Journal of the Korean Geo-Environmental Society
16(8): 5～12. (August, 2015) http://www.kges.or.kr
ISSN 1598-0820
DOI http://dx.doi.org/10.14481/jkges.2015.16.8.5

투수성이 높은 화산쇄설층에서 부력앵커 시공을 위한 단일공 차수공법 (C-RJP Grouting)의 적용성에 관한 연구

A Applicability Study on Single Grouted Column Method (C-RJP Grouting) for Buoyancy-Resistant Permanent Anchor in Highly Permeable Volcanic Clastic Zones

정 용 건† · 채 영 수[1] · 박 병 희[2] · 김 정 열[3]
Yonggun Jung · Youngsu Chae · Byunghee Park · Jeongryeol Kim

Received: March 16th, 2015; Revised: March 18th, 2015; Accepted: July 6th, 2015

ABSTRACT : In this study, buoyancy-resistance permanent anchor was considered to prevent uplift pressure of a building structure. However, this test was failed to put anchor body in the boring hole because of the rapid outflow of ground water and coefficient of permeability. In addition, the hole where the anchor body was forcefully inserted constantly flew the sea water and cement. And it was found that anchor was not settled in the ground. In order to solve this problem, jet grouting method was applied to block the ground water and the single grouted column method was chosen to install the buoyancy-resistance permanent anchor. In this paper, the single grouted column method was applied with the general jet grouting methods and grout material was fixed by 3-field tests. These tests confirmed the effect of permeability and ground improvement with field permeability test by core sampling, Standard Penetration Test (SPT) and unconfined compression test. Confirming the stability of the buoyancy-resistance permanent anchor with installation and tension test, application of the single grouted column method in the volcanic clastic zones was verified.

Keywords : Permeable, Volcanic clastic zones, Single grouted column method, Buoyancy-resistant permanent anchor

요 지 : 연구대상은 건축물에 지하부의 이용 극대화 목적으로 지하부의 부력에 대한 부력 저항용 앵커를 고려하였다. 그러나 투수계수가 크고 지하수 유속이 빠른 화산쇄설층에서 앵커 천공부를 통해 지하수가 급격히 유출되어 앵커체 삽입이 불가능하였다. 또한 억지로 삽입된 앵커공에서는 계속적으로 많은 양의 해수와 시멘트가 유출되었으며, 앵커의 일부는 지반에 정착이 되지 않는 현상이 발견되었다. 이러한 문제를 해결하기 위한 지하수 차단방법으로 초고압 분사교반 공법을 적용하였고, 그중 단일공 차수방법을 채택하여 부력방지앵커를 설치하였다. 본 연구에서는 초고압 분사교반 공법을 이용한 단일공 차수방법을 현장에 적용하고 3회에 걸친 시험시공을 통해 본 시공 시험에 적용할 주입재를 결정하였고 투수시험, 코어채취 표준관입시험 일축압축강도시험을 통하여 차수효과 및 지반개량 정도를 확인하였다. 또한 부력방지앵커의 설치 및 인장시험을 통해 앵커의 안정성을 확보하여 화산쇄설층에서 단일 차수공법의 적용성을 검증하였다.

주요어 : 투수성, 화산쇄설층, 단일공 차수공법, 부력앵커

1. 서 론

본 현장은 제주 북부 중앙해안매립지로 매립층 하부는 전형적인 제주도 특유의 화산지층지대이다. 이 지역의 화산쇄설층은 모래, 화산재, 화산암괴 등으로 이루어져 있고 암반층으로 인해 투수계수가 크고 지하유속이 빠르다. 해안매립지에 큰 규모의 지하구조물이 건설될 경우, 지하수위 아랫부분에서 상향의 양압력인 부력이 발생하게 되는데 본 현장에서는 건축구조물이 부력에 안전하도록 부력 저항용 앵커를 채택하였다. 그러나 앵커를 시공 시 앵커 천공부를 통해 피압수가 급격히 유출되어 앵커체 삽입이 불가능하였고, 억지로 삽입된 앵커공에서 계속적으로 많은 양의 해수와 시멘트가 유출되어 앵커 일부가 정착되지 않는 현상이 발견되었다.

따라서 본 연구는 앵커 천공부를 통해 유출되는 지하수를 차단하고, 앵커를 정착시키기 위하여 초고압 분사교반 공법을 이용한 단일공 차수공법(C-RJP Grouting)을 현장에 적용하고 지반 차수효과 및 개량 정도를 확인하였다. 또한

† Department of Civil Engineering, The University of Suwon (Corresponding Author : gun0818@nate.com)
1) Department of Civil Engineering, The University of Suwon
2) Chung-Ah Engineering Consultants Co., Ltd.
3) Samwoo Geo-Tech Co., Ltd.

앵커를 설치하고 인장시험을 실시하여 앵커의 안정성을 확인하였다.

2. 이론적 배경

2.1 고압분사 주입공법의 개요

고압분사 주입공법은 지반개량, 지수벽, 흙막이 벽, 기초 보강말뚝의 목적으로 많이 사용되고 있으며, 이 중에서 지반고결(지반개량)의 이용이 60% 이상을 차지하고 있다.

따라서 고압분사 주입공법은 지수 및 지반강화를 목적으로 개발되어 대심도 굴착공사에 있어 사질토 지반에 대해서는 지수목적으로 연약한 점성토 지반에서는 지반강화를 목적으로 사용되고 있다. 또한 약액주입공법으로 시공이 곤란한 지층에 대해서 확실한 지반개량이 가능하다고 인정되어 많이 사용되고 있다(Chun, 2012).

2.2 고압분사 주입공법의 종류

굴착공사의 보조공법으로 고압분사 주입공법은 확실한 고강도가 얻어지는 점에서 많은 성과를 올리고 있다. 고압분사 주입공법은 분사 메커니즘, 사용기계, 분사압력, 시공방법에 따라 1) CCP 공법, 2) JSP 공법, 3) RJP 공법, 세 가지 공법으로 분류되고 있다.

1) CCP(Chemical Churning Pile) 공법은 단관을 사용해서 경화재를 분사시켜 지반을 절삭하고 롯드를 회전, 상승시킴으로써 개량체를 조성하는 공법이다.
2) JSP(Jumbo Special Pattern) 공법은 2중관을 사용해서 경화재와 공기를 분사시켜 지반을 절삭하고 롯드를 회전, 상승시킴으로써 개량체를 조성하는 공법이다.
3) RJP(Rodin Jet Pile) 공법은 3중관을 사용해서 물과 공기를 분사시켜 지반을 절삭하고 롯드를 회전, 상승시키면서 하단부터 경화재(경화재+공기)를 충진 시킴으로써 개량체를 조성하는 공법이다(Chun, 2011).

2.3 단일공 차수공법(C-RJP Grouting)

2.3.1 개요

본 공법은 종전에 2중관을 사용하여 Cement Paste와 압축공기를 각각 200kgf/cm^2, 7kgf/cm^2 압력으로 분사하여 원지반 토사를 Cement Paste와 일부 혼합, 일부 치환하는 JSP 공법을 개량한 공법으로 RJP 공법이라 한다. RJP 공법은 3중관을 사용하고 Cement Paste와 물은 300~600kgf/cm^2, 압축공기는 7~15kgf/cm^2 압력으로 회전 분사시킨다.

RJP 공법은 JSP 공법보다 유효경이 크고(ϕ800mm → ϕ1,200mm~ϕ2,500mm) 혼화제를 섞어 쓸 수 있는 장점이 있다. RJP 공법은 1) Micro - RJP 공법, 2) Chemical M-RJP, 3) C-RJP 공법으로 분류되며, Micro-RJP 공법은 분사시간을 조절하여 유효직경 크기를 조절할 수 있고 표준 규격(ϕ2,500mm) 보다 줄여 시공(ϕ1,500mm 이하) 할 수 있으며 여기에 화학적인 혼화제를 섞으면 Chemical M-RJP라 한다. C-RJP 공법은 경화재 혹은 분출수를 고압으로 일정한 방향으로 분출시킴으로써 이 분류체가 가진 운동에너지에 의해 지반을 절삭 파괴하는 동시에 절삭된 원지반의 토립자와 경화재를 혼합 교반하거나 치환하여 지중에 원주상의 지반개량체를 조성하는 것이다.

본 연구에 적용된 C-RJP 공법은 3중관 Rod를 사용하며 모니터 상·하에 정착되어 있는 2개의 노즐을 사용하되 상부 노즐은 1차 혼합교반 절삭용으로 공기와 급결제를 분사하고, 하부 노즐로는 공기와 시멘트 경화제를 지반조건과 개량체의 설계조건에 맞추어 각각 300~600kgf/cm^2 압력으로 지중에 분사시켜 직경 ϕ1,200mm의 원주형 고결체를 형성하는 공법이다. RJP, M-RJP 공법과 같이 3중관 Rod를 사용하나, 상·하부 노즐 중 한 개의 노즐에서 지반 절삭용수 분사대신 지하수 이동이 빠른 지중에 급결제를 분사하여 경화재를 급결시켜 개량체를 조성한다.

2.3.2 공법 모식도

단일공 차수공법(C-RJP Grouting)의 분류구조 흐름의 모델은 Fig. 1에 나타내었으며, 고압분사 노즐의 모양은 Fig. 2와 같다. 또한 절삭방법 모식도는 Fig. 3과 같다.

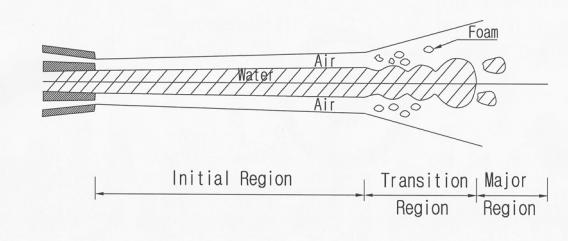

Fig. 1. Classification structure flow model of C-RJP method

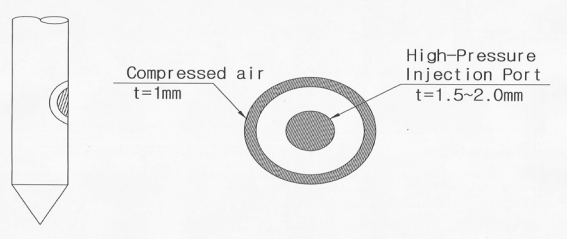

Fig. 2. The shape of the high-pressure spray nozzle

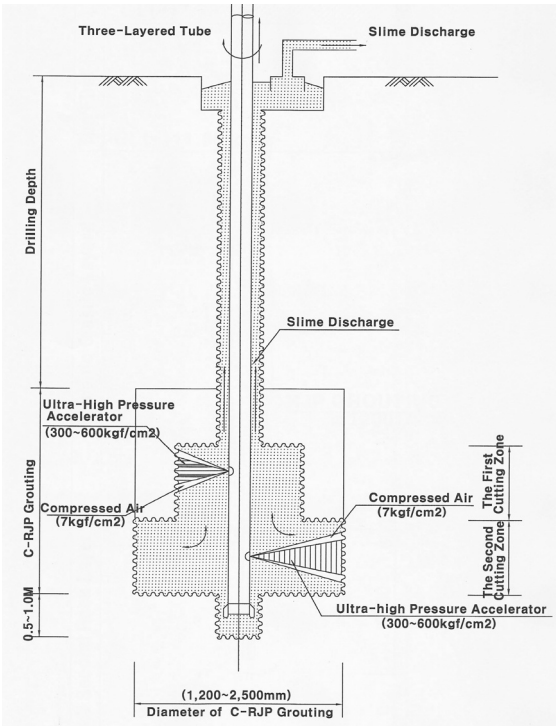

Fig. 3. C-RJP cutting method schematic view

Fig. 4. The view during construction

Fig. 5. The view after construction

3. 현장 적용 시험

3.1 개요

초고압 분사교반 공법을 이용한 단일공 차수방법의 차수효과 및 지반개량 효과를 확인하기 위하여 시험을 수행할 장소는 제주도 북부 중앙 해안에 위치한 특급호텔 건설 현장이다. 이 장소는 조석간만의 차이가 있어 주기적으로 침수가 되는 지역이었으나, 제방을 축조하여 조성된 탑동 2차 매립지역으로 행정 구역상 제주도 삼도 2동 1254번지에 위치하고 있다. 현장의 시공 당시의 사진은 Fig. 4이며, 시공완료 후의 사진은 Fig. 5와 같다.

3.2 지반조사

본 부지는 원래 제주도 북중앙해안에서 200m 정도 떨어진 바다였으며 매립개발에 의해 조성된 매립지로서 제주도에서 유일한 개펄지역이었다. 매립공사는 1980년에 시작되어 1990년에 완료되었고 제주도지역의 전형적인 현무암 암괴, 돌 부스러기, 토사 등으로 매립되었으며, 지하수위는 파도의 영향을 받아 해안가의 지하수위는 해수면보다 높은 상태이다.

또한 제주도 지역의 지질은 신생대 제3기로부터 고려조까지 화산활동이 있었던 지역으로서 대·소화산이 수십 차례 폭발하여 생성된 용암층과 화산분출물 퇴적층으로 이루어져 있다. 화산 폭발이 한 번에 이루어진 것이 아니며 간헐적으로 장기간에 걸쳐 화산재, 각력암, 암괴 등으로 이루어진 화산분출물이 지표에 퇴적된 다음 그 상부에 용암이 흘러 굳어진 현상이 반복되어 있다. 화산분출물 퇴적층과 용암암반층이 수십 단의 층으로 형성되어 있는 지역이다. 특히 기반암인 암반층은 서귀포 해안지역과 같은 육각형 모양의 암반 수직절리가 발달되어 있어 암반층에서도 많은 지하수가 유입되고 있다.

지반조사 결과, 지층의 구조는 조사지역 최상부로부터 매립토층, 제1 암반층, 화산쇄설층, 제2 암반층 순으로 나타났다. 이들 지층에 대한 개요는 Table 1에 제시된 바와 같고 지층 분포도는 Fig. 6에 제시되어 있다.

3.3 시험방법

3.3.1 단일공 차수공법(C-RJP Grouting) 선정 배경

화산쇄설층은 모래, 화산재, 화산암괴 등으로 이루어져 있어 투수계수가 매우 크며, 제1 기반암층의 차단작용으로 인해 지하유속이 빠르고 공동이 많은 지반이다. 따라서 지반 내에서 경화재가 유실되어 부실한 고결체가 되거나 아주 없어져 버리는 것을 방지하기 위하여 급결제와 경화재를 병용하여 사용하는 공법인 Chemical 공법을 적용하였다. 또한 앵커 설치위치에 선행하여 형성되는 고결체 구근의 직경은 시공오차 및 차수성을 고려하여 ϕ1,200mm로 결정되었다. 그라우팅 주입공법은 확실한 차수성, 큰 직경 확보 및 강도가 탁월

Table 1. Summary of layers

Classification	BH-1 (m)	BH-2 (m)	BH-3 (m)	Average (m)	EL Average (m)
Reclamation soil	5.20	5.83	4.30	5.11	5.1
The first rock layer	7.40	6.20	8.00	7.20	12.3
Volcanic clastic layer	12.00	10.60	10.20	10.93	23.2
The second rock layer	-	-	-	-	-

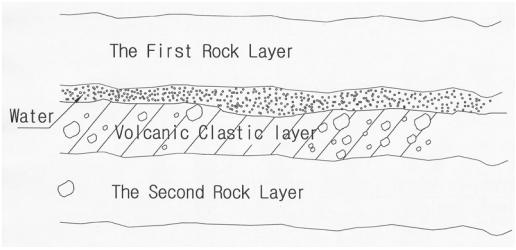

Fig. 6. Ground layers distribution

한 C-RJP 공법이 선정되었다(Han-yang University construction technology institute & Chung-Ah Engineering Consultants Co., Ltd., 1998).

3.3.2 시험시공

C-RJP Grouting 공법에 대하여 지반의 차수효과 및 지반 개량을 확인하기 위하여 총 3차례의 시험시공을 실시하였다. 또한 본 시공 시험에 적용할 주입재 제원을 시험시공을 바탕으로 결정하여 시험을 수행하였다(Pumyang Construction Co., Ltd., 1998).

1) 1차 시험시공

C-RJP Grouting 1차 시험시공은 3개소이며, 1차 시험시공에서 사용된 주입재 제원은 Table 2와 같으며 시험시공 코어 채취 상태는 Fig. 7과 같다.

1차 시험시공 결과, 대부분 지역에서 누수가 되었으며 시험공 2, 3호공의 일부구간(15.0～19.0m)에서만 k=9.1～9.3×10^{-6} cm/sec로 나타났다. 이는 양생기간의 부족 및 유속으로 인한 시멘트량의 부족으로 판단되었다. 또한 배합원수를 해수를 사용함에 따라 해수에 함유되어 있는 염소이온, 마그네슘이온, 나트륨이온 등 많은 종류의 염류가 다량 함유되어 있어 시멘트의 고화작용에 악영향을 미쳤을 것이라 판단하였다. 따라서 1차 시험시공 결과로는 평가가 어려워 2차 시험시공을 실시하였다.

2) 2차 시험시공

C-RJP Grouting 2차 시험시공은 3개소이며, 2개소는 1차 시험시공과 같은 위치에서 실시하였다. 2차 시험시공에서 사용된 주입재 제원은 Table 3과 같으며 시험시공 코어 채취 상태는 Fig. 8과 같다.

Table 2. Grout specifications and test results of the first test construction

Classification	The first test construction
Grout	Cement : portland cement (Bulk) Silicate : 10% of cement Water : Seawater + Freshwater
Mixing ratio	Cement : Water = 845 kg : 845 L Silicate : Water = 113.4 L : 886.6 L
Grout quantity	Cement : 139.3 L/min Water + Silicate : 70.0 L/min
Construction quantity	No.1 hole : Deep 20 m No.2 hole : Deep 24 m No.3 hole : Deep 26.5 m

Fig. 7. Core sampling of the first test construction

Table 3. The second test construction

Classification	The second test construction
Grout	Cement : portland cement (Bulk) Silicate : 10% of cement Water : Freshwater
Mixing ratio	Cement : 1,690.0 kg/m (200%)
Grout quantity	Cement : 139.3 L/min Water + Silicate : 70.0 L/min
Construction quantity	No.1 hole : Deep 20 m (Re injection in same area) No.2 hole : Deep 24 m (Re injection in same area) No.3 hole : Deep 26.5 m

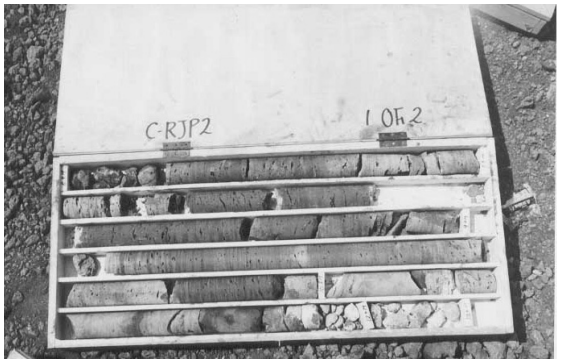

Fig. 8. Core sampling of the second test construction

2차 시험시공 결과, Core 회수율은 점성토가 우세한 구간보다 모래 및 화산쇄설층이 있는 하부 구간에서 더 양호하였다. 또한 상부 제1 기반암과 제1 화산쇄설층 경계부에서 Over Lap 시공을 하여 비교적 양호한 결과가 나타났으나, 제1 화산쇄설층과 제2 기반암 접촉부에서 Core 회수율이 불량하게 나타났다. 따라서 대체로 양호한 결과가 나타났음에도 불구하고 시공과 품질관리가 어려워 3차 시험시공을 수행하였다.

3) 3차 시험시공

3차 시험시공에서는 시멘트 기준량의 100%, 150%, 200%로 하고 각 주입량 별로 인발속도, 단위시간당 주입량, 상·하 노즐 간격을 3가지 유형으로 구분하여 9개소에 대하여 시험을 수행하였다. 시험 결과를 확인하기 위하여 시추기 구경은 NX 구경을 사용하였고, Core Barrel은 D-3 Core Barrel을 사용하였다. 투수시험은 수위회복법(Rising Head Method)을 적용하였다. 3차 시험시공에서 사용된 주입재 제원은 Table 4와 같으며 시험시공 Core 채취 상태는 Fig. 9와 같다.

3차 시험결과, 제2 기반암층 0.5～1.0m를 천공 후 C-RJP Grouting 공법을 실시한 후 현장투수시험결과 쇄설층과 암반 경계부 차수가 양호한 결과가 나타났다. 투수시험은 일부 구간이 $k=\alpha\times10^{-4}$cm/sec이나 나머지 구간은 $k=\alpha\times10^{-6}$cm/sec로 전반적으로 만족한 결과가 나타났다. 코어 채취 결과, 하부로 갈수록 고결체의 강도가 크고 Core 회수율도 좋게 나타나고 있는데 이는 규산과 시멘트의 비중차이 및 제 1 화산쇄설층의 지층변화(하부로 갈수록 굵은 입자) 때문인 것으로 나타났다.

Fig. 9. Core sampling of the third test construction

Table 4. Grout specifications and test results of the third test construction

Classification	The third test construction
Grouting materials	Cement : portland cement (Bulk) Silicate : 10% of cement Water : Freshwater
Mixing ratio	100% : 845.0 kg/m (Cement) 150% : 1,267.5 kg/m (Cement) 200% : 1,690.0 kg/m (Cement)
Injection quantity	100% : 130 L/min 150% : 195 L/min 200% : 260 L/min

4) 본 시공시험

1차~3차 시험 결과를 정리하면 다음과 같다. 1차 시험결과는 해수의 영향, 시멘트 부족, 양생부족으로 코어 채취가 불가능하였고, 2차 시험결과 코어가 양호하였으나 화산쇄설층과 기반암 접촉부에 코어 회수율이 불량하게 나타났다. 3차 시험시공결과 코어 회수율도 좋게 나타났고 화산쇄설층과 기반암 경계부도 차수가 양호한 결과가 나타났다.

본 시공시험에서 사용할 주입재 제원은 3차 시험시공을 통해 결정된 사항을 토대로 주입재의 단위시멘트량은 용적비 기준으로 680kg/m^{3}를 적용하였으며, 주입재 주입 시 매 공마다 주입량, 주입심도 등을 체크하였다. 본 시공의 사용된 주입재 제원은 Table 5와 같다.

본 시공의 계획 단면은 Fig. 10 및 11과 같으며, 평면은 Fig. 12, 시공 당시 전경은 Fig. 13과 같다.

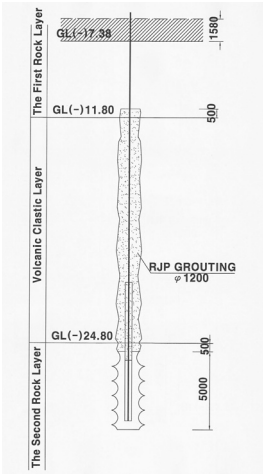

Fig. 10. C-RJP grouting sectional view

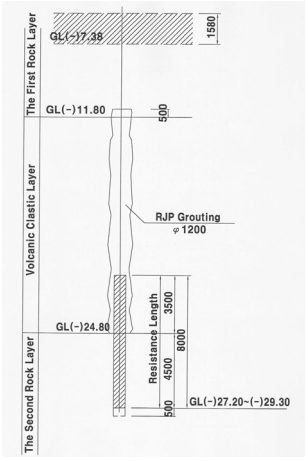

Fig. 11. Buoyancy-resistance permanent anchor sectional view

Table 5. Grout specifications and test results of the actual construction

Classification		C-RJP grouting (ϕ1,200 mm)
Grouting materials	Cement	1,690 kg/m (200%)
	Silicate	169 kg/m (Cement 10 %)
Injection pressure		400 kgf/cm²
Injection quantity		278 L/min
Injection time		8 min/m
Nozzle distance		5.0 cm
Pull out distance and time		2.5 cm/step, 12 sec/step
Cutting method		Top of the nozzle : Water + Silicate + Air Bottom of the nozzle : Hardener + Air

3.4 시험결과

3.4.1 초고압 분사공법을 이용한 단일차수공법의 적용 결과 분석

(1) 투수시험 결과

C-RJP Grouting 공법을 적용하여 투수계수를 측정한 결과, 제1 화산쇄설층의 개량 전 투수계수 $k=1.027\times10^{-1}$cm/sec와 비교하여 $k=1.22\times10^{-4}\sim2.39\times10^{-6}$cm/sec로 개량 효과가 나타났다. 또한 일부 투수계수가 $k=1.22\times10^{-4}$cm/sec로 다소 크게 측정된 곳이 있었는데, 이는 제1 화산쇄설층과 제2 암반층의 경계부위로 존재하는 직경이 큰 자갈 전석층으로 인해 생기는 현상으로 판단된다.

(2) 코어 채취 결과

코어 채취 결과, TCR=54.2～86.7%로 나타났으며 RQD=40.2～87.1%로 암반분류로 볼 때 Fair한 상태라 볼 수 있다.

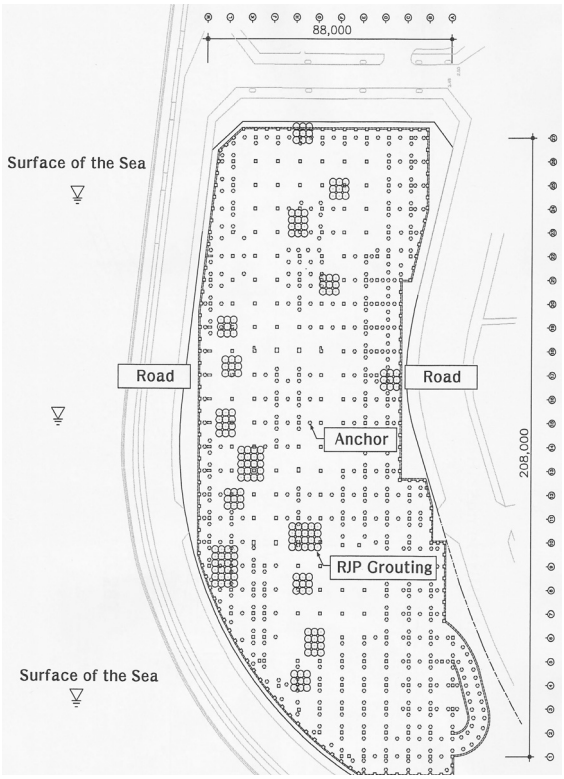

Fig. 12. C-RJP grouting plan view

Fig. 13. S.E.P barge

(3) 표준관입시험 결과

표준관입시험 결과, N값이 Nmin=50/10으로 측정되었다. 이 값은 사질토 지반일 경우 Very Dense한 상대밀도(Dr≥80%)를 가진 지반으로 볼 수 있으며, 점성토 지반의 경우는 고결(Hard)된 지반으로 판정할 수 있는 값이다.

(4) 일축압축강도시험 결과

일축압축강도를 확인하기 위하여 채취된 코어 9개를 외부공인기관(제주 중소기업청 시험검사소)에 시험을 의뢰하였다. 그 결과 Core 6개의 일축압축강도가 100kgf/cm^2 이상으로 나타났고 50kgf/cm^2 내외가 3개로 나타났다. 측정치의 차이는 시공위치의 토질차이에 의한 것으로 판단되며, 최소 47kgf/cm^{2}에서 최대 288kgf/cm^{2}로 나타났다(Inworld Construction Co., Ltd., 1998).

3.4.2 부력 Anchor 결과 분석

(1) 부력 Anchor의 제원

인장시험의 계획최대하중은 설계인장력인 1,170kN으로 하였으며, 시험 Anchor의 사양 및 제원은 Table 6 및 7과 같다(Korean Industrial Standards, 1995).

(2) 부력 Anchor의 시험방법

단계별(20%, 40%, 60%, 80%, 100%)로 하중을 사이클로 재하를 실시하였으며, 하중계(Load Cell)와 변위계(LVDTs)에서 측정된 데이터를 동적변형률 측정기와 P.C set으로 기

Table 6. Test anchor specifications

NO	Type	Length of anchor (m)		Strands of the PC steel (ea)	Axial force (kN)	Tensile force (kN)
		Unbounded length	Resistance length			
1	Buoyancy Resistance Permanent Anchor	12.4	8.0	9	900	1,170
2		16.0	8.0	9	900	1,170

Table 7. Specifications of PC steel

Classification	Anchor
An external diameter	12.7 mm (+0.4, -0.2)
Strand diameter	12.7 mm (+0.4, -0.2)
Nominal diameter	98.7 mm^2
Nominal weight	7.59 kN/m
Breaking load	183,400 kN
Yield load by 0.2% permanent construction rate	156,000 kN
Relaxation after 100 hours at 70% initial load	2.5% Under

록하고 분석·정리하였다.

(3) 부력 Anchor 인장시험 결과

부력 Anchor 인장시험 결과, 하중과 늘음량에 대한 그래프는 Fig. 14 및 15에 전체 시험결과는 Fig. 16 및 17로 나타내었다.

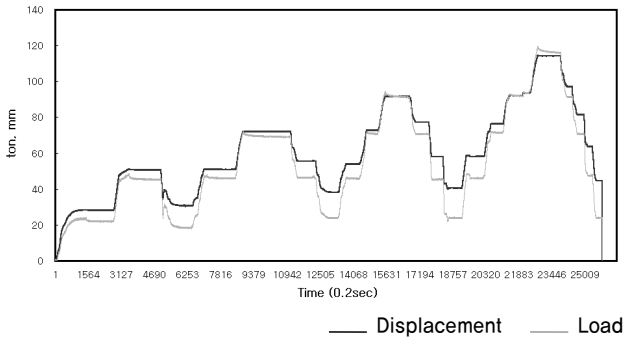

Fig. 14. Test result for No.1 buoyancy resistance anchor

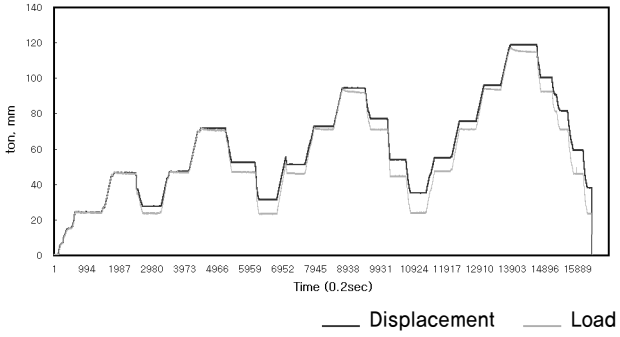

Fig. 15. Test result for No.2 buoyancy resistance anchor

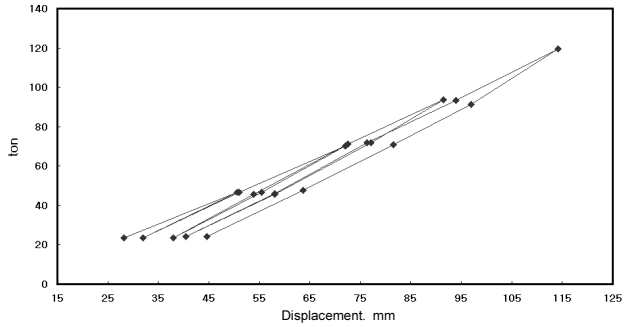

Fig. 16. Load-displacement relationship curve for No.1 buoyancy resistance anchor

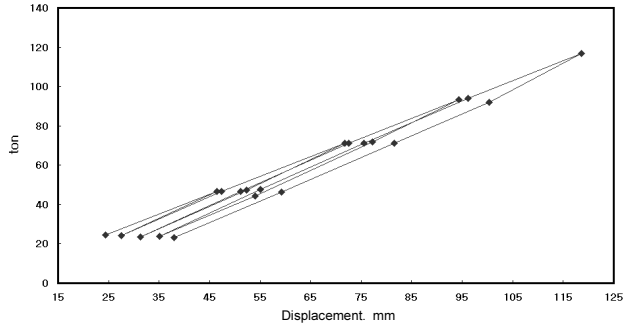

Fig. 17. Load-displacement relationship curve for No.2 buoyancy resistance anchor

시험 결과 시험앵커는 상한계선과 하한계선 내에 탄성변위가 위치하고 소성변위의 크기도 비교적 작아 정착력에는 문제가 없는 것으로 나타났으며, 시험시공결과를 토대로 정착장 8.0m로 적용하고 실제 부력 Anchor 위치에 인장시험을 실시한 결과 늘음량이 73.9~83.5mm로 매우 안정적으로 나타났으며, 시험 결과를 토대로 자유장을 산정한 결과가 L=13.7~15.9m로 실제 앵커 자유장과 큰 차이가 없으며 정착장 8.0m가 확보할 수 있다는 것이 확인되었다.

시험시공 결과 결정된 정착장 8.0m 내외로 부력 Anchor를 실시한다면 계획하중 900kN은 적용가능하다고 판단되어 399본을 시공하였다.

(4) 현장 계측 결과

부력 Anchor 본 시공 결과, 최소인장력은 1,003kN이었으며 최대는 1,144kN 정도로 나타났고, 부력앵커의 장기 안정성 검토를 위한 Load cell 5공에 대하여 수동계측을 실시한

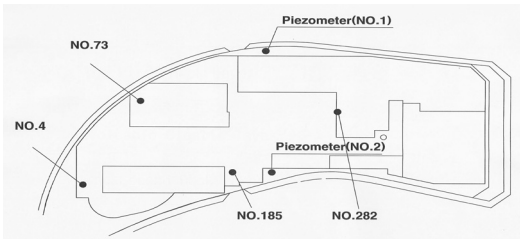

Fig. 18. Installation location of load cell

Table 8. Installation Location of Load cell (Unit : kN)

Day	NO. 4	NO. 73	NO. 185	NO. 282	NO. 328
25 April					873.1
26 May			985.1	992.8	
14 June	883.3	982.8	949.9	988.2	871.3
04 July	864.2	959.5	944.0	984.1	865.5
14 July	858.8	957.5	941.1	981.7	863.1
24 July	849.8	950.9	936.2	978.7	860.1
04 August	848.6	946.0	934.7	976.9	859.0
13 August	844.0	936.9	930.6	974.8	856.7
23 August	843.0	939.2	930.4	973.7	855.6
01 September	839.8	941.5	927.9	971.7	853.8
02 September	839.9	940.5	928.0	971.6	853.8
12 September	842.8	945.6	929.0	972.7	855.0
22 September	842.3	945.3	928.3	972.5	854.5
02 October	841.8		928.3	972.3	854.0
12 October	842.2	946.7	929.6	972.6	854.5
22 October	841.3	945.2	929.1	972.4	853.1
01 November	843.1	947.5	930.0	973.5	853.7
11 November	844.7	949.2	931.9	974.4	854.4
21 November	845.9	950.3	934.1	976.3	860.3
01 December	846.0	951.3	934.9	977.1	859.8
11 December	846.5	951.2	935.4	977.6	854.2
21 December	846.5	951.3	935.4	977.7	854.3

결과 Fig. 18 및 Table 8과 같다. 초기 긴장력을 1,080kN으로 하고 초기 긴장직후 측정한 결과 883.3～1,036.7kN(평균 959kN) 범위로 상당히 다양하게 나타났다. 또한 계측진행 약 2개월간 측정한 축력은 839.5～971.6kN(평균 906kN) 정도로 나타났으며, 약 2개월간 장기 축력 변화(Relaxation)는 약 50kN 내외(약 5% 내외)로 비교적 안정하게 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 해안과 인접한 건축지하구조물의 부력 저항 앵커를 설치하기 위하여, 초고압 분사교반 공법을 이용한 단일공 차수공법(C-RJP Grouting)을 적용하고 지반의 차수효과와 개량 정도를 파악하였다. 또한 부력 저항 앵커 인장시험을 실시하여 안정성을 확인하였다. 따라서 본 연구의 결론은 아래와 같다.

(1) 3차에 걸쳐 C-RJP Grouting 공법을 시멘트량(당초 기준량의 100%, 150%, 200%), 인발속도, 단위시간당 주입량, 상·하 노즐 간격 등을 조절하면서 시험 시공한 후 확인시험(Coring, 투수시험)한 결과, 제1 화산쇄설층의 공극이 매우 크고 지하수의 영향이 매우 큰 것을 확인하였다.

(2) C-RJP Grouting 공법의 시공성 및 효과를 높이기 위해 원지반(본관은 수상)에서 시공하고 확인시험을 실시한 결과, TCR=54.2～86.7%, RQD=40.2～87.1%로 Fair한 상태이고 투수계수는 $k=1.2\times10^{-4}$～2.39×10^{-6}cm/sec로 상당히 감소한 것을 확인하였다.

(3) 시험시공 결과를 토대로 정착장 8.0m로 적용하고 실제 부력앵커 위치까지 굴착한 후 인장시험을 실시한 결과, 계획하중 900kN을 적용하는 데 무리가 없는 것으로 나타났다. 본 시공에서 정착장은 8.0m로 고정하고 자유장은 지층조건 및 현장 여건에 따라 조정하여 시공하였으며, 그 결과 부력앵커를 삽입하는 데 문제가 없었다. 또한 천공 후 총 399공에 대해 시험시공 결과를 토대로 단계별로 인장을 실시한 결과 1,003～1,144kN 범위로 안전하게 나타났다.

(4) 계측진행 약 2개월간 측정한 축력은 839.5～971.6kN(평균 906kN) 정도로 나타났으며, 약 2개월간 장기 축력 변화(Relaxation, Creep)는 약 50kN 내외(약 5% 내외)로 비교적 안정하게 나타나고 있는 것으로 나타났다.

(5) 실험 결과를 종합해 볼 때 투수성이 높은 화산쇄설층에 적용된 단일공 차수공법(C-RJP Grouting)은 지반의 차수효과와 지반개량에 효과가 있다는 것을 확인하였고, 부력앵커를 안전하게 시공할 수 있었다.

(6) 굴착공사의 보조공법으로 고압분사 주입공법은 확실한 고강도가 얻어지는 점에서 많은 성과를 올리고 있다. 그러나 투수성이 높은 지층에서는 일반적으로 그라우팅을 이용하여 앵커를 시공하는 데 상당한 어려움을 겪게 되는데 본 논문에서 실시한 시험과정과 그 결과를 참고한다면 향후 화산쇄설층이 형성되어있는 지역의 설계 및 시공 시 중요한 자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. Chun, B. S. (2012), Geotechnical engineering theory and practice, pp. 707~729 (in Korean).
2. Chun, B. S. (2011), Principles and practice for chemical grouting, pp. 173~180 (in Korean).
3. Han-yang University construction technology institute & Chung-Ah Engineering Consultants Co., Ltd. (1998), Research report on feasibility study of C-RJP grouting method and buoyancy resistance anchor method and relevant strategies, pp. 3~180 (in Korean).
4. Inworld Construction Co., Ltd. (1998), Jeju hotel construction confirmation drilling research report, pp. 3~13 (in Korean).
5. Korean Industrial Standards (1995), PC steel wire and PC steel strands, pp. 3~5 (in Korean).
6. Pumyang Construction Co., Ltd. (1998), Jeju hotel construction site C-RJP test construction report, pp. 3~80 (in Korean).