

가시설 안정성 검토에 관한 인천국제공항 시공 사례 연구 Case Study for the Stability of Temporary Shoring Facilities at Incheon International Airport

최인걸¹⁾, In-Gul Choi, 조현모²⁾, Hyeun-Mo Jo, 류승철³⁾, Sueng-Cheul Ryoo

- ¹⁾ (주)유신코퍼레이션 공항토목시설공사 감리단 기술본부장, Director of Technical section, Airside Supervisory Team, Yooshin Engineering Corporation
²⁾ (주)유신코퍼레이션 공항토목시설공사 감리단 계측부장, Manager, Airside Supervisory Team, Yooshin Engineering Corporation
³⁾ (주)유신코퍼레이션 공항토목시설공사 감리단 대리, Assistant of Manager, Airside Supervisory Team, Yooshin Engineering Corporation

SYNOPSIS : This case study has been prepared to provide the practical data about construction of temporary shoring facilities (i.e. braced sheet pile excavation) and to utilize the case study information effectively for design and construction of future facilities. This case study includes information such as 1) installing measurement devices to monitor the deformation of the sheet pile walls and the subsoil in the vicinity after establishing the criteria for the sheet pile deflection; 2) monitoring the actual movement of the temporary facility after setting up the survey control standard (due to the movement of the temporary facility); 3) inspecting the suitability of the temporary facility construction; and 4) analyzing and studying the result of the tension test after installing ground anchors.

Keywords : Temporary Sheet pile Wall, Survey control, Tension test, Ground anchors

1. 개 요

본 사례는 인천국제공항 토목시설공사를 수행하면서 지하구조물인 공동구 지반굴착시 가시설(Sheet Pile)의 변형특성 및 주변의 지반거동을 파악하기 위하여 계측기를 설치하고 가시설의 거동에 따른 계측 관리기준을 설정하여 가시설의 실제 거동을 관찰하며, 가시설 시공 적정여부를 살펴보고, 그라운드 앵커(Ground Anchor, 이하 G/A라 함) 시공 후 인장 시험을 실시하여 그 결과를 분석, 고찰하는 등 가시설 시공에 관한 실무적인 자료를 제공하여 추후 설계 및 시공시 이를 효과적으로 이용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 설계내용

2.1 지반조건 및 단면도

현장의 지반조건 및 계측기 설치단면도는 그림 1과 같고 표층의 매립토층은 부지조성을 위하여 성토한 준설매립층이며, 지반구성은 세립질의 모래, 실트 섞인 모래로 이루어져 있다. 그 하부의 해성퇴적층은 층상부의 점성토층의 N치가 0~9회로 대단히 연약한 연경도를 가지는 연약층이 GL.-3.1~GL.-11.10M정도로 불규칙하게 분포하고 있으며, 하부 점성토층은 N치가 7~22회로 연약 내지 고결한 상태이다. 또한 풍화잔류토층은 해성퇴적층 하부에서부터 현 지표면하 GL.-23.9~시추종료 심도까지 분포하며, 표준관입시험결과 N치는 27~50/16회로 조밀 내지 대단히 조밀한 상대밀도를 나타낸다.

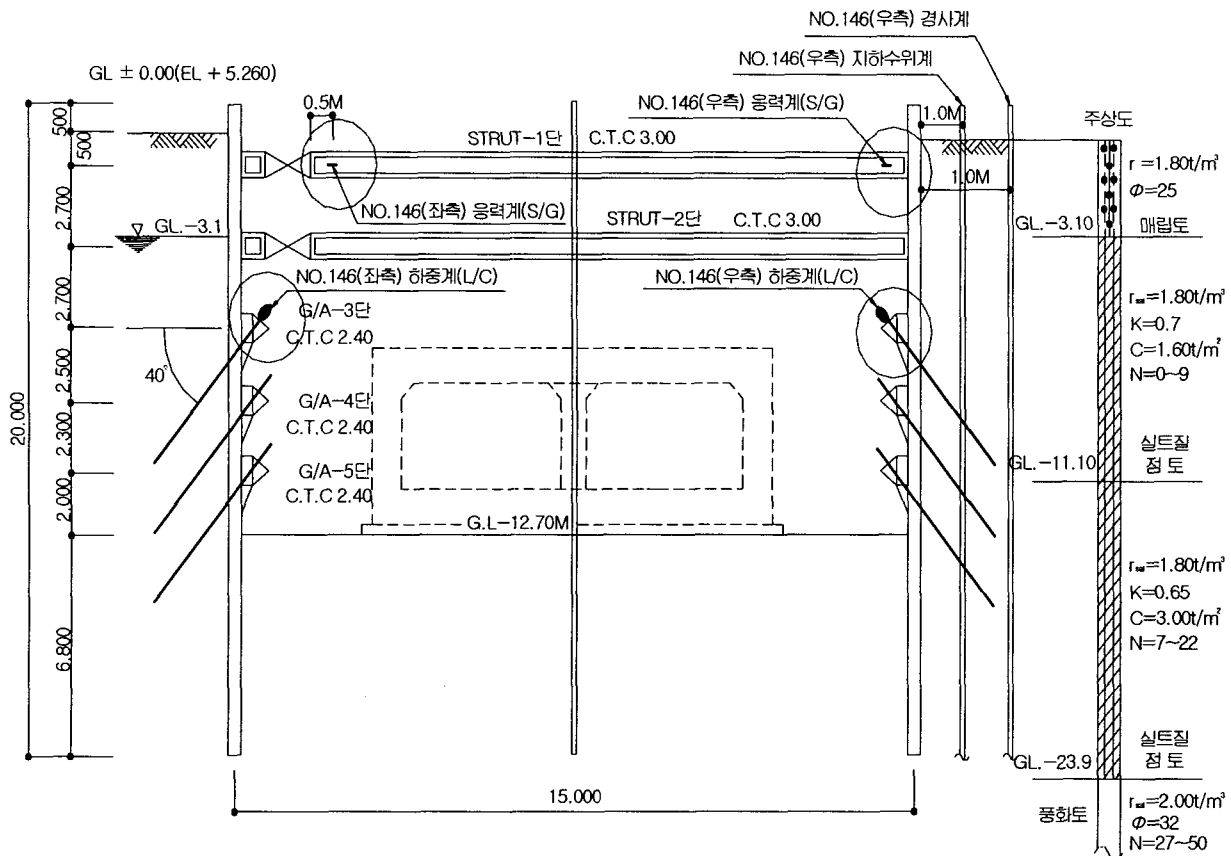


그림 1. 지반조건 및 계측기 설치 단면도

2.2 설계 주요내용

Sheet Pile로 구성된 흙막이 벽체를 Strut와 G/A로 지지토록 하였으며 주요 사용재료는 다음과 같다.

- 1) Sheet Pile : 400×170×15.5
- 2) 버팀보(Strut) : 1단 H-300×300×10×15, 2단 H-350×350×12×15
- 3) 띠 장(Wale) : 1단 H-300×300×10×15, 2단 H-300×300×10×15
- 4) G/A : P.C Strand Ø12.7 (3단-5본, 자유장 29.0M, 정착장 8.0M, 4단-6본, 자유장 26.0M 정착장 9.0M, 5단-6본, 자유장 22.0M, 정착장 9.0M)

3. 계측관리 기준 및 계측빈도

공항토목시설 공사 중 가시설공사를 안전하게 시공하기 위하여 지하수위계, 경사계, 변형율계 및 하중

계를 설치하였으며 현장의 지반조건과 공사현장의 주변상황, 설계시 변위량 등을 고려하여 계측관리 기준 및 계측빈도를 다음과 같이 설정하였다.

3.1 계측관리 기준

1) 경사계 계측관리기준 (최대변위량 및 연속변위량법)

굴착심도에 따른 최대 변위량비를 1차관리하고 최대변위량이 설계값보다 크더라도 변위가 수렴되는 경우에는 안정한 경우가 있으므로 7일간의 연속변위 증가량을 2차로 관리하는 기준을 설정하였으며 그 내용은 표 1과 같다.

표 1. 최대변위량 및 연속변위량 관리기준

구 분	안 전	주 의	위 험
최대변위량비(γ/H)	2.0%H 미만	2.0~3.0%H	3.0%H 이상
변위증가량 (7일간)	3mm 미만/7일	4~5mm/7일	6~11mm/7일

2) 변형율계 계측관리기준

변형율 측정계는 버팀보(Strut)의 축력을 관찰하여 배면토압의 변화를 예측하는 것이므로 관리기준은 축력증감 및 최대축력을 동시에 관리하였다. 축력의 증감에 대한 관리는 변형율 측정계에 나타나는 변형율을 버팀보 단면의 축력으로 환산하여 축력변화(3일기준)가 10ton이내 증감은 안전, 10~20ton 증감은 주의요망, 20~30ton 증감은 특별관리요망, 30ton이상 증감은 가시설이 위험상태이므로 Strut등을 보강하는 것으로 기준을 정하였다. 최대축력에 대한 관리는 강재의 허용 압축응력을 설정하여 이를 축력으로 환산하고 이 값을 관리기준치로 정하여 관리기준치의 60%를 1차 관리기준치로 관리하고 관리기준치의 80%를 2차 관리기준치로 정하여 관리하였다.

3) 하중계 관리기준

G/A 하중계 시공후 초기반력 감소와 시간경과에 따른 반력증감을 기준으로 표 2와 같이 관리하였다.

표 2. 하중계 관리기준치

하중계 반력변화	초기반력 감소기준	반력의 증감기준
설계 Jacking Force의 20%이내	안전	안전
설계 Jacking Force의 20~35%이내	G/A 설치불량	주의요망
설계 Jacking Force의 35~50%이내	G/A 보강요망	특별관리요망
설계 Jacking Force의 50%이상	G/A 재설치 요망	위험상태이므로 보강요망

3.2 계측빈도

굴토 지반의 거동은 일일 굴토량과 작업 기계, 기상(우천) 등에 영향을 받으므로 DATA의 변화속도와 안정성 여부의 관련성을 충분히 고려하여 표 3과 같이 계측빈도를 설정하였다.

표 3. 계측빈도

구 분		측정기간	측정빈도	비 고
공 종				
가 시 설	지하 수위계	설치후	3회/일로 2일간	초기치설정
		굴착 공사진행 중 굴착 공사완료 후	2회/주 2회/주	우천일 이후 3일간 연속 측정
	경 사 계	Grouting 완료 4일 후	1회/일로 3일간	초기치 설정
		굴착 공사진행 중 굴착 공사완료 후	2회/주 2회/주	다음단 설치후 추가측정 다음단 해체시 추가측정
변 형 률 계	설치후	3회/일 3일간	초기치 측정	
	굴착 공사진행 중 굴착 공사완료 후	2회/주 2회/주	다음단 설치시 추가측정 다음단 해체시 추가측정	
하 중 계	설치후	3회/일 2일간	초기치 측정	
	굴착 공사진행 중 굴착 공사완료 후	2회/주 2회/주	다음단 설치시 추가측정 다음단 해체시 추가측정	

4. 가시설 시공, 계측현황 및 분석결과

4.1 가시설 시공

가시설의 변형특성 및 주변지반거동을 파악하기 위하여 설치한 계측기 설치단면도는 그림 1과 같고, Sheet Pile로 구성된 흙막이 벽체는 지표로부터 1, 2단은 버팀보(Strut)를 설치하였고 3, 4, 5단은 G/A로 시공하였다.

4.2 계측 현황 및 분석결과

지반굴착시 가시설의 안전성을 도모하기 위하여 설치된 지하수위계, 경사계, 변형률계 및 하중계에 대한 계측현황 및 분석결과는 다음과 같다. 지하수위계(Water Levelmeter)는 98. 12. 15일 설치완료 하였고 굴착에 따른 지하수위저하는 굴착완료 시점인 98. 12. 21일에서 굴착완료 종점인 99. 2. 5일까지 약 2.5m 저하하였으며 수위저하의 약 0.5m는 Strut 1,2단 설치시 발생하였고 약 2.0m는 G/A 시공시 발생하였다. G/A 시공시 지하수위 저하가 컸던 원인은 G/A 천공시 천공압력이 연직응력보다 크며 이로 인하여 굴착직경이 커지고 또한 천공 후 그라우팅시공이 지연되므로 천공부위를 통해 지하수위가 급격히 저하함을 알 수 있었다. 지하수위 저하를 줄이기 위해서는 천공직경을 최소화 하여야 하며 이에 대한 대책으로는 천공시 주로 사용하는 단관 Drill Pipe 보다는 천공압력이 지반천공 목적을 달성한 후 Pipe를 통하여 밖으로 나올 수 있는 이중관을 사용하는 것이 바람직 할 것으로 판단되고 또한 G/A 시공을 위한 지반천공 후에는 즉시 그라우팅을 실시하는 것이 지하수위 저하를 줄이는 최선의 방법으로 판단된다. 경사계(Inclinometer)는 99. 1. 5일 설치 완료하였으며 각 경사계(Inclinometer)에 대한 최대변위는 99. 1. 8일 굴착심도 GL -7.0m에서 18.2mm이므로 최대변위량비는 2.0%H 미만이고 7일간의 연속증가량이 3mm 미만이므로 표 1에서 제시한 기준을 참고할 때 가시설이 안전함을 알 수 있었다. 변형률계(Strain Gauge)는 버팀보 1단 양쪽에 1개씩 99. 1. 11일 설치하였으며 변형률계(Strain Gauge)의 경과시간 및 변위량의 변화 추세는 그림 2와 같다. 1차 관리기준은 버팀보단면의 환산축력을 101.1TON으로 정하였으며 좌, 우측 최대축력이 -88.93TON으로 1차 관리기준 이내이고, 축력변화가(3일기준) 10TON이 내이므로 버팀보는 안전한 상태임을 알 수 있었다.

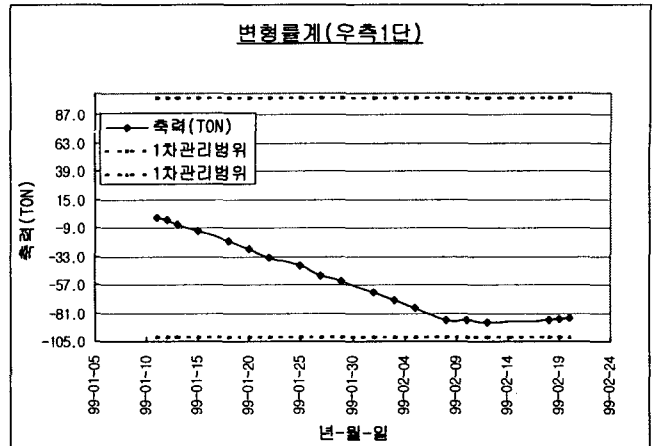
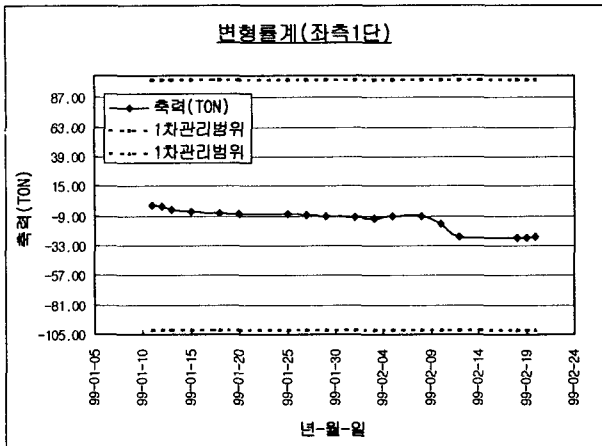


그림 2. 변형률계 계측결과

하중계(Load Cell)는 G/A를 시공한 3단 좌, 우측에 설치하였고 최초설치는 99년 1월 17일, 최종설치는 99년 1월 18일이며 계측결과는 그림 3과 같다. 하중계의 Jacking Force는 설계 Jacking Force 보다 큰 62.16ton(좌측)과 60.73ton(우측)을 인장하였으나 시간이 경과함에 따라 설계축력보다 저하되었다. 주요 원인은 하중계 설치지점 주변지역을 먼저 인장한 후 하중계 설치지점을 인장하여나 하나 인장순서를 역으로 실시함에 따라 하중계 축력이 저하된 것으로 판단된다. 그러나 하중계 축력이 수렴상태에 있으므로 가시설은 안정함을 알 수 있었다

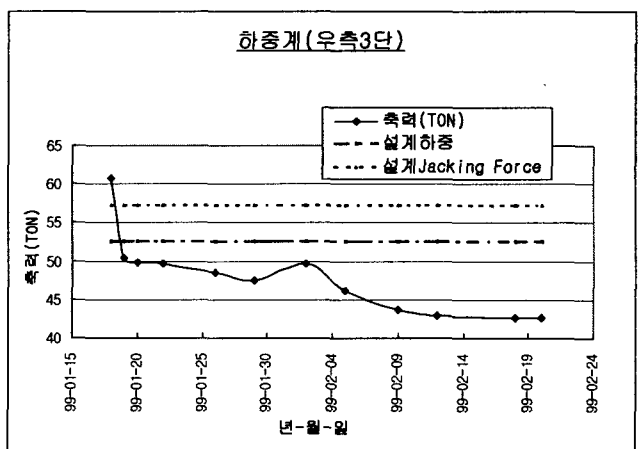
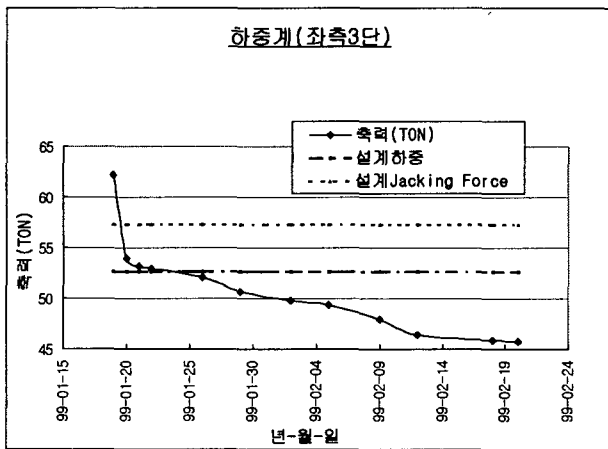


그림 3. 하중계 계측결과

5. G/A 인장시험 계측결과 및 분석

5.1 G/A 인장시험 계측결과

G/A 시험의 종류에는 인발, 인장 및 확인시험이 있으며 인발시험 목적은 공사 시작 전 설계의 적정성을 확인하기 위하여 실시하는 시험시공으로서 전체수량에는 포함이 안되며, 인장시험은 시공 중 G/A의 시공 적정여부 판정기준 등을 알기 위하여 실시하고 시험대상은 G/A 수량 전체의 3~5%를 실시하며, 확인시험은 인장시험을 실시하지 않은 수량에 대해서만 설계하중에 대한 안전성을 확인할 목적으로 실시한다.

본 사례에서는 99년 2월 18일~19일 실시한 G/A 3단의 인장시험 결과 후 하중단계에 따른 및 탄, 소

성변위량과 상, 하한선의 변위는 표 4(좌측3단), 표 5(우측3단)와 같이 정리하였고 이를 그래프화 한 결과는 그림 4, 5 와 같으며 상, 하한 변위량^(1.그라운드앵커기술협회,1997) 한계는 식(1), (2)와 같다.

$$\text{상한 한계 곡선} : \Delta l \max = P \cdot (Le+Lf+Lb/2)/(A \cdot N \cdot E) \quad (1)$$

$$\text{하한 한계 곡선} : \Delta l \max = P \cdot (Le+Lf) \cdot 0.8/(A \cdot N \cdot E) \quad (2)$$

여기서, P : 단계별 시험하중(ton), A : P.C Strand 단면적=0.9871cm²
 N : P.C Strand 가닥수=5가닥, E : P.C Strand 탄성계수=2.0E+06kg/cm²
 Le: 여유장=1.5m, Lf: 자유장=29m, Lb: 정착장=8m
 G/A 설계하중(Pd) = 52.56ton
 최대시험하중(Pm) = 1.3Pd = 68.33ton
 초기하중(Pi) = 0.2Pm = 13.67ton
 단계별 증분하중(ΔP) = (Pm-Pi)/5단계 = 10.93ton

표 4. 변위량과 변위량 한계(좌측)

하 중(ton)	탄성변위량(mm)	소성변위량(mm)	상한선(mm)	하한선(mm)
13.67(초기하중)	0.0	0.0	0.0	0.0
24.60(1단계하중)	28.0	0.0	38.2	27.0
35.53(2단계하중)	69.0	4.0	76.4	54.0
46.46(3단계하중)	117.0	5.0	114.6	81.1
57.40(4단계하중)	150.0	7.0	152.8	108.1
68.33(5단계하중)	189.0	9.0	191.0	135.1

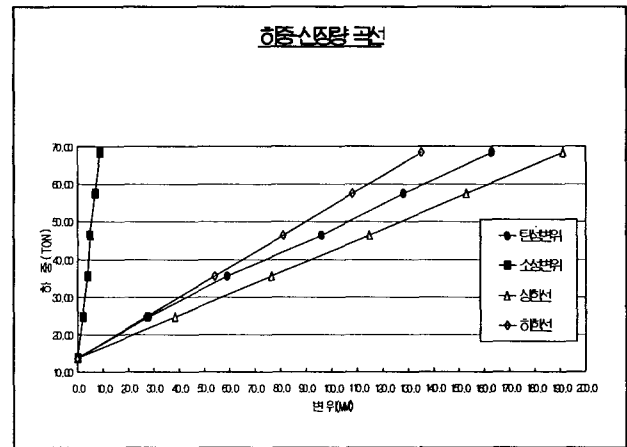
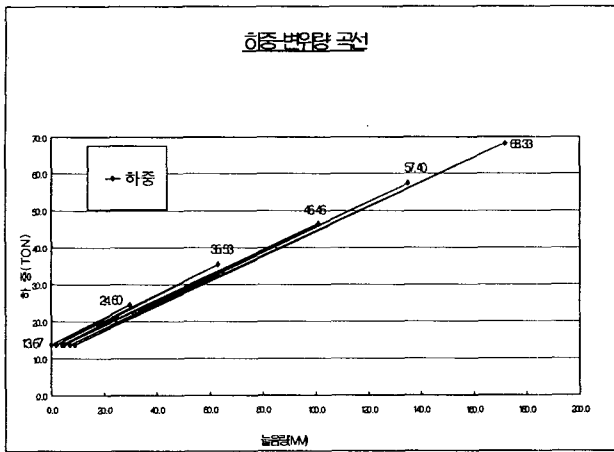


그림 4. 인장시험 계측결과(좌측)

표 5. 변위량과 변위량 한계(우측)

하중(ton)	탄성변위(mm)	소성변위(mm)	상한선(mm)	하한선(mm)
13.67(초기하중)	0.0	0.0	0.0	0.0
24.60(1단계하중)	20.0	0.0	38.2	27.0
35.53(2단계하중)	42.0	7.0	76.4	54.0
46.46(3단계하중)	26.0	47.0	114.6	81.1
57.40(4단계하중)	22.0	74.0	152.8	108.1
68.33(5단계하중)	23.0	96.0	191.0	135.1

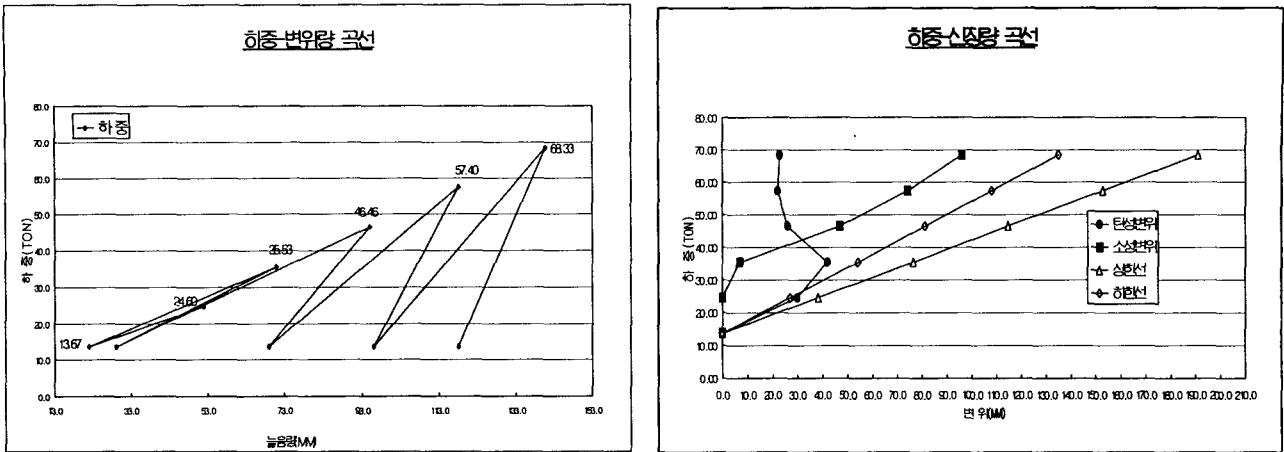


그림 5. 인장시험 계측결과(우측)

5.2 G/A 인장시험 결과분석

G/A는 인장시험 결과에 따라 그림 6과 같은 그래프 유형별로 G/A시공의 적정여부를 판단할 수 있고 시험결과 좌측 3단(그림4)은 G/A하중(P_{sm})에 의한 유효영향길이 $L[(\text{탄성변위량} \times A \times N \times E) / (P_m - P_i)]$ 은 29.43M로 산정된다. 실제 사용된 시험앵커의 자유장은 29M, 정착장은 8M이므로 유효정착장 $[8.0 - (29.34 - 29.0)]$ 은 7.57M로 추정되며 0.43M의 정착장이 자유장화 되었음을 알 수 있다. 또한, 이를 측정하중에 대해 지반의 극한마찰저항력을 역계산하여 보면, $\tau_p = P / (\pi \times D \times \ell_b) = 68.33 \times 1000 / (3.14 \times 10.2$

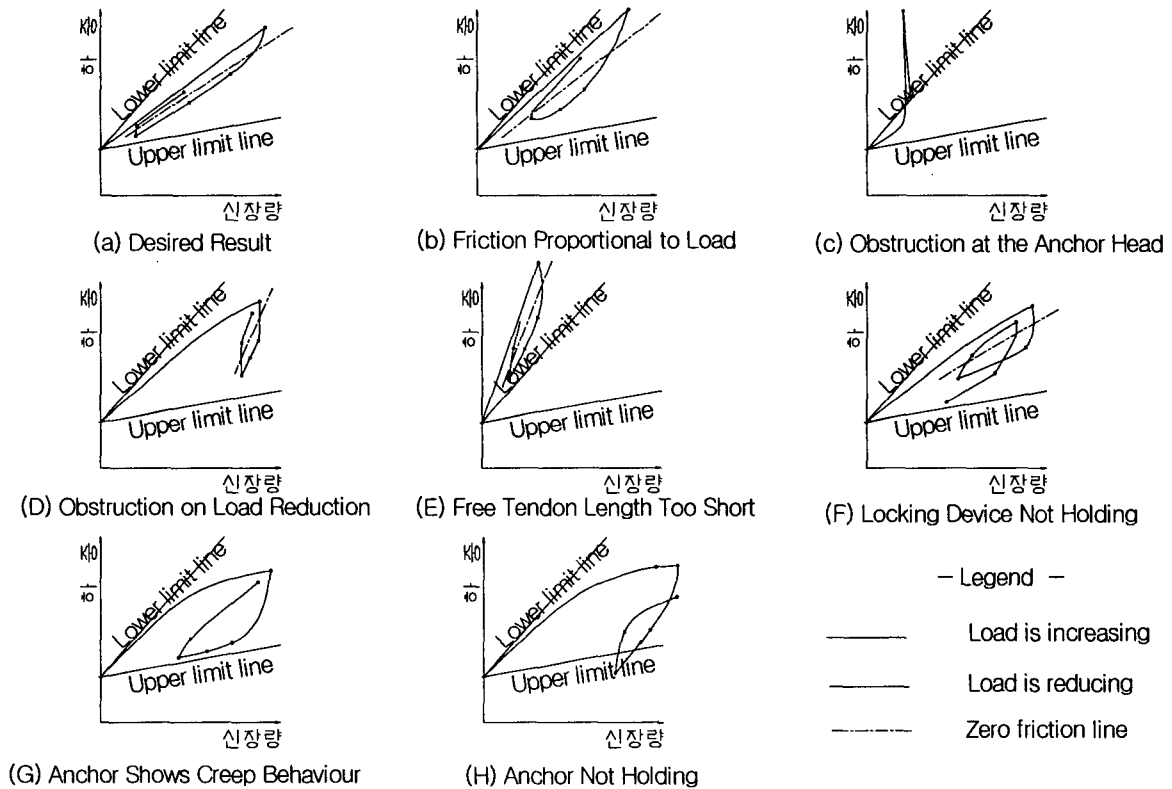


그림 6. 인장시험 계측결과 유형 (4.GEOTECHNICAL CONTROL OFFICE, 1989)

$\times 755) = 2.83\text{kg/cm}^2$ 로 나타난다. 여기서 P는 G/A의 최대측정하중, D는 G/A의 천공직경, τ_p 는 지반의 극한마찰저항력 그리고 l_b 는 유효정착장을 나타낸다. 인장시험 앵커체의 탄성늘음량은 실제 자유장보다 길게 나타났으며 주요원인은 G/A앵커의 정착부 상단에 인장하중이 국부적으로 작용했기 때문인 것으로 판단된다.

우측 3단(그림 5)의 하중-신장량 곡선은 그림 6의 (c)와 같은 특성을 나타낸다. 그래프로부터 G/A 시공불량등으로 인하여 하중증가에 따른 변위가 비정상적으로 거동함을 알 수 있고 이것은 자유장과 정착장이 제대로 시공되었는지 알 수 없음을 의미하므로 G/A 3단(좌, 우측)시공은 시공불량으로 판단되며 99년 2월 28일 현재 인접지역에 G/A를 재 천공할 계획이다.

5. 결 론

1) 지반굴착에 따른 계측기중 변형률계는 토압의 변화상태를 측정하여야 하므로 경사계 설치지점에 근접설치하여 굴착에 따른 지반거동을 연계분석하는 것이 바람직하며, 버팀보에서의 설치위치는 축력작용시 변형률이 단부보다는 중앙에서 최대일 것으로 판단되므로 계측기 설치위치를 합리적으로 배치할 필요가 있다.

2) 경사계 계측관리 기준은 일반적으로 굴착심도에 따른 최대변위량으로만 관리하고 있으나 본 현장은 최대변위량이 설계값보다 크더라도 변위가 수렴될 경우 안정한 경우가 있으므로 7일간의 연속변위량을 2차로 관리하였다. 이러한 경우 가시설변위에 대한 안정성은 큰 문제가 없었으나 파대변위로 인하여 작업 공간이 줄었고 이 경우 작업성에 문제가 있으므로 가급적 가시설 변위가 적게 관리함이 좋다는 것을 알 수 있었다.

3) Jacking Force를 가할 경우 설계에 필요한 인장력을 확보하기 위해 손실되는 하중(정착장치에 의한 Prestress 감소, Relaxation에 의한 Prestress 감소, Creep에 의한 감소)만 증가시켜 인장력을 가하면 충분할 것으로 판단된다.

4) G/A인장시 하중계가 설치된 주위를 인장할 경우에는 하중계 주위의 G/A를 먼저 인장하고 하중계 설치지점을 인장하여야 하며 만일 순서를 바꾸어 실시하게 되면 인접주위의 인장으로 인하여 하중계의 실제 인장력이 상실되어 설계축력보다 적은 축력이 측정될 수 있다.

5) G/A인장시 늘음량은 설계의 늘음량과 큰 차이를 나타내고 있으며 그 이유는 스트랜드 콘의 슬립, 실린더의 유동 및 정착부의 파괴에 의한 것이 대부분이므로 시공전 인발시험을 반드시 실시하여 설계조건과의 차이를 규명한 후 본 시공에 임해야 하며 또한 시공도중 인장시험을 실시하여 하중-늘음량이 상한선, 하한선 범위내에 들어오는지 여부를 확인하고 그렇지 않을 경우는 G/A재천공 등의 적합한 조치가 요망된다.

참고문헌

1. 그라운드앵커기술협회, "그라운드앵커공법", 구미서관, 1996, P.193~P.216
2. (주)대우엔지니어링, "인천국제공항 제2활주로지역 남측토목시설공사(A-4공구) 구조계산서", 신공항건설공단, 1996, P.707~P.746
3. (주)대우엔지니어링, "인천국제공항 제2활주로지역 남측토목시설공사(A-4공구) 계측관리 1월공동구 가시설 보고서", 신공항건설공단, 1999, P.46~P.58
4. GEOTECHNICAL CONTROL OFFICE"MODEL SPECIFICATION FOR PRESTRESSED GROUND ANCHORS", GEOSPEC1, 1989, P.63~P.153