

## 트윈제트공법을 이용한 교대 배면 기초보강 사례 A Case Study of Reinforcing Ground behind Abutment using Twin-Jet Method

김용현<sup>1)</sup>, Kim, Yong-Hyun, 장연수<sup>2)</sup> Jang, Yeon-Soo

<sup>1)</sup> 케이에프티이엔씨(주) 총괄사장, Head of Korea Founddation Technology, EnC Co. Ltd

<sup>2)</sup> 동국대학교 공과대학 사회환경시스템공학과 교수, Professor, Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Dongguk University

**SYNOPSIS** : This study introduces a reinforcement work case using Twin-Jet Method. The area is located behind the abutment of the bridges built on soft clay along the OO Express Highway. Its foundation was constructed by installing EPS blocks on the original ground to reduce the embankment load under the highway. However, the ground deformation has continuously occurred due to the settlement of the foundation soft cohesive soils. The amounts of subsidences at the surface turned out to be 20~30.0mm, After the pavement patch work on April 23, 2009, a drastic subsidence occurred together with 10mm swell, For this reason, Twin-Jet grout column construction was applied by passing through the EPS banking blocks without closing traffic flows on the express highway. The outcomes of core sample tests after reinforcing the ground turned out to be TCR 92.5%, RQD 64.6% and unconfined compressive strength 2.3~8.6Mpa. The test results showed that the condition of the ground foundation had improved using Twin-Jet grouting in most layers of ground including the cobble and gravel layer.

Key words: abutment, EPS, ground settlement, embankment, Twin-Jet Method, core sample test.

**개요** : 본 원고에는 OO 고속도로 연약지반상에 시공된 교량의 교대 배후부지를 트윈제트공법을 이용하여 보강한 사례를 소개하였다. 대상지역은 교대 배면 성토구간에 체재하중을 줄이기 위하여 EPS를 시공하였으나 그 하부기초 구간이 연약점성토로 구성되어 소성변형과 지반변동이 지속적으로 발생되었다. 당시발생한 층별 침하량은 각각 20~30mm의 침하가 발생하였으며, 2010년 4월23일 포장덧씌우기 실시 후 급속한 침하가 발생하였고 이후 10mm의 융기가 발생하였다. 이에 EPS 성토구간을 관통하여 하부연약지반에 트윈제트 그라우트 컬럼공사를 실시하였다. 지반 개량 후 Core 채취하여 시험실시결과 압축강도는 2.3~8.6Mpa, TCR 92.5%, RQD 64.6%로서 시험 분석결과 Twin-Jet공법에 의한 지반개량은 전석 자갈층을 포함한 모든 층에 있어서 양호하게 보강 시공 되었음을 알 수 있었다.

주요어 : 교대, EPS, 지반침하, 제방, 트윈제트공법, 코아채취 시험.

### 1. 서 론

대상 현장은 OO 고속도로 대포천교 교대A2 지역이다(그림 1) 성토구간은 제방하중을 줄이기 위하여 EPS로 시공되었으며 그 기초지반은 점성토로 된 연약지층으로 구성되어 있다. 대상지역은 EPS의 소성 변형에 의하여 침하가 발생되어 침하구간을 반복적으로 포장 덧씌우기 시공을 하였으며, 교대 측방유동에 따른 측구파손 및 측구하단부 유실이 발생하였다. 이러한 지반변형은 향후에도 지속적으로 발생되어

노면침하 및 신축유간 감소를 야기할 것이라 판단되어 고속으로 통행하는 차량 및 구조물 등 전반적인 안전의 확보를 목적으로 TWIN JET보강을 실시하였다.



그림 1. 현장 전경

## 2. 현장 조건

그림 2의 보오링지점의 Boring Log를 분석한 결과 지표면 GL-10.3m까지는 토공작업에 의한 성토층이며, GL-10.3~18.5m는 매립층으로서 자갈과 모래 층이 다양하게 형성되어 있으며, GL-18.5~30.6m층은 퇴적층으로서 주성분이 점토층으로 형성되고, GL-30.6~34m층은 퇴적층으로서 심한 전석자갈 모래층이었다. GL-34~36m 이하는 기반암으로 연암 및 경암층으로 형성되었다.

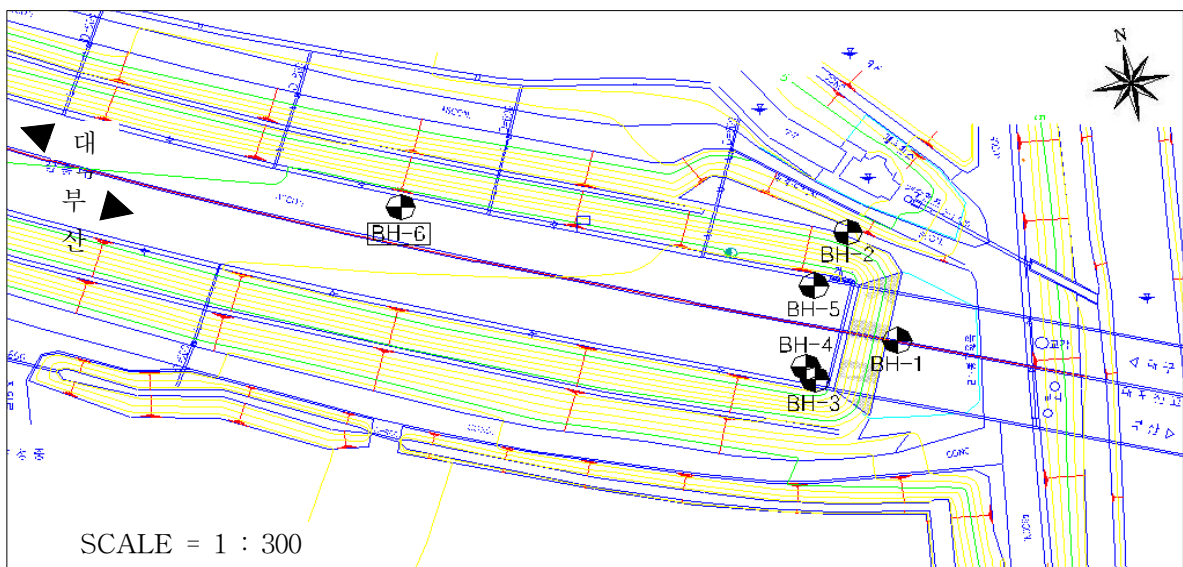


그림 2. 현장 평면도 및 시추조사 지점

## 2.1 EPS의 소성변형에 의한 도로침하

EPS의 소성변형에 의하여 침하가 발생되어(그림 3) 반복적으로 포장을 덧씌우기시공을 하였으나 또 다시 침하가 발생하였다.(그림 4)

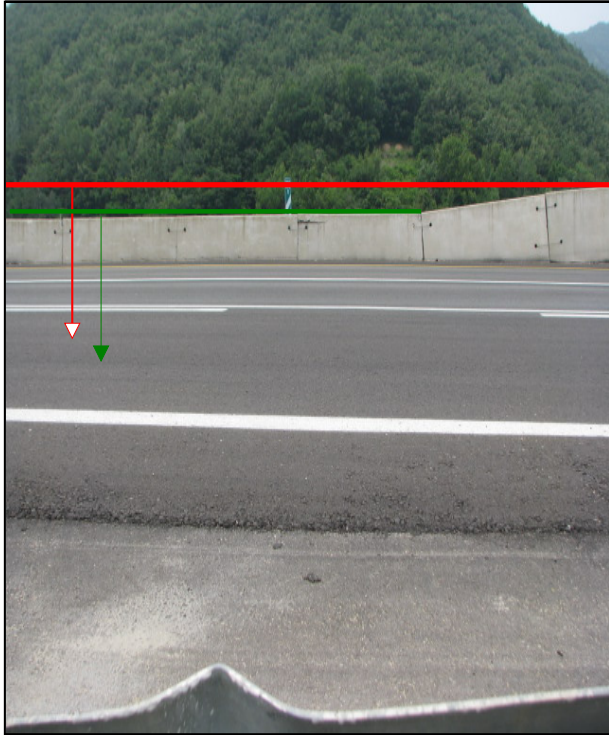


그림 3. 중앙분리대 침하발생



그림 4. 포장 덧씌우기시공 후 침하발생

## 2.2 EPS구간 측방유동에 의한 구조물파손

EPS구간 측방유동에 의하여 교대에서 Crack이 발생하였으며(그림 5) 또한 교대 성토지반이 10cm가량 침하가 발생하였다(그림 6).



그림 5. 교대 Crack 발생



그림 6. 교대 성토 지반 침하

### 2.3 지층침하량분석

층별 침하계를 시추공 BH-5의 표 1에 나타난 심도에 설치하여 조사한 바 층별 침하량은 각각 -30.0mm, -20.0mm, -20.0mm 침하가 발생하였다. 특히 4월23일 포장 덧씌우기 실시 후 급속한 침하가 발생하였고 이후 10mm의 용기가 발생하였다(그림 7).

표 1. BH-5 침하계 설치 후 침하량 조사

관리번호	소자 번호	설 치(EL.m)		최초측정치(m)	층별침하량 (mm)		비고
		심도	지층		최고	최저	
BH-5	point 1	5.00	EPS	4.38	-50.0	-30.0	+용기 -침하
	point 2	12.00	매립(SM)	11.32	-50.0	-20.0	
	point 3	19.00	퇴적(SM)	19.33	-50.0	-20.0	
	기준점	36.00	연암	35.24			

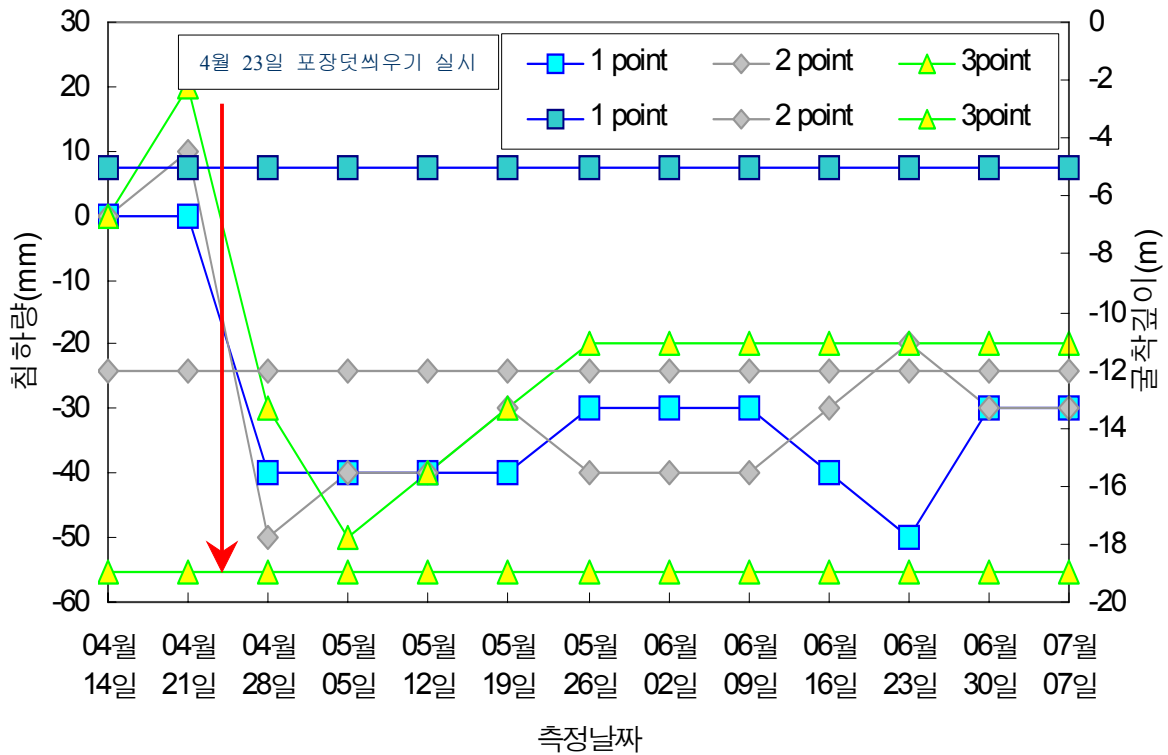


그림 7. BH-5 침하계 설치 후 나타난 일별 굴착깊이와 침하량

### 2.3 시추공 영상촬영 결과

당초 설계 EPS시공 두께는 BH-3에서 5.63m, BH-4에서 7.2m 이었으나 시추공 영상촬영 결과(그림 7.) BH-3은 5.0m, BH-4는 6.05m로서 시공당시 보다 BH-3은 0.63m, BH-4는 1.15m가 줄어든 것으로 조사 되었고, EPS하부층은 7.55m에서 7.32m 로 0.23m 침하한 것으로 조사 되었다(그림 8).

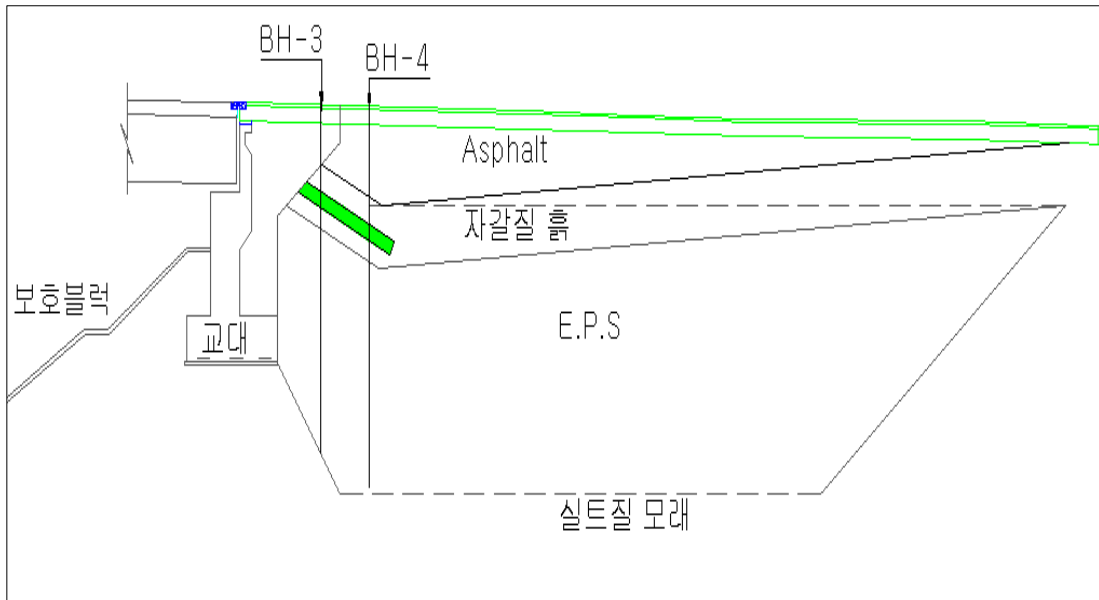


그림 8. 시추공 영상촬영결과

### 3. TWIN JET 시공

#### 3.1 개요

Twin-Jet 그라우팅은 Twin-Jet Nozzle을 이용하여 급결분사하는 제트그라우팅 공법이며 대각선 분사 방식의 선단장치를 사용하고, 하향경사 분사방식을 채택하고 있다.(그림 9) 시멘트페이스트와 급결제의 혼합하여 사용하고 2중관, 3중관, 4중관 또는 기계식 교반날개에도 부착할 수 있다. Twin-Jet 그라우팅 공법은  $N < 50$  의 점성토, 사질토, 전석 및 자갈층등 거의 모든 지층에 적용할 수 있다.

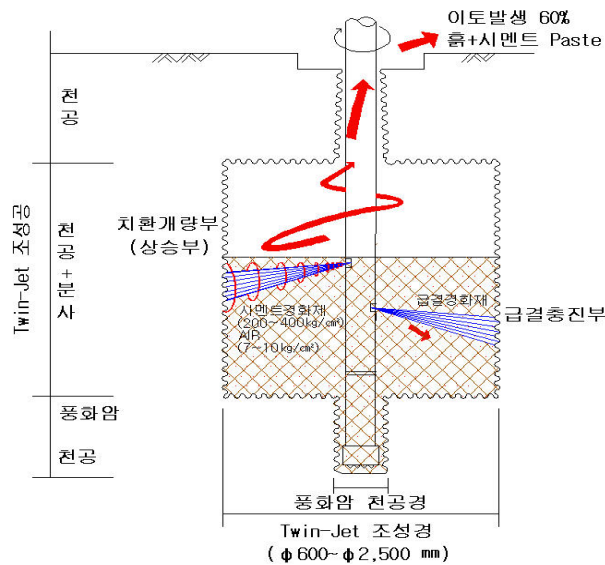


그림 9. Twin-Jet공법 모식도

### 3.2 시공

강관파일 시공은 본당 약 12m(217본), Twin-Jet 시공에 의한 지반 개량 깊이는 공당 약 22~24m로서 총 34~36m (217공)시공하였다. 설계자료 현장계측과 시추공 영상촬영 결과를(그림 7.) 살펴보면 지속적으로 EPS의 소성변형이 발생하고 노면의 상재하중이 급속히 증가할 경우 파단에 이르는 EPS의 변형이 발생할 수 있기 때문에 Twin-Jet 공법을 그림 10, 11과 같이 시공하였다.

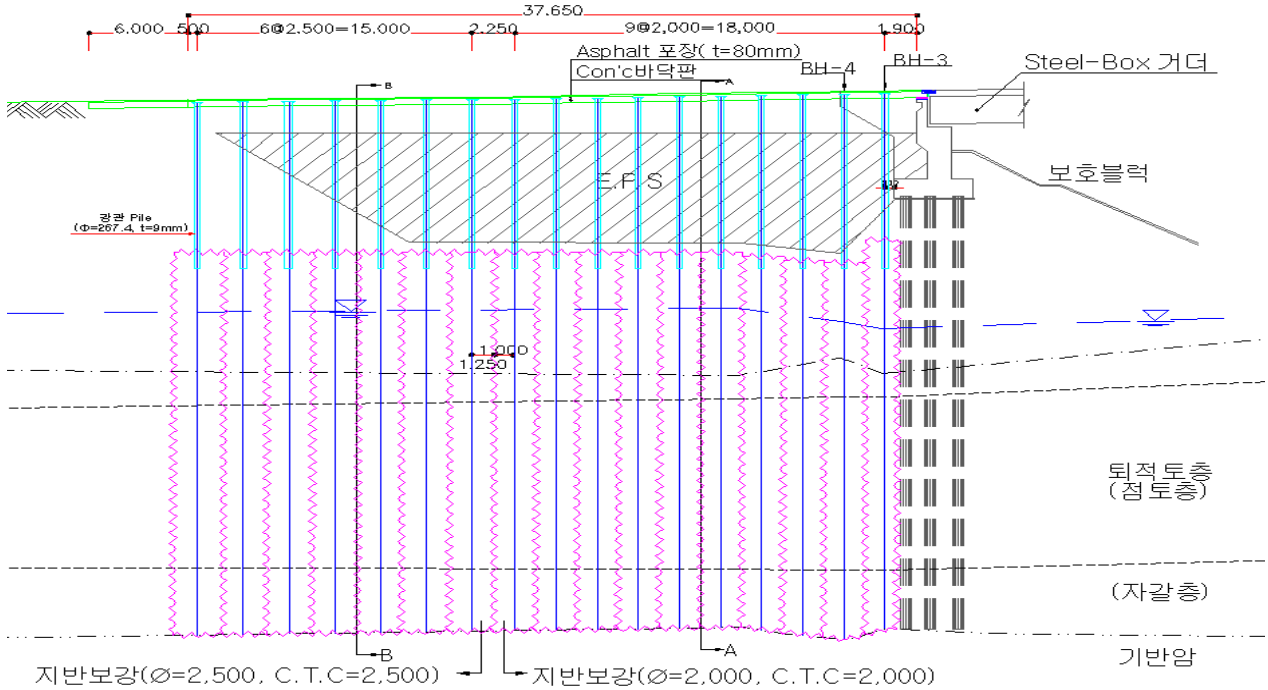


그림 10. 종단면도 SCALE = 1 : 120

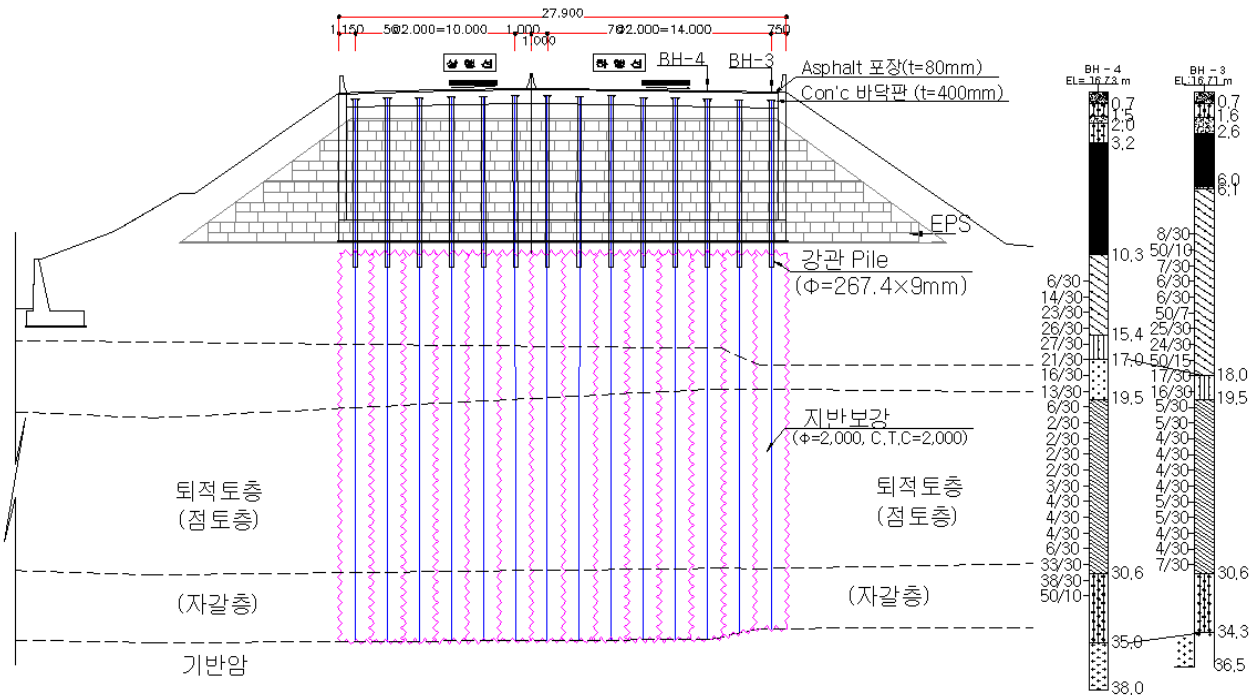


그림 11. 횡단면도 SCALE = 1 : 100

### 3.3 시공사진

트윈베트를 본 현장에 적용한 절차를 그림 12에 나타내었다.



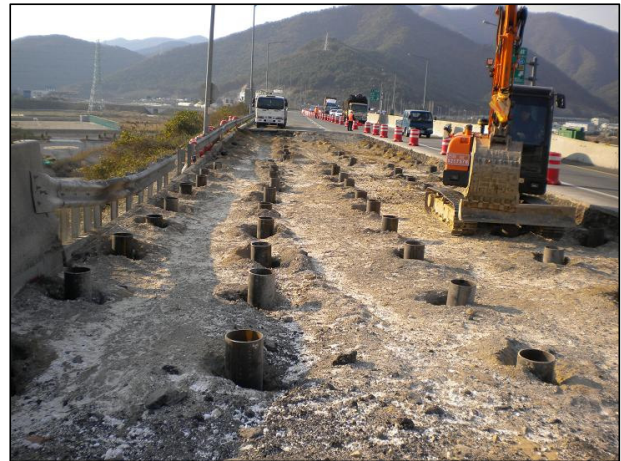
a) 침하 구간 기존 도로 깨기 전경



b) 침하구간 기존 도로 깨기 완료 후 전경



c) EPS구간 강관파일 근입전경



d) EPS구간 강관파일 근입완료 후 전경



e) 연약지반 Twin-Jet 보강공법 시공전경



f) 연약지반 Twin-Jet 보강공법 시공전경

그림 12 현장 시공 절차별 모습

## 4. 시공완료 후 분석결과

### 4.1 압축강도 시험결과

Core 압축강도 시험결과 상층부 매립층인 자갈모래층에서는 7.6~7.8Mpa, 중간층에서는 퇴적 점토층 2.3~3.1Mpa, 하부층 퇴적층 모래자갈층에서는 7.9~8.6Mpa 정도로 발현하였다. 모래자갈층에서는 토질성분이 양호하여 점토층보다는 다소 강도발현이 크게 나타난 것으로 보인다.

본 Twin-Jet 공법은 JSP, RJP 등의 지반보강공법보다는 재령 28일 강도가 크게 나타난다. KFT 기술자료(2010)에 제시된 Twin-Jet 공법의 경우 점성토에서 재령 28일 압축강도가 기준의 2~4Mpa이며 사질토의 경우 8~10Mpa 정도이다. 시험결과 점성토에서는 2.3~3.1Mpa, 사질토에서는 7.6~8.6Mpa이었다. 이는 당초 제시된 기준값과 유사한 일축압축강도를 나타내었다.

### 4.2 TCR, RQD-허용지지력 상관관계 분석

Core 회수율은, Core Barrel, 굴진속도, 기능공의 숙련도에 따라 크게 달라지며 특히 Cement Milk Grouting 주입에 대한 코아 채취 결과는 양생 재령 기간에 따라 다른 결과를 나타낼 수 있다. 또한, TCR은 암질의 특성인 불연속면이나 절리, 균열 등의 상태에 따라서도 달라지지만 주입 불연속 현상 또는 미충진 상태를 판단하기에는 충분하다.

트윈제트 그라우팅후 채취된 코아시료에 대한 TCR은 상층 자갈 모래층에서 88.5%, 중간층 퇴적 점토층 97.3%, 하층 퇴적층 자갈모래층 94.8%로서 평균 약 92.5%인 것으로 나타났다. TCR 측정결과는 평균 92% 이상으로서 지반이 양호하게 보강되었음을 알 수 있었다. 채취된 코아의 RQD는 52.4~72.3%로서 RQD-허용지지력 상관관계를 이용한 허용 지지력 추정시 (Peck et al., 1974) 5~8 kN/m<sup>2</sup> 정도이며, 이를 압축강도로 환산하면 5~8MPa로서 채취된 Core 일축압축강도 2.3~8.6MPa의 범위와 비교시 유사한 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

현장 트윈제트 보강공사 사례로부터 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

1. 대상현장의 하부 지반의 소성변형으로 인한 층별 침하량은 20-30mm범위에 있었으며 특히 포장공사가 끝난 후 급격한 큰 침하가 발생하였다.
2. 발생한 침하량을 분석한 결과 EPS 블록의 변형과 하부지반침하가 혼합되어 있는 것으로 나타났다. 그중에서도 큰 영향을 미치는 것은 하부지반지지력의 부실인 것으로 판단된다.
3. 지반 개량 후 Core 채취하여 시험실시결과 압축강도는 2.3~8.6Mpa, TCR 92.5%, RQD 64.6%이었다. 시험 분석결과 본 Twin-Jet공법에 의한 지반개량은 모든 층에 있어서 양호하게 보강 시공 되었으며, 특히 전석자갈층에 대해서 지반 개량이 더 양호함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. KFT 기술자료, 2010.
2. Kim, Y.-H. Equipment for quick-gel of soft ground through jet-grouting. Japan Patent, P2004-150926, 2004. (in Japanese)
3. Kim, Y.-H. Technological Manual of Twin-Jet. Korea Foundation Technology (KFT) E&C, Seoul, Korea, 2008. (in Korean)
4. 한국시설안전공단. 대포천교 교대 및 포장층의 안정성검토 보고서, 2009.