

## 후리젯 공법

-자유단면형 다중관 고속분사 교반공법-  
(발명특허 제100984호)

심 재 구\*1  
주 성 배\*2

### 1. 서 론

지금까지 통상적으로 사용되어 왔던 지반개량공법의 일종인 일반 cement paste 주입공법이나 약액주입공법은 대상 지반의 토질이나 토층 구성 상태에 따라 그 효과가 전적으로 좌우되어 왔다.

특히 복잡하게 퇴적이나 성토가 되어 있는 다층 지반이나 얇은 층이 많이 개재되어 있는 지반에서는 층경계를 따라서 경화재나 약액 개량이 요구되는 구역 외로 빠져나가는 맥상(脈狀) 주입이나 할열(割裂) 주입이 되어 버리기 때문에 목적하는 지반의 개량이 대단히 어려우며 또한 균질한 지반에서는 경화재가 지반토의 간극으로 골고루 침투하기보다는 흡입자를 외측으로 밀면서 덩어리 모양으로 군데군데 뭉쳐 있게 되는 괴상(塊狀) 주입이 되어 개량 효과가 전혀 발휘되지 못하는 경우가 허다하다.

따라서 기대하는 효과를 얻기 위한 필요 주입량을 산정 하기가 대단히 곤란하며 주입 효과가 발휘되어 있는 지도 확인하기가 어렵기 때문에 설계나 공사 자료로 사용하기 위한 개량 후의 토질 강도 정수를 획득하는 것 또한 지극히 곤란하다.

이와 같은 종래의 주입공법이 갖는 결점을

해소하면서 확실한 효과를 기대할 수 있는 공법이 얼마 전에 개발되어 널리 사용되고 있으며, 이 공법이 바로 고속분사 교반공법이며 현재도 계속적으로 연구가 진행되어 속속 새로운 형태의 고속분사 교반공법이 개발됨에 따라 설계 또는 공사 목적에 맞게 선택하여 사용할 수 있게 되었다.

여기서 “고속분사 교반공법”이라 함은 종래의 “고압분사 교반공법”이라는 명칭을 수정한 것으로서, “고압분사 교반공법”이라 하면 많은 사람들이 지반 내에 경화재를 고압으로 밀어 넣는 것으로 오해하는 것을 보아 왔기 때문에 본고에서는 그 명칭을 변경하여 사용한다.

본 공법은 지반 내에서 분사되는 경화재의 유속이 대단히 중요한 역할을 담당하는 공법으로서, 경화재의 유속을 빠르게 하기 위하여 slurry pump의 높은 압력이 필요하며, 실제로는 “고속분사 교반공법”이라는 명칭이 더 합당한 것으로 판단된다.

고속분사 교반공법의 특징으로는

- 1) 토질이나 토층 구성의 영향을 받지 않으며 필요 개소에 필요량의 경화재를 계획적으로 고속 분사함으로써 지반 개량을 할 수 있다.

\*1 정희원, 표준ENG, 대표이사

\*2 재인스 기초건설(주), 이사

- 2) 보통의 주입 공법으로는 지반 개량이 지극히 곤란한 세립토 지반 개량에 적용 가능하다.
- 3) 천공 구멍을 열어 놓은 상태에서 지중에서 경화재를 분사하기 때문에 분사시에 발생하는 지반 내의 압력이 열려 있는 천공 구멍으로 소산되므로 천공 구멍을 막아 놓고 정적(靜的)인 압력을 가하는 일반 주입공법에서 발생하는 인근 전몰의 부상(浮上)이나 지하 매설물의 변형이 없다.

고속분사 교반공법의 기술적 기반으로서 고속 분류체의 거동이나 특성 또는 지반의 파쇄 기구 등을 들 수 있다.

유체의 충격 energy에 의하여 고체에 변형을 주는 것은 잘 알려진 사실이다. 이것이 공학적으로 이용되어 구 소련에서는 채탄 기술에 사용되었으며 현재는 55,000psi (3,870kgf/cm<sup>2</sup>)의 압력을 공급할 수 있는 펌프가 개발되어 concrete, 암석 등의 절단 및 파쇄에 응용되고 있으며, 특히 절단시에 열이 발생하지 않는 점에 착안하여 두꺼운 철판이나 정밀기계 부품, 그리고 전자회로 기관의 절단에 이용함으로써 모재가 열에 의해 변형되거나 손상되는 것을 방지할 수 있게 되어 그 사용 빈도가 증가 일로에 있다.

참고로 토사를 절삭하는 데에는 200~600 kgf/cm<sup>2</sup>, 암반은 2,000~6,000kgf/cm<sup>2</sup>, 호박들은 20,000kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 압력이 필요하다고 한다.

고속 분류체의 밀도, 유량, nozzle의 직경, 압력의 크기 그리고 nozzle의 이동 속도 등을 변화시킴으로써 흙의 파쇄 조건을 용이하게 변화시킬 수가 있다.

## 2. 고속분사 교반공법의 원리

### 1) 액체로서 지반을 절삭하는 Mechanism

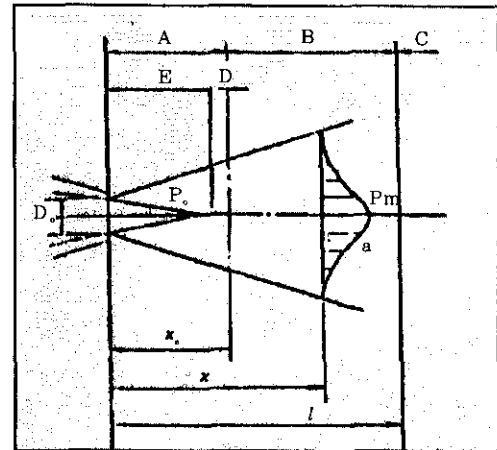
고속 분류체를 사용하여 지반을 절삭하는 mechanism에 대해서는 그 현상이 대단히 복잡

하기 때문에 이론적으로 완전히 구명(究明)되어 있지는 않지만 아래에 기술하는 각각의 현상의 조합이라는 것을 알 수 있다.

각각의 현상에 대한 설명은 본고의 말미에 소개해 놓은 참고 문헌들에서 언급해 놓았기 때문에 여기서는 생략하기로 한다.

- ① 동압 (dynamic pressure)
- ② 분류체의 맥동 부하 (load of pulse-jet)
- ③ 쐐기 효과 (wedging)
- ④ 작은 알갱이에 의한 충격력 (impact force)
- ⑤ 캐비테이션 현상 (cavitation)

공기 중에서 분사되는 고속분류의 현상은 아래의 그림 1과 같다.



A: 초기영역                      B: 중간영역                      C: 공기영역  
D: 移行영역                      E: 분류핵  
 $D_o$ : Nozzle 출구직경     $P_o$ : Nozzle 출구압력

그림 1. 분류 구조

(Jet Grout 공법 기술자료(제1판), 1988년 2월, P3)

공기 중에 분사된 고속분류는 초기 영역(A)을 거쳐서 중간 영역에서 유효한 힘을 발휘하고 종기 영역에서는 불연속적인 힘으로 된다.

여기서 초기 영역에서는 쐐기 현상의 비중이 대단히 크고 중간 영역에서는 모든 현상이 종합적으로 작용하는 구역이 되며, 종기 영역에

서는 분류체가 작은 알갱이로 된 상태에서 지반토에 작용하는 충격 현상과 cavitation 현상의 비중이 크다고 할 수 있겠다.

## 2) 병용 분사하는 공기의 역할

초고속 분류수를 공기 중에서 분사하면 그림 2에서 보는 것처럼 2m 이상의 먼 거리까지 영향을 미칠 수 있으나 수중에서는 그 영향권이 대단히 작아진다.

그러나 초고속 분류수의 주위에 공기를 공급하게 되면 그림 2의 선처럼 수중에서도 그 분류수의 영향 거리가 공기 공급이 없을 때의 그것보다 5배정도 더 커진다.

본 공법을 지반 중에서 사용할 때 현재까지의 경험에 의하면 공기 공급이 없을 때의 개량 범위는 공기를 공급했을 때의 그것에 비해 약 1/2 정도로 감소하는 경향을 볼 수 있다.

또 초고속 분류수의 절삭 거리를 연장하는데 사용된 공기는 그 역할이 끝나면 부력에 의해 지표로 배출되는데, 이 때 공기의 lift(부양) 작용에 의해 절삭, 파쇄된 토립자를 지상으로 배출시킴으로써 지반 중에 인위적인 공간을 만들어 준다.

즉, 공기는

- ① 초고속 수류에 의한 절삭 거리를 연장시키고,

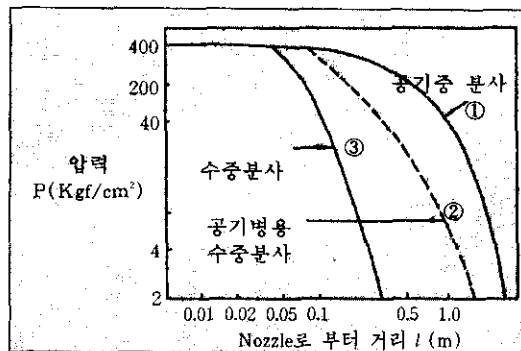


그림 2. Nozzle로부터의 거리와 압력과의 관계  
(토출압력 400kgf/cm<sup>2</sup>, Nozzle직경 2mm)  
(Jet Grout 공법 기술자료(제1판), 1988년 2월, P5)

- ② 절삭된 토사를 lift 작용에 의해 지상으로 배출시키는 두 가지의 중요한 역할을 수행한다.

## 3. 전단면 후리젯 공법

(Free Jet System-360° :FJ-360)

### 1) 공법의 개요

종래의 고속분사 교반공법의 rod는 동축(同軸)의 2중관 또는 3중관으로서 상하의 연결은 rod 자체를 돌려서 연결하는 나사식이므로 항상 나사가 풀리지 않는 방향으로만 회전시키면서 지반 개량을 해야 하기 때문에 개량체는 원형으로 형성될 수밖에 없었으나, 실제로는 다양한 모양의 단면 형상이 필요한 경우가 많아 본 공법이 개발되었다.

따라서 rod의 나사식 연결부가 상하 직접 연결식으로 개발 변경되어 이에 따라 여러개의 유로도 변경 배치되었으며, 또 타공법에서는 반대 방향으로 설치되어 있는 2개의 nozzle을 한 방향으로 일치시켜서 좌우 요동 시공법에 의하여 다양한 고결체의 단면을 형성시킬 수 있게 되었고 그 중에서 360°의 원형 단면을 만들어내는 공법을 전단면 후리젯공법이라 칭한다.

물론 이에 적합한 monitor와 swivel도 개발되었다.

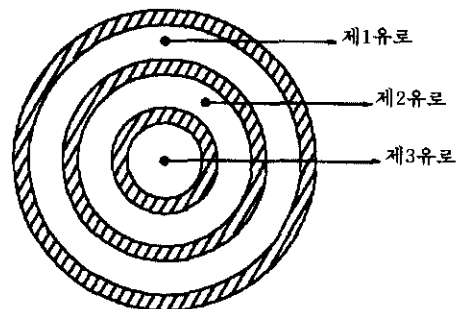


그림 3. 기존공법의 Rod 단면

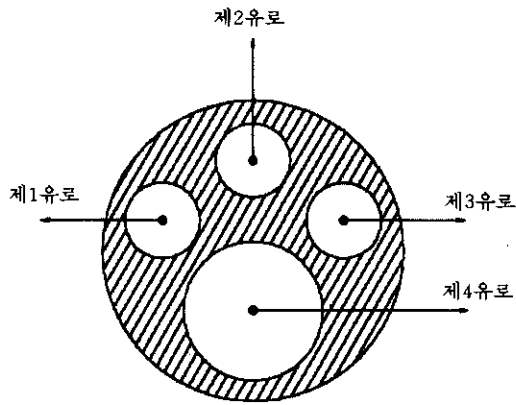


그림 4. 기존공법의 Rod 단면

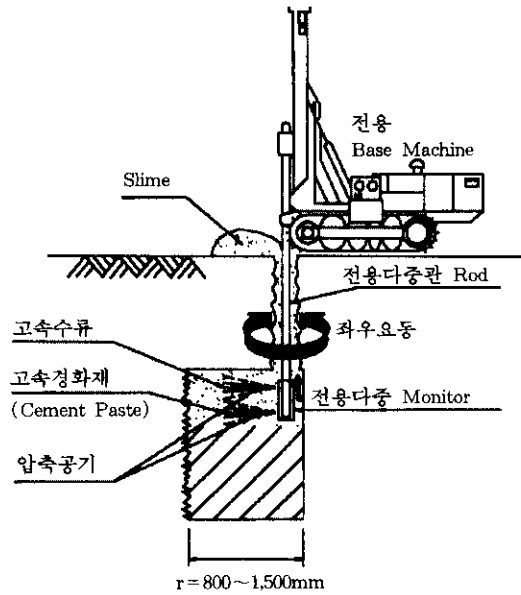


그림 5. 전단면 후리젯공법(FJ-360)의 시공 원리

## 2) 시공 원리

본 공법의 시공 원리를 도식화하면 아래와 같다.

### 3) 다양한 모양의 고결체 단면 형성

본 공법에 의해 형성할 수 있는 고결체의

단면은 45°에서부터 360°까지 다양하며 그림 6의 ⑤가 전단면 후리젯공법의 성과품이다.

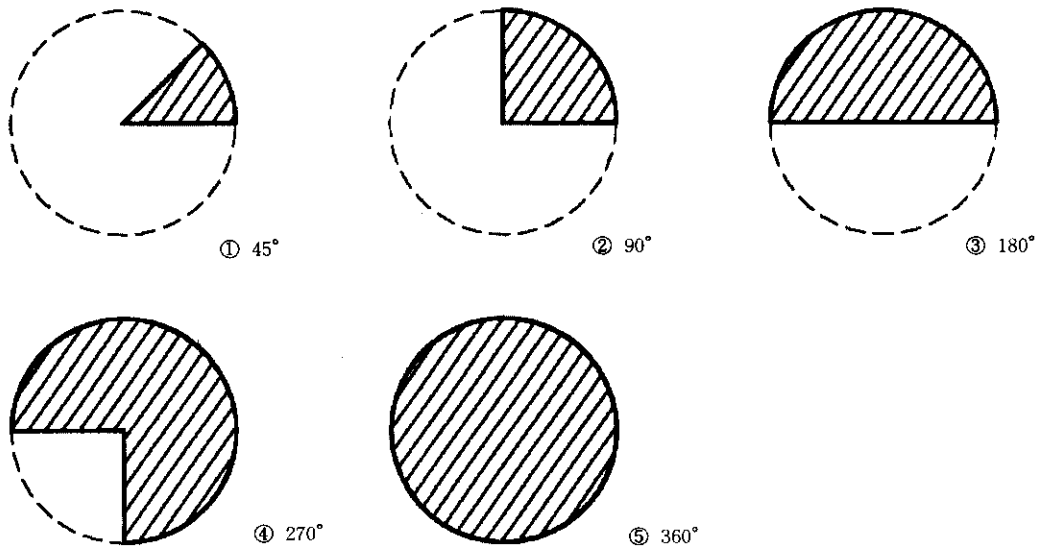


그림 6. 고결체 단면 형성의 예

4) 시공 제원

표 1. 전단면 후리젯공법의 시공 제원표(FJ-360)

항 목	단 위	점 성 토				사 질 토				사 력 호박들	비 고
		0 ≤ N ≤ 1	1 < N ≤ 3	3 < N ≤ 5	5 < N ≤ 8	0 ≤ N ≤ 4	4 < N ≤ 15	15 < N ≤ 30	30 < N ≤ 50		
N 치	회	3.0~2.7	2.6~2.5	2.4~2.1	2.0~1.6	3.0~2.7	2.6~2.5	2.4~2.1	2.0~1.6	-	
성괴품 직경	m	7.07~5.72	5.31~4.91	4.52~3.46	3.14~2.01	7.07~5.72	5.31~4.91	4.52~3.46	3.14~2.01	1.8~1.6	*1
성괴품 면적	m <sup>2</sup>									2.54~2.01	
양 관 속 도	분/m	30									
물	l / 분	100									
Cement Paste 단위 분사량	l / 분	130									
Cement Paste 분 사 량	l / m	3,900									
Cement	kgf/m	2,964									
물	l / m	3,000									
물 분사압력	kgf/cm <sup>2</sup>	200~400				400					
Cement Paste 분 사 압 력	kgf/cm <sup>2</sup>	400									
압 축 공 기	-	6~7kgf/cm <sup>2</sup> , 1.5~3.0m <sup>3</sup> /분									
일축압축강도	kgf/cm <sup>2</sup>	10~30				30~60				40~80	
투수계수	cm/sec	1 × 10 <sup>-7</sup>				1 × 10 <sup>-5</sup> ~1 × 10 <sup>-7</sup>					

5) 시공 제원에 대한 해설

- \* 1:고결체(성과품)의 크기로서 이는 일반적인 기준이며 토립자의 구성 상태나 점토분과 모래분의 함유 비율에 따라서 증감될 수 있으며 성과 이용 목적에 따라 분사 압력이나 분사 시간을 조절함으로써 그 크기를 조절할 수 있다.
- \* 2:본 공법 시행시 목표 심도에서부터 분사하면서 rod를 인발하는 속도이다. 제원표의 양관 속도는 우리 나라의 폼셈 제도에 맞게 하기 위한 기준 속도로써 실제의 지반 조건 즉 N치, 흙의 입도, 액성한계, 소성한계, 함수비 등과 성과 이용 목적에 따라 증감할 수 있다. 예를 들면, 외국에서와 같이 발주자가 고결체의 직경과 강도만을 지정하여 발주할 때에는 이 양관 속도와 경화재 배합비 등을 시공자가 적절하게 조정하여 사용할 수 있다는 의미이다.
- \* 3:본 분사량 또한 우리 나라의 폼셈 제도에 맞게 하기 위한 기준 분사량으로서 토질 특성이나 발주자의 요구에 따라 변경할 수 있다. 본 표에서의 cement paste의 배합비는

물:cement=1:1의 중량 배합비이다. 만약 고강도의 고결체가 요구될 때는 물-cement비(W/C)를 70 ~ 80%로 조정하여 시공하면 좋은 효과를 얻을 수 있으며 큰 직경의 고결체가 요구될 때에는 분사량을 늘려 주거나 양관 속도를 늦게 해줌으로써 목적을 달성할 수 있다. 특히 깊은 심도의 연약 점토 지반에서는 고결체의 양생 기간이 지상에서의 기간보다 2~3배정도 더 걸리기 때문에 조강제를 사용하는 것이 바람직하며 이렇게 해도 통상 30일 정도가 소요되는 경우가 많다. 또 성과품의 단면적이 예상했던 것보다 커질 경우에는 커진 성과품의 체적에 비해 cement 함량이 임계치(아직까지 정확하게 확인되지 않고 있음.) 이하로 떨어지기 때문에 고결물의 형체를 갖추지 못하는 경우가 있으므로 이러한 경우에는 물-cement비를 낮춰서 시행하는 것이 바람직하다. 단, 물-cement비를 낮출 경우에는 성과품의 크기가 기준 직정보다 다소 작아질 수 있으므로 이 점에 유의해야 한다.

표 2. 1m<sup>2</sup>당 중량 배합비표

물·Cement비	물(kgf)	Cement(kgf)	단위분사량(l/분)	Cement(kgf/m)
100%	760	760	130	2,964
80%	716	895	110	2,954
70%	688	983	100	2,949

- \* 4:130 l /분 × 30분/m = 3,900 l /m
- \* 5:3,900 l /m × 0.76kgf/l = 2,964kgf/m
- \* 6:100 l /분 × 30분/m = 3,000 l /m
- \* 7:상향식 분사 과정 중에서 상부 nozzle에서는 통상 물 분사할 하여 1차로 지반을 절삭 파쇄한다. 이 때 초연약 지반에서는 필요 이상으

로 고결체가 너무 커져서 고결체의 강도가 급격히 떨어질 수가 있으므로 상부 nozzle의 압력을 적절히 감소시켜서 시공해야 할 경우도 있다.

- \* 8:하부 nozzle을 통하여 cement paste를 분사하여 2차로 지반을 절삭 파쇄하면서 동시에 cement paste를 지반토와 혼

합시켜 지반 중에 고결체를 형성시킨다.

- \* 9: 압축 공기는 각 nozzle마다 핵 nozzle 주위를 통하여 공급되며 압력보다도 공기량이 많을수록 효과가 좋다.

단, 연약 점토층에서는 slime이 충분히 배출되지 않는 상태에서 공기나 공기압을 크게 하면 잔류 압력 때문에 지반 전체를 부상시킬 염려가 있으므로 slime 배출구를 충분한 크기로 확보하고 slime의 농도나 배출 상태를 예의 주시하면서 공기압과 공기량을 적절히 조절해 가며 시공해야 하므로 전문 기술자 또는 전문 기능자의 참여가 반드시 필요하다.

- \* 10: 고결체의 일축 압축 강도로서 물-cement비가 100%일 때를 기준으로 한 것이며 지반 내의 토질 특성에 따라 달라지기 때문에 강도를 추정할 때는 전문가에게 자문을 구하여 시행해야 한다.

만약 물-cement비를 작게 하면 본 제원표의 강도를 상회할 수 있다.

- \* 11: 고결체의 투수계수는 최소  $1 \times 10^{-6}$  cm/sec 이하로서 거의 불투수성을 나타낸다.

## 6) 시공 순서

- ① 현장에 장비 반입
- ② Plant 설치
- ③ 지반 개량이 요구되는 위치에 전용 분사기(base machine) 설치
- ④ 소요심도까지 천공  
이때 각 nozzle이 막히지 않도록 물과 공기를 공급하면서 천공하며 만약 전용 분사기로 천공이 잘 안될 때에는 전용 천공기를 사용한 후 분사용 rod를 지중에 삽입한다.
- ⑤ 소요심도까지 천공 완료 후 상부 nozzle로는 물을 규정의 압력으로 분사하고 하부 nozzle로는 cement paste를 규정의 압

력으로 분사하면서,

- ⑥ 규정의 양관 속도로 rod를 좌우 요동시키면서 설계 상한선까지 인발하고 종료한다.
- ⑦ 다음 위치로 이동

## 7) 본 공법의 적용

- ① 건물, 교량 등 구조물 기초
- ② 해양 안벽의 기초
- ③ 토류벽
- ④ 옹벽 배면의 토압 경감
- ⑤ anchor block
- ⑥ 지하 dam
- ⑦ 사면 활동 방지
- ⑧ 진동 차단용 지중벽
- ⑨ 지하 구조물 보호벽
- ⑩ 연약 지반 개량

## 4. 반단면 후리젯 공법

(Free Jet System-180° : FJ-180)

### 1) 공법 개요

본 공법의 가장 큰 장점이 고결체 단면의 형상을 자유 자재로 형성시킬 수 있다는 것이다.

앞에서 설명한 바와 같이 rod 선단에 장착된 두 개의 nozzle이 한 방향으로 정렬되어 있어 그 방향의 지반토만 고결시키는 것이 가능함에 따라 전용 분사기(base machine)에 장착되어 있는 sensor와 timer를 이용하여 고결체의 단면을 45°, 90°, 180°, 270°, 360° 등 여러 가지 형상으로 만들어 낼 수 있다.

여기서 반단면 후리젯공법이라 함은 넓은 의미로는 고결체의 단면이 360° 미만인 선형(扇形)을 말하며 좁은 의미로는 우리 나라의 건설 공사 중 많은 부분을 차지하고 있는 가설 토류벽과 차수벽 등에 적합한 반원형의 고결체 단면, 즉 180° 단면을 의미하는데 본고에서는 이 180° 단면에 대해서만 논하기로 한다.

2) 시공 제원

표 3. 반단면 후리젯공법의 시공 제원표(FJ-180)

항 목	단 위	점 성 토				사 질 토				사 력 호박돌	비 고
		0 ≤ N ≤ 1	1 < N ≤ 3	3 < N ≤ 5	5 < N ≤ 8	0 ≤ N ≤ 4	4 < N ≤ 15	15 < N ≤ 30	30 < N ≤ 50		
N 치	회	3.0~2.7	2.6~2.5	2.4~2.1	2.0~1.6	3.0~2.7	2.6~2.5	2.4~2.1	2.0~1.6	-	
성괴품 지경	m	3.53~2.86	2.65~2.45	2.26~1.73	1.57~1.00	3.53~2.86	2.65~2.45	2.26~1.73	1.57~1.00	1.8~1.6	
성괴품 면적	m <sup>2</sup>									1.27~1.00	
양 관 속 도	분/m	15									
물 단위 분사량	l/분	100									
Cement Paste 단위 분사량	l/분	130									
Cement Paste 분 사 량	l/m	1,950									
Cement	kgf/m	1,482									
물	l/m	1,500									
물 분사압력	kgf/cm <sup>2</sup>	200~400				400				FJ-360과 동일	
Cement Paste 분 사 압 력	kgf/cm <sup>2</sup>	400									
압 축 공 기	-	6~7kgf/cm <sup>2</sup> , 1.5~3.0m <sup>3</sup> /분									
일축압축강도	kgf/cm <sup>2</sup>	10~30				30~60				40~80	
투수계수	cm/sec	1 × 10 <sup>-7</sup>				1 × 10 <sup>-5</sup> ~1 × 10 <sup>-7</sup>				"	



### 3) 시공 순서

전단면 FJ공법과 동일

### 4) 본 공법의 적용

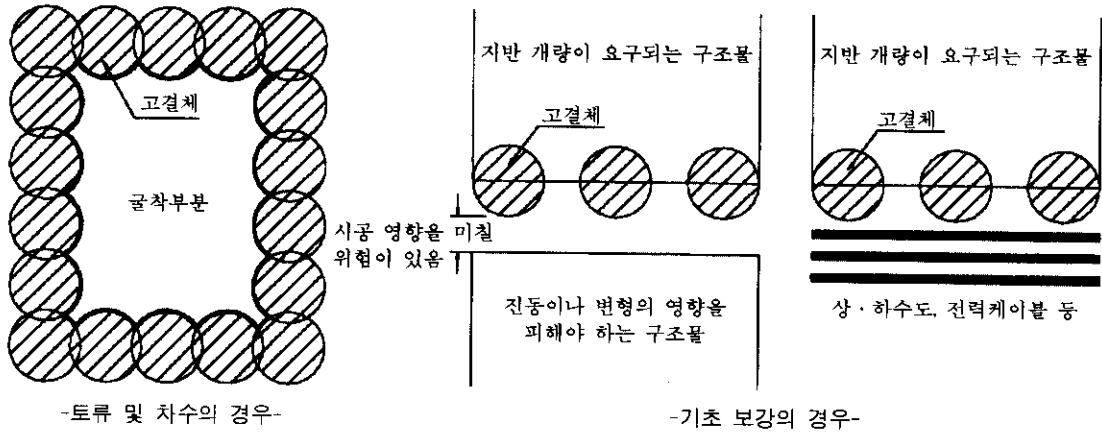


그림 7. 기존공법의 적용 예

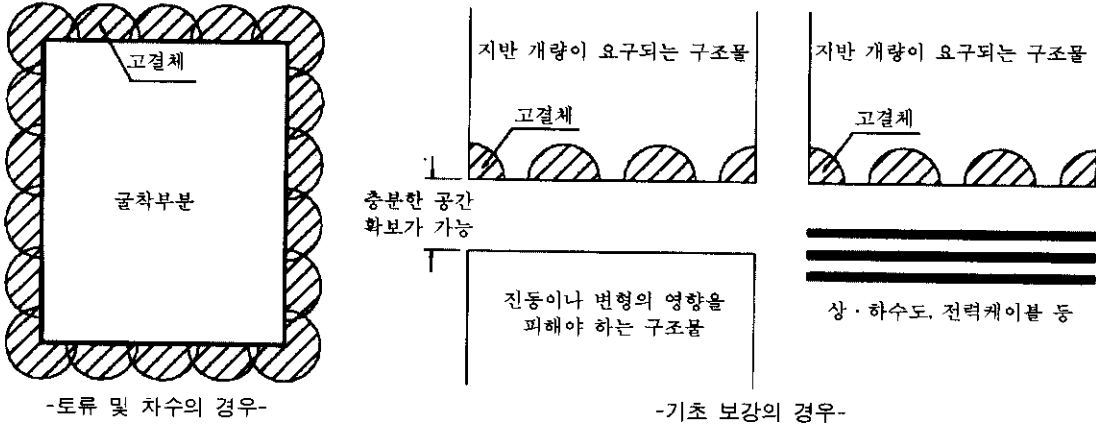


그림 8. 반단면 후리젯공법(FJ-180)의 적용 예

### 5) 본 공법의 설계 형식

여기서 type 1은 토류판을 사용하지 않는 경우로서 지층의 강도나 토성을 검토 분석하여 고결체의 직경이 최소 2.0m 이상 확보될 수 있는 경우에 시행 가능하며 H-pile의 회수는

불가능하고 토성에 따라 토류벽면에 ■■■이 생겨서 미관상으로는 좋지 않으나 고결체의 형성 모양을 육안으로 관찰할 수 있는 이점이 있다.

type 2는 토류판을 사용하는 경우로서 고결체의 직경을 2.0m 이상 확보할 수 없을 때 시

행하며 미관이 좋고 H-pile의 회수가 가능한 이점이 있다.

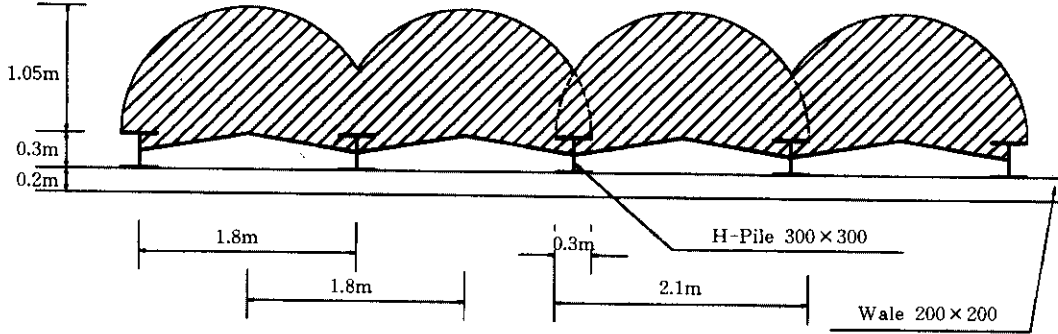


그림 9. Type-1

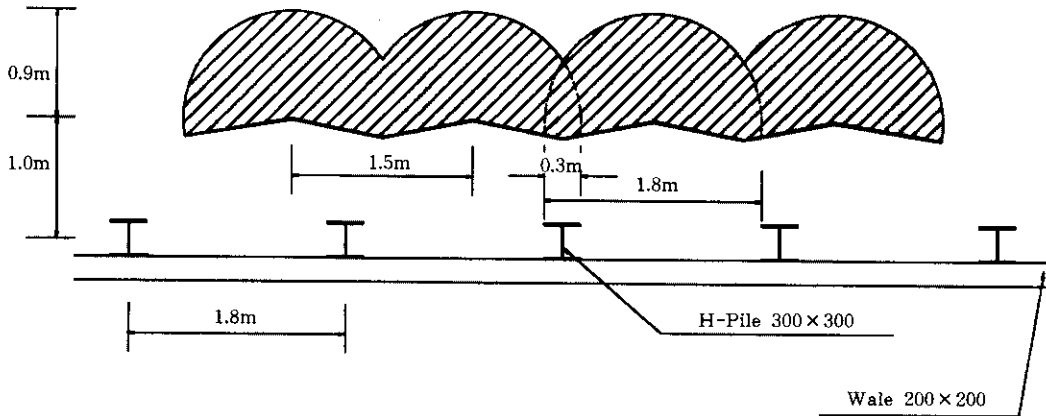


그림 10. Type-2

## 5. 마이크로 후리젯 공법 (Micro Free Jet System : M-FJ)

### 1) 공법의 개요

보강이 필요한 구조물의 footing에 underpinning 공사를 시행할 경우 footing 판의 크기에 비해 고결체의 단면이 지나치게 크면 시공도중 그 기초가 함몰될 위험이 있기 때문에 고결체의 단면을 적절하게 줄여야 할 필요가

있으며, 또 본 공법을 말뚝 대응으로 적용할 경우 말뚝의 최소 필요 개수인 3개 또는 4개를 시공할 때 소요단면보다 지나치게 큰 단면이 형성되는 공법은 비경제적이므로 이 때에도 적절하게 축소된 단면이 필요하게 된다.

이러한 요구에 부응하기 위하여 양관 속도를 조절하는 등의 방법으로 개발한 것이 “마이크로 후리젯 공법”이다.

2) 시공 제한

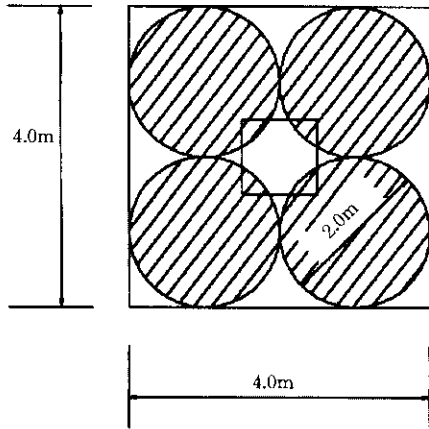
표 4. 마이크로 후리트 공법의 시공 제한표(M-FJ)

항 목	단 위	점 성 토				사 질 토				사 력 호박돌	비 고	
		0 ≤ N ≤ 1	1 < N ≤ 3	3 < N ≤ 5	5 < N ≤ 8	0 ≤ N ≤ 4	4 < N ≤ 15	15 < N ≤ 30	30 < N ≤ 50			
N 치	회	1.4	1.3	1.2	1.0	1.6	1.4	1.2	1.0	-		
성괴폼 지정	m									1.0		
성괴폼 면적	m <sup>2</sup>	1.54	1.33	1.13	0.79	2.01	1.54	1.13	0.79	0.79		
양 관 속 도	분/m	7										
물												
단위 분사량	l/분	100										
Cement Paste 단위 분사량	l/분	130										
Cement Paste 분 사 량	l/m	910										
Cement	kgf/m	692										
물	l/m	700										
물												
분 사 압 력	kgf/cm <sup>2</sup>	200~400										
Cement Paste 분 사 압 력	kgf/cm <sup>2</sup>	400										
압 축 공 기	-	6~7kgf/cm <sup>2</sup> , 1.5~3.0m <sup>3</sup> /분										
일축압축강도	kgf/cm <sup>2</sup>	10~30				30~60				40~80		
투수계수	cm/sec	1 × 10 <sup>-7</sup>				1 × 10 <sup>-5</sup> ~1 × 10 <sup>-7</sup>						

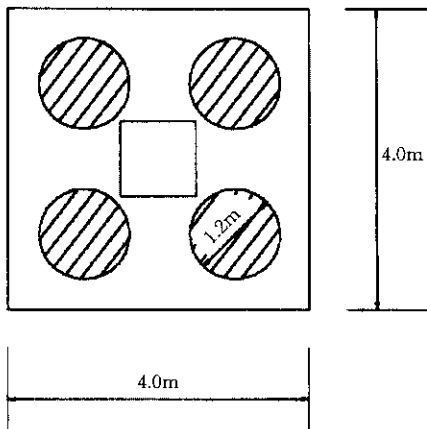
### 3) 시공 순서

전단면 FJ공법과 동일

### 4) 본 공법의 적용 예



-대단면 공법-



-마이크로 후리젯공법-

그림 11. 구조물 기초의 Underpinning의 예

## 6. 케미칼 후리젯 공법

(Chemical Free Jet System : C-FJ)

### 1) 공법의 개요

일반적으로 지하 유속이 큰 지층이나 큰 공극(공동)이 많은 지층에서 고속분사 교반공법을 시행하게 되면 지층에서 분사된 cement paste가 경화되기 전에 지하수류에 의해 유실되거나 인근의 공동으로 흘러 나가 버려서 부실한 고결체가 되거나 아주 없어져 버리는 경우가 있다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 이미 monitor에 장착되어 있는 2개의 nozzle 중에서 상부의 물 분사용 nozzle로 규산소다 3호 용액(급결제)을 분사하고, 하부 nozzle로는 cement paste를 분사하는 방식을 택함으로써 경화재의 유실을 방지하여 지중에 완전한 고결체를 형성시킬 수 있다.

이러한 방법은 약액주입공법에서 급결을 위하여 권장하고 있는 완벽한 2액 2공정(2 shot) 방식이다.

### 2) 시공 원리

본 공법의 시공 원리를 도식화하면 아래와 같다.

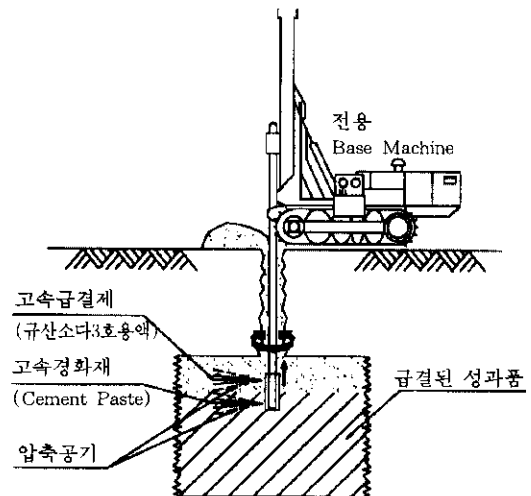


그림 12. 케미칼 후리젯공법(C-FJ)의 시공 원리

### 3) 시공 제원

- ① 본 공법의 시행은 전단면 후리젯공법, 반 단면 후리젯공법, 마이크로 후리젯공법 모두에 적용 가능하기 때문에 그 시공 제원을 그대로 따르면서 규산소다 3호만 추가해 주면 된다.

규산소다 3호의 사용 중량은 사용 시멘트 중량의 20%를 기준으로 하되 지반 조건에 따라 증감할 수 있다.

- ② 규산소다는 용액으로 만들어 사용하며 그 배합비(S/W)는 체적비로서 20% 용액을 사용하는 것을 기준으로 하되 투수성 등 지반 조건에 따라 배합비를 조정하여 사용하여야 한다.

### 4) 시공 순서

전단면 FJ공법과 동일

### 5) 본 공법의 적용

굵은 모래, 모래 자갈, 호박돌 그리고 사석 매립 지반 등에서의

- ① 교량, 건물 등 구조물 기초
- ② 토류벽
- ③ 차수벽
- ④ 지하 dam

## 7. 후리젯 모르터 공법

(Free Jet Mortar System: FJ-Mortar)

### 1) 공법 개요

기존의 고속분사 교반공법은 지반토를 골재로 삼아서 지반 중에 고결체를 만드는 것이기 때문에 연약점토 지반에서 시행할 경우의 성과품은 점토 입자와 cement가 혼합되어 만들어진 고결물이 되므로 강도가 극히 낮은 단점이 있다.

이 점에 착안하여 본 공법을 연약 점토층에서 시공할 때는 기존 시공 순서와는 달리 하향

식(지층에 따라 상향식도 병행)으로 하여 rod를 지중으로 내리면서 monitor에 장착되어 있는 두 개의 nozzle을 통하여 물을 압축공기와 함께 고속으로 분사하면서 좌우 요동시키면 연약 지반토가 절삭 파쇄되어 지상으로 배출되며, 소요 심도 또는 경지반까지 rod를 상기의 방법으로 내리면 절삭 파쇄된 연약 지반토는 nozzle을 통하여 분사된 물, 압축공기와 함께 섞여서 지상으로 거의 모두 배출되므로 지반 내에는 배출되고 남은 소량의 점토 입자와 물의 혼합물인 비중이 작은(1.10~1.15) 현탁액으로 차 있는 공간이 생기게 되며 그 때까지 최하부에서 좌우 요동하고 있는 monitor로는 물과 압축공기를 계속 공급하므로 현탁액 내의 점토 입자는 가라앉지 못하고 계속 떠 있게 된다.

이 때 rod 내에 확보되어 있는 큰 단면적( $\varnothing 50\text{mm}$ )의 제 4유로(그림 4 참조)를 통하여 비중이 크면서도 고강도인 cement mortar를 저압으로 주입하면 공간 내의 현탁액은 서서히 밀려 올라와 지상으로 배출되면서 공간 내에는 cement mortar가 치환 충전됨으로써 지중에 고강도의 고결체를 형성시킬 수 있다.

### 2) 시공 대상 지반

점토, 모래질 점토, 실트, 모래질 실트 지반에서 가능하고 굵은 모래 크기 이상인 지반에서는 cement mortar를 주입하기 전에 자갈 등이 먼저 가라앉아 버리기 때문에 현재로서는 균질한 고결체를 형성시키는 것이 곤란하다.

### 3) 산업 폐기물 발생의 극소화

통상의 고속분사 교반공법을 시행하면 cement와 지반토 그리고 물로 혼합된 slime이 지상으로 배출되는데 이 slime은 산업 폐기물로 분류되어 그 처리에 상당한 비용과 노력이 드는게 현실이다.

그러나 본 후리젯 모르터 공법에서는 물과 섞인 흙만을 지상으로 배출시키면서 지반 중에 미리 확보해 놓은 체적만큼만 cement mortar

를 주입하는 방식이기 때문에 산업 폐기물의 발생이 거의 전무한 것이 특징이다.

#### 4) 시공 원리

본 공법의 시공 원리를 도식화하면 아래와 같다.

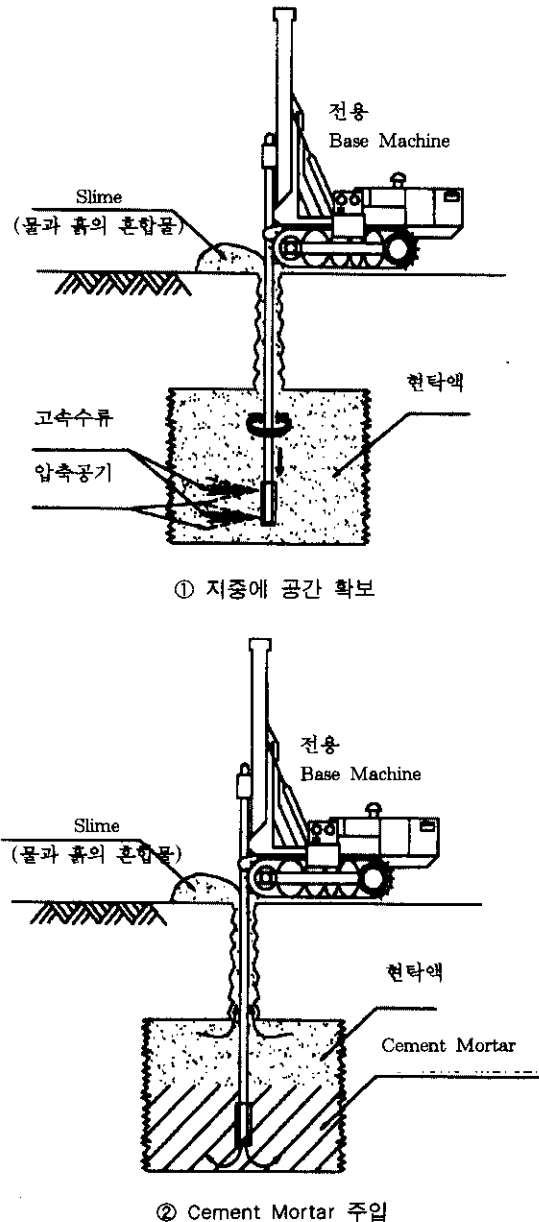


그림 13. 후리젯 모르터 공법(FJ-Mortar)의 시공원리

#### 5) 시공 제원에 대한 해설

- \* 1: 대구경으로 천공을 할 경우 공벽 유지 방법으로 casing을 사용하는 공법과 이수(泥水)를 사용하는 공법이 있는데 이수를 사용하는 경우에는 공벽에 mud cake가 형성되기 때문에 casing으로 천공하는 경우의 말뚝 직경보다 통상 10cm 정도 작게 말뚝의 직경을 취한다. 여기서는 전단면 후리젯 직경에서 20cm를 감한 수치를 적용하였다.
- \* 2: Rod의 하강 속도는 천공과 확공을 동시에 하는 과정에 소요되는 시간으로서 1m당 20분을 기준으로 하되 토질의 함수 상태, consistency, 입자 구성 상태를 고려하여 그 조건이 불량하면 1m당 30분으로 늘려서 설계와 시공을 해야 한다.
- \* 3: 지중에 조성된 공간에 채워 주는 cement mortar의 양으로서 mud cake가 형성되는 두께가 예상보다 얇을 경우와 지반토가 연약할 경우 cement mortar의 자중에 의해 지반토가 외측으로 밀려 나가면서 더 들어가는 경우를 함께 고려하여 계산치에 30%를 할증하여 실제에 반영하고 실제 시공시에 정산하도록 한다.
- \* 4: Cement mortar는 plant로부터 이송을 원활하게 하고 지중의 공간에도 골고루 충전될 수 있게 하기 위하여 slump 치를 15cm 이상 유지시켜야 하며 재료 분리, 강도 저하, 경화 수축을 방지하고 bleeding을 극소화하기 위하여 감수 고유동화제(減水 高流動化劑)인 "melflow"나 동급의 혼화제를 사용한다.
- \* 5: 현장에서 시공한 고결체에서 coring을 하여 채취한 core의 일축 압축 강도는 통상 실내 배합 강도의 80~90% 수준이다.(참조: 깊은기초, PP273~274, 한국지반공학회 1997)

따라서 설계 기준 강도는 배합 강도의 80~ 90%를 취하여 설계에 반영하고 그 허용 응력은 표 5를 참조한다.

표 5. 현장 타설 말뚝의 강도, 허용 응력도, 저감율 (참조 : 깊은기초, P262, 한국지반공학회 1997)

Concrete의 타설 상황	허용응력도 설계기준강도	Concrete의 허용응력도		장경비에 의한 저감률
		장기허용 응력도	단기허용 응력도	
Concrete를 물 또는 이수가 있는 상태에서 타설	180kgf/cm <sup>2</sup> 이상	Concrete강도의 1/4.5 또는 60kgf/cm <sup>2</sup> 중에서 작은 값	장기허용 응력도의 2배	(L/D-60)% L:말뚝의 길이(m) D:말뚝의 직경(m)
Concrete를 물 또는 이수가 없는 상태에서 타설		Concrete강도의 1/4 또는 70kgf/cm <sup>2</sup> 중에서 작은 값		

\* 물 또는 이수가 있는 상태에서 concrete를 타설하게 되면 그 품질이 저하될 우려가 크기 때문에 허용 응력도를 작게 취하고 있으나 우리 나라의 경우 시공 후의 검사를 재하 시험에 의한 방법보다는 coring에 의한 압축강도법을 많이 사용하기 때문에 아래의 예와 같이 수정하여 사용할 것을 제안한다.

구조 계산시 설계 기준 강도 : 200kgf/cm<sup>2</sup>

시방서 표기상의 사용 Concrete : 240kgf/cm<sup>2</sup> (200 × 1.2 = 240kgf/cm<sup>2</sup> : 20% 할증)

## 6) 시공 순서

- ① 현장에 장비 반입
- ② Plant 설치
- ③ 개량이 요구되는 위치에 전용 분사기 (base machine) 설치
- ④ 소요 심도까지 하향식으로 천공과 확공을 병행 시행 (rod 하강)제 4유로를 통하여 천공수를 공급하며 상하 nozzle로는 각각 물을 400kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 압축 공기를 병용하여 고속 분사하면서 rod를 좌우 요동시키면서 하강시킨다.
- ⑤ 소요 심도까지 천공과 확공이 완료되면 상하 nozzle의 고압수와 압축 공기 그리고 제4유로의 천공수를 중단하고 cement mortar를 저압 주입하여 현탁액을 지상으로 밀어 내면서 지중의 공간을 채운다.

## 7) 참고 사항

다음의 시공 제원은 대단면의 고강도 고결체를 형성시킬 때의 것이며 소단면의 고결체가 필요할 때는 M-FJ의 시공 제원을 전용하여 사용한다.

8) 시공 제원

표 6. 후리젯 모르터 공법의 시공 제원표(FJ-Mortar)

항	부	단 위	점 성 토				사 질 토	비 고
			0 ≤ N ≤ 1	1 < N ≤ 3	3 < N ≤ 5	5 < N ≤ 8		
N	치	회	0 ≤ N ≤ 1	1 < N ≤ 3	3 < N ≤ 5	5 < N ≤ 8	0 ≤ N ≤ 4 4 < N ≤ 15	
성 과 품 직 경		m	2.8 ~ 2.5	2.4 ~ 2.3	2.2 ~ 1.9	1.8 ~ 1.4	2.8 ~ 2.5	*1
성 과 품 면 적		m <sup>2</sup>	6.15 ~ 4.91	4.52 ~ 4.15	3.80 ~ 2.83	2.54 ~ 1.54	6.15 ~ 4.91	4.52 ~ 4.15
하 강 속 도		분/m	20					*2
물 단 위 분 사 량		l / 분	200					100 l / 분 × 2 Nozzles
물 분 사 량		l / m	4,000					
분 사 압 령		kgf/cm <sup>2</sup>	상부 Nozzle : 400, 하부 Nozzle : 200 ~ 400					
압 축 공 기		-	6 ~ 7 kgf/cm <sup>2</sup> , 1.5 ~ 3.0 m <sup>3</sup> / 분					각 Nozzle 마다
Cement Mortar 양		m <sup>3</sup> /m	8.00 ~ 6.38	5.88 ~ 5.40	4.94 ~ 3.68	3.30 ~ 2.00	8.00 ~ 6.38	5.88 ~ 5.40 *3
혼 화 제			Cement 중량의 1.5%					*4 (Melflow)
일 축 압 축 강 도		kgf/cm <sup>2</sup>	배합강도의 80 ~ 90%					*5
투 수 계 수		cm/sec	1 × 10 <sup>-7</sup>					



## 8. 결 론

- 1) 후리젯 공법 (Free Jet System:FJ공법)  
은 두 개 또는 수 개의 nozzle들이 한 방  
향으로 정렬되어 있고 지반 개량을 할  
때 좌우 요동식으로 시행하므로 45°,  
90°, 180°, 270°, 360° 등 다양한 모양의  
단면을 갖는 고결체를 지반 중에 형성시  
킬 수 있다.
- 2) 전단면 후리젯 공법 (Free Jet System -  
360:FJ-360)  
상기 1)항의 여러 가지의 고결체 단면 중  
에서 360°의 원형 대단면을 만들어 내는  
공법이다.
- 3) 반단면 후리젯 공법 (Free Jet System -  
180:FJ-180)  
여러 가지의 고결체 단면 중에서 180°의  
반원형 단면을 만들어 내는 공법이다.
- 4) 마이크로 후리젯 공법 (Micro Free Jet  
System:M-FJ)  
큰 단면의 고결체가 필요하지 않을 경우  
지중에서의 경화재 분사 시간을 줄임으로  
써 작은 단면의 고결체를 만들어 내는 공  
법이다.
- 5) 케미칼 후리젯 공법 (Chemical Free Jet  
System:C-FJ)  
모래 자갈층 등 투수 계수가 커서 지하유  
속이 빠르거나 공동이 많은 지반에서 경  
화재가 유실되어 부실한 고결체가 되거나  
아주 없어져 버리는 것을 방지하기 위하  
여 급결제를 경화재와 병용 사용하는 공  
법을 말하는 것으로서 전단면 후리젯공  
법, 반단면 후리젯공법, 마이크로 후리젯  
공법을 시행할 때 모두 적용할 수 있다.
- 6) 후리젯 모르터 공법 (Free Jet Mortar  
System:FJ-Mortar)  
점토질 연약지반에서 사용하는 공법으로  
서 rod를 하강시키면서 연약 지반토를 미  
리 절삭, 파쇄하여 지상으로 배출시켜 지  
중에 공간을 확보한 후 cement mortar를

충전함으로써 연약지반 내에 고강도의 고  
결체를 만드는 공법이며 산업 폐기물의  
발생이 거의 없다.

## 참 고 문 헌

1. 고압분사 주입공법에 의한 Underpinning 공사보  
고, 심재구, 대한토목학회지 제29권 제2호, 1981.  
4.
2. 고압분사 주입공법, 심재구, 한국농공학회지 제  
23권 제3호, 1981. 9.
3. 토질 역학이론의 현장 시공 적용, 심재구, 한국  
농공학회지 제26권 제3호, 1984. 9.)
4. 매립토층의 특수 말뚝 기초 시공 예(신기탁,  
김주범, 대한토질공학학회지 제2권 제3호, 1986.  
12.
5. 고수-사평간 도로 수해 복구 공사 공사 보고서  
(심재구, 김관호, 박창욱, 대한토질공학학회지 제  
4권 제1호, 1988. 3.)
6. 건물 침하 방지를 위한 Underpinning 사례연  
구, 박병기, 이인모, 신민호, 오해진, 문장수, 최  
효범, 이정학, '93년도 가을학술발표회 논문집  
한국지반공학회, 1993.
7. 교대의 측방 변위 발생에 대한 사례분석, 이종  
규, 박찬호, 이명환, 이인모, 이명재, '94년도  
봄학술발표회 논문집 한국지반공학회, 1994.
8. 건축 구조물 말뚝 기초의 지지력 미달 원인 및  
보강, 조천환, 이명환, 홍현성, 이장덕, 이원재,  
엄재경, '96년도 봄학술발표회 논문집 한국지  
반공학회, 1996.
9. JSP工法の原理 ニツサンフリース株
10. 土質安定工法便覽, 松尾新一郎, 日刊工業新聞  
社, 1976. 1.
11. 軟弱地盤における工事實施例その2, 日本土工  
學會, 1977. 3.
12. 最近の薬液注入工法 ② 總合土木研究所, 1979.  
11.
13. 土と基礎, 日本土質工學會, 1981. 5.
14. Jet Grout 技術資料, 日本ゾエシタドラウト協  
會, 1988. 2.