

## 소형콘관입시험(Miniature Cone Penetration Test)의 국내현장 적용 The Field Application of Miniature Cone Penetration Test System in Korea

윤성수<sup>1)</sup>, Sungsoo Yoon, 지완구<sup>2)</sup>, Wan-Goo Ji, 김준오<sup>3)</sup>, Junou Kim, 김래현<sup>4)</sup>, Raehyun Kim

- <sup>1)</sup> 삼성물산(주) 건설부문 선임연구원, Senior Researcher, Samsung Engineering & Construction  
<sup>2)</sup> 삼성물산(주) 건설부문 수석연구원, Principal Researcher, Samsung Engineering & Construction  
<sup>3)</sup> 삼성물산(주) 건설부문 연구원, Researcher, Samsung Engineering & Construction  
<sup>4)</sup> 고려대학교 건축사회환경공학과 박사과정, Ph.D. Student, Korea University

**SYNOPSIS** : The cone penetration test(CPT) has gained its popularity in site characterization indebted by its reliability, speed, economy, and automatic measurement system since its development in the 1930s. The CPT results, commonly consisting of cone tip resistance, sleeve friction, and pore water pressure measurements, allow us to classify soils as well as to reveal their engineering characteristics. The site condition at which the CPT is allowable is often dependent on the capacity of a CPT system. In Korea, it has been considered that the CPT could be applied only to soft soils in most cases because CPT systems available for stiff soils are very rare due to their expensive procurement and maintenance cost. Louisiana Transportation Research Center(LTRC) has developed and implemented a field-rugged continuous intrusion miniature cone penetration test(CIMCPT) system since the late 1990s. The miniature cone penetrometer has a sectional cone area of  $2\text{cm}^2$  allowing system capacity reduction compared to the standard  $10\text{cm}^2$  cone penetrometer. The continuous intrusion mechanism allows fast and economic site investigation. Samsung Engineering & Construction has recently developed and implemented a similar CIMCPT system based on its original version developed in LTRC. The performance of the Samsung CIMCPT system has been investigated by calibration with the standard CPT system at a well-characterized test site in Pusan, Korea. In addition, scale effect between the miniature cone penetrometer and the standard cone penetrometer has been investigated by comparing the field test results using the both systems.

**Keywords** : cone penetration test, miniature cone penetration test, in-situ test, scale effect

### 1. 서론

콘관입시험(Cone Penetration Test, CPT)이란 원추모양의 콘을 로드(Rod)에 연결하여 일정한 속도( $2\pm 0.5\text{cm/sec}$ )로 지중에 압입하면서 원하는 심도에서 선단저항값( $q_c$ )과 주면마찰응력( $f_s$ ) 등을 측정하는 시험법이다. CPT는 1930년대에 개발된 이후 장비 및 계측장치들의 발달과 더불어 기능이 크게 향상되었고, 자동화된 계측 시스템을 활용하여 원지반의 특성을 연속적으로 조사할 수 있는 장점에 힘입어 대표적인 지반조사방법의 하나로 자리매김 하고 있다. CPT의 결과는 심도별로 지반의 토질을 분류하고 공학적인 특성을 구하는 데 사용된다.

CPT를 통해 측정되는  $q_c$ 와  $f_s$ 는 콘선단(Cone Tip)과 마찰주면(Friction Sleeve)에 각각 부착된 로

드셀(Load Cell)을 이용하여 구한다. CPT에는 일반적으로 10cm<sup>2</sup>의 콘단면적과 150cm<sup>2</sup>의 마찰주면을 갖는 표준콘(Standard Cone)이 사용되며, 대심도 조사 등을 위해 15cm<sup>2</sup>의 콘단면적과 200cm<sup>2</sup>의 마찰주면을 갖는 대형콘의 사용도 증가하고 있다.

CPT가 가능한 지반조건은 콘을 압입시키는 유압장치의 용량과 가용한 반력의 크기에 따라 달라지는데, 국내의 경우 일반 지반에 적용이 가능한 대형 CPT 장비는 구입 및 유지보수에 들어가는 많은 비용으로 인해 드문 실정이며, 따라서 CPT는 연약지반에서만 가능한 조사방법인 것으로 잘못 인식되고 있다. 90년대 본격적으로 연구가 시작된 연속관입형 소형콘관입시험(Miniature CPT, MCPT)은 콘의 단면적을 표준콘의 20%인 2cm<sup>2</sup>로 축소하여 유압장치의 용량과 반력으로 사용되는 조사차량의 크기를 줄이고, 연속관입이 가능한 관입장치를 사용하여 신속하고 경제적인 지반조사를 가능하게 만든 조사방법으로 90년대 후반 이후 현재까지 현장적용이 활발하게 이뤄지고 있다(Tumay and Kurup, 1997; Tumay and Kurup, 1999; Tumay et al., 2001).

삼성물산 건설부문에서는 90년대 후반에 제작되어 세계최초로 현장 지반조사에 활용되어 현재까지 사용되고 있는 미국 루이지애나 교통연구소(Louisiana Transportation Research Center, LTRC)의 MCPT 지반조사차량을 모델로 동일한 연속관입형 MCPT를 도입하여 삼성 MCPT 지반조사차량을 제작, 현장지반조사에 적용하였다. 본 논문에서는 부산지역 한 현장의 모래매립구간에서 수행된 MCPT 지반조사결과를 바탕으로 삼성 MCPT 시스템의 성능 및 특성을 살펴보았다. 또한, 근거리에서 함께 수행된 표준 CPT 지반조사결과와의 비교를 통해 삼성 MCPT 시스템의 성능을 검증하였고, 콘크기 차이에 따른 크기효과(Scale Effect)에 대해서도 살펴보았다.

## 2. 삼성 MCPT 시스템

### 2.1 연속관입형 MCPT

CPT는 자동화된 계측 시스템을 활용하여 원지반의 특성을 연속적으로 조사할 수 있는 장점이 있어 그 사용이 증가하고 있는 시험법이다. 그러나, 표준콘이나 대형콘을 사용하는 CPT의 경우 지반강도가 약한 연약지반이 아닌 경우 콘의 관입을 위한 대형장비가 요구되며, 콘의 관입을 위해 길이 1m의 분절형 로드(Segmental Rod)를 연결하면서 시험을 해야 하므로 심도가 깊어지면 로드 연결에 많은 시간을 소모해야 한다. 그림 1은 일반적인 CPT의 관입장치를 보여준다.



그림 1. 일반 CPT의 관입장치

90년대 미국 LTRC에서 본격적으로 연구가 시작된 연속관입 MCPT(Tumay and Kurup, 1997;

Tumay and Kurup, 1999)는 이러한 로트 연결방식의 표준 CPT의 단점을 극복하기 위해 개발된 CPT로 단면적  $2\text{cm}^2$ 의 소형콘(그림 2), 그리고 연속관입형 로트와 연속관입형 MCPT 관입장치(그림 3)를 사용하여 장비의 소형화와 신속하고 경제적인 지반조사를 가능하게 만들었다.

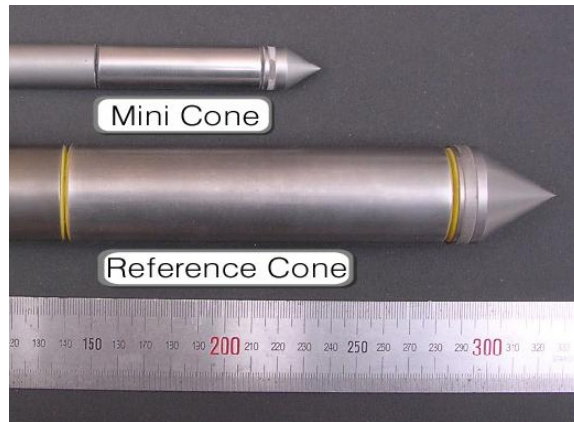
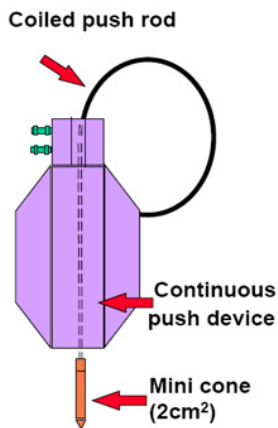
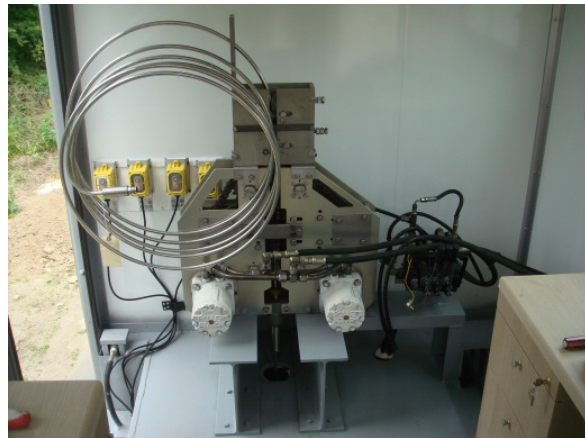


그림 2. 소형콘( $2\text{cm}^2$ )과 표준콘( $10\text{cm}^2$ ) 비교



(a)MCPT 관입장치 모식도



(b)MCPT 관입장치

그림 3. MCPT의 연속관입형 로트와 관입장치

소형콘과 연속관입 메커니즘은 삼성 MCPT 시스템의 가장 큰 특징이라고 할 수 있다. 소형콘은  $2\text{cm}^2$ 의 콘단면적과  $30\text{cm}^2$ 의 마찰주면을 가지고 있다(그림 4). 콘을 이용한 주면마찰의 측정은 차감방식(Subtraction Type)으로 이루어 지는데, 이는 그림 4에 보이는 콘 선단에 가까운 strain gage로  $q_c$ 를 측정하고 뒷선의 strain gage로  $q_c$ 와  $f_s$ 를 함께 측정한 후, 두 값의 차이로부터  $f_s$ 를 구하는 방식을 말한다. 대부분의 상용 제품이 제작의 용이성 등으로 이러한 차감방식을 채택하여 제작되고 있다. 그림 5에서 보이는 것처럼 소형콘과 연속관입형 로트는 일체형으로 되어 있어 조사 중 자료측정이 끊기거나 지하수가 침투되는 것을 막아준다. 로트는 코일처럼 감겨 있는 상태에서 조사가 시작되면 그림 3의 관입장치를 통과하면서 직선으로 펴지면서 지중에 수직으로 관입되며, 조사 후에는 관입장치에 의해 끌어 올려지면서 다시 원래의 코일 형태로 만들어 지게 된다. 로트는 스테인레스 스틸로 제작되었고 이러한 코일링 메커니즘의 특성 때문에 로트의 사용 한계가 존재하며 이는 대략 300번 정도인 것으로 알려져 있다(Tumay & Kurup, 2001).



그림 4. 삼성 MCPT 시스템에 사용된 소형콘



그림 5. 일체화된 소형콘과 연속관입형 로드

삼성 MCPT 시스템에 사용된 관입기의 제원을 살펴보면, 관입력의 경우 약 1.36ton까지 발휘할 수 있어 제작사 측에서 밝힌 자료에 따르면 반력이 충분하다면 약 67MPa까지의  $q_c$ 와 670kPa까지의  $f_s$ 를 측정할 수 있다. 다만, 실제 현장조건에서는 로드 좌굴(Buckling) 등 로드의 재료적인 특성한계에 기인하여 최대측정치에 못 미치는 30~40MPa 정도의  $q_c$ 를 갖는 지반까지 적용이 가능하다고 할 수 있다.

## 2.2 삼성 MCPT 지반조사차량

보다 정밀한 지반조사가 가능한 소형콘의 개발과 활용은 주로 실내실험을 위주로 이뤄졌다. DeJong 등(2003)과 Yafrate & DeJong(2005)이 각각 직경 12.5mm(단면적 1.2cm<sup>2</sup>)와 12.7mm(단면적 1.3cm<sup>2</sup>)를 개발하였고, 최근 국내에서는 신동현 등(2007)이 직경 5mm(단면적 0.2cm<sup>2</sup>)의 소형콘을 개발하여 채취된 비교란시료에 대해 관입시험을 수행하였다. 이렇게 실내실험에 적용된 MCPT와 달리, 연속관입형 MCPT는 현장적용을 목적으로 개발된 장비로 그림 6에서 보이는 것처럼 차량에 탑재되어 이동과 조사가 이루어졌다.



그림 6. 연속관입형 MCPT 지반조사차량: LTRC 방식(왼쪽) 및 Sage Engineering 방식(오른쪽)

삼성물산 건설부문에서는 90년대 후반에 제작되어 세계최초로 현장 지반조사에 활용되어 현재까지 사용되고 있는 미국 LTRC의 연속관입형 MCPT 지반조사차량을 모델로 삼성 MCPT 지반조사차량(그림 7)을 제작하였다. 이를 위해 LTRC의 연속관입 MCPT 시스템의 개발과 현장적용의 책임자였던 루

이지애나 주립대 Tumay 명예교수의 자문을 받았고, 개선된 방식의 MCPT 지반조사차량을 제작하였다. 삼성 MCPT 지반조사차량은 2.5ton 중량의 4륜 구동 트럭으로 3인까지 탑승이 가능하고, 일반도로 및 비포장도로 주행이 가능하여 조사위치로 신속하고 경제적으로 이동할 수 있다. 차량에는 수평을 잡을 수 있도록 4개의 아웃리거(Outtrigger)와 비상시 사용할 수 있는 4ton 용량의 전동윈치(Electrical Winch)가 설치되어 있으며, 그 외 현장 MCPT 지반조사에 필요한 제반사항을 갖추고 있어 현장 도착 후 신속하게 조사를 수행할 수 있다.



그림 7. 삼성 MCPT 지반조사차량

CPT 지반조사차량은 일반적으로 장비의 탑재/운반 및 콘관입을 위한 반력의 두 가지 역할을 수행한다. 표준콘을 사용했을 때 반력확보를 위해 일반적으로 중량 20~30ton의 대형 트럭이 요구되는 반면, 삼성 MCPT 시스템의 경우 2.5ton의 소형트럭을 채택할 수 있어 장비의 경량화에 따른 경제적이고 효율적인 콘관입시험이 가능하도록 하였다. 그림 8은 표준 및 대형 CPT가 가능한 27ton 중량의 한국도로공사의 CPT 지반조사차량과 삼성 MCPT 지반조사차량의 비교를 보여준다.



그림 8. 삼성 MCPT 조사차량(왼쪽)과 일반 CPT 조사차량(오른쪽)

### 2.3 자료측정 시스템(Data Aquisition System)

그림 9는 삼성 MCPT 시스템에 사용된 측정장치를 보여준다. 측정장치는 1) 선단저항, 주변마찰, 간극수압, 경사, 그리고 깊이에 대한 신호를 발생시키는 계측센서, 2) 센서에서 발생된 전기신호를

RS485 신호로 바뀌 주는 data logger, 3) data logger를 통해 변환된 RS485 신호를 컴퓨터 입력이 용이한 RS232 신호로 바꿔 주는 자료변환기, 그리고 4) 자료변환기를 통해 전달된 정보를 측정 소프트웨어로 저장, 출력하는 노트북 컴퓨터로 구성되었다. 콘의 센서를 통해 측정된  $q_c$ 와  $f_s$ 에 대한 정보와 depth encoder로부터 전달된 깊이정보는 전기신호 형태로 data logger로 전달된다. Data logger box의 내부에는  $q_c$ ,  $f_s$ 뿐 아니라 depth encoder, 간극수압계, 경사계로부터 각각 전달된 신호를 처리하는 DGH module이 위치한다. DGH module이 처리한 신호는 RS485 통신규격으로 전환된 후 다시 자료변환기를 거쳐 컴퓨터 작업이 용이한 RS232의 통신규격으로 전환되어 컴퓨터로 이동한다.

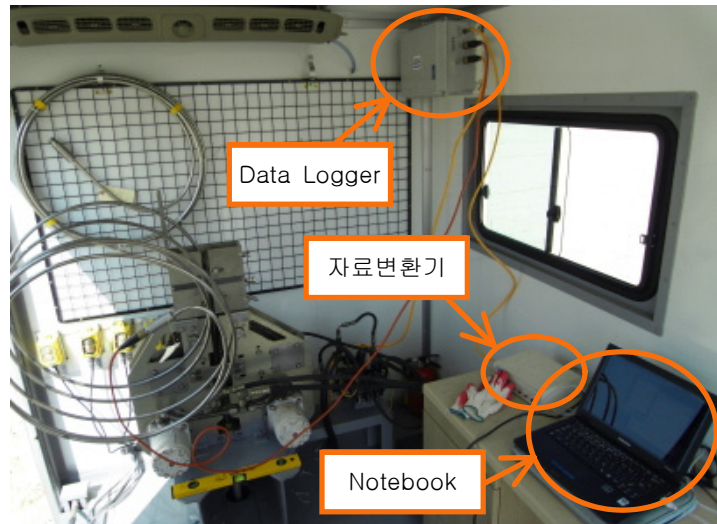


그림 9. 삼성 MCPT 자료측정 시스템

## 2.4 유압장치(Hydraulic System)

삼성 MCPT 시스템에서 유압장치는 MCPT 관입장치를 구동시켜 콘을 지중에 관입시키는 역할과 조사차량에 장착된 아웃리거 피스톤에 유압을 전달, 차량의 수평을 잡는 작업을 수행한다. 연속관입형 MCPT 관입장치를 구동시키기 위해선 3GPM(gallon per minute)@1,500psi 용량의 유압펌프가 필요하다. 제작사측의 의견을 참고하여 그림 10의 유압장치를 구성하였다. 유압펌프의 구동은 조사차량의 PTO(Power Take Off)로부터 동력을 전달받아 이뤄진다.



그림 10. 삼성 MCPT 조사차량에 설치된 유압장치

### 3. CPT에서의 Scale Effect

#### 3.1 Scale Effect

지반공학 분야에서 Scale Effect라 함은 일반적으로 대상 구조물에 대한 실험실시험이 불가능한 경우 크기가 축소된 모형실험결과로부터 실제 결과를 유추하는 경우 크기의 차이에 기인하는 결과의 차이를 말한다. 이러한 크기의 차이가 영향을 주는 결과의 차이는 실험에 관여된 역학적 특성이나 여러 가지 실험조건이 대상물의 크기변화에 어떻게 관여하고 있는 지에 따라 달라지게 된다. 따라서, Scale Effect는 대상물이 갖은 조건이라도 지반조건 등 여러 가지 실험조건에 따라 달라질 수 있으며 이를 규명하려는 많은 연구가 지반공학 분야에서 이뤄졌다. CPT에서도 콘크리트 크기에 따른 Scale Effect에 대한 연구가 있어 왔는데 이는 주로 콘크리트가 콘관입저항값인  $q_c$ 와  $f_s$ 에 미치는 영향을 분석한 것들이다. CPT에 있어 콘크리트 크기에 따른 Scale Effect는 콘관입에 따른 소성영역 발생과 관계가 있다. 콘의 크기가 작을수록 관입 시 발생하는 소성영역의 범위가 작아져 원지반 특성을 최대한 반영된 측정결과를 기대할 수 있으나, 반대의 경우 소성영역이 증가하므로 원지반 특성뿐만 아니라 교란된 지반의 특성까지도 함께 반영된 결과를 얻게 된다. 점토지반인 경우 Scale Effect는 콘의 크기에 따른 관입 시 간극수압형성과 소산 과정과도 관계가 있다.

Sanglerat(1972)는 서로 다른 콘단면적을 갖는 콘으로 측정한 콘관입저항값이 거의 같다고 보고하였다. Holden(1977)은 일반적인 모래지반의 경우 콘의 크기가 작을수록 콘관입저항값이 커짐을 제안하였다. Schmertmann(1978)은 모든 종류의 흙에서  $5\sim 20\text{cm}^2$ 의 콘단면적을 갖는 콘의 관입저항값은 유의미한 차이를 보이지 않음을 보고하였다. De Ruiter(1982)도  $5\sim 15\text{cm}^2$ 의 콘단면적의 경우  $q_c$ 와  $f_s$ 에 유의미한 차이가 없음을 보고하였고, Lunne et al.(1986)도  $10\text{cm}^2$  콘과  $15\text{cm}^2$  콘의 관입저항값 측정에서 중대한 차이가 없는 것을 보고하였다. Juran and Tumay(1989)는 간극수압측정을 병행한 CPTu 시험을 통해  $10\text{cm}^2$  콘과  $15\text{cm}^2$  콘의  $q_c$ 와 간극수압( $u$ ) 측정에는 중대한 차이가 없는 반면  $f_s$ 의 측정에서는  $10\text{cm}^2$  콘이  $15\text{cm}^2$  콘보다 20% 높은 값을 준다고 보고하였다.

#### 3.2 표준 CPT와 MCPT Scale Effect 연구결과

CPT에서의 Scale Effect에 대한 연구는 콘단면적  $10\text{cm}^2$ 의 표준콘의 결과를 기준으로 작거나 큰 콘의 결과를 비교하여 이뤄졌다. 3.1절에도 정리 되었듯이 표준콘과  $15\text{cm}^2$  대형콘 사이에는 유의미한 차이가 존재하지 않는 것으로 알려져 있으며 이는 대형콘을 이용한 CPT 결과로부터 지반을 분류하고 공학적특성을 분석하는데 있어 표준콘 결과들로부터 정리된 자료들을 수정없이 사용할 수 있음을 의미한다. 삼성 MCPT 시스템에 적용된 콘단면적  $2\text{cm}^2$ 와 같은 크기의 소형콘에 대한 Scale Effect 연구는 미국 LTRC에서 표준 CPT 장비와 연속관입형 MCPT 장비를 이용하여 현장시험을 통해 수행되었고(Tumay and Kurup, 2001), 최근에는 고려대학교 챔버실험실에서 모형토조를 이용한 실내실험을 통해 수행되었다(고려대학교, 2008).

Tumay and Kurup(2001)은 미국에 위치한 3개 현장(루이지애나 주 Highland Road 현장, 텍사스 A&M 대학과 휴스턴 대학의 NGES(National Geotechnical Experimental Sites) 현장)에서 수행한 표준 CPT와 MCPT의 비교시험을 통해  $q_c$ 와  $f_s$ 의 비를 구하였다(표 1). 비교시험은 지반의 불균질성 영향을 최대한 배제하기 위해 균질성이 우수한 구간을 선별하여 수행하였고, 선별된 점토 및 실트질 점토 지반인 경우  $10\text{cm}^2$  표준 CPT 측정값을 기준으로  $2\text{cm}^2$  MCPT에서  $q_c$ 는 약 10~13%정도 크게,  $f_s$ 는 약 9~13% 작게 측정되었다.

표 1. 소형콘(2cm<sup>2</sup>)과 표준콘(10cm<sup>2</sup>)의 Scale Effect(Tumay and Kurup, 2001)

현장명	시험심도 (m)	$q_{c(2cm^2)}/q_{c(10cm^2)}$	$f_{s(2cm^2)}/f_{s(10cm^2)}$
Highland Road	4.5~7.5	1.10	0.89
NGES-Texas	1.5~7.0	1.13	0.91
NGES-Houston	1.0~8.5	1.11	0.87

고려대학교에서는 모형토조를 이용하여 상대밀도 조건과 구속압 조건을 다르게 한 5가지의 사질토 지반과 한 가지 조건의 점성토 지반 등 총 6가지 지반조건에 대해 2cm<sup>2</sup> MCPT와 10cm<sup>2</sup> 표준 CPT를 수행하였다(고려대학교, 2008). 실험결과 사질토 지반의 경우 MCPT가 CPT에 비해 약 11~14% 큰  $q_c$ 와 약 3~14% 작은  $f_s$ 를 측정하는 것으로, 점토 지반인 경우 MCPT가 CPT에 비해 약 4% 큰  $q_c$ 와 약 7% 작은  $f_s$ 를 측정되었다. 이러한 값과 경향은 Tumay and Kurup(2001)의 현장실험결과와 크게 다르지 않다. 결론적으로 현재까지의 연구결과에 따르면 MCPT와 CPT가 10% 내외의 측정 관입저항값 차이를 가지는 것을 알 수 있는데, 10% 내외의 측정값의 차이는 CPT 시험결과가 활용되는 지반분류 및 공학적 물성치를 산정에 있어 훨씬 미미한 차이로 나기 때문에 표준 CPT와 MCPT 사이의 Scale Effect는 심각하게 고려하지 않아도 된다고 여겨진다. 따라서, MCPT 결과와 CPT 결과의 이러한 차이를 이해하고 적용한다면 콘 크기 축소에 따른 보다 정밀한 지반조사의 강점을 십분 살릴 수 있는 성과를 얻을 수 있을 것이다.

## 4. 현장시험

### 4.1 개요

제작된 삼성 MCPT 시스템의 성능확인을 위해 부산지역 A 현장의 2개 지점에서 2cm<sup>2</sup> MCPT와 10cm<sup>2</sup> 표준 CPT를 수행하였다. 2개 지점은 서로 5m 떨어져 있으며 콘관입으로 인한 교란영향을 최소화하면서 동일 지반에 대한 비교가 가능하도록 1m 간격으로 각 지점에서 MCPT와 CPT를 수행하였다. 조사를 수행한 지점은 연약지반 상부에 해상모래를 10m 높이로 매립한 곳으로 200번체 통과량 1% 미만의  $D_{50,ave}=0.34$ 의 SP(Poorly Graded Sand)로 분류되는 지반조건을 가지고 있다. MCPT의 성능확인을 위한 표준 CPT는 그림 11의 20ton 중량 CPT 장비를 이용하여 수행하였다. 그림 12는 현장에서 수행된 MCPT-CPT 비교시험 전경을 보여준다.



그림 11. 20ton CPT 장비



그림 12. MCPT-CPT 비교시험 전경



## 4.2 시험결과

그림 13은 A 현장의 2개 지점에서 수행된 MCPT-CPT 비교시험 결과를  $q_c$ 와  $f_s$ 로 구분하여 보여주고 있다. MCPT의 경우 좌굴의 영향을 고려하여 최대조사심도인 10m 미만에서 25MPa 정도의  $q_c$ 가 나오는 심도에서 조사를 종료하였고, CPT의 경우 10m까지 조사를 수행하였다.  $q_c$ 의 경우 그림 13에 보이는 것처럼 MCPT와 CPT의 결과가 경향뿐 아니라 값까지도 상당히 근사함을 알 수 있다. 다만  $f_s$ 의 경우 경향은 일치하지만 값에 있어 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 더구나,  $f_s$ 의 경우 MCPT의 결과가 CPT 결과보다 작았던 기존 연구결과들을 고려하면 기대했던 것과 다른 결과가 얻어졌다. 물론 지금까지의 연구결과들은 제한적인 지반조건 안에서 수행됐던 것들로 A 현장에서 얻어진 결과에 바로 적용하기에는 무리가 있으나 실험값의 차이가 예상보다 큰 부분들은 원인을 파악한 후에 수정·보완하여 향후에 수행될 시험에서의 신뢰도를 향상시켜야 할 것으로 여겨진다. 원인 중 하나로 차감방식의  $f_s$  측정을 고려해 볼 수 있는데, 차감식 콘의 경우 상대적으로 큰 값인  $q_c$ 와  $q_c+f_s$ 를 구하여 그 차이로부터 상대적으로 작은 값인  $f_s$ 를 구하기 때문에  $q_c$ 와 비교하여  $f_s$  측정은 좀 더 큰 오차범위를 가질 수 있다. 향후 MCPT를 수행함에 있어 보다 정확한  $f_s$  측정을 위한 주기적인 계측센서의 검교정, 시험 후 마찰주면의 작동여부 확인 등 보다 세밀한 시험의 세부과정들이 뒤따라야 할 것으로 여겨진다. 균질한 모래지반은 아니지만 지표면으로부터 5.5m 심도까지의 평균  $q_c$ 를 비교하니, 2개 지점에서 MCPT로부터의  $q_c$ 가 CPT로부터의  $q_c$  보다 11% 더 큰 것으로 나타났다. 그림 14와 15에 보이는 것처럼 Robertson et al.(1986)이 제안한 지반분류표를 이용했을 때 CPT 및 MCPT 조사결과 모두 조사구간 내 대부분의 지반을 Soil Behavior Type 9번 모래로 분류하였고, 일부구간에서 Soil Behavior Type 8번 모래에서 실트질 모래, 10번 자갈 섞인 모래에서 모래로 분류하였다. 그림 14와 15는 비교를 위해 깊이 6m까지의 지반분류를 보여준다. 그림 14와 15에 나와 있는 깊이별 지반분류를 위하여 LTRC에서 개발하여 보급한 freeware인 Soil\_CPT program([www.ltrc.lsu.edu/downloads.html](http://www.ltrc.lsu.edu/downloads.html))을 이용하였다.

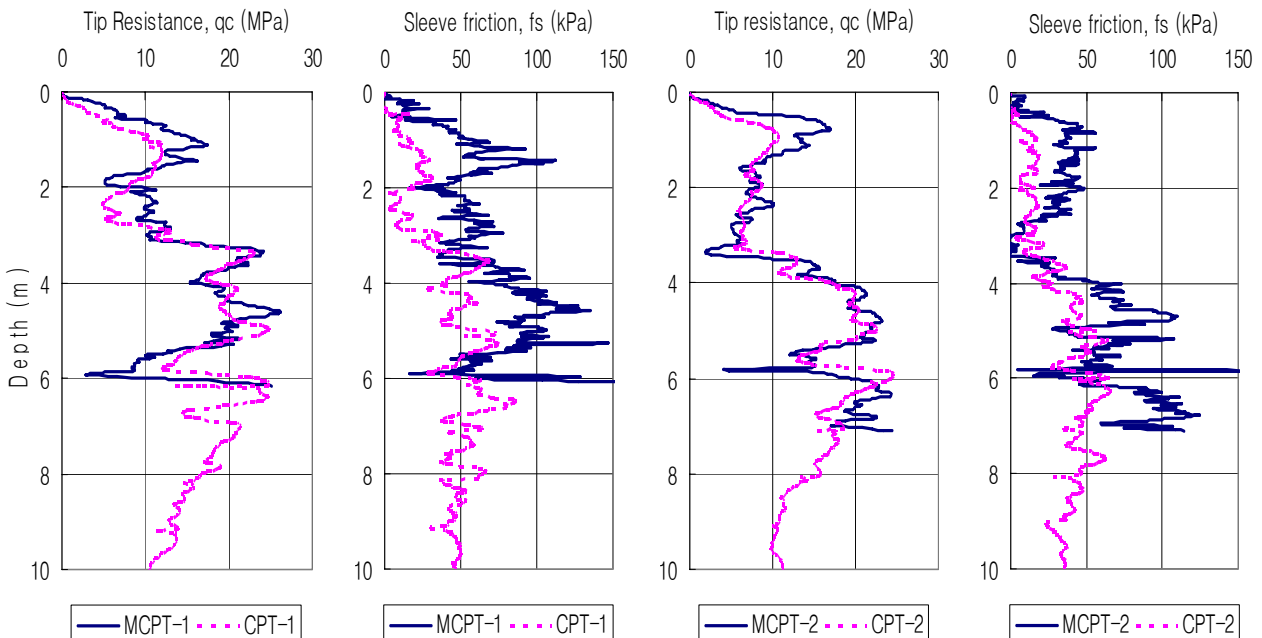


그림 13. MCPT-CPT 비교시험 결과

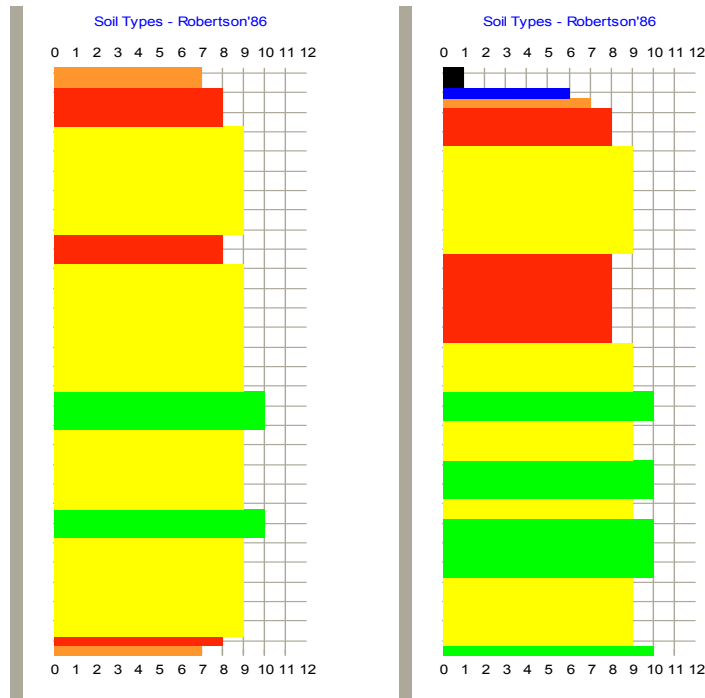


그림 14. 지반분류비교: MCPT-1(왼쪽)과 CPT-1(오른쪽)

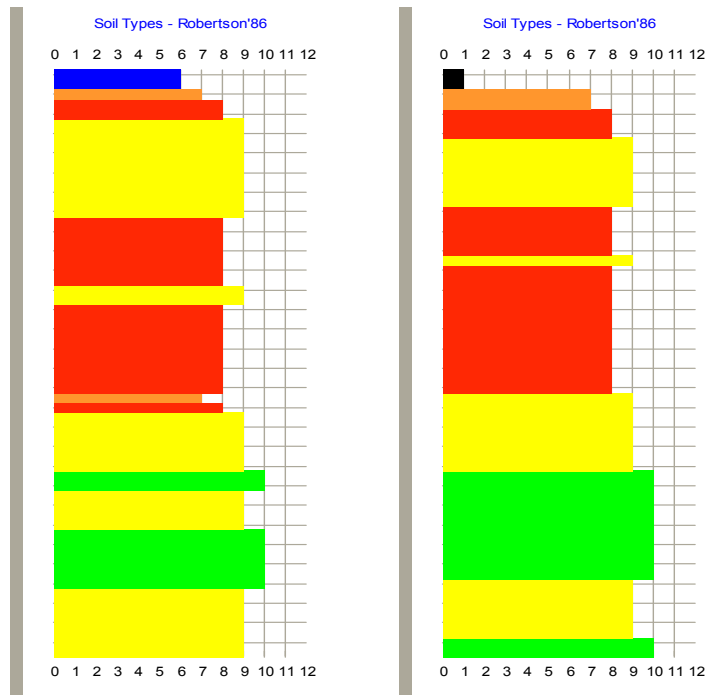


그림 15. 지반분류비교: MCPT-2(왼쪽)와 CPT-2(오른쪽)

## 5. 결론

미국 LTRC에서 90년대 후반 개발되어 현장적용이 이뤄진 연속관입형 MCPT 시스템은 장비의 경량화와 연속관입방식을 통해 신뢰성 있고, 신속하고 경제적인 지반조사를 가능하게 하였다. 삼성물산 건설부문에서는 LTRC의 연속관입형 MCPT 시스템을 모델로 삼성 MCPT 시스템을 제작하였다. MCPT와

CPT의 측정값 사이에는 Scale Effect로 인해 어느 정도 차이가 발생하는 것으로 알려져 있으며, 제한적이기는 하지만 기존의 현장시험 및 실내시험 결과로부터 10cm<sup>2</sup> 표준 CPT와 비교해서 2cm<sup>2</sup> MCPT의 경우  $q_c$ 는 약 10% 큰 값이  $f_s$ 는 약 10% 작은 값이 얻어지는 것으로 알려져 있다. 이러한 10% 내외의 관입저항측정값의 차이는 콘관입시험결과가 활용되는 지반분류나 공학적 물성치 산정에 있어서는 훨씬 미미한 차이를 보인다.

제작된 삼성 MCPT 시스템의 성능확인을 위해 부산지역 A 현장의 2개 지점에서 2cm<sup>2</sup> MCPT와 10cm<sup>2</sup> 표준 CPT를 수행하였다. 조사지점은 연약지반 상부에 해상모래를 10m 높이로 매립한 곳으로 Robertson et al.(1986)이 제안한 지반분류표를 이용했을 때 CPT 및 MCPT 조사결과 모두 조사구간 내 대부분의 지반을 Soil Behavior Type 9인 모래로 분류하여 MCPT 지반조사를 통해 실제와 일치하는 지반분류결과를 얻었음을 확인하였다. MCPT로부터 얻어진  $q_c$ 는 CPT로부터 측정된  $q_c$ 와 비교했을 때, 기존 연구결과와 일치하는 수준의 차이(약 10%)를 보임도 확인하였다. 그러나  $f_s$ 의 경우 MCPT와 CPT 사이의 Scale Effect는 기존 연구결과의 값을 넘어서는 수준으로 측정되었고, 보다 정확한  $f_s$  측정을 위해 주기적인 계측센서의 검교정, 시험 후 마찰주면의 작동여부 확인 등 보다 세밀한 시험의 세부과정 수행이 뒤따라야 할 것으로 여겨진다.

## 참고문헌

1. 고려대학교 (2008), 소형 콘관입시험기(MCPT)의 Scale Effect 규명 연구 최종보고서, 69 p.
2. 신동현, 홍성진, 이우진, 이종섭 (2007), “초소형 콘관입 장비의 개발 및 적용”, 제 33회 대한토목학회 정기학술대회, pp. 4334~4337.
3. DeJong, J.T., DeGroot, D.J., Yafrate, N.J., and Jakubowski, J. (2003), "Detection of soil layering using a miniature piezoprobe", *Soil Rock America 2003*, Boston, MA, pp. 151~156.
4. De Ruiter, J. (1982), "The static cone penetration test: state-of-the art report", *Proc. of the Second European Symposium on Penetration Testing*, Amsterdam, Vol. 2, pp. 389~405.
5. Holden, J. (1977), *The Calibration of Electrical Cone Penetrometers in Sand*, Norwegian Geotechnical Institute, Int. Rep. 52108-2, 29 p.
6. Juran I. and Tumay, M.T. (1989), "Soil stratification using dual pore pressure piezocone test (DPCPT)", *Transportation Research Record 1235*, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 68~78.
7. Lunne, T., Eidsmoen, T., Pwell, J.J.M., and Quartermann, R.S.T. (1986), *Piezococone Testing in Overconsolidated Clays*, Norges Geoteknise Institute, Report No. 52155-42, 10 p.
8. Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., and Greig, J. (1986). "Use of piezometer cone data." *Use of In-Situ Tests in Geotechnical Engineering (GSP 6)*, Ed. S. P. Clemence, ASCE, New York, pp. 1263~1280.
9. Sanglerat, G. (1972), *The Penetrometer and Soil Exploration*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, Netherlands.
10. Schmertmann, J.H. (1978), *Guidelines for Cone Penetration Test: Performance and Design*, Federal Highway Administration, Report FHWA-TS-78-209, Washington, 145 p.
11. Tumay, M. T. and Kurup, P. U. (1997), *Calibration and Implementation of Miniature Electronic Cone Penetrometers for Road and Highway Design and Construction*, Louisiana Transportation Research Center, Project No.88-1GT Final Report, 71 p.
12. Tumay, M. T. and Kurup, P. U. (1999). *A Continuous Intrusion Miniature Cone Penetration Test System for Transportation Applications*, Louisiana Transportation Research Center, Project No.96-3GTX Final Report, 60 p.

13. Tumay, M.T. and Kurup, P.U. (2001), "Development of a continuous intrusion miniature cone penetration test system for subsurface explorations", *Soils and Foundations*, Vol. 41, No. 6, pp. 129~138.
14. Tumay, M.T., Titi, H.H., Senneset, K., and Sandven, R. (2001), "Continuous intrusion miniature piezocone penetration test in quick soil deposits", *Proc. XVth International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Istanbul, Turkey, Vol. 1, pp. 523~526.
15. Yafate, N.J. and DeJong, J.T. (2005), "Detection of stratigraphic interfaces and thin layering using a miniature piezoprobe", *Geo Frontiers 2005*, ASCE, Austin, Texas, GSP 138.