

연약지반에서 CGP-앵커의 시공사례연구

A Case Study on CGP Anchor of Open-Cuts in Soft Ground

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 양형철²⁾, Hyung-Chil Yang, 박신영³⁾, Shin-Young, Park

¹⁾ 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

²⁾ 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

³⁾ 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정, Graduate student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

SYNOPSIS : Compaction Grouting Pack (CGP) Anchor which is composite anchor of bearing plus friction-type was chosen and executed for the open-cuts in soft ground.

This paper presents an analysis of data from tests on composite-anchor by jacking force. The properties of composite-anchor was presented to be as follows ; the maximum plastic displacement was 60 mm in abandoned coal fill deposit, the shear stress(τ) is expressed as $\tau =$

$$\left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}\right) \cdot \left(\frac{N}{16}\right) \text{ kg/cm}^2 \text{ in clayey silt.}$$

Key words : Compaction Grouting Pack (CGP) Anchor, Anchor, Plastic displacement, Shear stress.

1. 서 론

업무용시설 건설사업을 위한 가시설 흠막이 공사용 어스앵커는 주로 마찰형 앵커로 설계되어져왔다. 점성토지반에 시공된 마찰형 앵커는 잭킹력이 정착부위의 길이에 의해서 주로 결정되어진다.

따라서 연약지반내에 주입재를 주입할 경우 앵커부착용 주입재가 유실되므로 유실을 방지하고 지중에 정착구근을 형성하여 인장하중에 저항할 수 있는 마찰형과 지압형의 복합형인 Compaction Grouting Pack-Anchor(이하 CGP-앵커)가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 현장적용에 의한 시공결과로부터 CGP-앵커의 거동을 파악하여 매립층 및 점성토지반의 흠막이 공사용 어스앵커로 적용시에 유용한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. CGP-앵커 공법

2.1 개요

CGP-앵커는 마찰형과 어스앵커와 비교하여 정착장구간에 팽창성 팩 및 정착체를 사용하는 점과 주입재로서 시멘트물탈을 사용하는 점이 다르며 특징은 다음과 같다.

① 팩 내에 물탈을 압밀주입하여 실시하므로 정착지반의 공극이 크거나 용수가 있는 경우에도 주입재 유실없이 정착구근의 형성이 가능하다.

② 정착부 하단에 정착체를 설치함으로써 인장에 의한 인장재의 늘어남에 수반해서, 정착부의 자유장측부터 인장재와 정착부간의 부착강도가 진행성 열화를 가져와 전면파괴에 이르는 것을 방지할 수 있

다.

③ 앵커직경이 큰 반면 정착장이 짧기 때문에 정착장내 응력분포가 균등분포에 가까우며, 따라서 국부적인 응력집중에 의한 진행성 파괴의 위험을 감소시킬 수 있다.

2.2 CGP-앵커의 설계

2.2.1 정착체의 소요매설심도

정착체의 매설심도는 L.Hobst의 식으로 검토한다(L.Hobst and J.Zajic, 1983).

$$\sigma_r = \sigma_{kr} \cdot \frac{\nu}{1 - \nu}$$

$$h_r = \sqrt{\frac{3m_k \cdot P}{\pi \cdot \sigma_r \cdot \text{tg}^2 \phi}} + 1 \quad (1)$$

열상 앵커배치에서 앵커간격 l 이 $l < \sqrt{\frac{12P}{\pi \cdot \sigma_r}}$ 일 때에는

$$h'_r = \frac{l}{2\text{tg} \cdot \phi} + \frac{B + \sqrt{B^2 - \frac{l^4 \cdot \sigma_r^2}{\text{tg}^2 \phi}}}{2l \cdot \sigma_r} \quad (2)$$

$$B = \frac{l^2 \cdot \sigma_r}{2\text{tg} \cdot \phi} + 2 \cos \phi (m_k \cdot P - \frac{l^2 \cdot \pi \cdot \sigma_r}{12})$$

여기서, P : 설계앵커력 (kg) ν : 흙의 포아송비 l : 앵커간격(m)
 ϕ : 흙의 내부마찰각 σ_{kr} : 극한하중한계 (kg/m²) m_k : 안전율 (=3~5)
 σ_r : σ_{kr} 의 영향을 받는 정착체 위의 토괴가 측벽에 작용하는 응력 (kg/m²)

2.2.2 정착장

CGP-앵커의 정착장 (l_B)은 식 (3)을 사용하여 계산한다(Yamade Kunimichu, 1982).

$$F_{SA} \cdot T \leq \tau_e \cdot \pi \cdot (D_1 \cdot l_B) + q \cdot s \quad (3)$$

여기서, q : 환경지반의 지지력 (kg/cm²) l_B : 환경지반의 정착장 (cm)
 s : 환경지반의 지지면적 (cm²) D_1 : 정착장의 확장된 직경 (cm)
 F_{SA} : 안전율 (1.5~2.0) T : 앵커의 재킹력 (ton)
 τ_e : 정착부 지반의 마찰력 (kg/cm³)

2.3 앵커체의 표준 조립도

그림 2.1은 CGP-앵커체의 표준조립상태를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 정착장 구간에 팽창성 팩 및 정착체를 사용한다

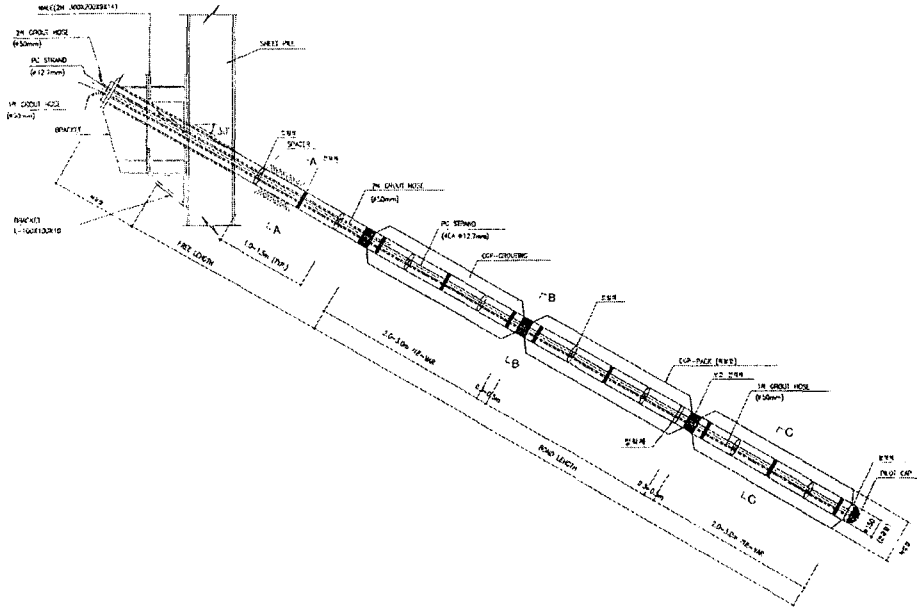


그림 2.1 CGP-앵커 표준조립도

3. 흙막이공사에서 CGP-앵커 시공결과 및 분석

3.1 폐탄매립층 시공사례

3.1.1 지반의 특성

지반조사결과는 표 3.1과 같고, 각 지층별로 특성을 요약하면 다음과 같다.

표 3.1 지반조사결과

공 번	매 립 층			연 압 (m)
	층후 (m)	분류	N-치	
BH-1	16.5	GM	7~50이상	16.5이하
BH-2	2.8	BOULDER	50 이상	16.3이하
	13.5	GM	19~50이상	
BH-3	3.0	BOULDER	50 이상	12.8이하
	9.8	GM	18~50이상	

① 매립층

본 층은 인조의 탄광지대에서 폐탄을 매립한 층으로 BH-2 BH-3 위치는 상부 2.8~3.0m두께로 호박 돌섞인 전석층이 분포하며 하부는 9.8~13.5m 두께로 모래섞인 자갈층으로 분류되는 폐탄층이 분포하고 있다. BH-1 위치에서 지표면하 16.5m까지 폐탄으로 매립된 지층이다.

본 층에서 실시할 예정이었던 투수시험은 매립시 인위적인 다짐작업 없이 매립된 지층으로 느슨하고 공극이 많아 천공수 전량이 누수로 현장투수시험이 불가능하였다.

본 층에서 실시한 표준관입시험결과 N치는 7~50회 이상이나 구성성분이 자갈층으로 샘플러 슈에 굵은 입경의 자갈이 위치할 경우 매우 큰 값을 나타낼 수 있으므로 전체적으로 N치는 10회 정도의 느슨한 층으로 판단된다.

② 연암층

매립층 하부에 분포하는 기반암층으로 심하게 풍화된 상태로 확인되며 균열과 절리가 발달되어 코아 회수율이 저조된 상태로 확인되고 있다(김충규, 1988).

3.1.2 시공결과 및 분석

흙막이 공사용으로 CGP-앵커를 418공 시공하였으며, 시공결과와 분석은 다음과 같다.

① 잭킹하중이 26.5ton일 때의 변위량을 정착장지반의 소성변위량으로 고려하여 잭킹재의 탄성 변위량 범위에 포함시키지 않았고, 잭킹하중이 53ton일 때 초기 변위량과 재하시간 5분 경과 후의 변위량이 탄성변위량내에서 일치하지 않을 경우 추가로 5분간 재하하여 변위량을 측정하였다. 추가 5분간 재하시에도 변위발생시에는 재시공하였으며, 총 재시공수량은 17공이었다.

② 그림 3.1은 잭킹하중에 대한 변위량의 변화곡선을 나타낸 것이다.

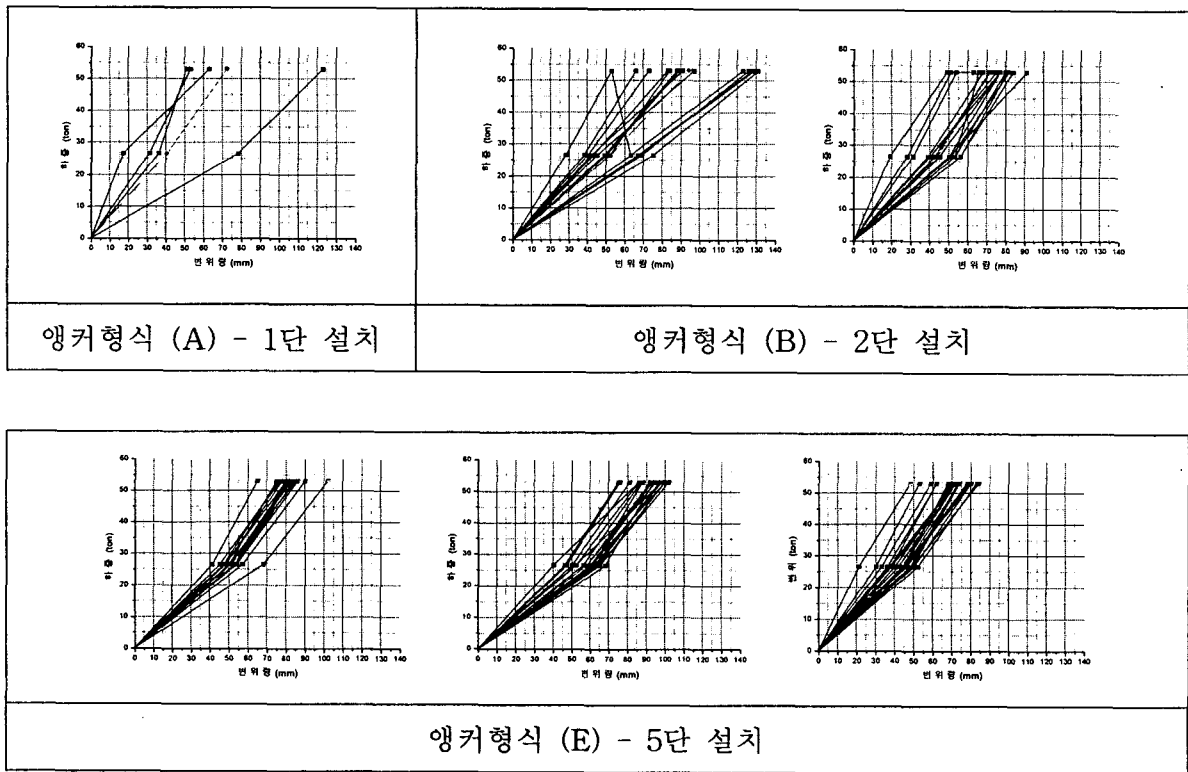


그림 3.1 잭킹하중에 대한 변위량의 변화곡선

그림 3.1의 결과에서 1차 잭킹(25ton/공)시에는 변위량이 크게 나타났다가 2차 잭킹(53ton/공) 이후에는 5분간 재하시 변위량에 변화는 발생하지 않은 것으로 나타났고 CGP-앵커의 위치에 따라 소성변위량의 범위는 17mm~78mm까지 큰 차이를 보이나 시공상의 오차를 고려하면 최대 60mm 이내로 추정할 수 있으며 탄성변위는 50mm 이내임을 확인 할 수 있었다.

3.2 점토질 실트층 시공사례

3.2.2 지반의 특성

흙막이 공사지역은 매립층 - 상부퇴적층(점토질실트) - 하부퇴적층 - 풍화토층 - 풍화암층으로 구성되어 있으며 시추조사결과, 표준관입시험 및 실내토질시험은 표 3-2, 표 3-3, 표 3-4 과 같다.

표 3.2 시추조사결과

공번	매립층		상부퇴적층		하부퇴적층		풍화토층		풍화암
	심도	N치	심도	N치	심도	N치	심도	N치	
BH-1	0.0~3.7 (3.7)	7~13	3.7~40.8 (37.1)	3~36	40.8~47.8 (7.0)	50 이상	47.8~49.9 (2.1)	50 이상	49.9~
BH-2	0.0~3.8 (3.8)	5~11	3.8~41.1 (37.3)	2~35	41.1~48.4 (7.3)	45~50 이상	48.4~50.6 (2.2)	50 이상	50.6~
BH-3	0.0~3.7 (3.7)	8~10	3.7~41.0 (37.3)	2~39	41.0~48.7 (7.7)	50 이상	48.7~50.2 (1.5)	50 이상	50.2~

()안은 층 두께

표 3.3 표준관입시험결과

(단위 : 회/cm)

공번	심도(m)	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5	15.0	16.5	18.0	19.5	21.0
		22.5	24.0	25.5	27.0	28.5	30.0	31.5	33.0	34.5	36.0	37.5	39.0	40.5	42.0
		43.5	45.0	46.5	48.0	49.5	51.0	52.5	54.0	-	-	-	-	-	-
BH-1	7/30	13/30	3/30	4/30	10/30	14/30	15/30	16/30	13/30	15/30	13/30	14/30	17/30	21/30	
	20/30	15/30	24/30	23/30	21/30	24/30	26/30	27/30	25/30	26/30	19/30	36/30	33/30	50/29	
	50/26	50/25	50/24	50/25	50/14	50/8	50/6	50/5	-	-	-	-	-	-	
BH-2	5/30	11/30	2/30	2/30	6/30	11/30	15/30	17/30	15/30	16/30	17/30	15/30	16/30	20/30	
	22/30	21/30	24/30	25/30	19/30	25/30	22/30	29/30	30/30	31/30	21/30	35/30	35/30	45/30	
	50/28	50/21	50/20	50/22	50/16	50/9	50/5	50/4	-	-	-	-	-	-	
BH-3	8/30	10/30	2/30	3/30	5/30	13/30	16/30	17/30	17/30	15/30	18/30	18/30	17/30	22/30	
	22/30	20/30	25/30	23/30	23/30	26/30	25/30	31/30	33/30	34/30	26/30	38/30	39/30	50/30	
	50/27	50/23	50/17	50/15	50/15	50/10	50/6	50/5	-	-	-	-	-	-	

표 3.4 실내토질시험결과

공번	심도(m)	지층	함수비 (%)	비중	액소성한계(%)		채분석 통과량(%)		통일 분류
					액성한계	소성지수	# 4	# 200	
BH-1	6.0	퇴적층	29.6	2.67	31.4	7.3	-	92.0	ML
BH-2	49.5	풍화토	13.4	2.66	NP	-	100	23.6	SM
BH-3	42.0	퇴적층	24.9	2.65	NP	-	-	34.5	SM

3.2.2 시공결과 및 분석

훅막이 공사용으로 CGP-앵커를 650공 시공하였으며 시공결과와 분석은 다음과 같다

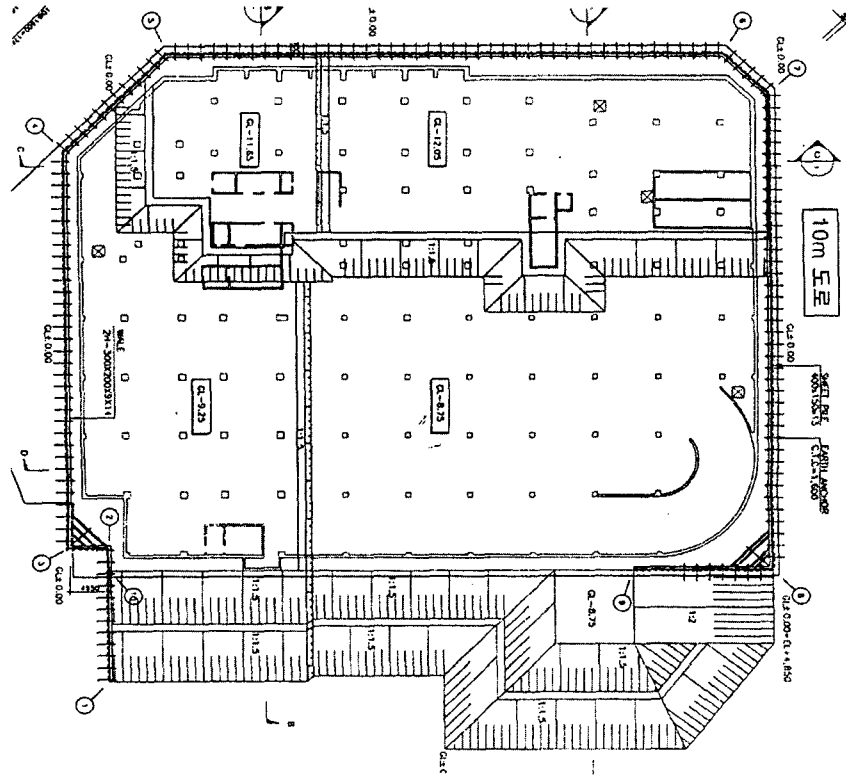


그림 3.2 가시설 평면도

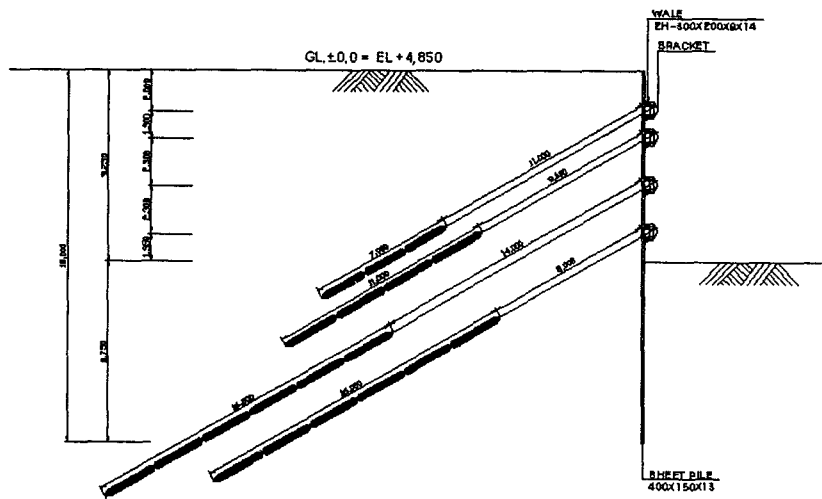


그림 3.3 가시설 단면도

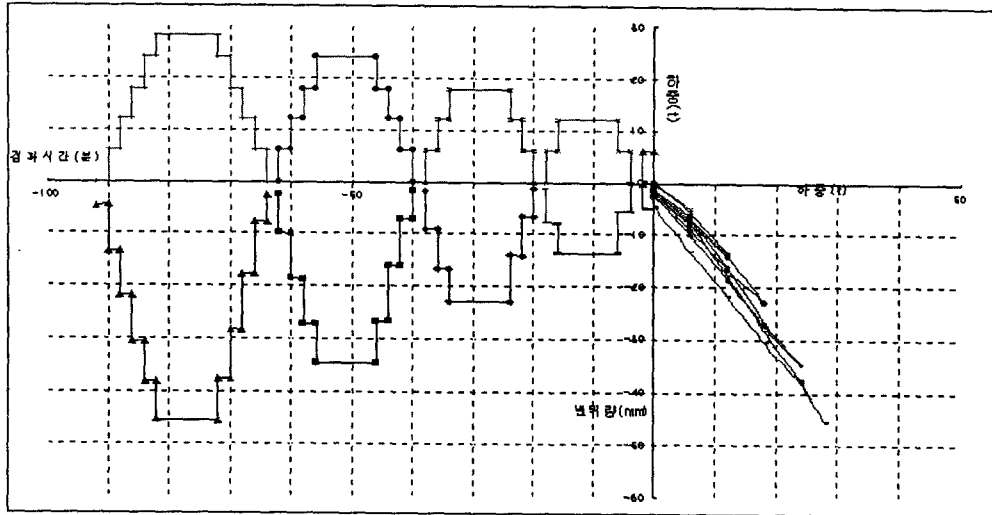


그림 3.4 하중-시간-변위량 상관그래프

표 3.5 A 지역 앵커 시공사양

설치심도 (m)	단	각도	강선수	여유장 (m)	자유장 (m)	정착장 (m)	총길이 (m)	잭킹력 (ton)		비고
								설계	확인	
2.0	1	30°	4EA	1.5	11.0	7.0	19.5	15.0	15.0	
3.3	2	30°	4EA	1.5	9.0	11.0	21.5	35.0	13.2	
5.6	3	30°	4EA	1.5	8.0	11.0	20.5	35.0		
		30°	4EA	1.5	14.0	16.0	31.5	25.7	25.7	변경시공
7.9	4	30°	4EA	1.5	7.0	13.0	21.5	40		
		30°	4EA	1.5	8.0	16.0	25.5	23.4	23.4	변경시공

표 3.6 B 지역 앵커 시공사양

설치심도 (m)	단	각도	강선수	여유장 (m)	자유장 (m)	정착장 (m)	총길이 (m)	잭킹력 (ton)		비고
								설계	확인	
2.0	1	30°	4EA	1.5	11.0	7.0	19.5	15.0	15.0	
3.3	2	30°	4EA	1.5	9.0	11.0	21.5	35.0	13.2	
5.6	3	30°	4EA	1.5	8.0	11.0	20.5	35.0		
		40°	4EA	1.5	11.0	16.0	28.5	28.6	28.6	변경시공
7.9	4	30°	4EA	1.5	7.0	17.0	25.5	48		
		40°	4EA	1.5	10.0	17.0	28.5	34.5	34.5	변경시공
10.2	5	30°	4EA	1.5	6.0	16.0	23.5	45		
		40°	4EA	1.5	6.0	16.0	23.5	30.9	30.9	변경시공

① 1, 2단 앵커가 근접시공으로 잭킹하중이 미달되어 3단 앵커인장시험결과에 의해서 3단 앵커부터 정착장을 16m~17m로 변경하여 시행한 결과 잭킹력은 공당 25ton~35ton 이내 이었다.

③ 영종도 IBC LG 카이스텔 신축공사 부지의 점토질 실트층에서 시행되는 어스앵커 주면의 마찰저항 (τ)은 $\tau = (1.0)C$ 보다, $\tau = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot \ell}$ 에서 계산한 결과의 평균값인 $\tau = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}\right) \cdot \left(\frac{N}{16}\right)$ kg/cm² 로 적용해야 함을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

① 다짐없이 매립된 폐탄매립층에서 복합형앵커는 짧은 정착장으로 앵커잭킹하중에 저항한 것으로 확인할 수 있었으며, 1차 잭킹(25ton/공)시에는 변위량의 범위는 17mm~78mm 이내였으며 2차 잭킹(53ton/공)이후 변위량의 범위는 51mm~135mm로 나타났다. 이는 시공상의 오차가 포함된 것으로 판단되며, 시공성의 오차를 고려하면 추정소성변위는 최대 60mm 이내였고, 탄성변위는 50mm 이내임을 확인할 수 있었다.

② 영종도 IBC LG 카이스텔 신축공사 부지의 점토질 실트층에서 시행되는 어스앵커 주면의 마찰저항 (τ)은 $\tau = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}\right) \cdot \left(\frac{N}{16}\right)$ kg/cm²로 적용해야 함을 확인할 수 있었다.

③ 본 시공사례에 의하면, 복합형앵커(CGP-앵커)는 연약지반의 흙막이공사용 앵커로서 적용이 양호한 것으로 추정되었다.

감사의 글

본 논문은 LG 건설 (주) 토목엔지니어링 토질 및 기초팀의 조성환(토질 및 기초기술사, 공학박사) 및 관계자 여러분의 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. L.Hobst and J.Zajic(1983), "Anchoring in Rock and soil", Developments in Geotechnical Engineering Vol 33. Elsevier Scientific Pub. Co, New York, pp.60~88.
2. Yamada Kunimichu(1982), "土留め アンカ工法", 理工図書 (株), pp.139~148.
3. 김충규(1998), "황지-장성간 도로·확포장공사 옹벽구간 토질조사보고서", (주)경인엔지니어링, pp 10-13.
4. 태백시(1997), "황지-장성간 도로·확포장공사 구조 및 수리계산서", pp 1525~1887.
5. LG건설(주)(2001), "IBC LG 카이스텔 신축공사 설계도서"
6. (주)유원지질기술사사무소(2001), "IBC LG 카이스텔 신축공사 지질조사보고서"