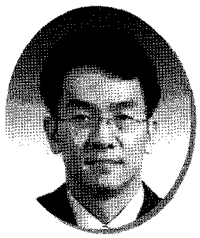
해상풍력구조물을 위한 말뚝 기초 설계 기법

류 대 영
GS건설 기술본부
지반팀 과장



신 윤 섭
GS건설 기술연구소
인프라연구팀 선임연구원

조 성 한
GS건설 기술본부 지반팀 부장,
우리학회 기초기술위원회 간사
(chosh@gsconst.co.kr)

박 종 헌
GS건설 기술연구소
인프라연구팀 수석연구원

1. 서론

화석에너지의 고갈과 지구 온난화 등의 영향으로 전 세계적으로 신재생에너지의 수요가 증가하는 가운데, 국내에서도 신재생에너지와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 신재생에너지 중 효율이 가장 좋은 것으로 알려진 풍력발전의 경우, 초기 소규모의 육상 발전에서 대규모 해상풍력 발전단지로 변화하고 있는 추세로, 현재 영국, 덴마크, 독일, 중국, 미국 등 세계 여러 나라에서 해상풍력 단지를 설치 운영 중에 있으며, 또한 추가적으로 대규모의 해상풍력단지 건설 계획을 수립하여 추진 중에 있다. 우리나라는 지식경제부 주관으로 해상풍력 추진 로드맵을 수립하여 2019년까지 2.5GW의 해상풍력단지 건설을 목표로 추진 중이며, 이를 위하여 여러 기관에서 현재 해

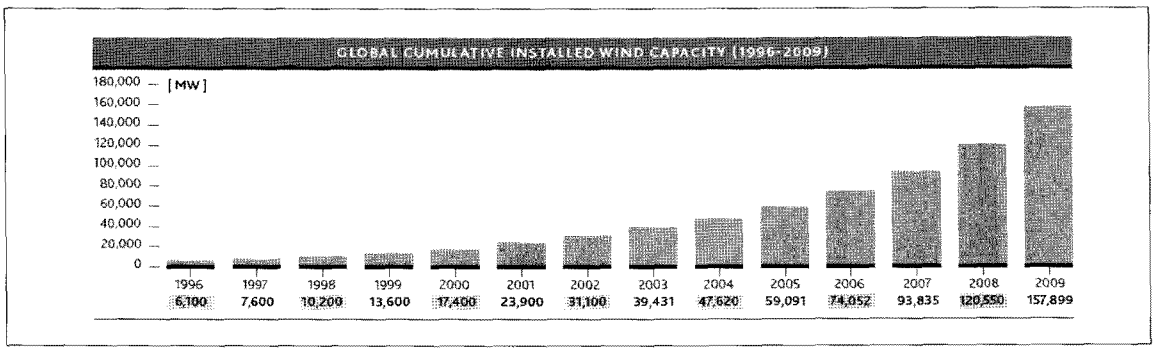


그림 1. 전세계 신규 풍력발전 설치용량(Global Wind Energy Council, 2010)

상풍력 관련기술을 연구 개발 중에 있다.

현재 해상풍력과 관련된 국내 기술 수준은, 풍력발전기의 제작과 관련된 연구는 지속적으로 진행되었으나, 상부구조물을 지지하는 하부 기초 구조물에 대한 연구는 부족한 것이 현실이다. 또한 해외의 설계 사례 및 기준에서도 말뚝 직경의 대형화에 따른 지지 거동의 차이 및 공용 기간 동안 반복하중을 받는 해상풍력 구조물 기초의 특성을 반영한 명확한 설계법이 제시되지는 못하고 있다.

따라서 본고에서는 현재 사용 중인 해상풍력 구조물 기초와 관련된 해외의 주요 설계 기준을 간략히 소개하고, 또한 현재 연구 진행 중인 해상풍력구조물 기초의 특성을 반영한 설계법에 대하여도 간략히 소개하고자 한다.

2. 해외설계 기준 소개

현재 해상풍력단지 설계를 위한 국내의 설계 기준 및 가이드라인(Guideline)은 거의 전무한 상황이며, 국내 여건에 적합한 설계 기준을 마련하기 위하여 관련된 다양한 분야에서 연구가 진행 중에 있다. 국외의 경우, GL (Germanischer Lloyd), DNV(Det Norske Veritas), IEC(International Electrotechnical Commision) 등의 기관에서 해상풍력과 관련된 설계 기준을 제시하고 있으며, 프로젝트 수행 시 현장 여건, 구조물 특성 등을 고려하여 이들 기준을 적절히 조합하여 사용하고 있다. 그 중 해상풍력구조물 기초 설계와 관련해서는 대부분의 해상풍력 전용 설계 기준에서 API 설계 기준을 참조하여 기초 설계법을 제안하고 있으며, 특히 해상풍력구조물 기초형식으로 많이 사용되는 모노파일(Monopile) 또는 자켓(Jacket) 구조물과 같은 말뚝 기초의 경우 대부분의 설계 기준에서 API RP-2A에 수록된 세부 기준 및 공식들을 기본 설계법으로 채택하고 있다. 각 기관별로 작성된 해상풍력관련 설계 기준의 특징을 간략히 요약하면 다음과 같다.

2.1 API(American Petroleum Institute) 기준

API 설계 기준은 해상 유전(Oil & Gas) 등 해양산업과 관련된 고정식 구조물 및 부유식 구조물을 포함하여 500여개가 넘는 분야의 설계 기준을 담고 있다. API 설계 기준 중 해상풍력구조물 설계 시 많이 참조되는 API RP-2A는 해상 플랫폼(Offshore Oil and Gas Platform)의 설계 및 시공을 목적으로 만들어진 설계 기준으로 WSD 및 LRFD 의 두가지 방식의 설계 기준을 제시하고 있다. API 설계 기준의 경우 DNV, IEC, GL 등에서 제시하는 해상풍력구조물 전용 설계 기준 작성 시 많은 부분이 참고 자료로 사용되었으며, 현재에도 기초를 포함한 해상풍력구조물 설계와 관련된 여러 분야에서 참고 자료로 사용되고 있다. 그러나 API의 설계 기준은 해상풍력구조물 전용 설계 기준이 아니므로 하중조건, 풍력발전기를 제외한 지지구조물, 기초 등의 개략적인 설계시에는 적용이 가능하나, 상세 설계 시에는 IEC, GL, DNV 등 해상풍력구조물 전용 설계 기준을 참조하여 설계를 진행하여야 한다.

2.2 DNV(Det Norske Veritas) 기준

해상풍력구조물 전용설계 기준인 DNV-OS-J101 "Design of Offshore Wind Turbine Structures"는 해상풍력구조물의 설계, 시공, 유지관리에 관한 가이드라인을 제시하고 있다. 특히 DNV-OS-J101의 구조물기초 설계편은 다른 설계 기준과 비교하여 매우 상세하게 기술되어 있으며, 그 내용은 API RP-2A WSD와 거의 동일하다. 다만 허용응력설계법을 사용하는 API RP-2A WSD 설계 기준과는 달리 하중과 재료의 강도에 각각 안전율을 고려하는 부분안전율설계법(Partial safety factor method)을 사용하는 차이점이 있다. 그러나 DNV-OS-J101은 해상풍력발전 지지구조물 및 기초 설계에 관해서는 상세 내용이 수록되어 있으나 풍력발전기 구성요소(nacelle, rotor, generator, gearbox 등)와 관련된 내용은 포함하지 못하고 있어, 이 부분에 대해서는 IEC 등 다른 설계 기준을 참조하도록 제안하고 있다.

2.3 IEC(International Electrotechnical Commission) 기준

풍력 발전기에 대한 국제적인 가이드라인을 최초로 제안한 IEC에 의해서 만들어진 IEC 61400은 풍력 발전기에 대한 설계와 평가기준에 대한 내용을 포함하고 있다. IEC 61400은 총 10개의 가이드라인으로 구성되어 있으며, 육상 및 해상의 풍력발전 설계를 위한 기준을 제시하고 있다. 해상풍력과 관련해서는 IEC61400-1 "Design Requirement"와 IEC61400-3 "Design Requirements for Offshore Wind Turbine"에 주요 내용이 수록되어 있으며, IEC 61400-3의 경우 해상풍력 구조물뿐만 아니라 해상풍력과 관련된 Subsystem(Control, Protection mechanism, Internal electrical system, Mechanical system)설계와 관련된 내용까지 포함하고 있다. 특히 IEC 설계 기준은 해상풍력 구조물 설계를 위한 설계 하중(Wind, Wave, Current, Tidal, Ice 등)에 대해서는 가장 상세히 포함하고 있는 것이 특징이다. 그러나 구조물 기초 설계를 포함한 세부적인 설계 내용은 포함하지 않고 있으며, 필요시 다른 설계 기준을 참조하도록 제안하고 있다.

2.4 GL(Germanischer Lloyd) 기준

Germanischer Lloyd에 의하여 1995년에 처음으로 해상풍력 발전기 설계 및 인증에 관한 규정으로 만들어진 (1999, 2004년, 2005년 수정 보완) "GL, Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines"은 해상풍력구조물을 위한 전용 설계 기준으로 해상풍력과 관련된 전반적인 사항(Support Structure, Turbine Machinery, Blades 등)을 포함하고 있으며, 해상풍력발전기와 해상풍력단지의 인증과 관련된 내용도 포함하고 있다. 또한 GL에서는 "Guideline for the Certification of Wind Turbines", "Guideline for the Certification of Condition Monitoring Systems for Wind Turbine" 등을 해상풍력과 관련된 참고 자료로 제시하고 있다. 구조물 기초설계의 경우 설계 기준에 개략적인 내용은 포함하고 있으나 상세 내용은 포함하지 않고 있어, 필요시 다른 설계 기준을 참조하도록 제안하고 있다.

2.5. ISO(International Organization for Standardization) 기준

ISO의 경우 해상구조물에 대한 기술적인 내용을 ISO 19900~19909 편에 수록하고 있다. ISO는 API와 동일하게 해상풍력발전 구조물의 설계, 시공 등에 대한 상세 내용을 수록하고 있지는 않으며, 일반적인 해상구조물의 설계 가이드라인을 제시하고 있다. 구조물 기초 설계의 경우 API RP-2A WSD와 기본적인 내용은 거의 유사하며, 기초 설계를 포함한 해상풍력발전 구조물 설계와 관련된 분야는 ISO Standard 2394, 4354, 19900~19903 등을 참조하면 확인할 수 있다.

3. 해상풍력구조물 말뚝 기초 설계 기법

3.1 설계 기준에 따른 말뚝 기초 설계법

표 1. 해상풍력관련 설계 기준 비교(Rakesh K. Saigal and Dan Dolan, 2007)

ITEM	API	DNV	IEC	GL	ISO
Environmental conditions	V				
Design load cases	V	V	VV	VV	V
General guidance on offshore structure design	VV	V	V	V	VV
Specific guideline on offshore wind turbine design		VV	VV	VV	
Ultimate limit state code checks	VV	VV		VV	VV
Fatigue limit state and serviceability limit state code check	VV	VV		VV	VV
Project certification		VV		VV	

a) V=some guidance given, VV=substantial guidance given

2장에서 언급하였듯이 해상풍력구조물 말뚝 기초 설계의 경우 API RP-2A WSD의 방법을 기본적인 설계법으로 대부분의 설계 기준에서 제시하고 있으며, 재하시험, 실내 및 현장 시험 결과 등을 수행한 경우 그 결과를 우선적으로 설계에 적용하도록 명기하고 있다. 그러나 허용응력설계법을 이용하는 API RP-2A WSD와는 달리 DNV-OS-J101로 대표되는 다른 설계 기준들은 대부분 부분안전율설계법을 사용하고 있다. 따라서 본 장에서는 말뚝기초 설계와 관련하여 비교적 상세한 내용을 포함하고 있는 API RP 2A-WSD와 DNV-OS-J101에 대하여 간략히 비교하고자 한다.

두 기준 모두 해상풍력구조물의 말뚝 기초 안정 검토는 일반적인 말뚝 기초와 동일하게 지지력 및 변위, 세굴 영향, 항타 관입성 등 대하여 검토하도록 제안하고 있다. 그러나 추가적으로 해상풍력구조물 기초의 경우 해상에 시공되는 구조물의 특성을 고려하여 공용기간 동안 반복적으로 구조물에 작용하는 환경하중(Wind, Wave 등)에 따른 반복하중영향(Cyclic Loading Effect)을 반드시 고려하도록 설계 기준에 명기하고 있다.

간략하게 상세 설계법을 살펴보면, 우선 말뚝 연직지지력의 경우 지반의 배수 조건에 따라 α, β-법을 기본 공식으로 제안하고 있다. 일반적으로 자켓 구조물의 경우 말뚝의 압축 및 인발력이 설계의 주요 인자로 작용하는 경우가 많으나, 모노파일과 같은 대구경 말뚝의 경우 말뚝 지지력대비 연직 하중이 크지 않기 때문에 일반적으로 크게 문제가 발생하지 않는다. 말뚝 수평 거동의 경우, 풍력발전기와 같은 상부 구조물이 수평 변위 또는 각변위에 매우 민감하므로 풍력발전기 제작사 등에 의하여 제시되는 한계 변위량을 기준으로 설계를 진행한다. 특히 해상풍력 구조물은 수직하중은 크지 않은 반면, 수평방향으로 풍하중, 파력, 조력 등이 공용기간 내 반복적으로 작용하기 때문에 수평변위 또는 각변위가 말뚝의 설계 인자로 작용하는 경우가 많다. 따라서 모든 설계 기준에서 반복하중영향을 설계 시 고려하도록 명기하고 있으며, 기본 설계법으로 말뚝의 수평거동 분석의 경우 Cyclic p-y curve를 이용하여 반복하중영향을 고려하는 방법을 제안하고 있다.

앞에서 살펴보았듯이 두 설계 기준은 말뚝 기초설계를 위한 대부분의 기본 공식 및 검토 사항이 동일하다. 그러나 API RP 2A-WSD는 허용응력설계법을, DNV-OS-J101는 부분안전율설계법을 사용하고 있다는 것이 큰 차이점이다. 또한 대상 구조물의 특성(Man or Un-Manned Condition 등)을 고려한 Safety Level의 차이로 API의 경우 100년 주기 하중을, DNV의 경우 50년 주기

표 2. Cycle p-y Curve(API RP-2A WSD)

Sand	Soft Clay					
	Static		Cyclic			
			$X > X_R$		$X < X_R$	
$p = Ap_u \tanh(\frac{kX}{Ap_u} y)$	p/p_u	y/y_c	P/p_u	y/y_c	p/p_u	y/y_c
$A = \begin{cases} 0.9 & \text{for cyclic loading} \\ (3-0.8\frac{X}{D}) \geq 0.9 & \text{for static loading} \end{cases}$	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
	0.23	0.1	0.23	0.1	0.23	0.1
	0.33	0.3	0.33	0.3	0.33	0.3
	0.50	1.0	0.50	1.0	0.50	1.0
	0.72	3.0	0.72	3.0	0.72	3.0
	1.00	8.0	0.72	∞	$0.72\,X/X_R$	15.0
	1.00	∞			$0.72\,X/X_R$	∞

p : Actual lateral resistance　　Pu : Ultimate Resistance
y : lateral deflection　　k : initial modulus of subgrade reaction
X : Depth　　D : Diameter
X_R : Depth of reduced resistance zone　　y_c : $2.5\varepsilon_{50}D$

표 3. 설계 기준 비교(API RP 2A-WSD vs DNV-OS-J101)

Code	API Recommended Practice 2A-WSD	DNV-OS-J101
Method	Working Stress Design	Partial Safety Factor Design
Safety Factor	Load Condition / Factors of Safety 1. Design environmental conditions with appropriate drilling loads — 1.5 2. Operating environmental conditions during drilling operations — 2.0 3. Design environmental conditions with appropriate producing loads — 1.5 4. Operating environmental conditions during producing operations — 2.0 5. Design environmental conditions with minimum loads (for pullout) — 1.5	Load Combination X Load Factor (Load Combinations > 1,000 case) Materials ÷ Material Factor Type / ULS / SLS Effective / 1.15 / 1.0 Total / 1.25 / 1.0
R. Period	100year	50year
Target	Offshore Platform	Offshore Wind Turbine

하중을 사용하는 차이점이 있다. 두 설계 기준의 차이점을 간략히 요약하면 다음 표 3과 같다.

3.2 설계 기준의 문제점

현재 반복하중영향을 고려하기 위하여 설계 기준에 제안된 Cyclic p-y curve는 1.0m 이하의 소구경 강관 말뚝에 대하여 100회 이하의 반복하중으로 만들어진 식으로서, 해상풍력구조물 기초 형식으로 많이 사용되고 있는 모노파일과 같은 대구경 말뚝(4.0~6.0m) 및 약 20년의 공용기간 동안 108 회 이상의 반복하중을 받은 해상풍력구조물에 적용하기에는 불합리한 점이 있다고 보고되고 있다(M. Achmus, Kerstin Lesny, Knut H. Andersen 등). 또한 말뚝 기초가 아닌 직접 기초 형식의 구조물도 (Suction Cassion, Gravity Based Structure 등) 반복하중영향에 따른 지반의 강도 감소 효과를 고려하여야 하나 아직 적절한 설계법이 제시되지 못하고 있다. 따라서 구조물 기초 설계 시 반복하중에 의한 지반의 강도 감소 영향을 적절히 고려하기 위한 방법을 찾기 위하여 여러 학자들에 의하여 다양한 연구가 진행되고 있으며, GS건설도 NGI(Norwegian Geotechnical Institute)와 공동으로 반복하중을 고려한 해상풍력구조물 기초 설계법에 대한

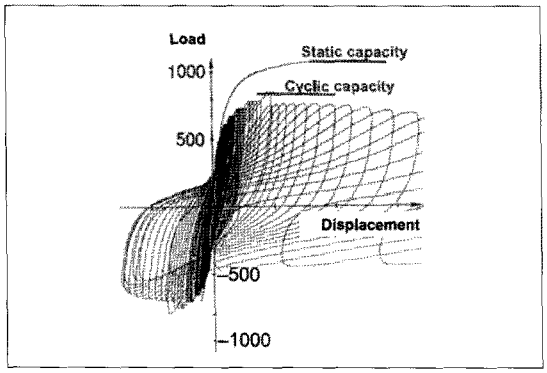


그림 2. 반복하중 조건의 하중-변형 곡선

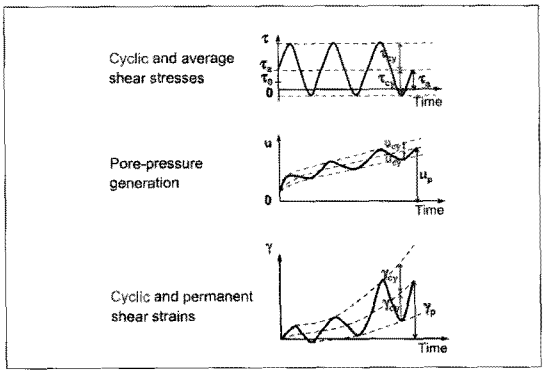


그림 3. 반복하중 조건에서의 지반 내 응력, 간극수압, 변형 거동 특성

연구를 진행하고 있다.

4. 반복하중(Cyclic Loading)을 고려한 최신의 말뚝 기초 설계 기법

4.1 Stiffness Degradation Method(M. Achmus et al.)

일반적으로 해상풍력구조물에 사용되는 모노파일과 같은 단일형, 대구경 말뚝 기초의 경우 상부 하중에 의한 연직력보다는 수평변위에 의하여 기초 설계가 지배되기 때문에 반복하중에 의한 말뚝기초 두부에서의 수평 변위 또는 각변위의 산정이 매우 중요하다. 따라서 모노파일과 같은 대구경 말뚝 기초에 적용하기 위하여 독일의 M. Achmus 등에 의하여 제안된 S.D.M(Stiffness Degradation Method)은 실내시험(Cyclic triaxial test 등)을 이용하여 산정한 지반의 반복하중에 따른 강도 감소 거동을 수치해석에 반영하여 해석하는 방법이다. S.D.M은 지반의 반복하중에 따른 거동을 실내시험을 통하여 산정한 후 수치해석을 이용하여 말뚝의 거동 특성을 분석하는 방법으로 해상풍력구조물 말뚝 기초 설계 시 매우 유용한 설계법으로 판단되나, 아직 실내 및 현장 실험 등을 통한 충분한 검증이 수행되지 않아 추가적인 연구가 필요한 것으로 보고되고 있다.

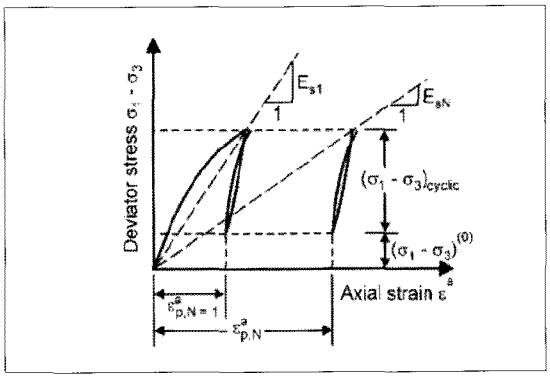


그림 4. 반복 배수 삼축 시험 시 응력-변형율 거동

4.2 Strain Wedge Model(Kerstim Lesny et al.)

해상풍력 구조물 기초 형식으로 사용되는 모노파일의 반복하중영향을 고려하기 위하여 Kerstin Lesny와 Peter Hinz 등은 기존의 S.W.M(Strain Wedge Model)을 이용하여 반복하중영향을 고려할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 해석법은 S.W.M 의 입력변수 중 하나인 ε50에 반복횟수 증가에 따른 지반의 강도 감소 효과를 반영하여 횡방향 변형 거동을 해석하는 방법으로, 반복횟수에 따른 지반의 거동 특성은 현장 시료의 반복 삼축 시험(multistage cyclic triaxial test)을 통하여 산정하며, 그 상관식을 S.W.M에 입력하여 말뚝의 횡방향 거동 특성을 분석한다. 그러나 Kerstin 등이 제안한 방법은 여러 가정

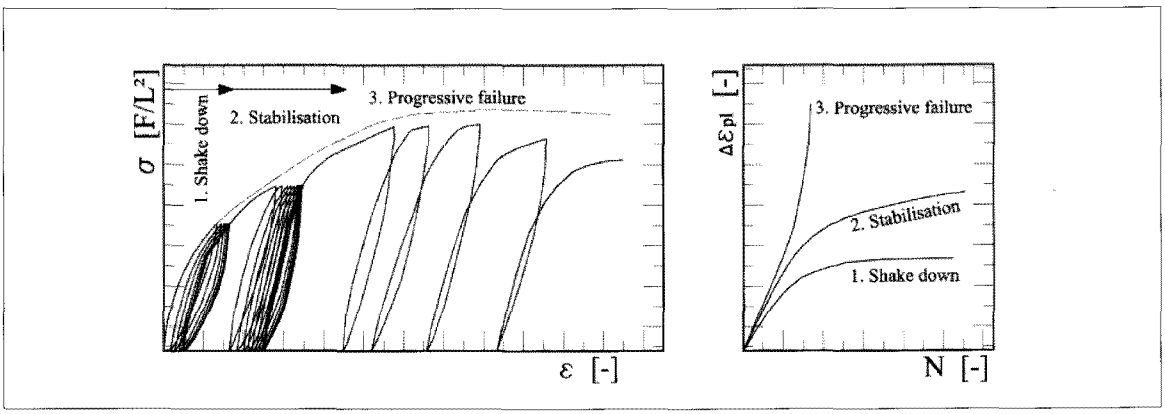


그림 5. Cyclic Lateral Loading에 따른 지반 변형 거동 특성

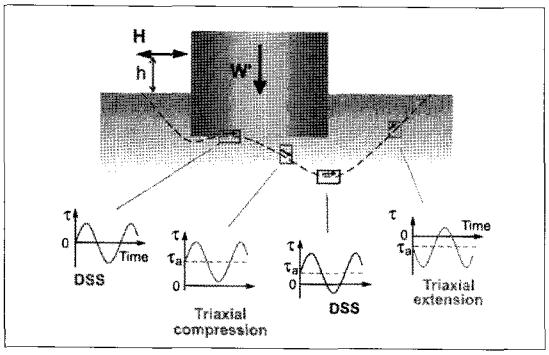


그림 6. 반복하중 재하 시 지반 내 응력 상태

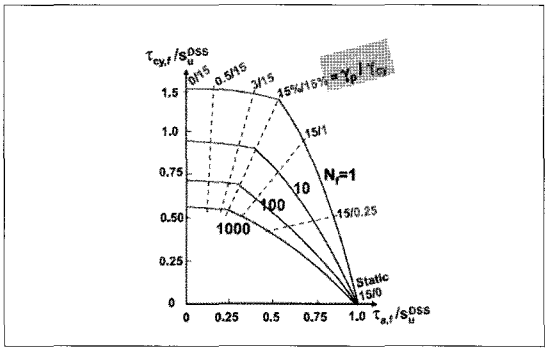


그림 7. 반복하중에 따른 지반의 응력-변형율 특성(DSS Test)

사항을 근거로 기존의 말뚝 횡방향 해석 모델을 수정하여 제안된 방법으로 추가적인 연구 및 검증이 필요한 것으로 보고되고 있다.

4.3 UDCAM and PDCAM Model(GS건설 & NGI)

말뚝기초에 반복하중이 지속적으로 작용할 경우 말뚝의 변위는 반복적인 하중재하와 함께 누적되게 되고, 비배수상태에서는 반복하중에 따라 지반의 과잉간극수압도 누적되게 된다. 이러한 누적변위와 누적과잉간극수압에 대한 영향을 고려하여 말뚝 기초를 설계하고자 하는 연구가 현재 GS건설과 NGI에서 공동으로 진행되고 있다.

NGI는 1970년대부터 Norway 북해에 설치된 석유 시추 등 해상 구조물 설계를 위하여 해상 구조물 기초의 반복하중에 대한 영향을 지속적으로 연구하여 많은 연구 자료와 성과를 축적하고 있다.

앞에서 언급한 S.D.M 및 S.W.M은 반복하중을 받는 모노파일과 같은 대구경 말뚝 기초가 대상이나 현재 GS건설과 NGI에서 연구 중인 해석방법은 반복하중에 의한 지반의 응력 상태(인장, 압축, 전단), 반복 하중의 크기, 횟수, 반복하중에 의한 지반 강도 감소 특성 등을 고려하여 기초 구조물의 거동 특성을 분석하는 방법으로, 직접기초 및 말뚝기초 등 반복 하중이 작용하는 모든 구조물 기초 형식에 적용이 가능한 방법이다. 즉, 해상풍력기초 설계 시 반복하중영향을 고려하기 위하여 현장 시료의 반복 전단(Cyclic DSS) 및 반복 삼축 시험(Cyclic triaxial test)을 통하여 기본적인 지반의 반복하중에 따른 거동 특성을 파악하고, 기존의 설계기준에서 사용하는 유사정적하중(Quasi-Static load)이 아닌 반복횟수, 크기 등을 고려한 하중을 산정한 후 수치 해석을 이용하여 실제 현장 조건과 유사하게 지반, 하중, 구조물 조건을 모사하여 해석을 수행하는 방법이다.

현재 지반의 비배수거동 특성을 분석하는 모델(UDCAM : UnDrained Cyclic AccuMulation Model)은 개발이 완료된 상태이며, 배수모델(PDCAM : Partially Drained Cyclic AccuMulation Model)은 연구 진행 중으로 조만간 개발이 완료될 예정이다.

5. 결 론

현재 세계 여러 나라에서 해상풍력발전 단지가 활발히 건설되고 있으며, 국내의 경우도 서해안 해상풍력 시범단지 건설을 추진 중에 있다. 그러나 해상풍력 기초설계에 관한 국내의 기술 수준은 매우 낮으며, 연구 투자도 미흡한 수준이다. 또한 해외 설계 기준 및 설계 사례 등을 분석한 결과, 해상풍력구조물 기초 설계 시 일반적인 해상 구조물 설계 기준인 API 설계 기준 등을 참조하여 수행되고 있는 등 반복하중을 받는 해상풍력 구조물 기초 특성을 고려한 설계 기준은 아직 마련되어 있지 않은 상태이다. 따라서 해상풍력 구조물 기초 분야의 경우 지속적인 투자를 통한 연구가 진행된다면, 해외 선진사와의 격차를 만회할 수 있을 것으로 사료되며, 또한 우리의 기술이 세계

시장을 주도할 수 있는 기회가 올 것이라고 판단된다.

참고문헌

1. Rakesh K. Saigal, and Dan Dolan, Armen Der Kiureghian, Tim Camp, Charles E. Smith, 2007, Comparison of Design Guidelines for Offshore Wind Energy Systems, Offshore Technology Conference
2. API, Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design
3. DNV, 2007, Design of Offshore Wind Trubine Structures
4. GL, 2005, Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbine
5. IEC, 2009, 61400-3 Design requirements for offshore wind trubines
6. M. Achmus, K. Abdel-Rahman, Y.-S. Kuo, Numerical Modelling of Large Diameter Steel Piles under Monotonic and Cyclic Horizontal Loading
7. Kerstin Lesny, Peter Hinz, 2009, Design of Monopile Foundation for Offshore Wind Energy Converts, International Foundation Congress and Equipment Expo
8. Kunt H. Andersen, 2007, Bearing capacity under cyclic loading - offshore along the coast and on land, The 21st Bjerrum Lecture presented in Oslo, 2007

2011 한국지반공학회 가을학술발표회 안내

2011년 한국지반공학회 가을학술발표회를 강원대학교에서 9월 22일(목)~23일(금) 개최하오니 회원 여러분의 적극적인 참여 바랍니다.

■ **일시 :** 2011년 9월 22일(목) ~ 23일(금) ■ **장소 :** 강원대학교(춘천)

■ **형식 :** ① 초청강연(Prof. Vanicek Ivan/Czech Technical University in Prague)
② 특별세션(설계 및 시공사례, YGE, 해상풍력발전기초, 녹색성장 그린에너지, Geo-Bio Fusion Tech)
③ 전문가세션(기술위원회: 사면안정, 지반조사, 지반굴착과 지반IT융합, 지반진동, 연약지반)
④ 학생세션(구두, 포스터)
⑤ 포스터세션(일반회원)

■ 세부일정은 학회 홈페이지 참조(http://www.kgshome.or.kr)

■ **등록비 안내**

구 분	사전등록 (2011년 8월 1일 ~ 9월 5일)	현장등록
정회원	50,000원	**70,000원**
학생회원	20,000원	**30,000원**
비회원	70,000원	**90,000원**

■ **포스터세션 부착안내 :**
Poster Session 에서 발표하시는 분은 지정된 시간에 지정된 곳에서 발표될 수 있도록 협조바랍니다. 참고로 Poste의 크기는 1m(가로)×2.0m(세로)이며 Poster Session 에 붙일 논문 글자의 크기는 2~3m 전방에서 쉽게 읽을 수 있도록 충분히 크게 작성하시기 바랍니다(제목과 성명은 학회에서 붙여드립니다). 자세한 형식 안내는 홈페이지 참조바람.

※ 기타 궁금하신 사항은 학회사무국(02-3474-4428,7865)으로 문의하시기 바랍니다.