

한국형타격콘관입시험법의 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Korean Driving Cone Penetrometer Test(DCPT) Method

정 성 민¹ Jung, Sung-Min

권 오 성² Kwon, Oh-Sung

이 중 성³ Lee, Jong-Sung

이 민 희⁴ Lee, Min-Hee

최 용 규⁵ Choi, Yong-Kyu

Abstract

A variety of in-situ geotechnical investigation methods are currently used to measure the properties of each site, but in-situ tests for "Intermediate Geomaterial (IGM)", which is the transitional geomaterial between soil and rock, have only limited application. In the United States, "The Texas Cone Penetrometer Test (TCPT)", which is the geotechnical investigation technology for IGM, is utilized to create foundation designs. This paper introduces "The Driving Cone Penetrometer Test (DCPT)", which can be performed using general geotechnical investigation equipment and also analyzes the correlation between various in-situ geotechnical investigation methods by applying DCPT on the ground. The results showed that the correlation between the driving cone penetrometer test (DCPT) and standard penetration test (SPT) was quite high. Additionally, the scope of DCPT properties was wide, depending on soil types.

요 지

일반적으로 다양한 원위치 지반조사 방법들이 각 지반의 특성치 산출에 활용되고 있으나 토사지반과 암반지반의 중간 전이지반인 중간지반(IGM; Intermediate Geo-material)에 대한 그 방법들의 적용은 미비하거나 한계가 있다. 국외에서는 IGM지반에 대한 지반조사기술인 텍사스콘관입시험(TCPT; Texas Cone Penetrometer Test)을 말뚝기초의 설계에 활용하고 있다. 본 연구에서는 국내 장비와 지반에 맞게 개량된 한국형 타격콘관입시험(DCPT; Driving Cone Penetrometer Test)방법을 개발하였으며 이를 국내 지반에 적용한 결과를 다양한 원위치 지반조사 방법들과 비교·평가하고 관계를 분석하였다. 그 결과 DCPT와 SPT 결과와의 관계에서는 양호한 관계가 나타났으며 지반종류에 따른 DCPT의 특성치 범위도 적절하게 나타낼 수 있었다.

Keywords : Correlation coefficient, DCPT(Driving Cone Penetrometer Test), IGM(intermediate geomaterial), In-situ test

1. 서 론

국내에서 일반적으로 사용하는 원위치 지반조사 방

법에는 표준관입시험(SPT), 정적콘관입시험(CPT), 공대수평재하시험(PMT), 공내전단시험(BST), 각종 탄성파탐사법(Sonic Test) 등이 있다. 국내 풍화대 지반에서

1 정회원, (주)지텍크, 과장 (Manager of G-TEC Ltd.)

2 정회원, 대림산업(주) 기술개발원 과장 (Manager, Technology Research & Development Institute, Daelim Industrial Co. Ltd.)

3 정회원, 대림산업(주) 부장 (General Manager, Daelim Industrial Co. Ltd.)

4 정회원, (주)지텍크, 대표이사 (CEO of G-TEC Ltd.)

5 정회원, 경성대학교 건설·환경공학부 교수 (Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kyungsung Univ., ykchoi@ks.ac.kr, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2012년 2월 28일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

는 표준관입시험의 경우 단단한 지반에는 관입이 불가능하며, 정적콘관입시험의 경우 N치 20 이상의 지반에서는 관입반력의 부족으로 인하여 적용이 불가능하고, 공내수평재하시험 및 공내전단시험의 경우 시추공 굴착시 발생하는 과다 굴착과 공벽이완으로 인하여 시험 수행 자체가 불가능하게 되거나 결과치가 과소평가 되는 경향이 있으며, 다운홀 또는 크로스홀 탐사법의 경우 P파속도, S파 속도, 동탄성계수, 동전단계수 등을 간접적으로만 추정할 수 있다. 현재 국내 풍화대 지반의 지반특성치 산출 및 말뚝기초의 설계에 활용할 수 있는 원위치 지반조사방법은 찾아볼 수가 없다.

미국 텍사스도로국(TxDOT; Texas Department of Transportation)에서는 코아의 회수가 불량한 IGM(Intermediate Geo-material)지반에 대한 지반조사기술로 텍사스콘관입시험(TCPT; Texas Cone Penetrometer Test)을 개발하여 말뚝기초의 설계방법을 제시하였다(TxDOT, 2000).

국내 지반조사 장비가 TCPT 장비와 상이하여 국내 지반조사장비를 활용하면서 관입시험을 수행할 수 있는 관입시험방법이 필요하였다. 따라서 본 연구에서는 국내 풍화대지반에 경제적으로 적용할 수 있는 지반조사방법을 개발하여 적용성을 검토하였다.

2. 한국형타격콘관입시험의 개발과정

미국 텍사스도로국에서 개발하여 사용해오고 있는 TCPT는 110mm의 시추공에서 0.76kN의 해머를 610mm의 낙하고로 직경 76mm의 콘을 100회 타격하여 관입깊이를 산출하는 시험이다. TCPT는 110mm 시추공 내에서 시험을 수행하도록 규정하고 있으므로 TCPT의 타격콘은 국내 일반적인 시추공(NX ; 직경 76mm)에서는 관입이 불가능하였다. 국내에서 TCPT를 적용할 경우 조사시간과 조사비용이 매우 크게 증가할 수 있을 것으로 예상되었다.

국내의 일반적인 시추공에서 타격콘관입시험을 수행할 수 있도록 한국형타격콘관입시험(DCPT; Driving cone penetrometer test)을 개발하게 되었다. 한국형타격콘관입시험은 76mm의 시추공(NX)내에 콘(직경 70mm, 각도 60°)을 위치시키고 표준관입시험용 자동해머(중량 0.63kN)를 사용하여 76cm의 낙하고로 100회 타격 시 관입량을 측정하는 원위치 시험방법이며 국내에서 사용하고 있는 표준관입시험용 시추장비 및 타격시스템을 사용하도록 하였다(대림산업(주) 등, 2008).

한국형타격콘관입시험의 개발단계를 다음에 나타내었다.

- ① 1단계(타격에너지의 변화에 따른 지반종류별 관입성 평가) : TCPT의 해머와 동일한 중량(0.76kN)의 해머를 국내 표준관입시험 장비에 설치하여 타격높이를 3가지로 변화시켜 타격에너지의 변화에 따른 관입성을 평가
- ② 2단계(타격콘의 각도변화에 따른 지반종류별 관입성 평가) : 지반종류별로 적용 가능한 타격콘의 각도를 제한하기 위하여 각도를 3가지로 달리하여 지반종류별 관입성을 평가
- ③ 3단계(특정 현장에서 DCPT와 각종 원위치시험을 실시하여 관계 도출) : 각 현장의 동일위치에서 각종 사운드와 DCPT를 수행하여 그 관계를 분석

3. DCPT의 관입성 검증을 위한 현장시험 결과 및 분석

3.1 검증시험 현장 및 지층 개요

현장검증시험이 수행된 5개소의 국내 현장의 지층분포 및 표준관입시험 결과를 그림 1~7에 나타내었다. 각 그림에는 지반조사 위치의 평면적인 수평이격거리를 도면화하여 나타내었으며 이는 조사자료의 분석에 유용하게 참고할 수 있었다. G현장은 해상부 지역으로 지층분포는 초연약점토층, 자갈질 모래층, 연암층으로 구성되어 있었다. 그리고 I, Y, K, N 현장은 국내 풍화대 지반의 일반적인 지층분포, 즉 매립층, 토사층(점토 또는 모래), 풍화토층, 풍화암층, 연암층으로 구성되어 있었다.

3.2 원위치시험 수행 개요

표 1에는 본 연구에서 수행한 타격시험들의 종류를 나타내었다. 여기서, 수정TCPT(MTCPT)에서는 TCPT의 해머중량(0.76kN)을 사용하여 자체 제작한 콘(직경 70mm, 각도 60°)을 타격관입 시켰으며 이때 향타높이를 114cm, 76cm, 38cm로 변화시켰고 그 타격높이를 괄호 속에 각각 기호 A, B, C로 나타내었다. 또한 DCPT에서는 각도를 40°, 50°, 60°로 달리하는 콘(직경 70mm)을 SPT의 타격기준(중량 : 0.63kN, 낙하높이 : 76cm)으로 타격하였으며 괄호 속에 각각 기호 D, E, F로 구분하여

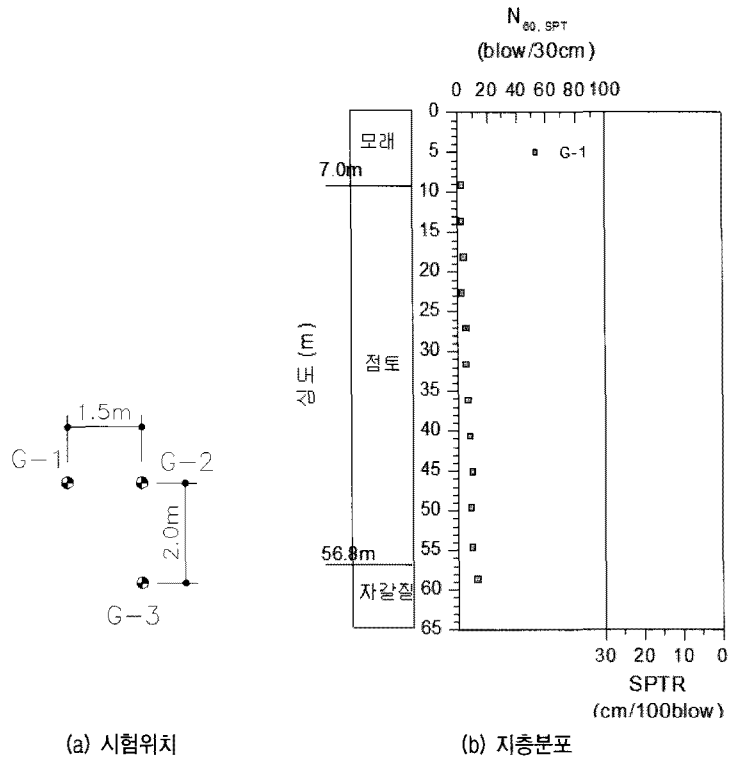


그림 1. G 현장의 지반조사위치도 및 지층분포도

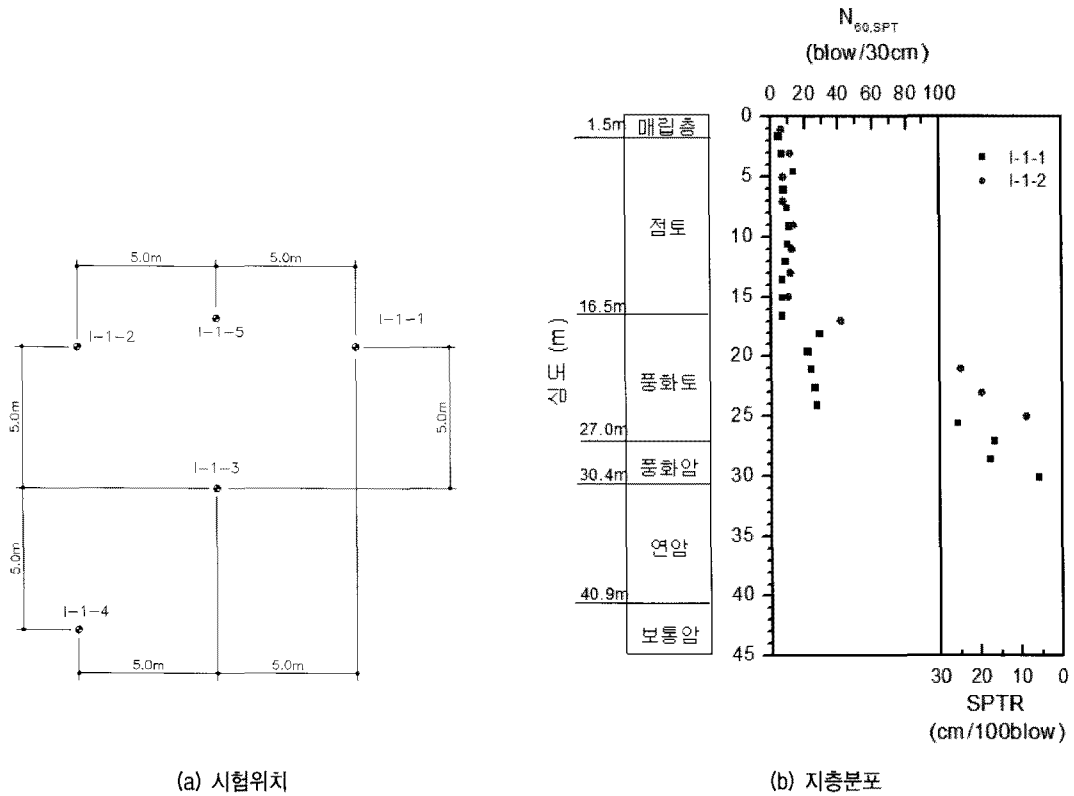
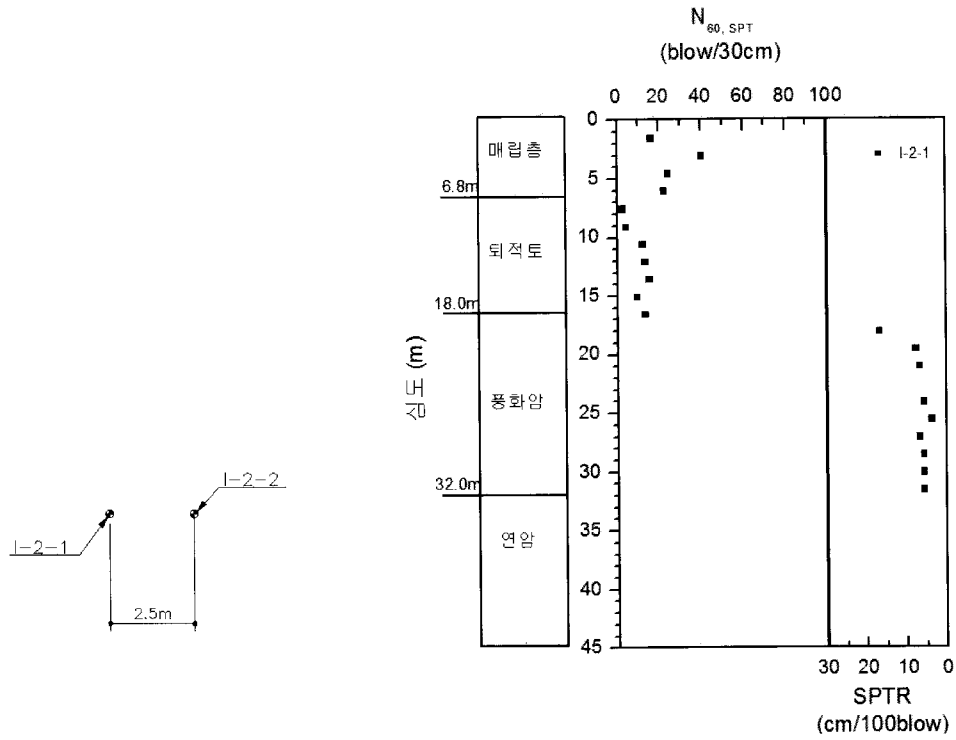


그림 2. I-1구간 지반조사 위치도 및 지층분포도

나타내었다.

표 2에는 3개의 현장에서 수행된 타격관입시험 및 사운딩시험들을 요약하여 나타내었다. 먼저 G현장에서 타격

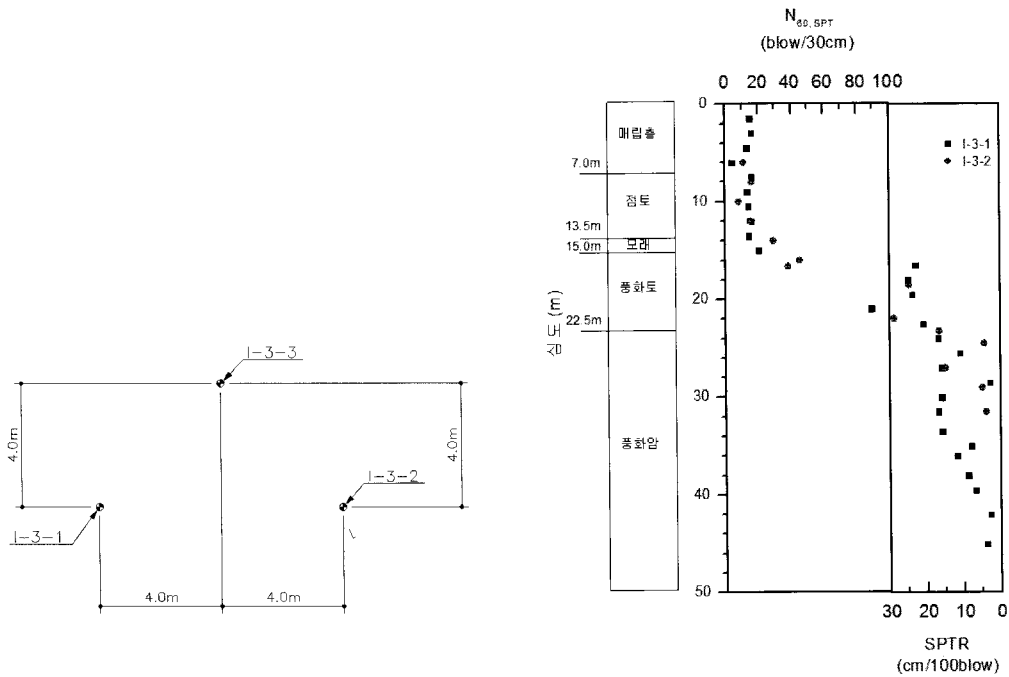
에너지의 변화에 따른 콘의 관입성을 측정하기 위한 현장 시험을 수행하였으며 따라서 MTCPT(A), MTCPT(B), SPT 및 CPT가 수행되었다. I현장에서는 타격에너지의



(a) 시험위치

(b) 지층분포

그림 3. I-2구간 지층분포도



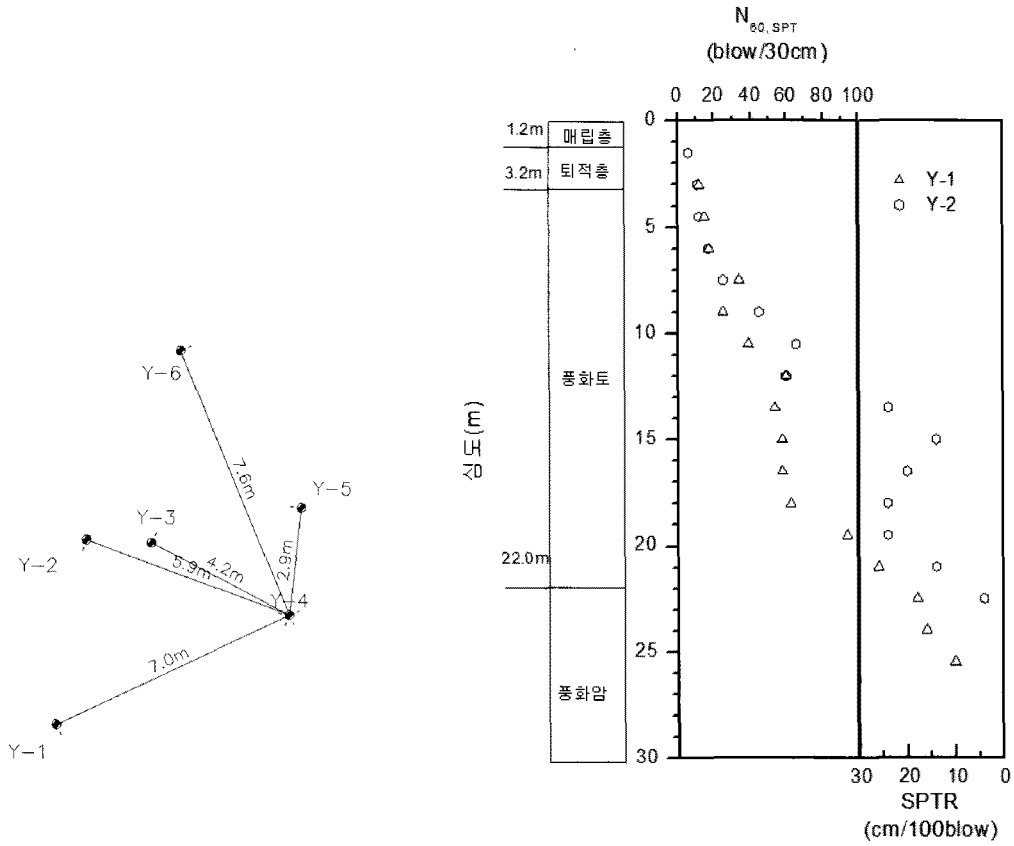
(a) 시험위치

(b) 지층분포

그림 4. I-3구간 지층분포도

변화에 따른 콘의 관입성을 측정하기 위한 추가적인 현장시험과 원위치시험들과의 관계를 파악하기 위한 현장시험을 수행하였으며 여기서 MTCPT(C), DCPT(F), SPT, PMT 및 DST(Donwhole Sonic Test; 하향식 탄성파탐사

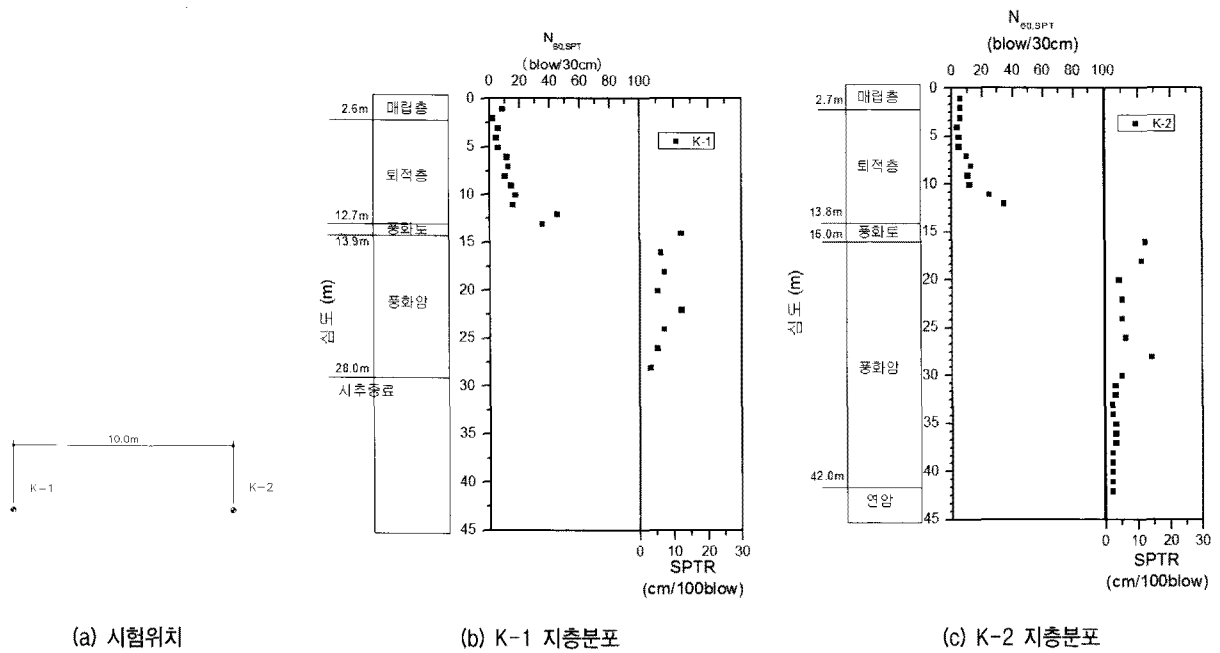
시험)가 수행되었다. Y현장에서는 콘의 각도변화에 따른 관입성을 측정하기 위한 현장시험 및 원위치시험들과의 관계를 파악하기 위한 현장시험을 수행하였으며 따라서 DCPT(D), DCPT(E), DCPT(F), SPT, PMT 및 DST가



(a) 시험위치

(b) 지층분포

그림 5. Y 현장의 지층분포도



(a) 시험위치

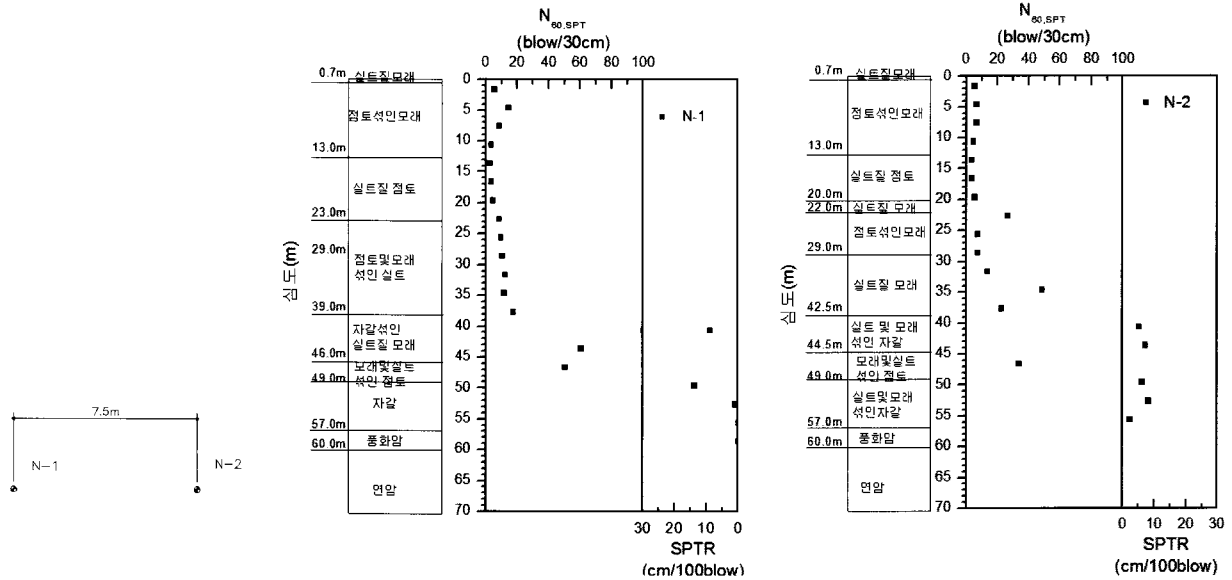
(b) K-1 지층분포

(c) K-2 지층분포

그림 6. K 현장의 지층분포도

수행되었다. 또한 I현장에서는 현대건설기술연구소(2006)에서 별도로 수행한 지반조사자료도 활용하였으며 Y현장의 SPT결과를 대림산업(주)(2007)에서 수행한 자료를

참고 하였다. K와 N현장에서는 SPT, DCPT(F), PMT를 수행하였다.



(a) 시험위치

(b) N-1 지층분포

(c) N-2 지층분포

그림 7. N 현장의 지층분포도

표 1. 수행한 타격관입시험의 종류

구분	구분기호	타격기준		콘의 제원		시험 현장	
		해머무게 (kN)	타격높이 (cm)	직경 (mm)	각도 (°)		
MTCPT	A형	MTCPT(A)	0.76	38	70	60	G
	B형	MTCPT(B)	0.76	76	70	60	
	C형	MTCPT(C)	0.76	114	70	60	I
SPT	SPT		0.63	76	51	-	G, I, Y
DCPT	D형	DCPT(D)	0.63	76	70	40	Y
	E형	DCPT(E)	0.63	76	70	50	Y
	F형	DCPT(F)	0.63	76	70	60	Y, I, K, N

3.3 향타에너지의 증가에 따른 지반종류별 관입성 시험 결과 및 분석

텍사스콘관입시험(TCPT)과 표준관입시험(SPT)의 타격에너지를 비교하기 위하여 식 (1)을 이용하여 각각의 타격에너지를 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{타격에너지}(N \cdot m) \\ & = \text{해머무게}(N) \times \text{낙하높이}(m) \times \text{타격횟수}(N) \quad (1) \end{aligned}$$

SPT와 TCPT의 1회 타격당 타격에너지를 계산하면 식 (2)~(3)과 같이 나타낼 수 있었다.

$$E_{SPT} = 0.62kN(W) \times 0.76m(H) = 0.47kN \cdot m \quad (2)$$

$$E_{TCPT} = 0.76kN(W) \times 0.61m(H) = 0.46kN \cdot m \quad (3)$$

여기서, E_{SPT} = SPT의 1회 타격당 위치에너지(kN·m)
 E_{TCPT} = TCPT의 1회 타격당 위치에너지(kN·m)

SPT의 타격에너지가 0.01kN·m정도 크게 나타났으나 이는 TCPT의 1회 타격에너지의 약 2%에 지나지 않으므로 동일한 것으로 간주하였고 국내 SPT 장비를 그대로 사용하였다.

다만 국외의 풍화대 지반보다 강도가 큰 국내의 풍화대 및 신선한 암에 관입이 용이할 수 있도록 내구성이 큰 재료로 제작된 콘을 사용하였다.

본 연구에서는 실험데이터들의 상관성을 분석하기 위하여 회귀분석을 실시하였는데 직선 및 곡선으로 회귀분석을 실시하였다. 이 때 직선의 경우 상관관계를 상관계수 r로 나타낼 수 있으며 곡선의 경우 결정계수 r^2 으로 나타낼 수 있다. 직선으로 회귀분석을 할 경우 원점

표 2. 현장별 원위치시험 종류 및 개요

현장명	시험 시추공 번호	참고 문헌	조사항목											조사 시기	시험 말뚝	
			MTCPT			DCPT			SPT	PMT	CPT	BST	DST			
			A	B	C	D	E	F								
G 현장	G-1	1							O						2005. 10	
	G-2	1	O	O											2005. 10	
	G-3	1									O				2005. 10	
I 현장	I-1	I-1-1	3						O	O					2005	ITP1-1 ITP1-2
		I-1-2	2			O			O				O	2006. 11		
		I-1-3	2						O				O	2006. 11		
		I-1-4	2						O				O	2006. 11		
		I-1-5	3						O		O			2007. 6		
	I-2	I-2-1	3						O	O				2005	ITP2-1	
		I-2-2	3						O					2007. 6		
	I-3	I-3-1	3						O	O				2005	ITP3-1 ITP3-2	
		I-3-2	2		O				O				O	2006. 11		
I-3-3		2						O					2007. 6			
Y현장	Y-1	2						O					2005. 3	YTP-1		
	Y-2	2						O					2007. 3			
	Y-3	2				O		O		O		O	2007. 5			
	Y-4	2				O		O		O		O	2007. 5			
	Y-5	2					O	O					2007. 5			
	Y-6	2				O	O						2007. 5			
K현장	K-1	4						O	O	O			2009. 4	KTP-1 KTP-2		
	K-2	4						O	O	O			2009. 4			
N현장	N-1	5						O	O	O			2009. 7	NTP-1 NTP-2		
	N-2	5						O	O	O			2009. 7			

을 지나지 않고 절편을 가지는 직선으로 나타나게 되는데 본 연구에서는 절편을 가지지 않는 선형관계로 나타내어야 하는 경우가 있었다. 이런 경우에는 상관계수 r 이 아무런 의미를 가지지 못하게 되므로 엄밀하게는 상관관계를 나타내는 것은 아니지만 데이터의 집중정도를 나타내는 척도로 볼 수 있는 r^2 으로 나타내는 것으로 하였다. 이후의 분석에서는 직선이나 곡선 모두에 대하여 r^2 으로 나타내어 데이터의 집중정도를 판단하는 척도로 활용하였다.

MTCPT(A), MTCPT(B), MTCPT(C), DCPT(F)와 SPT의 관계를 그림 8에 나타내었다. 그림 8(a)에서 SPT와 동일한 장비로 시험된 DCPT(F)의 경우 기울기가 0.70으로 DCPT의 관입성이 SPT보다 양호한 것으로 평가할 수 있었다. 반면 그림 8(b)에서는 100회 타격시 관입량에 대한 관계로서 기울기가 0.56로 SPT의 관입성이 더욱 좋은 것으로 평가할 수 있었다.

3.4 콘의 각도에 따른 지반종류별 관입성 시험

TxDOT에서는 타격콘의 각도를 60°로 제시하였으나, 본 연구에서는 지반종류에 따라 콘의 각도를 다르게 사용할 수 있는 가능성을 확인하고 콘의 관입량에 따른 지반분류를 할 수 있도록 하기 위하여 콘의 각도를 변경하여 관입성 실험을 수행하였다. 그리고 이 시험에서는 TCPT와 동일한 타격에너지를 작용시킬 수 있도록 표준 관입시험의 타격기준(해머중량 : 0.63kN, 타격높이 : 76cm)을 사용하였다.

콘의 각도를 40°, 50°, 60°로 변경하여 Y현장에서 관입성 시험을 수행하였다. 3개의 시추공에서 현장시험을 실시하였는데 Y-1에서는 40° & 60° 각도의 콘을, Y-2에서는 50° & 60° 각도의 콘을 그리고 Y-3에서는 40° & 50° 각도의 콘을 사용하여 타격관입시험을 수행하였다. 3개의 시추공에 대한 타격관입시험 결과를 그림 9에 나타내었다.

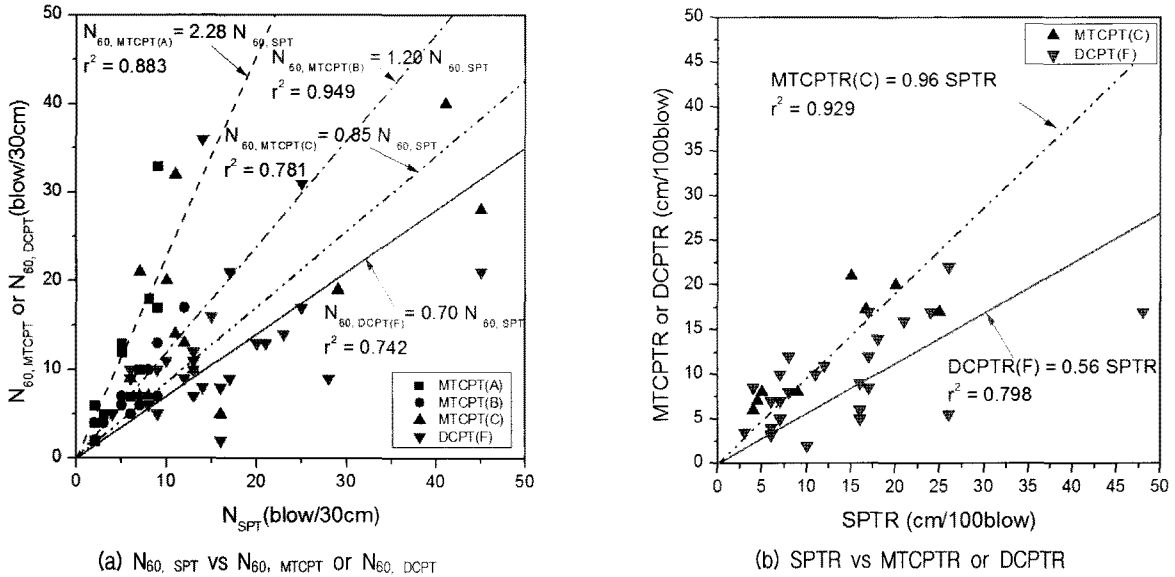


그림 8. 타격에너지에 따른 관입성 분석

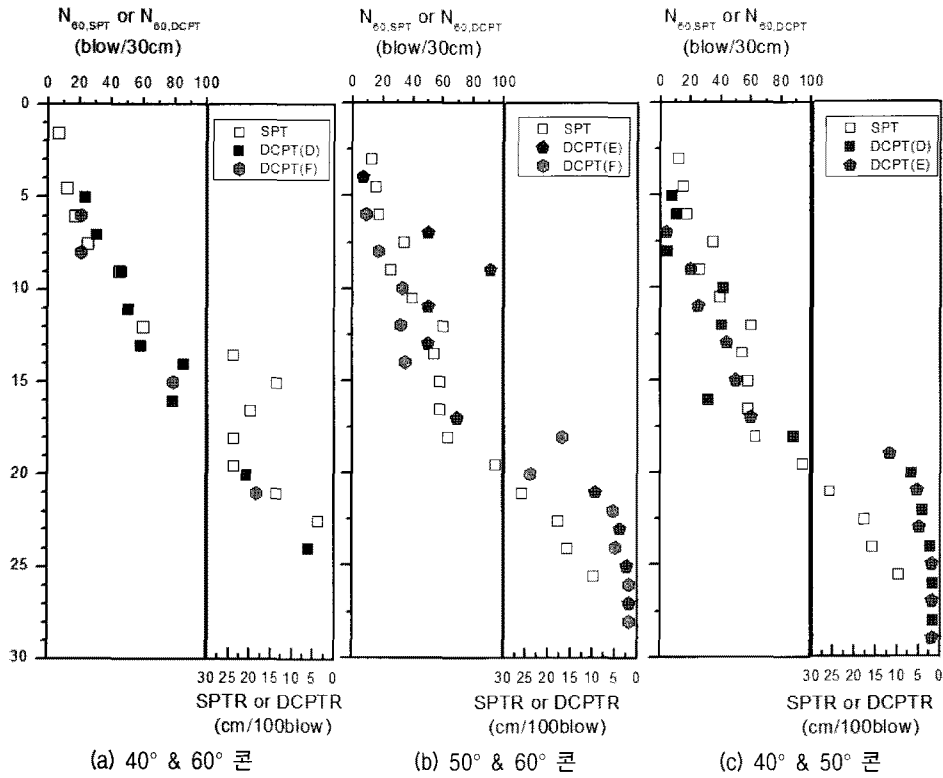
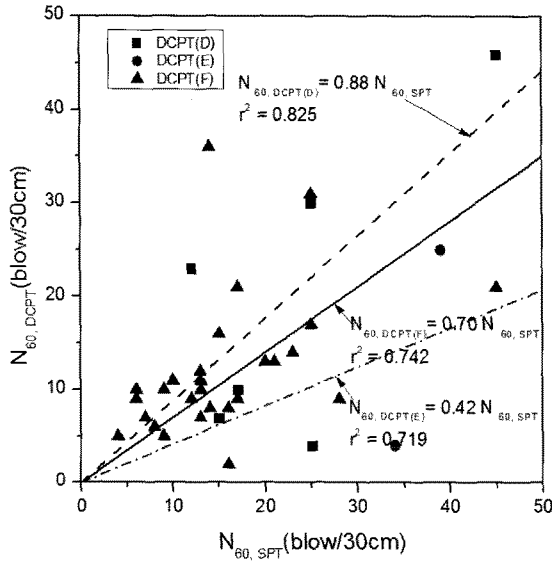


그림 9. 심도별 콘의 각도에 따른 DCPT의 결과

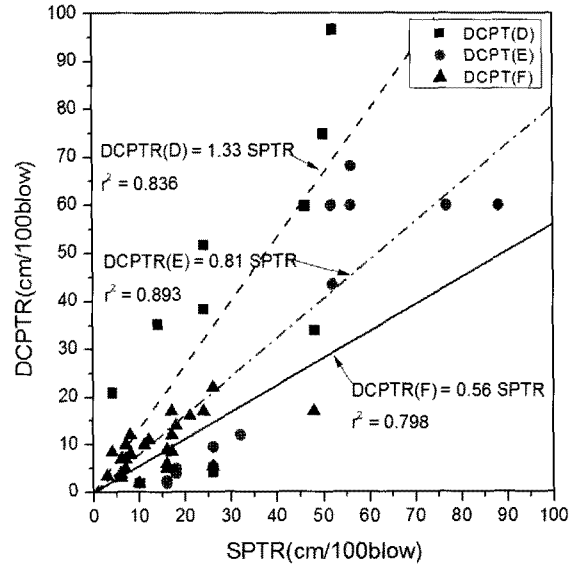
동일한 타격에너지로 타격 시 타격콘의 각도에 따른 관입성 분석결과로부터 그림 10(a)에서 DCPT(D), DCPT(E), DCPT(F)의 각각의 기울기가 1 보다 작게 나타나는 것을 알 수 있었으며 따라서 DCPT가 SPT보다 관입성이 양호한 것으로 볼 수 있었다. 여기서 DCPT(D), DCPT(E), DCPT(F) 중 DCPT(E)의 기울기가 0.42로 가장 작게 나타났으나 데이터의 개수가 충분하지 않아 DCPT 중에

서 관입성이 가장 양호하다고 평가하기는 어려웠다.

DCPTR과 SPTR의 관계를 그림 10(b)에 나타내었다. 일반적으로 $SPTR < 20\text{cm}/100\text{blows}$ 인 단단한 지반에서는 SPT의 관입이 극히 곤란한 것으로 알려져 있는데 이와 같은 사실은 그림 9에서도 확인할 수 있었다. 반면 $DCPTR < 20\text{cm}/100\text{blows}$ 인 단단한 지반에서 DCPT의 관입은 잘 이루어지고 있는 것을 볼 수 있었다. 따라서



(a) $N_{60, SPT}$ VS $N_{60, DCPT}$



(b) SPTR vs DCPTR

그림 10. 콘의 각도에 따른 관입성 분석

단단한 지반에서 DCPT의 결과가 훨씬 유용한 결과를 제공할 수 있을 것으로 추정되었다.

시험 중 타격횟수가 증가함에 따라 먼저 콘 선단각도가 40°인 경우 콘 선단부에 손상이 발생하였으며 콘 선단각도가 50°인 경우에도 콘 선단부에 손상이 발생하였으나 콘 선단 각도가 60°인 경우에는 콘 선단부의 손상 없이 시험을 완료하였다.

3.5 관입성 시험결과 요약

국내 실정에 맞게 SPT의 시험장비를 그대로 사용할 수 있도록 표준관입시험 장치의 해머와 낙하높이를 동일하게 사용하였을 때 r^2 은 비교적 높게 나타났다. 또한 콘의 각도에 따른 관입성의 분석결과 콘의 각도가 60°일 때 가장 관입성이 좋고 r^2 도 높은 것으로 나타났다. 또한 콘의 타격관입시험 중 40°와 50°의 경우 콘의 선단부가 손상되어 시험과정에서 콘을 교체하였으나 60°의 경우 지속적으로 사용이 가능하여 사용성과 경제성을 위해 한국형타격콘관입시험(DCPT)에서는 60°각도의 원추형콘을 사용하도록 하였다.

4. DCPT와 SPT의 관계 분석

표준관입시험의 N값에 영향을 미치는 요소는 에너지 효율, 시추공 바닥면 상태, 상재하중, 로드의 길이, 샘플러의 종류, 시추공의 크기, 관입지반의 배수 조건 등 여

러 가지가 있다. 에너지 효율 자체도 해머 종류, 해머 인상 및 낙하 방식, 부속도구(로프 및 강선 등)의 상태 등 시험장비에 의한 요인과 시험자의 숙련도, 시험에 임하는 자세 등 시험환경에 의한 요인에 따라 크게 달라진다. 조성민 등(2002)은 N값의 보정 원칙 및 보정대상을 다음과 같이 제시하였다.

(a) 보정 원칙

- 해머의 타격 에너지 효율(에너지 비)에 대한 보정은 반드시 포함
- 국내에서 검증되지 않은 항목에 대해서는 보정 유보
- 적용 대상 설계법 및 경험식에 따라 보정의 필요성을 사전에 판단

(b) 보정 대상

- N-값이 100 이하인 토사층으로 한정
- N-값이 100을 초과하는 풍화암 또는 연암층은 제외
- N-값이 4미만인 연약한 점토지반은 제외

DCPT도 SPT와 동일한 방식의 시험이므로 SPT의 보정방법에 따라 타격에너지의 효율과 로드의 길이에 대한 보정을 실시하였다.

4.1 DCPT와 SPT의 관계

텍사스 도로국의 시방서(TxDOT, 2000)에 나타나 있는 점성토와 사질토에서의 관계는 식 (4)~(5)와 같다.

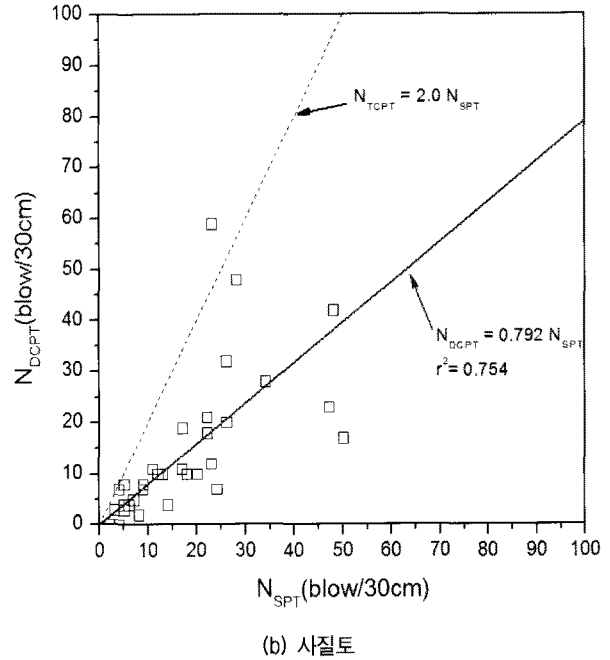
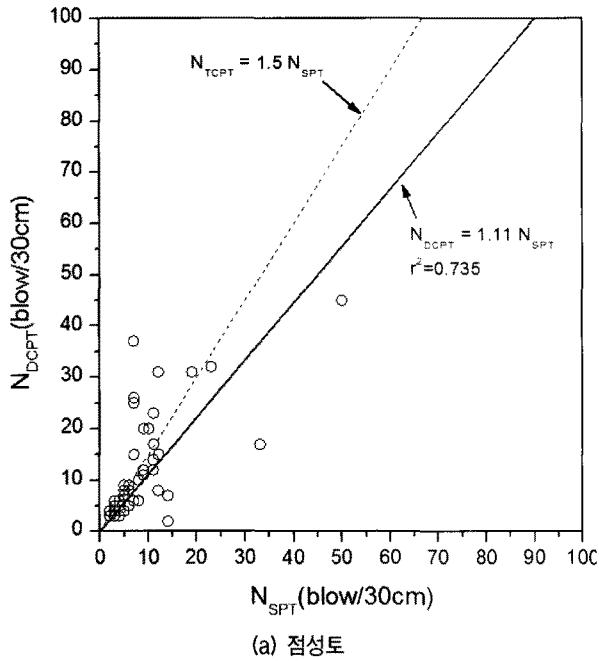


그림 11. 토사지반의 타격회수 N_{60} 비교

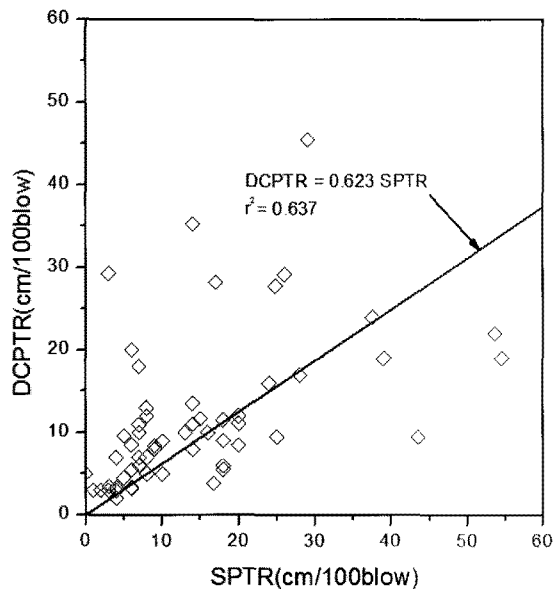


그림 12. 풍화대지반의 관입량 비교

$$N_{TCPT} = 1.5 N_{SPT} \text{ (점성토)} \quad (4)$$

$$N_{TCPT} = 2.0 N_{SPT} \text{ (사질토)} \quad (5)$$

토사지반보다 강성이 큰 지반에서는 SPT의 관입성 부족으로 인하여 관계가 제시되어 있지 않았다.

DCPT와 SPT와의 관계 분석(그림 11 & 12)에서는 토사지반의 경우 관입량 30cm에서의 타격회수 N_{60} 를, 풍화대 지반에서는 타격회수 100회 일 때의 관입량 DCPTR

을 이용하여 분석하였다.

그림 11로 부터 토사지반에 선형관계 식 (6)~(7)과 같이 나타낼 수 있었다. 여기서, 선형관계의 r^2 이 비교적 높게 나타나 신뢰성이 비교적 양호한 것으로 볼 수 있었다.

$$N_{60, DCPT} = 1.11 \times N_{60, SPT} \text{ (점성토)} \quad (6)$$

$$N_{60, DCPT} = 0.79 \times N_{60, SPT} \text{ (사질토)} \quad (7)$$

여기서, N_{60} = 해머의 낙하에너지 효율 60%를 기준으로 보정된 N 값

그림 12로 부터 풍화대 지반의 경우 r^2 이 0.637로 나타나 비교적 신뢰성이 양호한 것으로 나타났다.

$$DCPTR = 0.623 \times SPTR \text{ (풍화대)} \quad (8)$$

4.2 지반종류에 따른 DCPT 특성 분석

대상 현장의 지반은 상부 매립층, 점토층, 모래층, 풍화토층, 풍화암층, 연암층으로 분류할 수 있었다. DCPT의 특성치는 $N_{60, DCPT}$ 및 DCPTR로 나타낼 수 있는데 지반종류에 따른 범위를 그림 13에 나타내었다. 여기서, 각 지반종류에 따라 특성치의 범위를 명확하게 구분하는 것은 곤란하였으나 정량적인 범위를 다음과 같이 구

분하는 것으로 하였다.

① 점토층 : 0 ~ 31/30

② 사질토층 : 2 ~ 59/30

③ 풍화토 : 37/30 ~ 100/9.5

④ 풍화암 : 100/18 ~ 100/2

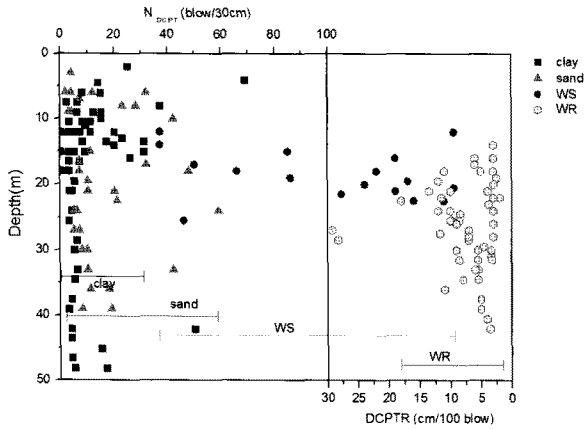


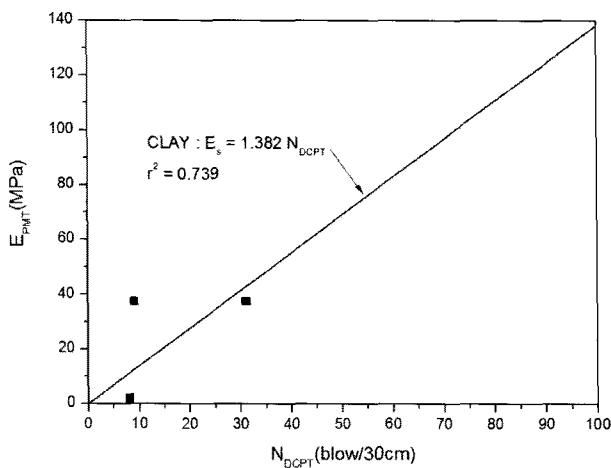
그림 13. 지반종류에 따른 DCPT의 범위

5. DCPT와 기타 원위치시험들의 관계 분석

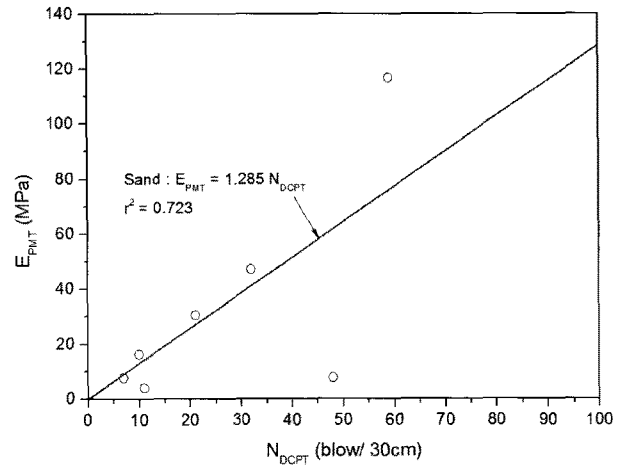
5.1 DCPT와 PMT의 관계

PMT에서 측정된 탄성계수와 $N_{60, DCPT}$ 또는 DCPTR과의 관계를 그림 14에 나타내었다.

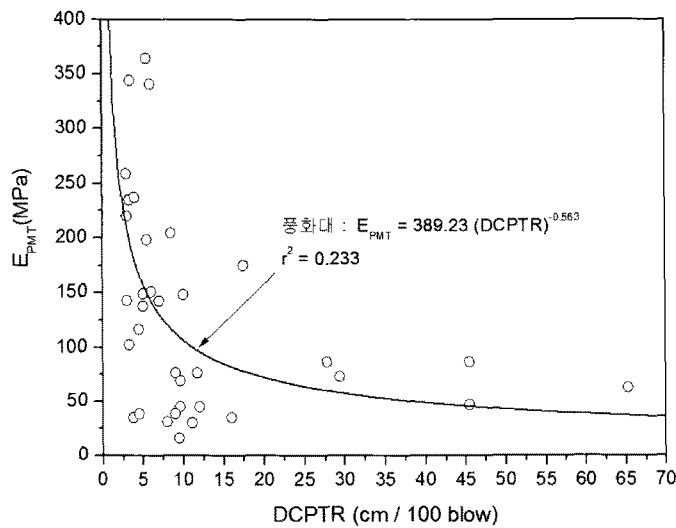
그림 14로부터 토사지반에서 타격횟수 $N_{60, DCPT}$ 과 공내재하시험의 탄성계수 $E_{s, PMT}$ 와의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있었으며 선형관계의 r^2 이 비교적 높게 나타났으나 데이터 개수가 충분하지 않아 신뢰성은 다소 미흡할 것으로 판단되었다.



(a) 점성토



(b) 사질토



(c) 풍화대 지반

그림 14. $E_{s, PMT}$ 와 DCPT의 관계

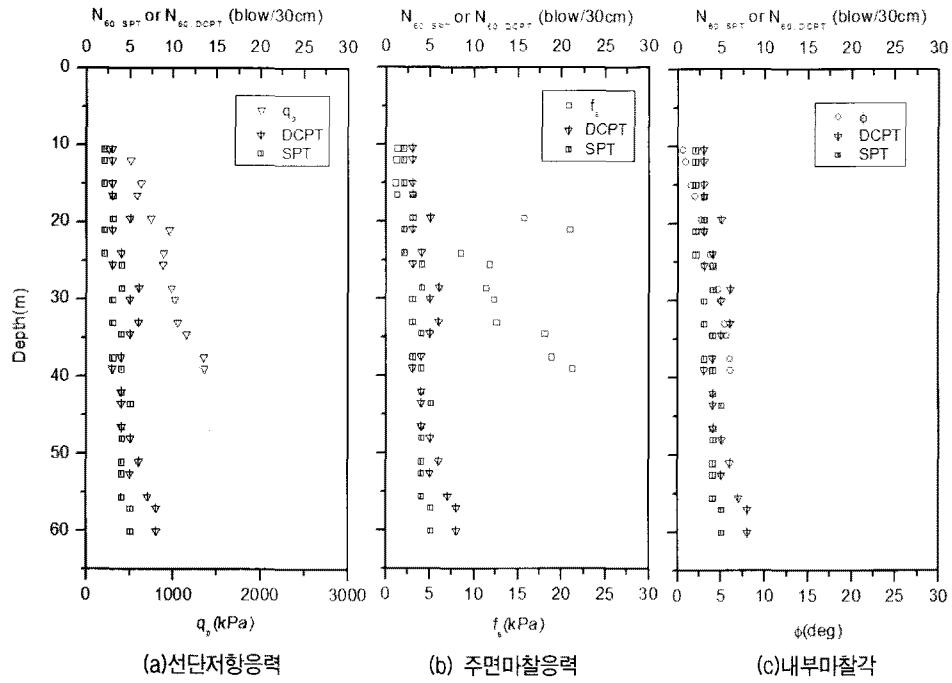
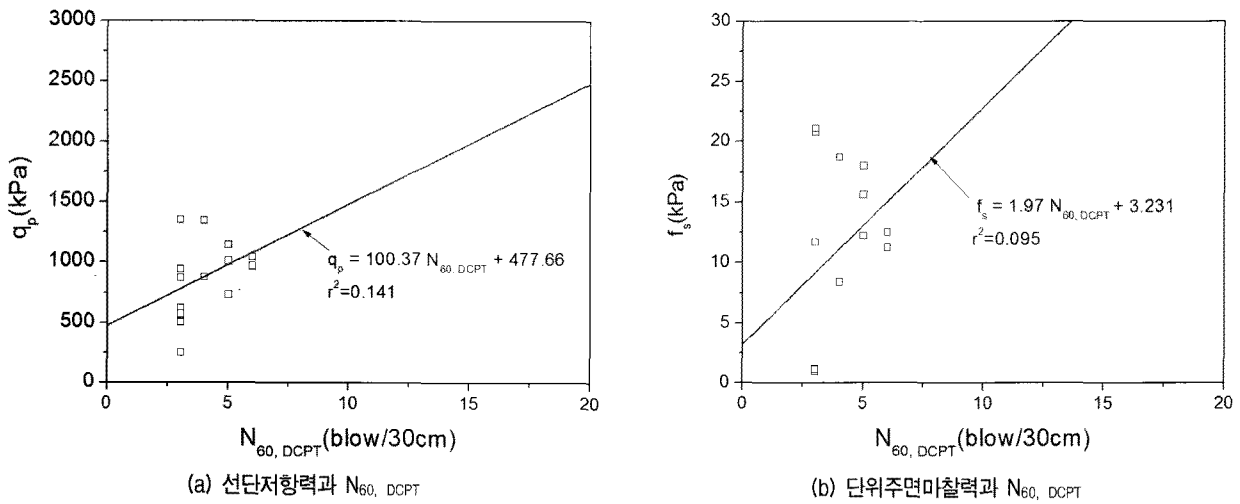
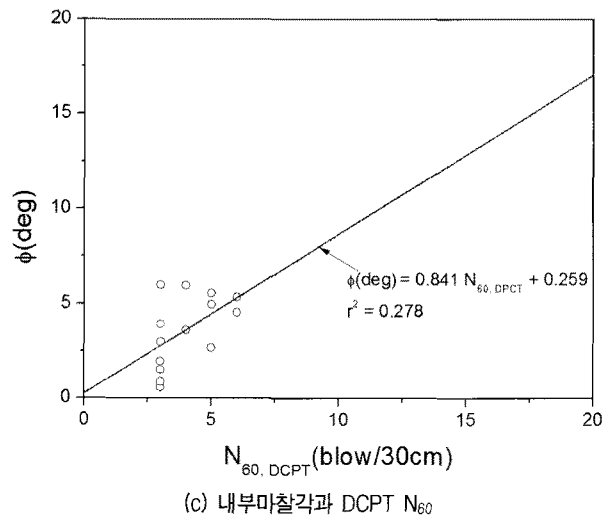


그림 15. 깊이에 따른 CPT 결과 및 DCPT결과 비교



(a) 선단저항력과 $N_{60, DCPT}$

(b) 단위주면마찰력과 $N_{60, DCPT}$



(c) 내부마찰각과 DCPT N_{60}

그림 16. CPT와 DCPT의 상관관계

표 3. DCPT와 사운딩시험들과의 관계

사운딩 방법		관계	r ²	
PMT	점성토	$E_s(\text{MPa}) = 1.382 \times N_{60, \text{DCPT}}$	0.739	
	사질토	$E_s(\text{MPa}) = 1.285 \times N_{60, \text{DCPT}}$	0.723	
	풍화대 (풍화토&풍화암)	$E_s(\text{MPa}) = 389.23 \times \text{DCPTR}^{-0.563}$	0.233	
CPT	선단저항력	$q_p(\text{kPa}) = 100.37 \times N_{60, \text{DCPT}} + 477.66$	0.141	
	주면마찰력	$f_s(\text{kPa}) = 1.97 \times N_{60, \text{DCPT}} + 3.231$	0.095	
	내부마찰각	$\Phi(\text{deg}) = 0.841 \times N_{60, \text{DCPT}} + 0.259$	0.278	
BST	토사	점착력(c)	$c(\text{kPa}) = -0.806 \times N_{60, \text{DCPT}} + 58.873$	0.420
		내부마찰각(ϕ)	$\Phi(\text{deg}) = 0.285 \times N_{60, \text{DCPT}} + 8.647$	0.737
	풍화토	점착력(c)	$c(\text{kPa}) = 2.284 \times N_{60, \text{DCPT}} + 1.124$	0.195
		내부마찰각(ϕ)	$\Phi(\text{deg}) = -0.103 \times N_{60, \text{DCPT}} + 11.986$	0.312
	풍화암	점착력(c)	$c(\text{kPa}) = 202384.38 \times \text{DCPTR}^{-3.962}$	0.648
		내부마찰각(ϕ)	$\Phi(\text{deg}) = 0.501 \times \text{DCPTR} + 13.728$	0.366
DST	P파 속도 (V _p)	점성토	$V_p(\text{km/sec}) = 0.011 \times N_{60, \text{DCPT}} + 0.391$	0.180
		사질토	$V_p(\text{km/sec}) = 0.011 \times N_{60, \text{DCPT}} + 0.973$	0.242
		풍화대	$V_p(\text{km/sec}) = 1.451 \times \text{DCPTR}^{-0.093}$	0.010
	S파 속도 (V _s)	점성토	$V_s(\text{km/sec}) = 0.0037 \times N_{60, \text{DCPT}} + 0.1311$	0.096
		사질토	$V_s(\text{km/sec}) = 0.0028 \times N_{60, \text{DCPT}} + 0.377$	0.181
		풍화대	$V_s(\text{km/sec}) = 0.967 \times \text{DCPTR}^{-0.247}$	0.093
	강성률 (G _d)	점성토	$G_d(\text{MPa}) = 2.09 \times N_{60, \text{DCPT}} + 75.10$	0.029
		사질토	$G_d(\text{MPa}) = 5.79 \times N_{60, \text{DCPT}} + 280.76$	0.213
		풍화대	$G_d(\text{MPa}) = 2568.05 \times \text{DCPTR}^{-0.489}$	0.094
	동탄성계수 (E _d)	점성토	$E_d(\text{MPa}) = 10.57 \times N_{60, \text{DCPT}} + 76.84$	0.137
		사질토	$E_d(\text{MPa}) = 16.49 \times N_{60, \text{DCPT}} + 782.67$	0.217
		풍화대	$E_d(\text{MPa}) = 5575.02 \times \text{DCPTR}^{-0.422}$	0.080

$$E_{s, \text{PMT}} = 1.382 \times N_{60, \text{DCPT}}(\text{점성토}) \quad (9)$$

$$E_{s, \text{PMT}} = 1.285 \times N_{60, \text{DCPT}}(\text{사질토}) \quad (10)$$

또한 풍화대에서 DCPTR와 공내재하시험의 탄성계수($E_{s, \text{PMT}}$)와의 관계는 지수함수의 관계를 식 (11)과 같이 나타낼 수 있었으나, 비선형함수의 r²이 0.233로 매우 낮게 나타났으므로 신뢰성은 매우 불량한 것으로 볼 수 있었다.

$$E_{s, \text{PMT}} = 389.23 \times (\text{DCPTR})^{-0.563}(\text{풍화대}) \quad (11)$$

5.2 DCPT와 CPT의 관계

표준관입시험 N치가 10 이상의 지반에서는 일반적인 CPT장비로는 시험을 수행하는 것이 곤란하므로 I현장 및 Y현장에서는 CPT를 수행하지 못하였으며, 초연약지반을 포함한 G현장에서만 수행하였다.

G현장에서 수행된 CPT와 DCPT의 결과를 비교하였다. 그림 15에는 깊이에 따른 CPT의 선단저항력, 주면

마찰저항력, 내부마찰각을 각각 DCPT결과와 함께 나타내었으며, 그림 16에는 CPT의 결과와 N_{60, DCPT}의 관계를 분석하였다. 본 현장에서 수행된 콘관입시험은 간극수압을 측정하였으며, Robertson and Campanella(1983)의 제안식을 이용하여 내부마찰각을 산정하였다.

그림 16에서 CPT의 특성치인 선단저항력, 주면마찰저항력, 내부마찰각을 N_{60, DCPT}의 선형함수로 식 (12)~(14)와 같이 나타낼 수 있으나 그 신뢰성은 매우 낮게 나타났다.

$$q_p = 100.37 \times N_{60, \text{DCPT}} + 477.66 \quad (12)$$

$$f_s = 1.97 \times N_{60, \text{DCPT}} + 3.231 \quad (13)$$

$$\phi = 0.841 \times N_{60, \text{DCPT}} + 0.259 \quad (14)$$

5.3 요약

각 시험현장에서 SPT, CPT, PMT외에 공내전단시험(BST)와 하향식 탄성파탐사(DST)를 수행하였으나, 구체적인 분석내용은 수록하지 않았으며 DCPT와 각종

원위치시험들과의 관계를 표 3에 나타내었다. 여기서, DCPT와 SPT의 관계에서 r^2 이 큰 값으로 나타나고 분석에 사용한 데이터의 개수도 충분하여 신뢰성이 비교적 높은 것으로 볼 수 있었다. 그러나 DCPT와 기타 원위치 시험들(CPT, PMT, DST)의 관계에서는 r^2 의 값이 크지 않거나 분석에 사용한 데이터의 개수가 많지 않아 신뢰성은 다소 미흡할 것으로 생각되었다. 특히 대변형 영역에서 이루어지는 DCPT와 미소변형 영역에서 이루어지는 탄성파시험(DST)과의 직접적인 비교는 적절하지 않을 수도 있을 것으로 생각되었다.

6. 결론 및 제언

본 연구에서는 한국형콘관시험(DCPT)을 개발하였으며 국내 풍화대 지반에 적용가능한 지반조사방법들과 DCPT와의 관계를 분석하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 현장시험에서 얻은 DCPT와 SPT 결과로부터 지반종류별 관계를 분석하였으며, 여기서 지반종류별로 구한 관계의 r^2 값이 비교적 높게 나타났다. 그리고 지반종류에 따른 DCPT 특성치($N_{60, DCPT}$ 및 $DCPTR$)의 범위를 다음과 같이 구분할 수 있었다.
- (2) 지반종류에 적합한 콘의 각도를 제안하기 위하여 콘의 각도를 40°, 50°, 60°로 변화시켜 타격관입시험을 수행하였는데 콘의 각도에 따른 관입성의 차이는 크게 나타나지 않았으나, 풍화대 지반에서 40° 및 50° 각도의 콘의 선단이 손상되었으므로 60° 각

도의 콘이 적합한 것으로 사료되었다.

- (3) DCPT와 다른 원위치 지반조사방법들(PMT, CPT, BST, DST 등)의 관계를 분석하였는데, 관계를 도출할 수는 있었으나 r^2 값이 매우 낮게 나타났거나 데이터 개수가 많지 않아 신뢰성은 다소 미흡할 것으로 생각되었다.
- (4) 본 연구는 5개 현장에서 수행된 시험자료들을 분석하여 수행되었는데 향후 얻어지는 자료들을 추가한다면 더 높은 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 생각되었다.

참 고 문 헌

1. 대림산업(주) (2007), 여수시관내 국도대체 우회도로 (우두~종화) 건설공사 추가지반조사 종합보고서, pp.60-63.
2. 대림산업(주), (주)지텍크, 경성대학교 산학협력단 (2008), 타격관입콘 시험장치 및 이를 이용한 지반 조사방법과 강도특정 산정방법, 특허 제 10-0847096호.
3. 조성민, 한일영, 김동수, 이우진 (2002), 표준관입시험 활용법 개선 연구 2002년도 연구보고서, pp.183-184.
4. (주)한라엔지니어링 (2009), “행복도시 금강2교 건설공사 지반조사보고서”, pp.8-9.
5. (주)한라엔지니어링 (2009), “남해고속도로 DCPT를 위한 지반조사보고서”, pp.9-10.
6. 현대건설기술연구소 (2006), 인천대교 연결도로 건설공사 말뚝계하시험 보고서. pp.1-36.
7. Robertson, P.K. Campanella, R.G. (1983), Interpretation of cone penetrometer tests, Part I sand. Canadian Geotechnical Journal, Vol.20, No.4, pp.718-733.
8. TxDOT (2000), Texas Department of Transportation. Geotechnical Manual(On-Line Version), Bridge Division, Austin, Texas, pp.2-14-2-17.

(접수일자 2010. 7. 14, 심사완료일 2011. 8. 24)