트질 모래, 모래, 자갈질 모래, 점토질 모래, 모래질 자갈 • 담회색~암회색, 담갈색~암갈색, 담갈색, 담회색, 암갈색 	2/30~50/3	전시추공 확인
연암층	4.5 이상	<ul style="list-style-type: none"> • 화강암 • 회갈색~담회색 	TCR: 91~96% RQD: 38~79%	LH-3-15 확인

지반분석 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반 분포 두께는 5.5~17.3m 정도 형성됨 • 연약지반 N치는 0/30~5/30 정도로 분포
---------	---

Section C ~ C' (관련시추공: 5개소)

본 단면에 대한 세부적인 지반 분포현황은 다음과 같다.



구 분	퇴적토층(m)				풍화 토층 (m)	풍화 암층 (m)	연암층 (m)	시추 심도 (m)	비 고
	점토	실트	모래	자갈					
LH-3-1	23.2	-	30.3	3.0	-	-	-	58.0	성토부
LH-3-2	10.0	16.3	32.2	-	-	-	-	60.0	
B-21	28.5	-	23.6	-	-	-	-	54.0	
LH-3-10	31.4	3.3	19.6	5.0	-	-	-	60.0	
LH-3-19	26.9	-	28.8	3.3	-	-	-	60.0	

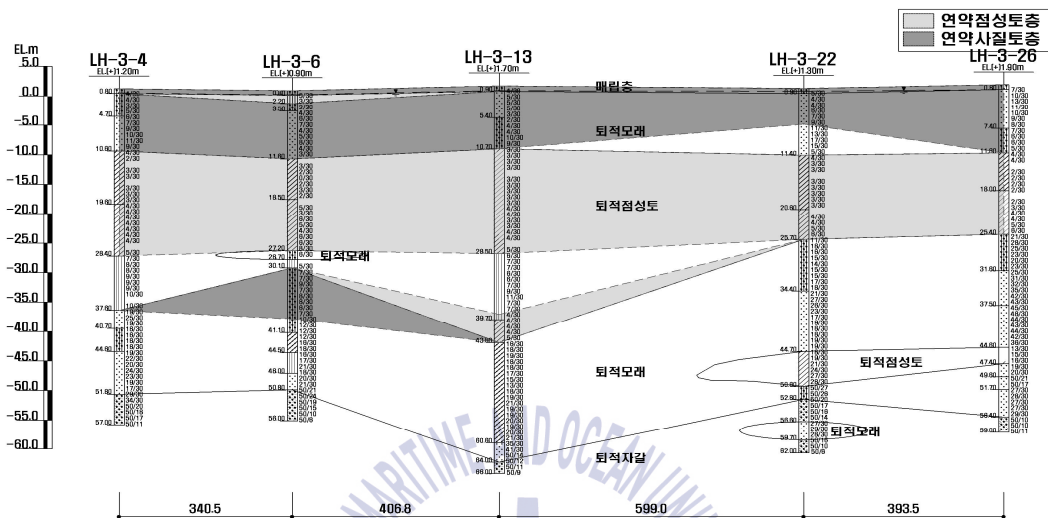
구 분	층 두께 (m)	구 성 상 태	N치 범위 (회/cm)	비 고
매립토층	0.7~1.5	<ul style="list-style-type: none"> • 자갈섞인 실트질 모래, 모래질 자갈 • 담갈색, 암갈색 	4/30~10/30	전시추공 확인
퇴 적 토 층	세립토	<ul style="list-style-type: none"> • 점토, 실트질 점토, 점토질 실트 • 담회색, 담회색~암회색, 담회색~회갈색 	0/30~24/30	전시추공 확인
	조립토	<ul style="list-style-type: none"> • 모래, 실트질 모래, 점토질 모래, 자갈질 모래, 모래질 자갈 • 담회색~암회색, 암갈색~회갈색, 암회색, 담회색, 담갈색 	2/30~50/8	전시추공 확인

지반분석 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반 분포 두께는 1.0~28.5m 정도 형성됨 • 연약지반 N치는 0/30~5/30 정도로 분포
---------	---



Section D ~ D' (관련시추공: 5개소)

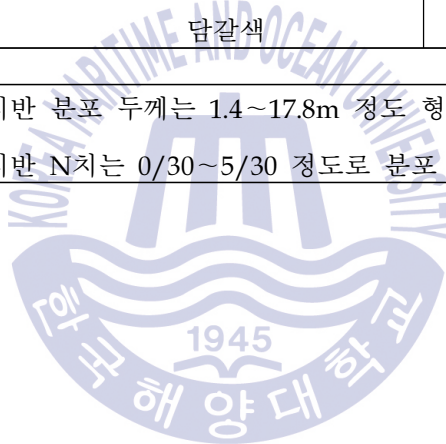
본 단면에 대한 세부적인 지반 분포현황은 다음과 같다.



구 분	퇴적토층(m)				풍화 토층 (m)	풍화 암층 (m)	연암 층 (m)	시추 심도 (m)	비 고
	점토	실트	모래	자갈					
LH-3-4	17.8	9.2	24.0	5.2	-	-	-	57.0	성토부
LH-3-6	15.6	6.3	28.1	5.2	-	-	-	56.0	
LH-3-13	21.7	11.2	30.2	2.0	-	-	-	66.0	
LH-3-22	20.2	-	34.8	6.1	-	-	-	62.0	
LH-3-26	16.6	-	39.0	2.6	-	-	-	59.0	

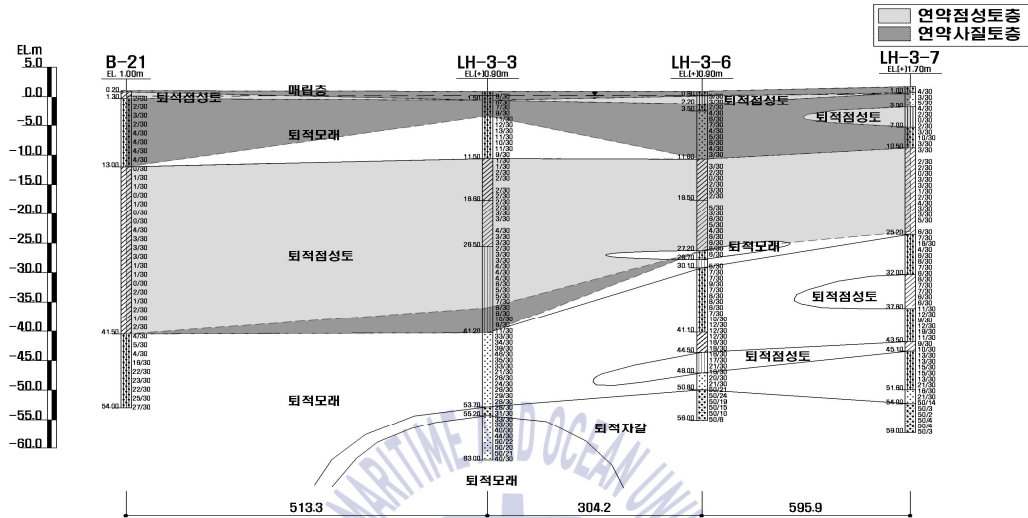
구 분	층 두께 (m)	구 성 상 태	N치 범위(회/cm)	비 고	
매립토층	0.8~0.9	<ul style="list-style-type: none"> • 자갈섞인 실트질모래 • 담갈색, 암갈색 	-	전시추공 확인	
퇴 적 토 층	세립토	16.6~32.9	<ul style="list-style-type: none"> • 점토, 실트질 점토, 점토질 실트 • 담회색~암회색, 담갈색, 암회색 	3/30~28/30	전시추공 확인
	조립토	29.2~41.6	<ul style="list-style-type: none"> • 모래, 실트질 모래, 점토질 모래, 자갈질 모래, 모래질 자갈 • 담회색~암회색, 회갈색~담회색, 암회색, 담갈색 	2/30~50/10	전시추공 확인

지반분석 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반 분포 두께는 1.4~17.8m 정도 형성됨 • 연약지반 N치는 0/30~5/30 정도로 분포
---------	---



Section E ~ E' (관련시추공: 4개소)

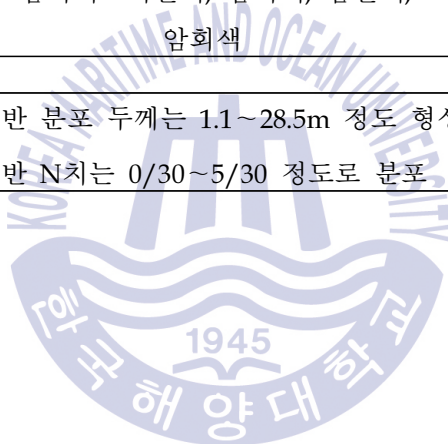
본 단면에 대한 세부적인 지반 분포현황은 다음과 같다.



구 분	퇴적도층(m)				풍화 토층 (m)	풍화 암층 (m)	연암층 (m)	시추 심도 (m)	비 고
	점토	실트	모래	자갈					
B-21	28.5	-	23.6	-	-	-	-	54.0	성토부
LH-3-3	15.0	14.7	30.3	1.5	-	-	-	63.0	
LH-3-6	15.6	4.9	29.5	5.2	-	-	-	56.0	
LH-3-7	22.1	3.5	27.4	5.0	-	-	-	59.0	

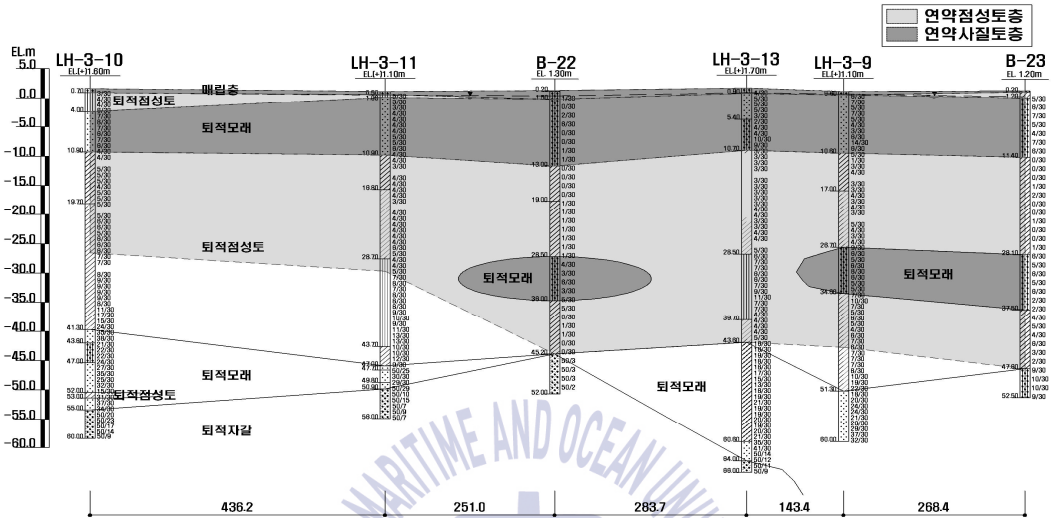
구 분	층 두께 (m)	구 성 상 태	N치 범위(회/cm)	비 고
매립토층	0.8~1.3	<ul style="list-style-type: none"> • 자갈섞인 실트질모래, 자갈섞인 실트질 점토 • 담갈색, 암갈색, 황갈색 	9/30	전시추공 확인
퇴 적 토 층	세립 토 7	<ul style="list-style-type: none"> • 점토, 실트질 점토, 점토질 실트 • 담회색~암회색, 담회색, 암회색 	0/30~11/30	전시추공 확인
	조립 토 7	<ul style="list-style-type: none"> • 모래, 실트질 모래, 점토질 모래, 모래질 자갈 • 담회색~회갈색, 담회색, 담갈색, 암회색 	2/30~50/2	전시추공 확인

지반분석 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반 분포 두께는 1.1~28.5m 정도 형성됨 • 연약지반 N치는 0/30~5/30 정도로 분포
---------	---



Section F ~ F' (관련시추공: 6개소)

본 단면에 대한 세부적인 지반 분포현황은 다음과 같다.



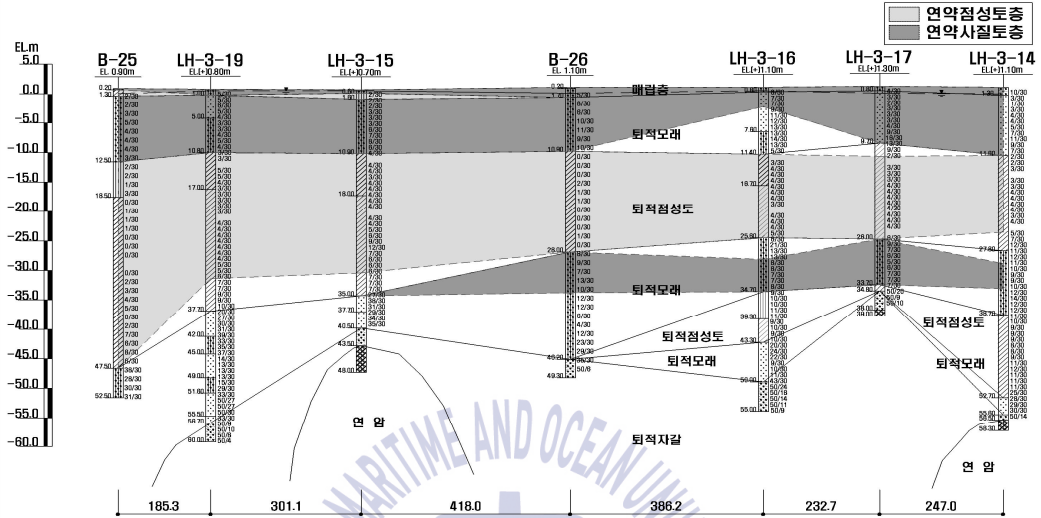
구 분	퇴적도층(m)				풍화 토층 (m)	풍화 암층 (m)	연암층 (m)	시추 심도 (m)	비 고
	점토	실트	모래	자갈					
LH-3-10	31.4	3.3	19.6	5.0	-	-	-	60.0	성토부
LH-3-11	21.1	15.0	14.3	5.1	-	-	-	56.0	
B-22	18.7	6.0	19.0	6.8	-	-	-	52.0	
LH-3-13	21.7	11.2	30.2	2.0	-	-	-	66.0	
LH-3-9	32.8	-	26.6	-	-	-	-	60.0	
B-23	26.8	-	24.5	-	-	-	-	52.5	

구 분	층 두께 (m)	구 성 상 태	N치 범위 (회/cm)	비 고
매립토층	0.5~1.5	<ul style="list-style-type: none"> • 자갈섞인 실트질모래, 실트질 점토 • 담갈색, 암갈색, 암회색~회색 	-	전시추공 확인
퇴 적 토 층	세립토 24.7~36. 8	<ul style="list-style-type: none"> • 점토, 실트질 점토, 점토질 실트 • 담회색~암회색, 암갈색~회갈색, 암회색 	3/30~24 /30	전시추공 확인
	조립토 19.4~32. 2	<ul style="list-style-type: none"> • 모래, 실트질 모래, 점토질 모래, 자갈질 모래, 모래질 자갈 • 담갈색, 암갈색, 회갈색~담회색, 암갈색~회갈색, 담회색~암회색 	2/30~50 /7	전시추공 확인

지반분석 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반 분포 두께는 0.5~32.3m 정도 형성됨 • 연약지반 N치는 0/30~11/30 정도로 분포
---------	--

Section G ~ G' (관련시추공: 7개소)

본 단면에 대한 세부적인 지반 분포현황은 다음과 같다.



구 분	퇴적토층(m)				풍화 토층 (m)	풍화 암층 (m)	연암층 (m)	시추 심도 (m)	비 고
	점토	실트	모래	자갈					
B-25	29.0	6.0	16.2	-	-	-	52.5	성토부	
LH-3-19	26.9	-	28.8	3.3	-	-	60.0		
LH-3-15	24.1	-	15.8	3.0	-	-	48.0		
B-26	17.1	-	27.4	3.1	-	-	49.3		
LH-3-16	18.2	4.6	26.4	5.0	-	-	55.0		
LH-3-17	17.4	-	16.6	3.2	-	-	39.0		
LH-3-14	30.2	-	24.1	0.9	-	-	58.3		

구 분	층두께 (m)	구 성 상 태	N치 범위 (회/cm)	비 고
매립토층	0.6~1.7	<ul style="list-style-type: none"> • 자갈섞인 실트질모래, 모래질 자갈, 실트질 점토 • 담갈색~암갈색, 암회색, 황갈색 	5/30~10/30	전시추공 확인
퇴적토층	세립토 17.1~35.0	<ul style="list-style-type: none"> • 점토, 실트질 점토, 점토질 실트, 모래질 실트 • 담회색~암회색, 담갈색 	2/30~25/30	전시추공 확인
	조립토 16.2~32.1	<ul style="list-style-type: none"> • 모래, 실트질 모래, 자갈질 모래, 모래질 자갈 • 담회색~암회색, 담회색~회갈색, 담갈색, 암회색, 유백색 	1/30~50/8	전시추공 확인
연암층	1.0 이상	<ul style="list-style-type: none"> • 화강암 • 담회색~청회색, 회갈색~담회색, 담갈색 	TCR: 91~100% RQD: 0~79%	LH-3-14, 15, 17 확인

지반분석 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반 분포 두께는 1.0~27.8m 정도 형성됨 • 연약지반 N치는 0/30~5/30 정도로 분포
---------	---