

การสร้ามาตรฐานงานก่อสร้างเสาเข็มระบบเจาะเปียกในประเทศไทย
ที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลในยุคโลกาภิวัตน์

**Thai Standardization of the Construction of Wet Process Bored Piles
in Line with Global Standards**

ณรงค์ ทัศนนิพันธ์

บริษัท ซีฟโก้ จำกัด

26/10 ถนนรามอินทรา 109 แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ 10510

โทร. 9190090 โทรสาร. 5183088

E-Mail: seafco@seafco.co.th

บทคัดย่อ

เสาเข็มระบบเจาะเปียกได้รับความนิยมในประเทศต่างๆทั่วโลกมาแล้วเป็นเวลากว่า 50 ปี และได้ถูกนำเข้ามาใช้ก่อสร้างในชั้นดินกรุงเทพฯเป็นครั้งแรกเมื่อประมาณ 20 ปีเศษมาแล้ว เมื่อนำเข้ามาใช้ในกรุงเทพฯในระยะแรกๆ เสาเข็มเจาะแต่ละขนาดจะถูกออกแบบให้รับน้ำหนักได้ต่ำกว่าความสามารถการรับน้ำหนักในปัจจุบันมาก เมื่อมาตรฐานของเครื่องจักรงานเสาเข็มที่นำมาใช้มีความทันสมัยมากขึ้น, วิธีการก่อสร้างที่ได้รับการพัฒนาสูงขึ้นและการเลือกใช้รายการก่อสร้างที่ได้มีการปรับปรุงจนมีความเหมาะสมมากขึ้นทำให้เสาเข็มเจาะเหล่านี้มีความมั่นคงและสามารถออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักได้สูงมากขึ้นและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเดิมเป็นอย่างมาก บทความนี้จะบรรยายถึงมาตรฐานการก่อสร้างงานเสาเข็มระบบเจาะเปียกบางข้อที่ใช้ในประเทศไทยที่ควรปรับปรุงให้เหมาะสมกับการทำงานในยุคโลกาภิวัตน์นี้

Abstract

Wet process bored piles have become popular in many countries since over 50 years ago, and have been first constructed in Bangkok subsoil over 20 years ago. In the past few decades, piles constructed with this system in Bangkok have been designed to carry the load significantly less than the pile capacities at this day. The positive development in application of these piles today comes from the proper selection of modern piling equipment, advanced construction techniques and practical specifications. Hence, bored piles constructed in recent days provide better integrity with higher load carrying capacity as well as less impact to the environment than those constructed in the past. This paper discusses on the clauses of impractical construction specifications used in Thailand which need to be improved to suit the global standards of wet process bored piling works.

1. บทนำ

สิ่งก่อสร้างในยุคโลกาภิวัตน์เช่น อาคารสูง, สะพานข้ามแม่น้ำ, ทางด่วนยกระดับและทางรถไฟลอยฟ้า ฯลฯ ล้วนแล้วแต่เป็น โครงสร้างที่มีความสลับซับซ้อนและมีน้ำหนักที่ถ่ายลงฐานรากสูงมากกว่าสิ่งก่อสร้างในทศวรรตก่อนๆ มาก ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบจึงต้องเลือกใช้ระบบเสาเข็มที่มีความเหมาะสมทั้งในแง่ของความมั่นคงและราคาประหยัด เสาเข็มระบบเจาะเปียกเป็นเสาเข็มระบบหนึ่งที่มีมักจะถูกเลือกใช้ให้เป็นเสาเข็มฐานรากของสิ่งปลูกสร้างที่กล่าวมาข้างต้นและมีแนวโน้มว่าจะได้รับการเลือกใช้มากขึ้นทุกขณะ ในอดีตจนถึงปัจจุบันแม้จะมีการใช้เสาเข็มระบบเจาะเปียกในประเทศไทยกันค่อนข้างมากแต่กลับปรากฏว่ายังไม่มีการจัดทำมาตรฐานงานเสาเข็มเจาะไว้เป็นแนวทางให้ผู้เกี่ยวข้องแต่ละฝ่ายได้ออกแบบและก่อสร้างให้เป็นมาตรฐานเดียวกันเฉกเช่นนานาชาติ ประเทศ บทความนี้ได้รวบรวมมาตรฐานงานเสาเข็มระบบเจาะเปียกบางหัวข้อที่สำคัญไว้เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับหน่วยงานวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องเขียนมาตรฐานสำหรับประเทศไทยในอนาคต

2. มาตรฐานงานเสาเข็มระบบเจาะเปียกในประเทศไทย

ในอดีตจนถึงปัจจุบันถึงแม้ว่าจะยังไม่มียุทธศาสตร์กำหนดมาตรฐานงานเสาเข็มระบบเจาะเปียกออกมาให้ผู้เกี่ยวข้องทั่วไปใช้ก็ตาม แต่ผู้ออกแบบในแต่ละกรมกองหรือผู้ออกแบบภาคเอกชนก็ได้ทำการกำหนดมาตรฐานของตนเองขึ้นมาใช้งาน ซึ่งมาตรฐานบางฉบับบ้างก็มีความสอดคล้องไม่มีข้อขัดแย้งกันเองเมื่อนำมาใช้ปฏิบัติก็ใช้งานได้ แต่บางฉบับมีข้อกำหนดบางประการที่ยังไม่เหมาะสมต่อการปฏิบัติในสนามจนทำให้งานติดตั้ง (Installation) เสาเข็มเจาะเกิดปัญหา เช่นเรื่อง ข้อกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติและการทดสอบของสารละลายฯ, ระยะเวลาสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ในการติดตั้ง (Maximum construction time and Maximum contact time), ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (Allowable Tolerances) และคุณภาพของคอนกรีตที่ใช้ เป็นต้น จากการที่ไม่มีมาตรฐานกลางที่เหมาะสม เสาเข็มที่ติดตั้งแล้วเสร็จในเมืองไทยจึงมีสมรรถนะหลากหลายระดับที่ไม่อยู่ในระดับมาตรฐานเดียวกัน

3. มาตรฐานสารละลายที่ใช้ในงานเสาเข็มระบบเจาะเปียก

การติดตั้งเสาเข็มระบบเจาะเปียกในชั้นดินกรุงเทพฯมีการใช้สารละลายเป็น โทไนด์เป็นตัวดันแรงดันดินไม่ให้หลุมเจาะอ่อนตัวหรือพังทลายได้ผลดีมากกว่า 20 ปี แล้วและขณะนี้ก็ยังได้รับความนิยมอยู่ในปัจจุบันทั้งในประเทศและในต่างประเทศ แต่เนื่องจากเป็น โทไนด์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยง่ายหากไม่มีการจัดการที่เหมาะสมแล้วจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก ในยุคโลกาภิวัตน์ที่มีการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากขึ้นกว่าเดิมในต่างประเทศจึงเริ่มมีการนำสารละลายโพลีเมอร์ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติมาใช้แทนซึ่งพบว่าได้ผลดีและให้ค่าการรับน้ำหนักที่ดีกว่าการใช้เป็น โทไนด์ ขณะนี้ได้เริ่มมีการนำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างเสาเข็มระบบเจาะเปียกในประเทศไทยแล้ว (ณรงค์และคณะ, 2542) อย่างไรก็ตามเป็น โทไนด์ที่ยังคงสามารถใช้งานได้ดีเมื่อมีการควบคุมที่ถูกต้อง

3.1 สารละลายเบ็นโทไนท์

3.1.1 คุณสมบัติ

ในอดีตผู้ออกแบบในประเทศไทยจะกำหนดมาตรฐานการตรวจสอบคุณสมบัติของสารละลายเบ็นโทไนท์ไว้แต่เพียงค่า Density, Viscosity, Sand content และ pH Value เท่านั้น แต่ในการก่อสร้างเสาเข็มระบบเจาะเปียกตามมาตรฐานของประเทศที่มีการพัฒนาแล้วหลายๆประเทศเช่นของอังกฤษ (ICE, 1996) และของสหรัฐอเมริกา (ADSC, 1995) กำหนดให้มีการตรวจสอบเรื่องการปริมาณน้ำในสารละลายที่ซึมหายเข้าไปในชั้นดิน (Fluid Loss) และปริมาณความหนาของผงเบ็นโทไนท์ที่ก่อตัวขึ้นที่ผิวผนังชั้นทรายในรูเจาะ (Filter Cake) และค่าอื่นๆไว้ด้วย ตามตารางที่ 1 ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารละลายเบ็นโทไนท์ที่ใช้กันทั่วไปในต่างประเทศ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของสารละลายเบ็นโทไนท์ที่ใช้กันทั่วไปในต่างประเทศ

Authors	FPS (1975, 1977)	Hutchingson et al. (1975)	FDOT (1987, 1988)	Reese and O' Neil (1988)	ICE (1988)	ACI (1989)	*AASHTO (1992)	*Majano & O' Neil (1993)	*ICE & FPS (1996)
Slurry Type	Bentonite	Calcium Bentonite	Bentonite or Attapulgite	Bentonite or Attapulgite	Bentonite	Bentonite or Polymer	Bentonite or Attapulgite	Bentonite	Bentonite
Density (gm/cc)	<1.10	1.024 to 1.218	1.03 to 1.20	1.03 to 1.20	<1.10	<1.36 (bearing pile) <1.12 (friction pile) <1.02 (Polymer)	1.03 to 1.10 1.03 to 1.20	1.02 to 1.07 1.02 to 1.13	<1.10 <1.15
pH	9.5 to 12	<11.7	8 to 12	8 to 11	9.5 to 12	8 to 12	8 to 11 8 to 11	8 to 10 8 to 10	9.5 to 10.8 9.5 to 11.7
Sand Content	<6% (by weight)	<35% (by weight)	<4% (by volume)	-	-	<4% (bearing pile) <25% (friction pile) <1% (Polymer)	<4% <4% (by volume)	<4 % <10%	<2% <2%
Marsh Funnel Viscosity (sec/Qt)	30 to 90	-	28 to 40	28 to 45	30 to 90	26 to 50	28 to 45 28 to 45	32 to 60 32 to 60	30 to 70 < 90
Plastic Viscosity (cP)	<20	<20	<20	-	<20	-	-	6 to 8.5 6 to 10.0	-
Yield Point (Pa)	-	-	-	-	-	-	-	2 to 6.0 2 to 6.5	-
10 min. Gel Strength (Pa)	4 to 40	3.6 to 20	1.9 to 10	-	4 to 40	-	-	-	4 to 40 4 to 40
Differential Head (m)	>1	-	-	-	-	1.5	-	-	-
Fluid Loss (30 minute test)	-	-	-	-	-	-	-	-	< 40 <60
**Maximum Contact Time (hr.)	-	-	-	-	-	-	-	4	-

Notes : * Upper line for as supplied to pile and lower line for sample from pile prior to placing concrete

** Without agitation and sidewall cleaning

จากประสบการณ์ของผู้เขียนเห็นว่ากรก่อสร้างเสาเข็มระบบเจาะเปียกในดินกรุงเทพฯ ควรกำหนดคุณสมบัติของสารละลายเบ็นโทไนท์ ตาม ตารางที่ 2 โดยปรับค่าคุณสมบัติบางตัวเช่น Viscosity และ pH ให้เหมาะกับดินกรุงเทพฯ ที่มีซิลท์ (Silt) ผสมอยู่

ตารางที่ 2 Test and compliance values for support fluid (ICE, 1996)

Property to be measured	Test Method and apparatus	API RP13 Section	Compliance values measured at 20 °C	
			As Supplied to pile	Sample from pile prior to placing concrete
Density	Mud balance Low temperature	1	Less than 1.10 g/ml	Less than 1.15 g/ml
Fluid loss (30 minute test)	test fluid loss	3	Less than 40 ml	Less than 60 ml
Viscosity	Marsh Cone	2	30 to 70 seconds (27 - 50) ⁽¹⁾	Less than 90 sec. (Less than 60 sec.) ⁽¹⁾
Shear strength (10 min gel strength)	Fann Viscometer	2	4 to 40 N/m ²	4 to 40 N/m ²
Sand Content	Sand screen set	4	Less than 2%	Less than 2%
pH	(2)		9.5 - 10.8 (8 - 11) ⁽¹⁾	9.5 - 11.7 (<12) ⁽¹⁾

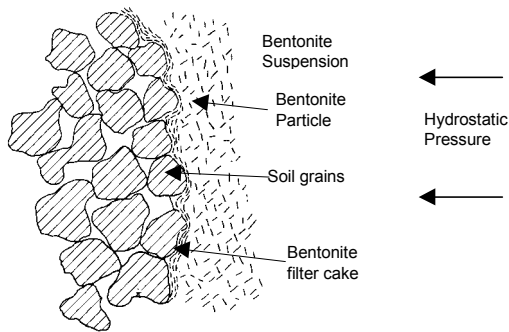
หมายเหตุ 1). ตัวเลขในวงเล็บเป็นความเห็นของผู้เขียน 2.) วัดโดย Electrical pH meter แต่ใช้ pH paper แทนได้

3.1.2 การเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบ

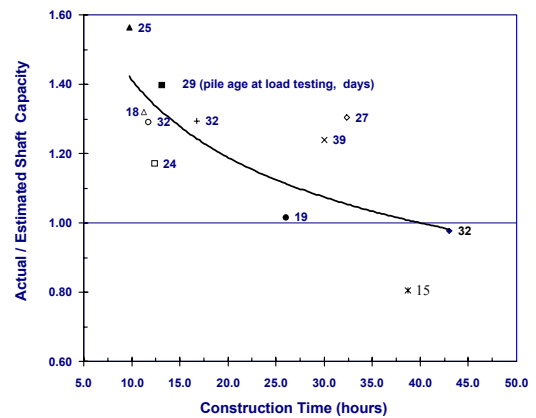
รายการก่อสร้างเสาเข็มที่กำหนดโดยผู้ออกแบบในประเทศไทยมักจะกำหนดคุณสมบัติของสารละลายไว้ลอยๆ ในงานสนามผู้ควบคุมงานจึงให้เก็บตัวอย่างจากถังเก็บหรือตักจากผิวบนของสารละลายในรูเจาะมาทดสอบ แต่ในต่างประเทศจะกำหนดให้เก็บตัวอย่างของสารละลายที่ก้นหลุมเจาะมาทำการทดสอบก่อนทำการเทคอนกรีต (เช่น ICE, 1996 และ ADSC, 1995 เป็นต้น) หากคุณสมบัติของสารละลายไม่ได้ตามเกณฑ์จะต้องทำการปรับปรุง เปลี่ยนถ่ายและทดสอบใหม่จนกว่าจะได้จึงเทคอนกรีต

3.1.3 ระยะเวลาในการติดตั้งและปล่อยให้สารละลายเป็นโทไนท์อยู่นิ่งๆ

การติดตั้งเสาเข็มระบบเจาะเปียกในประเทศไทยไม่มีการกล่าวถึงระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction Time) แต่อย่างไร ซึ่งแตกต่างจากต่างประเทศที่ได้มีการศึกษาว่าสารละลายเป็นโทไนท์ที่มีคุณสมบัติ เฉพาะที่เรียกว่า Thixotropy Characteristic คือเมื่ออยู่นิ่งๆ (Exposure Time / Contact Time) นานในระยะเวลาหนึ่งแล้วจะก่อตัวจนข้นเหนียว (Thick Slurry) แต่เมื่อถูกกวน (Agitation) แล้วอนุภาคจะเกิดการแตกตัวกลับกลายเป็นโคลนไหลง่าย (Thin Slurry) จากการศึกษาทำให้ทราบว่าขณะที่สารละลายทำหน้าที่ด้านแรงดันดินอยู่นั้นจะมีน้ำในสารละลายปริมาณหนึ่งแทรกซึมหายเข้าไปในชั้นดินประเภทที่น้ำผ่านได้ (Pervious Materials) เช่นชั้นทราย และผงเบ็นโทไนท์จะถูกกรองติดอยู่ที่ผิวผนังรูเจาะที่เป็นชั้นทราย ตามรูปที่ 1 เมื่อเวลาผ่านไปยาวนานน้ำก็จะซึมหายมากขึ้น และ ผงตะกอนเบ็นโทไนท์ก็จะเกาะติดที่ผิวผนังหนายังขึ้นตามลำดับ ซึ่งจะทำให้แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มลดลง ผู้เขียนเคยทำการศึกษาผลกระทบของระยะเวลาที่ใช้ในการติดตั้งเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯพบว่าเมื่อใช้เวลาคิดตั้งยิ่งนานค่าแรงเสียดทานก็จะยิ่งลดต่ำลงตามรูปที่ 2 มาตรฐาน ADSC จึงกำหนดไว้ว่าหากใช้เวลาคิดตั้งเสาเข็มนานมากกว่า 24 ชั่วโมงหรือปล่อยให้สารละลายในรูเจาะอยู่นิ่งนานเกินกว่า 4 ชั่วโมงแล้วก่อนจะเทคอนกรีตต้องทำการเจาะล้างใหม่เพื่อครูดผงเบ็นโทไนท์ที่เกาะติดผิวรูเจาะออก



รูปที่ 1 Surface Filtration (Flemming et al, 1977)



รูปที่ 2 Effect of construction time on shaft capacity of bored piles. (Thasnanipan et al, 1998)

3.2 สารละลายโพลีเมอร์

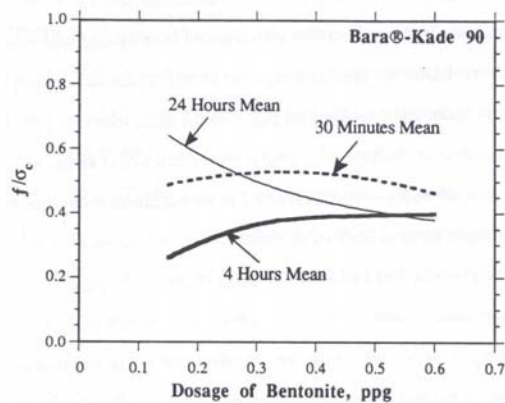
3.2.1 คุณสมบัติ: เนื่องจากสารละลายโพลีเมอร์ยังเป็นของใหม่ในวงการเสาเข็มเจาะในประเทศไทยจึงยังไม่มีข้อกำหนดคุณสมบัติไว้ ในปัจจุบันผู้ประกอบการต่างๆ จึงนำข้อกำหนดจากต่างประเทศมาใช้ ตามตารางที่ 3 โดยข้อกำหนดจะคล้ายกับสารละลายเบentonite ในที่นี้ยกเว้นเรื่อง Sand Content และวิธีการเก็บตัวอย่างมาทดสอบใช้หลักเกณฑ์เดียวกับการเก็บสารละลายเบentonite

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของสารละลายจาก ADSC, 1995 (โพลีเมอร์ คู่มือข้อ 3 C ในตาราง)

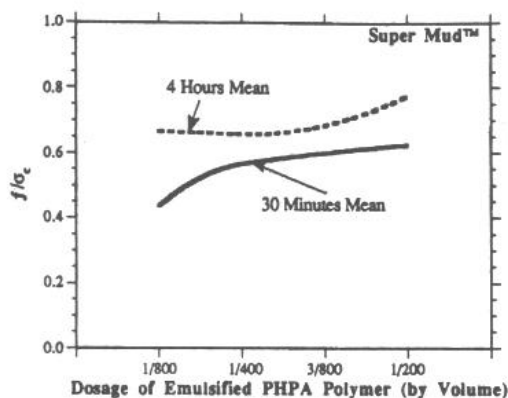
Item to be measured	Range of results at 20° C	Test methods
1. Density before concreting, 1 gg/cc, for slurry 30 cm. from pile toe a. No end bearing b. With end bearing c. Polymer slurry	1.36 maximum 1.12 maximum 1.024 maximum	API 13B, section 1 (Mud balance) ASTM D 4380
2 Marsh Funnel Viscosity, sec/qt, for entry slurry and pile slurry.	26 to 50	API 13B, Section 2 (Marsh Funnel and Cup)
3 Sand content by volume, percent, before concreting for Slurry 30 cm. from pile bottom. a. Pile with design end bearing and no side friction b. Pile with no design end bearing. c. Polymer slurry.	4% maximum 25% maximum 1% maximum	API 13B, Section 4 (Sand Screen Set) ASTM D 4381
4. pH, during excavation.	8 to 12	API 13B, Section 6 (Paper Test Strips or Glass – Electrode pH Meter)

3.2.2 ระยะเวลาในการติดตั้งและการปล่อยให้สารละลายโพลีเมอร์อยู่นิ่งๆ

เนื่องจากสารละลายโพลีเมอร์ไม่มีคุณสมบัติ Thixotropy Characteristic ดังนั้นระยะเวลาที่ก่อสร้างหรือระยะเวลาที่สารละลายอยู่นิ่งๆจึงไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเสาเข็มแต่ประการใด Majano and O' Neil (1993) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้และสรุปผลว่าค่าแรงเสียดทานของเสาเข็มที่ใช้สารละลายโพลีเมอร์ในการก่อสร้างจะให้ผลตรงกันข้ามกับเสาเข็มที่ก่อสร้างโดยสารละลายเป็นโทไนท์กล่าวคือเสาเข็มที่ใช้โพลีเมอร์เมื่อใช้เวลาก่อสร้างหรือปล่อยให้สารละลายในรูเจาะอยู่นิ่งนานจะไม่มีผลกระทบต่อค่าแรงเสียดทานเสาเข็ม ตามรูปที่ 3 ข



รูปที่ 3ก. ผลกระทบของระยะเวลาที่ปล่อยให้สารละลายเป็น โทไนท์อยู่นิ่งๆ ต่อค่าแรงเสียดทานที่ลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น (after Majano et al, 1993)



รูปที่ 3ข. ผลกระทบของระยะเวลาที่ปล่อยให้สารละลายโพลีเมอร์อยู่นิ่งๆ ต่อค่าแรงเสียดทานที่ไม่ลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น (after Majano et al, 1993)

4. ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Allowable Tolerances)

ในงานก่อสร้างทุกชนิดย่อมมีความคลาดเคลื่อนในการทำงานแอบแฝงอยู่เสมออย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และออกแบบเพื่อความคลาดเคลื่อนดังกล่าวข้างต้นไว้ด้วยให้เหมาะสมกับลักษณะการทำงาน การก่อสร้างเสาเข็มในประเทศที่ผ่านมามีหลายโครงการได้มีการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ชนิดที่ไม่สามารถก่อสร้างได้จริง ทำให้ต้องทำการแก้ไขฐานรากโดยการเสริมคานยึดฐานรากในภายหลังซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการออกแบบเพื่อความคลาดเคลื่อนในการติดตั้งที่เหมาะสมไว้แต่แรกเป็นอย่างมาก และความมั่นคงอาจต่ำกว่าที่ออกแบบไว้เดิมได้ด้วย

4.1 ความคลาดเคลื่อนในการติดตั้ง

ความคลาดเคลื่อนในการติดตั้งจะเกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้งในสองลักษณะคือ ในแนวราบ (Horizontal Deviation) และในแนวตั้ง (Vertical Deviation)

4.1.1 ความคลาดเคลื่อนในแนวราบ: ,ข้อกำหนดตามมาตรฐานต่างประเทศเช่น ICE (1996) ,ADSC (1995) กำหนดไว้ว่าให้คลาดเคลื่อนที่ระดับตัดใช้งาน(Cut Off Level) วัดในทุกแกน.ที่ระดับเครื่องจักรทำงานอยู่ (Working Platform Level) มีค่าไม่เกิน 7.5 ซม. และยอมให้บวกเพิ่มค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มเติมที่เกิดขึ้นในแนวตั้ง(ความเอียง) ซึ่งข้อกำหนดดังกล่าวสมเหตุผลเนื่องจากระหว่างการติดตั้งไม่สามารถควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับตัดใช้งานของเสาเข็มใช้งาน ได้ เนื่องจากระดับตัดใช้งานส่วนใหญ่จะอยู่ต่ำกว่าระดับเครื่องจักรทำงาน ข้อกำหนดที่ใช้กันในประเทศไทยส่วนใหญ่มักเขียนไว้ลอยๆว่าค่าความความคลาดเคลื่อนของเสาเข็มในแนวราบที่ยอมให้มีค่าไม่เกิน 7.5 ซม. ทำให้การปฏิบัติงานในสนามยึดถือว่าเป็นค่าวัดที่ระดับตัดใช้งาน(ซึ่งระดับตัดใช้งานของโครงการก่อสร้างในกรุงเทพฯมีตั้งแต่ 2-20 กวามเมตร) จึงทำให้เกิดการแก้ไขฐานรากกันเนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกินข้อกำหนดที่กำหนดไว้มาก

4.1.2 ความคลาดเคลื่อนในแนวตั้ง: ข้อกำหนดมาตรฐานในต่างประเทศเช่น ICE(1996), ADSC (1995) กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวตั้งของเสาเข็มที่ยอมให้ไม่เกิน 1:80 ส่วนในประเทศไทยจะกำหนดไว้ให้เอียงได้น้อยกว่าคือ 1: 100 และ 1:200 บ้าง สมมุติว่าใช้ความเอียงได้ไม่เกินค่า 1:100 และระดับตัดใช้งานของเสาเข็มอยู่ที่ระดับ 8 เมตรต่ำกว่าระดับพื้นดินที่เครื่องจักรยืนทำงาน หากติดตั้งเสาเข็มเกิดเอียงไป 1:100 และความคลาดเคลื่อนในแนวราบที่ระดับเครื่องจักรทำงานเท่ากับศูนย์ เมื่อขุดดินถึงหัวเสาเข็มจะพบว่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับตัดใช้งานจะเท่ากับ 8 ซม.และหากการติดตั้งมีการคลาดเคลื่อนในแนวราบที่ระดับเครื่องจักรทำงานเท่ากับ 5 ซม. จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับตัดใช้งานเพิ่มขึ้นเป็น 13 ซม. ซึ่งจะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับตัดใช้งานจะมีค่าความคลาดเคลื่อนในแนวตั้ง(ความเอียงที่ยอมให้ที่กระหว่างการติดตั้ง) ประกอบไปด้วยเสมอ

จากรายละเอียดในข้อ 4.11 และ 4.1.2 ข้างต้น จะเห็นได้ว่าการจะกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับตัดเสาเข็มจะต้องพิจารณาความลึกของระดับตัดใช้งานว่าอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดินที่เครื่องจักรทำงานมากน้อยเพียงใดก่อนด้วยจึงจะสามารถออกแบบเพื่อความคลาดเคลื่อนได้อย่างปลอดภัยและประหยัด และไม่สมควรกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับระดับตัดเสาเข็มที่อยู่ตื้นๆ ใกล้ผิวดินแล้วนำไปใช้กับเสาเข็มที่มีระดับตัดใช้งานที่อยู่ลึกกลงไปจากระดับผิวดินมาก เพราะไม่สามารถปฏิบัติได้จริงในงานสนามจนทำให้มีการแก้ไขฐานรากติดตามมา จนความมั่นคงของฐานรากอาจน้อยกว่าฐานรากที่ออกแบบเพื่อความคลาดเคลื่อนไว้ตั้งแต่ขั้นตอนออกแบบ

4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนในการหล่อคอนกรีตสูงกว่าระดับตัดใช้งาน

การหล่อคอนกรีตเสาเข็มจะเป็นการหล่อคอนกรีตชนิดหล่อในดิน (Cast In-Situ Concrete) ที่จะต้องมีการหล่อเพื่อให้สูงกว่าระดับตัดใช้งานและทำการสกัดออกในภายหลัง ผู้รับเหมาอาคารที่มีหน้าที่สกัดจะต้องทำให้

หล่อเพื่อไว้ให้น้อยเพื่อสะดวกในขณะผู้ติดตั้งเสาเข็มเจาะเกรงว่าคอนกรีตอาจมีการเอิ่ม (Bleeding) เกิดขึ้น และต้องการให้มั่นใจว่าเมื่อทำการสกัดถึงระดับตัดแล้วจะมีแต่คอนกรีตที่ดีจึงมักจะหล่อคอนกรีตเพื่อไว้สูงกว่าที่ผู้รับเหมาอาคารคาดคิดไว้ จนทำให้เกิดข้อโต้แย้งกันอยู่บ่อยๆ หรือผู้ออกแบบกำหนดการหล่อคอนกรีตเพื่อไว้สั้นเกินไป เช่น ไม่เกินความยาว 1.00 หรือ 2.00 เมตร ซึ่งการกำหนดดังกล่าวอาจเหมาะสมกับระดับตัดเสาเข็มใช้งานที่อยู่ต่ำกว่าระดับดินไม่มากนัก สำหรับระดับตัดใช้งานที่อยู่ลึกมาก (มากกว่า 6 เมตร) หากกำหนดไว้ไม่เหมาะสมอาจเกิดปัญหาได้ทั้งเพื่อไว้มากเกินไปหรือน้อยเกินไป มาตรฐาน ICE (1996) ได้ให้แนวทางสำหรับความยาวของคอนกรีตที่ควรหล่อเพื่อไว้สูงกว่าระดับตัดใช้งานที่ความลึกต่างๆ ไว้ ตาม ตารางที่ 4 และได้รับการยอมรับนำไปใช้กันเป็นสากล

ตารางที่ 4 Casting tolerance above cut-off levels for specified conditions (after ICE, 1996)

Cut-off level below commencing surface, H, m*	Casting tolerance above cut-off level, m	Condition
0.15 to any depth	$0.3 + H/10$	Piles cast in dry bore within permanent casing or cut-off level in stable ground below base of casing
0.15-10.00	$0.3 + H/12 + C/8$	Piles cast in dry bore using temporary casing other than above
0.15-10.00	$1.0 + H/12 + C/8$ Where C = length of temporary casing below the commencing surface	Pile cast under water or support fluid**

* Beyond H = 10 m, the casting tolerance applying to H = 10 m shall apply.

** In cases where a pile is cast so that the cut-off level is within a permanent lining tube, the appropriate tolerance is given by deleting the casing term C/8.

การถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกจากหัวเสาเข็มเข้าสู่ชั้นดินเบื้องล่างต้องอาศัยคอนกรีตเป็นตัวถ่ายแรง โดยต่อเนื่องตลอดทั้งต้น ดังนั้นความสมบูรณ์ของคอนกรีตเสาเข็มจึงสำคัญต่อการถ่ายน้ำหนักบรรทุกทุกทั้งในระยะสั้นและยาวเป็นอย่างมาก ผู้ออกแบบส่วนใหญ่มักจะกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตงานเสาเข็มระบบเจาะเปียกไว้เพียงบางเรื่อง เช่น ปริมาณปูนซีเมนต์ต่อลูกบาศก์เมตร, ค่าการยุบตัว, อัตราส่วนซีเมนต์ต่อน้ำ (W/C), ระยะเวลาหน่วงการก่อตัวและค่ากำลังอัดประลัยเป็นหลักเท่านั้น ซึ่งข้อกำหนดดังกล่าวจะยังไม่เพียงพอสำหรับงานเสาเข็มระบบเจาะเปียกซึ่งเป็นโครงสร้างแนวตั้งที่ต้องเทคอนกรีตได้น้ำลงไปชั้นดินในที่คอนกรีตเสาเข็มจะต้องอัดตัวแน่นได้ด้วยน้ำหนักตัวเอง โดยไม่สามารถใช้การจี้ช่วย จึงจำเป็นต้องออกแบบส่วนผสมที่พิเศษกว่าคอนกรีตโครงสร้างบนดินทั่วไป หากคอนกรีตงานเสาเข็มเจาะกำหนดและผสมไว้ไม่ได้มาตรฐานจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ทั้งขณะยังเหลวและแข็งตัวได้ตามรูปที่ 4 เกิดการติดขัดในท่อเทเนื่องมาจากการผันแปรของคุณสมบัติ รูปที่ 5 เกิดการแยกตัวจากเอิ่มของน้ำในคอนกรีต (Bleeding) ซึ่งจะทำให้คอนกรีตหัวเสาเข็มต่ำจนทำให้ความยาวที่หล่อเพื่อไว้มีความยาวไม่พอ รูปที่ 6 การเอิ่มทำให้เกิดโพรงในคอนกรีต รูปที่ 7 การเอิ่มทำให้คอนกรีตพรุน และรูปที่ 8 ทำให้คอนกรีตมีความต้านทานการซึมของน้ำต่ำ (High Permeability Concrete) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความทนทานของคอนกรีตในระยะยาว



รูปที่ 4 คอนกรีตอัดแน่นในท่อ เทเนื่องจากคอนกรีตเกิดการผันแปรจากการเข้มน้ำ



รูปที่ 5 การเข้มน้ำของคอนกรีตที่หัวเสาเข็ม



รูปที่ 6 โพรงได้มวลรวมที่เกิดจากการเข้มน้ำของน้ำในเนื้อคอนกรีต (ชัชวาลย์, 2536)



รูปที่ 7 สภาพคอนกรีตที่เจาะขึ้นมาจากหัวเสาเข็มเจาะที่คอนกรีตเกิดมีการเข้มน้ำ



รูปที่ 8 น้ำซึมขึ้นตามแนวเหล็กเสริมยื่นและตามแนวเก่าของท่อ Tremie (ณรงค์, 2543)

ในต่างประเทศได้มีผู้วิจัยและแนะนำส่วนผสมสำหรับให้เลือกใช้กับการก่อสร้างเสาเข็มเจาะในชั้นดินที่มีสถานะแวดล้อมทั้งที่ปกติและผิดปกติจากชั้นดินทั่วไปไว้หลายท่านเช่น Bartholomew , (1979) ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Range of cement content and w/c in general use for concrete mixed (after Batholomew 1979)

Pile Type		Conditions		
		Normal	Moderately aggressive	Highly and very highly aggressive
Bored Piles	Cement content (kg/m ³)	300 –450	350 – 450	380 –500
Dry Process	Water/cement Ratio	0.5 –0.55	0.475 –0.5	0.45- 0.5
Bored Piles	Cement content (kg/m ³)	350-450	350 –450	400 – 500
Wet process	Water/cement Ratio	0.5 – 0.6	0.475 – 0.5	0.43 – 0.45

Reese and O' Neil, (1988) ได้ศึกษาและให้คำแนะนำว่าคอนกรีตที่เหมาะสมกับเสาเข็มระบบเจาะเปียกต้องผสมให้มีคุณสมบัติพิเศษมากกว่าคอนกรีตโครงสร้างปกติหลายประการคือต้องผสมให้มีคุณสมบัติดังนี้

- ก) ต้องมีความสามารถในการเคลื่อนไหลดี (Excellent Fluidity)
- ข) ต้องมีความสามารถในการอัดตัวแน่นด้วยน้ำหนักตัวเอง (Self compaction under self-weight)
- ค) ต้องมีการทนทานต่อการแยกตัวและการเยิ้ม (Resistance to Segregation and Bleeding)
- ง) ต้องสามารถควบคุมเวลาการก่อตัวได้ (Controlled setting)
- จ) ต้องมีความทนทานต่อสถานะแวดล้อมที่ไม่ปกติ (Resistance to harsh environment)
- ฉ) ต้องมีความทนทานต่อการถูกน้ำใต้ดินชะล้าง (Resistance to leaching)
- ช) ต้องมีกำลังอัดและความแข็งแรงตามที่ออกแบบไว้ (Appropriate Strength and Stiffness)

มีผู้ทำการวิจัยเรื่องค่าความทึบนำของคอนกรีตเสาเข็มไว้คือ Valenta,(1968) ได้ทดลองเจาะแก่นคอนกรีตเสาเข็มระบบเจาะเปียกด้วยสารละลายเป็นโทไนท์ที่คอนกรีตใช้มวลหยาบขนาด 20 มม., มี W/C Ratio ที่ 0.6 และคอนกรีตมีสภาพการอัดตัวแน่นที่สมบูรณ์ดี (Dense) พบว่าคอนกรีตที่เจาะขึ้นมามีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำเท่ากับ 10^{-10} m/sec ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับที่ได้จากตัวอย่างคอนกรีตที่มีค่าการซึมน้ำต่ำจากการทดลองในห้องทดลอง

เนื่องจากงานติดตั้งเสาเข็มเจาะไม่สามารถไล่ฟองอากาศเพื่อให้คอนกรีตแน่นโดยการจี้ได้ ดังนั้นถ้าคอนกรีตที่ผสมมาไม่สามารถอัดแน่นได้ด้วยน้ำหนักตัวเองแล้ว จะทำให้กำลังอัด, ความสมบูรณ์และความทนทานของคอนกรีตลดน้อยลงไป Xanthakos, (1994) ได้ศึกษาและแนะนำไว้ว่า คอนกรีตที่ใช้ในการเทใต้น้ำผ่านท่อเท (Tremie Concrete) จะสามารถอัดตัวแน่นได้โดยน้ำหนักตัวเองได้คือนั้นควรมีค่า Compaction Ratio ประมาณ 0.95 –0.96

6. สรุป

การติดตั้งเสาเข็มระบบเจาะเปียกในประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานกลางสำหรับให้ปฏิบัติในสนามเฉกเช่นในประเทศที่พัฒนาแล้ว การติดตั้งเสาเข็มระบบเจาะเปียกในประเทศที่ผ่านมาจึงเป็นการกำหนดมาตรฐานโดยผู้ออกแบบของแต่ละโครงการให้ผู้รับเหมาดำเนินการตามอย่างไม่สามารถบิดพลิ้วได้ แม้นข้อกำหนดที่มีออกมาทั้งหมดก็นำมาปฏิบัติได้และไม่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงานจริงจนอาจเกิดปัญหาขึ้นกับงานเสาเข็มก็ตาม ในยุคโลกาภิวัตน์นี้จึงควรจะต้องถึงเวลาที่สถาบันทางวิศวกรรมเร่งออกมาตราฐานข้อกำหนดงานเสาเข็มเจาะออกมาใช้ให้เป็นสากลเฉกเช่นนานาประเทศเพื่อให้งานเสาเข็มเจาะสามารถก่อสร้างหรือติดตั้งออกมาแล้วมีมาตรฐานอ้างอิงได้กับมาตรฐานสากล

7. เอกสารอ้างอิง

1. ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, (2536) Concrete Technology , CPAC.
2. ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, (2543) ประสบการณ์และพัฒนาก่อสร้างเสาเข็มเจาะลึกมากในชั้นดินกรุงเทพฯ,เอกสารการสัมมนาเรื่องฐาน ราก 2000 จัดโดย อนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา วสท. หน้า P ถึง 38
3. ADSC (1995) Standard and specification for the foundation drilling industry. (Incorporating ACI 336.1 94)
4. Bartholomew, R.F., (1979). The protection of concrete pile in aggressive ground conditions: An international appreciation in Proc. Conf. Recent Piling Developments in the Design and Construction of Piles. ICE, London, pp 131 –141
5. Flemming, W. G. K. and Sliwinski, Z. J. (1997), The use and influence of bentonite in bored pile construction CIRIA report PG3
6. Majano, R. E. and O' Neill, M. W. (1993, Effect of Mineral and Polymer Slurries on Perimeter Load Transfer in Drill Shafts. A Report to ADSC: The Inter. Asso. Of Foundation Drilling. University of Houston, Department of Civil Engineering and Environmental Engineering, UHCE 93-1.
7. Reese, L. C., O'Neil, M. W., (1988). Drill shafts: Construction Procedures and Design Method. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Virginia. Incorporation with ADSC, Dallas. Texas. USA.
8. The Institution of Civil Engineers, ICE (1996), Specification for piling and Embedded Retaining wall (1996) Thomas Telford. London.
9. Valenta, O., (1968). Durability of Concrete. Proc. 5th Int. Symp. On the Chemistry of Cement, Tokyo, Part III, 193
10. Xanthakos, P. P., (1994) Slurry Walls as Structural Systems. McGraw – Hill Inc.