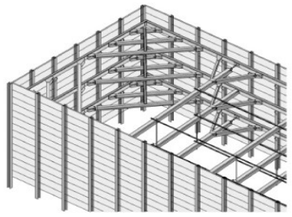
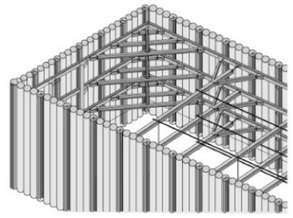
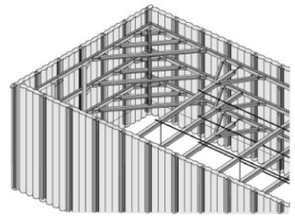
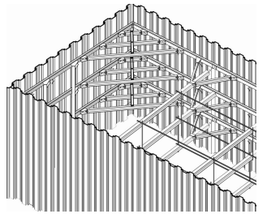
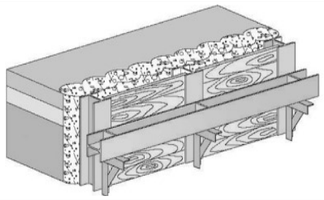
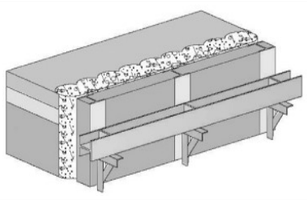
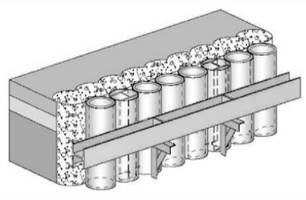
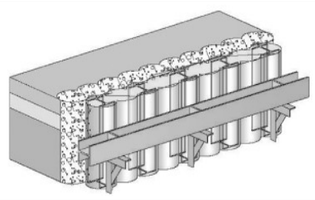
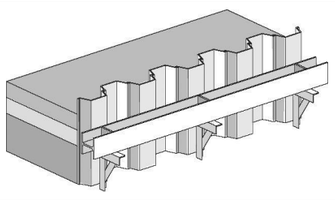
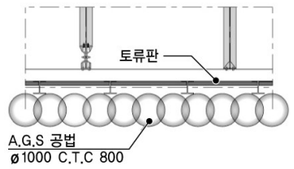
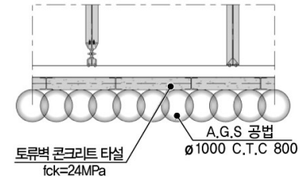
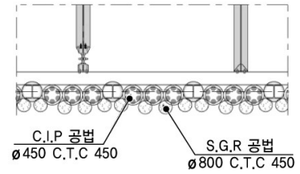
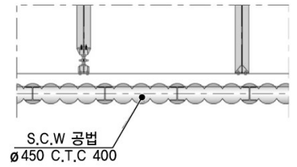
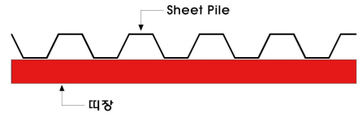
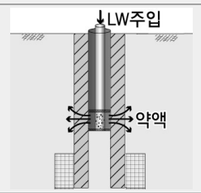
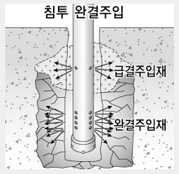
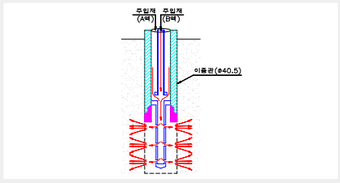
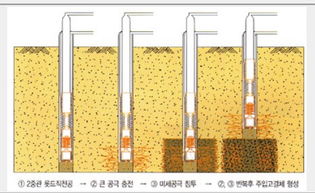
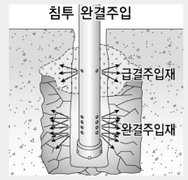
## ▣ 토류벽 공법선정 및 적용성 검토

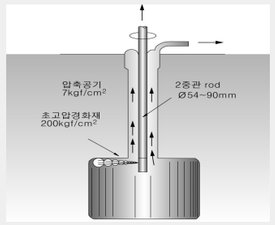
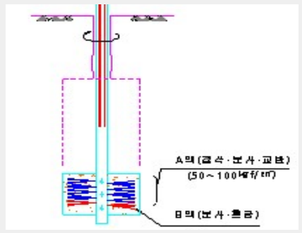
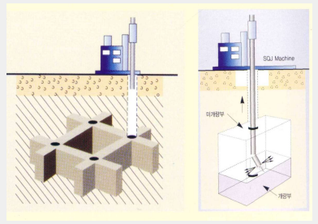
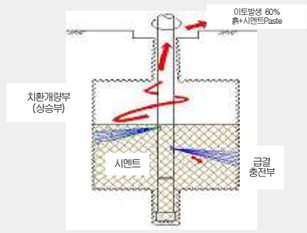
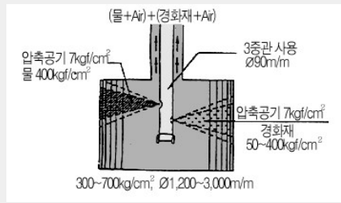
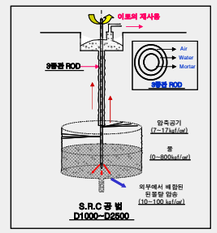
| 구 분 | | H-Pile + 토류판 | H-Pile + 토류콘크리트 | H-Pile + CIP | H-Pile + SCW | Sheet Pile |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 개 요 도 | |  |  |  |  |  |
| | |  |  |  |  |  |
| 누수방지 | |  |  |  |  |  |
| 공법특징 | | •공사비 저렴<br>•자재 재사용 가능<br>•차수시설 및 인접건물 침하보강 필요<br>•소음, 진동 영향 | •벽체강성 우수<br>•별도의 차수공법 적용<br>•인접건물 안정성 확보<br>•공사비 고가 | •소음 및 진동 최소화<br>•인접건물 안정성 극대화<br>•버팀보 간격 조정 용이<br>•공사비 보통 | •차수성과 벽체강성 우수<br>•소음 및 진동 최소화<br>•자갈층 시공성 저하<br>•공사비 보통 | •차수성과 벽체강성 보통<br>•환경오염 최소화<br>•자갈층 시공성 저하<br>•공사비 고가 |
| 안 정 | 벽체강성 | 보통 | 양호 | 매우 양호 | 양호 | 보통 |
| | 침하억제 | 보통 | 보통 | 매우 양호 | 양호 | 보통 |
| | 안 정 성 | 양호 | 양호 | 매우 양호 | 양호 | 양호 |
| 시 공 | 장 비 | 소형(2차로 점유) | 소형(2차로 점유) | 소형~중형(2차로 점유) | 중형(3차로 점유) | 소형(2차로 점유) |
| | 관 입 성 | 양호 | 양호 | 불량(굵은자갈, 전석층) | 불량(자갈층) | 불량(굵은자갈, 전석층) |
| 경 제 성 | | 179,726원/㎡ | 235,405원/㎡ | 330,220㎡ | 365,000원/㎡ | 진동햄머 229,428원/㎡<br>Water jet 344,598원/㎡ |
| 평 가 | | •별도차수공법 필요하나 지하수 및 토사유출이 우려되는 연약지반에 적용곤란 | •별도차수공법 필요 및 안정성은 양호하나 공사비가 보통 | •별도 차수공법 필요 및 안정성이 양호하며 공사비는 고가 | •별도 차수공법 불필요 및 안정성이 양호하나 시공성이 불량함 | •별도차수공법 불필요 및 안정성이 양호하며 연약지반에서의 공사비는 저가 |
| 적 용 구 간 | | •정거장, 본선, 환기구 | •지장물 보호(측벽부) | | | •원시정거장, 본선종점부(원곡~과업종점) |

# ▣ 차수 및 지반보강공법 비교검토

## 1) 약액주입공법

| 구 분 | | 물유리계(일반구간) | | | 무기질계(염해구간) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | LW grouting 공법<br>(Labiles Wasser Glass method) | NEW-SGR 공법<br>(Space Grouting Rocket System) | AGS 공법<br>(All-in-one Automatic Grouting System) | ET & G 공법<br>(Effective Total & Grouting) | McG 공법<br>(Multi-mixing counterflow prevented Grouting) | AGS 공법<br>(All-in-one Automatic Grouting System) |
| 주입방식 | |  |  |  |  |  |  |
| 공법개요 | | •지반을 천공한 후 주입재를 중간의 Y합류지점에서 미리 합류시킨뒤 단일관을 통해 지중에 주입하는 방식의 약액주입공법 | •이중관 주입 로드로 천공 후 특수한 선단장치(Rocket)에 의해 주입관 선단의 공간을 통해 저압으로 급결 및 완결 주입재를 복합주입을 하는 공법 | •그라우팅전문가시스템(Grouting Expert System)을 적용하여 컴퓨터로 시공하는 통합 관리형 약액주입공법 | •지반을 천공한 후 지중에 이중관 주입 Rod를 설치한 후 무기질계 지반주입재를 선단장치를 통해 대상지반에 복합주입하는 방식의 저압 침투주입공법 | •특수 주입선단장치를 장착한 이중관 rod에 천공 bit를 부착하여 지반을 직접 천공한 후 저압으로 주입재를 침투시키는 주입공 | •그라우팅전문가시스템(Grouting Expert System)을 적용하여 컴퓨터로 시공하는 통합 관리형 약액주입공법 |
| 특 징 | 장 점 | •사용실적이 많고 오래된 공법<br>•공극이 큰 연약토사지반 주입효과양호<br>•소규모 장비 ➡ 협소공간 시공가능<br>•gel상태의 seal제가 외부토사 및 지하수 등의 추가 침투방지 | •저압침투주입으로 원지반상태를 유지하며 교란없이 주입 가능<br>•소규모 장비 ➡ 협소공간 시공가능<br>•gel time 조절이 가능하며 packing효과로 인해 지반내 한정주입가능 | •컴퓨터 자동관리 시스템 도입으로 시공의 신뢰도 향상.<br>•P~q~t chart를 활용하여 지반특성과 주입유형을 판정함으로써 최적 시공조건 선정가능.<br>•경제적인 시공;적합한 재료선택, 과도한 주입 방지. | •시멘트 광물계사용으로 용탈현상 최소화 ➡ 내구성 및 환경성 확보<br>•소규모 장비로 협소공간 시공가능<br>•온도조절장치로 주입재 품질 유지, 겔타임조절 및 한랭기 시공<br>•염해에 대한 내구성 우수 | •현장조건에 따라 주입재료 및 주입방식 선택 가능<br>•소규모 장비 ➡ 협소공간 시공가능<br>•온도조절장치로 주입재 품질 유지, 겔타임조절 및 한랭기 시공 | •컴퓨터 자동관리 시스템 도입으로 시공의 신뢰도 향상.<br>•P~q~t chart를 활용하여 지반특성과 주입유형을 판정함으로써 최적 시공조건 선정가능.<br>•경제적인 시공;적합한 재료선택, 과도한 주입 방지. |
| | 단 점 | •세사 및 점토층에서 주입효과 떨어짐<br>•gel time 조절이 어려워 대수층, 지하수 유속이 빠른 경우 차수효과 불확실<br>•주입재의 용탈현상 등으로 내구성 저하 및 지하수 알칼리화 가능 | •세사 및 점토층에서 주입효과 떨어짐<br>•해수 또는 유속이 빠른 경우 주입재 유실발생가능 ➡ 주입효과 불확실<br>•물유리계 용탈현상 및 알칼리화 발생가능 ➡ 장기간의 차수효과에 불리하며 내구성과 환경성 저하 가능 | •세사 및 점토층에서 주입효과 떨어짐<br>•주입재의 용탈현상 등으로 내구성 및 강도저하 발생 가능<br>•용탈에 의한 알칼리화 발생 가능 | •물유리계에 비해 공사비가 고가임 | •온도조절장치 등의 증가로 추가적인 플랜트 시설 요구됨<br>•온도조절장치 등의 부대시설 증가로 시공관리 요구됨<br>•비교적 고가의 주입재<br>•염해에 대한 내구성 저하 | •물유리계에 비해 공사비가 고가이고 기술적 숙련 필요<br>•염해에 대한 내구성 저하 |
| 시공성 | 주입방식 | •1.5shot 저압주입(1~20kgf/cm$^2$)<br>통상 2~8kgf/cm$^2$ | •2.0shot 저압주입(1~20kgf/cm$^2$)<br>통상 4~8kgf/cm$^2$ | •2.0shot 저압주입(3~5kgf/cm$^2$) | •1.5/2.0shot 저압주입(4~8kgf/cm$^2$) | •1.5/2.0shot 저압주입(3~10kgf/cm$^2$) | •1.5/2.0shot 저압주입(3~10kgf/cm$^2$) |
| | 주입범위 | •ø0.8m ~ 1.2m | •ø0.8m ~ 1.2m | •ø0.8m ~ 1.2m | •ø0.8m ~ 1.2m | •ø0.8m ~ 1.2m | •ø0.8m ~ 1.2m |
| | 차수효과 | •k = 1×10$^{-4}$cm/sec 이하 | •k = 1×10$^{-4}$ ~ 10$^{-5}$cm/sec | •k = 1×10$^{-4}$ ~ 10$^{-6}$cm/sec | •k = 1×10$^{-6}$ ~ 10$^{-7}$cm/sec | •k = 1×10$^{-4}$ ~ 10$^{-6}$cm/sec | •k = 1×10$^{-4}$ ~ 10$^{-6}$cm/sec |
| | 적용지반 | •모든 토질 | •사질토, 점성토 | •모든 토질 | •모든 토질 | •모든 토질 | •모든 토질 |
| | 고결시간<br>(gel time) | 조절이 쉽지 않음(시멘트량으로 조절)<br>표준시간(sec) : 90 ~ 180 | 조절 용이<br>표준시간(sec) : 급결형 : 8 ~ 11<br>완결형 : 60 ~ 90 | 조절 용이<br>표준시간(sec) : 급결형 : 7 ~ 15<br>완결형 : 40 ~ 90 | 조절 용이<br>표준시간(sec) : 급결형 : 7 ~ 15<br>완결형 : 60 ~ 90 | 조절 용이<br>표준시간(sec) : 급결형 : 6 ~ 15<br>완결형 : 60 ~ 90 | 조절 용이<br>표준시간(sec) : 급결형 : 7 ~ 15<br>완결형 : 40 ~ 90 |
| | 장비규모 | •소규모 | •소규모, 3조교반시설 | •소규모, | •소규모, 4조교반시설, 항온유지장치 | •소규모, 3조교반시설, 항온유지장치 | •소규모 |
| 환경성 | 주입재료 | •A재(규산소다+물)+B재(시멘트+벤토나이트+물) | •A재(규산소다+물)+B재(시멘트+SGR약재(급결, 완결+물)) | •A재(활성실리카계 TPS)+B재(시멘트+물) | •A재(광물질 급결재)+B재(고분말 시멘트) | •A재(변성실리게이트, 무기질급결재)<br>+B재(시멘트-MCS) | •A재(무기계경화재 RH-1,2호(아윈계))<br>+B재(시멘트+물) |
| | slime | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 | 없음 |
| | 재료 유실 | •물유리계의 용탈 발생 가능 | •gel 타임 조절로 비교적 작음 | •비교적 적음 | •무기질 경화재 사용으로 없음 | •변형 무기질 경화재사용으로 없음 | •무기질 경화재 사용으로 없음 |
| | 진동·소음 | •비교적 작음 | •비교적 작음 | •비교적 작음 | •비교적 작음 | •비교적 작음 | •비교적 작음 |
| 내구성 | 주입재<br>강도 | •점성토 : 4~6kg/cm$^2$<br>•사질토 : 10~20kg/cm$^2$ | •homogel : 2~4kg/cm$^2$<br>•사질토 : 10~20kg/cm$^2$ | •homogel : 2~4kg/cm$^2$<br>•사질토 : 10~20kg/cm$^2$ | •초기강도 : 3~20kg/cm$^2$<br>•장기강도 : 최소 10kg/cm$^2$ | •무기질계 : 2~40kg/cm$^2$<br>•변성실리게이트계 : 최소 1~30kg/cm$^2$ | •초기강도 : 3~20kg/cm$^2$<br>•장기강도 : 최소 10kg/cm$^2$ |
| 경 제 성 | | •토 사 층 : 118,500원/m<br>•풍 화 암 : 77,300원/m | •토 사 층 : 79,000원/m<br>•풍 화 암 : 48,900원/m | •토 사 층 : 72,670원/m<br>•풍 화 암 : 51,680원/m | •토 사 층 : 99,010원/m<br>•풍 화 암 : 56,500원/m | •점 토 층 : 122,900원/m<br>•모 래 층 : 127,700원/m<br>•자 갈 층 : 150,600원/m<br>•풍 화 암 : 92,400원/m | •토 사 층 : 82,050원/m<br>•풍 화 암 : 55,200원/m |

## 2) 압력분사공법

| 구 분 | | JSP 공법<br>(Jumbo Specisl Pattern) | SCM 공법<br>(Specisl Chemical Grouting Method) | SQJ 공법<br>(Square Jet) | Twin-jet 공법<br>(초고압 급결 분사공법) | M-RJP 공법<br>(Micro Rodin Jet Pile) | SRC 공법<br>(Slime Reduced Column Jet Grouting) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 주입방식 | |  |  |  |  |  |  |
| 공법개요 | | •천공 후 이중관내 노즐로부터 고압의 주입재와 air jet를 분사하여 원지반을 교란, 절삭하면서 흙과 주입재를 교반시켜 원주상 고결체를 형성하는 공법 | •지반 천공 후 이중관 rod에 장착된 특수 선단장치의 스크류타입 노즐로 중압의 압력으로 분사·회전하면서 원지반을 개량시키는 공법 | •지중에 주입관 설치 후 주입관 선단부가 굴절하면서 고압수와 경화재를 분사시켜 절삭된 토사와 혼합기켜 사각형의 개량체를 조성하는 공법 | •지반조건에 따라 2,3,4중관방식으로 지반을 개량하는 급결식분사 혼합교반 공법. | •천공 후 이중관내 노즐로부터 고압의 주입재와 air jet를 분사하여 원지반을 교란, 절삭하면서 흙과 주입재를 교반시켜 원주상 고결체를 형성하는 공법 | •삼중관 rod로 지반 천공시 압축공기를 동반한 초고압수가 가진 높은 에너지를 이용하여 지반을 절삭, 이완시키며 배출되는 이토와 경화재를 혼합하여 재사용하여 공동을 혼합교반하는 공법 |
| 특 징 | 장 점 | •연약층(N<30)에 대한 개량효과 우수<br>•개량부분은 고강도 발현<br>➡ 지반보강효과 및 내구성 우수 | •특수선단장치로 절삭·이완시켜 혼합주입 ➡ 조밀한 세사, 실트질 점토에 차수 및 보강효과우수<br>•내구성약액을 사용하여 강도조기발현 | •특수전용장치에 의해 사각개량체 형상 및 두께 형성 ➡ 경제적 시공<br>•비교적 소형 장비 ➡ ø140mm 천공 | •대구경 양질개량체 확보<br>•친환경공법(slime 발생량 최소)<br>•자갈·전석층등 유속있는 지반에서 급결 분사 함으로서 차수성 양호. | •개량부분은 고강도 발현<br>➡ 지반보강효과 및 내구성 우수<br>•air-lift 작용으로 절삭토를 배출 | •지층조건별 균등한 개량체 확보 가능<br>•고강도의 우수한 개량체 형성<br>➡ 내구성 확보<br>•절삭이토 및 용수 재사용 ➡ slime 최소화 |
| | 단 점 | •유속이 빠른 자갈 및 전석층 주입재 유실 발생 가능<br>•시공장비가 대규모 및 공사비 고가<br>•slime에 의한 횡방향 유출 발생<br>•N>30 인 지층에서 보강효과 불확실<br>➡ 원지반 절삭이 어려우므로 구근형태 불량 | •비교적 중규모이상의 장비<br>•풍화암이상의 지층에 대해서 주입효과 떨어짐<br>➡ 주입전 충분한 지층 자료 필요<br>•주입 확산범위가 적어서 천공비가 증가 | •인접지반 영향 유무에 대한 지속적인 관리 필요<br>•시공시 발생 슬라임 처리대책 필요<br>•풍화암이상 지층에서는 시공시 벽체 형성 어려움 | •시공장비의 중대형화(desander plant)로 인한 점유면적 증가 및 시공성 결여<br>•공사비 고가 | •유속이 빠른 자갈 및 전석층 주입재 유실 발생 가능<br>•시공장비가 대규모 및 공사비 고가<br>•slime에 의한 횡방향 유출 발생<br>•N>30이상 지층에서는 균질한 구근형성 어려움 | •시공장비의 중대형화(desander plant)로 인한 점유면적 증가 및 시공성 결여<br>•N>30이상 지층에서는 균질한 구근형성 어려움<br>•시공장비 및 특허관련기술료 등으로 인한 공사비 고가 |
| 시공성 | 주입방식 | •고압주입(200~400kgf/cm²) | •2.0shot 중압주입(50~200kgf/cm²) | •고압주입(0~400kgf/cm²) | •고압주입(200~400kgf/cm²) | •고압주입(300~600kgf/cm²) | •고압주입(400kgf/cm² 이상) |
| | 주입범위 | •ø0.8m ~ 1.2m(고압분사) | •ø0.3m ~ 0.5m(혼합주입) | •0.2m~1.0cm 벽체조성(고압분사) | •ø0.6m ~ 3.5m(고압분사) | •ø0.8m ~ 1.2m(고압분사) | •ø1.0m~1.5m(고압분사 및 치환) |
| | 차수효과 | •k = 1×10⁻⁵ ~ 10⁻⁶cm/sec | •k = 1×10⁻⁵ ~ 10⁻⁶cm/sec | •k = 1×10⁻⁶ ~ 10⁻⁷cm/sec | •k = 1×10⁻⁵ ~ 10⁻⁷cm/sec | •k = 1×10⁻⁶ ~ 10⁻⁷cm/sec | •k = 1×10⁻⁶ ~ 10⁻⁷cm/sec |
| | 적용지반 | •사질토, 점성토(N<30) | •모든 토질 | •모든 토질 | •모든 토질 | •사질토, 점성토 | •모든 토질 |
| | 양생시간 | 조절 불가 | 조절 어려움 | 조절 어려움 | 조절 어려움 | 조절 불가 | 조절 불가 |
| | | 24hr | 표준시간 120~180sec | 보통 24hr | 보통 24hr | 24hr | 24hr |
| | 장비규모 | •비교적 대규모 | •중규모 | •중규모 | •중규모 | •대규모 | •대규모 |
| 환경성 | 주입재료 | •일반:시멘트+물(paste) | •일반:내구성약액 +시멘트 | •일반:시멘트+물(paste) | •일반:시멘트+급결혼합액 | •일반:시멘트+물(paste)+혼화재(필요시) | •일반:시멘트+물(paste) |
| | slime | •slime, 고압수 유출 가능 | 없음 | 보통 | 보통 | 많음 | 보통 |
| | 재료유실 | •지하수 흐름시 고결시간이 늦어지므로 주입재 유실발생 가능 | •내구성약액으로 조기강도 발현하므로 유실량 적음 | •지하수 흐름시 고결시간이 늦어지므로 주입재 유실발생 가능 | •급결분사방식으로 신속한 개량체가 형성되므로 유실량 적음 | •지하수 흐름시 고결시간이 늦어지므로 주입재 유실발생 가능 | •지하수 흐름시 고결시간이 늦어지므로 주입재 유실발생 가능 |
| | 진동·소음 | 보통 | 보통 | 보통 | 보통 | 많음 | 비교적 적음 |
| 내구성 | 주입재 강 도 | •점성토 : 20~40kg/cm²<br>•사질토 : 40~90kg/cm² | •15~50kg/cm² | •점성토 : 10~40kg/cm²<br>•사질토 : 30~100kg/cm² | •점성토 : 20~40kg/cm²<br>•사질토 : 60~100kg/cm² | •점성토 : 10~40kg/cm²<br>•사질토 : 30~100kg/cm² | •점성토 : 10~40kg/cm²<br>•사질토 : 30~100kg/cm² |
| 경 제 성 | | •토 사 층 : 166,300원/m<br>•풍 화 암 : 204,000원/m<br>•연 암 : 236,600원/m | •토 사 층 : 50,700원/m<br>•모 래 층 : 55,800원/m<br>•풍 화 토 : 76,500원/m<br>•풍 화 암 : 86,300원/m | •토 사 층 : 209,000원/m<br>•풍 화 암 : 250,000원/m<br>•연 암 층 : 410,000원/m | •점 토 층 : 122,800원/m<br>•모 래 층 : 167,600원/m<br>•자 갈 층 : 263,800원/m | •점 토 층 : 178,800원/m<br>•모 래 층 : 188,000원/m<br>•풍 화 토 : 198,000원/m<br>•풍 화 암 : 208,000원/m | •점 토 층 : 184,900원/m<br>•모 래 층 : 184,900원/m<br>•풍 화 토 : 150,700원/m<br>•풍 화 암 : 150,700원/m |