

고압분사공법에 의한 지반개량에 관한 연구

A Study on Soil Improvement by Using High Pressure Grouting

유장현¹⁾, Jang-Heun Yoo, 조남준²⁾, Nam-Jun Cho

¹⁾국민대학교 건설시스템공학부 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil & Environ Eng, kookmin Univ.

²⁾국민대학교 건설시스템공학부 부교수, Associate Prof, Dept. of Civil & Environ Eng, Kookmin Univ.

SYNOPSIS : U.J.S.(Ultra Jetting System) is a new ground improvement method registered as a Utility Model No.0205798, which has fundamentally improved the existing jetting method of J.S.P.(Jumbo Special Pattern System). In this study, the uniaxial compressive strengths of improved soil-grout structures by U.J.S. and J.S.P. which have been conducted on the construction site are compared. Also, the differences between the U.J.S. and J.S.P. are analyzed by considering the role of the auger bit, the injection distance measured from the axis of boring tubes, and angle of injection measured from the horizontal. The specimens of soil-grout structures are taken from the improved soils by using the U.J.S. and J.S.P. The uniaxial tests for the samples are conducted after the curing period of 28 days. The uniaxial compressive strengths and the coefficients of elasticity of surface and distance from the axis of boring. This study shows that the mean strength of the improved structure by U.J.S. is 1.9 times greater than by J.S.P.

Key words : U.J.S., J.S.P., the uniaxial compressive strengths, the coefficients of elasticity

1. 서 론

현재 연약지반의 개량 및 구조물 기초지반의 보강을 위하여 약액주입공법 및 고압분사주입공법등의 주입공법이 널리 행해지고 있는 실정이다. 대표적인 단관분사주입공법 (C.C.P.공법), 2중관분사주입공법(J.S.P. U.J.S.공법), 3중관분사주입공법 (R.J.P.공법)에 의해 조성된 개량체들의 역학적 시험을 통한 일축압축강도 시험, 탄성계수 등의 관계를 비교 분석하여 공법들의 장단점을 밝히고, 또한 단점들을 보완하여 개발된 공법 (U.J.S.공법)에 의해 조성된 개량체들의 장단점을 밝히고, 또한 단점들을 보완하여 개발된 공법 (U.J.S.공법)에 대한 이론적인 배경 및 구조체의 이론적인 배경 및 구조체의 성분을 평가하는 방법을 질량보존법칙을 이용한 질량균형근접법과 질량균 형식을 이용하여 정리하였다.

특히, 기초로써의 적용효과를 판단하기 위해서 현장시험시공을 실시한 후 시료를 채취하여서 역학적 실험을 하였다. 또한 실험을 토대로 얻어진 데이터 (2중관분사주입공법 중 J.S.P. 공법과 U.J.S.공법의 일축압축강도 및 탄성계수)를 비교 분석함으로써 개선된 공법의 효용성을 확인하고 설계적용사례를 정리 하였다.

2. 시험시공 결과 및 고찰

2.1 현장지반조사 및 물성치 실험

2.1.1 시험시공의 위치

시험시공은 2002년 4월 15일에 서울시 중랑천 한천교가 부근에 시험시공 하였다. 본 현장은 교각보강

공사를 위해서 R.J.P.공법으로 공사를 실시하였으며 교각부근 10m 떨어진 지점에서 시험시공을 하였다. 본 지역은 지반개량 및 기초보강공사에 자주 쓰이는 지층상대 및 토질을 가지고 있으며 또한 대한민국 지질도 형식으로 보아 유라기 화강암층에 속해 개량지역에 있어서 최적의 조건을 가진 지역이다.

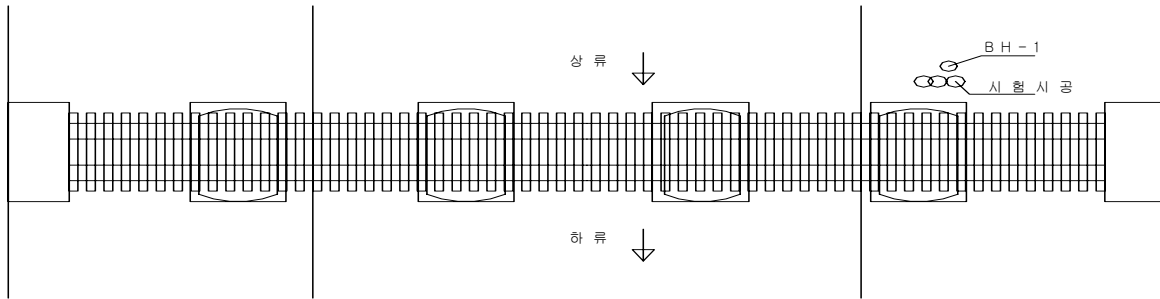
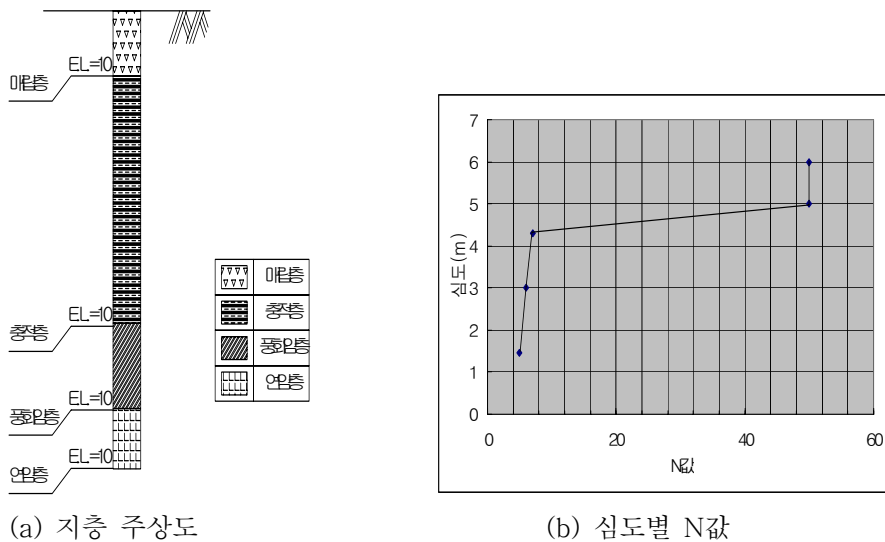


그림 1. 한천교 시험시공 위치도

2.1.2 현장지반조사

본 연구에서 대상으로 한 J.S.P. 및 U.J.S.의 시험시공현장 지반조건은 그림 2. (a)와 같이 매립층, 충적층, 풍화암층, 연암층의 순으로 지층이 형성되어 있으며, 일반적인 지반개량심도 충적층까지 시험시공을 실시하였다. 시공은 지반여건에 따라 차이를 보일 수 있으나 각 공법의 특별시방서를 근거로 하여 시공하였다. 또한 지반여건도 대표적 지반보강을 하는 사질토와 사석이 섞여 있는 지반을 택하였다. 이러한 지층에서 표준관입시험 N치도 개량심도까지 10이하의 느슨한 지층의 이루고 있는 것으로 조사되었다. 그리고 개량심도 이의 풍화암층과 연암층은 N치가 50정도의 매우 단단한 지층으로 구성되어 있으므로 개량체 구성에 있어서 제외하였다. 이러한 지층의 주상도 및 심도별 N치를 그림 2. (b)에 제시하였다.



(a) 지층 주상도

(b) 심도별 N값

그림 2. 시험시공현장 (한천교)의 지층 주상도 및 심도별 N값

시험시공을 한 중랑천의 지반의 대표적인 지층분포를 가진 지반으로 일반토층, 풍화암층, 연암층으로 구분되며, 각 지층을 경계로 하여 N값이 공통적으로 증가하는 경향이 있으므로 지층 조건을 3개층으로 구성하였다. 하지만 시험시공에 있어서 N치가 매우 큰 연암층에서는 개량체구성에서 제외하였으므로 시험시공 개량체는 2개층으로 구성되었다.

표 1. 지층분포 및 N값

시추공번	지층번호	구성성분	심도 (m)	두께 (m)	N치 (회/cm) TCR/RQD	비고
BH-1	일반토층	실트질모래 (SM)	0.00~0.40	4.40	5/3~7/30	S.P.T.
	풍화암층	기반암인 화강암질 편마암인 풍화암 (WR)	4.40~5.30	1.90	50/4~50/3	S.P.T.
	연암층	기반암인 화강암질 편마암인 연암 (SR)	5.3~6.3	1.00	35~90/0	T.C.R/ R.Q.D.

2.1.3 지반의 물성 실험

초고압 분사공법에 의해 조성된 개량체는 흙과 시멘트로 구성되어 있기 때문에 지반이 성질에 따라서 개량체의 강도 및 투수성이 크게 좌우된다. 시험시공의 지역은 일반적으로 고압분사 주입공법을 적용하는 대표적인 지반으로 실트질 모래 지반이다.

현장 조사 시 표준관입시험에 의해 채취된 시료 중 대표적인 시료를 선정하여 실내시험을 실시하여 지반의 물리적 특성을 파악하였다. 그 결과치를 보면 다음과 같다.

표 2. 지반물성 결과

분류 구분	심도 (m)	함수비W s (%)	비중 Gs	액성한 계LL (%)	소성한 계PL (%)	#4체 통과량 (%)	#10체 통과량 (%)	#40체 통과량 (%)	#200체 통과량 (%)	0.005 (mm)	USCS

2.1.4 코어 채취

공법별 (J.S.P. U.J.S.)로 시험시공을 하여 일축압축강도를 측정하기 위해서 시료를 채취하였다. 이는 단순한 강도변화를 보기 위함이 아니라 개량체의 위치를 따른 강도의 변화와 깊이에 따른 강도의 변화를 공법별로 비교·분석하기 위해서이다. 시료는 다음과 같이 채취하여 일축압축강도를 측정하였다.

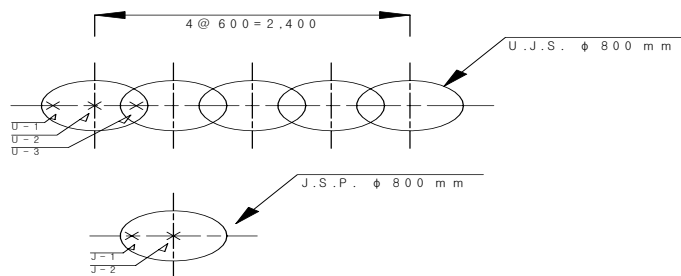


그림 3. 시험시공 평면도

U.J.S.공법은 주열식으로 시공을 하였으므로 개량체의 좌측, 중간 우측 (3공)을 보링하여 코어를 채취 하였으며, J.S.P.공법은 2공을 채취 하였다. 이는 공법별로 위치별 강도가 다르기 때문인데, 후자의 경우는 노즐의 직적 지반을 절삭하여 혼합하기 때문에 개량체가 분사절삭 혼합부인데 반해 전자의 경우는 중심축에서 오거에 의한 강제 혼합교반부와 확대경인 분사 절삭 혼합부가 있어서 공법별로 그리고 위치별로 큰 차이를 보이게 된다.

2.2 일축압축강도 및 변형계수 결과 및 분석

2.2.1 일축압축강도

고압분사주입공법(J.S.P. U.S.P.)에 의해 조성된 지반개량체의 강도특성을 알아보기 위해 시험 시공된 지반개량체의 시료를 채취하여 일축압축강도시험을 실시하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다. 또한 동일 지역은 아니지만 유사한 지역에서 시험시공한 결과는 다음 표 3. 와 같이 나타내었다.

표 3. 시험시공(1)지역 일축압축강도시험 결과표

구 분	코어번호	심도 (cm)	직경 (cm)	면적 (cm ²)	높이 (cm)	Peak tf	압축강도 (kgf/cm ²)	E ₅₀ GPA
U.J.S.	U1-49	49	5.19	21.14	10.10	1.80	85	22
	U1-78	78	5.15	20.82	9.30	1.87	90	29
	U1-108	108	5.13	20.66	10.13	1.65	80	24
	U2-44	44	5.15	20.82	10.12	1.70	82	21
	U2-120	120	5.20	21.23	10.10	1.70	80	9
	U2-162	162	5.18	21.06	10.20	2.03	96	11
	U3-26	26	5.20	21.23	9.70	1.73	82	14
	U3-76	76	5.18	21.03	9.60	1.73	82	7
J.S.P.	U3-145	145	5.21	21.31	9.50	1.86	87	9
	J1-57	57	5.13	20.66	10.55	0.53	26	13
	J1-111	111	5.20	21.23	10.30	1.75	82	7
	J1-189	189	5.20	21.23	9.85	0.79	37	2
	J2-50	50	5.21	21.31	10.00	0.64	30	1
	J2-100	100	5.22	21.39	7.95	1.08	50	2

중량천에서 시험시공한 지반개량체의 일축압축강도시험 결과는 표 5와 같다. 표에서 보는 바와 같이 U.J.S.공법에 의한 개량체의 강도는 82~96 kgf/cm² (평균 약 85±5.18kgf/cm²)의 범위에 있으며 J.S.P.공법에 의한 개량체의 강도는 26~82 kgf/cm² (평균 45±20.17kgf/cm²)의 범위에 있는 것으로 나타났다. 따라서 U.J.S.공법에 의해 조성된 개량체의 강도가 J.S.P.공법에 의해 조성된 개량체의 강도보다 약 1.9배 정도 크게 나타났다. 한편 표준편차의 범위는 U.J.S.공법의 개량체가 J.S.P.공법보다 훨씬 균질하게 조성됨을 알 수 있다.

한편, 지반조건이 유사한 지역에서 시험시공을 한 U.J.S.공법에 의해 조성된 개량체의 강도는 55~162 kgf/cm² (평균 97kgf/cm²)로 조사되었다. 이는 다른 2중관고압분사공법의 일축압축강도보다 훨씬 높은 수치로서 지반개량에서의 주입공법의 사용뿐만 아니라 말뚝기초로서의 주입공법을 적용가능하게 하였다.

표 4. 시험시공 (2) 일축압축강도 시험 결과표

구 분	코어번호	심도 (m)	시료크기 (cm ×cm)	일축압축강도 (kgf/cm ²)
U.J.S.	BH1- 6	6	5×10	162
	BH1-12	12	5×10	55
	BH1-18	18	5×10	81
	BH2- 3	3	5×10	87
	BH2- 6	6	5×10	101
	BH2-10	10	5×10	91

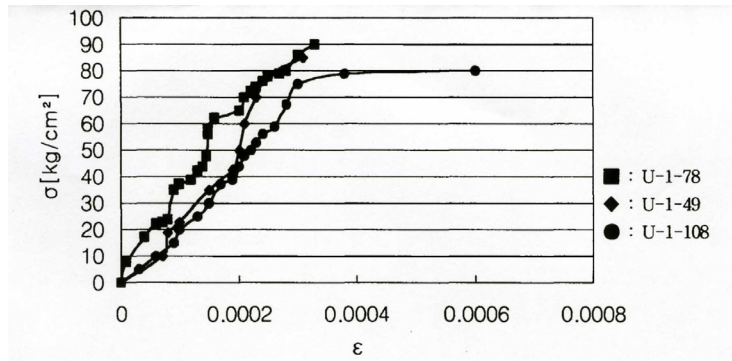


그림 5. U.J.S. 공법에 의한 시료(1)의 응력 - 변형률곡선

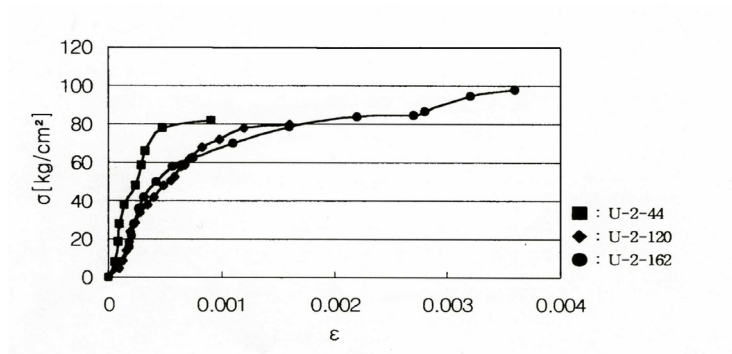


그림 6. U.J.S. 공법에 의한 시료(2)의 응력 - 변형률곡선

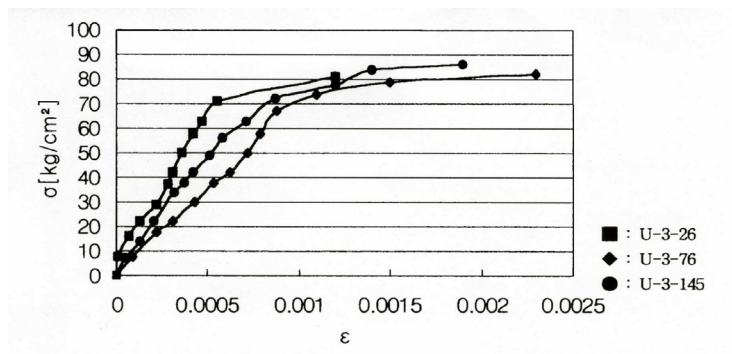


그림 7. U.J.S. 공법에 의한 시료(3)의 응력 - 변형률곡선

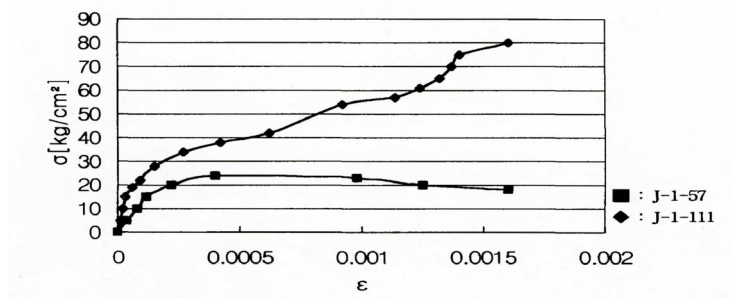


그림 8. J.S.P. 공법에 의한 시료(1)의 응력 - 변형률곡선

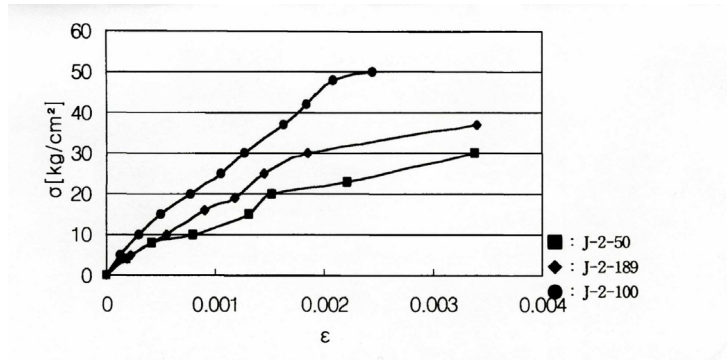


그림 9. J.S.P. 공법에 의한 시료(2)의 응력 - 변형률곡선

2.2.2 변형특성

시험시공 된 지반개량체에서 채취된 일축압축강도 시험의 응력-변형률 곡선에서 얻은 변형계수 (E_{50})를 개량심도에 따라 도시하면 다음과 같다.

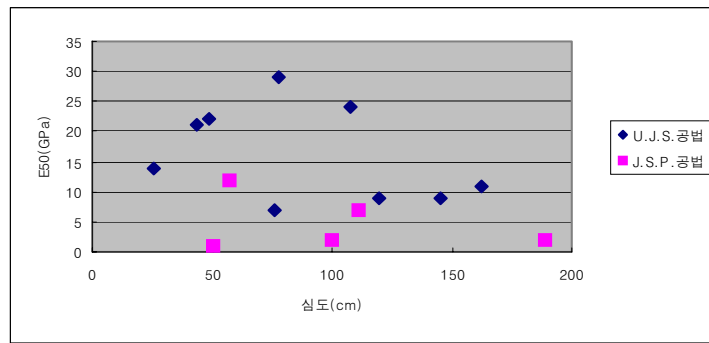


그림 10. 개량심도에 따른 변형계수 분포도

상기 그림에서 보면 U.J.S.공법과 J.S.P.공법에 의한 개량체의 변형계수는 깊이에 따라서 증가하거나 감소하는 분포를 보이지 않고 상당히 분석하기 힘든 상태를 나타내고 있다. 이는 시공 시 토립자가 주입재와 혼합되어 개량체의 시공정도가 양호하지 못한 경우 또는 지반개량 시 원지반의 토립자가 완전히 치환되지 않는 상태로 개량체에 혼입되어 있었기 때문이라고 사료된다. 하지만 그림 7에 도시된 개량심도에 따른 변형 계수 분포와 그림 4에 도시된 개량심도에 따른 일축압축강도 분포를 비교하여 보면 거의 비슷한 분포형태를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서 일축압축강도와 변형계수는 비례의 관계가 있다고 볼 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 개선된 2중관분사주입공법 (U.S.P.)의 효용성에 대한 연구를 위하여 J.S.P.공법과 U.J.S.공법을 시험 시공하였다. 시험결과 얻어진 시료에 대해 일축압축시험을 실시하여 일축압축강도 및 타성계수를 각 공법별로 비교·분석 하였다. 2중관분사주입공법에 의해 조성된 개량체에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. U.J.S.공법에 의한 개량체의 강도는 $82\sim 96 \text{ kgf/cm}^2$ (평균 약 85kgf/cm^2)의 범위에 있으며, J.S.P.공법에 의한 개량체의 강도는 $26\sim 28 \text{ kgf/cm}^2$ (평균 45kgf/cm^2)의 범위에 있는 것으로 나타났다. 따라서 U.J.S.공법에 의해 조성된 개량체의 강도가 J.S.P.공법에 의해 조성된 개량체의 강도보다 약 1.9배 정도 크게 나타났다. 이는 U.J.S.공법의 구조적인 메카니즘인 룯드선단장치에 의한 유효경의 확대 및 하향분사로 인한 개량

체가 역학적으로 높은 강도를 가지기 때문이라고 사료된다.

2. U.J.S.공법의 경우 변형계수는 50,000~300,000 kgf/cm²이고, J.S.P.공법의 경우는 20,000~140,000 kgf/cm²의 범위에 분포하고 있다. U.J.S.공법에 의한 개량체가 J.S.P.공법에 의해 조성된 개량체보다 약 3배 정도 큰 것으로 나타나 일축압축강도가 크면 변형계수가 커지는 상호 비례관계가 있음을 알 수 있다.

3. 개량체의 변형계수와 일축압축강도의 관계에서 U.J.S.공법의 변형계수는 일축압축강도의 750~3,500배 사이에 분포하고 있었으며 J.S.P.공법의 경우의 변형계수는 일축압축강도의 180~900배 사이에 분포하고 있었음을 알 수 있었다. 결국 U.J.S.공법이 J.S.P.공법보다 약 4배 정도 크다는 것을 알 수 있었다. 이러한 비교·분석을 통하여 U.J.S.공법과 J.S.P.공법을 비교하여 볼 때 U.J.S.공법의 지반개량효과가 J.S.P.공법보다 훨씬 양호하다고 판단할 수 있다.

4. 시험시공을 통하여 얻어진 개량체의 일축압축강도의 표준편차의 범위를 보면 U.J.S.공법의 경우 ± 5.18 인데 비해 ± 20.17 로 표준편차의 범위가 넓게 나타났다. 결국 U.J.S.공법의 개량체가 J.S.P.공법보다 훨씬 균질하게 조성됨을 알 수 있다.

5. 시험시공을 통하여 얻어진 개량체의 위치에 따른 일축압축강도는 U-1시료인 경우 평균 84 kgf/cm²이고 U-2시료인 경우는 86 kgf/cm²이며 U-3시료인 경우는 83 kgf/cm²으로 나타났다. 이는 U.J.S.공법의 구조적 메카니즘인 오거로써 지반을 강제적으로 혼합교반하며 개량체 중심부는 U.J.S.선단장치에 의해 강제치환 되기 때문에 선단장치의 직경만큼 균질한 개량체가 형성되어 강도가 크게 나왔다고 판단된다.

6. 개선된 공법(U.J.S.공법)의 현장적용효과를 검증하기 위해서는 투수시험 및 재하시험 등의 현장시험과 지반의 상태 및 지하수위에 따른 개량체의 강도에 관한확인에 대해서는 추후 연구·개발이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 홍원표, 윤중만, 김동욱(1977), "고압분사주입공법에 의하여 개량된 지반의 역학적 특성", 대한토목학회 논문집, 제17권, 제III-4호, pp.415~423.
2. 건설산업연구소 (1993), "SIG공 공사비 산정에 관한 연구보고서", 과학기술, pp.21~25.
3. 김명모, 김홍택(1992), "흙막이 구조물(II)", 한국지반공학회지, Vol. 8, No, 1, pp.107~135.
4. 한국기초기술(주)(2002), "U.J.S.공법 기술자료"
5. 천병식(1995), "건설기술자를 위한 지반주입공법", 원기술, pp.157~163.
6. 홍원표(1995), "주입공법", 중앙대학교 출판부, pp.250~257.
7. Bell, A. L.(1993), "Ground Improvement", Edited by Moseley, M.P., CRC Press Inc., pp.149~174.
8. Kutzner, C.(1996), "Grouting of Rock and Soil, Balkema, pp.221~241.
9. Bell, A. L.(1992), "Grouting in the Ground". Thomas Telford, pp.525~538.
10. Warner, J.(1978), "Compaction Grouting - A Significant Case History", P. of ASCE, J. of SMFE, Vol. 104, GT7, pp.837~842.
11. Yohiro, T. and Yoshida, H.(1973), "Induction Grouting Method Utilizing High Speed Water Jet, Proceedings of The Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineer, pp.402~404.
12. Yoshiomi Ichigashi, Mitsuhiro Shibazaki, Hiroaki Kubo, Masahiro Iji, And Akiro Mori(1985), "Jet Grouting in Airport Construction", Grouting, Improvement Soil and Geosynthetics Edited by Roy H. Borden, Robert D. Holtz and Iian Juran, ASCE, Vol. 1, pp.182~193.