

高壓噴射注入工法 (J.S.P.)의 紹介

朱 星 培 <(株) 標 準 開 發>



어항건설공사에서 발생하는 대부분의 문제점은 공사현장의 기초지반조사자료의 미비나 분석 결과의 과대한 계상에 기인한 것이라고 판단된다.

점토 또는 SILT섞인 점토층으로 구성되어 있는 海成堆積層이 주를 이루는 어항지역에서의 방파제축조의 경우, 수중 하부에 투하한 사석이 설계량의 40% 이상이 연약층으로 함몰되었다는 시공사례(어항 '90 봄호 능포항 공사를 마치면서) 뿐만 아니라 置換捨石의 급속시공, 매립토사의 過載荷 등이 복합적으로 작용한 ARC - SLIDING으로 인한 호안의 變位 및 崩壞가 종종 보고되고 있는 실정이다.

많은 인원과 장비를 동원하여 수십개월에 걸쳐 수행된 어려운 공사가 예기치 못한 상황으로 인하여 실패로 끝났을 때 투입된 예산의 낭비도 문제거리와 현업에 종사한 기술자들의 허망함은 말로 표현할 수 없을 것으로 사

료되는 바이다.

본고에서는 高壓噴射注入에 의한 軟弱地盤改良工法인 J.S.P. (JUMBO SPÉCIAL PATTERN)工法을 紹介하여 관련업무에 종사하는 여러분들과 轉輸한 문제점들을 조금이나마 해결할 수 있는 기회가 주어졌으면 하는 바램이다.

J.S.P. 工法의 概要

高壓噴射注入工法은 초고압의 JET유를 이용하여 지반을 절삭 붕괴 시킴과 동시에 間隙에 GROUT 재를 充墳하는 일종의 誘導注入法이다.

그 시공방법을 간단히 설명하면, 속이 빈 이중관(DOUBLE ROD) 선단에 분사용 JETTING NOZZLE을 장착하여 硬化材를 분사하면서 Nozzle이 한바퀴 또는 한바퀴 반을 회전하면 자동적으로 2.5cm 상승하게 된다.

이와같은 과정을 연속적으로 반복 시행함으로써 지반중에 원

주상의 固結體를 조성하는 공법이다.(그림1 참조)

일반적으로 이용되고 있는 藥液注入工法은 대상지반의 토층 구성 및 토질에 따라 그 효과가 좌우되고 있다. 특히 복잡하게 퇴적된 다층지반이나 얇은 층이 많이 소재되어 있는 지반에서는 층 경계에 연하여 주입액이 빠져나가는 경향이 있어서 목적하는 지반의 土粒子的 간극에 침투가 대단히 어렵고 또 기대하는 효과를 얻기 위한 필요 주입량을 미리 산정하기가 곤란하다.

더욱이 소기의 주입효과가 발휘되어 있는지를 확인하기가 어

렵기 때문에 자칫하면 전혀 그 효과가 나타나지 않는 경우가 발생할 수도 있으나 J.S.P.공법은 이러한 결점을 제거하고 확실한 개량효과를 기대할 수 있다.

高壓噴射注入工法의 기술적 기반으로서 고압하에서 噴流流體의 거동이나 특성 또는 지반의 破碎機構 등을 들 수 있다.

유체의 충격 Energy를 이용하는 방법중에는 금속 또는 Plastic 등의 절단, 선박하부의 녹이나 패각류를 제거하는 기술에 응용되고 있다.

이와 같은 기술에 사용되는 고압(또는 고속) 噴流水의 吐出

壓力的 범위는 토사 절삭시 200 ~ 600kgf/cm², 암반절삭시 2,000 ~ 6,000kgf/cm², 호박돌을 절삭하는 데에는 20,000kgf/cm² 이상의 압력이 필요하다고 한다.

공법의 원리

高速噴流 流體를 사용하여 지반을 굴삭하는 Mechanism에 대해서는 그 현상이 대단히 복잡하기 때문에 이론적인 해명이 아직 완전하게 구명되어 있지는 않지만 아래에 기술하는 각각의 현상의 조합이라고 할 수 있다.

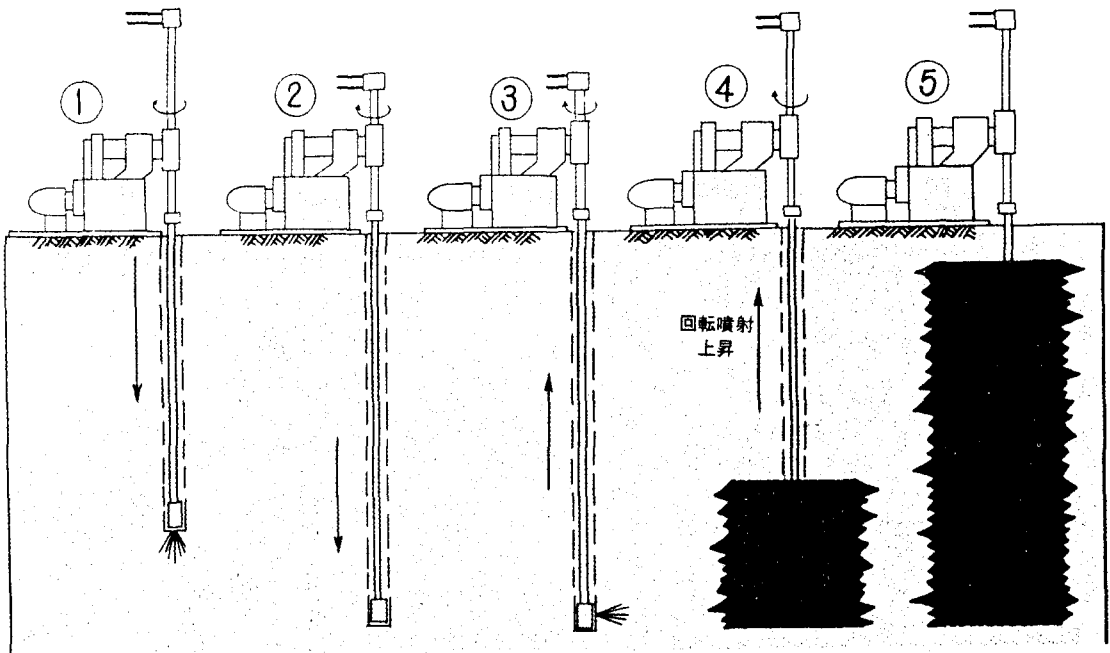


그림1 J.S.P 시공개략도

가. 高速噴流 流體의 衝擊力

Water Hammer 작용에 의하여 발생하는 최대응력과 Water Jet 噴流가 지반내에서 水滴群이 되어 지반에 충돌할 때의 최대압력은 그 발생기구를 동일하다고 할 때 Energy의 표현식은 다음과 같다.

$$E : r \cdot c \cdot v$$

r : 유체의 밀도

c : 수중의 음속

v : 유 속

위의 식에서 알 수 있는 바와 같이 噴流의 속도가 커지면(高壓 噴射를 할 때) 지반에 작용하는 動壓도 커져서 지반의 破壞強度에 도달할 때 土粒子는 서로 떨어진다.

즉, 高壓噴流 유체의 밀도를 높이고, 유량과 Nozzle의 직경, 압력의 크기, Nozzle의 이동속도 등을 변화시킴으로써 土粒子의 파쇄를 용이하게 할 수 있을 것이다.

나. Cavitation

流體를 서서히 減壓시키면 層流가 가속되어진 경우와 같이 亂流를 일으켜서 유체중에 공기의 空洞이 생기게 된다. 이 현상을 Cavitation이라고 하는데 噴流 유체가 지반과 충돌할 때 土粒子의 표면을 따라서 그 압력이 변화되면서 粒徑의 크고 작음으로 인하여 압력차가 있게 된다.

이때 저압부에 Cavitation에 의한 空洞이 발생하는데 다시 압력이 높은 곳에 도달하게 되면 주위의 유체는 이 空洞을 파괴하려고 대단히 빠른 속도로 돌진하게 되는데 이 관성력에 의하여 지반

이 파쇄된다.

다. Water Wedge

고속분류와 접촉하는 地盤面은 應力變化를 일으키고 그 應力은 水壓의 증가에 의해 증대하며 지반의 파괴강도까지 높이면 지반은 파괴된다. 또 지반중의 간극이 물로 충전되어 있으면 그 가운데에서는 水噴流의 反力作用으로 유체역학적인 압력 "Water Wedge"가 발생한다. 이 Wedge는 間隙性狀에 따라서 일정한 압력을 가진 상태로 형성된다. 이 경우 Nozzle에서 지반까지의 거리가 작을수록 Wedge가 되는 조건은 양호하게 된다. 이러한 관점에서 볼 때 間隙化가 큰 지반, 균열이 있는 지반 등은 水力破碎에 적합하다고 하겠다.

라. 疲勞破壞

물질의 표면에 噴流流體를 連續射할 경우 그 재질에 따라 다르기는 하지만 재질의 引張強度보다 훨씬 낮은 압력으로도 파괴가 시작된다.(금속판의 경우 10% 정도) 이러한 사실로 미루어 보아 噴流流體와 被破壞物質 사이에는 어떤 특별한 역학적인 관계가 있는 것을 알 수 있다.

더욱이 噴流流體에 의한 負荷를 받은 물체의 殘留變形에 疲勞가 축적되어 파쇄가 발생하게 된다는 것을 이해할 수 있다.

이상 高速噴流에 의한 파쇄기구의 개요에 대해서 기술했으나 이것을 工法으로서 구체화하기 위해서는 여러가지 手法이 필요하게 된다.

그림 2에서와 같이 공기중에 噴射한 JET 噴流는 Nozzle의 출력 P_i를 일정하게 하는 初期區



流體를 서서히 減壓시키면 層流가 가속되어진 경우와 같이 亂流를 일으켜서 유체중에 공기의 空洞이 생기게 된다.

이 현상을 Cavitation이라고 하는데 噴流 유체가 지반과 충돌할 때 土粒子의 표면을 따라서 그 압력이 변화되면서 粒徑의 크고 작음으로 인하여 압력차가 있게 된다.



(A), 발달하는 主要區(B), 그리고 噴流流體가 불연속으로 되어 Cavitation이 발생하는 終期區로 나눌 수 있다.

이들의 관계를 나타내는 실험 식은 다음과 같다.

空中噴射의 경우

$$\frac{P_f}{P_i} = \frac{L_f}{L_i}$$

水中噴射의 경우

$$\frac{P_f}{P_i} = \left(\frac{L_f}{L_i} \right)^2$$

그러나 이론적으로 얻어진 JET 噴流는 그 자체로는 실용할 수 없다.

실제로 지반을 절삭하는 대부분의 경우는 地下水面 이하를 대

상으로 하고 있으므로 水中噴射의 경우밖에 적용되지 않는다. 그림 4에서 나타난 바와 같이 水中噴射에서는 200kgf/cm²의 압력으로 噴射하는 경우 Nozzle로부터 30cm 거리에서 그 효과는 완전히 消滅된다. 따라서 Nozzle 범위에 공기를 동시에 방사시킴으로써 有效射程을 연장시키는 방법을 개발하였다.

이것은 噴流流體가 공기를 빨아들여서 지반중에 空氣空間을 구성하여 거의 公중분사와 같은 조건을 만들어 주게 된다.(그림 2 및 그림 3 참조)

그러나 이 공기를 실용화하려면 적정한 분사속도가 필요하게 되며 그 속도는 음속의 1/2 이상이 되어야 한다.

절삭범위를 확대하기 위하여 사용한 공기는 切削土를 지표면에 배출시키는 데에도 이용할 수가 있는 장점이 있으며 또 이 工法에 의하여 조성된 圓結體끼리의 밀착성은 대단히 양호하다.

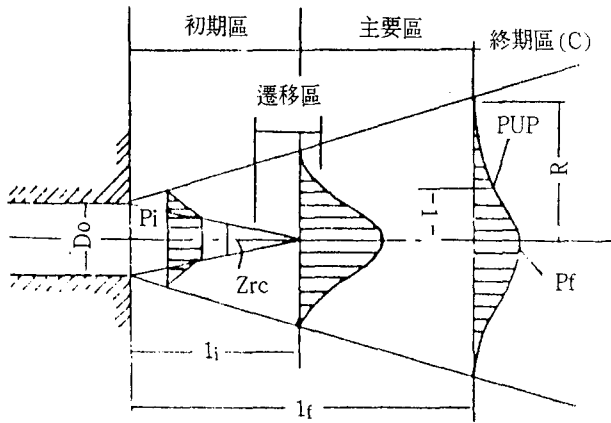


그림 2. JET의 기초구조

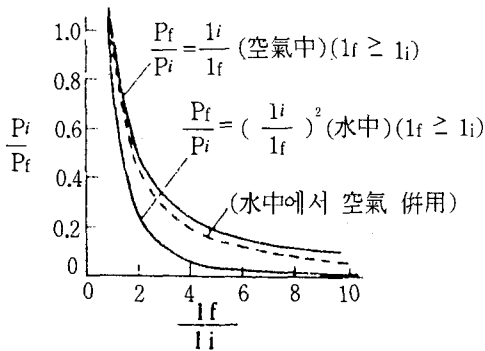


그림 3. WATER JET中心軸上的 壓力分布

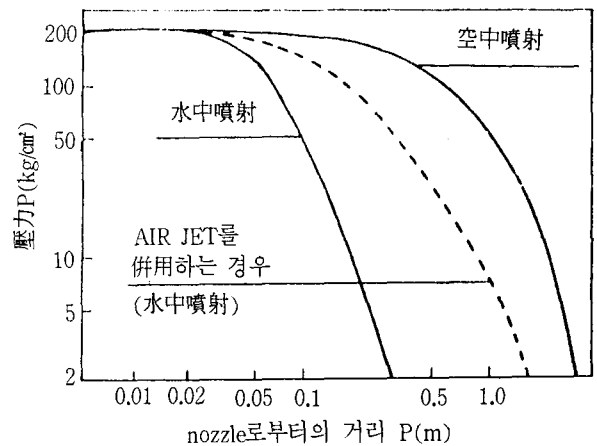


그림 4. JET 압력비교표

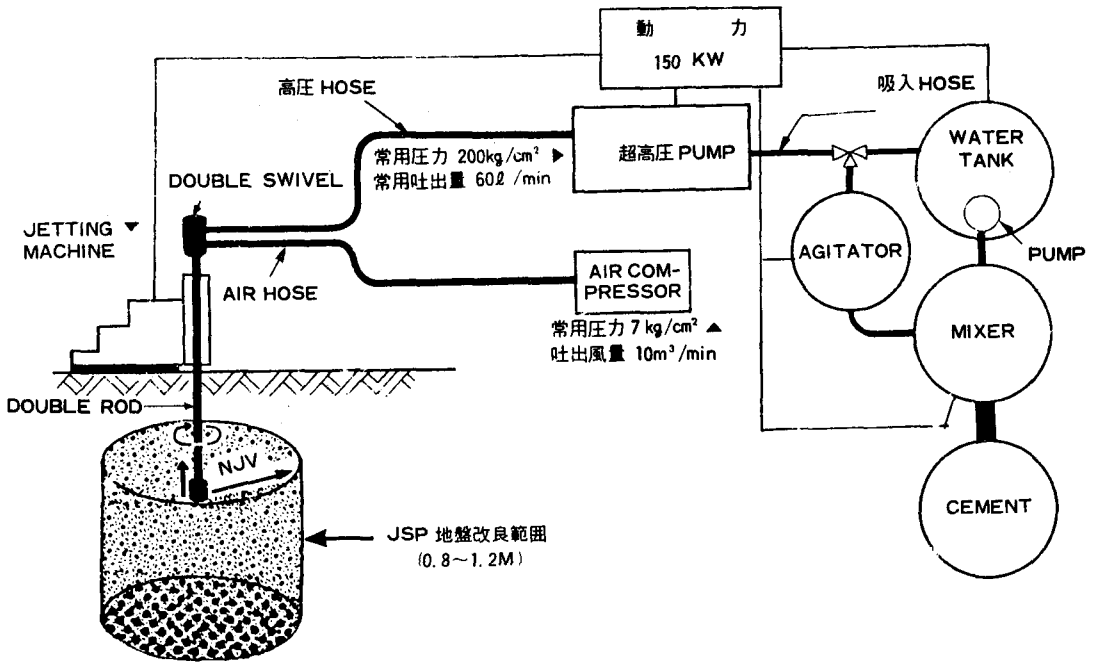


그림5. J.S.P. 工法 장비구성도

區分	單位	粘性土		砂質土			砂礫	호박돌	備考
		N=0~2	N=3~5	N=0~4	N=5~15	N=16~30			
有效徑	m	1.0	0.8	1.2	1.2	1.0	0.8	0.8	
揚管速度	分/m	7	8	7	8	9	9	9	噴射時間
單位噴射量	ℓ/分	60	60	60	60	60	60	60	
噴射量	ℓ/m	504	576	504	576	648	648	648	揚管速度 × 1.2
CEMENT	kg/m	383	437 ⁷⁰	383	437 ⁷⁰	492 ¹⁰	492 ¹⁰	492 ¹⁰	噴射量 × 0.76'
C. T. C.	m	0.8 ~ 0.9	0.6 ~ 0.7	1.0 ~ 1.1	0.8 ~ 0.9	0.6 ~ 0.7	0.6 ~ 0.7	0.6 ~ 0.7	柱列式施工
一軸壓縮強度	kg/cm²	20 ~ 40		40 ~ 150			100 ~ 200		基礎補強用

表1 地層別 噴射基準

일반적으로 직경 5 ~ 10cm 정도의 Boring을 하는 것 만으로 有效徑 0.8 ~ 1.2m 정도의 固結體를 얻을 수 있으며 비교적 소규모의 장비만으로도 시공이 가능하므로 장비투입시의 난점을 해소할 수 있는 점이 이 工法을 광

범위하게 응용할 수 있도록 한다.

施工性

高壓噴射注入工法의 원리를 現場에서의 시공으로 전환시키려

면 유체의 밀도, 流量, 噴射壓力 등의 함수관계를 잘 응용해야 하는데 그 기계적인 조합과 각 지층별 噴射基準를 아래의 그림 5와 표로 정리하였다.

이 工法은 형성과정이나 적용 분야에서 말뚝(Pile)과 자주 비교

되고 있으나 工法을 개발한 당사자는 모든 시설공사의 기초 및 지반의 안정을 추구하기 위한 광범위의 지반개량을 목적으로 한 것이다.

이러한 관점에서 아래에 몇가지 적용방법에 대하여 간단하게 소개하고자 한다.

가. 止水

지반을 절삭 붕괴시킴과 동

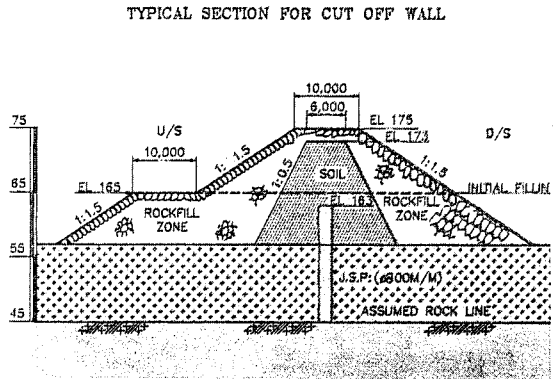
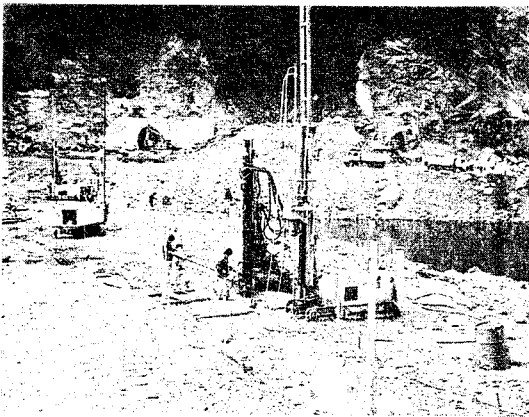
시에 주입된 Cement Paste는 경화작용후 間隙을 치밀하게 만들어 줌으로써 透水係數를 $10^{-5} \sim 10^{-7}$ cm/sec로 끌어내릴 수 있으므로 지반상태의 여하를 막론하고 진부 가능하다.

土留의 止水, 埋設管下의 止水, 防潮堤, 저수지 등의 漏水防止, 地下 Dam의 건설, 특히 기존 Dam 등의 漏水防止 및 보강 등에 적합하다.

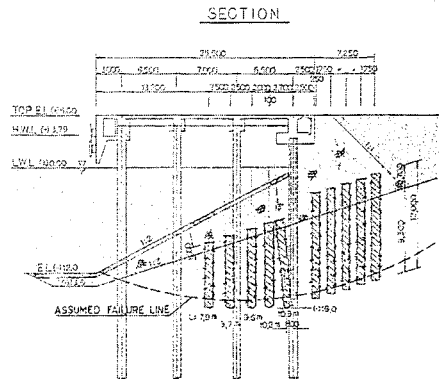
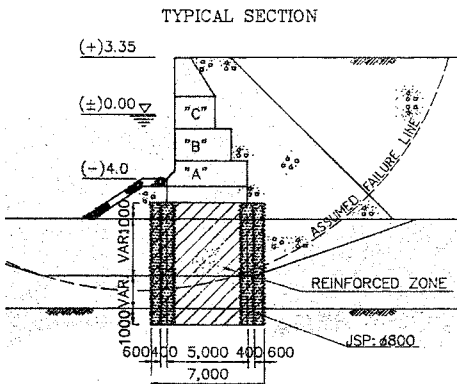
나. 地盤強化

시설물이 대형화하고 可用地 면이 점차 부족하게 됨에 따라 매립지 또는 간척지 등에 구조물을 축조하는 사례가 점차적으로 증가하고 있으므로 軟弱地盤의 지지력 보강, Heaving의 방지, 斜面崩壞의 방지 및 사후대책, 既設 구조물의 보호 및 Under Pinning 등에 적용할 수 있다.

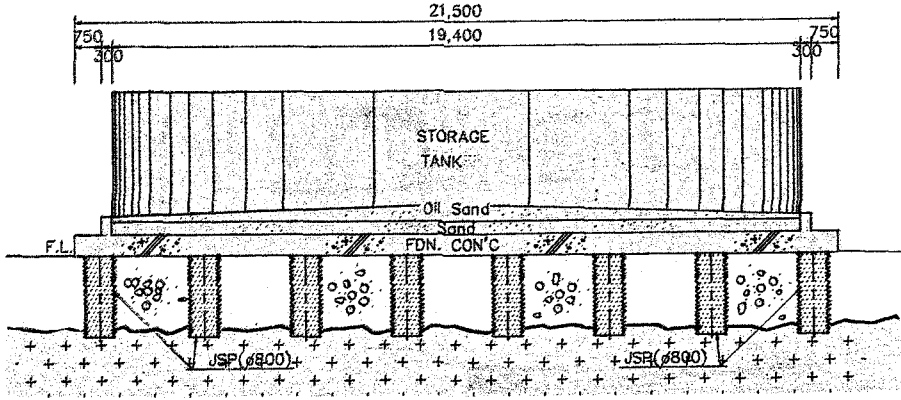
- 柱列式 遮水壁 및 土留壁 補强 施工例 -



- 公有水面 埋立地域 斜面滑動防止 施工例 -



TYPICAL SECTION



“

**高壓噴射注入工法은
土層構成이나
土質에 의한 영향을
받지 않으며 必要個所에
필요량의 硬化材를
계획적으로
주입할 수 있다.**

”

다. 現場造成杭, 土留杭
현장에서 말뚝을 지중에 조성하는 경우와 土留壁 등의 목적으로 사용할 수 있다. 특히 土留壁의 경우 止水效果를 얻을 수 있

기 때문에 Open Cut 구간의 좌우 벽면의 안정 처리에 적합하다.(동해지방해운항만청에서 '89년도에 발주한 "속초항 어선물량장 보강공사"중 위판장 시설보강공에 대한 시공실적이 있으므로 관련자료가 필요한 독자는 참고 바람.)

라. 先行地中보연장이 긴 구조물을 시공할 때 지반이 軟弱하거나 지하 埋設物로 인하여 본 작업이 장애가 있을 경우 선행하면서 既施設物을 보호하거나 지반을 개량하는 목적으로 사용할 수 있다.

결 언

高壓噴射注入工法은 최근에 일본에서 개발된 工法으로서 土砂層에서 일반적인 藥液注入工法을 적용할 때의 문제점을 완전히 해결하게 되었으므로 1979년 국내에 도입된 이래 업계의 호평을 받아왔다.

그러나 일본과 우리나라의 토

질상태가 서로 상이한 점이 많기 때문에 일본에서 사용하는 장비 및 시공방법을 그대로 이용하는 데에는 여러가지 문제점이 있었다.

高壓噴射注入工法이 일반적인 藥液注入工法에 비교할 때 아래와 같은 특징으로 요약할 수 있다.

1) 土層構成이나 土質에 의한 영향을 받지 않으며 必要個所에 필요량의 硬化材를 계획적으로 주입할 수 있다.

2) 보통의 주입공법으로는 주입이 곤란한 細粒土 지반에도 적용이 가능하나 암반에서는 부적합하다.

3) 지반중에 인공적으로 만든 間隙에 硬化材를 充填하는 것이기 때문에 보통의 藥液注入工法 처럼 인근의 건물이나 지하 매설물에 영향을 미치는 일이 거의 없다.

본 工法의 응용범위는 상당히 많은 분야에 적용할 수 있으나 그 시행방법에 있어서는 지속적인 연구와 기술개발이 있으므로 향후 아낌없는 조언과 지도를 바라는 바이다. ㉠