

메콩델타지역 수리 및 지반특성



방윤경
(주) 일신하이텍 전무
(sbang11@hitel.net)



김용구
(주) 도화종합기술공사 상무



최백균
(주) 다산컨설팅트 전무

1. 서론

메콩강은 티베트에서 발원하여 미얀마, 라오스, 타이 를 거쳐 캄보디아와 베트남에 이르는 총 길이 약 4,000km에 이르는 동남아시아에서 가장 긴 강이며, 세계적으로도 큰 강에 속한다(그림 1 참조). 메콩델타는 메콩강이 남중국해로 빠져나가는 지역인 남부베트남의 하 구 언저리에 발달된 넓은 충적지대를 일컫는다. 필자는 2009년 1월초부터 약 8개월간 우리나라 EDCF(대외경제 협력기금) 지원사업의 일환으로 진행된 베트남 남부해 안연결도로 사업의 지반분야 설계에 참여한 바 있으며, 본 사업을 통해 파악된 메콩델타지역의 수리지반 특성을 간략히 소개하고자 한다.

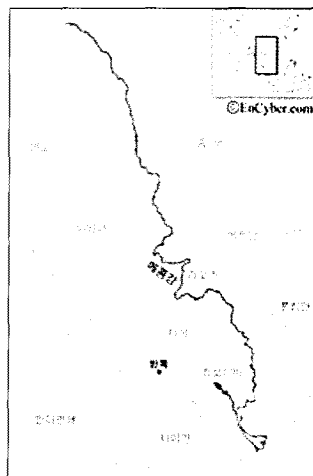


그림 1. 메콩강 유역

2. 메콩델타 지역의 개요

2.1 메콩강과 인공수로

메콩델타는 북쪽으로는 베트남과 캄보디아의 국경지 역으로부터 남동쪽으로는 동중국해와 서쪽으로는 타이

만(Thailand gulf)과 마주치는 메콩강 유역을 총칭하며, 메콩델타지역의 면적은 13개 성에 걸쳐 약 39,000Km²로 우리나라 경상북도 면적의 약 2배에 이른다. 연평균 강우량은 약 1,200~2,400mm 정도이고 이중 90% 정도가 우기에 집중된다. 5월부터 11월경 까지의 우기시에는 매일 하루에 한두 차례씩 매우 세찬 강우가 20~30분에 걸쳐 쏟아지기를 반복하는 반면, 11월부터 4월초까지는 비가 오지 않는 건조한 날이 지속된다. 이 시기에는 메콩델

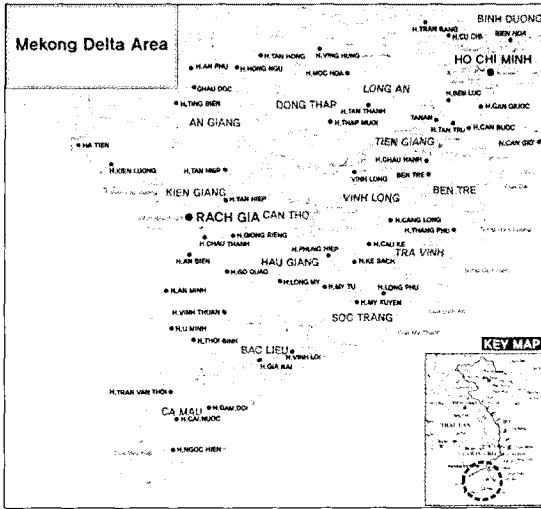


그림 2. 메콩델타 지역

타의 동북부 지역에 위치한 베트남의 경제수도인 호치민 시(Hochiminh) 시내가 온통 먼지로 뒤덮이곤 한다.

메콩델타 지역을 가로지르는 메콩강의 가장 큰 지류는 북서-남동 방향으로 흐르는 티엔강(Tien River)과 하우 강(Hau River)이고, 이로부터 9개의 크고 작은 지류들이 델타지역을 여러 가닥으로 갈라놓는다(그림 2 참조). 이러한 이유 때문에, 베트남에서는 메콩델타를 가로지르는 이들 강들을 통틀어 아홉 마리의 용을 의미하는 구룡강(Song Cuu Long)이라고 부른다(그림 2).

메콩델타 지역은 전체적으로 해발고도가 약 0.3m~5.0m 정도로 매우 낮은 평야지대이기 때문에, 홍수에 의한 침수가 반복된다. 하지만 메콩델타지역 전체에는 드넓은 곡창지대와 메콩강의 지류들을 연결하는 수많은 인공

수로(canal)들이 발달되어 배수가 원활하다. 인공수로가 건설되기 시작한 시기는 지역에 따라 다소 차이는 있으나 1,700년대 초반부터 평평한 늪지에 가로세로의 수로를 건설하여 농지로 개간하기 시작했다고 하며, 현재에도 수로의 지속적인 준설과 정비 확장이 이루어지고 있다. 인공수로로는 개인용 보트 정도가 다닐 수 있는 폭이 수m 정도의 농수로로부터 바다에서 화물이나 수산물을 내륙으로 이동할 수 있도록 큰 배가 드나드는 폭이 넓은 수로까지 다양하고 주로 이러한 수로들을 따라서 가옥과 마을들이 형성되어 있다(사진 1, 2). 메콩델타 지역에서의 주 교통수단은 선박이라고 해도 과언이 아니며, 특히 화물이나 유통운송 등 대규모의 운송수단으로는 선박을 이용하고 있다. 따라서 서민들의 교통수단인 모터바이크(일명 오토바이)나 육상 교통수단들이 다니는 도로를 건설하기 위해서는 수많은 수로를 통과하는 많은 수의 교량 계획이 필수적이고 교량 하부로 이동하는 선박의 여유고(navigation clearance)의 확보가 필요하게 된다.

베트남 선박 통행을 위한 여유고는 22 TCN-272-05에 규정되어 있다(표 1 참조).

2.2 쌓기재료

토목공사에 이용되는 골재나 토사는 몇 안 되는 산지나 구릉지의 토취장으로 활용하고 있으므로 쌓기용 재료가 매우 귀한 편이다. 수십km에서 멀게는 수백km 거리의 토취장으로부터 수로와 선박을 이용하여 쌓기용 토사를 현장으로 운반하여 이용할 수밖에 없으며, 필자가 참여했

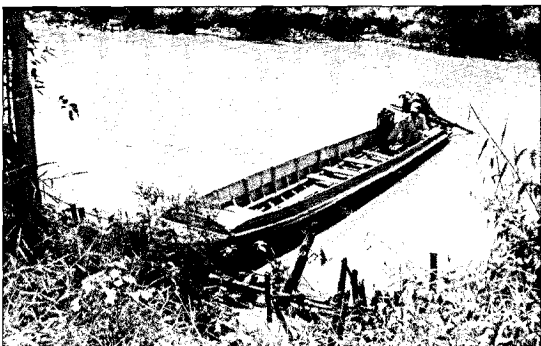


사진 1. 소규모 인공수로



사진 2. 대규모 인공수로와 가옥들

표 1. Navigation Clearance of Waterways(22 TCN-272-05)

Class of Waterway	Minimum clearance above 20year high water level [m]		
	Horizontal		Vertical
	Crossing River	Crossing Canal	
I	80	50	10
II	60	40	9
III	40	30	7
IV	40	25	5~6
V	25	20	3.5
VI	15	10	2.5

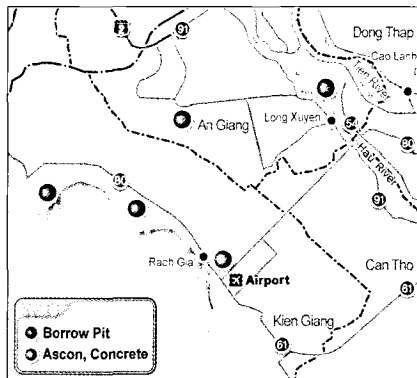


그림 3. 재료원 위치도

던 프로젝트에서도 메콩델타 지역 전체에 걸쳐 분포하는 10여개 토취장으로부터 수로를 이용한 운송이 계획되었다(그림 3). 이 중 현장으로부터 가장 먼 거리의 토취장은 메콩델타 북동부 호치민(Hochiminh) 인근의 동나이(Dong Nai) 토취장으로, 메콩델타의 서쪽 해안선에 위치한 끼엔장성(Kien Giang) 락지아(Rach Gia) 현장까지 수로거리 약 240km에 이른다. 콘크리트용 골재의 경우에는 대부분 메콩델타 상류 안장(An Giang)성의 주도인 롱수엔(Long Xuyen) 등지에서 하상골재를 채취하여 수백 km에 이르는 호치민이나 남부 까마우(Ca Mau) 지역까지도 몇 일간에 걸쳐 배로 이동하게 된다. 최근 들어 골재난에 허덕이는 국내 실정을 감안하더라도 우리나라의 토취장 여건은 이곳 메콩델타지역에 비하면 천국에 가깝다는 표현이 어울릴 듯하지만, 육상수송에 비하여 교통정체 없이 대량수송이 가능한 수로운송의 이점이 있기에 이러한 장거리 운반체계가 가능할지도 모르겠다.

3. 수리 지반특성

3.1 지형 및 수리특성

메콩델타의 지형은 메콩델타 서북부 지역인 끼엔장성(Kien Giang)과 안장성(An Giang) 북부에 소규모로 분포하는 작은 구릉들을 제외하면 대부분 아주 평활하며, 해발 고도는 약 0.3~5.0m 정도이다. 해발 고도차에 의해 지역을 구분하면 대체로 북부 베트남과 캄보디아 국경지역(2.0~ 5.0m), 하우강(Hau River)과 티엔강(Tien River) 인접지역(0.1~3.0m) 및 기타 지역(0.3~1.5m)으로 구분되고 대체적으로 하우, 티엔강과 해변지역은 퇴적 작용에 의해 고도가 높은 반면, 강으로부터 멀어질수록 고도가 낮아지는 특성을 보인다.

메콩델타 지역의 수리특성은 해발고도가 낮은 지형특성상 메콩강에 의해 절대적인 영향을 받는다. 평균 유출량이 약 14,000m³/sec에 이르는 메콩강은 상류지역에서 범람시기가 6월부터 11월경까지 지속된다. 하지만, 캄보디아 앙코르와트 인근의 톤레사프(Tong Le Xap)호수를 거치면서 일단 수량이 조절된 메콩강은 하류지역 메콩델타지역의 티엔, 하우강(Tien, Hau river)에 연결되는 수많은 수로(canal)들로 이동 되면서 강의 상류보다 한 달 정도 늦은 7월 말~ 8월 초에 홍수가 시작되어 가장 높은 홍수위는 9월 말~ 10월 초 사이에 형성되고, 지역에 따라 2개월에서 5개월 정도 지속된다. 홍수면적은 약 14,000 km² 정도이고 이 시기에 출장 시 비행기에서 내려다보이는 메콩델타 지역은 도로와 도시, 주거지역을 제외하면

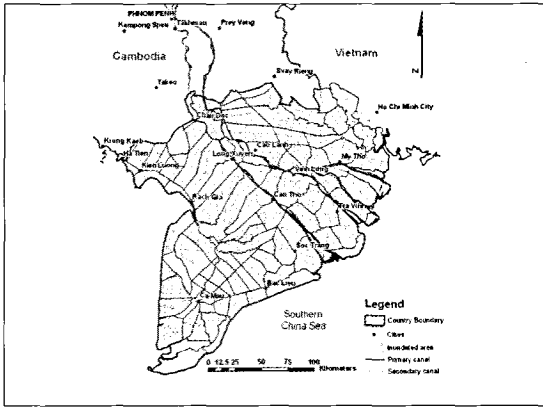


그림 4. 수로 현황과 2000년 홍수시 범람지역

농경지 전체가 거의 호수처럼 보일 정도가 된다. 따라서 지반조사는 이 시기를 피하는 것이 좋고, 부득이한 경우에는 나무판을 연결한 소형 바지(barge)를 이용하여 시추 조사를 수행하게 된다.

메콩델타 대부분의 지역은 남중국해와 타이만의 간만의 차이에 영향을 받는다. 메콩델타지역은 해발고도가 높지 않아 해수는 수로를 통하여 내륙으로 이동하여 메콩델타 서부지역에 영향을 준다. 특히 건기인 12~1월로부터 4~5월경까지는 메콩강의 수량이 현저히 줄어들게 되고, 최저수위를 나타내는 4월경에는 해수의 영향을 쉽게 받기 때문에 토목구조물 설계시 염분에 의한 구조물 피해가 없도록 고려하는 것이 필요하다.

3.2 지반특성

3.2.1 메콩델타 지층개요

메콩델타지역은 약 6,500만년전 신생대 이전에 생성된 기반암상에 제4기 완신세(Holocene)에 생성된 충적층이 평균 약 110m 깊이로 형성되어 있다. 베트남 지질국(Vietnam Geological General Bureau), 베트남 석유청

표 2. 메콩델타 지층구조 개요 (Mekong delta Agency of Geology, 1984)

Classification	Grade	Stratigraphic column	Thickness(m)	Description	Age
완신세 (Holocene)	Upper Holocene		90~200	① Grey clay, yellow grey clay on the surface, brown-grey clay in some places near large rivers. ② Grey clayey mud, light grey or brown, yellow grey clayey mud which sometimes interleaved with fine sands or gravels.	4,500
	Middle Holocene		0.50~5.0	③ Clayey mud, peat soil(upper layer) consisting of organic composition. ④ Organic clayey mud. ⑤ Typically Blue grey, dark-yellow grey sandy layer.	8,000
		Under Holocene		0.5 1.2	
경신세 (Pleistocene)				Clay, clay mixed with violet, red, white laterites, Under clay layer there are sand mixed with gravels.	

(Petroleum General Administration) 등의 조사 자료에 따르면, 메콩델타를 가로지르는 하우강과 티엔강 유역이 상대적으로 연약층의 심도가 깊은 향사구조를 형성하고, 유역의 좌우측인 북동부(Binh Duong, Dong Nai, Tay Ninh)와 서부지역(Ha Tien, An Giang, Thai Land gulf)은 연약층의 심도가 상대적으로 얇은 배사구조를 나타낸다. 중부지방 암반층의 심도는 최대 900m에 이른다 (Nguyen Van Tho & Tran Thi Thanh, 2002). 메콩델타 지역에서 가장 빈번하게 접하게 되는 토질은 머드(mud), 유기질 점토와 다양한 소성의 점토이다. 적도에서 북위 20° ~ 남위 20° 사이의 열대지방, 아열대지방에 전세계적으로 분포하는 홍토(laterite)나 조개껍데기 모래, 자갈층 등도 불규칙하게 나타나며, 점토층 사이에 모래층(sand seam)이 존재하기도 한다. Mekong delta Agency of Geology(1984)의 조사 자료에 의한 지층 개요는 표 2와 같다.

3.2.2 공학적 특성

메콩델타 대부분의 지표면에 약 0.5~1.5m 두께로 연회색~황회색의 실트질 점토, 사질 점토, 머드층(mud)이 분포한다. Nguyen Thanh & Pham Xuan (1984)은 메콩델타 북부지역에 분포하는 머드의 물리적, 역학적 특성을 연구한 결과, 그 지역에 분포하는 유기질 점토와 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 유기질 점토는 일반적으로 회색~옅은 황회색으로, 점토 혼합률이 약 40~70% 정도 이고, 유기질의 함량은 2~8% 정도로서 상대적으로 연약한 상태로 존재한다. 유기질이 함유되지 않은 점토는 주

로 회색 또는 연황색을 띠고, 비교적 두꺼운 점토질 모래층이 다양한 심도로 분포한다. 점토층 사이에는 불규칙하게 모래, 자갈, 홍토, 조개껍데기층이 분포하며, 이 층에 대한 데이터는 불충분하지만 일반적으로 함수비 $w=32\sim35\%$, 습윤단위중량 $\gamma_t=16.9 \text{ kN/m}^3$, 내부마찰각 $\phi=29\sim30^\circ$ 의 범위로 알려져 있다. 그간 롱안(Long An), 티엔(Tien Giang), 까마우(Ca Mau), 호치민시(Hochiminh) 등 메콩델타 전역에서 수행되었던 30m 깊이 이상의 지반조사 결과들을 토대로 메콩델타 지역의 일반적인 지반특성을 요약하면 표 3과 같다.

3.3 메콩델타지역 연약지반 대책공법

3.3.1 토질관련 규정

베트남은 역사적으로 오랜 기간 중국의 지배와 영향을 받아왔고 우리나라와 같은 유교문화권이지만, 베트남인들의 중국에 대한 감정이 우호적인 것 같지는 않다. 같은 사회주의 국가이지만 1979년 국경분쟁에 의한 중월 전쟁을 치른 것이 그 대표적인 예라 하겠다. 기후와 지리조건이 중국 남서부에 가깝지만 도로포장을 포함한 각종 설계 기준이 러시아기준에 가까운 이유가 역사적 원인에 있는 것은 아닌지 궁금했다. 베트남 토질관련 주요 기준은 표 4와 같다.

흙의 분류기준은 1993년 9월 제정된 베트남의 TCVN 5747-1993에 규정되어 있다. 이 기준은 기본적으로 미국 통일분류법(ASTM D-2487) 및 러시아 규정(OCT-25100-82)에 근간을 두고 있다. 액성한계 시험방법은 서

표 3. 메콩델타지역 점토의 공학적 특성

구 분	유기질점토	비유기질점토
$\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	13.5~16.5	16.5~19.5
$\gamma_0(\text{kN/m}^3)$	6.4~9.5	10.5~15.5
$w_L(\%)$	50~100	40~65
$w_P(\%)$	20~70	20~30
I_p	20~65	17~45
e_0	1.2~3.0	0.7~1.5
$\phi(^{\circ})$	5~10	8~17
$c(\text{kPa})$	4.9~11.8	9.8~27.5

방의 Casagrande 방법이 아닌 우리에게는 다소 생소한 바실리에프(Vaxiliep) 시험방법을 따른다. 바실리에프 시험방법은 다소 까다롭기 때문에 Casagrande 시험을 실시한 후, 액성한계를 아래의 식에 의해 보정하기도 한다.

$$\frac{W_{ch}^c}{W_{ch}^{tc}} = 1.1-1.3$$

여기서, W_{ch}^c : Vaxiliep 시험법에 의한 액성한계
 W_{ch}^{tc} : Casagrande 시험법에 의한 액성한계

흙의 분류방법 중 소성지수와 액성지수에 의한 점성토의 분류방법을 간략히 소개하면 표 5와 같다.

3.3.2 연약지반 대책공법

베트남 연약지반 구분은 22 TCN 262-2000에 규정되어 있다. 1) 자연상태 함수비가 액성한계보다 큰 경우, 2) 자연상태 간극비 $e \geq 1$ (sandy)~1.5(clayey) 인 경우, 3) 비배수 전단강도 $c < 1.5 \text{ N/cm}^2$ 혹은 Field Vane에 의한 비배수 전단강도 $c < 3.5 \text{ N/cm}^2$ 인 경우, 4) 내부마찰각 $\phi =$

표 4. 토질 시험 및 설계와 관련된 베트남 주요 기준

Standards	Title
22 TCN 332-05	Testing specification for determining CBR of soil, crushed stone in laboratory
22 TCN 259 - 2000	Standard of survey boring for Highway
22 TCN 260 - 2000	Standard of survey boring for Waterway works
22 TCN 262 - 2000	Survey Standard for Highway Embankment in soft soil area
22 TCN 171 - 87	Geo-technical Boring Standard and design of embankment protection in areas of sliding and collapse.
20 TCN 160-87	Detailed Survey for design of pile foundation
TCVN 5747-93	Soil classification standard
TCVN 4200-86	The testing method for determining the compression in the laboratory
TCVN 2683-91	The method of sampling, packaging, transporting and preservation of undisturbed sample
ASTM D2573	Standard test method for field vane shear test in cohesive soil
ASTM D1586	Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soil
20 TCN 21-86	Pile foundation - Design standard
22 TCN 248-98	Geo-textile for embankment in soft soil
TCXDVN 205-1998	Pile foundation - Design criteria
22 TCN 244-98	Ground improvement by prefabricated vertical drain (PVD)
22 TCN 248-98	Geotextile in embankment construction for soft soil.

표 5. 점성토의 분류(TCVN 5747-1993)

	Status	액성지수	소성지수
Sandy	stiff	<0	1-7
	medium	0~1.0	
	soft	>1.0	
Clayey & clay	stiff	<0	7-17 (Clay)>17)
	relatively stiff	0~0.25	
	medium stiff	0.25~0.5	
	medium	0.50~0.75	
	medium soft	0.75~1.0	
	soft	>1.0	

0~10° 인 경우를 연약지반으로 규정한다. 잔류침하 기준은 10cm(교대부)~30cm(일반쌓기부)의 범위로 우리나라와 크게 다르지 않다. 메콩델타지역 교량의 교대 쌓기부에는 대부분 접속부 상대침하 방지를 위한 Pile Slab공법이 적용되고 있다. Pile Slab의 길이는 통상 15m 내외로, Pile Slab와 접속되는 쌓기부의 최대 쌓기고는 5~6m 이내로 하는 것이 일반적이다. 쌓기고가 2~3m 이상인 경우에는 SD, PVD 공법을 주로 적용하는데, 최근 들어 몇몇 현장에서 SCP공법이 도입되어 적용된 바 있다. 메콩델타지역 연약지반 대책공법 설계개념은 적극적인 개념의 보강(reinforcement)이나 개량(improvement)이 아니라, 가급적 쌓기고와 침하를 최소화하는데 있다. 선형 계획상 고성토가 불가피한 경우에는 우리나라와 유사한 설계심의 위원회의 동의가 반드시 필요하게 되는데, 이는 전술하였듯이 쌓기용 토사를 취득하기에 좋지 않은 여건과 아울러, 메콩델타지역 연약지반에서 오랜 기간 얻어진 경험의 결과로 풀이된다. 교량의 기초는 사각형의 RC Pile을 향타하거나, 주거지 인근의 경우에는 콘크리트 블

럭을 반력으로 이용하여 말뚝을 눌러서 근입시키는 Static Jacking 공법이 주로 적용된다.

4. 결론

베트남 경제수도인 호치민시(Hochiminh)가 위치하는 메콩델타 지역은 롱안(Long An), 까마우(Ca Mau) 등 베트남 13개 성에 걸친 비옥한 평야지대로, 베트남 총 인구의 21%가 거주하는 세계적인 쌀 생산지 일뿐만 아니라 베트남의 상업과 공업 중심지역이다. 1996년 이후 최근까지의 경제성장률이 연 9%를 넘어서고, 베트남 경제성장의 견인 역할을 하며 앞으로도 지속적인 성장이 기대되는 지역이다. 하지만, 세계적인 경기침체와 기후온난화에 따른 해수면 상승은 해결해야할 과제로 대두되고 있다. UN 보고자료(2009)에 따르면 2100년 까지 메콩델타 지역의 해수면이 대략 65~100cm 높아질 것으로 예상되고, 이러한 경우 메콩델타 전체 면적중 13% 이상의 땅이 사

표 6. 메콩델타지역 주요 연약지반 대책공법 적용현황

No.	Projects	Method for soft soil treatment	Remarks
1	National Highway No. 63 An Bien dist. (Completed in 2008)	- Sand drain (φ40cm) - Treatment length is 25m behind abutment, interval = 1.3 ~ 3m, depth = 15m.	Kien Giang province
2	9.5-XeoNhaoRoad An Minh dist. (Under construction)	- Pile slab (25x25)cm, - Treatment length is 30m behind abutment, interval = 1.8 ~ 2.7m, depth = 27m.	Kien Giang province
3	Cong Binh Bridges Giong Rieng dist. (Not yet construction)	- Sand drain (φ40cm), - Treatment length : 40m behind abutment, interval = 1.3 ~3m, depth = 13m.	Kien Giang province
4	National Highway No.1 My Thuan - Can Tho (Under construction)	- Piled slab (40x40)cm, length of 30m behind abutment - Sand drain (φ40cm), section=100m, interval = 1.5m, depth = 25m	Mekong Delta
5	National Highway No.30 Dong Thap province (Under construction)	- Sand drain (φ40cm) - Length of 50m behind abutment, interval = 1.5m, depth 15 ~ 18m	Mekong Delta
6	Ho Chi Minh Highway Dong Thap province (Under construction)	- Sand drain (φ40cm) - Treatment length is 40 ~ 60m, interval = 1.5m, depth =15 ~ 18m	Mekong Delta

라질 수도 있다는 경고를 내놓은 바 있다. 해수면 상승에 따라 메콩델타지역 거주인구 상당수의 이주가 불가피할 것이며, 이를 방지하기 위해서는 물 관련시스템과 방재시설에 대한 투자가 제안된 바도 있다. 베트남의 장래 경제 성장 가능성과 이 지역의 중요성을 감안할 때, 앞으로도 메콩델타지역에 대한 물 관련 시스템과 도로, 철도 등 사회간접시설에 대한 투자가 불가피할 것으로 예상할 수 있다. 다행스럽게도 우리나라의 대 베트남 직간접 투자가 활성화되어 있고, 문화적인 유사성과 현지에서의 우리나라에 대한 긍정적인 인식 등 앞으로 국내 지반공학 기술자들의 많은 활약이 기대된다.

참고문헌

1. 두산백과사전 엔사이버, <http://www.encyber.com>
2. Mekong Delta Agency of Geology(1984)
3. Nguyen Van Tho & Tran Thi Thanh(2002), Construction of dam, embankment on soft soil in Mekong Delta.
4. TEDI South(Vietnam)(2007), Feasibility Study of Southern Coastal Corridor Project Section from Xa Xia border - Kien Giang Province to Ca Mau City - Ca Mau Province.
5. UNU-EHS(2009), United Nations University Institute for Environment and Human Security Repopt.
6. Vietnam Road Administration(2008), Construction of Rach Gia Bypass Project, Detailed Design Stage.

