

# 動圧密 工法の 施工例

宋 炳 武 (美陸軍 工兵團 土質工學部)  
마이클 곰뱅 ((주) 풀레땅쉬 범양 技術顧問)

< ABSTRACT >

750-bed medical facilities is being constructed currently on a geotechnically adverse site located approximately 15 miles West of the City of Pusan, Korea. The site is within a polders with approximate plan dimensions of 10 miles (N-S) by three miles (E-W). The facilities consist of eight single story buildings with steel frame and pre-engineered walls and roofs (about 240 feet by 50 to 60 feet in plan dimensions) located in the central area. The facilities is located in a site with plan dimensions of about 600 feet by 940 feet. The maximum column load is about 47 kips in the main facility.

The bedrock is encountered at a depth of about 210 feet below the existing ground surface, and all materials above bedrock are believed to be Pleistocene and younger sediments. The subsurface materials encountered at the site during the field exploration may be described as about 30 feet of loose fine sand with some silt (SPT N values ranges from two to 10) overlying approximately 60 feet of very soft silt/clay layer with an average of about three. Approximately 120 feet of relatively good silty clay-sand-gravel layers were encountered below the very soft silt/clay layer. Evidences of desiccation during various glacial stages were not encountered within the silt/clay layer during the field exploration and subsequent laboratory testing. The lack of desiccated crust within the silt/clay layer signify that the sediment may be younger than the Late-Wisconsin glacial stage. Age dating of any of the sediments in the area was not performed.

The densification criteria used for the top sand layer were: 1) allowable bearing capacity at the footing level of at least 1,500 pounds per square foot; 2) total settlement of less than one inch under a loading intensity of up to 1,500 psf on 6.5-foot square footings; and 3) differential settlement between the footings of less than  $0.002L$  where  $L$  is the distance between the footings. Dynamic Compaction (DC) was performed by dropping a 13-metric ton pounder (2-meter square in plan dimensions) from a height of 25 meters (82 feet). The first pass consist of 10 drops on each print on 20-foot on center and the second pass was two drops per print on 10-foot on center.

The results of DC were verified by various field testing including SPT, plate bearing test, and settlement monitoring. All three acceptance criteria were exceeded. The original SPT values (N) of about three to 10 were improved to give 25 to 30 or more. The angular distortion by four feet of fill which is about 75 percent of all imposed load was less than  $1/10,000$  as of July, 1987.

## 1. 序 論

現在 김해 國際空港 인근에 750 病床을 가진 野戰病院이 施工中에 있다. 이 野戰病院은 낙동강 하구원에 建設中인 防潮堤工事 現場에서 약 8 km 북쪽에 位置하고 있는데 平均的으로 약 10 m의 극히 느슨하고 不均一한 가는 모래層 밑에는 약 60 m의 未壓密狀態에 있는 粘土層이 基盤岩層 上部에 있다. 말뚝基礎는 經濟的인 見地와 또 施工上의 技術的인 難點등으로 보아 사용하지 않을 것이 初期計劃단계부터 확실했다. 말뚝基礎의 代案으로서 “動壓密工法”, “바이부로-후로테이션” 그리고 “그라우팅” 등이 比較檢討되었는데 그 결과 “動壓密工法”의 採擇되었다.

“動壓密工法의 設計와 施工은 라이선스와 施工經驗을 가지고 있는 “썰레땅쉬범양”에서 提供하였다.

平面이 약 600 feet에 940 feet인 現場의 位置와 施設物 그리고 施設物들의 鳥瞰圖를 그림 1-1, 1-2, 그리고 1-3에 보였다.

## 2. 地質 및 土質狀態

야전병원敷地는 白亞紀 각섬석 화강암과 흑운모 화강암의 基礎岩 上部에 있는 第四期 堆積層으로 形成되어 있다. 第四期 堆積層은 河上 堆積層과 海洋 堆積層으로 構成되었다고 思料되는데 間氷期와 氷河期에 直接的으로 影響을 받은 것으로 思料된다. 불행하게도 各堆

積層의 年代 測定이 이루어지지 않아 正確한 糾明이 不可能하게 되었다. 그러나 一般的으로 氷河期에서 間氷期로 進入했을 때에 海洋堆積層이 形成되고 間氷期와 間氷期에서 氷河期로 進行할 때는 河上堆積層이 形成되었을 것이라고 思料된다. 氷河期는 “네부라스칸”, “캔산”, “일리노이엔”, “초기위스칸신” 그리고 “후기위스칸신”으로 보는데 各 氷河期 中에는 海水面이 現在보다 약 120 m에서 150 m 낮았다. 여기서 問題가 되는 것은 各 氷河期의 海水面의 下降은 既存 堆積層의 上部에 “데시케이션 (Desiccation)” 狀態를 주었을 터인데 現場試錐時나 實驗室에서 “데시케이션” 狀態를 찾지 못하였다. 그러나 이것만으로 “데시케이션” 된층이 없다는 決定的인 證據라고 보기는 어려운데 그 이유는 氷河期때 氷河로 인한 海水面이 120 m 내지 150 m의 下降은 既存 堆積層의 上部에 “데시케이션”을 誘發하지 않을 수 없기 때문이다.

現場 上部에 있는 細質모래층의 標準貫入試驗値는 2에서 12의 分布를 가지고 있는데 平均은 약 5 정도로 볼 수 있다. 모래층 下部에는 粘土層이 약 60 m 정도 있는데 下部로 갈수록 자갈 및 전석층이 散在하고 一般的으로 下部로 갈수록 地層은 堅固해진다. 標準貫入試驗値는 0에서 3 정도인데 下部로 갈수록 커진다. 未壓密 狀態에 있는 粘土層의 含水比는 일반적으로 그것의 액성한계보다 크다.

地質 및 土質柱狀圖는 圖表 2 - 1에 주어졌다.

### 3. 動壓密 工法의 施工前 實驗

設計에 使用한 諸般 假定의 眞否를 糾明하기 爲해 初期 實驗이 實施되었다. 敷地의 地表標高는 約 海拔 8 feet 였는데, 우선 논흙 (ML)을 除去하고 모래 (SM/SP)를 標高 12.5 feet 까지 올리고 그 위에서 “동압밀 다짐 (Dynamic Compaction - DC)”을 實施하였다. 2 m 正方形의 平面을 갖고, 무게가 13 톤의 철판을 25 m 落下하였다. 그때 間격은 約 6 m 였다. 初期實驗의 概要와 그 結果가 圖表 3 - 1, 3 - 2 및 3 - 3에 주어져 있다.

二次的으로는 落下 地點의 間격을 一次落下地點間격의 半으로 實施하였다.

初期實驗의 結果는 주로 平版在荷試驗과 標準貫入試驗에 依存했는데, 그것들은 圖表 3 - 4, 3 - 5 그리고 3 - 6, 3 - 7에 주어졌다.

初期實驗結果分析은 初期實驗設計에 사용한 各 假定이 만족스럽다는 것을 나타냈다. 따라서 本格的인 施工은 初期實驗과 같은 方法으로 進行하도록 推薦되었다.

야전병원의 支耐力 및 沈下에 관한 基準은 아래와 같다.

(가) 獨立基礎는 6.5 feet 正方形인데 單位面積當, 安全率 3를 갖은 許容支耐力은 평방 feet 당 1,500 파운드 (1,500 psf)이고 基礎의 下部는 地表面에서 4 feet 에 位置한다.

(나) 初期沈下는 1 인치 (2.54 cm)를 超過할 수 없고 기둥과 기둥사이의 許容最大沈下는 0.002L이다. 단 L은 기둥사이의 거리다.

(대) 上記한 두 條件을 만족시키기 위해서는 各層에서의 標準貫入試驗值가 최소한 아래와 같아야 한다.

•  $0B - 1B \Rightarrow N \geq 15$

•  $1B - 1.5B \Rightarrow N \geq 8$

•  $1.5B - \quad \Rightarrow N \geq 5$

設計基準은 圖表 3 - 8에 주어져 있다.

## 4. 實 地 施 工

本格的인 DC作業은 1986年 9月 中旬부터 시작되어 1986年 12月 後半期에 完了되었다. 作業은 北部에서 시작되어 南部로 進行되었는데, 技術的으로 별지장 없이 進展되었다.

DC가 주는 振動 測定도 實施되었는데 그 結果는 圖表 4 - 1에 주어져 있다. 振動測定地點과 그 詳細한 測定地點은 圖表 4 - 2와 4 - 3에 주어졌다.

敷地内の 일부분에는 上部의 모래층으로 연약한 層이 突入하여 있었다. DC가 地層의 支耐力 및 沈下 改良에 期待할 수 없다고 思料되어 그런지역에는 直徑 16인치의 孔을 1.2 m 간격으로 試錐하여 모래를 充填시킨 후에 DC를 타지역과 같이 實施하였는데 沈下 및 支耐力의 改良이 成就되었다. 그 位置는 圖表 4 - 4에 주어졌고 그 結果는 圖表 3 - 6에 있다.

## 5. 施 工 結 果

上述한 바와 같이 DC의 主目的은 약 60 m 上部에 있는 平均 10 m의 느슨한 細砂層을 DC로 改良하여 일종의 “two-layer Reinforcing System”을 만드는데 있었다. 計算에 의하면 上部 細砂層의 下部와 粘土層 上部의 接觸面에서의 盛土와 그 후에 오는 建築物荷重의 影響은 盛土가 약 80% 이상이고 建物荷重이 약 20%로 推定되어 DC의 使用이 決定되었던 것이다.

이와같은 假定은 實地 DC施工 以前에 施行된 初期 DC實驗에서 肯定的인 結果를 얻으므로 確定되었던 것이다.

다시말하면 10 m 內外의 모래층을 改良하고 그 밑의 粘土層은 그대로 두는 것이었다. 盛土作業 시작(1986,9)부터 現在까지의 沈下測定 曲線은 上記한 假定들이 所期의 成果를 주었다는 것을 나타내고 있다. 沈下曲線과 극히 제한된 piezometer 觀測結果는 圖表 5-1, 5-2, 5-3 그리고 5-4에 주어졌다.

## 6. 結 論

비교적 地盤條件이 不良한 지역에서 實施된 DC는 工期와 工費의 節約을 주었다. 이것은 DC의 設計와 施工을 全擔한 “쏟레땅쉬범양”의 技術陣의 공헌이 決定的인 要素였다고 思料된다.

參考로 “쏟레땅쉬범양”는 13톤 무게를 起重機로 25 m 높이에서 14,766 회 落下하였다는 것을 記錄으로 나타내고 있다.

Initial Depositional Relative Density는 약 10%에서 20%로 推定되어 어느 정도의 prestress는 되었다고 思料되나, 全般的으로 標準貫入試驗値의 廣範圍上의 分布로 보아 DC를 採擇하였던 것이다.

DC는 設計와 施工을 正確히 하고 現場狀態가 許諾하면 말뚝基礎보다 훨씬 低廉한 價格으로 完成될 수 있으나 이와같은 作業은 DC의 免許와 豊富한 施工經驗에 의거함이 반드시 必要할 것이다. 어떤 DC施工例는(南美에서 내진설계예) 말뚝基礎의 3분의 1 價格으로 工事が 完了된 경우도 있다.



## 7. 圖表 및 參考文獻

다음과 같은 圖表와 參考文獻이 添加된다.

- 圖表 1-1 Vicinity Map
- 圖表 1-2 Plot Plan
- 圖表 1-3 A Bird's Eye-View
- 圖表 2-1 Geologic Map & Geological and Geotechnical Data
- 圖表 3-1 Plan Layout of Testing Section
- 圖表 3-2 Crater Depth Vs Number of Drops Curves
- 圖表 3-3 Peripheral Heave Vs Number of Drops Curver
- 圖表 3-4 Plate Bearing Test Results
- 圖表 3-5 N- Value Vs Depth before and after D.C
- 圖表 3-6 //
- 圖表 3-7 //
- 圖表 4-1 Vibration Measurement Results
- 圖表 4-2 Vibration Measurement Test Site Plan
- 圖表 4-3 Vibration Measurement Test Plan
- 圖表 5-1 Settlement Gages and Piezometers
- 圖表 5-2 Settlement and Piezometer Records
- 圖表 5-3 //
- 圖表 5-4 //

## 參 考 文 獻

- a. "Vibrations in Structures Adjacent to Pile Driving". Theissen/Wood, Dames & Moore, Engineering Bulletin, No. 60, July, 1982.
- b. "Construction Vibrations: State-of-the-Art", Wiss, Journal of Geotech. Engr. Div., ASCE, Vol. 107, No. GTZ, Feb., 1981.
- c. "Ground Vibrations During Dynamic Compaction", P.W. Mayne, Vibration Problems in Geotechnical Engineering, ASCE, 1985.
- d. "Foundation Analysis and Design", J.E. Bowles, McGraw Hill, 1982.
- e. "Dynamic Compaction of Granular Soils", Leonards, et al, Journ. of Geotech. Engr. Div., ASCE, Vol. 106, No. GTT, Jan., 1980.
- f. "Field Instrumentation in Geotechnical Engineering", T.H. Hanna, Trans Tech Publications, 1985.
- g. "Treatment of Peaty Clay by High Energy Impact", Ramaswamy, et al, Journ. of Geotech. Engr. Div., ASCE, Vol. 105, No. GT8, Aug. 1979.
- h. "Compaction of the Deep Fill or Boulder Soils by Impact Force", H, Mori, 5th SE Asian Conf. on Soil Engr., Bangkok, Thailand, July 1977.
- i. "Soil Mechanics in Foundation Engineering", Terzaghi/Peck, John Wiley, 1948.
- j. "Nakdong Estuary Barrage and Reclamation Project", NEDECO, Dec. 1981.
- k. "Geotechnical Investigation, Nakdong Estuary Barrage and Reclamation", ISWACO, Apr. 1981.
- l. "Marine Geology of Korean Seas", S.K. Chough, IHRDC, 1983.
- m. "Principles of Pavement Design", Yoder/Witczak, John Wiley, 1975.
- n. "Wolsung-1 Nuclear Power Plant Site Seismicity", AECL, 1977.
- o. "Explanatory Text, Geol. Map of Kimhae Sheet", KIGAM, 1973.
- p. "Geotechnical Characterization of Desiccated Clay", B. Song, Journal of Geotech. Engr. Div., ASCE, Vol. 110, No. 2, 1984
- q. Personal Communication with M. Gambin, 1986.
- r. "Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data", Seed, et al., Journal of Geotech. Engr. Div., ASCE, Vol. 109, No. 3, Mar. 1983.

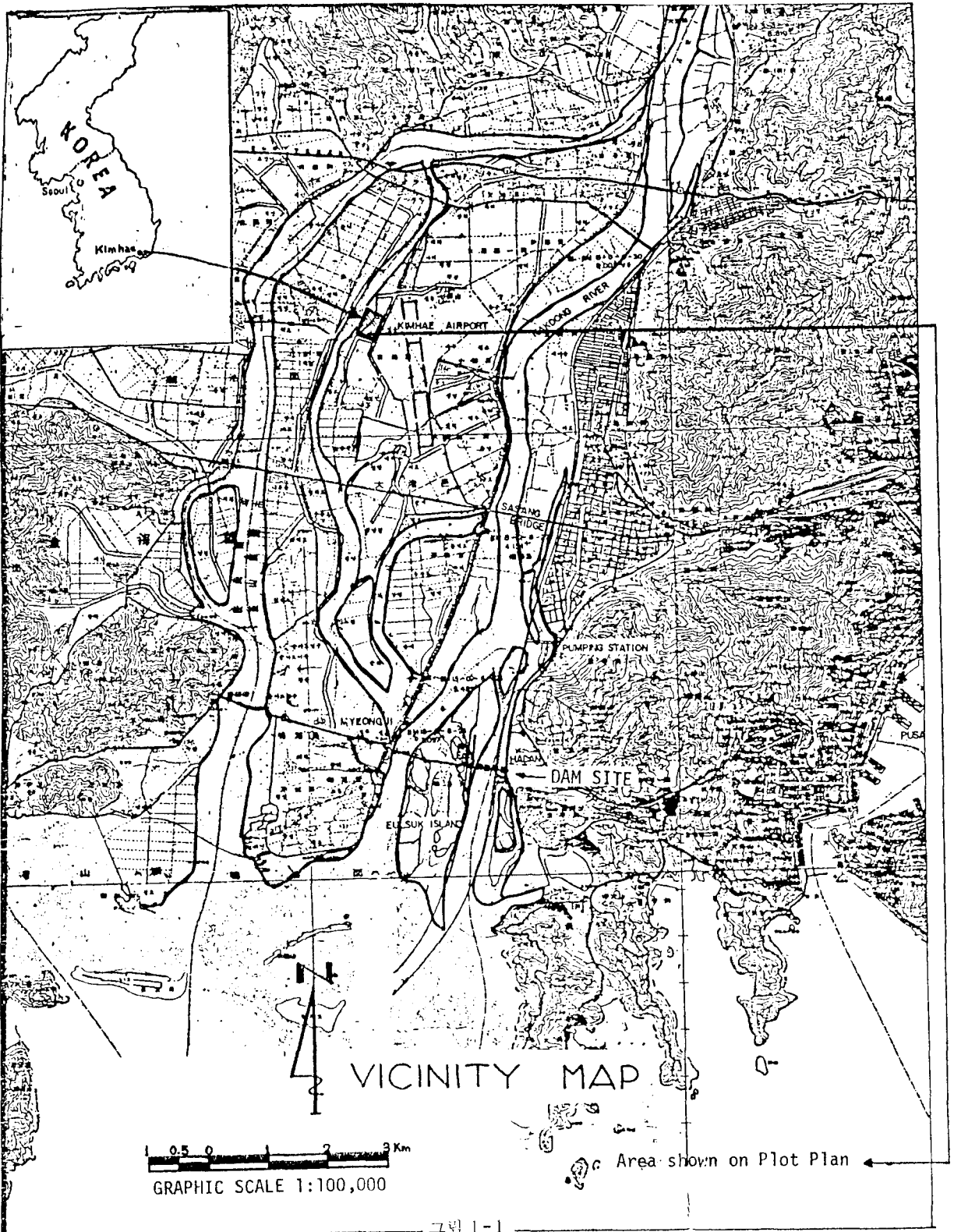
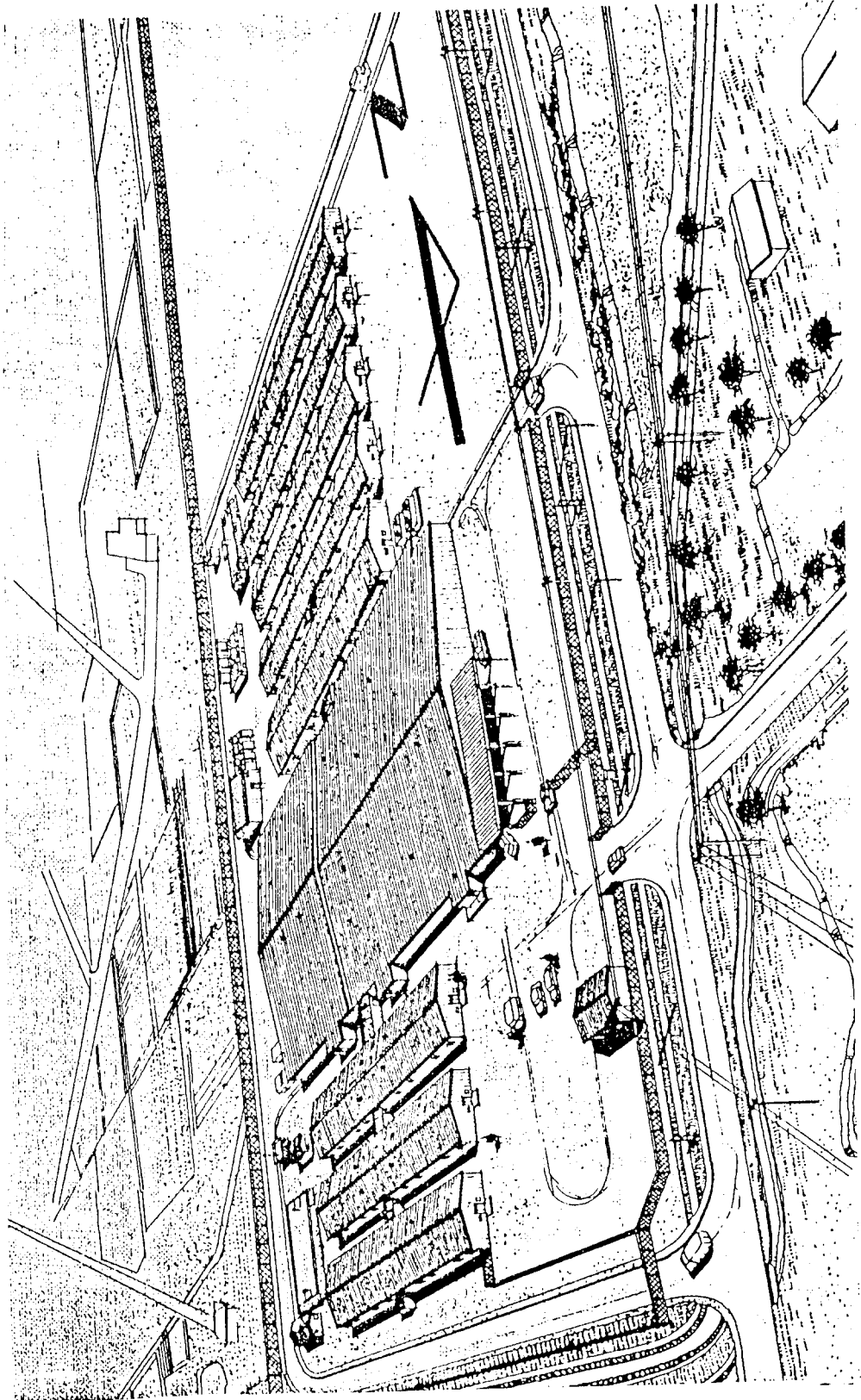
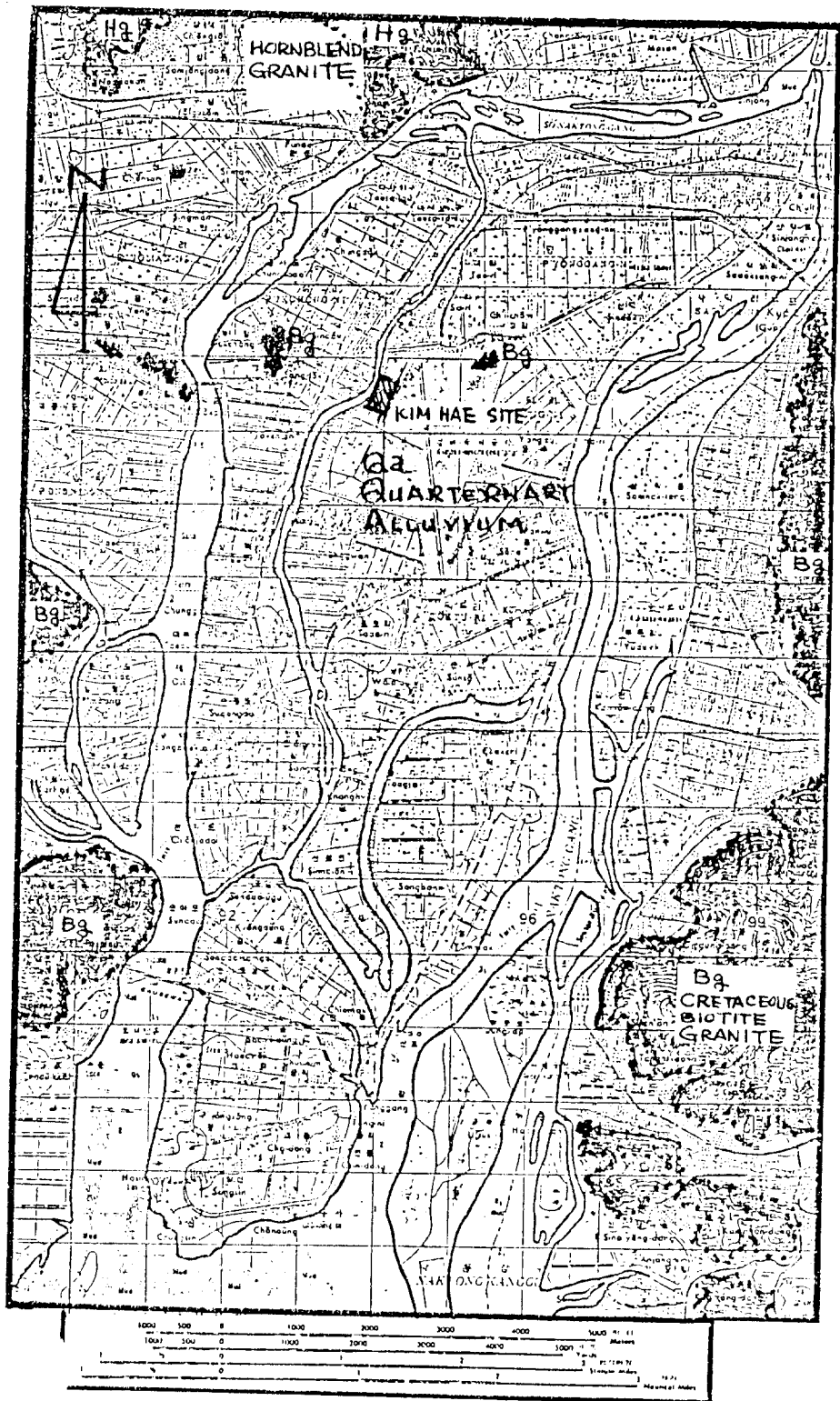


그림 1-1





A BIRD'S EYE-VIEW



# GEOLOGIC MAP

그림 2-1, A

BORING NO. B4-1036  
 DATE OF BORING 7-24-86  
 ELEVATION 7.52'

WATER TABLE DATA  
 DATE 7-24-86 WATER LEVEL 2.0' COVERED

CONTINUATION

DEPTH F 30	CLASS	SA	FI	LL	PL	MC	H	DESCRIPTION	DEPTH F 30	CLASS	SA	FI	LL	PL	MC	H	DESCRIPTION	
																		DESCRIPTION
0								EXPOSED LOOSE LOW-ALASTIC SANDY FINE SAND	0									
5									5									
10									10									
15									15									
20									20									
25									25									
30									30									
35									35									
40									40									
45									45									
50									50									
55									55									
60									60									
65									65									
70									70									
75									75									
80									80									
85									85									
90									90									
95									95									
100									100									

# GEOLOGIC AND GEOTECHNICAL DATA

F&N NO. 61-1

2-1, B

PLAN LAYOUT OF TEST SECTION

LEGEND

- Tamping Point for 1st Pass (10 Drops)
- ◻ Tamping Point for 2nd Pass (2 Drops)
- Stand Pipe
- ⊙ Pneumatic Piezometer
- ⊙ Borehole No. BI-1

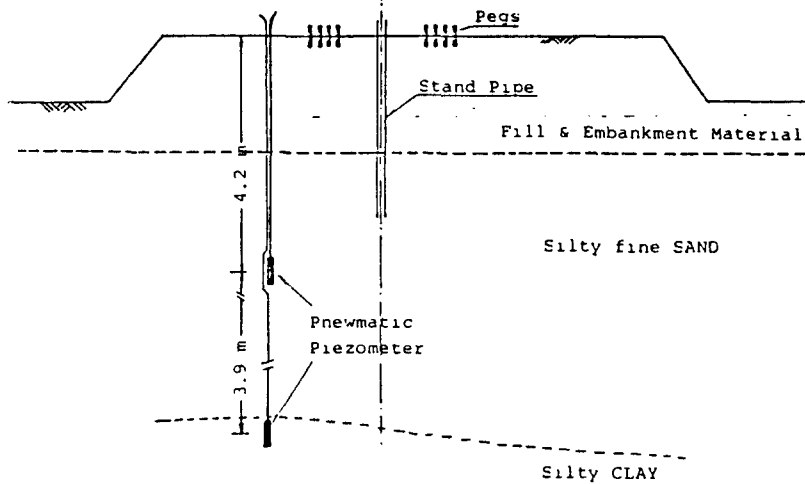
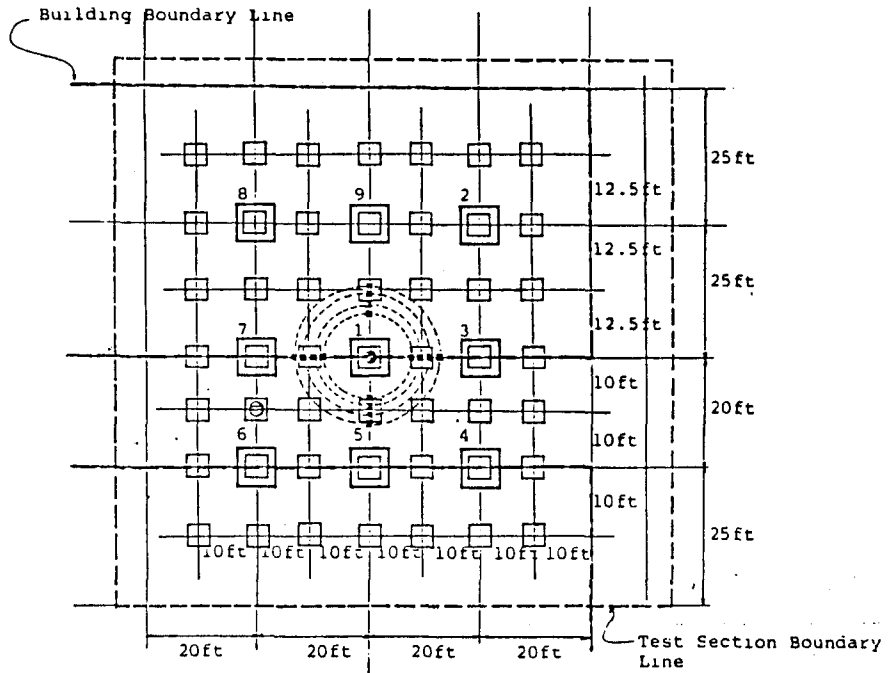


그림 3-1



CRATER DEPTH VERSUS NUMBER OF DROPS

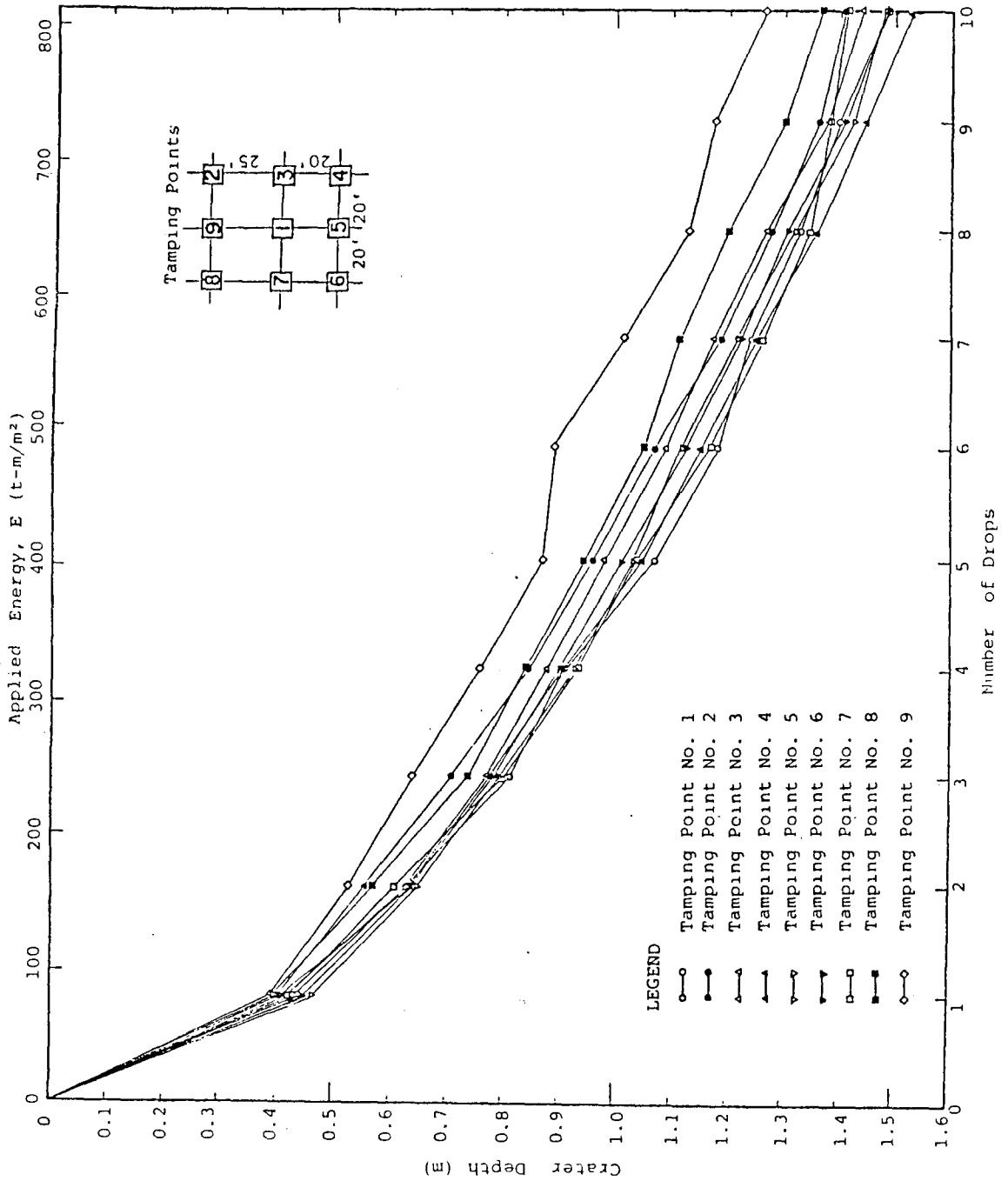
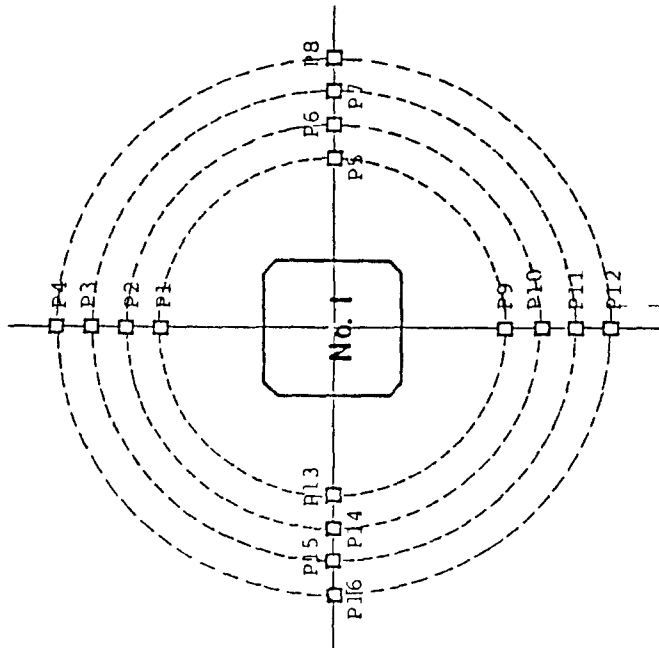
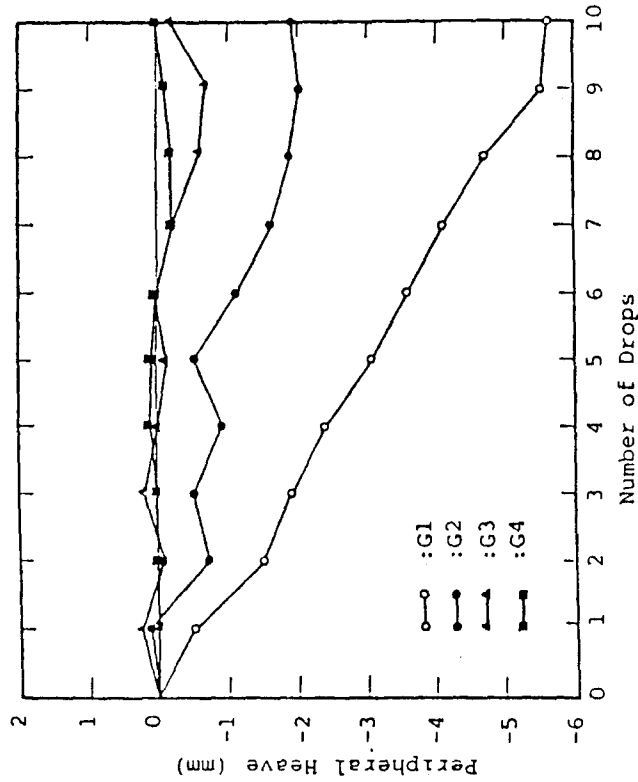
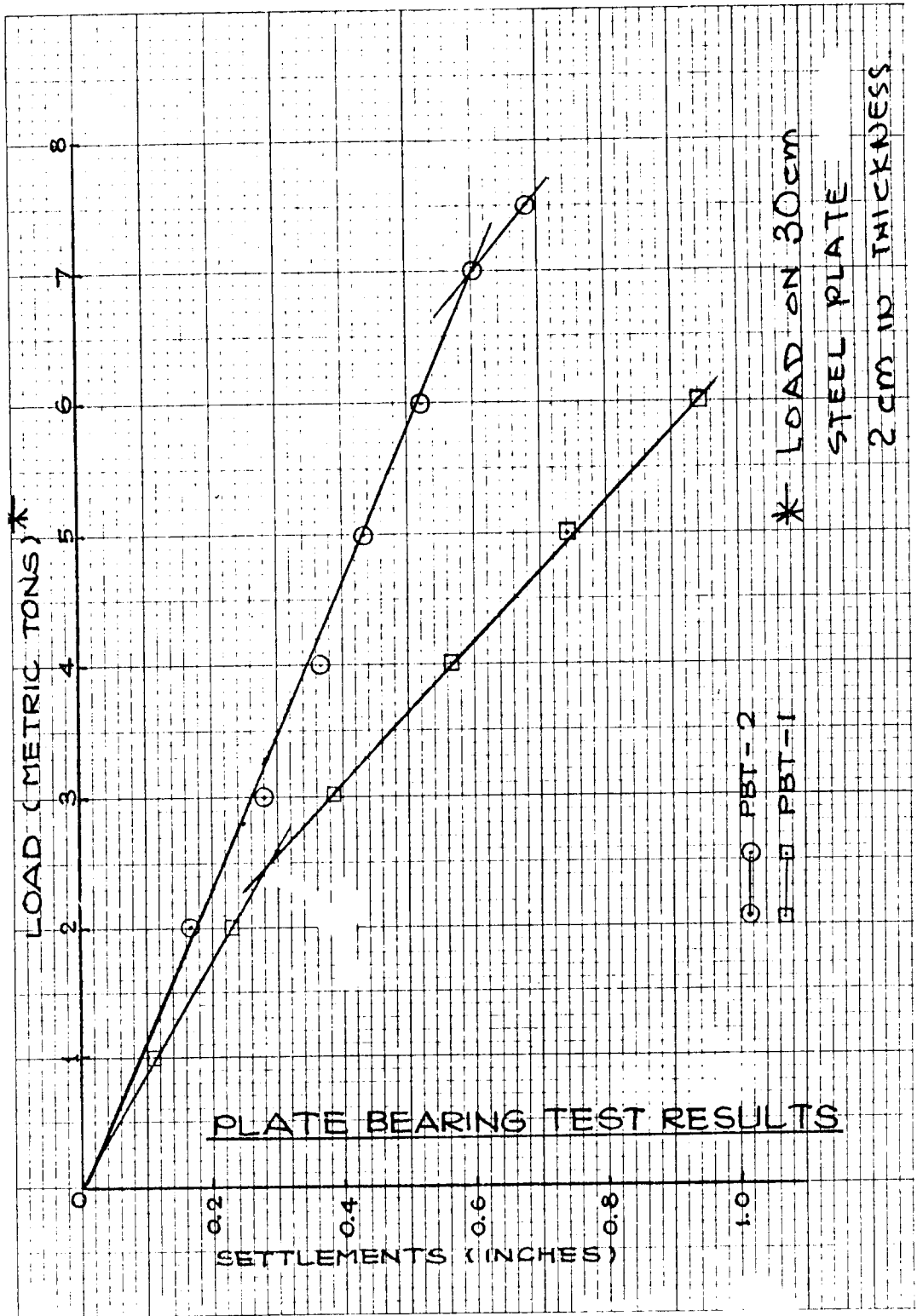


图 3-2

PERIPHERAL HEAVE VERSUS NUMBER OF DROPS



- G1 = Average Value of P1, P5, P9, P13
- G2 = Average Value of P2, P6, P10, P14
- G3 = Average Value of P3, P7, P11, P15
- G4 = Average Value of P4, P8, P12, P16



STANDARD PENETRATION RESISTANCE (N-VALUES) VS.  
DEPTH BEFORE AND AFTER DYNAMIC COMPACTION

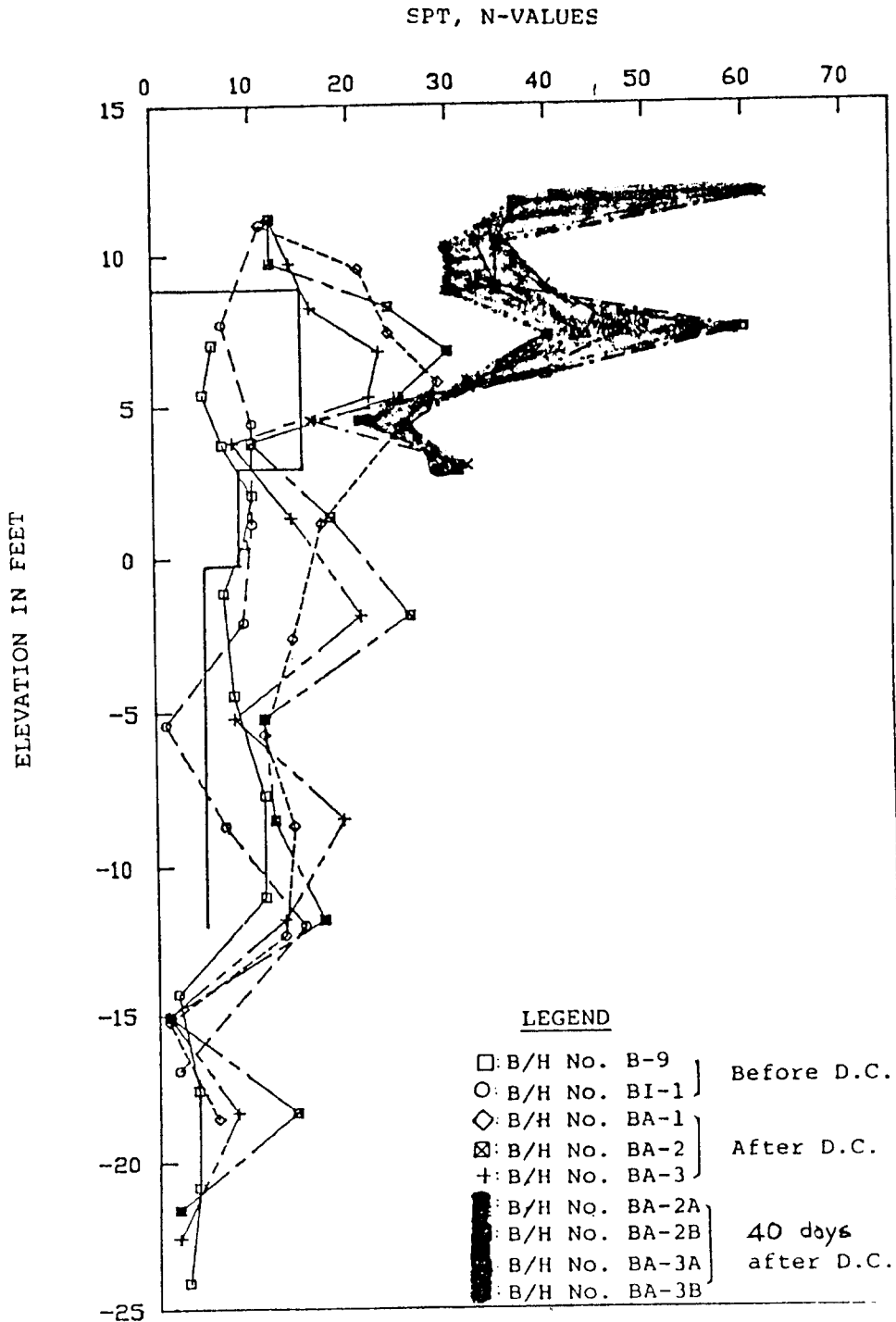


그림 3-5

STANDARD PENETRATION RESISTANCE (N-VALUES) VS.  
 DEPTH, BEFORE AND AFTER DYNAMIC COMPACTION  
 (AROUND B/H No. B3-176)

SPT, N-VALUES

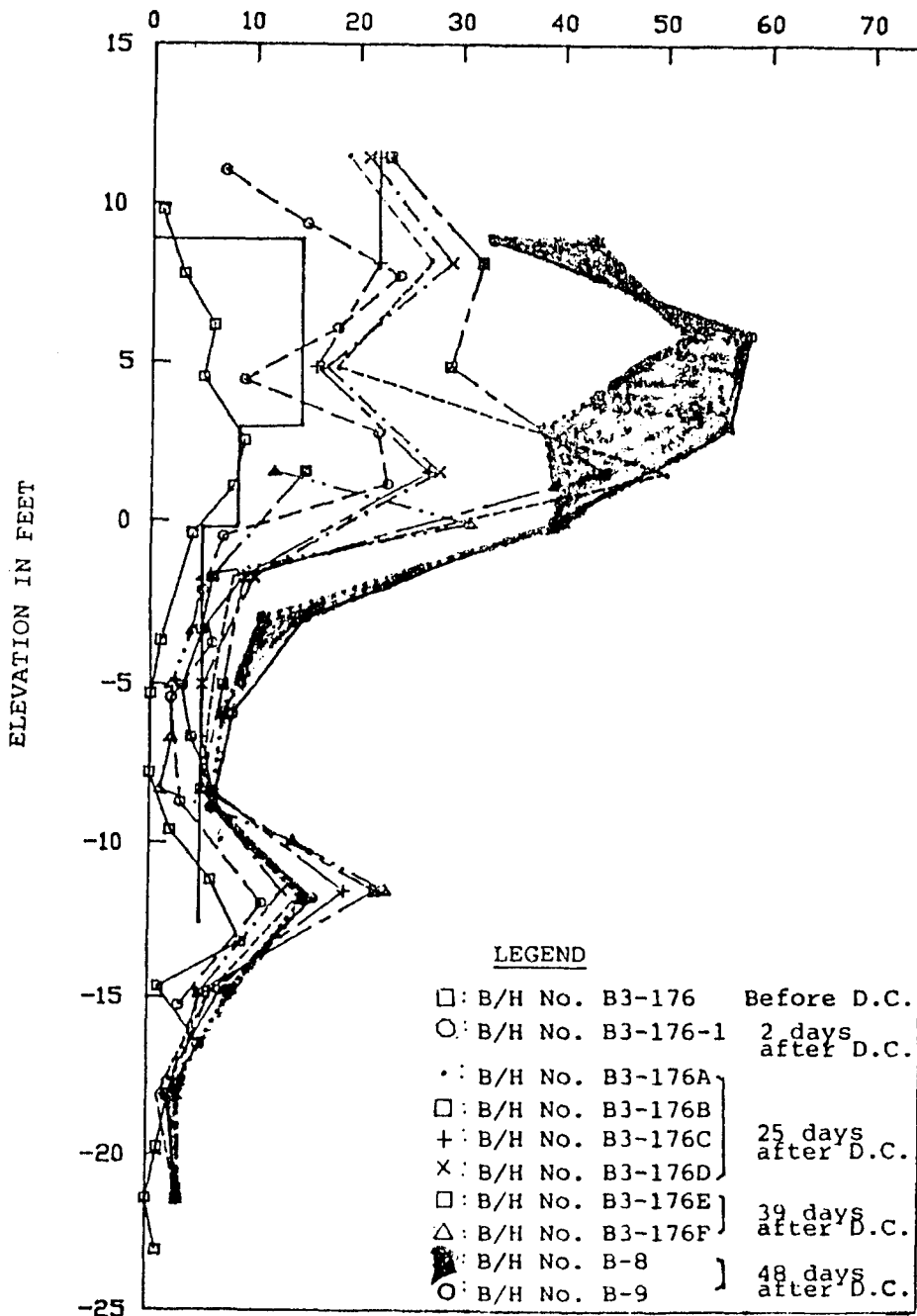
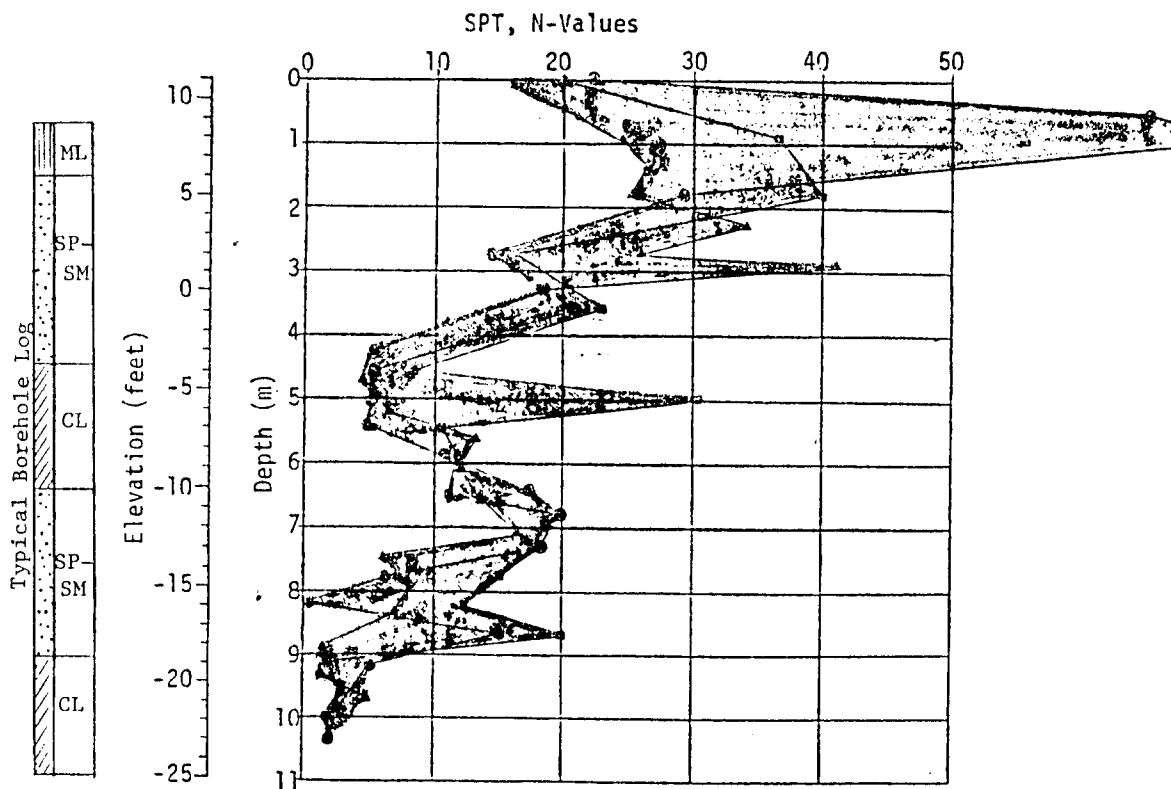


그림 3-6

STANDARD PENETRATION RESISTANCE (N-VALUE)  
 VERSUS DEPTH BEFORE AND AFTER DYNAMIC COMPACTION

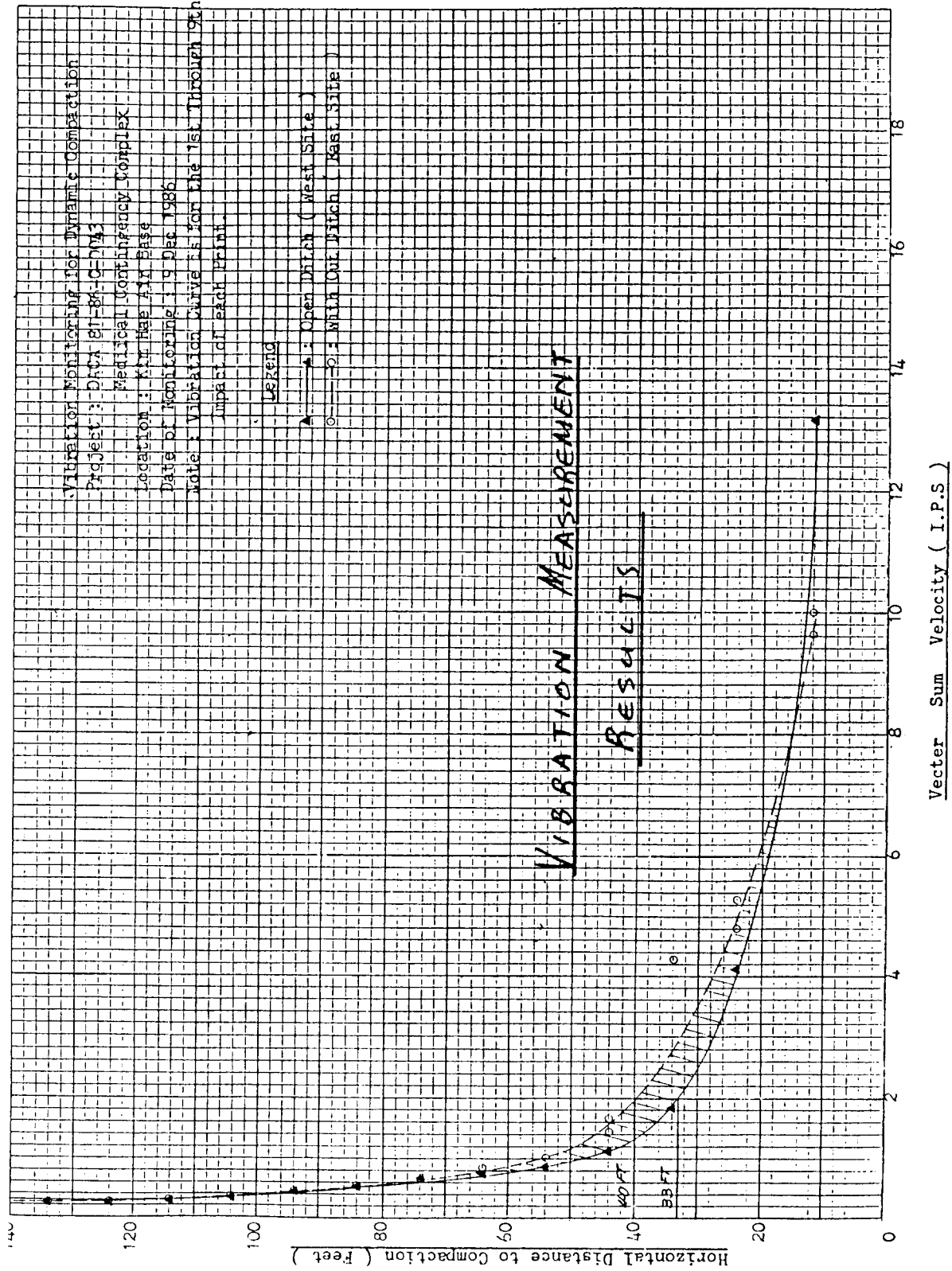


LEGEND

- Borehole No. BD-4A-1
- Borehole No. BD-4B-1
- Borehole No. BD-4C-1

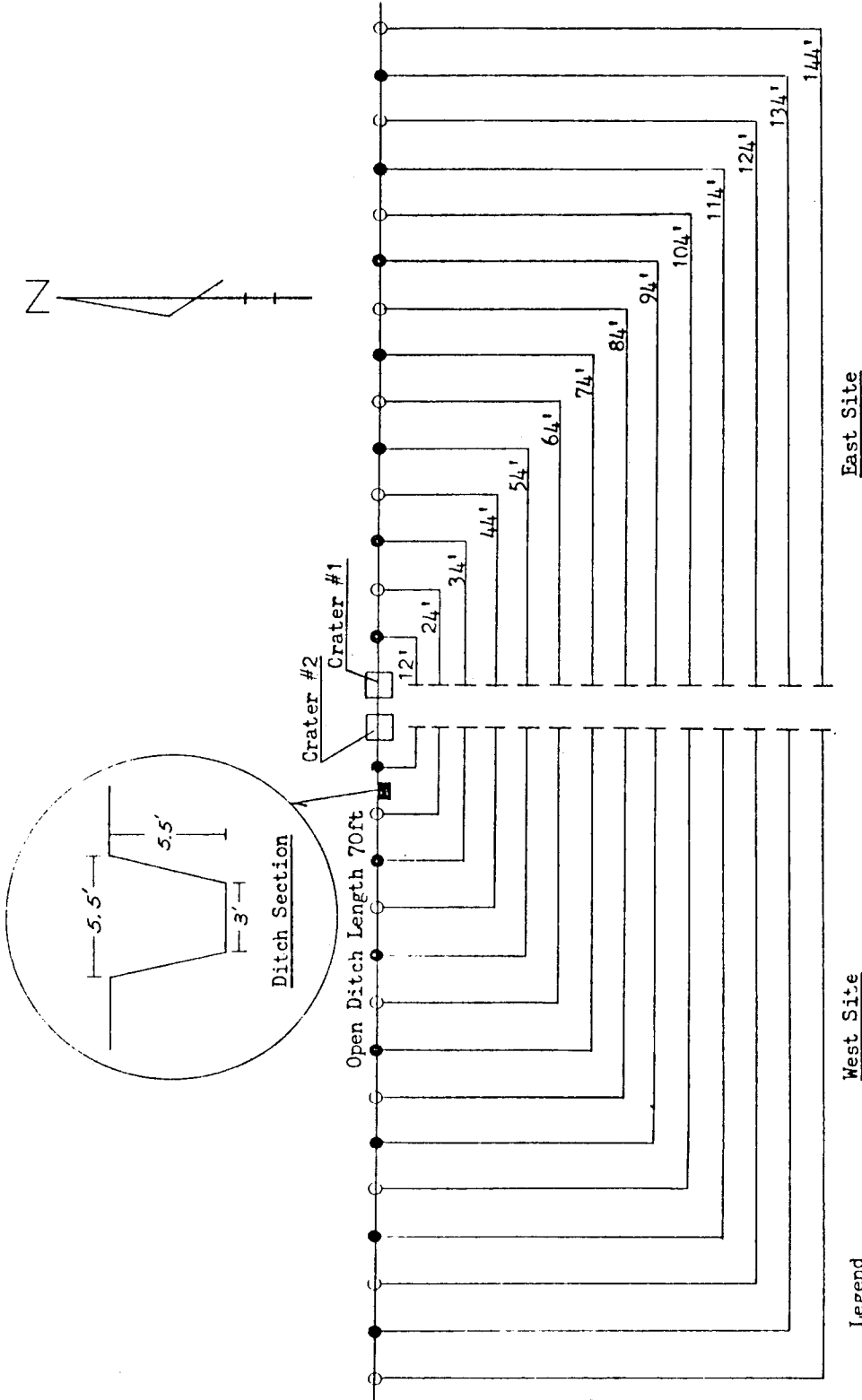
그림 3-7











Legend

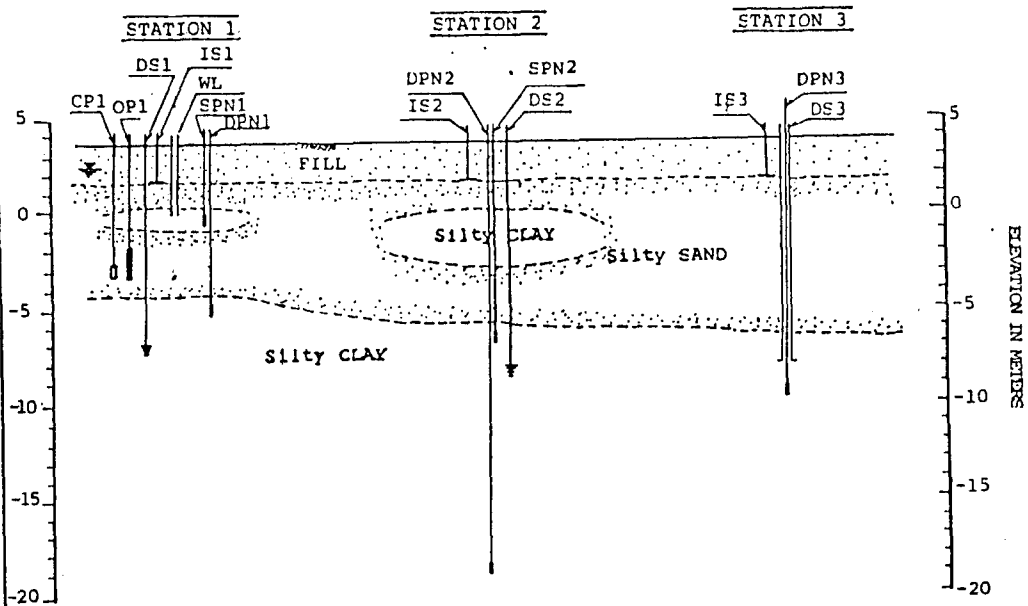
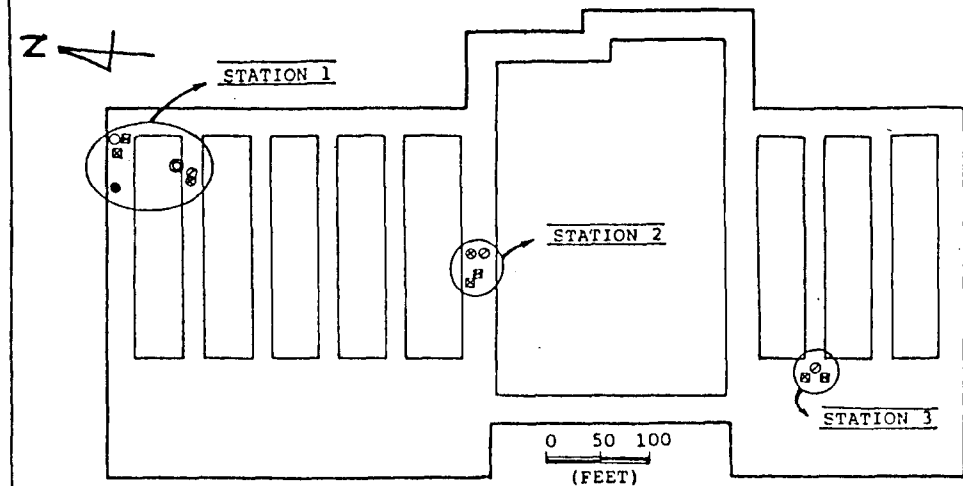
- : Geophon "A"
- : Geophon "B"

West Site                      East Site

DACA 81-86-C-0043, Kim Hae Air Base

FY86 MCP MEPZ 858400, Medical Contingency Complex

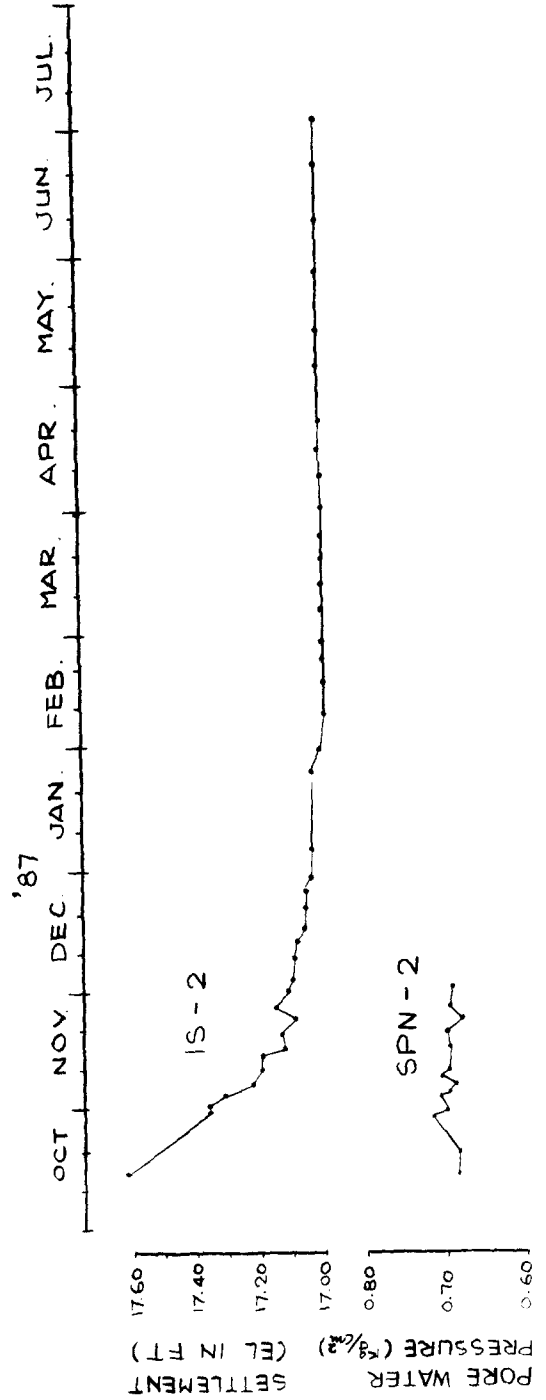
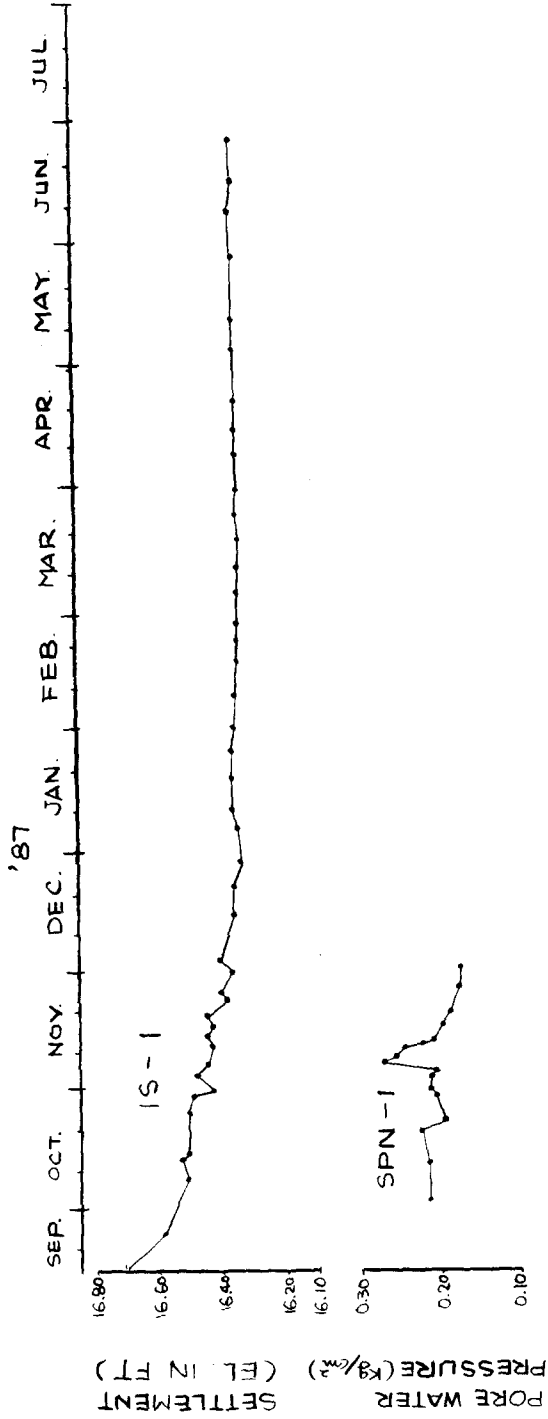
Location & Profile for Monitoring System



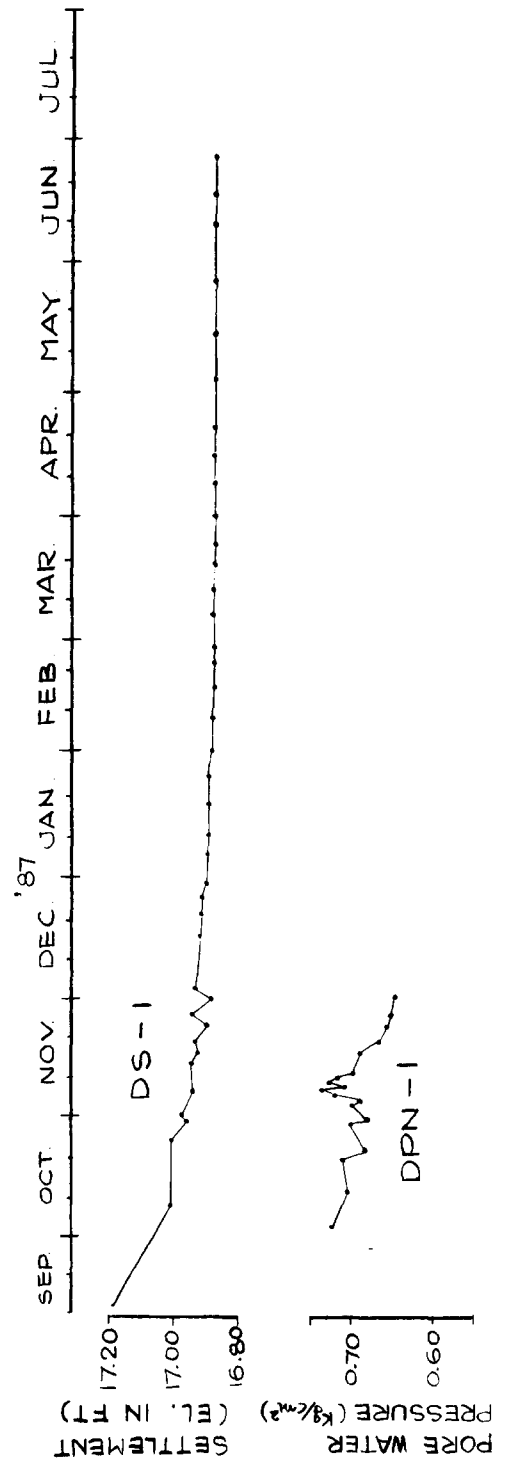
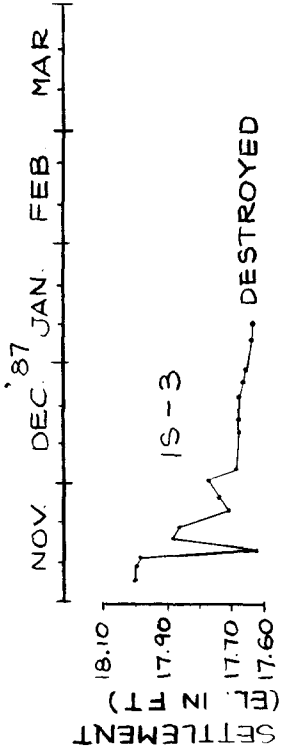
LEGEND

- ⊙ WL : Observation Wall
- ⊠ IS : Intermediate Settlement
- ⊠ DS : Deep Settlement
- OP : Open Type Piezometer
- CP : Close Type Piezometer
- ⊙ SPN : Shallow Pneumatic Piezometer
- ⊙ DPN : Deep Pneumatic Piezometer

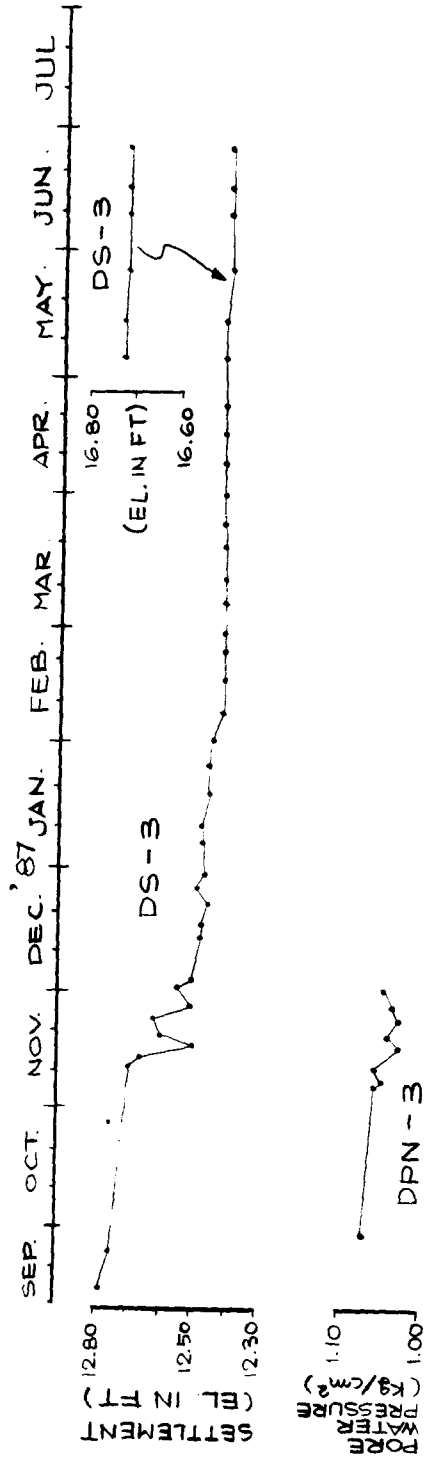
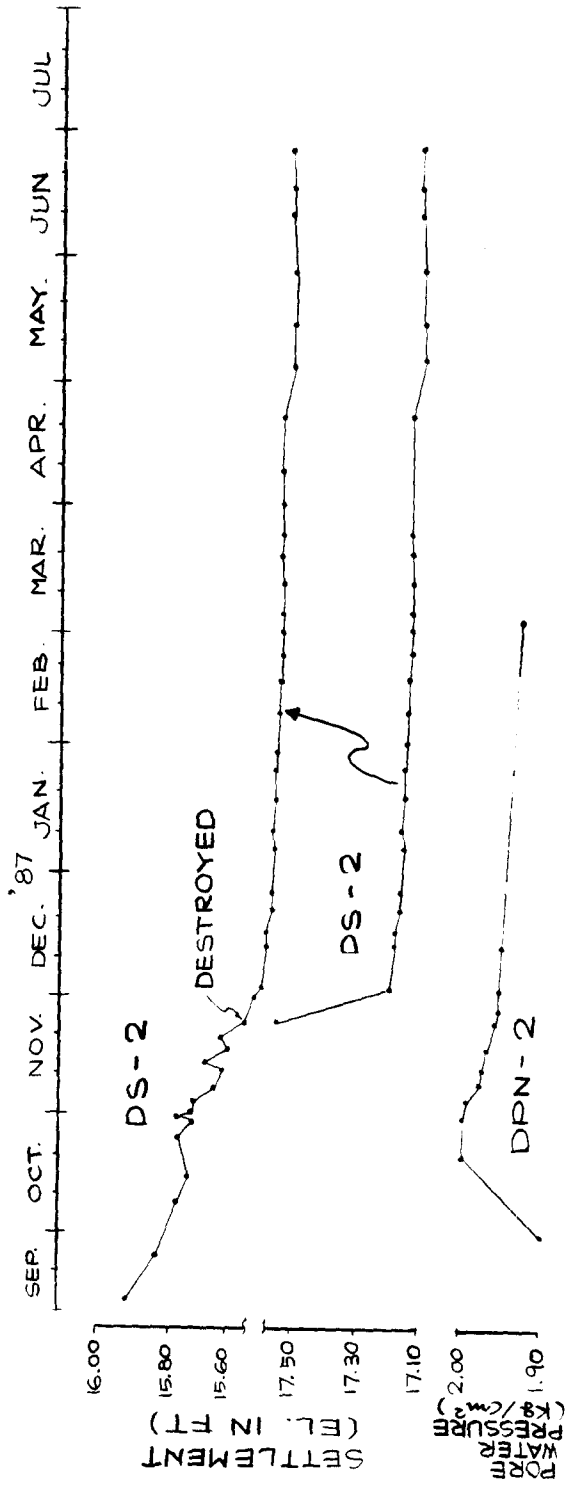
SETTLEMENT GAGES AND PIEZOMETERS



SETTLEMENT AND PIEZOMETER RECORDS



SETTLEMENT AND PIEZOMETER RECORDS



SETTLEMENT AND PIEZOMETER RECORDS