

ECE 공법에 대하여

송태학*

1. 서론

좁은 國土를 擴張하기 爲하여 大規模干拓浚渫埋立과 産業發展을 期하기 爲하여 工場敷地 造成이 計劃, 實施 되고 있으나 韓國西海岸의 大部分은 海成粘土層이 두겹게 堆積되 干拓地는 軟弱地盤을 形成하고, 浚渫埋立地에 있어서 그 含水比가 液性限界를 훨씬 넘어 즉 超軟弱地盤이 되어 作業用 機械는 물론 사람이 들어갈수 조차 없어 利用이 可能하기까지는 오랜 歲月이 必要하게됩니다. (인천지구 매립지를 예로 들면 사람이 보행가능하기까지 상당한 시간이 걸렸음) 따라서 이런 超軟弱層에 대하여 무엇인가 處理할 필요가 있으나 作業기계의 진입이 不可能하기 때문에 土木工事의 隘路로되있음은 말할것도 없습니다.

從來 이러한 處理方法으로는 含水를 機械的으로 脫水하여 密度를 增大시켜 土粒子間의 密着을 크게하는 壓密脫水工法같은 物理的方法이 행하여졌으나 近年에 이르러 地盤中에 固化劑를 混入하여 微細粒子를 擬固시키거나 脫水시키는 化學的方法이 開發되었습니다.

ECE工法은 시멘트系의 固化劑를 이들 軟弱地盤에 混入하여 固化시키는 化學的 處理工法입니다. 이제 軟弱地盤 固化에 관한 關心도와 必要性이 점차 증대되어 가고 있으며 學界나 業界에서 활발한 연구개발이 進行되고 있습니다. 저희 東亞環境엔터프라이즈는 일찍이 日本의 東亞興發과 1977년도에 提携를 하여 軟弱地盤改良에 관한 研究開發과 普及發展을 위한 노력을 지속하여 왔으며 최근에 ECE 工法研究會를 發足 運營하고 있습니다.

ECE란 Environment Civil Engineering의 약자로 환경토목이란 뜻입니다. 이제 모든 건설공사는 환경영향평가를 전제로 하리만큼 건설공사와 환경은 不可分離의 밀접한 관계를 가지고 있습니다.

여기서는 일본의 연약지반의 표층처리의 기초적 연구 문헌과 ECE 공법에 관한 설명에 이어 설계 및 시공사례를 들어 여러분의 연구에 도움이 되게 합니다.

* 동아환경 엔터프라이즈 대표

II. ECE 工法

[ECE工法 造成 要件]

1. 固化劑
2. 施工技術設計
3. 施工裝備

1. 固 化 劑

가. 東亞 EC

리구닝술폰산소다, 트리포리틴산소다, 스테아린산칼슘, 황산칼슘 등 10여종의 藥品을
바란스있게 配合한 것으로 일반 軟弱地盤 改良 및 有害物質을 內包한 汚泥 固化에
이용되고 있음.

나. 東亞 SC

칼슘 실퍼 알루미늄系의 添加劑를 배합한 것으로 포트랜드시멘트가 시멘트량의 35%
정도의 물을 水和에 사용하는데 비하여 東亞 SC는 50% 가까이 水和시에 水分을 흡
수하므로 고탍수 有機質 汚泥를 固化할때에 사용함.

다. 東亞 SX

軟弱還元劑 키레이트(CHELATE)제 鐵鹽 등을 配合한 것으로서 有害物質을 다량 內包
한 重金屬 廢棄物의 固化처리에 사용됨.

* 일반적으로 軟弱地盤이나 汚泥處理의 固化劑로는 시멘트계, 석회계, 아스팔트계, 수지
계 등으로 구분할 수 있으나 ECE工法에 사용되는 고화제는 다음의 要件을 충족시킬 수
있는 시멘트계 固化劑이며 몇가지 元素를 배합하여 시멘트를 混合한 특수한 고화제를
사용하는 것임.

○ 特殊한 固化劑가 具備하고 있는 要件

- 가. 이 특수고화제는 無臭함
- 나. 高含水의 汚泥나 軟弱地盤도 固化시킬 수 있다.
- 다. 固化는 필요에 따라 신속한 強度를 얻을 수 있다.
- 라. 固化處理物에서는 有害物質이 溶出되지 않는다.
- 마. 高화물은 水分에 강하고 長期間에 걸쳐 安定되며 부스러지지 않는다.
- 바. 作業過程이 容易하다.
- 사. 經濟的이다.

2. ECE工法 施工 技術

ECE공법은 軟弱地盤層에 시멘트계 固化劑를 혼입하여 化學的으로 固化를 행하는 공법이나 연약층이 存在하는 장소에 따라 表層處理工法, 증층 및 深層處理工法, 浚渫混合處理工法, 水中處理工法, 基層安定處理工法, 廢棄物處理工法 등으로 區分할 수 있다.

施工方法은 시멘트 싸이로, 원소 싸이로, 수조, 혼합조, 밀크저장조, 각종 計量裝置에 의한 밀크 프랜트를 陸上에 설치하고 固化劑와 물을 混合하여 液狀 밀크를 사용하며 사용되는 물은 해수, 청수 어떤 것이나 좋으며 高化제와 물의 比率은 밀크의 押送距離와 현장 軟弱地盤의 性状 등에 의하여 결정된다. 프랜트에서 만들어진 液狀밀크를 처리기로 보내고 處理機에 부착된 攪拌機의 샤프트 중심을 통하여 攪拌날개로부터 噴射시켜 연약지반층에 혼입한다. 처리기는 여러가지가 있으며 軟弱層의 性状 處理量에 따라 적의 선택되며 처리기 運行은 自主式 및 원치견인식의 두종류가 있다.

현재 제일 큰 處理機는 施工幅 10m~40m까지 處理深度 2m~5m 정도이다

(단. 深度調整은 임의 조정 가능함)

또 다른 施工方法은 液狀을 만들지 않고 粉末狀態로 현 地盤흙을 혼합하여 轉壓을 주어 表層을 굳히는 방법도 있다.

이하 各 工法의 概略을 설명한다.

가. 表層處理工法

干拓地나 浚渫埋立을 했을 경우의 연약지반에 대하여 表面으로 부터 어떤 깊이의 처리를 하는 경우 연약지반중에 作業用 도로 등 일부를 固化處理하는 경우가 있으며 表面에 負荷되는 荷重과 연약층의 含水比 등이 전산에 의하여 계산되어 處理深度가 결정된다. 埋立地나 간척지에 用排水路를 조성할때 일정한 면적을 고화처리하여 内部固化土를 굴삭하여 兩側 도로 造成에 覆土로 활용한다.

나. 浚渫混合處理工法

海底부니, 有害物을 함유하는 底邊汚泥를 浚渫하는 工法이며 浚渫은 펌프선 또는 밀폐 구라부선을 사용한다.

펌프 浚渫의 경우는 합니올이 얇으므로 믹서를 이용하여 高分子 응집제를 添加하여 물을 分離하고 沈澱된 汚泥에 첨가 혼합하여 처리한다. 이것은 주로 하천, 항만, 하수도 등에 堆積된 汚泥를 준설하여 陸上에 설치된 프랜트에 의하여 개량토양으로 만들어 盛土 등에 이용하기도 함.

○ 水中處理工法

水底에 있는 汚泥를 固化하는데 사용되는 공법으로서 원리적으로 表層處理工法과 같은 것으로 深度는 필요에 따라 수십미터까지 施工 可能하며 특수 擴散防止膜에 의하여 汚泥의 확산을 방지한다.

다. 道路基層安定處理工法

道路築造時 쇄석이나 雜石이 부족한 환경에서 현장의 흙을 긁어 일으켜 고화제 분말과 혼합하여 基層이나 補助基層을 조성하여 表面을 포장한다. 여기에 사용되는 裝備는 스타비라이자가 있음.

라. 廢棄物 處理工法

工場에서 배출되는 有害物質이나 重金屬이 함유된 슬러지를 프랜트에 의하여 고화 처리하는 工程을 말한다.

水分이 다량 함유된 汚泥나 슬러지를 高分子 促進劑를 사용하여 沈澱시키거나 필터에 의해 탈수시킨후 고화제를 混合하면 無害化되는 동시에 필요한 강도가 發現되고 운반하여 埋立場에 투기한다.

한편 無機質 폐기물은 고화제를 添加하여 加壓을 시키면 建設資材(벽돌, 보도블럭, 담블럭)를 생산한다.

3. ECE 工法에 利用되는 裝備

주로 日本에서 제작된 裝備가 이용되고 있으나 장차 國産化할 필요가 높다고 판단됨. 한편 工事現場 形態에 따라 사용되는 장비는 각각 다르나 大略 다음의 類型으로 구분된다.

- 1) 自主式處理機型
- 2) 윈치에 의한 牽引式 處理機型
- 3) 스타비라이자 처리기형
- 4) 대선거치 처리기형

* 施工現場 形狀에 따른 SYSTEM

- 1) 表層改良處理 SYSTEM
- 2) 中層 및 深層改良處理 SYSTEM
- 3) 水中改良處理 SYSTEM
- 4) 浚渫混合處理 SYSTEM
- 5) 道路基層改良用 SYSTEM

III. 結 論

ECE工法の 表層處理方式의 設計와 施工要領에 準할때 固化劑의 특수성과 장비의 特殊性能에 의하여 工期의 短縮(地盤과 基層의 同時 施工으로 工程上 重複을 피한다)과 工事 經費 節減이라는 二重效果를 期할 수 있어 장차 쓰레기 埋立場 造成에 寄與하는 바 그 기대가 클것으로 思料됩니다. 感謝합니다.

시공사례(1)

약액주입에 의한 연약지반처리공법(ECE)의 설계법

I. 設 計 方 法

(1) 事 前 調 査

事前調査는 藥液의 必要含有量이나 地盤의 處理深度를 決定하는데 필요한 現地盤의 土質狀態를 測定하기 위하여 行하며 一般 構造物의 土質調査와 마찬가지로 매우 중요하다.

處理對象地域의 成層狀態는 물론 흙의 物理的 力學的 性質을 精確히 파악하는 것이 중요하며 이에 필요한 試驗計劃을 樹立해야 한다.

調査는 보오링에 의한 成層狀態調査 흐트러진 試料의 採取 原狀態 흙에 대한 지내력 등을 測定한다.

(2) 室 內 試 驗

處理對象 흙의 物理的 性質을 把握하여 設計資料로서 이용함은 물론 施工前後의 상태를 比較함에 의하여 施工의 效果를 精確히 測定하는데 이용된다.

室內試驗을 다양하게 하면 좋은 資料를 얻을 수 있지만 경제성을 고려하여 보통 큰 貫入抵抗試驗 一縮壓縮強度試驗 및 配合比 시험을 行하며 道路나 建物の 기초로서 이용될 경우 CBR 試驗이나 壓密試驗을 겸하면 좋다.

(3) 配 合 及 深 度 決 定

固化劑의 配合를 정하는 경우 目標로 하는 材齡 28日의 強度를 정하고 室內試驗에 의하여 그 一縮壓縮強度의 60%值가 요구되는 現場強度가 되도록 固化劑 첨가율을 정한다.

固化劑 배합비가 9%까지는 거의 같은 比率로 강도가 증가되나 그 이상이 되면 강도 증가가 鈍化되므로 經濟的 한계를 9%로 하여 보통 3~9%의 범위에서 결정한다.

동일한 固化劑 配合비라 해도 現場條件(氣溫 養生狀態, 흙의 鹽分함유량)에 따라 그 結果가 相異함으로 別리한 조건일 그에 따른 영향을 충분히 감안해야 한다.

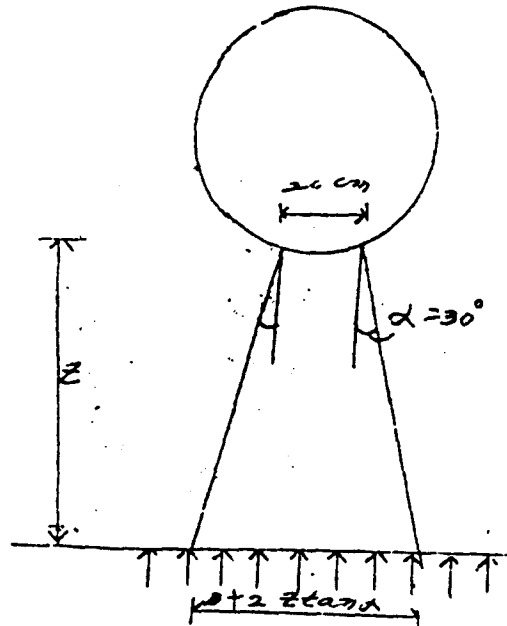
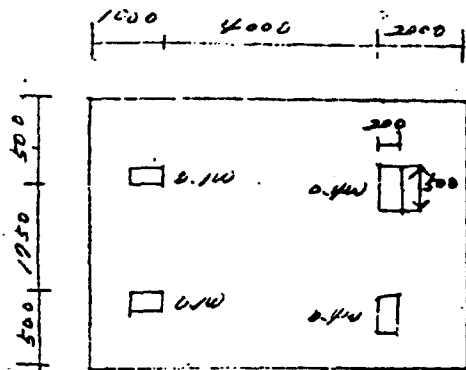
固化處理에 요구되는 深度는 地上에 載荷되는 輪荷重의 크기에 따라 이를 충분히 分布시키도록 하며 본 工法을 이용하여 軟弱地盤을 改良하여 道路의 路上으로 할때 處理深度는 그림4에 의해 결정한다.

(4) 道路 路上으로의 利用方法

4-1. 輪荷重에 의한 地中應力分布

地中應力分布를 算定하는데는 여러가지 方法이 있으나 이중 略算에 의한 30도 分布法과 直4角型分布일때 New Mark(1942)의 圖解法으로後輪의 接地面積을 20cm×50cm로 假定하여 算定하는 方法을 提示하였다.

가. $\alpha = 30^\circ$ 分布



단위 : t/m²
W : 總荷重

$$P = 0.4w (1+0.2)$$

충격의 영향을 20% 감안

$$A = (B + 2 Z \tan \alpha) (B + 2 Z \tan \alpha)$$

이므로

각 깊이에서의 鉛直應力을 計算하면 다음 표-1과 같다.

<표-1>

深 度 (Z)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
鉛直應力() t/m ²	48	15.2	7.5	4.5	3.0	2.1	1.6	1.3	1.0	0.8	0.7

나. New mark 도해법 이용

New mark 의 도해(그림-2 참조)의 그래프를 이용하여 하중 바로 아래의 지중 鉛直應力 分布를 深度別로 算出하면 다음과 같다.

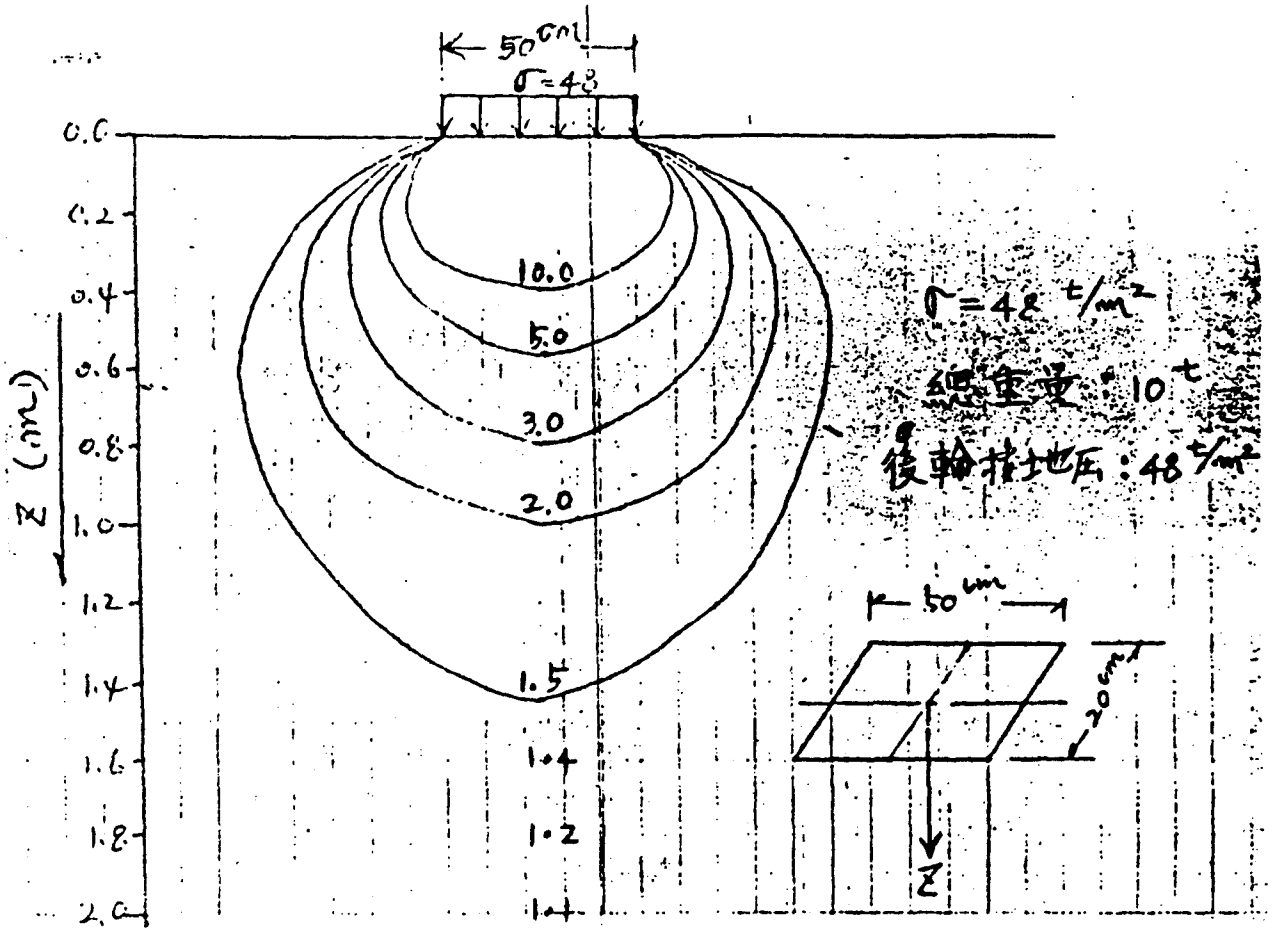
表一 自動率重量別 叶深度別 地中芯力分布

(荷重の中央基準)

葉深度	2t	3t	4t	5t	6t	7t	8t	9t	10t	11t	12t	13t	14t	15t
合計	9.6 t/m ²	14.4 t/m ²	19.2 t/m ²	24.0 t/m ²	28.8 t/m ²	33.6 t/m ²	38.4 t/m ²	43.2 t/m ²	48.0 t/m ²	52.8 t/m ²	57.6 t/m ²	62.4 t/m ²	67.2 t/m ²	72.0 t/m ²
0	9.6	14.4	19.2	24.0	28.8	33.6	38.4	43.2	48.0	52.8	57.6	62.4	67.2	72.0
0.4	2.1	3.1	4.2	5.2	6.2	7.3	8.3	9.3	10.4	11.4	12.4	13.5	14.5	15.6
0.6	1.0	1.6	2.1	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.2	5.7	6.2	6.7	7.3	7.9
0.8	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.5	2.8	3.1	3.4	3.7	4.0	4.3	4.6
1.0	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2
1.2	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.6
1.4	0.2	0.5	0.6	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.4
1.6	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2
1.8	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	1.9
2.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6

※ 地中芯力計 單位: t/m²

(그림2) 地中應力分布圖 (New Mark 圖表 利用)

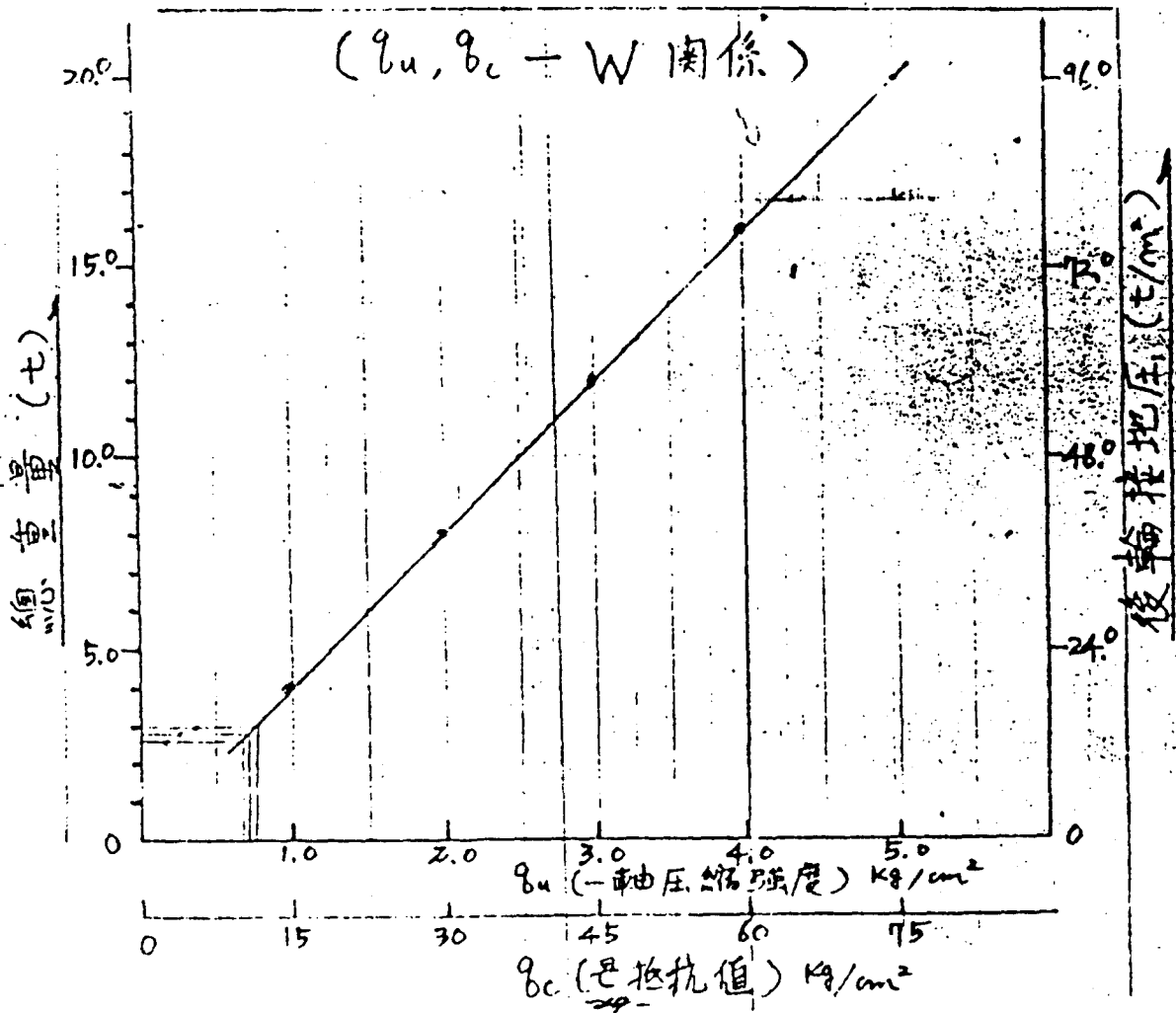


4-2. 地盤支持力

固化處理後의 支持力은 이미 前述한 바와같이 室內配合試驗을 통하여 一軸 壓縮強度值을 測定하고 이의 60%치를 자동차의 重量別 地中應力分布(표-1 및 표-2)와 比較하면 地盤強度와 走行可能車輛의 重量과의 關係曲線 그림-3을 얻을 수 있다.

또한 이를 이용하여 所要改良 두께를 얻을 수 있다.

(그림-3) 改良地盤 強度와 走行可能車輛 重量과의 關係



(5) 施工管理指針

- 가. 固化處理部の 表面이 마모되고 시멘트계를 配合함으로 인해 表面이 미끄러우며 車輪의 接地部에는 큰 支壓應力으로 局所 破壞가 發生하므로 이를 防止하기 위해 表面에 排水 良好한 組立의 흙이나 모래를 부설해야 한다.
- 나. 기온이 零下일 경우 表面部는 凍結되고 凍結融解時에는 粒子의 凝結力을 상실하므로 養生期間中에는 零上의 凝結力을 維持하여야 한다.
- 다. 軟弱地盤層 전부를 改良하지 않은 경우에는 土層斷面에 軟弱層이 존재하므로 荷重載荷時 地中應力 分布를 고려해야 한다.
- 라. 作業중 地形의 凹凸이 있는 곳은 平坦하게 整地한 후 固化施工을 하여야 하고 중앙선을 基準으로 사면처리를 하여 배수를 좋게하여야 한다.
- 마. 옥상에 설치한 밀크 프랜트에 의해 고화제를 담수와 혼합 밀크화하여 (W/C = 1/3) 스탁지 펌프의 壓力을 7kg/cm² 이상으로 하여 고화액 주입시 흙과 충분히 섞이도록 하여야 하며 횡 방향으로 20% 이상의 overlap을 해야 한다.
- 바. 밀크화한 混合材는 혼합후 0~2 시간에 注入해야 하며 配合後 1시간 가량 경과하여 注入한 것이 가장 좋은 效果를 나타내는 것으로 測定되었다.

1981년釜山沙上地區排水溝基礎固化工事施工에 대하여

A. 첫째로釜山沙上地區幅約 3m 長 2,000m의排水溝에暗渠를構築함에 있어排水溝 안에堆積된汚泥(헤도로)를除去하는 일이困難함으로排水路 안에서所要深度(1.5m)까지固化시키고固化後 약 1.0m의固化汚泥를除去하고, 0.5m의固化層을基礎地盤으로 하고 그 위에暗渠를構築한다.

단.汚泥(헤도로)固化試驗 등未試驗에 대하여 모든假定諸元에 의해서概要의工事方法도 개산의見積을作成하여諸元測定후正式見積書를算出한다.

B. 假定諸元

① 物性	單位體積重量	1.3 kg/cm ³
	粒度 #200 pass	70~80 %
	含水率	80~85 %
	有機質	20% 이상

② 同化條件

4週後 2KG/cm² (20t/m²) 이상을目標로 한다.

豫想固化劑 添加率 7%-10% (7%로 계산함)

固化試驗後 正式 添加率을決定함.

C. 施行要領

① 排水溝 兩側에 道路 有함. 小型 포크레인의 直行 可能한 狀態임으로 포크레인 바켈先端에 噴射 “노즐”을 設備하고 P.C 밀크 PLANT 에서 P.C 溶液을 壓送해서 바켈에 의해 攪拌混合을 하거나 또는 포크레인 바켈을 뜯어내고 “아-무”에 混合날개(羽根)를 부착 P.C 溶液을 攪拌羽根로 汚泥(헤도로)에 混合하는 2종류의 方法을 생각할 수 있다.

前者는 設備費 등 僅少하나 混合成度가 떨어진다고 생각되나 이 경우 混合面積 僅少하므로 P.C 의 飛散의 우려가 별로 없을 것으로 생각되며, 施行이 可能할 것으로 생각됨.

後者は 混成度 良好하나 設備에 약간의 費用(회전날개(羽根) 약 1,500,000원 정도)를 요할것으로 생각됨.

이상 어떤 方法으로 하느냐는 汚泥(헤드로)의 物性, 固化試驗을 거쳐 그 결과에 따라 결정하기로 한다.

② 施行方法

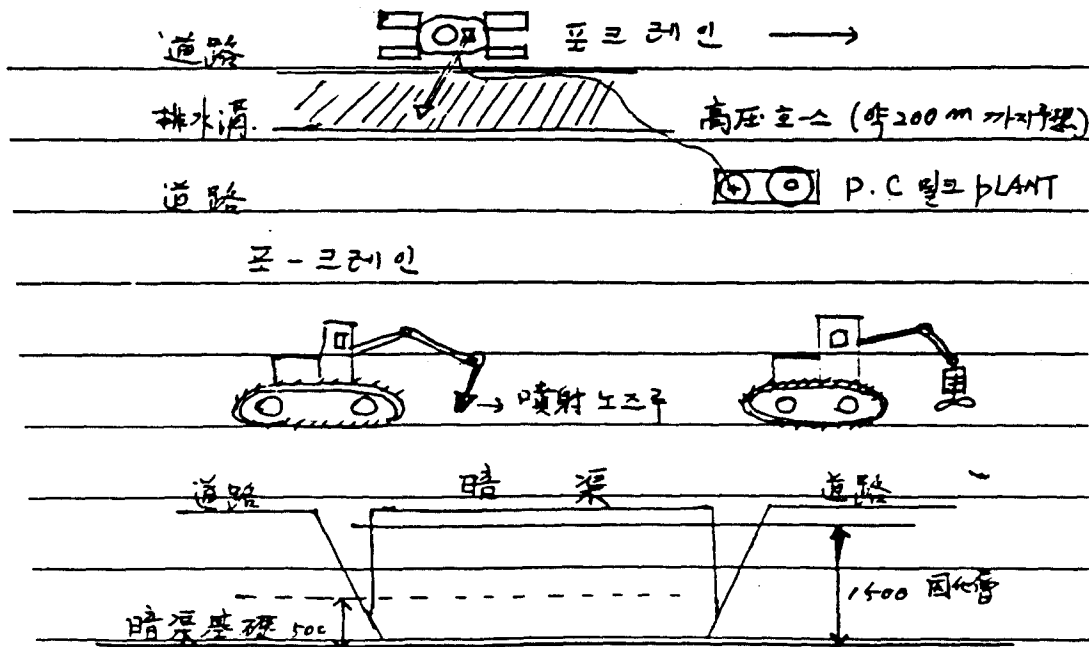
- a. 使用機械 포크레인 0.3~0.4m² 1대
 (바켓에 噴射弁을 설비한다)
 P.C 밀크장치 20m²/n 1식
 送液 펌프(pump) 1대
 給水 펌프 () 1대
 高壓호스 200m
 送水호스 200m

b. 施行能力 300m²/day

c. 施行日數 直接作業 日數 9,000m² ÷ 300m² = 30日

準備	假說	施行	撤去	計
(5日)	(5日)	(30日 豫備5日)	(3日)	(45日)

d. 施行方法



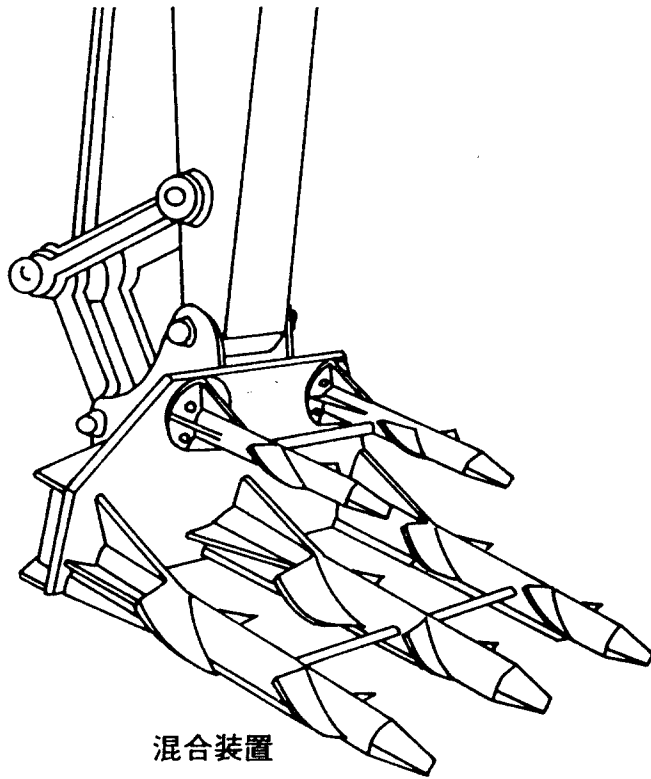
포크레인, P.C, 밀크 PLANT는 排水溝 兩側 道路上에 設置

P.C. PLANT는 가능한 移動할 수 있게 한다.

以上이 假定條件에 따른 工事概要임.

③ 계산, 견적서는 別紙와 같음.

특수분사장치



混合装置

