การปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยโพลิเมอร์

Modified Asphalt Cement By Polymer

โดย

นาย สงกรานต์ สุทธปรีดา

นาย สราวุฒิ โภคะกุล

นาย อังคาร เกื้อกาญจน์

วัน เดือน ปี 15 ก.ค. 2541

เลขทะเบียน 038998

เลขเรียกหนังสือ T 10139 ส161ก

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ [illegible] การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038998

MODIFIED ASPHALT CEMENT BY POLYMER

BY

Mr. SONGKRAN SUTTAPREEDA

Mr. SARAVOOT POKAKUL

Mr. AUNGKARN GEUAGARN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยโพลิเมอร์

นักศึกษา นาย สงกรานต์ สุทธปรีดา รหัสประจำตัว 37014448

นาย สราวุฒิ โภคะกุล รหัสประจำตัว 37014475

นาย อังคาร เกื้อกาญจน์ รหัสประจำตัว 37014576

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตร์การก่อสร้าง ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์	
2. อาจารย์ ศิริวัฒน์ ไชยชนะ	
3. อาจารย์ ศิลป์ชัย จานสุวรรณ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(อาจารย์ อำนวย / พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยโพลิเมอร์

Modified Asphalt Cement By Polymer

โดย นาย สงกรานต์ สุทธปรีตา รหัสประจำตัว 37014448
นาย สราวุฒิ โภคะกุล รหัสประจำตัว 37014475
นาย อังคาร เกื้อกาญจน์ รหัสประจำตัว 37014576

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันถนนแอสฟัลท์มีการชำรุดเสียหายอย่างรวดเร็ว โครงงานพิเศษนี้ได้มีการศึกษาทดลองเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยใช้โพลิเมอร์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของแอสฟัลท์ซีเมนต์ให้สูงขึ้นทั้งในด้าน ความยืดหยุ่น ,การคืนตัว ,ความแข็ง ความเหนียว , ความหนืด , เปอร์เซ็นต์การยืดตัว รวมทั้งจุดอ่อนตัว ซึ่งจากการทดลองพบว่า แอสฟัลท์ที่ผสมโพลิเมอร์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะทำให้คุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์ดีกว่า แอสฟัลท์ซีเมนต์ เกรด 60 - 70 ในทุกๆ ด้าน ในส่วนของการก่อสร้างนั้นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า แอสฟัลท์โดยทั่วๆ ไป คือ ประมาณ 190° C สำหรับค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20 - 30 % แต่จากคุณสมบัติในหลายๆ ด้าน น่าจะลดความเสียหายของถนนลงได้ ทำให้อายุการใช้งานของถนนแอสฟัลท์ยาวนานขึ้น

ABSTRACT

Nowadays, the asphalt road easily to be damaged. This special project includes the developing of the asphalt cement quality ' s experiment by using polymer to increase the efficiency of asphalt in aspect of elasticity , torsional recovery , toughness , tenacity , viscosity , ductility and softening point. From the experiment , asphalt that is mixed with polymer in the suitable rate can increase the quality of asphalt cement better than asphalt cement grade 60 - 70 in every aspect. For construction part , the temperature that is used in this case must be higher than general asphalt which is about 190° C. The cost of construction will increase about 20 - 30 % but from all of the quality will reduce the damage of road which can extend the life of asphalt road.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา วิชาโครงงานพิเศษ อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์ และคุณ ชัยวัฒน์ ศรีวรรณวัต ผู้จัดการฝ่ายขาย บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้คำปรึกษา และอำนวยความสะดวกในการทำโครงงานชิ้นนี้ ให้ลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้คำแนะนำปรึกษาต่อโครงงานนี้ โครงงานพิเศษชิ้นนี้จะไม่สามารถสำเร็จลงได้ หากขาดวัสดุ , อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัททิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน) ที่อนุเคราะห์ในส่วนของ ห้องทดลอง และยางแอสฟัลท์ , บริษัท เชลล์ (ประเทศไทย) จำกัด ในกลุ่มเครือซีเมนต์ไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในส่วน ของโพลิเมอร์เพื่อใช้ในการทำโครงงานพิเศษ และกรมทางหลวง ซึ่งเป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูล

นอกจากนี้ จะไม่กล่าวถึงก็คงไม่ได้เป็นอันขาด ต้องขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว วิษณุโยธิน ที่ให้ที่พัก ทำอาหารอร่อยๆ และอำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน ในระหว่างที่คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษไปใช้ห้องทดลองแอสฟัลท์ที่ นครราชสีมาเป็นอย่างดียิ่ง ตลอดจน คุณ ธนูศักดิ์ กลิ่นเกลา และพี่ๆ พนักงานบริษัททิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน) ที่คอยชี้แนะ และให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ทดลอง รวมทั้งข้าราชการกรมทางหลวง ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ , คำปรึกษา และร่วมแรงกายแรงใจในการทำโครงงานพิเศษนี้เป็นอย่างดี และที่ขาดไม่ได้ คือเพื่อนๆ ทุกๆคน แม้จะไม่ได้ช่วยด้านแรงงาน แต่ก็เป็นแหล่งกำลังใจอย่างดี

จึงขอบคุณทุกๆ คน มา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

นาย อังคาร เกื้อกาญจน์
นาย สราวุฒิ โภคะกุล
นาย สงกรานต์ สุทธปรีดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
หน้าอนุมัติ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ปัญหาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
1.4 ทฤษฎี และแนวความคิด	
1.4.1 โพลิเมอร์	2
1.4.2 วิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางตามแนว Empirical Method	3
บทที่ 2 วิธีการทดลอง	
2.1 การทดลองหาค่า Penetration	13
2.2 การทดลองหาค่า Ductility	18
2.3 การทดลองหาค่า Softening Point	22
2.4 การทดลองหาค่า Torsional Recovery	26
2.5 การทดลองหาค่า Toughness and Tenacity	27
2.6 การทดลองหาค่า Viscosity	29
บทที่ 3 ผลการทดลอง และสรุปผล	32
บทที่ 4 กระบวนการผลิต และการนำโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ไปใช้	
4.1 กระบวนการผลิตโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์	53
4.2 การนำโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ไปใช้	54
4.3 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต	55
บทที่ 5 การออกแบบ และการประเมินราคา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ตัวอย่างการออกแบบถนนโดยวิธี Empirical Method 61
5.2 การเปรียบเทียบความหนาของชั้นผิวทาง แอสฟัลท์ ซีเมนต์ กับ โพลิเมอร์-โมดิฟายด์แอสฟัลท์ ด้วยวิธี Two - Layer system 66
5.3 การประเมินราคา 67
5.4 ตัวอย่างการประเมินราคาถนนที่ใช้ยางแอสฟัลท์ 80
5.5 ตัวอย่างการประเมินราคาถนนที่ใช้โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ 82
บทที่ 6 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 91
ภาคผนวก 94
บรรณานุกรม 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	EWL CONSTANT / VEHICLE DAY ของรถบรรทุกต่างๆ	9
ตารางที่ 1.2	ADJUSTMENT ตามค่า ANNUAL GROWTH RATE และ DESIGN PERIOD..	10
ตารางที่ 1.3	ความหนาขั้นต่ำของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตตามชนิดพื้นทาง.....	11
ตารางที่ 3.1	ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS 5%	32
ตารางที่ 3.2	ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS 5%	33
ตารางที่ 3.3	ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS 6%	34
ตารางที่ 3.4	ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS 7%	35
ตารางที่ 3.5	ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน EVA 5%	36
ตารางที่ 3.6	ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน EVA 7%	37
ตารางที่ 3.7	ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS : EVA ; 5:2%	38
ตารางที่ 3.8	ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS : EVA ; 6:1%	39
ตารางที่ 3.9	ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS : EVA ; 7:1%	40
ตารางที่ 3.10	ผลการทดลองแอสฟัลท์ซีเมนต์ 100%	41
ตารางที่ 3.11	ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง	42
ตารางที่ 5.1	ข้อมูลของถนนสายต่างๆ	85
ตารางที่ 5.2	อัตราการทำงานของเครื่องจักร	86
ตารางที่ 5.3	สรุปค่าดำเนินการ และค่าเสื่อมราคา	87
ตารางที่ 5.4	สรุปค่าดำเนินการ และค่าเสื่อมราคา	88
ตารางที่ 5.5	ค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง	89
ตารางที่ 5.6	ค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 กราฟออกแบบความหนาโครงสร้างถนนลาดยางโดยใช้ SUBGRADE CBR VALUE .. 6

รูปที่ 1.2 กราฟออกแบบความหนาโครงสร้างถนนลาดยางโดยใช้ SUBGRADE R VALUE 7

รูปที่ 1.3 กราฟที่ใช้หาค่า ITN จากข้อมูลปริมาณการจราจรตามคู่มือการออกแบบ 8

รูปที่ 2.1 เครื่องมือทดลองหาค่าเพนิเตรชัน 17

รูปที่ 2.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดลอง 21

รูปที่ 2.3 เครื่องมือทดลองหาค่าจุดอ่อนตัว 25

รูปที่ 2.4 เครื่องมือทดลองหาค่าการคืนตัวกลับเนื่องจากการบิด 28

รูปที่ 2.5 เครื่องมือทดลองหาค่าความแข็ง และความเหนียว 28

รูปที่ 2.6 เครื่องมือทดลองหาค่าความหนืดแบบ Brookfield 31

รูปที่ 3.1 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Penetration 43

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Softening Point 44

รูปที่ 3.3 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Ductility 45

รูปที่ 3.4 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Torsional Recovery 46

รูปที่ 3.5 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Toughness 47

รูปที่ 3.6 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Tenacity 48

รูปที่ 3.7 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Brookfield Viscosity ที่ 135°C 49

รูปที่ 3.8 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Brookfield Viscosity ที่ 165°C 50

รูปที่ 4.1 กระบวนการผลิตโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ 60

รูปที่ 5.1 Influence value-two layer 68

รูปที่ 5.2 แบบหน้าตัดของถนนสาย Phetchabun Bypass 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ปัญหาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน ประเทศไทยมีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณการการขนส่งและการจราจรโดยเฉลี่ยในแต่ละวัน (Average Daily Traffic; ADT) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้ถนนแอสฟัลท์ในปัจจุบันไม่สามารถรองรับการจราจรที่มีความหนาแน่นสูงขึ้นได้ ส่งผลให้ถนนเกิดการชำรุดเสียหายอย่างรวดเร็ว ถึงแม้การออกแบบผิวถนนแอสฟัลท์ จะมีการควบคุมคุณภาพของวัสดุให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ มอก. 851-2532 แต่ก็ยังพบว่ามีความเสียหายเกิดขึ้นอยู่ดี

ในต่างประเทศได้มีการวิจัยทดลองเพื่อพัฒนาแอสฟัลท์ซีเมนต์ โดยใช้สารผสมเพิ่ม เช่น ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ ซึ่งสามารถทำให้แอสฟัลท์ซีเมนต์ มีคุณสมบัติที่สูงขึ้น สำหรับในประเทศไทย เคยมีการวิจัยโดยใช้โพลิเมอร์ 2 ชนิด คือ EVA (Ethylene Vinyl Acetate) กับ SBS (Styrene Butadiene Styrene) มาผสมในแอสฟัลท์ซีเมนท์เกรด 60/70 ซึ่งก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแอสฟัลท์ซีเมนต์ให้สูงขึ้น ทั้งในด้านความยืดหยุ่น การคืนตัว และความแข็งทางผู้จัดทำมีความเห็นว่า ในตลาดโพลิเมอร์ของเมืองไทยยังมีสารโพลิเมอร์อีกหลายชนิด เช่น SIS PE PP ฯลฯ ที่น่าจะนำมาปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลท์ได้ จึงตั้งใจจะทำโครงงานพิเศษชิ้นนี้ขึ้นมา เพราะความเสียหายที่เกิดขึ้นกับถนนแอสฟัลท์คอนกรีต มีสาเหตุมาจากทั้งปัจจัยภายในและภายนอก ทั้งที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ จึงเป็นการดีถ้าหากสามารถเพิ่มคุณสมบัติของยางให้ดีขึ้นได้ ซึ่งถ้าหากต้องการลดความเสียหายของถนน คุณสมบัติที่ควรจะต้องปรับปรุงให้ดีขึ้นมีดังนี้

1. ความหนืดและความแข็ง เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักได้สูง และไม่เสียรูปได้ง่าย
2. Temperature Susceptibility ต่ำ เป็นสิ่งที่แสดงว่ามีเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของยางไม่มากนัก เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลง
3. Softening Point ควรจะมีค่าสูง เพื่อลดปัญหาการอ่อนตัวของผิวทางเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
4. มีความยืดหยุ่นสูง เพื่อลดปัญหาการเสียรูปเนื่องจากน้ำหนักรถที่กดทับ
5. ยางควรมีแรงยึดเหนี่ยวสูง เพื่อลดปัญหาการหลุดล่อน (Reveling)

เพราะถ้าหากยางแอสฟัลท์มีคุณสมบัติดังกล่าวดีขึ้น ก็น่าจะลดความเสียหายของถนนและเป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของถนน และทั้งนี้ก็เพื่อให้เกิดความหลากหลายทางวิชาการ สามารถนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เคยทำมาแล้ว และเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่ต้องการค้นคว้าวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

เพื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างแอสฟัลท์ซีเมนต์เกรด 60/ 70 กับแอสฟัลท์ซีเมนต์ ที่ผสมสารโพลิเมอร์ในกลุ่ม อีลาสโตเมอร์ และพลาสโตเมอร์ ซึ่งจะเรียกว่า โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ เพื่อจะลดความเสียหายของผิวทาง และเพิ่มอายุการใช้งานของถนน

1.ศึกษาคุณสมบัติของโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ โดยเปรียบเทียบกับแอสฟัลท์ซีเมนต์เกรด 60/70 ที่ใช้ก่อสร้างถนนแอสฟัลท์ในเมืองไทย

2. ศึกษากระบวนการการนำโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ไปใช้ในการก่อสร้างถนน

3. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนแอสฟัลท์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลท์ ซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานกับถนนแอสฟัลท์คอนกรีตที่ใช้โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1. หาคุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์เกรด 60/70 และโพลิเมอร์แอสฟัลท์ซีเมนต์โดยยึดถือข้อกำหนดของกรมทางหลวง
2. หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของโพลิเมอร์ ระหว่าง อีลาสโตเมอร์ กับ พลาสโตเมอร์ ที่ทำให้โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด
3. ศึกษาการนำ โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ซีเมนต์ไปใช้ในการก่อสร้างถนนแอสฟัลท์ - คอนกรีตในเมืองไทย
4. ศึกษารวบรวมข้อมูลทางด้านราคาในการก่อสร้างถนนที่ใช้ โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอส-ฟัลท์ซีเมนต์เปรียบเทียบกับถนนแอสฟัลท์คอนกรีตธรรมดา

1.4 ทฤษฎี และแนวความคิด

บิวทูเมนกับโพลิเมอร์มีคุณสมบัติที่เหมือนกัน คือเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้โมเลกุลของสารทั้งสองสามารถจับกันได้ตามโครงสร้างทางเคมี และด้วยคุณลักษณะของโพลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่น การคืนตัวที่ดีและโมเลกุลที่จับตัวกันแบบสามมิติทำให้มีทั้งความแข็งแรงและความเหนียวด้วยเหตุผลดังกล่าวเมื่อนำโพลิเมอร์มาผสมกับแอสฟัลท์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมซีเมนต์จึงน่าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้แอสฟัลท์ซีเมนต์มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

1.4.1 โพลิเมอร์

โพลิเมอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

1.4.1.1 อีลาสโตเมอร์ (Elastomer) เป็นโพลิเมอร์ที่ทำให้เกิดคุณสมบัติยืดหยุ่น โดยมีกลุ่มหลักอยู่ 4 กลุ่มคือ โพลิยูริเทน (Polyurethane) โพลิอีเธอร์ - โพลิเอสเทอร์โคโพลิเมอร์ (Polyether-Polyester

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Copolymer) โอลิฟินิกโคโพลิเมอร์ (Olefinic Copolymer) และสไตรินิคโคโพลิเมอร์(styrenic Copolymer) โดยในแต่ละตัวยังออกเป็นชนิดย่อยๆ ได้อีก เช่น โฮโมโพลิเมอร์, บล็อคโคโพลิเมอร์ (Block Copolymer) ซึ่งประกอบด้วย สไตรีน - บิวตาไดอีน-สไตรีน (Styrene-butadiene-Styren, SBS) และพวกโคโพลิเมอร์แบบสุ่ม (Random Copolymer)หรือสไตรีน-บิวตาไดอีน-ยางธรรมชาติ (Styrene-Butadiene-Rubber,SBR) โพลิเมอร์เหล่านี้จะเพิ่มความแข็งแรงให้กับแอสฟัลท์จนกระทั่งมันยืดออก ซึ่งกำลังรับแรงดึง(Tensile - Strength) ของมันจะเพิ่มตามความยาว ทำให้มีความต้านทานต่อการเสียรูป ถึงแม้จะมีการยืดออกไปและกลับสู่รูปร่างเดิมอย่างรวดเร็ว เมื่อความเค้นที่เสียไปกลับคืนมา

1.4.1.2 <u>พลาสโตเมอร์ (plastomer)</u> โดยส่วนใหญ่แล้วเป็นสารประเภทอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่จะสามารถทำให้เป็นรูปร่างหรือเสียรูปไปได้ พลาสโตเมอร์นี้จะทำให้เกิดโครงข่าย (Network) 3 มิติ ที่มีความเหนียวและแข็ง ซึ่งจะสามารถต้านทานต่อการเสียรูปได้ โพลิเมอร์เหล่านี้จะทำให้เกิด Early Strength อย่างรวดเร็วภายใต้การกระทำของน้ำหนัก แต่อาจจะแตกเนื่องจากความเครียด โพลิเมอร์พวกนี้ได้แก่ โพลิเอทิลีน(Polyethylene) และเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene-Vinyl-Acetate,EVA) EVA เป็นโคโพลิเมอร์ของเอทิลีน และ ไวนิลอะซิเตต คุณสมบัติของ EVA จะขึ้นอยู่กับปริมาณของไวนิลอะซิเตต ถ้ามีปริมาณของไวนิลอะซิเตตสูงถึง 20% จะทำให้มีลักษณะอ่อน แต่มีความยืดหยุ่นและเหนียวมากภายใต้ความดันต่ำ

โดยทั่วไปโพลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกสูงหรือมีองศาการเชื่อมโยงมาก เช่น พลาสติกหรือเส้นใยไนลอนจะมีความแข็งแรงสูง แต่มีความสามารถยืดตัวต่ำ แต่ถ้าโพลิเมอร์นั้นมีความเป็นผลึกต่ำและมีการเชื่อมโยงต่ำ จะมีความแข็งแรงน้อยแต่มีความยืดตัวสูง จากคุณสมบัติความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ในกลุ่มอิลาสโตเมอร์ และคุณสมบัติที่ดีในส่วนของความเหนียว และความแข็งของโพลิเมอร์ในกลุ่มพลาสโตเมอร์ เมื่อนำไปผสมกับยางแอสฟัลท์ก็จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติของยางให้มีความแข็ง และความยืดหยุ่นขึ้น ทำให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น รวมทั้งลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต

1.4.2 **วิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางตามแนว** EMPIRICAL METHOD

การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางได้มีวิวัฒนาการมาตั้งแต่ประมาณ ปี ค.ศ. 1940 วิธีการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางในระยะแรกจะใช้ผลทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลทดลองในสนามรวมทั้งการประเมินผล สภาพถนนที่ได้ก่อสร้างขึ้นภายหลังการเปิดใช้งานมานานพอสมควร แล้วรวบรวมผลต่างๆ นำมาวิเคราะห์ร่วมกันโดยใช้หลักวิชาทางด้าน SOIL MECHANICS มาประยุกต์ใช้งาน และจัดสร้างเป็น DESIGN CHART เพื่อใช้ออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางต่อไป <u>วิธีออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางที่พัฒนาขึ้นตามวิธีการดังกล่าวเรียกว่า วิธีออกแบบตามแนวทาง EMPIRICAL METHOD</u>

ข้อมูลที่ต้องการใช้เพื่อการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางจะประกอบด้วย <u>ข้อมูลดิน และ ข้อมูลการจราจร</u> ข้อมูลดินที่ใช้ในการออกแบบตามแนว EMPIRICAL METHOD มักจะใช้ค่า CBR PLATE BEARING K-VALUE หรือ HVEEM STABILOMETER R-VALUE เป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของดิน SUBGRADE และโครงสร้างชั้นทาง ส่วนข้อมูลการจราจร ASSHO ROAD TEST จะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EQUIVALENT AXLE LOAD แทน สำหรับค่าจำนวนเที่ยวของ EQUIVALENT AXLE LOAD REPETITIONS นี้มักจะถูกแปลงเป็น DESIGN PARAMETER ตัวอื่นที่มีความเหมาะสมในการจัดทำ DESIGN CHART เพื่อการออกแบบมากกว่า เช่น THE ASPHALT INSTITUE จะใช้ DESIGN TRAFFIC NUMBER หรือ DTN ซึ่งก็คือจำนวนเที่ยวของ EQUIVALENT AXLE LOAD เฉลี่ยต่อวัน ที่คาดการณ์เอาไว้ในช่วงเวลาที่ใช้ในการออกแบบ 20 ปี EQUIVALENT AXLE LOAD ที่ใช้กันโดยทั่วไป จะมีขนาดน้ำหนักเพลาเดี่ยว 18,000 ปอนด์ (80 KN) โดยวิธีการออกแบบที่กรมทางหลวงใช้ในปัจจุบัน คือ วิธีของ THE ASPHALT INSTITUTE ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

THE ASPHALT INSTITUTE METHOD เป็นวิธีออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางที่กรมทางหลวงใช้งานมานานประมาณ 20 ปี รายละเอียดของวิธีการออกแบบ ตลอดจนวิวัฒนาการของการออกแบบโดยวิธี THE ASPHALT INSTITUTE ตามแนวทาง EMPIRICAL METHOD โดยมีสาระสำคัญพอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) ความสัมพันธ์ที่ใช้ในการออกแบบความหนา ในคู่มือการออกแบบ ความหนาฉบับพิมพ์ ครั้งที่ 8 (ค.ศ. 1970) นี้ได้เปลี่ยนจากกราฟที่เคยใช้มาเป็น NOMOGRAPH โดยความสัมพันธ์ต่างๆ ที่ใช้ออกแบบยังคงเหมือนเดิม กล่าวคือสร้าง NOMOGRAPH จากสมการที่ (1) (2) และ (3) ดังต่อไปนี้

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97\log(DTN)}{(CBR)^{0.4}} \quad \text{-------- (1)}$$

$$T_A = 6.37 + 2.75 \log (DTN) - 0.0893 (DTN)^{0.119} (R\text{-}12) \text{ ------- (2)}$$

เมื่อ $DTN \leq 20$

$$T_A = 6.37 + 2.75 \log (DTN) - 0.117 (DTN)^{0.0279} (R\text{-}12) \text{ ------- (3)}$$

เมื่อ $DTN > 20$

ดังแสดงใน รูปที่ 1.1 สำหรับ CBR และ PLATE BEARING K-VALUE และ รูปที่ 1.2 สำหรับ R-VALUE นอกจากนี้ THE ASPHALT INSTITUTE ยังได้กำหนดความหนาต่ำสุดของ ASPHALT CONCRETE ตามปริมาณการจราจรต่างๆ (DTN) ดังแสดงใน ตารางที่ 1.1

(2) การวิเคราะห์ทางด้านจราจร วิธีต่างๆ ที่ใช้ออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนนั้น ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการจราจร ได้ใช้จำนวนเที่ยวของน้ำหนักเพลาเดี่ยวมาตรฐาน 18,000 ปอนด์ (EAL_{18}) ได้จากการใช้ LOAD EQUIVALENCY FACTOR ของน้ำหนักเพลาแต่ละขนาด ควบคู่กับข้อมูลการกระจายของน้ำหนักเพลาของรถบรรทุกขนาดต่างๆ ที่ผ่านไปมาบนถนนที่ทำการออกแบบ ดังนั้นจากรายงาน หรือข้อมูลการชั่งน้ำหนักของรถบรรทุกบนถนนใดๆ ก็จะสามารถคำนวณหาจำนวนเที่ยวของ EAL_{18} ได้ ในคู่มือการออกแบบฉบับพิมพ์ครั้งที่ 7 (ค.ศ. 1963) THE ASPHALT INSTITUTE ได้ใช้ DESIGN TRAFFIC NUMBER (DTN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น DESIGN PARAMETER ในแง่ของปริมาณการจราจร และตามคู่มือการออกแบบฉบับพิมพ์ครั้งที่ 8 (ค.ศ. 1970) DTN ก็ยังคงใช้อยู่ แต่ได้เพิ่ม INITIAL TRAFFIC NUMBER (ITN) คือจำนวน EAL_{18} ในปีแรกที่เปิดรับการจราจรในช่องจราจรที่ออกแบบ และได้จัดทำ NOMOGRAPH ที่ใช้หาค่า ITN จากข้อมูลปริมาณการจราจรดังแสดงใน รูปที่ 1.3 หรืออาจจะคำนวณค่า ITN ได้จากสูตร

$$\log(ITN) = -10.68+3.40\log(S)+1.33\log(W) +1.05\log(N) \quad \text{---------- (4)}$$

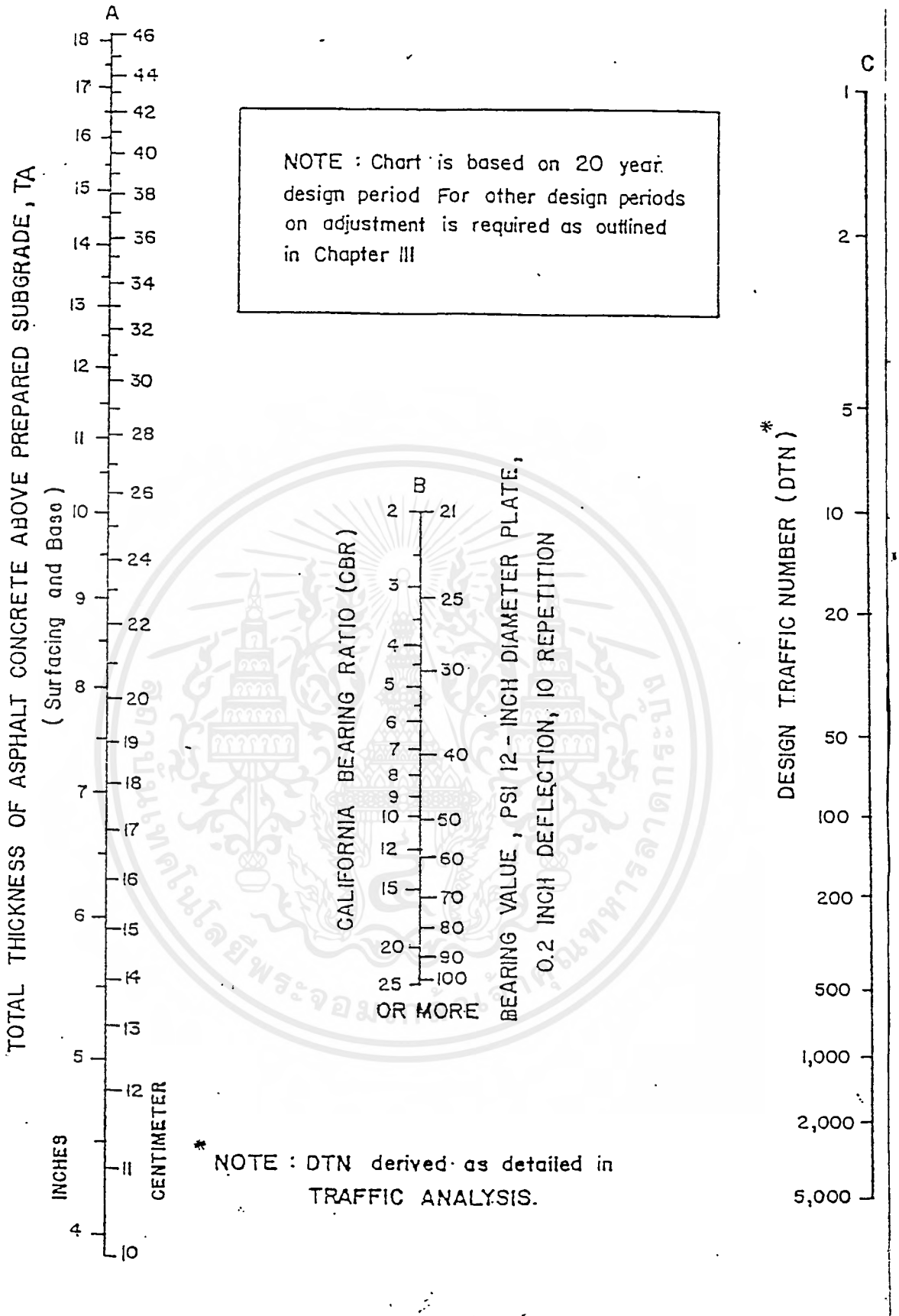
เมื่อ S = น้ำหนักพิกัดของเพลาเดี่ยว 1,000 ปอนด์

W = น้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุกตั้งแต่ 2 เพลา (6 ล้อขึ้นไป), ปอนด์

N = จำนวนรถบรรทุก

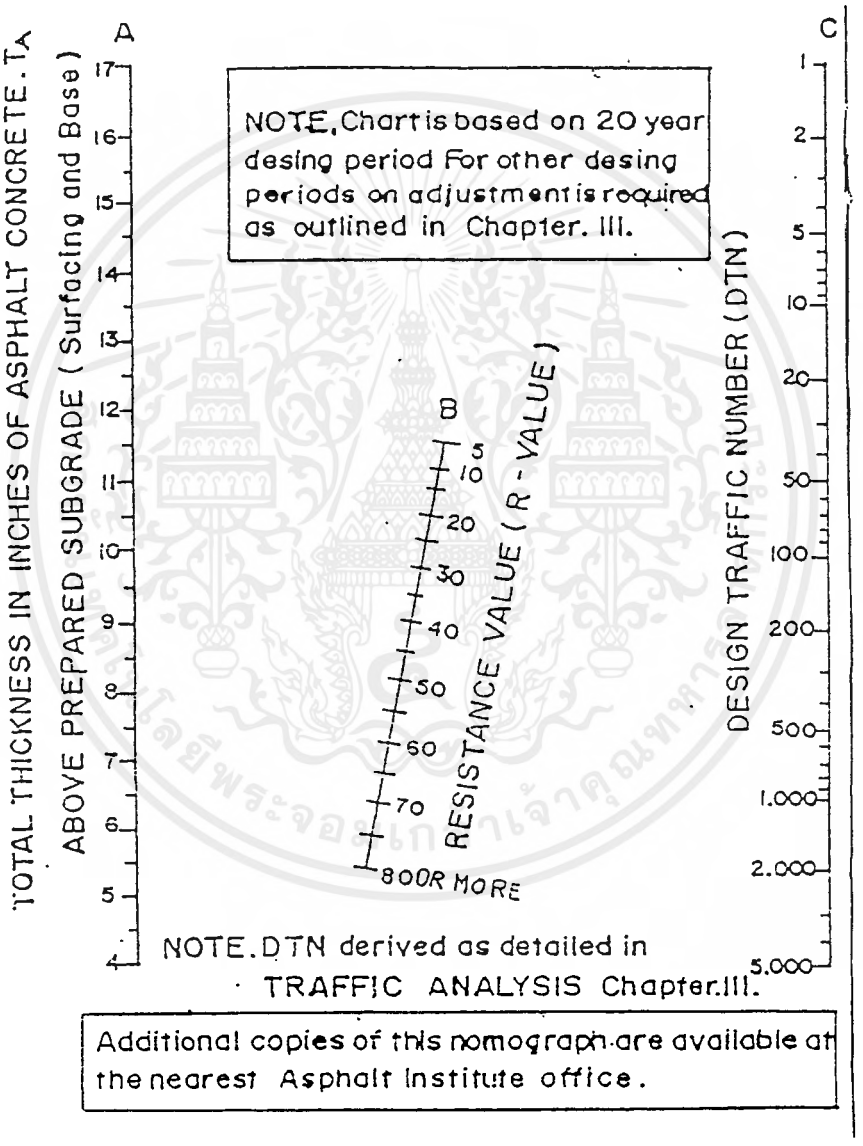
จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ที่ใช้ในการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทางของ THE ASPHALT INSTITUTE ในช่วงเวลาที่ผ่านมาทั้งหมดจนถึงคู่มือการออกแบบฉบับพิมพ์ครั้งที่ 8 (ค.ศ. 1970) ได้พัฒนามาจากข้อมูลการก่อสร้างถนนทดลอง ASSHO ROAD TEST และถนนทดลองอื่นๆ จากประสบการณ์การออกแบบ และการตรวจสอบพฤติกรรมของถนนที่เปิดใช้งานในช่วงเวลาที่ผ่านมา ดังนั้น DESIGN CHART และมาตรฐานคุณสมบัติของวัสดุชั้นทาง จึงได้มาจากข้อมูลการก่อสร้างถนนจริงๆ แนวทางการพัฒนาวิธีออกแบบโครงสร้างชั้นทางของถนนโดยการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ในลักษณะดังกล่าวนี้ เรียกว่า EMPIRICAL METHOD กรมทางหลวงได้ใช้วิธีออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางของ THE ASPHALT INSTITUTE ในแนวทางของ EMPIRICAL METHOD มานานมากกว่า 20 ปี อย่างไรก็ตามประมาณปี ค.ศ. 1977 THE ASPHALT INSTITUTE ได้เริ่มนำเอาแนวทางออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนลาดยางแนวทางใหม่ ที่เรียกว่า MECHANISTIC METHOD หรือ ANALYTICAL METHOD มาใช้ปรับปรุงและจัดทำคู่มือการออกแบบฉบับพิมพ์ครั้งที่ 9 (1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 กราฟออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนลาดยางโดยใช้ SUBGRADE CBR หรือ PLATE BEARING VALUE เป็น DESIGN PARAMETER ตามคู่มือการออกแบบฉบับพิมพ์ครั้งที่8 (THE ASPHALT INSTITUTE , 1969)

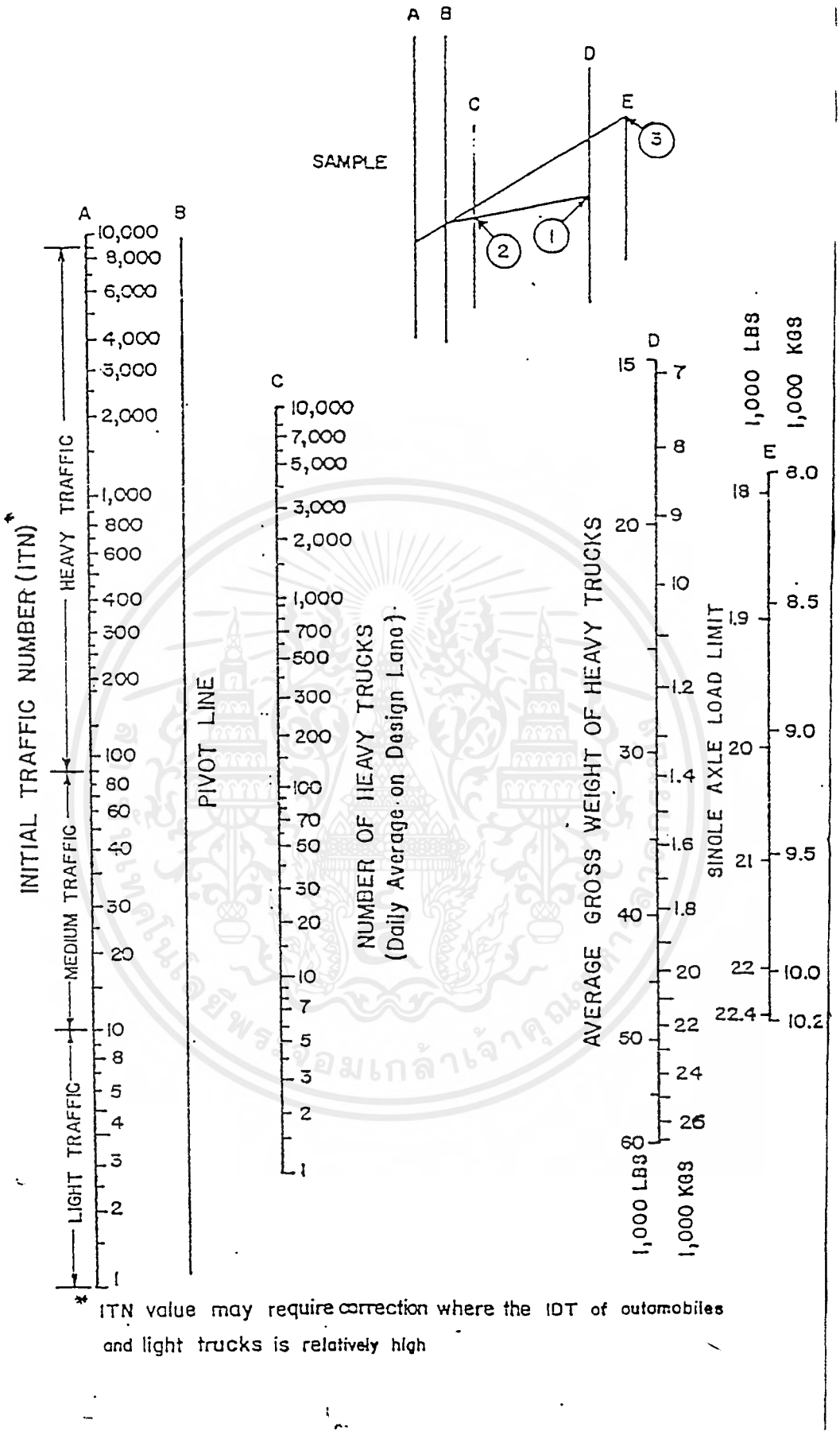
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 กราฟออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนลาดยางโดยใช้ SUBGRADE R VALUE

(THE ASPHALT INSTITUTE , 1969)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 กราฟที่ใช้หาค่า ITN จากข้อมูลปริมาณการจราจรตามคู่มือการออกแบบ ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 8 (THE ASPHALT INSTITUTE , 1969)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่1.1

EWL CONSTANT / VEHICLE DAY ของรถบรรทุกต่าง ๆ

(YODER และ WITCZAK , 1975 หน้า 686)

ลักษณะของรถบรรทุก	Annual Design EWL/Vehicle Day	
	ถนนสายหลัก	ถนนสายรอง
รถบรรทุก 2 เพลา	300	200
รถบรรทุก 3 เพลา	920	690
รถบรรทุก 4 เพลา	1320	1070
รถบรรทุก 5 เพลา	4080	1700
รถบรรทุก 6 เพลา	2860	1050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่1.2

ADJUSTMENT FACTOR ตามค่า

ANNUAL GROWTH RATE และ DESIGN PERIOD

Initial Traffic Number (ITN) Adjustment Factors*

Design Period, Years (n)	Annual Growth Rate, Percent (r)					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

$$\text{Factor} = \frac{(1+r)^n - 1}{20r}$$

* From The Asphalt Institute.

Note: Truck growth rate, which includes both number and weight of trucks, may increas faster than overall traffic growth rate, particularly on roads with large volumes of heav trucks. Growth rates for these roads should be determined from truck weight study data if possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่1.3

ความหนาขั้นต่ำของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตตามชนิดพื้นทาง

THICKNESS FACTORS AND MINIMUM SURFACE REQUIREMENTS FOR PLANT-MIXED ASPHALT BASE

Asphalt Base	Thickness Factor, f	Minimum Thickness of Asphalt Concrete Surface, T_s, In.		
		DTN Less Than 10	DTN = 10 - 100	DTN More Than 100
Asphalt concrete	1	0	0	0
Hot-mix sand asphalt	1.3	2	3	4
High-quality, well controlled, well graded aggregate, but using cutback or emulsified asphalt	1.4	2	3	4
Other mixes using cutback or emulsified asphalt	1.4	3	4	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการหาอัตราส่วนผสมของโพลิเมอร์เพื่อใช้ในการทดลอง

1. ในขั้นต้นนำโพลิเมอร์ทุกชนิดที่มี ได้แก่ ไอโซพรีน-สไตรีน-สไตรีน (SIS) เอทิลีน-ไวนิล-อะซิเตต (EVA) โพลิเอทิลีน (PE) โพลิพรอบโพลีน (PP) ทำการผสมกับแอสฟัลท์ซีเมนต์ โดยใช้อัตราส่วนเริ่มต้นที่ 5 % ได้ผลสรุปว่า SIS กับ EVA สามารถละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลท์ซีเมนต์ได้ดี ในขณะที่ PP กับ PE ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ จึงไม่ได้ทำการทดลองต่อ
2. นำแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ผสม SIS 5% ไปทำการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ปรากฏว่ามีคุณสมบัติบางอย่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง จึงทำการเพิ่มปริมาณของ SIS เป็น 6% และ 7% ตามลำดับและ เนื่องจากอัตราส่วนผสมที่ 7% คุณสมบัติของ แอสฟัลท์ซีเมนต์ สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานจึงหยุด ปริมาณ SIS ที่ 7% เพราะถ้าใช้ปริมาณของ SIS มากกว่านี้ จะไม่คุ้มค่าในทางการตลาด โดยคำนึงถึง ตลาดของ PMA ในปัจจุบันซึ่งใช้ปริมาณของ SBS: EVA ที่ 6:1 %
3. ขั้นต่อไป ทำการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ผสม EVA 5% ผลที่ได้ก็เป็นไปตามสมมติฐานที่ว่า EVA ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติ ของแอสฟัลท์ ในด้าน ความแข็งและความเหนียว แต่ไม่ช่วยให้ความยืดหยุ่น การคืนตัว รวมทั้งจุดอ่อนตัวให้ดีขึ้น เพราะฉะนั้นถึงแม้จะทำการเพิ่มปริมาณของ EVA ให้มากขึ้น ก็คงไม่ ได้ช่วยให้คุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงได้ จึงทำการทดลองให้ดูแค่ 2 อัตราส่วน คือ ที่ 5% และ 7%
4. จากนั้นก็นำ SIS และ EVA มาผสมกันโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า SIS จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติใน ด้าน ความยืดหยุ่น การคืนตัว และจุดอ่อนตัว ในขณะที่ EVA ช่วยในด้านความแข็งและ ความเหนียว และจากขั้นตอนที่ 2 และ 3 จึงเลือกอัตราส่วนโดยให้มีปริมาณของ SIS มากกว่า EVA และคำนึงถึงผลทางการตลาด โดยเบื้องต้นเลือกใช้อัตราส่วนผสมของ SIS : EVA ที่ 6:1 % ซึ่งคุณสมบัติที่ได้ก็ผ่านเกณฑ์ของกรมทางหลวง ในขั้นต่อไปจึงลองทำการทดลองที่อัตราส่วนผสมที่ 5:2 % และ ทำการทดสอบ ที่อัตราส่วน ผสมของ SIS: EVA ที่ 7:1% เพื่อทำการเปรียบเทียบด้วย

การได้มาของค่า E โมดูลัส

เนื่องจากการออกแบบก่อสร้างถนนในเมืองไทยใช้วิธีการออกแบบด้วยวิธี Empirical Method ซึ่งไม่ได้นำค่า โมดูลัสของวัสดุมาใช้ในการออกแบบ จึงไม่เคยมีการทดสอบหาค่าโมดูลัสของวัสดุทางด้านการก่อสร้างทาง รวมทั้งไม่มีเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบ ดังนั้นค่า E โมดูลัสที่ใช้ในการคำนวณในบทที่ 5 ได้มาจากวารสารของต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1

วิธีการทดลองหาค่าเพนิเตรชัน (Penetration)

(ASTM D5-83)

บทนิยาม

ค่าเพนิเตรชัน (Penetration) หมายถึง ระยะทางที่เข็มมาตรฐานแทงจมลงในเนื้อวัสดุแอสฟัลท์ตามแนวดิ่ง ภายใต้ภาวะของน้ำหนักบรรทุก เวลา และอุณหภูมิที่กำหนดโดยระยะทางที่เข็มจมในหน่วยของ 0.1 มิลลิเมตร ค่าเพนิเตรชันจะเป็นค่าบอกความข้นหนืด (consistency) ของวัสดุแอสฟัลท์ ถ้ามีค่ามากแสดงว่ามีความข้นหนืดน้อย ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีความข้นหนืดมาก

เครื่องมือ

1. เครื่องทดลองเพนิเตรชัน (Penetration Apparatus) ประกอบด้วยแกนซึ่งเคลื่อนขึ้นลงตามแนวดิ่งมีความเสียดทานน้อยที่สุด และสามารถวัดความลึกของการทะลวงได้ละเอียดถึง 0.1 มม. น้ำหนักของแกนมีค่า 47.5 $\pm$ 0.05 กรัม ที่แกนจะมีปากจับเข็มมาตรฐาน น้ำหนักรวมเมื่อประกอบเข็มมาตรฐานเข้ากับแกนมีค่า 50.0 $\pm$ 0.05 กรัม เครื่องทดลองจะต้องมีน้ำหนักถ่วงขนาด 50 $\pm$ 0.05 กรัม และ 100 $\pm$ 0.05 กรัม เพื่อให้ได้น้ำหนักกด 100 กรัม และ 200 กรัม ตามกำหนดของสภาพการทดลอง ผิวสำหรับวางภาชนะบรรจุตัวอย่างจะต้องราบ และแกนกดจะต้องตั้งฉากกับผิวนี้ แกนที่ใช้สามารถออกตรวจสอบน้ำหนักได้

2. เข็มทะลวง (Penetration Needle) เข็มที่ใช้ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมชุบแข็งเกรด 440-C หรือเทียบเท่า HRC 54 ถึง 60 ยาวประมาณ 50 มม. (2 นิ้ว) เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1.00 ถึง 1.02 มม. (0.0394 ถึง 0.0402 นิ้ว) ปลายข้างหนึ่งเสี้ยมแหลมเป็นรูปกรวยมีมุมแหลมอยู่ระหว่าง 8.7 ถึง 9.7° ปลายกรวยตัดในแนวตั้งฉากกับแกนของเข็มคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2° ปลายกรวยที่ตัดนี้มีขนาดศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.14 กับ 0.16 มม. (0.0055 กับ 0.0063 นิ้ว) ตลอดขอบของปลายตัดจะต้องคมปราศจากเสี้ยน ปลายอีกข้างเข็มจะสวมอยู่ในปลอกโลหะทองเหลือง หรือเหล็กกล้าไร้สนิม ส่วนของเข็มที่ยาวโผล่จากปลอกอยู่ในช่วง 40 ถึง 45 มม. (1.57 ถึง 1.77 นิ้ว) ปลอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 $\pm$ 0.05 มม. (0.12 $\pm$ 0.003 นิ้ว) และยาว 38 $\pm$ 1 มม. (1.50 $\pm$ 0.05 นิ้ว) น้ำหนักรวมของปลอกกับเข็มเท่ากับเข็มเท่ากับ 2.50 $\pm$ 0.05 กรัม (อาจเจาะรูที่ปลายของปลอกเพื่อควบคุมน้ำหนักให้ได้ตามระบุ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง (Sample Container) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกก้นแบน ทำด้วยโลหะ หรือแก้ว มีขนาดดังนี้

สำหรับค่าทะลวงต่ำกว่า 200

เส้นผ่าศูนย์กลาง	55	มม.
ความลึกภายใน	35	มม.

สำหรับค่าทะลวง ระหว่าง 200 กับ 350

เส้นผ่าศูนย์กลาง	70	มม.
ความลึกภายใน	45	มม.

4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) เป็นอ่างน้ำที่มีความจุไม่น้อยกว่า 10 ลิตร สามารถปรับ และควบคุมอุณหภูมิให้ได้ 25 $\pm$ 0.1 $^{\circ}$ C หรือที่อุณหภูมิใดๆ มีชั้นโปร่งวางอยู่เหนือก้นอ่างไม่น้อยกว่า 50 มม. และต้องอยู่ต่ำกว่าระดับของเหลวในอ่างไม่น้อยกว่า 100 มม. ถ้าการทดลองหาค่าเพนิเตรชันที่มั่นคงแข็งแรงพอ น้ำที่ใช้ในอ่างอาจใช้น้ำเกลือสำหรับการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ

5. ภาชนะย้ายตัวอย่าง (Transfer Dish) เป็นภาชนะที่มีความจุไม่ต่ำกว่า 350 มล. และมีความลึกเพียงพอให้น้ำคลุมทั่วภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาดใหญ่ และมีที่รองรับภาชนะบรรจุตัวอย่างรูปร่างสามขาที่มีหน้าสัมผัสสามจุดกับภาชนะบรรจุตัวอย่างเพื่อป้องกันภาชนะบรรจุตัวอย่างขับเคลื่อนในเวลาทดลอง

6. เครื่องจับเวลา (Timing Device) ใช้สำหรับการทดลองที่ใช้เครื่องทดลองแบบคุมด้วยมือเครื่องจับเวลามักเป็นนาฬิกาจับเวลา (Stop Water) หรือแบบอื่นที่สามารถให้ความละเอียดถึง 0.1 วินาที หรือละเอียดกว่า และมีความถูกต้องภายใน $\pm$ 0.1 วินาที สำหรับช่วง 60 วินาที อาจใช้เครื่องนับเวลาที่ให้เสียงสัญญาณทุกๆ 0.5 วินาทีก็ได้ หรืออาจใช้เครื่องจับเวลาอัตโนมัติประกอบเข้ากับเครื่องทดลอง ก็ได้ แต่ต้องปรับเทียบความถูกต้องให้อยู่ภายใน $\pm$ 0.1 วินาที ตามช่วงการทดลองที่ระบุ

7. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometers) เทอร์โมมิเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้ทั่วๆ ไป มีดังนี้

หมายเลข ASTM	ช่วง
17 C หรือ 17 F	19 ถึง 27° C (66 ถึง 80°F)
63 C หรือ 63 F	-8 ถึง +32°C (18 ถึง 89°F)
64 C หรือ 64 F	25 ถึง 55° C (77 ถึง 131°F)

เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 $^{\circ}$C และตัวเทอร์โมมิเตอร์ต้องจุ่มลงในน้ำ 150 $\pm$ 15 มม. เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อค่าเพนิเตรชันอย่างมาก ดังนั้นเทอร์โมมิเตอร์จะต้องได้รับการปรับเทียบอย่างถูกต้องก่อนการนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมตัวอย่าง

1. ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างด้วยความระมัดระวัง กวนตัวอย่างเท่าที่จะทำได้เพื่อป้องกันไม่ให้จุดใดจุดหนึ่งร้อนมากเกินไป จนกระทั่งตัวอย่างเหลวพอจะเทได้ สำหรับ วัสดุ ทาร์ พิทช์ (tar pitch) ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวมากกว่า 60° C ตามวิธีการทดลอง D 2398 สำหรับวัสดุแอสฟัลท์ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวมากกว่า 90° C การให้ความร้อนแก่ตัวอย่างต้องไม่นานเกิน 30 นาที หลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดฟองอากาศในตัวอย่าง

2. เทตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างให้ได้ความหนาเพียงพอ ควรหนามากกว่าระยะที่คาดว่าเข็มจะจมลงในเนื้อวัสดุแอสฟัลท์เป็นระยะมากกว่าอย่างน้อยที่สุด 10 มม.

3. ปิดภาชนะบรรจุตัวอย่างเพื่อป้องกันฝุ่น ปล่อยให้เย็นลงในบรรยากาศที่อุณหภูมิระหว่าง 15 กับ 30 ° C เป็นเวลา 1 ถึง 1 ½ ชั่วโมง ส่วนตัวอย่างในภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาดเล็ก และเป็นเวลา 1 ½ ถึง 2 ชั่วโมง สำหรับขนาดใหญ่ นำตัวอย่างวางในภาชนะย้ายตัวอย่าง (ถ้าจำเป็นต้องใช้) แล้วเอาไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิซึ่งมีอุณหภูมิคงที่ตามข้อกำหนดของการทดลอง ตัวอย่างในภาชนะบรรจุขนาดเล็ก (3 ออนซ์) ให้แช่เป็นเวลา 1 ถึง 1 ½ ชั่วโมง ส่วนตัวอย่างในภาชนะบรรจุขนาดใหญ่ (6 ออนซ์) ให้แช่เป็นเวลา 1 ½ ถึง 2 ชั่วโมง

เงื่อนไขการทดลอง

การทดลองที่ไม่ได้กำหนดเงื่อนไขใดๆ ไว้ ให้ใช้อุณหภูมิการทดลองที่ 25°C (77°F) น้ำหนักกด 100 กรัม และเวลา 5 วินาที เงื่อนไขที่กำหนดเป็นอย่างอื่นสำหรับการทดลองพิเศษอาจกำหนดไว้ดังนี้

อุณหภูมิ, °C (°F)	น้ำหนักกด , กรัม	เวลา , วินาที
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
46.1(115)	50	5

ในกรณีดังกล่าวนี้ ต้องรายงานเงื่อนไขการทดลองอย่างชัดเจน

วิธีการทดลอง

1. ตรวจสอบแกนปากจับเข็มให้ปราศจากน้ำและวัตถุไม่พึงประสงค์ ทำความสะอาดเข็มด้วย (toluene) หรือสารละลายอื่นที่เหมาะสมแล้วเช็ดให้แห้งด้วยผ้าสะอาด สอดเข็มเข้ากับเครื่องทดลองเพนิเตรชัน ถ้าไม่ได้กำหนดเงื่อนไขการทดลองไว้ให้ใช้น้ำหนักถ่วง 50 กรัม ถ่วงบนแกนเพื่อให้ได้น้ำหนักกดรวมเท่ากับ 100 ± 0.1 กรัม ถ้าการทดลองกระทำโดยตั้งเครื่องทดลองเพนิเตรชันในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ให้วางภาชนะบรรจุตัวอย่างลงบนที่ตั้งของเครื่องทดลองที่จมอยู่ในน้ำ และต้องให้น้ำในอ่างท่วมภาชนะบรรจุตัวอย่าง ถ้าการทดลองกระทำโดยตั้งเครื่องทดลองเพนิเตรชันนอกอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางภาชนะบรรจุตัวอย่างซึ่งมีน้ำที่อุณหภูมิคงที่จากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิท่วมภาชนะบรรจุตัวอย่าง แล้วจึงวางภาชนะย้ายตัวอย่างลงบนที่ตั้งของเครื่องทดลองเพนิเตรชันในแต่ละกรณีต้องปรับเครื่องมือให้เข็มมาตรฐานที่มีน้ำหนักกดตามระบุสัมผัสกับเงาของตัวอย่างพอดี ซึ่งทำได้โดยค่อยๆ เลื่อนเข็มลงแล้วสังเกตให้ปลายเข็มสัมผัสกับเงาของตัวเข็มที่เกิดจากการสะท้อนมาจากผิวหน้าของตัวอย่างที่มีการตั้งเครื่องมือให้ได้รับแสงสว่างที่พอเหมาะ ตั้งหน้าปัดให้อ่านค่าศูนย์เมื่อเข็มสัมผัสผิวหน้าของตัวอย่างแล้วปล่อยเข็มให้ทะลวงลงไปในตัวอย่างตามระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นวัดหาค่าระยะทางที่เข็มจมลงไปในตัวอย่างด้วยการปรับหน้าปัด ระยะทางที่วัดได้เป็นค่าของการทะลวงที่วัดในหน่วย 0.1 มม. ถ้าภาชนะบรรจุตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ในระหว่างการปล่อยเข็มทะลวงตัวอย่างให้ถือว่าการทดลองนั้นใช้ไม่ได้

2. แต่ละตัวอย่างให้ทำการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง ตรงจุดที่อยู่ห่างจากขอบภาชนะบรรจุตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 มม. และแต่ละจุดต้องอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 10 มม. ถ้าการทดลองต้องใช้ภาชนะย้ายตัวอย่างจะต้องนำภาชนะย้ายตัวอย่างที่มีตัวอย่างอยู่กลับไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิทุกครั้งก่อนที่จะทดลองจุดต่อไป เพื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่ตามกำหนดต้องทำความสะอาดเข็มทุกครั้งก่อนการทดลองแต่ละจุด ถ้าวัสดุตัวอย่างมีค่าเพนิเตรชันมากกว่า 200 ให้ใช้เข็มอย่างน้อย 3 อัน โดยทิ้งเข็มไว้ในการทดลองแต่ละจุด แล้วเริ่มทดลองด้วยเข็มอันใหม่จนกว่าจะเสร็จการทดลองทุกจุด

3. เข็ม, ภาชนะบรรจุตัวอย่างและเงื่อนไขต่างๆ ตามวิธีนี้ใช้สำหรับการหาค่าเพนิเตรชันที่มีค่าสูงถึง 350 อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจใช้กับค่าเพนิเตรชันสูงถึง 500 โดยใช้ภาชนะบรรจุตัวอย่างแบบพิเศษและ เข็มชนิดพิเศษโดยใช้ภาชนะบรรจุตัวอย่างควรลึกอย่างน้อยที่สุด 60 มม. ปริมาตรตัวอย่างทั้งหมดในภาชนะบรรจุตัวอย่างไม่ควรเกิน 125 มล. เพื่อให้สามารถปรับอุณหภูมิตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม

3.1 เข็มพิเศษจะต้องมีขนาด และน้ำหนักได้ตามที่ระบุในหัวข้อเข็มมาตรฐาน และจะต้องให้ส่วนของเข็มที่ยาวโผล่จากปลอกมีความยาว 50 มม.

3.2 ตัวอย่างที่มีค่าเพนิเตรชันสูงอาจทดลองโดยใช้เข็มมาตรฐาน และภาชนะบรรจุตัวอย่างขนาด 6 ออนซ์ แต่ใช้น้ำหนักกด 50 กรัม ค่าเพนิเตรชันหาได้จากการคูณผลการทดลองของน้ำหนักกด 50 กรัม ด้วยค่ารากกำลังสองของ 2 (square root of 2) นั่นคือ

ค่าเพนิเตรชันภายใต้น้ำหนักกด 100 กรัม = ค่าเพนิเตรชันภายใต้น้ำหนักกด 50 กรัม × 1.414

<u>การรายงาน</u>

รายงานค่าเฉลี่ยการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง ความแตกต่างของการทดลองจะต้องไม่เกินข้อกำหนดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเพนิเตรชัน	0 - 49	50 - 149	150 - 249
ค่าแตกต่างระหว่าง ค่าทดลองสูงสุด และต่ำสุด	2	4	6

หลักการพิจารณาผลการทดลอง

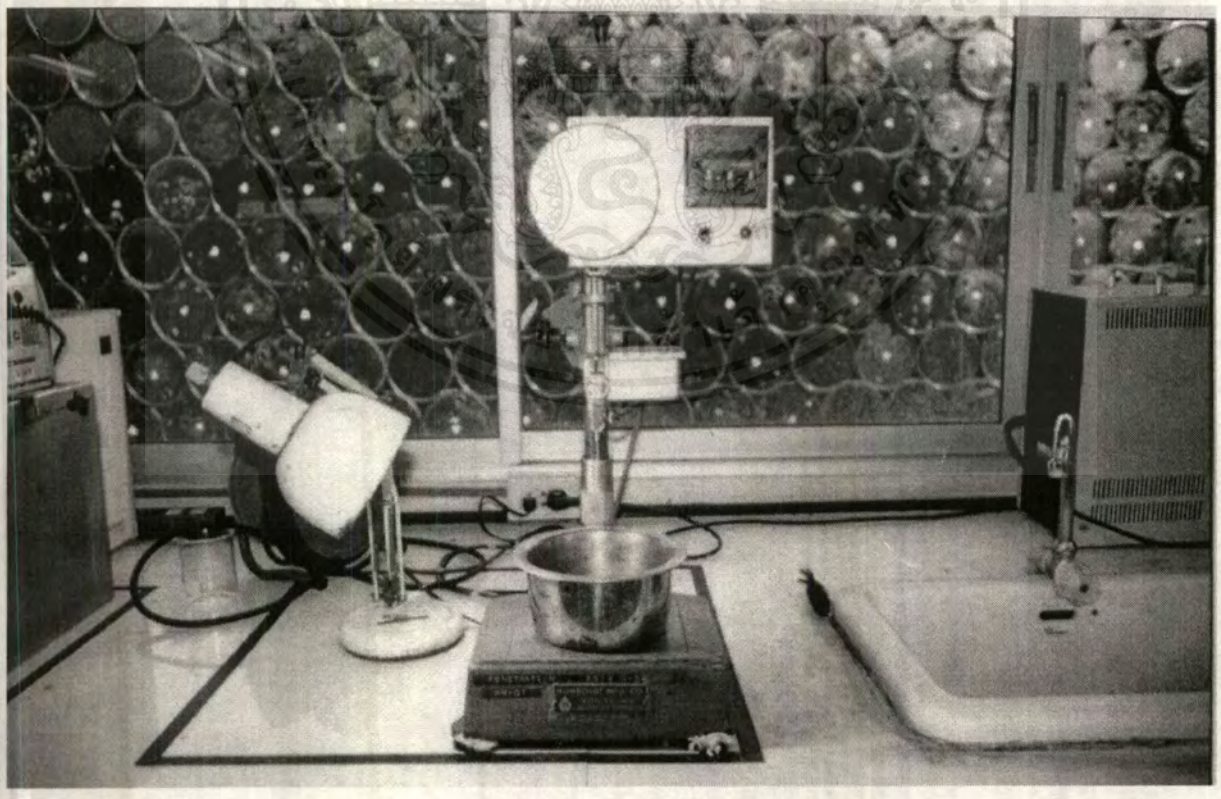
1. ผลการทดลอง โดยผู้ทดลองคนเดียวกัน ห้องทดลอง และเครื่องทดลองอันเดียวกันในเวลาต่างกัน (repeatability) จะเชื่อถือได้ต่อเมื่อผลการทดลองนั้นแตกต่างกันไม่มากกว่ากำหนดดังนี้

2. ผลการทดลองที่ทำโดยผู้ทดลอง 2 คน จากห้องทดลองคนละห้อง (reproducibility)

ข้อควรระวัง

1.ในการเตรียมตัวอย่าง โดยการให้ความร้อนก่อนที่จะเทลงสู่ภาชนะบรรจุตัวอย่างจะต้องให้ความร้อนสม่ำเสมอ เมื่อเทลงสู่ภาชนะบรรจุตัวอย่างแล้วต้องสังเกตดู ถ้ายังมีฟองอากาศปะปนอยู่ ควรให้ความร้อนอีกเล็กน้อยแล้วคนไล่ฟองอากาศให้หมด

2. ตรวจสอบน้ำหนักของแกน เข็ม และน้ำหนักถ่วง ต้องรวมกันให้ได้ครบตามข้อกำหนด



รูปที่ 2.1 เครื่องมือทดลองหาค่าเพนิเตรชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2
วิธีการทดลองหาค่าการยืดตัว (Ductility)
(ASTM D113-85)

ขอบข่าย

การยืดตัวของวัสดุบิทูเมน คือ ระยะทางที่วัสดุตัวอย่างยืดออกก่อนขาดจากกันซึ่งวัดได้จากการดึงปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างรูปบริเคท ซึ่งอยู่ในแบบมาตรฐาน ด้วยอัตราความเร็ว และอุณหภูมิที่กำหนด ถ้าการทดลองไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้ใช้อุณหภูมิการทดลองที่ $13 \pm 0.5^{\circ}$ C ($77 \pm 0.9^{\circ}$ F) และใช้อัตราความเร็ว 5 ซม. / นาที $\pm 5.0\%$ ถ้าใช้อุณหภูมิอื่นควรกำหนดอัตราความเร็วด้วย

วิธีการทดลองนี้จะใช้วัดคุณสมบัติรับแรงดึงของวัสดุบิทูเมน และใช้วัดการยืดตัวตามข้อกำหนด

เครื่องมือ

1. แบบ (Mold) แบบที่ใช้มีรูปร่าง และขนาดดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำด้วยทองเหลือง ส่วนปลาย b และ b' เรียกว่าตัวยึด (clips) ส่วน a และ a' เรียกว่า ส่วนข้างของแบบ ขนาดของแบบเมื่อประกอบแล้วจะต้องให้ได้ตัวอย่างรูปบริเคทซึ่งมีขนาดดังนี้

ความยาวทั้งหมด	7.45	ถึง	7.55 ซม.
ระยะทางระหว่างตัวยึด	2.97	ถึง	3.03 ซม.
ความกว้างที่ปากตัวยึด	1.98	ถึง	2.02 ซม.
ความกว้างของส่วนแคบที่สุด	0.99	ถึง	1.01 ซม.

2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) เป็นอ่างน้ำที่สามารถปรับ และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ตามกำหนด เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากกว่า 0.1 $^{\circ}$ C (0.18 $^{\circ}$F) ปริมาตรของน้ำไม่น้อยกว่า 10 ลิตร มีชั้นโปร่งสูงจากก้นอ่างไม่น้อยกว่า 5 ซม. สำหรับวางตัวอย่าง และน้ำท่วมตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 ซม.

3. เครื่องดึง (Testing Machine) เป็นเครื่องสำหรับดึงตัวอย่างที่หล่อแล้วให้แยกออกจากกัน อาจจะใช้เครื่องมือแบบใดก็ได้ที่สามารถดึงตัวยุดทั้งสองให้ตัวอย่างยืด ออกด้วยอัตราความเร็วสม่ำเสมอตามที่กำหนด ไม่สั่นสะเทือน และขณะทดลองตัวอย่างจะต้องจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลาตามที่กำหนดไว้ในวิธีการทดลอง เครื่องดึงอาจมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.2

4. แผ่นทองเหลือง (Brass Plate) แผ่นทองเหลืองที่ใช้จะต้องมีผิวหน้าราบเรียบเมื่อวางแบบบนแผ่นทองเหลือง ผิวด้านล่างของแบบจะสัมผัสแผ่นทองเหลืองโดยตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

ช่วง อุณหภูมิ	หมายเลขเทอร์โมมิเตอร์
-8 ถึง 32°C	63C
18 ถึง 89°F	63F

6. ตะแกรงเบอร์ 50 (300-μM)

วิธีการทดลอง

1. ใช้วัสดุผสมของกลีเซอริน (glycerin) และเด็กซ์ตริน (dextrin) , แท็ลค์ (talc) , หรือ คาโอลิน (kaolin) อย่างบางๆ ฉาบลงบนแผ่นทองเหลือง และส่วนข้างของแบบทางด้านใน (ส่วน a และ a') ถ้าไม่มีวัสดุผสมดังกล่าวอาจใช้สบู่ทาก็ได้ เพื่อไม่ให้ตัวอย่างยึดติดกับแผ่นทองเหลือง และส่วนข้างของแบบ จากนั้นประกอบแบบทั้งหมดลงบนแผ่นทองเหลือง

2. ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างคนให้สม่ำเสมอด้วยความระมัดระวัง ไม่ให้เกิดความร้อนที่จุดใดจุดหนึ่งมากเกินไป จนกระทั้งตัวอย่างเหลวพอที่จะเทได้

3. กรองตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 50 คนตัวอย่างให้ทั่วอีกครั้ง

4. เทตัวอย่างลงในแบบที่ประกอบไว้แล้ว การเทตัวอย่างให้เทลงเป็นสายเล็กๆ เทไปมาจากปลายข้างหนึ่งไปถึงอีกปลายข้างหนึ่งของแบบ จนกระทั่งตัวอย่างเต็มล้นออกจากแบบเล็กน้อย ปล่อยให้ตัวอย่างที่หล่อในแบบเย็นลงตามอุณหภูมิห้องทดลองเป็นเวลา 30 ถึง 40 นาที จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิตามอุณหภูมิที่กำหนดเป็นเวลา 30 นาที นำส่วนทั้งหมดขึ้นจากน้ำ ใช้มีดบางๆ หรือใบพายสำหรับปาด (spatula) ซึ่งอังไฟให้ร้อนพอประมาณ ตัดปาดตัวอย่างส่วนที่เกินออกจากแบบให้ผิวหน้าของตัวอย่างในแบบมีระดับ เรียบเต็มแบบพอดี

5. นำแผ่นทองเหลือง และแบบพร้อมตัวอย่างจากข้อ 4 วางลงในอ่างนี้ควบคุมอุณหภูมิ ตามอุณหภูมิที่กำหนดเป็นเวลา 85 ถึง 95 นาที ยกขึ้นจากอ่างเอาแผ่นทองเหลือง และส่วนข้างทั้งสองของแบบออก แล้วนำไปทดลองดึงทันที

6. การดึงตัวอย่าง ให้เอาห่วงที่ปลายของตัวยึดทั้งสองข้าง ใส่ลงในขอเกี่ยวของเครื่องแล้วเดินเครื่องดึงตัวยึด ให้แยกจากกันด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอตามกำหนด (50 ซม. / นาที) เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน ± 5% จนกระทั่งตัวอย่างที่ยืดเป็นเส้นขาดออกจากกัน วัดระยะที่ยืดออกจนขาดจากกันในหน่วยเซนติเมตร ในขณะทดลองน้ำในอ่างของเครื่องดึงจะต้องคลุมตัวอย่างทั้งด้านบน และด้านล่างอย่างน้อย 2.5 ซม. (77 °F) ภายในช่วง ± 0.5° C (0.9 °F)

การรายงาน

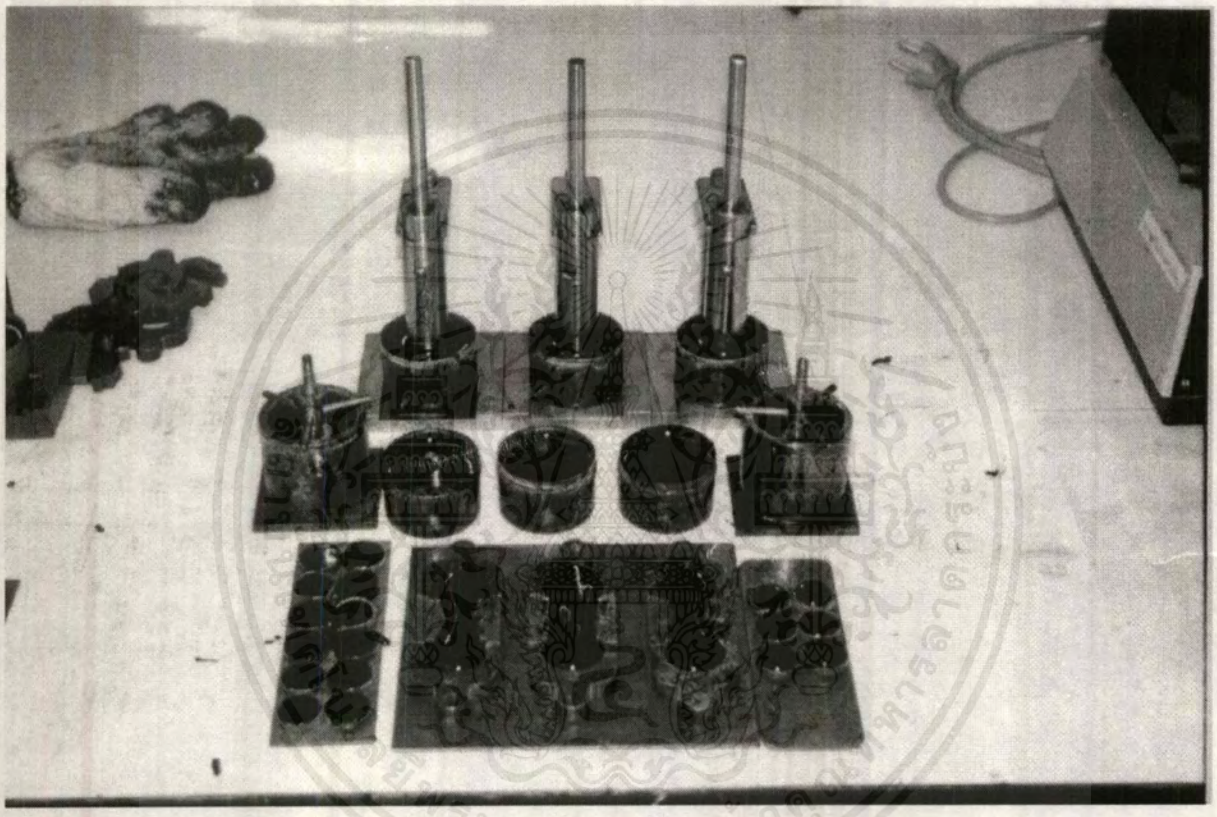
1. การทดลองปกติ วัสดุจะต้องยืดออกจากการดึงจนเป็นเส้นเล็กมากก่อนขาดจากกันตรงจุดที่วัดพื้นที่หน้าตัดไม่ได้ การรายงานให้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
038998

2. ถ้าเส้นตัวอย่างของวัสดุบิทูเมนลอยขึ้นมาสัมผัสผิวของน้ำ หรือจมลงแตะก้นของอ่างในระหว่างดึงถือว่าการทดลองไม่ปกติ ให้ปรับความถ่วงจำเพาะภายในอ่างโดยเติม เมธิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) หรือ โซเดียมคลอไรด์ เพื่อไม่ให้วัสดุบิทูเมนลอยสัมผัสกับผิวของน้ำ หรือจมลงแตะก้นอ่างในระหว่างการทดลอง

3. ถ้าการทดลองไม่ปกติจากการทดลองสามครั้ง ให้รายงานผลการยืดตัวว่าทดลองไม่ได้พร้อมกับสภาวะทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การเตรียมบิทูเมนเพื่อทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3
วิธีการทดลองหาค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point)
(ASTM D36-84)

ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เป็นวิธีหาจุดอ่อนตัวของบิทูเมนในช่วง 30 ° หรือ 157° C (86° ถึง 315°F) โดยใช้เครื่องมือวงแหวน และลูกกลม (ring - and - ball apparatus) แช่จมลงในน้ำกลั่น (31° ถึง 80° C) หรือ UPS กลีเซอรีน (สูงกว่า 80°C ถึง 157°C) หรือ เอทิลีน (30°C ถึง 110°C)

วิธีการโดยย่อ

หล่อตัวอย่างลงในวงแหวนทองเหลือง แล้ววางลูกกลมบนตัวอย่างในวงแหวน ประกอบเครื่องมือแล้วนำไปแช่ลงในกระบอกแก้วซึ่งบรรจุของเหลว และได้รับความร้อนตามอัตราที่กำหนด ของเหลวที่ร้อนจะทำให้วัสดุตัวอย่างอ่อนตัวลง จนในที่สุดไม่สามารถรองรับลูกกลมได้อีกต่อไป อุณหภูมิของของเหลวเมื่อตกจากวงแหวนเป็นระยะ 25 มิลลิเมตร เป็นจุดอ่อนตัวของวัสดุตัวอย่าง

วัสดุบิทูเมนจะอ่อนตัวมากขึ้นและหนืดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จุดอ่อนตัวนี้มีประโยชน์ในการจำแนก วัสดุบิทูเมนซึ่งเป็นค่าหนึ่งที่บ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุ ที่ขนส่งจากแหล่งผลิต และยังเป็นค่าที่ชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มที่วัสดุจะไหลเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

เครื่องมือ

1. วงแหวน (Rings) วงแหวนทองเหลืองสองวงมีขนาดและรูปร่างดังรูปที่ 2.2
2. แผ่นรอง (Pouring Plate) แผ่นทองเหลืองแบนเรียบขนาดประมาณ 50× 75 มม.(2× 3 นิ้ว) ใช้รองรับในขณะที่เทตัวอย่าง
3. ลูกกลม (Balls) ลูกเหล็กกลมสองลูก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 มม.(3/6 นิ้ว) น้ำหนักแต่ละลูก 3.5 $\pm$ 0.05 กรัม
4. เครื่องจัดให้ลูกกลมอยู่ตรงกลาง (Ball - Centering Guides) ทำด้วยทองเหลืองใช้สำหรับจัดลูกเหล็กกลมให้วางอยู่ตรงศูนย์กลางวงแหวน
5. กระบอกแก้ว (Bath) ทำด้วยแก้วทนความร้อนสูง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า 85 มิลลิเมตร อาจใช้บีเกอร์ทนความร้อนสูง ขนาดจุ 800 มิลลิลิตร ก็ได้
6. แท่นยึดวงแหวนและส่วนประกอบ (Ring Holder and Assembly) แท่นยึดทำด้วยทองเหลืองใช้รองรับวงแหวน ให้วางตัวอยู่ในแนวราบ มีลักษณะดังแสดงในรูป ส่วนประกอบของเครื่องมือมีลักษณะดังแสดงในรูป บ่าด้านล่างของวงแหวนเมื่อวางบนแท่นยึด จะต้องอยู่สูงกว่าผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนแผ่นรองอันล่างเป็นระยะ 25 มิลลิเมตร และผิวล่างของแผ่นรองอันล่างจะต้องอยู่เหนือก้นกระบอกแก้วเป็นระยะ 16 ± 3 มิลลิเมตร(5/8 ± 1/8 นิ้ว)

7. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

7.1 สำหรับจุดอ่อนตัวต่ำ ใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีช่วงวัดจาก -2°C ถึง +80°C หรือ 30°F ถึง 180°F และตรงตามข้อกำหนดของเทอร์โมมิเตอร์ 15 C หรือ 15 F ดังระบุใน Specification E1 ของ ASTM

7..2 สำหรับจุดอ่อนตัวสูงใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ช่วงวัดจาก 30°C ถึง 200°C หรือ 85°F ถึง 395°F และตรงตามข้อกำหนดของเทอร์โมมิเตอร์ 16C หรือ 16F Specification E1 ของ ASTM

7.3 เทอร์โมมิเตอร์ 113C หรือ 113F สำหรับวัดจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมนจากช่วง -1°C ถึง +175°C หรือ 30°F ถึง 350°F

7.4 เมื่อประกอบเครื่องมือ ก้นกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ จะต้องได้รับวงแหวน อยู่ห่างจากวง-แหวน 13 มิลลิเมตร ไม่สัมผัสกับวงแหวนและที่ยึดวงแหวน

ตัวอย่างสำหรับการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างและทดลองวัสดุแอสฟัลท์จะต้องเสร็จสมบูรณ์ภายใน 6 ชั่วโมง ถ้าเป็นพวกโคลทาร์ จะต้องเสร็จสมบูรณ์ภายใน 4 ½ ชั่วโมง ให้ความร้อนแก่วัสดุบิทูเมน ด้วยความระมัดระวัง คนให้ทั่วอย่าให้จุดหนึ่งจุดใดร้อนจนเกินไป จนกระทั่งเหลวพอที่จะเทได้ง่าย และต้องระมัดระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ การให้ความร้อนตัวอย่างโคลทาร์ ไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง และอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวที่คาดไว้ไม่เกิน 110°C (200°F) สำหรับตัวอย่างโคลทาร์ให้ความร้อนไม่เกิน 30 นาทีและอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวที่คาดไว้ไม่เกิน 55°C (100°F) ถ้าการทดลองต้องปฏิบัติซ้ำห้ามให้ความร้อนซ้ำกับตัวอย่างเดิม ให้ใช้วัสดุสำหรับตัวอย่างใหม่

2. ให้ความร้อนกับวงแหวนทองเหลืองทั้งสองวง (แต่ไม่ให้ความร้อนกับแผ่นรอง) ที่อุณหภูมิเท่าๆ กับอุณหภูมิของวัสดุขณะเท แล้วนำวงแหวนทองเหลืองไปวางบนแผ่นรอง ซึ่งฉาบด้วยวัสดุผสมของกลีเซอรีน และเด็กซ์ตริน , แท็ลค์ หรือคาโอลิน เพื่อกันไม่ให้ตัวอย่างเกาะติดแผ่นรอง

3. เทตัวอย่างลงในแหวนให้ล้นเล็กน้อย แล้วปล่อยให้เย็นลงตามอุณหภูมิแวดล้อมเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติอ่อนตัวตามอุณหภูมิห้องให้ปล่อยวัสดุเย็นลงที่อุณหภูมิซึ่งต่ำกว่าจุดอ่อนตัวที่คาดไว้อย่างน้อย 10 °C (18°F) เป็นเวลาอย่างน้อยที่สุด 30 นาที เวลาตั้งแต่เริ่มต้นเทวัสดุตัวอย่างจนถึงเวลาเริ่มทดลองไม่ควรเกิน 240 นาที

4. เมื่อตัวอย่างเย็นลงให้ใช้มีดบางๆ สะอาดซึ่งอังไฟให้ร้อนแล้วตัดตัวอย่างส่วนเกินออกจนเรียบเสมอปากขอบวงแหวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. เลือกของเหลวที่จะใส่ในกระบอกแก้ว และเทอร์โมมิเตอร์ให้เหมาะสมกับจุดอ่อนตัวที่คาดไว้ดังนี้

1.1 น้ำกลั่นสำหรับค่าจุดอ่อนตัวระหว่าง 30° กับ 80° C (86° กับ 176 ° F) ใช้เทอร์โมมิเตอร์ 15 C หรือ 15 F เทอร์โมมิเตอร์ 113 C หรือ 113 F อุณหภูมิเริ่มต้นในกระบอกแก้ว 5 ± 1° C (41 ± 2° F)

1.2 UPS กลีเซอรีน สำหรับจุดอ่อนตัวเกินกว่า 80° C (176°F) ถึง 157° C (315° F) ใช้เทอร์โมมิเตอร์ 16C หรือ 16F , หรือเทอร์โมมิเตอร์ 113C หรือ 113F อุณหภูมิเริ่มต้นในกระบอกแก้ว 30 ± 1° C (86 ± 2° F)

1.3 เอธิลีนไกลโคล สำหรับจุดอ่อนตัวระหว่าง 30° กับ 110°C (86 กับ 230°F) ใช้เทอร์โมมิเตอร์ 113C หรือ 113F อุณหภูมิเริ่มต้นในกระบอกแก้ว 5 ± 1° C (41± 2°F)

2. ประกอบเครื่องมือพร้อมด้วยวงแหวนบรรจุตัวอย่าง เครื่องจัดลูกกลมให้ตรงศูนย์กลาง และเทอร์โมมิเตอร์ในตู้ดูดควัน เติมของเหลวลงในกระบอกแก้วจนได้ความลึก 105 ± 3 มม. (41/8 ± 1/8 นิ้ว) ถ้าใช้เอทธิลีนไกลโคลต้องแน่ใจว่าพัดลมดูดอากาศของตู้ดูดควันปฏิบัติงานอย่างเหมาะสมเพื่อขจัดควันพิษ ใช้ปากคีบจับวางลูกกลมลงในกระบอกแก้ว เพื่อจะให้มีอุณหภูมิเท่ากับเครื่องทดลอง

3. วางกระบอกแก้วที่ประกอบเครื่องมือแล้วลงในน้ำที่มีน้ำแข็ง หรือให้ความร้อนเล็กน้อยตามอุณหภูมิเริ่มต้นตามกำหนดเวลา 15 นาที แล้วยกออก

4. ใช้ปากคีบจับลูกกลมวางลงในเครื่องจัดศูนย์กลาง

5. ให้ความร้อนที่ก้นกระบอกแก้ว โดยอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราสม่ำเสมอ 5°C / นาที (9°F / นาที) ป้องกันลมไม่ให้รบกวนอาจใช้ที่กำบังถ้าจำเป็น ในช่วง 1 นาที หลัง 3 นาทีแรก ยอมให้อุณหภูมิมีความเปลี่ยนแปลงอัตราเพิ่มไม่เกิน ± 0.5°C (± 1.0°F) การทดลองใดที่ควบคุมอัตราเพิ่มอุณหภูมิไม่อยู่ในช่วงกำหนดถือว่าใช้ไม่ได้

6. บันทึกอุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ เมื่อลูกกลมตกลงกระทบแผ่นล่าง (bottom plate) ถ้าอุณหภูมิที่ลูกกลมทั้งสองกระทบแผ่นล่างต่างกันเกิน 1°C (2°F) ให้ปฏิบัติการทดลองใหม่

การคำนวณ

จุดอ่อนตัวในกระบอกแก้วที่บรรจุน้ำจะมีค่าต่ำกว่าจุดอ่อนตัวในกระบอกแก้วที่บรรจุกลีเซอรีนในการแปลงค่าของจุดอ่อนตัว ซึ่งหาในน้ำ และมีค่าสูงกว่า 80°C (176°F) เล็กน้อย เป็นค่าจุดอ่อนตัวในกลีเซอรีน ให้ใช้ค่าปรับแก้ +4.2°C (+7.6°F) สำหรับ แอสฟัลท์ และใช้ +1.7°C (+3.0°F) สำหรับวัสดุพวกโคลทาร์ (coal tar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ใช้เอทธิลีนไกลโคลบรรจุในกระบอกแก้วจะมีค่าแตกต่างจากผลการใช้น้ำ หรือกลีเซอรีน ซึ่งการแปลงค่าใช้สูตรดังต่อไปนี้

แอสฟัลท์ :

จุดอ่อนตัว (ใช้กลีเซอรีน) = 1.026583 × (ใช้เอทธิลีนไกลโคล) - 1.334968 °C

จุดอ่อนตัว (ใช้น้ำ) = 0.974118 × (ใช้เอทธิลีนไกลโคล) - 1.44459 °C

รูปที่ 2.3 เครื่องมือทดลองหาค่าจุดอ่อนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่4
วิธีการทดลองหาค่าการคืนตัวกลับเนื่องจากการบิด
(Torsional Recovery)
(NLT - 329)

จุดประสงค์

1. เพื่อหาค่าความยืดหยุ่น (Elastic Modified ของ Asphalt Cement)
2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างในด้านคุณสมบัติการคืนตัว ระหว่าง แอสฟัลท์ซีเมนต์ธรรมดา กับแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ผสมโพลิเมอร์

วิธีการทดลอง

1. ตัวอย่าง Modified Asphalt ที่ใช้ในการทดลองต้องแน่ใจว่าเป็นวัสดุเนื้อเดียวกัน และไม่มีสารปนเปื้อน
2. จากนั้นก็ให้ความร้อน พอที่จะสามารถเทลงถ้วยทดสอบได้
3. นำแท่งรับแรงบิด (Torsion Rod) วางไว้ตรงกลางถ้วยทดลอง (Recipient)
4. นำตัวอย่างที่ให้ความร้อนแล้ว เทใส่ถ้วยทดลอง จนถึงระดับที่กำหนดไว้
5. ปล่อยตัวอย่างให้เย็นอย่างน้อยเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิคงที่ 25 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที
6. หลังจากนั้นทำการประกอบตัวอย่างกับตัว Ratchet หมุนทำมุม 180° ในเวลา 3 - 5 วินาที เริ่มจับเวลา 30 นาที $\pm$15 วินาที อ่านค่าการคืนตัวเป็นองศา

ผลการทดลอง

ผลการทดลองอยู่ในรูปการคืนตัวของแรงบิดเป็น % ของมุมที่คืนตัวจากมุม 180°

Elastic Recuperation Recovery = (L/180)$\times$100

L = Angle of Recuperation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 5
การทดลองหาค่าความแข็ง และความเหนียว
(Toughness and Tenacity)
(ESM NE - 31)

จุดประสงค์

1. เพื่อหาคุณสมบัติความแข็ง และ ความเหนียว ของแอสฟัลท์ซีเมนต์

คำนิยาม

1. Toughness (ความแข็ง) พลังงานที่ต้องการภายใต้ Stress ในกราฟ ระหว่าง แรง กับการยืดตัว(Force - Elongation Diagram) เป็นพื้นที่ทั้งหมดภายใต้ Curve
2. Tenacity (ความเหนียว) งานเนื่องจากน้ำหนัก กระทำเป็นจุดที่ทำให้ตัวอย่างพัง ทลาย (breaking) ในกราฟ Force - Elongation พื้นที่ใต้ Curve ด้านขวาของ tangent line

วิธีการโดยย่อ

หัวทดลองรูปไข่ ถูกฝังลงใน แอสฟัลท์ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด แล้วดึงด้วยความเร็วคงที่ จนกระทั่งขาด

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบ มีความเร็วคงที่ 500 mm./min ความคลาดเคลื่อน $\pm$5 mm./min แรงดึงระหว่าง 1 - 1000 นิวตัน (0.1 - 100 Kg) ความคลาดเคลื่อน 1 % การยืดตัวอยู่ระหว่าง 0 - 500 mm. เป็นอย่างน้อย ความคลาดเคลื่อน $\pm$1 mm.
2. อุปกรณ์การจดบันทึก แรงและการยืดหดตัว
3. แบบประกอบด้วย 2 ส่วน ถ้วยทดลอง (Container), หัวทดลองรูปไข่(tension head)
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิที่มีความคลาดเคลื่อน $\pm 0.1^{\circ}C$

วิธีการทดลอง

ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแอสฟัลท์ ลงในถ้วยทดลอง แล้ววางหัวทดลองรูปไข่ลงในถ้วยทดลอง ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ อีก 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 เครื่องมือทดลองหาค่าการคืนตัวกลับเนื่องจากการบิด

รูปที่ 2.5 เครื่องมือทดลองหาค่าความแข็ง และความเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 6
วิธีการทดลองหาค่าความหนืดแบบบรูคฟิลด์
(Brookfield Viscosity)
(ASTM D4402)

ขอบเขต

การทดลองนี้เป็นการวัดความหนืดที่เกิดขึ้นในช่วง 38 - 260 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องมือ Brookfield Thermosel Apparatus

คำนิยาม

1. Parent Viscosity อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงเฉือน กับอัตราสวนแรงเฉือน สำหรับ Newtonian หรือ Non - Newtonian liquid

2. Newtonian liquid ของเหลวนิวตัน ของเหลวที่อัตราแรงเฉือนเป็นสัดส่วนกับหน่วยแรงเฉือน อัตราส่วนคงที่ของหน่วยแรงเฉือน คือความเหลว ถ้าอัตราส่วนไม่คงที่ ของเหลวไม่ใช่ของเหลวของนิวตัน

3. ความหนืด อัตราสวนระหว่างหน่วยแรงเฉือน (applied shear stress) กับอัตราของแรงเฉือน (rate of shear) เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของความหนืด (Coefficient of Viscosity) สัมประสิทธิ์นี้เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลของของเหลว โดยทั่วไปมักจะเรียกว่า ความหนืดของของเหลว หน่วยความหนืดในระบบ cps วัดเป็น กรัม/ซม.-วินาที (ไดน์-วินาที/ซม.^2)ซึ่งเรียกว่าพออยส์(Poise,P) หน่วยความหนืดในระบบเอสไอ มีค่าเป็น ปาสคาล-วินาที (Pa*s) ซึ่งเท่ากับ N*s/m^2 หรือเท่ากับ 10P

วิธีการทดลองโดยย่อ

เครื่องวัดความหนืดแบบ Brookfield Thermosel ใช้วัดความหนืดของแอสฟัลท์ ที่อุณหภูมิสูง จำนวนรอบของการหมุนของ spindle จะเป็นตัววัดโดยใช้ความสัมพันธ์ ของการต้านทานการหมุน การอ่านค่าจะอ่านในรูป(mPa*s) millipascal seconds และที่ Yield the viscosity

วิธีการทดลองแบบ Brookfield Thermosel

1. อ่านและทำความเข้าใจ เครื่องมือและขั้นตอนการทดลอง
2. เปิดเครื่อง Thermosel
3. ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการที่เครื่องควบคุม
4. รอ 1.5 ชั่วโมง หรือจนกระทั่ง ถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้และคงที่แล้ว ด้วยการปั่นใบ Chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การเคลื่อนย้ายหรือการเพิ่มขึ้นของปริมาตรตัวอย่าง สำหรับการปั่นควรหลีกเลี่ยงการทำให้ร้อนและการติดไฟด้วยการใช้จุดวาบไฟต่ำ คำนวณมวลที่ต้องการสำหรับตัวอย่างประมาณ 8 - 10 ml
6. ไม่ควรเติมตัวอย่างจนล้น ปริมาตรตัวอย่างจะขึ้นกับปริมาณการ Calibrate ของเหลวควรมีระดับเดียวกับเพลาปั่น (Spindle) ที่ประมาณ 32 mm. หรือ 1/8 นิ้ว เหนือด้านบนของกรวย (Conical body) หรือ (Spindle Shaft)
7. ใช้เครื่องมือวาง Chamber ลงใน Thermo container
8. ทำให้ Viscometer ต่ำลงในแนวตั้งตรง ลงไปใน Thermo container
9. ใส่ Spindle ลงในของเหลว ลงใน Chamber ที่ต่อกับ Viscometer
10. แอสฟัลท์ที่อนุญาตให้ใช้ต้องมีอุณหภูมิคงที่ ประมาณ 15 นาที
11. เปิดเครื่อง Brookfield Model RV , HA , HB viscosity ที่ 20 rpm, LV Model ที่ 12 rpm สังเกตมิเตอร์แสดงผล ถ้าอยู่ระหว่าง 2 - 9.8 Unit ก็ทำการทดลองต่อไป
12. บันทึกผลที่ได้ 3 ค่า ทุกๆ 60 วินาที ทุกอุณหภูมิการทดลอง
13. ถ้าค่ามากกว่า 98 Unit ให้ลดการหมุน rpm และทำการทดลองต่อ
14. ถ้าค่าที่อ่านได้มากกว่า 98 Unit ให้ใช้ Spindle เล็กลงแล้วทำการทดลองซ้ำ
15. ความหนืดโดย Brookfield อ่านได้ในหน่วย Centipoint (cP)
16. ไม่เปลี่ยนความเร็วในระหว่างการวัดความหนืด เพราะจะเป็นการเปลี่ยน Shear rate

<u>การรายงาน</u>

1. ให้รายงานอุณหภูมิการทดลอง พร้อมกับผลการทดลอง , Spindle No.

   ตัวอย่าง ความหนืดที่ 60 $^{\circ}C$ = 105 MP
2. วาดกราฟ ความหนืด ทุกๆ 3 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 เครื่องมือทดลองหาค่าความหนืดแบบ Brookfield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ผลการทดลองและสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2446	g.	91.5%
POLYMER	SIS	133.7	g.	5.0%
ADDITIVE	OIL	90.1	g.	3.5%

ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	56,58,57	59,57,57	58,57,57	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	65,66	64,65	66,65	>70	°c
Penetration Index	2.42	2.27	2.43	>+3	-
Ductility at 13°c, 5 cm/min	80	92	83	> 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	93	90	88	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	306.72	321.55	290.76	> 200	Kg.cm
Tenacity	249.77	230.65	240.86	> 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	925.0	980.5	945.3	> 1100	cP
at 165° c	321.5	298.6	312.4	> 300	cP

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2464.3	g.	91.0%
POLYMER	SIS	135.4	g.	5.0%
ADDITIVE	OIL	108.3	g.	4.0%

ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	64,63,63	62,63,62	64,62,63	60 –70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	67,68	69,68	68,68	> 70	°c
Penetration Index	3.07	3.11	3.14	> +3	-
Ductility at 13°c, 5 cm/min	102	90	76	> 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	88.9	75	82	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	286.43	346.94	314.56	> 200	Kg.cm
Tenacity	233.28	302.82	276.84	> 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	852.5	970.6	1022.7	> 1100	cP
at 165° c	260.0	278.5	295.6	> 300	cP

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2432.7	g.	89.5%
POLYMER	SIS	163.1	g.	6.0%
ADDITIVE	OIL	122.3	g.	4.5%

ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	58,59,59	59,60,60	60,59,60	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	69,69	69,69	69,69	> 70	°c
Penetration Index	3.1	3.15	3.15	> +3	-
Ductility at 13°c, 5 cm/min	90	94	89	> 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	95.6	93.3	97.8	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	329.89	353.25	341.53	> 200	Kg.cm
Tenacity	271.99	302.28	289.57	> 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	1067.0	1040.0	1078.5	> 1100	cP
at 165° c	347.5	347.5	355.2	> 300	cP

ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS 6 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2665	g.	87.5%
POLYMER	SIS	213.2	g.	7.0%
ADDITIVE	OIL	167.5	g.	5.5%

ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	53,54,54	52,52,54	54,53,53	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	72,71	72,72	73,72	> 70	°c
Penetration Index	3.26	3.29	3.40	> +3,	-
Ductility at 13°c, 5 cm/min	66	67	72	> 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	88.9	87.8	90.0	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	246.8	213.6	209.5	> 200	Kg.cm
Tenacity	191.5	112.0	157.6	> 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	1667.0	1672.0	1652.5	> 1100	cP
. at 165° c	535.0	542.5	545.0	> 300	cP

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS 7 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2420	g.	95.0%
POLYMER	EVA	127.4	g.	5.0%
ADDITIVE	OIL	0	g.	0.0%

ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	57,58,60	58,58,60	59,59,58	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	59,59	59,59	59,60	>70	°c
Penetration Index	1.23	1.48	1.34	> +3	-
Ductility at 13°c, 5 cm/min	35	40	42	> 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	42.2	26.1	37.8	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	224.98	215.58	230.62	> 200	Kg.cm
Tenacity	150.53	143.92	147.32	> 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	920.0	950.0	937.0	>1100	cP
at 165° c	285.0	300.0	293.5	>300	cP

ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2182	g.	87.5%
POLYMER	EVA	137.2	g.	7.0%
ADDITIVE	OIL	174.6	g.	5..5%

ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	69,70,71	70,71,71	70,69,69	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	59,60	60,60	60,61	> 70	°c
Penetration Index	1.84	1.97	2.02	> +3	_
Ductility at 13°c, 5 cm/min	27	30	33	> 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	40	45.6	43.3	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	200.19	213.13	207.54	>200	Kg.cm
Tenacity	90.33	102.65	98.59	>100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	1295.0	1332.0	1312.5	>1100	cP
at 165° c	377.5	395.0	382.5	> 300	cP

ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน EVA 7 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2373.3	g.	88.5%
POLYMER	SIS,EVA	134,53.6	g.	5% : 2%
ADDITIVE	OIL	120.7	g.	4.5%

ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	64,64,65	66,65,63	65,64,66	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	68,68	68,69	68,68	> 70	°c
Penetration Index	3.20	3.30	3.23	> +3	-
Ductility at 13°c, 5 cm/min	75	77	73	> 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	88.3	86.1	90	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	359.7	418.01	387.51	>200	Kg.cm
Tenacity	247.8	276.73	266.97	> 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	1542.0	1587.0	1569.5	> 1100	cP
at 165° c	482.5	487.5	476.0	> 300	cP

ตารางที่ 3.7 ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS : EVA ; 5:2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2258.9	g.	87.0%
POLYMER	SIS,EVA	155.8,26	g.	6% : 1%
ADDITIVE	OIL	155.8	g.	6.0%

ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	65,64,64	64,62,64	63,64,63	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	71,70	69.5,70	70,71	> 70	°c
Penetration Index	3.62	3.45	3.57	> +3	-
Ductility at 13°c, 5 cm/min	74	82	77	> 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	87.2	84.4	86.7	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	276.5	280	283.5	> 200	Kg.cm
Tenacity	183.6	175.9	181.4	> 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	1585.0	1382.0	1504.5	>1100	cP
at 165° c	560.0	534.5	542.0	> 300	cP

ตารางที่ 3.8 ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS : EVA ; 6:1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2241.1	g.	85.5%
POLYMER	SIS,EVA	183.5,26.2	g.	7% : 1%
ADDITIVE	OIL	183.5	g.	7.0%

ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	70,70,70	69,66,70	67,69,70	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	71.5,71	71,71	71,70.5	> 70	°c
Penetration Index	3.99	3.88	3.85	>-+3	-
Ductility at 13°c, 5 cm/min	91	76	85	> 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	94.4	94.4	93.3	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	415.89	467.08	435.62	>200	Kg.cm
Tenacity	341.77	376.24	358.75	> 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	1870.0	1862.5	1890.0	>1100	cP
at 165° c	612.5	642.0	629.5	>300	cP

ตารางที่ 3.9 ผลการทดลองโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ที่อัตราส่วน SIS : EVA ; 7:1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลการทดลอง

ข้อมูลการทดลอง

ส่วนประกอบที่ใช้	ชนิดองค์ประกอบ	ปริมาณ	หน่วย	อัตราส่วนผสม
ASPHALT CEMENT	60 - 70	2250	g.	100.0%
POLYMER	-	-	g.	-
ADDITIVE	-	-	g.	-

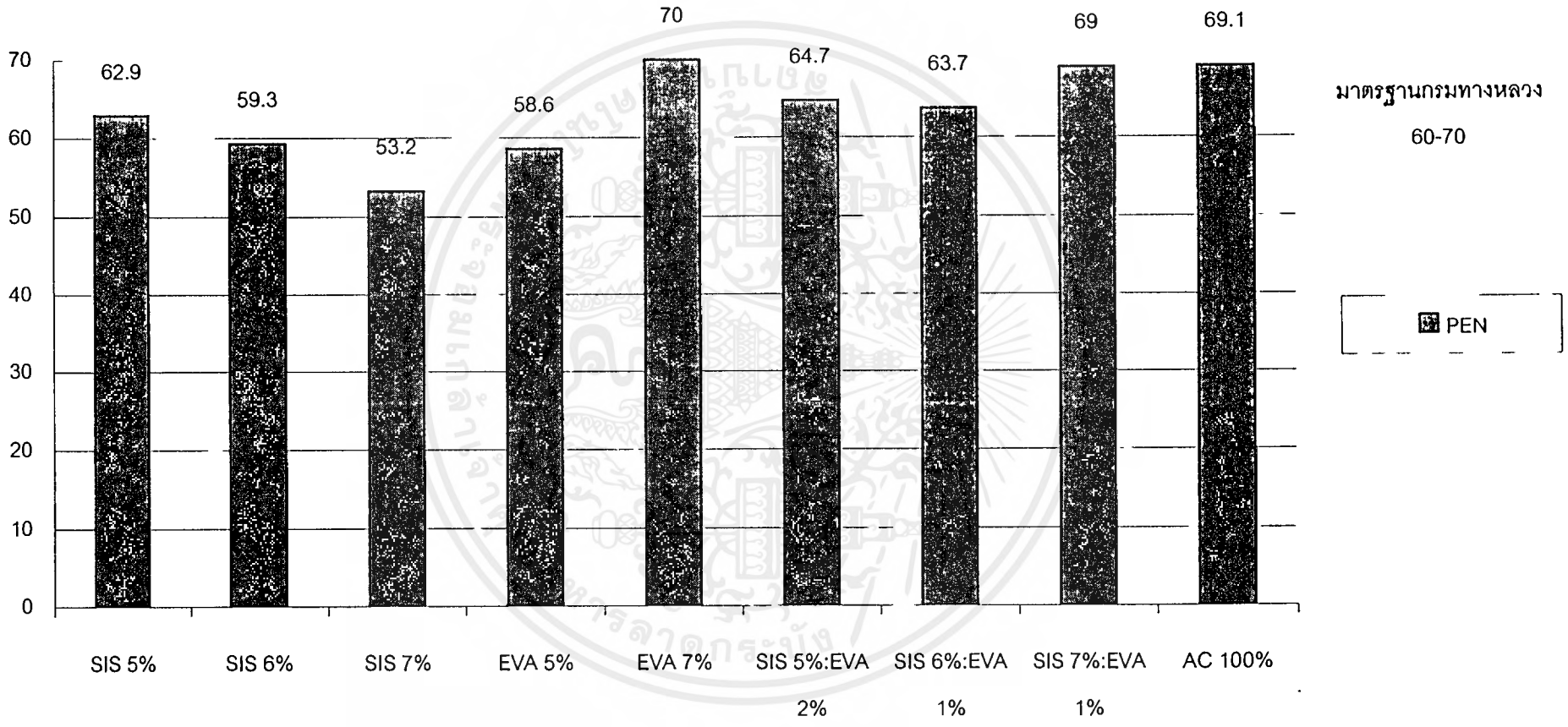
ชนิดการตรวจสอบ	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	69,68,69	70,69,70	70,68,69	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	48,49	50,50	50,51	≥ 70	°c
Penetration Index	-0.82	-0.38	-0.28	≥ +3	-
Ductility at 13°c, 5 cm/min	-	-	-	≥ 55	cm.
Torsional recovery at 25°c	4.4	3.9	5	>70	%
Toughness / Tenacity test 25°c					
Toughness	70.4	65.5	76.8	≥ 200	Kg.cm
Tenacity	19	24	16	≥ 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate					
18.6 /s , spindle 21					
at 135°c	363.8	372.5	357.5	≥ 1100	cP
at 165° c	107.5	126.5	134.0	≥ 300	cP

ตารางที่ 3.10 ผลการทดลองแอสฟัลท์ซีเมนต์ 100%

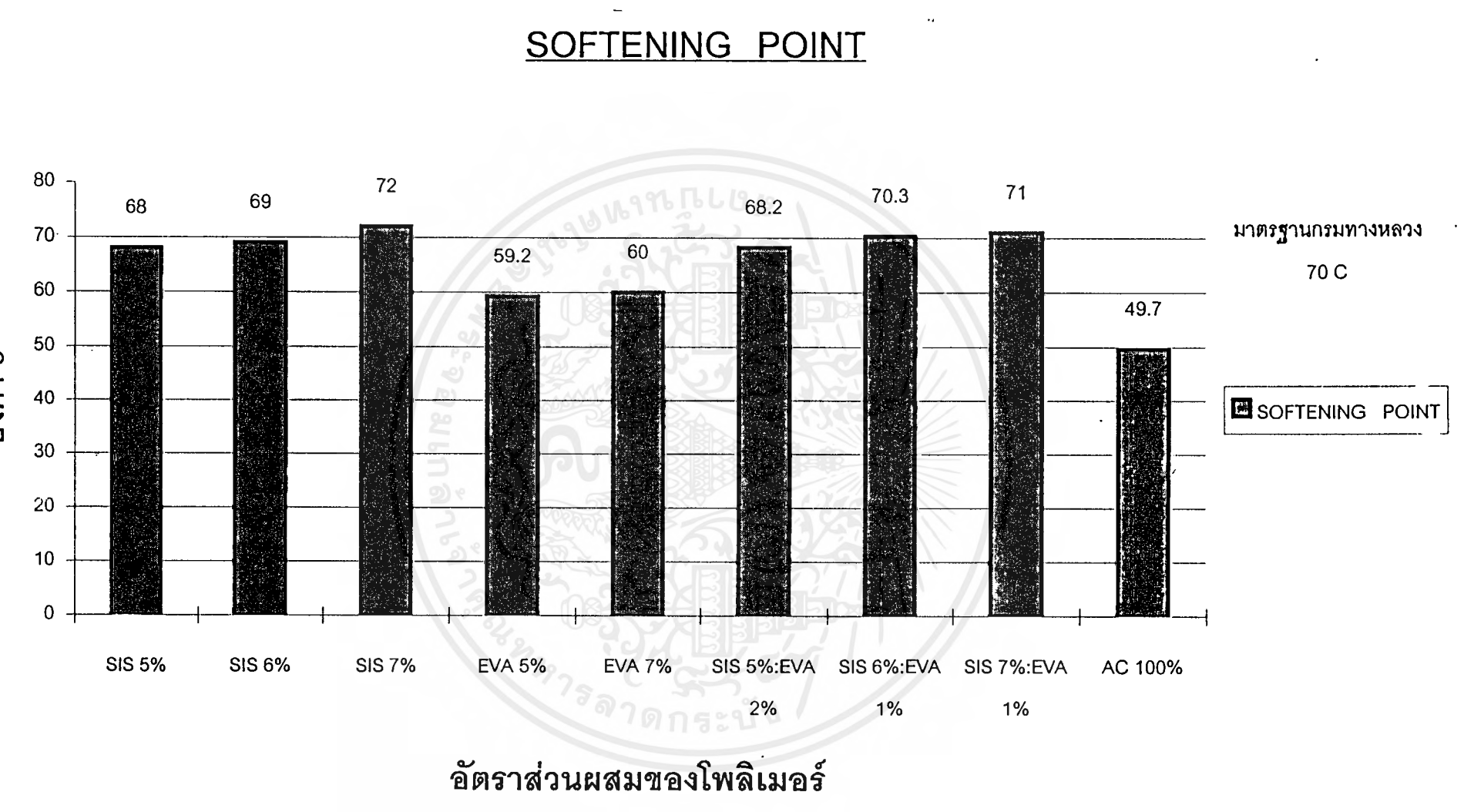
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดการตรวจสอบ	SIS 5%	SIS 6%	SIS 7%	EVA 5%	EVA 7%	SIS:EVA 5:2 %	SIS:EVA 6:1 %	SIS:EVA 7:1 %	AC	เกณฑ์มาตรฐาน	หน่วย
Penetration at 25° c, 100 gm,5 sec	62.9	59.3	53.2	58.6	70	64.7	63.7	69	69.1	60 - 70	0.1 mm.
Softening Point, Ring and Ball	68	69	72	59.2	60	68.2	70.3	71	49.7	> 70	° c
Penetration Index	3.13	3,13	3.32	1.28	1.95	3.25	3.56	3.74	-0.71	> +3	_
Ductility at 13° c, 5 cm/min	89.3	91	68.33	39	27	75	77.67	84		> 55	cm.
Torsional recovery at 25° c	81.97	95.57	88.9	35.37	42.97	88.13	86.1	94.03	4.43	>70	%
Toughness / Tenacity test 25° c											
Toughness	315.98	341.56	223.3	223.73	206.95	388.41	280	439.53	70.9	> 200	Kg.cm
Tenacity	270.98	287.95	153,7	147.26	97.19	263.83	180.3	358.92	19.67	> 100	Kg.cm
Brookfield viscosity,shear rate											
18.6 /s , spindle 21											
at 135° c	948.6	1061.83	1663.83	935.67	1313.7	1566.17	1490.5	1874.17	364.6	> 1100	cP
at 165° c	278.03	350,1	540.83	292.83	385	482	545.5	628	122.67	> 300	cP

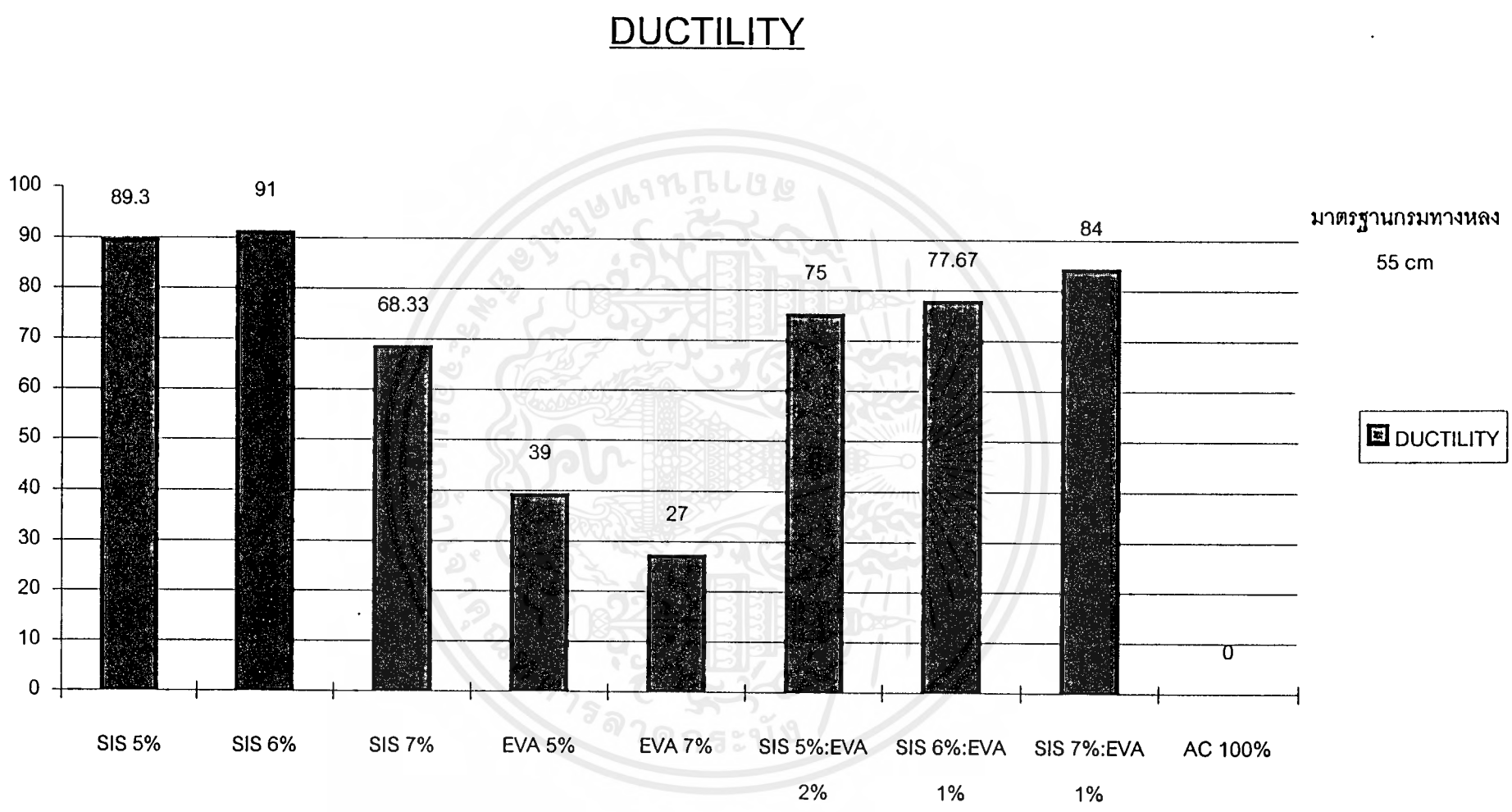
ตารางที่ 3.11 ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง



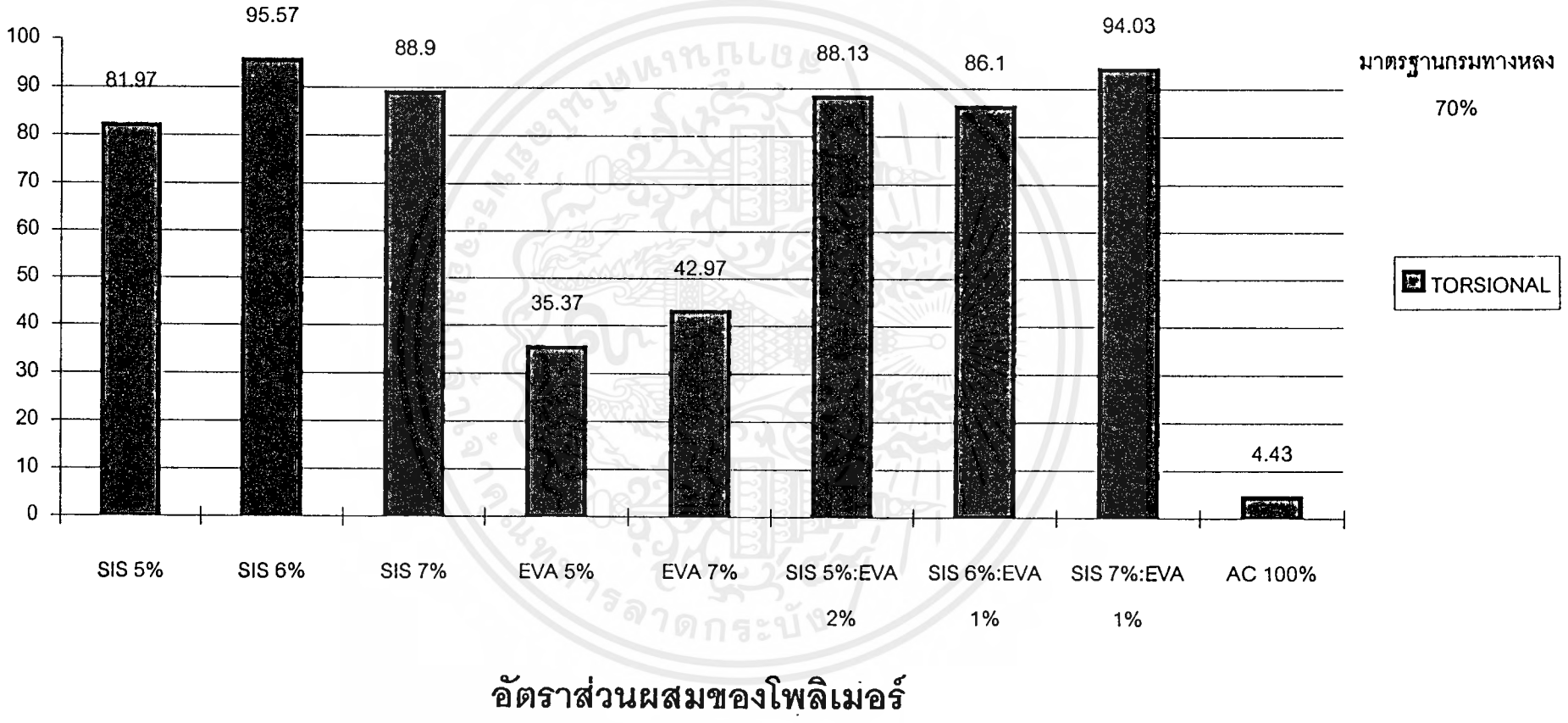
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Penetration



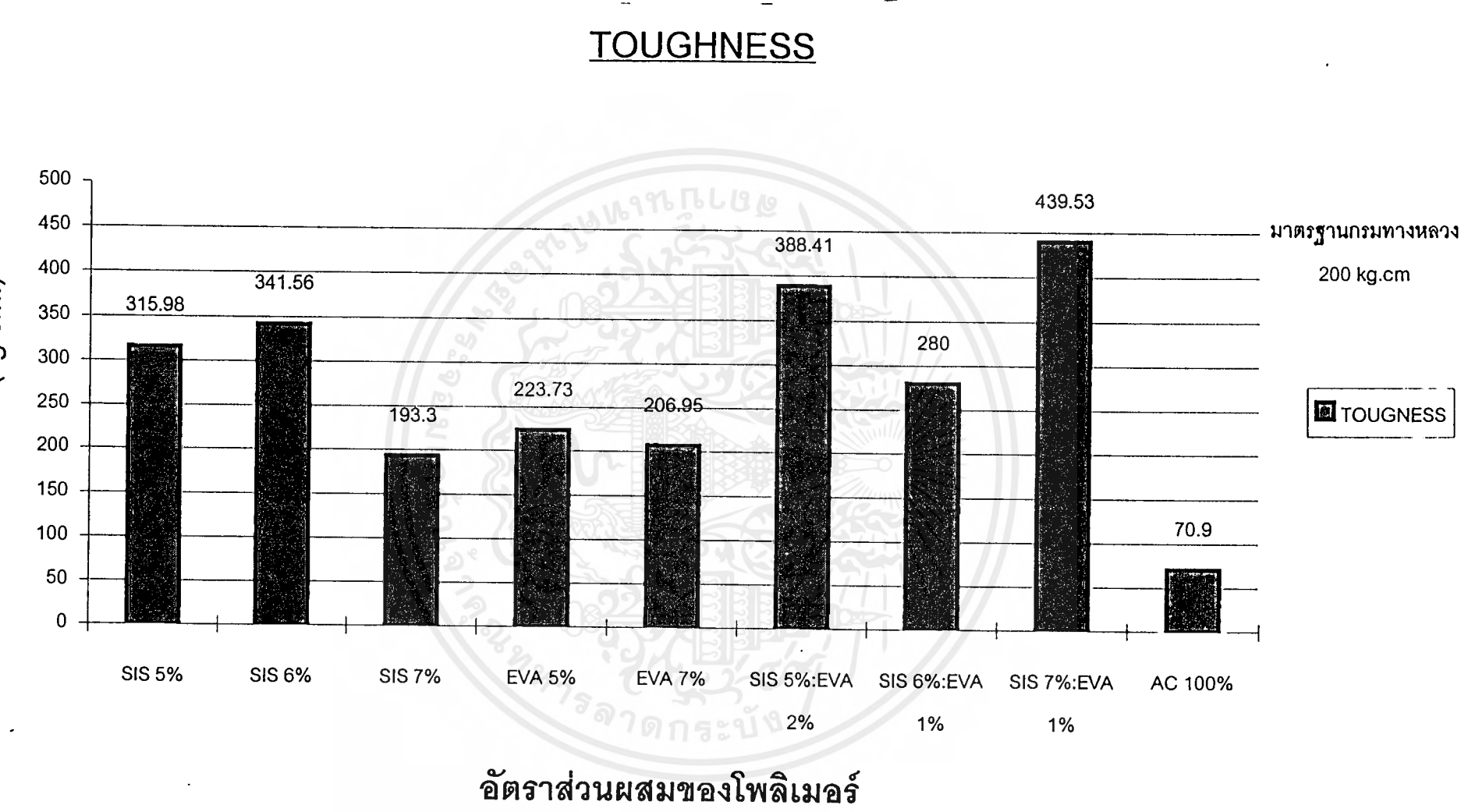
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Softening Point



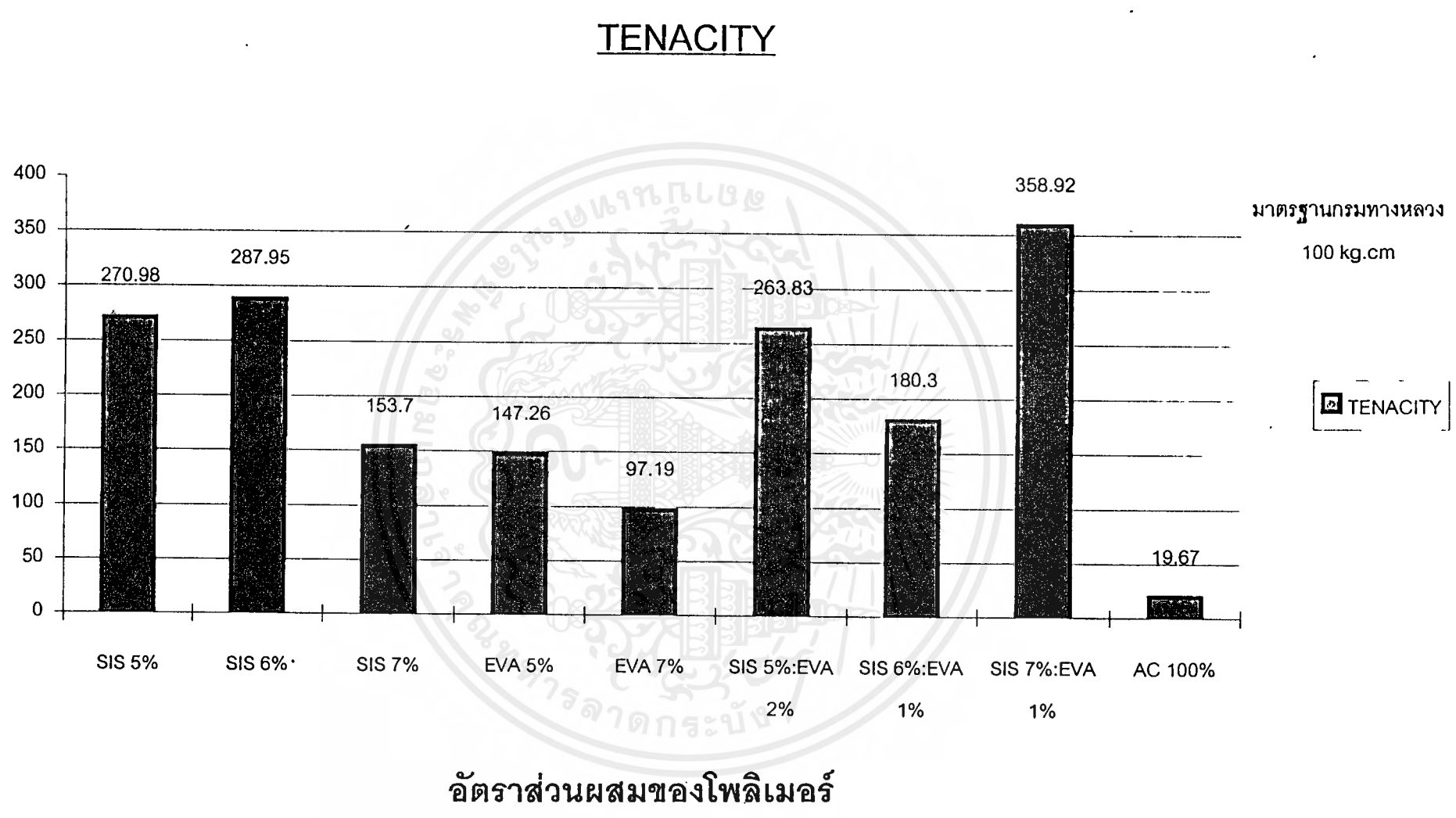
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Ductillity



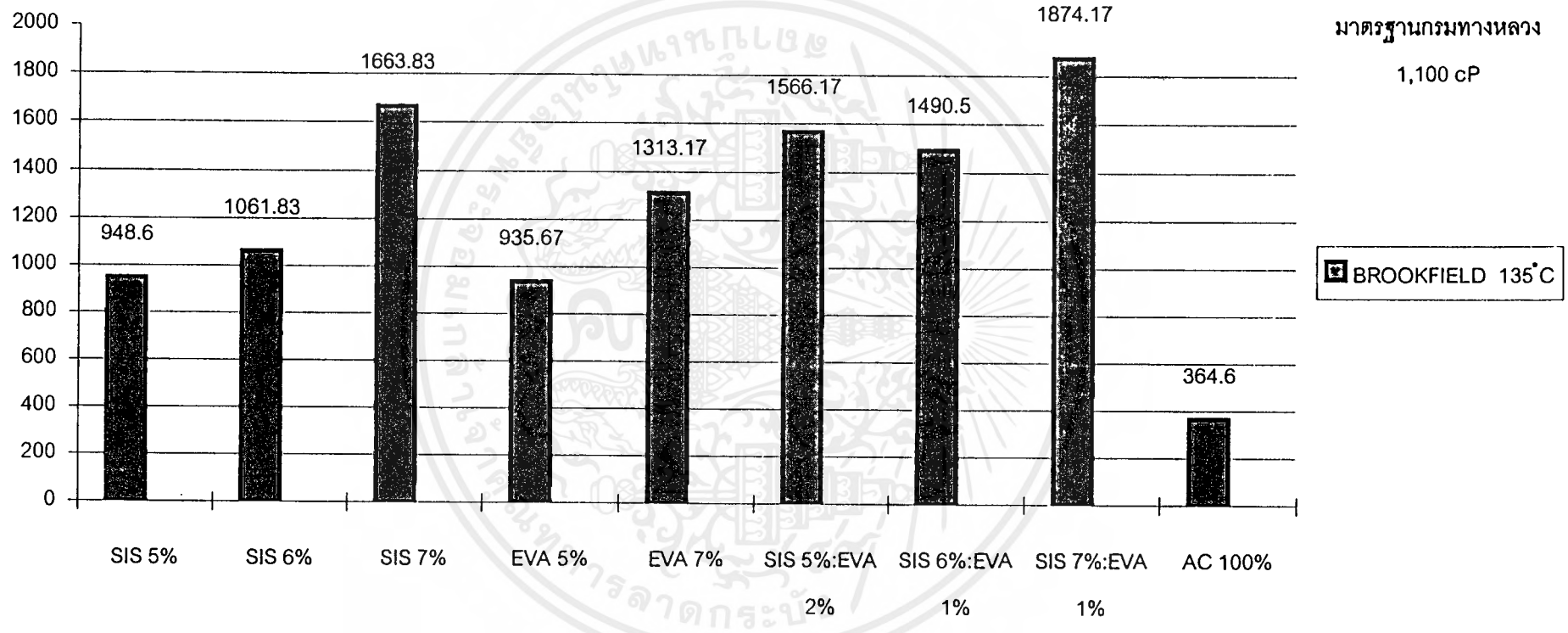
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Torsional Recovery



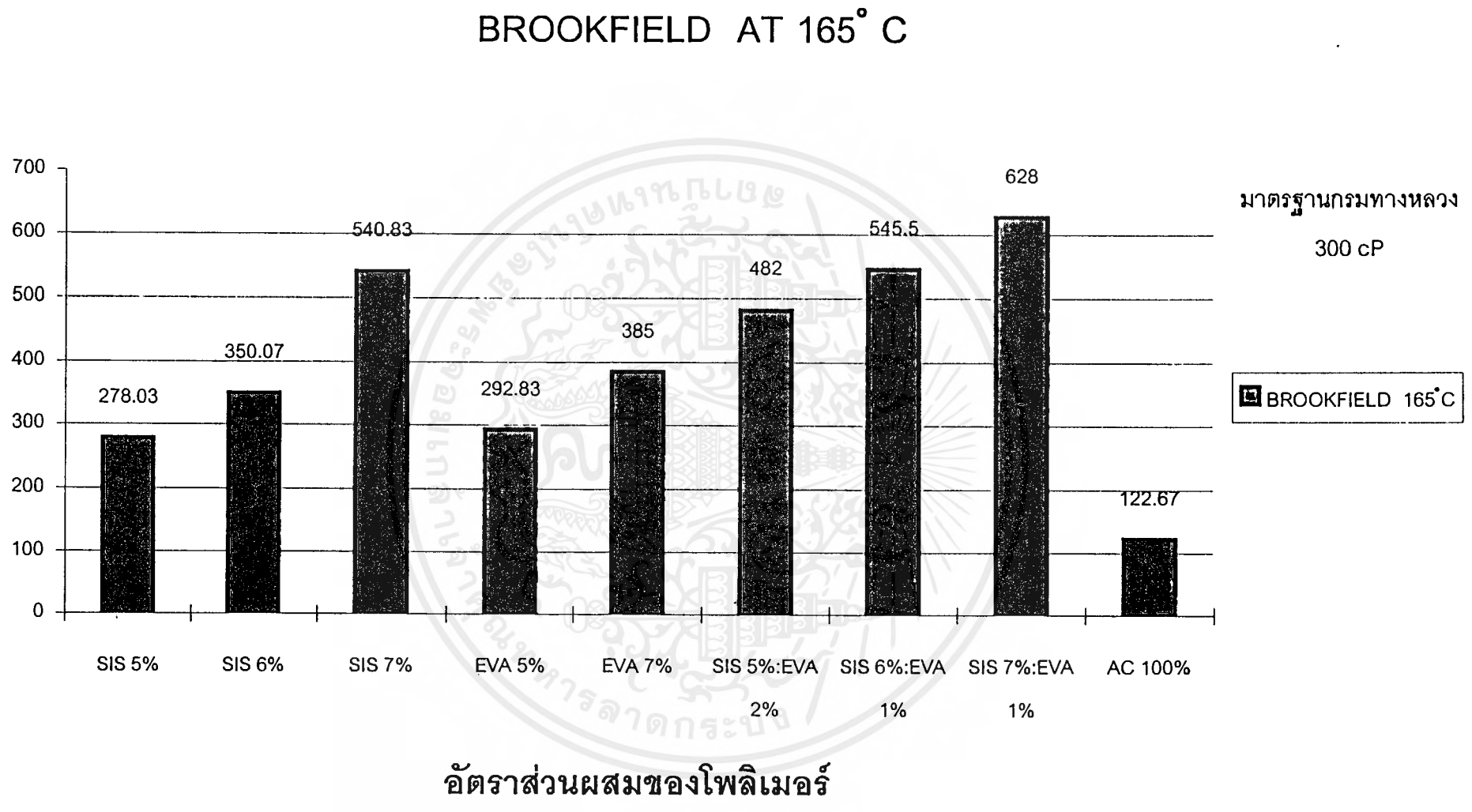
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Toughness



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Tenacity



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Brookfield Viscosity ที่ 135° C



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงผลการทดลองหาค่า Brookfield Viscosity ที่ 165° C

สรุปผลการทดลอง

1. คุณสมบัติที่ทำการทดสอบมีดังนี้ Penetration, Toughness ,Tenacity , Ductility , Softening Point , Torsional Recovery , Brookfield Viscosity at 135° c and 165° c
2. โพลิเมอร์ที่นำมาทดสอบ โพลิเอธิลีน (PE) , โพลิพรอบโพลีน (PP) , เอทิลีน-ไวนิล-อะซิเตต (EVA) และ สไตรีน-ไอโซพรีน-สไตรีน (SIS) โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม คือ 190°c และโพลิเมอร์ที่สามารถผสมกับแอสฟัลท์ได้ดีคือ SIS และ EVA ในขณะที่ PP และ PE แยกตัวไม่สามารถผสมได้นั้น ข้อสันนิษฐานเบื้องต้น น่าจะมาจาก อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม ต่ำเกินไป
3. ในการทดลองจะมีการแยกผสมระหว่าง โพลิเมอร์กับ แอสฟัลท์ โดยในขั้นตอนแรก ใช้ SIS ผสมกับ แอสฟัลท์ โดยเริ่มจาก 5 %, 6% และเป็น 7% จากนั้นก็นำ EVA ผสมแอสฟัลท์บ้าง โดยเริ่มต้นที่ 5 % และเป็น 7 % และสุดท้าย ก็จะเอา SIS กับ EVA มาผสมกับแอสฟัลท์ โดย ใช้อัตราส่วนที่ SIS : EVA เป็น 5 : 2 , 6 : 1 และ 7 : 1 %นอกจากนี้ก็นำ แอสฟัลท์ 100 % มาทำการทดสอบด้วยเพื่อเปรียบเทียบผลกับ แอสฟัลท์ที่ผสมกับ โพลิเมอร์
4. การทดลองหาจุดหลอมละลาย (Softening Point) ซึ่งมาตรฐานของกรมทางหลวงได้กำหนดไว้ที่ 70°c ซึ่งจากการทดลอง อัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง คือ SIS 7% , SIS : EVA = 7:1% และที่ 6:1 % ในขณะที่ แอสฟัลท์มีค่า Softening Point ที่ 50° c ดูรูปที่ 3.2
5. ในการทดลองหาความยืดตัว (Ductility) มาตรฐานของกรมทางหลวงกำหนดไว้ที่ 55 ซม. ส่วนใหญ่จะผ่าน อัตราส่วนที่ไม่ผ่าน คือ EVA ที่ 5 % และ 7 % อัตราส่วนที่มี SIS 6% จะมีค่าสูงที่สุดคือ 91 ซม. ดูรูปที่ 3.3
6. การทดลองหาการคืนตัว (Torsional Recovery) ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ที่ 70 % ซึ่งจากการทดลองก็ผ่านทุกอัตราส่วนผสม ยกเว้น EVA ที่ 5 % และ7 % โดย SIS 6% กับ SIS : EVA ; 7:1 % จะมีค่าสูงที่สุด คือ 95.6 % และ 94.0 % ตามลำดับ ในขณะที่แอสฟัลท์ 100 % มีเปอร์เซ็นต์การคืนตัวแค่ 4.4 % ดูรูปที่ 3.4
7. การทดลองหาค่าความแข็ง (Toughness) มาตรฐานของกรมทางหลวงกำหนดไว้ที่ 200 kg.cm. ซึ่งก็ผ่านทุกอัตราส่วนผสม โดย SIS : EVA ; 7:1 % และ 5 :2 % จะให้ค่าสูงที่สุด ที่ 439 และ 388 kg.cm ตามลำดับ ในขณะที่แอสฟัลท์ ได้แค่ 70 kg.cm ดูรูปที่ 3.5
8. ค่าความเหนียว (Tenacity) มาตรฐานกรมทางหลวงกำหนดไว้ที่ 100 kg.cm. ซึ่งก็ผ่านทุกอัตราส่วนผสม ยกเว้น EVA ที่ 7 % โดยอัตราส่วน SIS : EVA ; 7:1 % ให้ค่าสูงที่สุด 358.9 kg.cm. ส่วน แอสฟัลท์ 100% ให้ค่า 19.7 kg.cm. ดูรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ค่าความหนืด (Brookfield Viscosity)

ที่ 135° c มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 1,100 cp ค่าที่ได้ไม่ผ่าน 3 ส่วนผสมคือ SIS 5%,6% และ EVA 5% และอัตราสวนผสมที่ให้ค่าความหนืดสูงที่สุด คือ SIS :EVA 7:1 % ที่ 1,874 cp ในขณะที่ แอสฟัลท์ ให้ค่า 122.7 cp ดูรูปที่ 3.7

ที่ 165° c มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 300 cp ไม่ผ่าน 2 ส่วนผสมคือ SIS และ EVA ที่ 5 % โดย SIS : EVA ;7:1 % ให้ค่าสูงที่สุด 628 cp ส่วนแอสฟัลท์ ให้ค่า 364.6 cp

10. การนำโพลิเมอร์ มาผสมกับแอสฟัลท์ซีเมนต์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์นั้น ปริมาณของโพลิเมอร์ที่ทำให้คุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงคือ ใช้ปริมาณ SIS 7% , SIS : EVA เท่ากับ 6 : 1 % และ SIS : EVA เท่ากับ 7 : 1 % ซึ่งก็แน่นอนว่า อัตราส่วนที่มี SIS : EVA ; 7 : 1 % จะทำให้คุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์ดีที่สุด แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้ ค่าใช้จ่ายสูงที่สุดด้วย

11. ดังนั้นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมจึงน่าจะเป็น SIS 7% หรือ SIS : EVA ; 6 : 1 % ซึ่งทั้งสองอัตราส่วนนี้ทำให้คุณสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์ดีขึ้นใกล้เคียงกัน

12. สำหรับอัตราส่วนผสมที่มี SIS 7% ค่า Softening Point มีค่าเพิ่มขึ้น 44.9 % ค่า Torsion Recovery เพิ่มขึ้น 1,906.8 % ค่า Toughness เพิ่มขึ้น 172.6 % ส่วนค่า Tenacity เพิ่มขึ้น 680.7 % Viscosity ที่ 135° c เพิ่มขึ้น 1256.3 % ที่ 165° c เพิ่มขึ้น 48.3 %

13. สำหรับอัตราส่วนผสมที่มี SIS : EVA เท่ากับ 6 : 1 % ค่า Softening Point มีค่าเพิ่มขึ้น 40 % ค่า Torsion Recovery เพิ่มขึ้น 1,845.5 % ค่า Toughness เพิ่มขึ้น 297.1 % ส่วนค่า Tenacity เพิ่มขึ้น 842.1 % Viscosity ที่ 135° c เพิ่มขึ้น 1115 % ที่ 165° c เพิ่มขึ้น 49.6 %

14. ซึ่งจากผลการทดลอง คุณสมบัติที่น่าสนใจไม่ว่าจะเป็น ค่าการคืนตัว (Torsion Recovery) ความแข็ง (Toughness) ,ความเหนียว(Tenacity) ,ความหนืด(Viscosity) หรือจะเป็นอุณหภูมิของการหลอมละลาย (Softening Point) ล้วน แล้วแต่มีค่าที่เพิ่มขึ้นทั้งสิ้น ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของแอสฟัลท์ซีเมนต์ดีขึ้นตามไปด้วย จึงน่าจะลดความเสียหายของผิวทางและทำให้อายุการใช้งานของถนน เพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การก่อสร้างผิวทาง Modified Asphalt Concrete
ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับถนนแอสฟัลท์คอนกรีต

วิธีการก่อสร้างก็เหมือนกับการก่อสร้างผิวทาง Asphalt Concrete ธรรมดายกเว้นเรื่อง อุณหภูมิที่สูงกว่า แต่ก็มีข้อสังเกตคือ ข้อกำหนดบางอย่างที่มักจะละเลยไม่ปฏิบัติ จะละเลยไม่ได้ถ้าเป็นงาน Modified Asphalt Concrete

4.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานก่อสร้างถนน PMA

4.1.1 Mixing Plant

- ต้องมีสภาพดี ทำงานได้สม่ำเสมอ
- มีกำลังผลิตสูง อัตราผลิตสูง อัตราผลิตจริงไม่ควรน้อยกว่า 80 ตันต่อชั่วโมง
- ถ้ามี Silo เก็บ Modified Asphalt ด้วยจะดีมากเพราะจะทำให้การปูเป็นไป อย่างต่อเนื่อง
- ท่อส่งยางและถังชั่งยาง จะต้องหุ้มฉนวนเพื่อรักษาอุณหภูมิ
- หัวเผา Dryer จะต้องสามารถเผาหินได้ร้อนถึง 190° C
- มีเครื่องวัดอุณหภูมิครบทุกจุด

4.1.2 ถังเก็บยาง PMA

- ควรมีอย่างน้อย 2 ใบ จุใบละ 20 ตัน เพื่อจะได้ทำงานอย่างต่อเนื่อง
- เป็นถัง 2 ชั้น บุด้วยฉนวนใยแก้ว
- มีท่อเวียนน้ำมันร้อน พื้นที่ผิวท่อไม่น้อยกว่า 15 ตร.ม.
- ท่อส่งยางให้ความร้อนด้วยน้ำมันร้อนและมีฉนวนหุ้ม
- มีเทอร์โมมิเตอร์

4.1.3 เครื่องทำน้ำมันร้อน (Hot Oil Heater)

- มีขนาดใหญ่พอที่จะทำให้น้ำยาง PMA ในถังเก็บมีอุณหภูมิถึง 170°C

4.1.4 เครื่องปู

- ต้องมี Screed Heater
- กรณีขยายความกว้างของ Screed ระบบการสั่นสะเทือน และ/หรือเหล็กกระทุ้ง (Tamping Bar) จะต้องทำงานได้ตลอดความกว้างที่ปู

4.1.5 รถบด

- รถบดล้อเหล็กสั่นสะเทือน หนัก 8 -10 ตัน สำหรับบดตอนเริ่มต้น (Initial Rolling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รถบดล้อยาง หนักไม่น้อยกว่า 12 ตัน (ถ้าได้ 15 -20 ตันจะดี)จำนวน 3-4 คัน สำหรับ Intermediate Rolling
- รถบดล้อเหล็กหนัก 10 ตัน สำหรับบดเก็บรอยรถบดล้อยาง (Finish Rolling)

4.1.6 <u>รถบรรทุกเทท้าย</u>

- จำนวนมากพอ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางและกำลังผลิตของ Mixing Plant
- มีผ้าใบคลุมทุกคัน

4.2 การผลิตและการนำ PMA ไปใช้

4.2.1 การผสม Modified Asphalt Concrete

- อุณหภูมิหิน 180 - 190 $^{\circ}$ C
- อุณหภูมิยาง PMA 170 $^{\circ}$ C
- เวลาผสม 50 - 60 วินาที
- อุณหภูมิ Mix ขณะปล่อยจากห้องผสม ประมาณ 180 $^{\circ}$ C

4.2.2. การขนส่ง

- คลุมผ้าใบ
- วัดอุณหภูมิก่อนออกจาก Mix มาถึงเครื่องปู อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 170 $^{\circ}$ C
- ตั้งความสูงของ Screed 1.25 เท่าของความหนาที่ต้องการ
- รีบบดทับทันที

4.2.3. การบดทับ

- ให้บดรอยต่อตามขวางก่อน แล้วตามด้วยรอยต่อตามยาว
- บด Initial Rolling ด้วยรถบดล้อเหล็กสั่นสะเทือนจำนวน 1 เที่ยว (ไป -กลับ)
- บดต่อด้วยรถบดล้อยางประมาณ 10 เที่ยว
- บด Finish Rolling ด้วยรถบดล้อเหล็ก 1 - 2 เที่ยวเพื่อลบรอยรถบดล้อยาง
- การบดทับให้รีบดำเนินการให้เสร็จก่อนอุณหภูมิจะลดลงเหลือต่ำกว่า 130°C เพราะการบดทับหลังจากนั้นความแน่นจะไม่เพิ่มขึ้น

ข้อสังเกต ในการบดทับด้วยรถบดล้อยางเที่ยวแรกๆ Mix จะติดรถบดมากให้แก้ไข โดยก่อนบดทับให้ทำความสะอาดล้อรถแล้วทาด้วยน้ำมันดีเซล แต่พอหมาดๆ และในการบดทับเที่ยวต่อๆ ไป ถ้า Mix ติดล้ออีกให้รีบขูดออกทันทีแล้วทาน้ำมันดีเซลซ้ำ ในการบดทับด้วยรถบดล้อยาง จะต้องมีคนคอยสังเกตล้อรถบดตลอดเวลา ถ้ามีการติดล้อจะต้องรีบแก้ไขทันที อย่าปล่อยให้ติดสะสมมาก เพราะจะทำให้ผิวทางมีรอยตำหนิไม่สวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวัง

- การ Tack Coat ให้ใช้ยาง CRS-2 ผสมน้ำ 1:1 ราดในอัตรา 0.6 ลิตร/ ตร.ม.
- ห้ามใช้ไฟเผา หรือให้ความร้อนโดยตรงแก่ยาง PMA เป็นอันขาด เพราะจะทำให้ยางเสื่อมคุณภาพ การให้ความร้อนให้ใช้น้ำมันร้อนจะดีที่สุด
- ทุกกรณี ห้ามให้ความร้อนยาง PMA ถึง 200°C เพราะจะทำให้ยางเสื่อม
- ยาง PMA จะสามารถสูบถ่ายด้วยปั๊มเมื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 140°C
- เพื่อความสะดวกในการใช้งานในวันต่อไป ควรให้ความร้อนยาง PMA ในถังเก็บตลอดเวลาที่อุณหภูมิ ประมาณ 130°C แต่ถ้าหากต้องการเก็บยางไว้เฉยๆ เป็นเวลานานๆ ก็ไม่จำเป็นต้องให้ความร้อน เมื่อจะใช้งานจึงจะให้ความร้อน โดยจะต้องให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อป้องกันยางเสื่อมคุณภาพ

4.3 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับถนนแอสฟัลท์คอนกรีต

4.3.1 การแตกร้าว (Crack)

1. ผิวทางแตกร้าวตามรอยแตกผิวทางเดิม (Reflection Crack)

การแตกร้าวของผิวทาง ที่เสริมทับ (Overlay)บนผิวทางเดิมที่ซ่อมไม่ถูกต้อง การแตกร้าวจะเป็นลักษณะเดียวกับผิวทางเดิม

สาเหตุ

- เกิดจากชั้นทางเคลื่อนตัวทั้งทางแนวดิ่งและแนวราบ เนื่องจากน้ำหนักจรหรืออุณหภูมิความชื้นที่เปลี่ยนแปลง
- ดินคันทางบวมตัวหรือหดตัว

วิธีซ่อมบำรุง

- ทำการอุดรอยแตกตามขนาดของรอยแตก
- ถ้าเป็นรอยแตกเล็กๆบริเวณกว้าง การเททับพื้นที่กว้างๆอาจจะเหมาะสมกว่า

2. ผิวทางแตกร้าวใกล้ขอบทาง (Edge Cracks)

ผิวทางแตกร้าวตามแนวยาวของถนน ห่างจากขอบผิวทางประมาณ 30 ซม. อาจมีรอยแตกตามขวางด้วย

สาเหตุ

- ไหล่ทางไม่แข็งแรงพอ
- การขยายคันทางไม่เป็นไปตามที่กำหนด
- พื้นทางใต้บริเวณแตกร้าวเกิดการทรุดตัวเนื่องจากการระบายน้ำไม่ดี

การซ่อมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการอุดรอยแตก ถ้าบริเวณความเสียหายมีการทรุดตัวให้เสริมด้วย Premix
- ถ้ามีน้ำขังในชั้นพื้นทางให้เจาะไหล่ทางระบายน้ำออก
- ถ้าความเสียหายเกิดจากน้ำใต้ดินให้ทำการซ่อมใหญ่

3. รอยต่อขอบผิวทางกับไหล่ทางแตกร้าว (Edge Joint crack)

สาเหตุ

- ชั้นใต้ไหล่ทางขยายตัวและหดตัว หรือมีน้ำขังบริเวณรอยต่อระหว่างขอบผิวทางและ ไหล่ทาง
- ไหล่ทางทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักจร

การซ่อมบำรุง

- ถ้าน้ำเป็นสาเหตุ ก็ทำการปรับปรุงการระบายน้ำไม่ให้ขังบริเวณรอยต่อ

4. ผิวทางแตกร้าวตรงรอยต่อก่อสร้าง (Lane joint Crack)

- การแตกร้าวตามรอยต่อก่อสร้างตามยาว

สาเหตุ

- การก่อสร้างรอยต่อไม่เป็นไปตามที่กำหนด

การซ่อมบำรุง

- อุดรอยแตก

5. ผิวทางแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว (Shrinkage crack)

- การแตกร้าวในลักษณะต่อเนื่องเป็นรูปสี่เหลี่ยมใหญ่มุมแหลม

สาเหตุ

- เกิดจากการหดตัวของชั้นผิวทางหรือชั้นใต้ผิวทาง
- ยางแอสฟัลท์ที่ใช้มีค่า penetration ต่ำ
- การเปิดถนนใช้เร็วเกินไป รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การซ่อมบำรุง

- ทำความสะอาดรอยแตกร้าว และทำการอุดรอยแตกร้าว
- ซ่อมด้วย Crack sealant

6. ผิวทางแตกร้าวเนื่องจากการเลื่อนตัว (Slippage Crack)

- การแตกร้าวจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งไปตามแรงดันของล้อรถ มีการเลื่อนตัวของผิวทางจากพื้นทาง จะเป็นความเสียหายที่มีความรุนแรงที่สุด

สาเหตุ

- ชั้นพื้นทางไม่ยึดเกาะกับชั้นพื้นทางหรือผิวทางเดิม
- ส่วนผสมของชั้นผิวทางมีทรายผสมอยู่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การบดทับชั้นผิวทางไม่ดีพอ

การซ่อมบำรุง

- ขุดผิวทางที่ชำรุดออก
- แล้วทำการปะซ่อมผิวทาง

7. ผิวทางแตกร้าวในลักษณะหนังจรเข้ (Alligator Crack)

- ผิวทางแตกร้าวต่อเนื่องเป็นตารางเล็กๆ คล้ายหนังจรเข้ หรือลวดตาข่าย

สาเหตุ

- ชั้นใต้ผิวทางบวมตัวหรือทรุดตัว
- น้ำหนักจราจรและปริมาณการจราจรสูงเกินพิกัดพื้นทางจะรับๆได้
- การแอ่นตัวมากเกินไป ซึ่งมาจากชั้นพื้นทางมีความชื้นมาก ทำให้ยุบตัว

การซ่อมบำรุง .

- ขุดเอาผิวทางที่ชำรุดออก แล้วทำการซ่อมแซม
- เพื่อป้องกันน้ำซึมลงไปในชั้นทาง อาจพิจารณาฉาบผิวช่วงที่ขุดซ่อมไว้อีกชั้นหนึ่ง
- การซ่อมด้วย Strength patch จะเป็นการซ่อมที่ดีที่สุด ถ้าหากไม่รุนแรงนักอาจใช้ วิธี Slurry seal หรือ surface treatment

4.3.2 **การเปลี่ยนรูปร่างจากเดิม** (Distorsion)

1. ผิวทางยุบตัวเป็นร่องล้อ (Ruts)

- ผิวทางยุบตัวเป็นร่องล้อยาวตามแนวล้อรถ

สาเหตุ

- ชั้นใต้ผิวทางยุบตัว เนื่องจาก Consolidation หรือการบดทับชั้นต่างๆ ไม่ถูกต้อง
- ชั้นผิวทางเคลื่อนตัวไปด้านข้าง เนื่องจากผิวทางไม่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักได้
- ความหนาไม่เพียงพอ

การซ่อมบำรุง

- ใช้ Hot Mix Asphalt ปูทับ
- หรือใช้วิธี Skin patching

2. ผิวทางเป็นคลื่นระนาด และเป็นแอ่ง (Corrugation and Shoving)

- ผิวทางเสียหายเป็นลักษณะคลื่นลูกระนาด และยุบตัวเป็นแอ่งบริเวณขอบแอ่งมีส่วนที่ปูดขึ้น

สาเหตุ

- ผิวทางไม่แข็งแรงพอ เนื่องจากมียางแอสฟัลท์ หรือมีส่วนละเอียดมากเกินไป
- วัสดุผสมทำชั้นผิวทางมีความชื้นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีน้ำมันหกรด หรือซึมลงไปในชั้นผิวทาง

การซ่อมแซม

- หากมีความรุนแรงมาก ต้องทำการ Scarify แล้วบดทับใหม่และทำผิวใหม่
- กรณีเกิดจากน้ำใต้ดิน ต้องทำการขุด side ditch ให้ลึกพอ

3. ผิวทางทรุดตัว (Grade Depression)

- ผิวทางทรุดตัวเป็นแอ่งต่ำกว่าระดับผิวทาง อาจมีรอยแตกด้วย

สาเหตุ

- การก่อสร้างไม่ถูกต้องตามวิธี
- ชั้นทางทรุดตัวเนื่องจากบริเวณนั้นเป็นจุดอ่อนตัว
- น้ำหนักจรเกินพิกัด

การซ่อมบำรุง

- ใช้ surface treatment ถ้าปัญหามีความรุนแรง ก็ใช้ skin patching หรือ full depth patching

4.3.3 การหลุดล่อน (Disintegration)

1. การเกิดหลุมบ่อ (Pot hole)

- การเกิดหลุมขนาดต่างๆ เนื่องจากวัสดุชั้นผิวทางและชั้นพื้นทางหลุดออก

สาเหตุ

- ผิวทางไม่แข็งแรงพอ เนื่องจากมีความหนาไม่พอ หรือส่วนผสมยางแอสฟัลท์มีน้อยเกินไป หรือมีส่วนละเอียดมากหรือน้อยเกินไป
- การระบายน้ำบนผิวทางไม่ดีพอ

2. ผิวทางหลุดล่อน (Ravelling)

- วัสดุผิวทางหลุดออก วัสดุส่วนละเอียด จะหลุดก่อนทำให้ ผิวทางเป็นหน้าข้าวตัง ต่อมา วัสดุหยาบหลุดทำให้ผิวทางขรุขระ หลุดจากผิวลงไป หรือจากขอบเข้าไป

สาเหตุ

- การบดอัดผิวทางขณะก่อสร้างไม่ดีพอ หรือบดอัดขณะที่อุณหภูมิของแอสฟัลท์ต่ำ
- ก่อสร้างผิวทางขณะฝนตก
- วัสดุที่ใช้ทำผิวทางสกปรกหรือยางเสื่อมคุณภาพ
- ยางแอสฟัลท์ในส่วนผสมน้อยเกินไป

การซ่อมบำรุง

- อาจใช้วิธี slurry seal หรือ chip seal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผิวทางลื่น (Polished Aggregate)

- วัสดุที่ใช้ทำผิวทางถูกล้อรถขัดสีจนผิวเรียบ หรือมีการใช้กรวดทำผิว โดยไม่ได้ย่อยให้แตก ทำให้ผิวเรียบโดยธรรมชาติและลื่น

สาเหตุ

- ใช้หินปูนหรือ หินที่มีความสึกหรอสูงทำผิว
- ใช้กรวดธรรมชาติซึ่งไม่ได้ย่อยให้มีหน้าแตกทำผิว
- ยางลอยตัวขึ้นมาบนผิวทางอาจเนื่องมาจาก ความร้อน
- มีปริมาณ แอสฟัลท์มากเกินไป

การซ่อมบำรุง

- ใช้ Hot Mix Asphalt ปูทับ หรือ ใช้ Sand seal หรือ aggregate seal coat

4. ผิวทางมียางเยิ้ม (Bleeding of Flushing Asphalt)

- ผิวทางที่มียางแอสฟัลท์เยิ้มขึ้น ทำให้เกิดชั้นทางแอสฟัลท์บนผิวทางนั้น

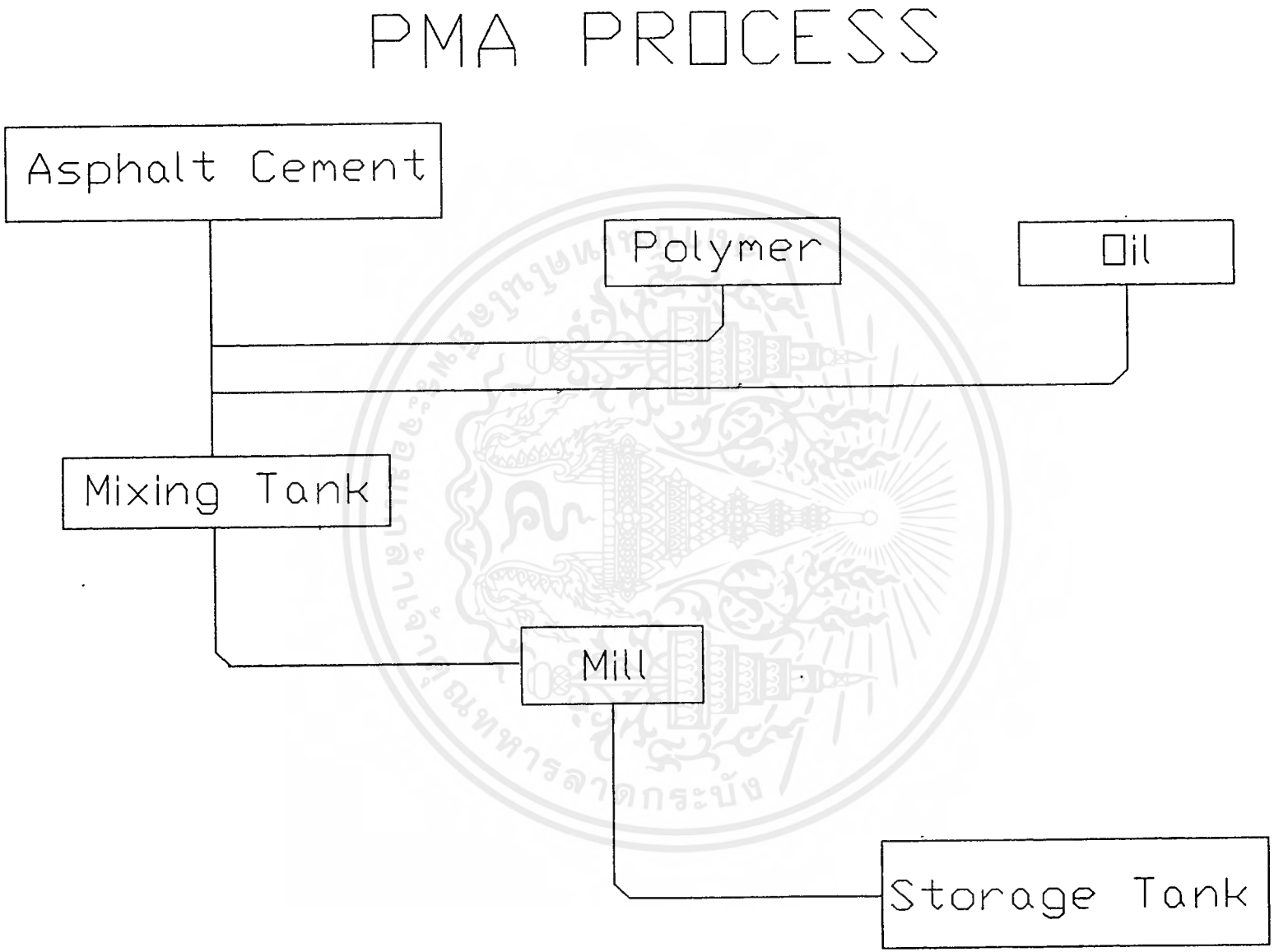
สาเหตุ

- ปริมาณยางแอสฟัลท์มากเกินไป
- ความหนาเฉลี่ยของเม็ดหินบางกว่าที่ได้ออกแบบไว้
- ชั้น Prime Coa t หรือ ผิวทางเดิมมียางแอสฟัลท์มากเกินไป
- เปิดการจราจรเร็วเกินไป
- ก่อสร้างไม่ถูกต้อง เช่น พื้นทางอ่อนทำให้เม็ดหินจม เม็ดหินหลุดเหลือแต่ยางบดทับด้วยรถล้อเหล็กหนักหรือมากเกินไป ทำให้หินแตก

การซ่อมบำรุง

- ใช้หินย่อยขนาดเหมาะสมสาดทับขณะที่ยางร้อนและเหลวจัด
- ฉาบผิวใหม่และใช้หินขนาดค่อนข้างใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กระบวนการผลิตโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์

บทที่ 5

การออกแบบ และการประเมินราคา

5.1 ตัวอย่างการออกแบบถนนโดยวิธี Empirical Method

5.1.1 Phetchabun Bypass

INITIAL DAILY TRAFFIC (IDT) = 10,475 vpd

PERCENT HEAVY TRUCK = 9.5

NUMBER OF HEAVY TRUCK IN DESIGN = $0.9 \times (0.095 \times 10{,}475)$

= 448 vpd

AVERAGE GROSS WEIGHT OF HEAVY TRUCK = 42,000 lb

SINGLE LOAD LIMIT = 18,000 lb

INITIAL TRAFFIC NUMBER (ITN) คำนวณค่า ได้จากสูตร

$$\log(ITN) = -10.68 + 3.40 \log(S) + 1.33 \log(W) + 1.05 \log(N)$$

เมื่อ S = น้ำหนักพิกัดของเพลาเดี่ยว , 1,000 ปอนด์

W = น้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุกตั้งแต่ 2 เพลา (6 ล้อขึ้นไป) , ปอนด์

N = จำนวนรถบรรทุก

แทนค่าในสูตรได้ค่า

INITIAL TRAFFIC NUMBER (ITN) = 332

DESIGN PERIOD = 20 YEARS

TRAFFIC GROWTH RATE = 4.32 PERCENT

ITN ADJUSTMENT FACTOR คำนวณค่าได้จากสูตร

$$\text{Adjustment Factor} = \frac{(1+r)^n - 1}{20r}$$

แทนค่าในสูตรได้ค่า

ITN ADJUSTMENT FACTOR = 1.539

DESIGN TRAFFIC NUMBER (DTN) = ITN × ADJUSTMENT FACTOR

= 332×1.539

= 510.30

SUBGRADE CBR = 5

T_A คำนวณได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97\log(DTN)}{(CBR)^{0.4}}$$

แทนค่า DTN = 510.30 , SUBGRADE CBR = 5

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97\log(510.30)}{(5)^{0.4}}$$

$$= 10.5 \text{ INCH}$$

PAVEMENT STRUCTURE

- SURFACE , ASPHALT CONCRETE = 4 INCH
- BASE , UNTREAT GRANULAR = 5 INCH ; T_A = 2.5 INCH (Sr = 2.0)
- SUBBASE , UNTREAT GRANULAR = 10.7 INCH ; T_A = 3.96 INCH (Sr = 2.7)

TOTAL T_A = 10.5 INCH

5.1.2 MAP TA PHUT BYPASS

INITIAL DAILY TRAFFIC (IDT) = 34,635 vpd

PERCENT HEAVY TRUCK = 10.02

NUMBER OF HEAVY TRUCK IN DESIGN = 0.9 × (0.1002 × 34,635)

= 1,562 vpd

AVERAGE GROSS WEIGHT OF HEAVY TRUCK = 42,000 lb

SINGLE LOAD LIMIT = 18,000 lb

INITIAL TRAFFIC NUMBER (ITN) คำนวณค่า ได้จากสูตร

$$\log(ITN) = -10.68 + 3.40\log(S) + 1.33\log(W) + 1.05\log(N)$$

เมื่อ S = น้ำหนักพิกัดของเพลาเดี่ยว , 1,000 ปอนด์

W = น้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุกตั้งแต่ 2 เพลา (6 ล้อขึ้นไป) , ปอนด์

N = จำนวนรถบรรทุก

แทนค่าในสูตรได้ค่า

INITIAL TRAFFIC NUMBER (ITN) = 1,231

DESIGN PERIOD = 20 YEARS

TRAFFIC GROWTH RATE = 5.62 PERCENT

ITN ADJUSTMENT FACTOR คำนวณค่าได้จากสูตร

$$\text{Adjustment Factor} = \frac{(1+r)^n - 1}{20r}$$

แทนค่าในสูตรได้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ITN ADJUSTMENT FACTOR = 1.764

DESIGN TRAFFIC NUMBER (DTN) = ITN × ADJUSTMENT FACTOR

= $1,231 \times 1.764$

= 2,170.81

SUBGRADE CBR = 5

T_A คำนวณได้จากสูตร

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97\log(DTN)}{(CBR)^{0.4}}$$

แทนค่า DTN = 2170.81 , SUBGRADE CBR = 5

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97\log(2,170.81)}{(5)^{0.4}}$$

= 11.8 INCH

PAVEMENT STRUCTURE

- SURFACE , ASPHALT CONCRETE = 4 INCH
- BASE , UNTREAT GRANULAR = 6 INCH ; T_A = 3 INCH (Sr = 2.0)
- SUBBASE , UNTREAT GRANULAR = 12.9 INCH ; T_A = 4.78 INCH (Sr = 2.7)

TOTAL T_A = 11.8 INCH

5.1.3 Huai Yot to Trang

INITIAL DAILY TRAFFIC (IDT) = 11,963 vpd

PERCENT HEAVY TRUCK = 54.9

NUMBER OF HEAVY TRUCK IN DESIGN = $0.9 \times (0.549 \times 11,963)$

= 2,955 vpd

AVERAGE GROSS WEIGHT OF HEAVY TRUCK = 42,000 lb

SINGLE LOAD LIMIT = 18,000 lb

INITIAL TRAFFIC NUMBER (ITN) คำนวณค่า ได้จากสูตร

log (ITN) = -10.68+3.40 log (S)+1.33 log (W) +1.05 log (N)

เมื่อ S = น้ำหนักพิกัดของเพลาเดี่ยว , 1,000 ปอนด์

W = น้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุกตั้งแต่ 2 เพลา (6 ล้อขึ้นไป) , ปอนด์

N = จำนวนรถบรรทุก

แทนค่าในสูตรได้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INITIAL TRAFFIC NUMBER (ITN) = 2,404

DESIGN PERIOD = 20 YEARS

TRAFFIC GROWTH RATE = 4.34 PERCENT

ITN ADJUSTMENT FACTOR คำนวณค่าได้จากสูตร

$$\text{Adjustment Factor} = \frac{(1+r)^n - 1}{20r}$$

แทนค่าในสูตรได้ค่า

ITN ADJUSTMENT FACTOR = 1.543

DESIGN TRAFFIC NUMBER (DTN) = ITN × ADJUSTMENT FACTOR

= 2,404 × 1.543

= 3,708.87

SUBGRADE CBR = 6

T_A คำนวณได้จากสูตร

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97\log(DTN)}{(CBR)^{0.4}}$$

แทนค่า DTN = 3,708.87 , SUBGRADE CBR = 6

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97\log(3{,}708.87)}{(6)^{0.4}}$$

= 11.4 INCH

PAVEMENT STRUCTURE

- SURFACE , ASPHALT CONCRETE = 4 INCH
- BASE , UNTREAT GRANULAR = 6 INCH ; T_A = 3 INCH (Sr = 2.0)
- SUBBASE , UNTREAT GRANULAR = 11.9 INCH ; T_A = 4.41 INCH (Sr = 2.7)

TOTAL T_A = 11.4 INCH

5.1.4 Bangpain to Ayuttaya

INITIAL DAILY TRAFFIC (IDT) = 79,740 vpd

PERCENT HEAVY TRUCK = 25.32

NUMBER OF HEAVY TRUCK IN DESIGN = 0.9 × (0.2532 × 79,740)

= 9,086 vpd

AVERAGE GROSS WEIGHT OF HEAVY TRUCK = 42,000 lb

SINGLE LOAD LIMIT = 18,000 lb

INITIAL TRAFFIC NUMBER (ITN) คำนวณค่า ได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

log (ITN) = -10.68+3.40 log (S)+1.33 log (W) +1.05 log (N)

เมื่อ S = น้ำหนักพิกัดของเพลาเดี่ยว , 1,000 ปอนด์

W = น้ำหนักเฉลี่ยของรถบรรทุกตั้งแต่ 2 เพลา (6 ล้อขึ้นไป) , ปอนด์

N = จำนวนรถบรรทุก

แทนค่าในสูตรได้ค่า

INITIAL TRAFFIC NUMBER (ITN) = 7,818

DESIGN PERIOD = 20 YEARS

TRAFFIC GROWTH RATE = 12 PERCENT

ITN ADJUSTMENT FACTOR คำนวณค่าได้จากสูตร

$$\text{Adjustment Factor} = \frac{(1+r)^n - 1}{20r}$$

แทนค่าในสูตรได้ค่า

ITN ADJUSTMENT FACTOR = 3.603

DESIGN TRAFFIC NUMBER (DTN) = ITN × ADJUSTMENT FACTOR

= $7,818 \times 3.603$

= 28,166.76

SUBGRADE CBR = 2

T_A คำนวณได้จากสูตร

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97\log(DTN)}{(CBR)^{0.4}}$$

แทนค่า DTN = 28,166.76 , SUBGRADE CBR = 2

$$T_A = \frac{9.19 + 3.97\log(28,166.76)}{(2)^{0.4}}$$

= 20.4 INCH

PAVEMENT STRUCTURE

- SURFACE , ASPHALT CONCRETE = 4 INCH
- BASE , UNTREAT GRANULAR = 15 INCH ; T_A = 7.5 INCH (Sr = 2.0)
- SUBBASE , UNTREAT GRANULAR = 23.9 INCH ; T_A = 8.85 INCH (Sr = 2.7)

TOTAL T_A = 20.4 INCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การเปรียบเทียบความหนาของชั้นผิวทาง แอสฟัลท์ซีเมนต์ กับ โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลท์ด้วยวิธี Two - Layer System

Flexible plate $$\Delta = 1.5\frac{pa}{E_2}F_2$$

Rigid plate $$\Delta = 1.18\frac{pa}{E_2}F_2$$

เมื่อ Δ = total deflections

E_1 = modulus of elasticity of upper layer

E_2 = modulus of elasticity of lower layer

p = unit load on circular plate

a = radius of plate

z = thickness of upper layer

F_2 = dimensionless factor ซึ่งขึ้นกับค่า ความหนาของ upper layer (z) และ อัตราส่วนของ modulus of elasticity (E_2/ E_1)

ผิวทาง AC

E_1 = 324,000 psi , E_2 = 60,000 psi , p = 80 psi

a = 4.23 inch , z = 4 inch

จากสมการ Two layer equation for Flexible plate

$$\Delta = 1.5\frac{pa}{E_2}F_2$$

เมื่อ $z/a = 4/4.23 = 0.95$ และ $E_2/E_1 = 60{,}000/324{,}000 = 0.185$

จากรูปที่ 10.1 ;

จะได้ F_2 = 0.58

$$\Delta = 1.5\frac{(80)(4.23)}{60{,}000}(0.42) = 0.049 \text{ inch}$$

ผิวทาง PMA

E_1 = 873,000 psi , E_2 = 60,000 psi , p = 80 psi

a = 4.23 inch , $\Delta = 0.049$ inch

จากสมการ Two layer equation for Flexible plate

$$\Delta = 1.5\frac{pa}{E_2}F_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Trial z ;

$$z = 3 \rightarrow z/a = 3/4.23 = 0.71 \quad \text{และ} \quad E_2/E_1 = 60{,}000/873{,}000 = 0.185$$

จากรูปที่ 10.1 ;

จะได้ $F_2 = 0.53$

$$\Delta = 1.5\frac{(80)(4.23)}{60{,}000}(0.53) = 0.045 \text{ inch} < \Delta_{AC} \quad \text{NO.K.}$$

Trial z ;

$$z = 2.75 \rightarrow z/a = 2.75/4.23 = 0.58 \quad \text{และ} \quad E_2/E_1 = 60{,}000/873{,}000 = 0.185$$

จากรูปที่ 10.1 ;

จะได้ $F_2 = 0.58$

$$\Delta = 1.5\frac{(80)(4.23)}{60{,}000}(0.58) = 0.049 \text{ inch} \approx \Delta_{AC} \quad \text{O.K.}$$

ค่าความหนาของชั้นผิวทางที่ได้จากการคำนวณ ทั้งของ AC และ PMA ทำให้ deflection ในชั้นพื้นทาง มีค่าเท่ากัน ดังนั้นแสดงว่า

ความหนาของชั้นผิวทาง AC 4 นิ้ว = ความหนาของชั้นผิวทาง PMA 2.75 นิ้ว จากค่าที่ได้ความหนาของชั้นผิวทางที่ได้ นำไปประมาณราคาต่อไป

5.3 การประเมินราคางานก่อสร้าง

5.3.1 คุณสมบัติของผู้ประเมินราคางานก่อสร้าง

1.มีความรู้ความเข้าใจในงานก่อสร้างนั้นๆ เป็นอย่างดี ดูแบบ ถอดแบบได้ดี

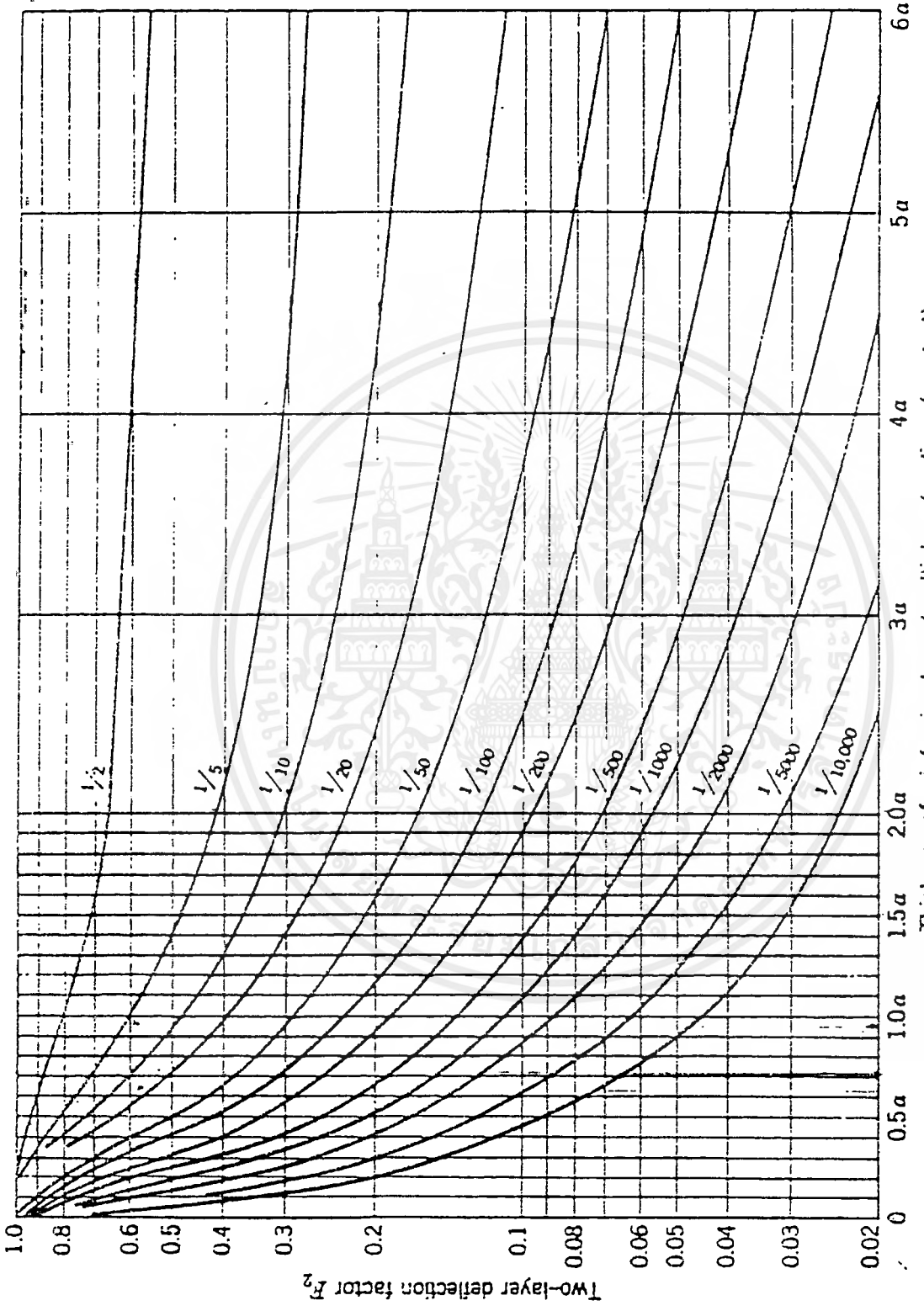
2.มีความชำนาญและประสบการณ์ในงานก่อสร้างสูง รู้จักเลือกใช้เครื่องมือ เครื่องจักร ช่างฝีมือแรงงาน และกรรมกร ให้เหมาะสมกับงาน ทั้งด้านชนิด ขนาด และจำนวน รู้ว่าช่วงระยะเวลาใดควรทำงานก่อสร้างใด เพื่อป้องกันการสูญเสีย และความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น

3.มีความรู้ในเรื่องวัสดุก่อสร้างต่างๆ เป็นอย่างดี ทั้งด้าน แหล่ง คุณภาพ คุณสมบัติเฉพาะ และราคาในท้องตลาด เพื่อจัดหามาให้ถูกต้องตรงตามข้อกำหนดในแบบ หรือการใช้วัสดุอื่นทดแทนให้ตรงตามข้อกำหนด ในกรณีที่ไม่อาจหาวัสดุที่กำหนดในแบบได้

4.มีประสบการณ์ในด้านวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของสถานที่ก่อสร้างได้ดี สามารถคาดการณ์ถึงปัญหาอุปสรรคต่างๆ ได้อย่างใกล้เคียง ทั้งด้านสภาพอากาศ และสิ่งแวดล้อม

5.มีความละเอียดรอบคอบ ความจำดี ทำให้ไม่ลืมหรือมองข้ามรายละเอียดบางอย่างไป เช่น ความสูญเสีย สูญเปล่าของวัสดุก่อสร้าง ในการต่อทาบและตัดเหล็กเส้น การเทปูนลงในแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 Influence values-two layer

(From Burmister, *Proceedings*, Highway Research Board, 1943.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.มีข้อมูลสถิติเกี่ยวกับงานก่อสร้างที่เป็นประโยชน์ต่อการประเมินราคามาก เช่น ผลการจ้างงานในอดีต ค่าใช้จ่ายในงานต่างๆ ที่ผ่านมา สภาพอากาศ เป็นต้น

7.สามารถวางแผนงานก่อสร้างได้ดี ทั้งด้านจัดหาวัสดุก่อสร้าง การดำเนินการก่อสร้าง การซ่อมบำรุงเครื่องจักร การหมุนเวียนของเงินทุน (Cash Flow)

8.มีความรู้ความเข้าใจในหลักเกณฑ์การประเมินราคา รู้ว่าควรประเมินราคาในลักษณะใด สำหรับงานลักษณะต่างๆ

5.3.2 วิธีประเมินราคา

การประเมินราคาแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลักๆ คือ

5.3.2.1 ประเมินคาราคาแบบคร่าวๆ

-ประเมินราคาเพื่อการตั้งงบประมาณที่จะใช้ในการก่อสร้าง โดยอาศัยข้อมูลสถิติ เก่าประกอบกับอัตราการเพิ่มของดัชนีต่างๆ เช่น ดัชนีราคาวัสดุก่อสร้าง ผู้บริโภค เหล็กเส้น

-ประเมินเพื่อตรวจสอบผลการประเมินราคาอย่างคร่าวๆ ว่าถูกต้องหรือไม่ โดยใช้ราคาต่อหน่วยเป็นตัววัด เช่น ราคาต่อหน่วยพื้นที่ ต่อหน่วยระยะทาง ต่อหน่วยลูกบาศก์ เป็นต้น สามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้

5.3.2.2. ประเมินราคาแบบละเอียด

วิธีนี้ต้องถอดปริมาณวัสดุจากแบบก่อสร้างให้ละเอียดว่ามีวัสดุอะไรบ้าง ปริมาณเท่าไร ต้องใช้เครื่องจักร เครื่องมือ แรงงานเท่าไร มีค่าอำนวยการ ดอกเบี้ย กำไร ความเสี่ยงและภาษีเท่าไร เพื่อที่จะคำนวณราคาที่แท้จริงของงานก่อสร้างนั้น การประเมินราคาวิธีนี้ยังแบ่งออกเป็น

- ราคาต่อหน่วย (Unit Cost)

ประเมินเป็นราคาต่อหน่วยของเนื้องานที่ต้องทำ เช่น งานถมดินคันทาง งานชั้นลูกรังรองพื้นทาง เป็นราคาต่อลูกบาศก์เมตร ราคารวมก็คูณราคาแต่ละอย่างกับเนื้องานนั้นๆ แบบนี้เหมาะกับงานก่อสร้างที่มีปริมาณไม่แน่นอน

- เหมาจ่าย (Lump Sum)

คำนวณ ปริมาณงานต่างๆ ที่ต้องทำให้ละเอียด แล้วคิดราคาค่างานรวมของงานเหล่านั้น การจ่ายค่างานจะจ่ายเป็นยอดเต็มตามราคานั้น โดยอาจแบ่งจ่ายเป็นงวดๆ ก็ได้ หากมีความคลาดเคลื่อนในปริมาณงาน ผู้รับจ้างจะต้องรับผิดชอบเอง ไม่มีการจ่ายชดเชยในส่วนที่เพิ่มขึ้น

5.3.3 ข้อผิดพลาดที่พบเสมอในการประเมินราคา

1. ถอดแบบไม่ครบถ้วน มีรายการตกหล่นไป ลอกรายการต่างๆ ผิดพลาด ลืมคิดค่างานบางรายการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คิดเผื่อปริมาณวัสดุก่อสร้างที่ต้องสูญเสีย หรือสูญเปล่า ผิดพลาดคิดแหล่งวัสดุผิดพลาด แหล่งวัสดุนั้นๆ อาจหมดแล้ว หรือมีวัสดุที่ไม่ได้คุณภาพ ต้องทำการปรับปรุง หรือหาแหล่งใหม่ซึ่งอาจไกลกว่า หรือมีราคาแพงกว่า
3. วางแผนการจัดหาวัสดุผิดพลาด หรือการสั่งจากต่างประเทศแล้วมาไม่ทันกำหนด มีราคาแปรเปลี่ยนไป อาจเพราะภาวะเศรษฐกิจ หรือการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา
4. การประเมินระยะเวลาดำเนินการผิดพลาด ทำให้งานเสร็จล่าช้า เสียค่าใช้จ่ายต่างๆ เพิ่มมากขึ้น
5. ประเมินค่าแรงงาน ค่าเชื้อเพลิง เครื่องจักร และราคาวัสดุในท้องถิ่นผิดพลาด
6. ลืมค่าใช้จ่ายบางอย่าง หรือรายการบางรายการที่กำหนดในเงื่อนไขสัญญา
7. ความผิดพลาดทางด้านการคำนวณคณิตศาสตร์

5.3.4 <u>หลักเกณฑ์การประเมินราคา</u>

ค่างานก่อสร้างทางประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ค่าวัสดุก่อสร้างต่างๆ ที่แหล่งวัสดุ
2. ค่าขนส่งวัสดุก่อสร้างจากแหล่ง ถึงหน้างานที่ทำการก่อสร้าง
3. ค่าดำเนินการ (Operating Cost)
4. ค่าใช้จ่ายอำนวยการ เช่น ค่าอำนวยการ กำไร ดอกเบี้ย ความผันผวน และภาษี
5. ตัวประกอบต่างๆที่เกี่ยวกับการประเมินราคา

5.3.4.1 <u>ค่าวัสดุก่อสร้างที่แหล่งวัสดุ</u>

ในงานทาง วัสดุก่อสร้างพวกดินคันทาง ทรายถมคันทาง ลูกรังรองพื้นทาง รวมทั้งหินต่างๆ นั้น ราคาวัสดุก่อสร้างแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นข้อมูลด้านนี้มักสอบถามจากหน่วยงานภูมิภาค หากไม่สามารถสอบถามราคาได้ ก็จะใช้ราคาที่ดินมาเป็นเกณฑ์ในการประเมินราคาวัสดุที่แหล่ง โดยถือว่าที่ดินนั้นเมื่อขุดวัสดุไปใช้แล้ว ยังเหลือมูลค่าที่ดินอยู่อีกครึ่งหนึ่ง การขุดวัสดุมาใช้ สำหรับงานดินขุดได้ลึกถึง 3.0 เมตร แต่ถ้าเป็นลูกรังก็จะขุดได้ลึกเพียง 2.50 เมตร โดยข้อมูลด้านราคามาจาก กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ จะพิมพ์เอกสารเผยแพร่ทุกๆ เดือน ราคานี้ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม เพราะผู้รับจ้างเรียกคืนได้จากภาษีขายภายหลัง ตามหลักเกณฑ์ของภาษีมูลค่าเพิ่ม

5.3.4.2 <u>ค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง</u>

คือ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการขนส่งวัสดุก่อสร้างจากแหล่งวัสดุ ไปยังพื้นที่ก่อสร้าง แล้ววิ่งรถเปล่ากลับมายังจุดแหล่งวัสดุครบรอบ ระยะทางที่ใช้กำหนดค่าขนส่ง คือระยะทางจากแหล่งวัสดุ ถึงกึ่งกลางพื้นที่ก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าขนส่งวัสดุก่อสร้างจะคำนวณจาก ค่าครอบครอง หรือราคารถที่ซื้อหามา รวมกับค่าใช้จ่ายในการวิ่งรถ

- ค่าครอบครองรถบรรทุก ได้แก่ค่าเสื่อมราคาของรถบรรทุก เงินเดือนพนักงานขับรถบรรทุก ค่าทะเบียน ค่ากรมธรรม์ประกันอุบัติเหตุ อุบัติภัย
- ค่าใช้จ่ายในการวิ่งรถ ได้แก่ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และหล่อลื่น ค่าสึกหรอของยางรถยนต์ ค่าบำรุงรักษารถ และค่าซ่อมแซมตลอดอายุการใช้งานของรถ

ตารางค่าขนส่งวัสดุก่อสร้างที่จัดทำไว้เป็นคู่มือสำหรับการประเมินราคาก่อสร้างทางนั้น เป็นตารางสำหรับการขนส่งบนทางหลวงที่อยู่บนพื้นราบ ผิวทางเป็นผิวลาดยาง หรือผิวคอนกรีต หากการขนส่งผ่านพื้นที่ที่แตกต่างกันไปก็จะมีตัวแปรมาปรับค่าขนส่งให้ เหมาะกับสภาพนั้น เช่น พื้นที่ ลูกเนิน หรือภูเขา หรือสภาพผิวทางเป็นผิวลูกรังชั่วคราว เนื่องจากการวิ่งรถในสภาพดังกล่าว รถจะมีอายุใช้งานน้อยลง ค่าครอบครองหรือค่าเสื่อมราคาก็จะสูงขึ้น ค่าใช้จ่าย ก็จะสูงตามด้วย เพราะเครื่องยนต์ทำงานหนัก สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงหล่อลื่น และมีการสึกหรอสูง เป็นต้น

ตัวแปรสำหรับค่าขนส่ง ได้แสดงในตารางข้างล่าง ดังนี้

	ผิวทางลาดยาง			ผิวทางลูกรัง		
สภาพภูมิประเทศ	ที่ราบ	ลูกเนิน	ภูเขา	ที่ราบ	ลูกเนิน	ภูเขา
รถบรรทุก 10 ล้อ	1.00	1.64	1.97	1.24	1.88	2.21
รถบรรทุก 10 ล้อ ลากพ่วง	1.00	1.93	-	1.22	2.15	-
รถบรรทุก 6 ล้อ	1.00	1.94	2.18	1.23	2.17	2.41

ทางลูกเนิน มีความลาดชัน 4.00 - 8.00 เปอร์เซ็นต์

ทางภูเขา มีความลาดชัน มากกว่า 8.00 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป

5.3.4.3 ค่าดำเนินการ (Operating Cost)

ค่าดำเนินการกิจกรรมก่อสร้างงานทาง ได้แก่ ค่าขุด - ตักดินลูกรัง ค่าตัดดินขึ้นรูปคันทาง ค่าบดทับปาดแต่งวัสดุชั้นต่างๆ รวมทั้งค่าก่อสร้าง และลาดยางผิวทางชนิดต่างๆ ด้วย

ค่าดำเนินการคำนวณจาก การหาค่าใช้จ่ายต่างๆ ของเครื่องจักร หรือชุดของเครื่องจักรที่จำเป็นและพอเหมาะกับลักษณะงานก่อสร้างทาง ค่าใช้จ่ายนี้ประกอบด้วย ค่าครอบครอง และค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและหล่อลื่น ค่าอะหลั่ย และชิ้นส่วนสึกหลอเร็ว ค่าจ้างพนักงานขับเครื่องจักร เป็นต้น ในการก่อสร้างหากต้องใช้กรรมกรแรงงานก็ให้รวมค่าแรงกรรมกรเข้าในค่าใช้จ่ายด้วย แล้วหาอัตราผลงานที่เครื่องจักรนั้นทำได้ต่อหน่วยเวลา นำตัวเลขทั้งสองค่านี้มาคำนวณหาค่าดำเนินการต่อไป ค่าดำเนินการจะมีหน่วยเป็น เงินต่อหน่วยของผลงาน (Overhead Cost) แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณผลงานที่เครื่องจักรทำงานได้นั้น คำนวณได้จากคู่มือการใช้เครื่องจักร (Equipment performance Handbook) ซึ่งจะกำหนดปริมาณผลงานที่ทำได้ภายใต้สภาวะต่างๆ กัน ของภูมิประเทศ อากาศ พื้นที่ทำงาน การจัดหาวัสดุก่อสร้าง และลักษณะของงานนั้น หรือใช้ข้อมูลสถิติที่เก็บรวบรวมจากงานก่อสร้างในอดีตที่ผ่านมา โดยคำนึงถึง ขนาดแรงม้า และสภาพของชุดเครื่องจักร มาตรฐานการทำงานของผู้รับเหมา สภาพอากาศและพื้นที่ทำงาน แล้วนำเอาผลจากข้อมูลทั้งสองแหล่งมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อให้ได้ปริมาณงานที่เครื่องจักรหรือชุดเครื่องจักรสามารถทำได้ต่อหน่วยเวลา จะได้ข้อมูลที่ถูกต้องทางทฤษฎีและใกล้เคียง กับการปฏิบัติจริงในสนาม

ตัวแปรค่าดำเนินการที่สำคัญ คือ จำนวนชั่วโมงที่เครื่องจักรถูกใช้ทำงานในแต่ละปี หากไม่มีอุปสรรคเครื่องจักรสามารถใช้ทำงานได้ตลอดทั้งปี ส่วนเฉลี่ยค่าครอบครองและค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรก็จะน้อย ผลงานที่ทำได้ก็จะมากตามจำนวนเวลาที่ทำงานได้ ดังนั้นค่าดำเนินการก็จะต่ำ ในทางกลับกัน หากภูมิประเทศ และอากาศ ไม่เอื้ออำนวยให้ทำงานได้ตลอดปี เช่น ฝนตกชุก ค่าดำเนินการก็จะสูงกว่า ดังนั้นในการประเมินราคาต้องพิจารณาถึงปัจจัยดังกล่าวนี้ด้วย

ตารางค่าดำเนินการที่กำหนดในคู่มือประเมินราคางานก่อสร้างทางนั้น มีหลายตาราง แปรเปลี่ยนไปตามราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งแต่ละพื้นที่ราคาจะไม่เท่ากัน ให้ใช้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ประกาศ ณ. หน้าปั๊มของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) ในอำเภอเมืองของจังหวัดนั้นๆ เป็นตัวกำหนดตารางที่จะใช้ และหากพื้นที่มีฝนตกชุกให้ใช้ตารางในช่องฝนชุกด้วย

5.3.4.4 ค่าใช้จ่ายส่วนดำเนินการ (Administrative Expense)

ในการประกอบธุรกิจการค้าใดๆ ก็ตาม ค่างานจะต้องรวมค่าใช้จ่ายส่วนอำนวยการเข้าไว้ด้วย เพราะเป็นค่าใช้จ่ายที่พึงได้ และต้องจ่ายไปเพื่อให้ธุรกิจสามารถดำเนินต่อไปได้ เช่น ค่าอำนวยการ (Overhead) กำไร (Profit) ดอกเบี้ย (Interest) ความผันผวน (Contingency) และภาษี (Tax)

- ค่าอำนวยการ (Overhead)

เป็นค่าใช้จ่ายของฝ่ายอำนวยการด้านบริหาร ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1.ค่าอำนวยการสำนักงานใหญ่ (Head Office Overhead)

เป็นค่าใช้จ่ายด้านบริหารของสำนักงานใหญ่ ซึ่งจะนำเฉลี่ยลงในค่างานโครงการต่างๆ ที่บริษัทเป็นคู่สัญญาอยู่ ได้แก่ เงินเดือนผู้จัดการ วิศวกร ช่างเทคนิค เสมียน พนักงานต่างๆ ที่ประจำอยู่ในสำนักงานใหญ่ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการซื้อเอกสารแบบแปลน และรายการ เพื่อการประกวดราคา ค่าธรรมเนียมประกันการยื่นซอง และประกันงานสัญญาต่างๆ ค่าเช่าสำนักงาน ค่าใช้จ่ายด้านการติดต่อสื่อสาร และอื่นๆ

2.ค่าอำนวยการสำนักงานสนาม (Site Office Overhead)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นค่าใช้จ่ายด้านอำนวยการของสำนักงานสนามของแต่ละโครงการในส่วนของผู้รับจ้างเอง เช่นค่าเช่าพื้นที่ ค่าก่อสร้างสำนักงานชั่วคราว บ้านพัก เงินเดือนวิศวกร ช่าง เสมียน พนักงานที่ประจำในสนาม ค่าใช้จ่ายเอกสาร การสื่อสาร รถยนต์ควบคุมงานของฝ่ายผู้รับจ้าง เป็นต้น

ค่าอำนวยการทั้งสองส่วนนี้เมื่อรวมกันแล้ว จะอยู่ในอัตรา ประมาณร้อยละ 2-15 ของค่างานก่อสร้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ขนาดของโครงการ ระยะเวลาก่อสร้าง และภาวะเศรษฐกิจของพื้นที่ที่ทำงานนั้น

สำหรับค่าใช้จ่ายในส่วนของผู้ควบคุมงานของผู้ว่าจ้าง จะเป็นค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมที่จะนำไปเฉลี่ยลงในค่างานภายหลัง (Coincidental Expense) ได้แก่ ค่าก่อสร้าง หรือเช่าสำนักงาน บ้านพักชั่วคราว รถควบคุมงาน อุปกรณ์ต่างๆ ที่ระบุไว้ในเงื่อนไขสัญญาให้ผู้รับจ้างจัดหามาใช้งาน อาทิเช่น เครื่องมืองานสำรวจ เครื่องมือทดลองงานวิเคราะห์วัสดุ ป้ายจราจรชั่วคราวในขณะก่อสร้าง เป็นต้น

- กำไร (Profit)

การคิดอัตรากำไรนั้น เป็นปัญหามากว่าจะกำหนดให้เท่าไรจึงจะเหมาะสมกับงานขนาดต่างๆ และเป็นที่น่าสนใจของผู้ลงทุน ธุรกิจงานก่อสร้างทาง เป็นธุรกิจที่ต้องลงทุนสูงมากในการจัดหาเครื่องจักรก่อสร้าง และมีความเสี่ยงสูง หากผลตอบแทนไม่มากพอแล้ว จะมีผู้สนใจลงทุนในธุรกิจนี้น้อย หรือเลิกลาไป จะเกิดภาวะผูกขาดในกลุ่มไม่กี่รายที่เหลือ เป็นเหตุให้เกิดการสมยอมกันเสนอราคาในภายหลังได้ง่าย

หลักเกณฑ์การคิดอัตรากำไรทางธุรกิจ (Financial Profit) กำไรในทางธุรกิจ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.กำไรปกติ (Normal Profit)

คือ กำไรจากเม็ดเงินที่ลงทุนไปในธุรกิจก่อสร้างนั้นในรูปของผลตอบแทนปกติที่พึงได้ ซึ่งจะเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำของธนาคารพาณิชย์ ในช่วงระยะเวลาที่ใช้เงินทุนนั้นหมุนเวียนไปในธุรกิจ จนได้ผลตอบแทนกลับมาเป็นรายได้

2.กำไรธุรกิจ (Excess Profit)

เป็นกำไรส่วนที่พึงได้ทางธุรกิจจากเม็ดเงินที่ลงทุนไป โดยคำนึงถึงประเภทของธุรกิจ ความเสี่ยง การแข่งขัน ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ในอัตราระหว่าง ร้อยละ 3-6 ของค่างาน ธุรกิจใดมีความเสี่ยงมาก ไม่เป็นที่สนใจลงทุนของนักธุรกิจทั่วไป ก็ต้องให้อัตรากำไรธุรกิจสูง เพื่อให้เป็นที่น่าสนใจ และดึงดูดให้นักธุรกิจมาลงทุนมากๆ เพื่อให้เกิดการแข่งขันขึ้น และพยายามปรับอัตราอย่างสม่ำเสมอ โดยให้กลไกของการตลาดเป็นตัวบ่งชี้

- ดอกเบี้ย (Interest)

เงินทุกบาทที่ลงทุนในธุรกิจ ต้องบริหารให้เกิดดอกผลเพิ่มพูนให้มากที่สุด ไม่ว่าเงินนั้นจะเป็นเงินสะสมของตนเอง หรือเงินที่กู้ยืมมาจากสถาบันการเงิน เพื่อให้คุ้ม หรือเกินคุ้มกับค่าดิกเบี้ยที่พึงได้ หรือต้องจ่ายชำระแก่เจ้าของเงินกู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานก่อสร้างทางเป็นธุรกิจที่ลงทุน และใช้ เงินหมุนเวียนในกิจการสูงมาก ผู้ประกอบการส่วนมาก หรือแทบทั้งหมดจะอาศัยเงินกู้จากสถาบันการเงินมาใช้ในโครงการ เพื่อจัดหาวัสดุก่อสร้าง ใช้จ่ายเพื่อให้เครื่องจักรดำเนินการให้งานแล้วเสร็จ และส่งมอบงาน เพื่อจะได้รับค่างานภายหลังการตรวจรับงานเรียบร้อยแล้ว ซึ่งก็ต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่งและเป็นช่วงเวลาที่ต้องคิดดอกเบี้ยสำหรับเงินที่ใช้หมุนเวียนอยู่

งานจ้างที่มีกำหนดการจ่ายค่างานเป็นงวด ทุกๆ เดือน จะต้องใช้เงินหมุนเวียนเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 3 เดือน หรือ 1/4 ของปีสำหรับงานทาง ในส่วนงานสะพาน และท่อเหลี่ยม เนื่องจากการจ่ายค่างานเป็นงวดตามผลงานที่กำหนด ดังนั้นระยะเวลาจะยาวกว่า คือ ประมาณ 4 เดือน หรือ 1/3 ของปี อัตราดอกเบี้ย ใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ (MOR)

ในกรณีที่สัญญาจ้างเหมามีการจ่ายเงินล่วงหน้าให้ผู้รับจ้างไปใช้หมุนเวียนก่อน ต้องนำเงินล่วงหน้านี้มาพิจารณาด้วยว่าเพียงพอต่อการหมุนเวียนหรือไม่ ต้องกู้ยืมอีกเท่าไร และ การเรียกเงินล่วงหน้าคืนจากค่างานในงวดต่อไป กับเงินประกันผลงานที่ผู้ว่าจ้างหักไว้นั้น ต้องนำมาพิจารณาร่วมกันในการกำหนดอัตราดอกเบี้ย

อัตราดอกเบี้ย คำนวณจากสูตรดังนี้

$$\text{อัตราดอกเบี้ย} = \left[\left\{\left(1+\frac{O+P+C}{100}\right)\times\frac{t}{T}-\left(\frac{A-R}{100}\right)\right\}\right]\times\frac{I\times T}{12}$$

O	=	ค่าอำนวยการ	เปอร์เซ็นต์
P	=	กำไร	เปอร์เซ็นต์
C	=	ความผันผวน	เปอร์เซ็นต์
t	=	เวลาที่ใช้เงินหมุนเวียน	เดือน
T	=	อายุสัญญา	เดือน
A	=	เงินจ่ายล่วงหน้า	เปอร์เซ็นต์
R	=	เงินประกันผลงานที่หักไว้	เปอร์เซ็นต์
I	=	อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ธนาคาร	เปอร์เซ็นต์

- <u>ความผันผวน</u> เหตุอันไม่คาดถึง (Contingency)

งานก่อสร้างทาง ดำเนินการไปตามความยาวของแนวทาง ผ่านพื้นที่ที่มีสภาพภูมิศาสตร์ และอากาศต่างกันไป ด้วยระยะทางที่ยาว โอกาสที่จะเกิดความเสียหายจากภัยธรรมชาติ เช่น น้ำท่วมพัดทางขาด หรือสิ่งอันไม่คาดถึง (Unforeseen) ย่อมมีมาก เมื่อเกิดความเสียหาย ผู้รับจ้างต้องซ่อมสร้างกลับเข้าสู่สภาพดีเหมือนใหม่ โดยอาจไม่ได้รับการชดเชยเลยก็ได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของสัญญา และการตีความของภัยธรรมชาติ แม้บางโครงการจะได้ทำประกันอุบัติภัยให้กับงานโครงการไว้กับบริษัทประกันภัย โดยยอมเสียค่าธรรมเนียมการประกันภัยประมาณร้อยละ 0.5 -10 ของค่างานแล้วก็ตาม การชดใช้ของบริษัทประกันก็ไม่ได้ครอบคลุมความเสียหายทั้งหมด ขึ้นกับเงื่อนไขในกรมธรรม์ บางแห่งกำหนดความเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หายขั้นต่ำไว้ หากความเสียหายมีมูลค่าไม่ถึงขั้นต่ำที่กำหนด ผู้รับจ้างรับผิดชอบค่าเสียหายเอง หรือบางกรณีค่าเสียหายต้องออกร่วมกันในสัดส่วนที่ตกลงกันไว้ ดังนั้นการประกันภัยให้กับงานโครงการ ก็ไม่ได้คุ้มครองครอบคลุมความเสียหายทั้งหมดที่อาจเกิดขึ้น

ความผันแปรของราคาวัสดุก่อสร้าง เช่น ปูนซีเมนต์ เหล็กเส้น และอื่นๆ แม้จะมีการนำเอาสัญญาแบบปรับราคาได้มาใช้ (Escalation) แต่ก็ไม่ครอบคลุมงานทุกรายการ มีเฉพาะงานหลักเท่านั้น สำหรับงานเบ็ดเตล็ดซึ่งมีมูลค่าประมาณร้อยละ 25 - 30 ของค่างานนั้น สัญญาไม่ครอบคลุมถึง ในส่วนของการชดเชย ตามเงื่อนไขสัญญาแบบปรับราคา ยังกำหนดชดเชยให้ต่อเมื่อ ความผันแปรมีค่ามากกว่าร้อยละ 4 และชดเชยเฉพาะส่วนที่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ ไปแล้วเท่านั้นด้วย

ปัจจุบันรัฐบาลกำหนดให้ผู้รับจ้างต้องประกันผลงานที่ทำแล้วเสร็จเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 ปี เป็นการเพิ่มภาระความเสี่ยงให้ผู้รับจ้างมากขึ้นตามระยะเวลาการประกันผลงานที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการกำหนดค่าความผันผวนนั้น ต้องคำนึงถึงข้อเท็จจริง ค่าใช้จ่าย ความเสี่ยงในการรับผิดชอบด้วย ตามหลักสากลทั่วไป ค่าความผันผวนนี้จะเป็นร้อยละ 3 - 6 ของค่างาน ทั้งนี้ขึ้นกับ ระยะทาง ระยะเวลาสัญญา และเงื่อนไขของสัญญาด้วย

- ภาษี (Tax)

ภาษีที่คิดในงานก่อสร้างมีเพียงภาษีมูลค่าเพิ่ม ซึ่งรัฐบาลจัดเก็บในอัตราร้อยละ 10 ของค่างาน ภาษีเงินได้ไม่นำมาคำนวณ เพราะจะจัดเก็บจากเงินได้สุทธิ คือ เมื่อมีกำไร

สำหรับภาษีประกันสังคม และเงินกองทุนทดแทนแรงงานที่นายจ้างต้องจ่ายสมทบให้แก่ลูกจ้างในอัตราครึ่งหนึ่งนั้น ได้คิดรวมไว้ในค่าจ้างแรงงาน ที่ใช้คำนวณในส่วนนั้นๆ ไว้แล้ว เช่น ค่าอำนวยการ ค่าดำเนินการ

-ตัวประกอบต่างๆที่เกี่ยวกับการประเมินราคา(Factor Related to Cost Estimate)

ส่วนยุบตัวเมื่อบดทับ (Compacted Factor)

วัสดุที่ใช้ก่อสร้าง ตามสภาวะธรรมชาติจะอยู่ในสถานะมวลแน่นพอประมาณ หรือมวลหลวม (Bank Loose Condition) เมื่อตักแล้วเทลงรถบรรทุก จะแตกกระจายตัวออก ปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่อทำการบดทับจะมีความแน่น ปริมาตรจะลดลงจากเดิม ปริมาตรที่ลดลงนี้ เรียกว่าส่วนหลวมตัว (Loose Factor) ในระหว่างบดทับตามขบวนการบดอัดนั้น อาจมีวัสดุบางส่วนตกหล่น หรือมีวัสดุถูกตัดทิ้ง ส่วนนี้จะเป็นส่วนสูญเสีย(Lose Factor) เมื่อรวมสองส่วนนี้เข้า รวมเรียกว่า ส่วนยุบตัวเมื่อบดทับ (Compacted Factor) สวนยุบตัวของวัสดุต่างๆไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงส่วนยุบตัว และส่วนขยายตัว ของวัสดุก่อสร้างต่างๆ

ชนิดวัสดุก่อสร้าง	ส่วนยุบตัว (compacted Factor) แนวทางเก่า	แนวทางใหม่	ส่วนขยายตัว (Bank Factor)
ทรายถมคันทาง	1.40	1.45	1.15
ดินถมคันทาง ดินปนทราย	1.60	1.70	1.25
ดินถมคันทาง ดินเหนียว	1.85	1.90	1.25
หินผุ			1.60
หินแข็ง คอนกรีตที่ทุบออก			1.70
ลูกรัง วัสดุคัดเลือก รองพื้นทาง	1.60		
หินคลุก พื้นทาง	1.50		
ไหล่ทาง ลูกรัง	1.75		
ไหล่ทาง หินคลุก	1.60		

จังหวัดที่มีฝนตกชุก คือ จังหวัดที่มีฝนตกเฉลี่ยปีหนึ่งเกิน 1500 มม.

ภาคเหนือ	ภาคอีสาน	ภาคกลาง	ภาคใต้	
เชียงราย	หนองคาย	ปราจีนบุรี	ชุมพร	ระนอง	ยะลา
	สกลนคร	จันทบุรี	สุราษฎ์ธานี	กระบี่	สตูล
	นครพนม	ตราด	พังงา	นครศรีธรรมราช	
			สงขลา	ภูเก็ต	นราธิวาส
			ปัตตานี	ตรัง	พัทลุง

เนื่องจากช่วงฤดูฝนมีเวลายาวนานกว่า หรือมีปริมาณฝนตกมากกว่า ค่าใช้จ่ายส่วนอำนวยการและค่าดำเนินการจะสูงกว่า เมื่อพิจารณาในส่วนของชั่วโมงที่ทำงานได้ ขณะเดียวกันผลผลิตของงานจะน้อยกว่าตามเวลาทำงานที่น้อยลง ดังนั้นการคิดค่างานก่อสร้างทางจึงต้องชดเชยส่วนนี้ให้

- ปัญหาการจราจร และสภาพพื้นที่ทำงาน (Traffic and Terrain Factor)

การก่อสร้างทางในพื้นที่ชุมนุมชนหนาแน่น ในเขตเมือง หรือที่ที่ต้องขนส่งวัสดุก่อสร้างทางที่มีการจราจรหนาแน่น ย่อมมีความยุ่งยากมากกว่าพื้นที่ปกติ เนื่องจากการขนส่งล่าช้าซึ่งเป็นผลของการติดขัดของจราจร จำนวนเที่ยวที่จะวิ่งได้น้อยลง ในขณะที่ค่าใช้จ่ายคงที่เท่าเดิม ค่าเดินรถอาจเพิ่มขึ้นเพราะการเผาไหม้เชื้อเพลิง และการสึกหรอของเครื่องยนต์จะสูงกว่าเมื่อรถติด เครื่องจักรในงานก่อสร้างก็จะใช้ทำงานได้น้อยกว่า ค่าใช้จ่ายก็สูงขึ้นเมื่อคำนึงถึงผลงานที่ทำได้น้อยลงในช่วงเวลาเท่ากันกับกรณีปกติ พื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานก็เช่นกัน หากมีอุปสรรคเช่น ต้องเปิดการจราจรด้วยขณะก่อสร้าง มีทางเชื่อมอาคาร และรถเข้าออกมาก น้ำท่วม หรือสิ่งสาธารณูปโภคใต้ถนน การทำงานก็จะช้า ดังนั้นการประเมินราคาต้องคิดถึงปัจจัยเหล่านี้ด้วย จำเป็นต้องชดเชยส่วนที่ผู้รับจ้างต้องใช้จ่ายเพิ่มขึ้น เพื่อความยุติธรรม ส่วนชดเชยนี้ คือ Traffic or Terrain Factor ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 10 เปอร์เซ็นต์ของค่างานก่อสร้าง ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณจราจรมากเพียงไร หรืออุปสรรคของพื้นที่มีมากอย่างไร

- การคิดปริมาณวัสดุก่อสร้างจากแบบแปลน (Quantities of Material Breakdown)

งานก่อสร้างรายการต่างๆ (Items) ต้องคำนวณราคาให้ถูกต้องตรงกับความเป็นจริง และสภาพการก่อสร้างในสนาม โดยเฉพาะเรื่องปริมาณวัสดุต่างๆ และส่วนประกอบที่จำเป็นที่จะทำให้งานนั้นก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยถูกต้องตามแบบแปลน ข้อกำหนด (Specification) ขั้นตอนการก่อสร้าง สภาพแวดล้อมของพื้นที่ทำงาน ลักษณะของงาน การสูญเสียของวัสดุก่อสร้าง จากขนาดของโครงสร้างจะเห็นได้ว่าจะต้องเผื่อส่วนสูญเสียอย่างไร หรือการเผื่อตามหลักเกณฑ์การประเมินราคา

ในการประเมินราคา ในส่วนของการดำเนินการ ใช้ค่าดำเนินการ (Operating Cost) และค่าขนส่ง ตารางเดียวกันกับงานจ้างเหมาโครงการก่อสร้างทั่วไป แต่ค่าใช้จ่ายส่วนอำนวยการจะแตกต่างกันมาก เพราะไม่ต้องมีวิศวกร ช่าง และพนักงานมากเท่างานจ้างเหมาโครงการ ดังนั้นสำหรับงานจัดหาวัสดุก่อสร้าง จะมี Factor F เฉพาะงาน ดังนี้

Factor F งานจ้างเหมาชุด - ขนส่งวัสดุงานทาง (รวมภาษีมูลค่าเพิ่มแล้ว) กุมภาพันธ์ 2539

วงเงินไม่เกิน (บาท)	Factor F	วงเงินไม่เกิน (บาท)	Factor
200,000	1.3365	2,800,000	1.2813
400,000	1.3315	3,000,000	1.2788
600,000	1.3264	3,200,000	1.2763
800,000	1.3214	3,400,000	1.2738
1,000,000	1.3165	3,600,000	1.2712
1,200,000	1.3114	3,800,000	1.2687
1,400,000	1.3064	4,000,000	1.2674
1,600,000	1.3026	4,200,000	1.2660
1,800,000	1.2989	4,400,000	1.2647
2,000,000	1.2951	4,600,000	1.2633
2,200,000	1.2913	4,800,000	1.2620
2,400,000	1.2876	5,000,000	1.2605
2,600,000	1.2838	มากกว่า 5,000,000	1.2605

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

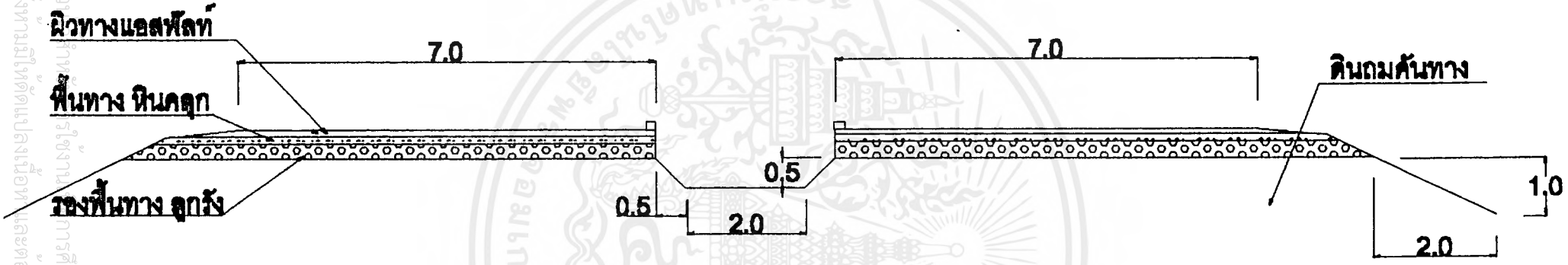
หลักเกณฑ์การประเมินราคา ตามระบบภาษีมูลค่าเพิ่ม

1. วิธีการประเมินราคา และการคำนวณเหมือนเดิม
2. ราคาวัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ประเมินราคา ต้องไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม หรือภาษีใดๆ ที่สามารถเรียกคืนจากรัฐบาลในรูปของภาษีซื้อ ตามหลักเกณฑ์จองระบบภาษีมูลค่าเพิ่ม
3. วัสดุต่อไปนี้ ถือว่าไม่มีภาษีมูลค่าเพิ่ม คือ ดินถมคันทาง ทรายถมคันทาง วัสดุลูกรังชั้นต่างๆ เพราะถือว่าเป็นการซื้อที่ดินมา แล้วขุดตักเอาวัสดุมาใช้งาน

<u>ขั้นตอนการประมาณราคา</u>

1. ปริมาณงานของโครงการ ความหนาของชั้นต่างๆ ได้จากการออกแบบในบทที่ 5 และจากรูปที่ 5.2
2. สำหรับราคาของดินถมคันทาง ได้จากการสมมติราคาที่ดิน ไร่ละ 200,000 บาท และตามหลักการคิดราคา สามารถขุดดินได้ลึก 3.0 เมตร และราคาที่ดินหลังจากขุดดินแล้ว จะเหลือครึ่งหนึ่ง
3. ส่วนยุบตัวของดินใช้ Factor 1.6 ส่วนค่าใช้จ่ายอื่นๆได้จากข้อมูลของกรมทางหลวง จากตาราง 5.3 ถึง ตาราง 5.6 โดยสมมติระยะทางของแหล่งวัสดุอยู่ห่างจากโครงการ 10 กิโลเมตร
4. ราคาของดินลูกรัง ก็ใช้หลักการเดียวกับการคิดราคาดินถม โดยสมมติราคาที่ดินไร่ละ 200,000 บาท และสามารถขุดดินไดลึก 2.5 เมตร โดยสมมติให้แหล่งวัสดุอยู่ห่างจากโครงการ 50 กิโลเมตร
5. ราคาของหินคลุก ได้ข้อมูลจากกรมทางหลวง โดยสมมติให้แหล่งวัสดุอยู่ห่างจากโครงการ 80 กิโลเมตร และใช้ส่วนยุบตัว 1.5
6. ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC ใช้ 10 เซนติเมตร โดยแบ่งการปูเป็น 2 ชั้นๆ ละ 5 เซนติเมตร และความหนาของผิวทางที่ใช้ยาง PMA ใช้ความหนา 7 เซนติเมตร จากการออกแบบโดยวิธี Two Layer System ส่วนข้อมูลด้านราคาได้จากผู้รับเหมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PETCHABUN BYPASS

รูปที่ 5.2 แบบหน้าตัดของถนนสาย Phetchabun Bypass

ประมาณการราคาการก่อสร้าง ถนนอ้อมเมือง เพชรบูรณ์
โดยเปรียบเทียบระยะทาง 1 กิโลเมตร

มีรายการดังต่อไปนี้

1. งานดินคันทาง
2. งานรองพื้นทาง ลูกรัง
3. งานพื้นทาง หินคลุก
4. งานไพร์มโค้ด
5. งานผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต

รายละเอียดของถนน

เป็นถนน 4 ช่องจราจร ปริมาณ ADT = 10,475

ปริมาณของรถขนาด หนัก = 9 % Design CBR = 5 %

Design Period 20 ปี อัตราการเพิ่มของการจราจร = 4.32 %

ปริมาณงาน

	ปริมาณงาน
1. งานดินคันทาง (ลบ.ม.)	21,500
2. งานรองพื้นทาง ลูกรัง (ลบ.ม.)	4,800
3. งานพื้นทาง หินคลุก (ลบ.ม.)	1,920
4. งานไพร์มโค้ต (ตร.ม.)	28,000
5. งานผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต (ตร.ม.)	28,000

รายละเอียดการประมาณราคา

1. งานดินถมคันทาง

ค่าดินจากแหล่งดิน	[200000 / (1600*2*3)]		20.83 บาท/ลบ.ม.
ค่าขุดดินขึ้นรถบรรทุก			11 บาท/ลบ.ม.
ค่าขุนส่งถึงหน้างาน	10	กม.	17.62 บาท/ลบ.ม.
รวมราคามวลหลวมถึงหน้างาน			49.45 บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัวเป็นวัสดุบดอัดแน่น	1.6 * 49.45		79.12 บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการบดทับ			19.89 บาท/ลบ.ม.
รวมราคาต้นทุนงานดินคันทาง			99.01 บาท/ลบ.ม.
		TOTAL	**2,128,715** บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. งานรองพื้นทางลูกรัง แหล่งวัสดุอยู่ห่าง 50 กิโลเมตร

ราคาวัสดุจากแหล่งงาน [200000/(1600*2*2.5)]	25	บาท/ลบ.ม.
ค่าขุดตักขึ้นรถบรรทุก	15.75	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่งจากแหล่งวัสดุถึงหน้างาน	84.43	บาท/ลบ.ม.
รวมราคาวัสดุมวลหลวมถึงหน้างาน	125.18	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัวเป็นวัสดุอัดแ (1.6*91.77)	200.29	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการบดทับ	25.93	บาท/ลบ.ม.
รวมราคาต้นทุนงานรองพื้นทางลูกรัง	226.22	บาท/ลบ.ม.
TOTAL	**1,085,846**	บาท

3. งานพื้นทาง หินคลุก แหล่งวัสดุอยู่ห่างจาก หน้างานโดยเฉลี่ย (กม.) 80

ราคาหินคลุกที่แหล่ง	235	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่งจากแหล่งถึงหน้างาน	134.54	บาท/ลบ.ม.
รวมราคาวีสดุที่หน้างาน	369.54	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัวเมื่อบดทับ (1.5*369.54)	554.31	บาท/ลบ.ม.
ค่าคลุกเคล้าเกลี่ยผสม กันการแยกตัว	11.69	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการบดทับให้แน่น	41.02	บาท/ลบ.ม.
รวมราคาต้นทุนพื้นทางที่หน้างาน	607.02	บาท/ลบ.ม.
TOTAL	**1,165,478**	บาท

4. งานผิวทาง ลักษณะงานจะทำการปู HOT MIX ASPHALT 2 ชั้น หนาชั้นละ 5 ซม.

งานราดยาง Prime Coat	3.06	บาท/ตร.ม.
ราคา ยาง Prime coat	15.00	บาท/ตร.ม.
รวมราคา ต้นทุน Prime coat	18.06	บาท/ตร.ม.
TOTAL	**505,680**	บาท

ราคา แอสฟัลท์คอนกรีต ถึงหน้างาน	150.00	บาท/ตร.ม.
งานปูลาดและบดทับ ผิว AC หนา 5 ซม.	7.43	บาท/ตร.ม.
รวมราคา แอสฟัลท์คอนกรีต	157.43	บาท/ตร.ม.
TOTAL	**4,408,040**	บาท

ค่าก่อสร้างของถนนเส้นนี้ = 9,293,760 บาท / กม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณการราคาการก่อสร้าง ถนนอ้อมเมือง เพชรบูรณ์
โดยเปรียบเทียบระยะทาง 1 กิโลเมตร

มีรายการดังต่อไปนี้

1. งานดินคันทาง
2. งานรองพื้นทาง ลูกรัง
3. งานพื้นทาง หินคลุก
4. งานไพร์มโค้ด
5. งานผิวทาง PMA

รายละเอียดของถนน

เป็นถนน 4 ช่องจราจร ปริมาณ ADT = 10,475

ปริมาณของรถขนาด หนัก = 9 % Design CBR = 5 %

Design Period 20ปี อัตราการเพิ่มของการจราจร = 4.32 %

ปริมาณงาน

	ปริมาณงาน
1. งานดินคันทาง (ลบ.ม.)	21,500
2. งานรองพื้นทาง ลูกรัง (ลบ.ม.)	4,800
3. งานพื้นทาง หินคลุก (ลบ.ม.)	1,920
4. งานไพร์มโค้ด (ตร.ม.)	28,000
5. งานผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต (ตร.ม.)	28,000

รายละเอียดการประมาณราคา

1. งานดินถมคันทาง

ค่าดินจากแหล่งดิน	[200000 / (1600*2*3)]		20.83 บาท/ลบ.ม.
ค่าขุดดินขึ้นรถบรรทุก			11 บาท/ลบ.ม.
ค่าขุนส่งถึงหน้างาน	10	กม.	17.62 บาท/ลบ.ม.
รวมราคามวลหลวมถึงหน้างาน			49.45 บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัวเป็นวัสดุบดอัดแน่น	1.6 * 49.45		79.12 บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการบดทับ			19.89 บาท/ลบ.ม.
รวมราคาต้นทุนงานดินคันทาง			99.01 บาท/ลบ.ม.
		TOTAL	**2,128,715** บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. งานรองพื้นทางลูกรัง แหล่งวัสดุอยู่ห่าง 50 กิโลเมตร

ราคาวัสดุจากแหล่ง [200000/(1600*2*2.5)]	25	บาท/ลบ.ม.
ค่าขุดตักขึ้นรถบรรทุก	15.75	บาท/ลบ.ม.
ค่าขุนส่งจากแหล่งวัสดุถึงหน้างาน	84.43	บาท/ลบ.ม.
รวมราคาวัสดุมวลหลวมถึงหน้างาน	125.18	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัวเป็นวัสดุอัดแน่น (1.6*91.77)	200.29	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการบดทับ	25.93	บาท/ลบ.ม.
รวมราคาต้นทุนงานรองพื้นทางลูกรัง	226.22	บาท/ลบ.ม.
TOTAL	**1,085,846**	บาท

3. งานพื้นทาง หินคลุก แหล่งวัสดุอยู่ห่างจาก หน้างานโดยเฉลี่ย (กม.) 80

ราคาหินคลุกที่แหล่ง	235	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่งจากแหล่งถึงหน้างาน	134.54	บาท/ลบ.ม.
รวมราคาวีสดุที่หน้างาน	369.54	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัวเมื่อบดทับ (1.5*369.54)	554.31	บาท/ลบ.ม.
ค่าคลุกเคล้าเกลี่ยผสม กันการแยกตัว	11.69	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการบดทับให้แน่น	41.02	บาท/ลบ.ม.
รวมราคาต้นทุนพื้นทางที่หน้างาน	607.02	บาท/ลบ.ม.
TOTAL	**1,165,478**	บาท

4. งานผิวทาง ลักษณะงานจะทำการปู HOT MIX ASPHALT 2 ชั้น หนาชั้นละ 5 ซม.

งานราดยาง Prime Coat	3.06	บาท/ตร.ม.
ราคา ยาง Prime coat	15.00	บาท/ตร.ม.
รวมราคา ต้นทุน Prime coat	18.06	บาท/ตร.ม.
TOTAL	**505,680**	บาท

ราคา PMA ถึงหน้างาน	140.50	บาท/ตร.ม.
งานปูลาดและบดทับ ผิว PMA	7.43	บาท/ตร.ม.
รวมราคา PMA	147.93	บาท/ตร.ม.
TOTAL	**4,142,040**	บาท

ค่าก่อสร้างของถนนเส้นนี้ = **9,027,760** บาท / กม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบราคา ถนนที่ใช้ยาง AC และยาง PMA
โดยเปรียบเทียบที่ความยาวถนน 1 กิโลเมตร

	ผิวทาง AC	ผิวทาง PMA	
ค่าใช้จ่ายในงานดินคันทาง	2,128,715	2,128,715	บาท
ค่าใช้จ่ายในงานรองพื้นทาง	1,085,846	1,085,846	บาท
ค่าใช้จ่ายในงานพื้นทาง	1,165,478	1,165,478	บาท
ค่าใช้จ่ายในงานผิวทาง	4,913,720	4,647,720	บาท
ถนนที่ใช้ผิวทาง AC แพงกว่า		266,000	คิดเป็น 5.7%
ราคารวม	9,293,760	9,027,760	บาท
ถนนที่ใช้ผิวทาง AC แพงกว่า		266,000	คิดเป็น 2.9%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name of Sub-Project	No. of Lanes	Analysis Period (years)	Opening year ADT	Final year ADT	Average Traffic Growth Rate %	Pavement Type	Traffic Composition (percentage of heavy vehicle			Design CBR	Design ESA (x 10^6)
							Md truck	Hy truck	Hy bus		
N1 Chiang Dao Bypass	2	15	6815	11978	3.83	Flexible	7.1	2.9	1.4	3	2.76
N2 Lampang Bypass	2	15	3294	5364	3.3	Flexible	10.4	17.7	4.8	3	4.47
N3 Petchabun Bypass	4	15	10475	19750	4.32	Flexible	4.4	4.1	1	5	4.27
N4 Chum Saeng Bypass	2	15	2050	3800	4.2	Flexible	6.1	9.8	3.7	4	1.73
NE1 Phu khiew Bypass	2	15	7477	10150	2.21	Flexible	7.8	9.9	2.9	4	7.53
NE2 Ban Luam to Ban Ta Noen	2	15	420	912	5.31	Flexible	4.3	9.5	3.6	6	0.38
NE3 Kham Khuan Kaeo	2	15	1358	2374	3.79	Flexible	7.8	1.9	6.6	6	0.75
C2 Phachi to Sarabusi	2	15	9068	19300	5.16	Flexible	16.6	12.7	10.7	3	20.5
C3 Nakhon Nayok Bypass	4	15	21270	46423	5.36	Flexible	8.9	15.9	2.4	3	35
C4 Prachinburi Bypass	2	15	2165	4737	5.36	Flexible	8.6	15.9	2.4	2	3.96
C5 Bang Or to Bang Nam Priew	2	15	3881	8052	4.99	Flexible	8.2	15.1	2.2	3	6.74
C7 Kratum Baen to Damnoen	2	15	6495	14312	5.41	Flexible	8.7	8.9	8.3	3	10
C8 Ban Tha Yang to Nong Yaplong	2	15	3220	5846	4.06	Flexible	18.7	7.8	3.6	6	4.7
C9 Nong Yaplong to Ban Yang Chum	2	15	3220	5846	4.06	Flexible	18.7	7.8	3.6	6	4.7
C10 Klaeng Bypass	4	15	15003	33440	5.49	Flexible	8.3	8.3	2.6	5	14.4
C11 Map Ta Phut Bypass	4	15	34365	64042	5.61	Flexible	3.02	2	5	5	14.1
S1 Route 4 to Chum Phon	2	15	8911	18309	4.92	Flexible	8.4	23.1	3.9	6	24.4
S3 Thap Put Bypass	2	15	9254	13946	2.77	Flexible	9.8	16.3	5.7	6	17.5
S4 Huai Yot to Trang	4	15	11963	21692	4.34	Flexible	7.1	35.8	12	2	42.2
S5 Bang Pa In to Ayudhaya	6	15	79740	436462	12	Flexible	6.07	13.7	5.5	2	70.5

* ข้อมูลจากฝ่ายออกแบบ กรมทางหลวง

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลของถนนสายต่างๆ

อัตราการทำงานของเครื่องจักรก่อสร้างทาง 1 ชุด

ลักษณะงาน	หน่วย	ผลงานต่อวัน
1. งานถางป่า ขุดตอ Clearing and Grubbling		
ขนาดเบา	ตร.ม.	10,500
ขนาดกลาง	ตร.ม.	10,500
ขนาดหนัก	ตร.ม.	7,000
2. งานตัดคันทาง Roadway Excavetion		
ดิน	ลบ.ม. ธรรมชาติ	520
หินผุ	ลบ.ม. ธรรมชาติ	1,050
หินแข็ง	ลบ.ม. ธรรมชาติ	285
3. งานถมคันทาง Embankment	ลบ.ม. แน่น	600
4. งานวัสดุคัดเลือกและรองพื้นทาง ลูกรัง Subbase	ลบ.ม. แน่น	460
5. งานพื้นทาง หินคลุก Base Course	ลบ.ม. แน่น	265
6. งานไหล่ทาง ลูกรัง หินคลุก Shoulder	ลบ.ม. แน่น	280
7. งานราดยางไพร์โค้ด Prime coat	ตร.ม.	5,000
8. งานราดยางแทคโค้ด Tack Coat	ตร.ม.	3,400
9. งานผิวทางแบบบาง Surface Treatment		
ชั้นเดียว Single	ตร.ม.	4,945
สองชั้น Double	ตร.ม.	2,730
10. งานผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต Asphalt Concrete		
เครื่องผสมแอสฟัลท์ Mixing Plant	ตัน	410
ปูและบดทับผิว หนา 5 ซม. Paving	ตร.ม.	3,400
11. งานผิวทางคอนกรีต Concrete Pavement		
เครื่องผสมคอนกรีต Mixing Plant	ตัน	175
ปูผิวคอนกรีตหนา 5 ซม. Paving	ตร.ม.	700
12. งานพื้นทางวัสดุผสม Stabilized Base	ลบ.ม. แน่น	300

ตารางที่ 5.2 อัตราการทำงานของเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 สรุปค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา

(ราคาน้ำมัน ดีเซล 9.00 - 9.99 บาท / ลิตร เฉลี่ย 9.50 บาท / ลิตร)

ลักษณะงาน	หน่วย	ค่าดำเนินการ	ค่าเสื่อมราคา (บาท)		รวมค่างาน (บาท)	
		บาท / หน่วย	ปกติ	ฝนชุก	ปกติ	ฝนชุก
1. งานถางป่า ขุดตอ						
ขนาดเบา	ตร.ม.	0.66	0.13	0.16	0.79	0.86
ขนาดกลาง	ตร.ม.	1.4	0.27	0.34	1.67	1.74
ขนาดหนัก	ตร.ม.	2.03	0.38	0.48	2.41	2.51
2. งานดินคันทาง						
ขุด - ขน	ลบม.หลวม	8.71	2.27	2.84	10.98	11.55
บดทับ	ลบม.แน่น	14.68	5.21	6.51	19.89	21.19
3. งานตัด - ขึ้นรูปคันทาง						
ดิน - ขุดตัด	ลบม.ปกติ	9.41	1.52	1.9	10.93	11.31
ตัก	ลบม.หลวม	3.76	1.13	1.41	4.89	5.17
หินผุ - ขุดตัด	ลบม.ปกติ	12.44	1.65	2.06	14.09	14.5
ดันและตัก	ลบม.หลวม	17.45	2.79	3.49	20.24	20.94
หินแข็ง - เจาะระเบิด	ลบม.ปกติ	34.07	3.26	1.08	37.33	35.15
ดันและตัก	ลบม.หลวม	29.08	9.77	12.21	38.85	41.29
4. งานวัสดุคัดเลือก ลูกรังรองพื้นทาง						
ขุด - ขน	ลบม.หลวม	12.11	3.64	4.55	15.75	16.66
ผสม (ผสมกับวัสดุอื่น)	ลบม.แน่น	3.87	0.88	1.1	4.75	4.97
บดทับ	ลบม.แน่น	19.14	6.79	8.49	25.93	27.63
5. งานไหล่ทางลูกรัง ผสม บดทับ						
ผสม (ผสมกับวัสดุอื่น)	ลบม.แน่น	7.41	1.69	2.11	9.1	9.52
บดทับ	ลบม.แน่น	23.12	11.16	13.95	34.28	37.07
6. งานพื้นทาง (หินคลุก)						
ผสม (Blend)	ลบม.แน่น	9.14	2.55	3.19	11.69	12.33
บดทับ	ลบม.แน่น	27.93	13.27	16.59	41.2	44.52
7. งานตัดแต่งขั้นบันได	ลบม.แน่น	2.89	0.81	1.01	3.7	3.9
8. งานขุดรื้อคันทางเดิมแล้วบดทับ						
ลูกรัง 10 ซม.	ตร.ม.	3.89	1.13	1.41	5.02	5.3
หินคลุก 10 ซม.	ตร.ม.	4.77	1.78	2.23	6.55	7
ผิว AC 5 ซม.	ตร.ม.	4.19	0.98	1.23	5.17	5.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่5.4 สรุปค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา

(ราคานำมัน ดีเซล 9.00 - 9.99 บาท / ลิตร เฉลี่ย 9.50 บาท / ลิตร)

ลักษณะงาน	หน่วย	ค่าดำเนินการ	ค่าเสื่อมราคา (บาท)		รวมค่างาน (บาท)	
		บาท / หน่วย	ปกติ	ฝนชุก	ปกติ	ฝนชุก
11. งานผิวทางแบบบาง						
ชั้นเดียว (1/2")	ตร.ม.	6.01	1.21	1.51	7.22	7.52
ชั้นเดียว (3/4")	ตร.ม.	8.31	1.67	2.09	9.98	10.4
สองชั้น (3/4" + 3/8")	ตร.ม.	12.36	2.48	3.11	14.84	15.47
สองชั้น (1" + 1/2")	ตร.ม.	18.1	3.64	4.55	21.74	22.65
12. งานเคลือบหิน ขจัดฝุ่น						
ชั้นเดียว (1/2")	ลบม.หลวม	0.83	0.31	0.39	1.14	1.22
ชั้นเดียว (3/4")	ลบม.หลวม	1.14	0.43	0.53	1.57	1.67
สองชั้น (3/4" + 3/8")	ลบม.หลวม	1.7	0.63	0.79	2.33	2.49
สองชั้น (1" + 1/2")	ลบม.หลวม	2.48	0.93	1.16	3.41	3.64
13. งานผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต						
ค่าผสมวัสดุแอสฟัลท์คอนกรีต	ตัน	136.54	13.4	16.75	149.94	153.29
ค่าขนส่งอุปกรณ์ 80 ตัน ระยะทางขนส่ง 80 - 100 กม.						
คาติดตั้งเครื่องผสม	ครั้ง	250000				
งานปูลาดและบดทับ ผิว Ac หนา 5 ซม.						
บนผิวไพร์มโค้ด	ตร.ม.	5.97	1.46	1.83	7.43	7.8
บนผิวแทคโค้ด	ตร.ม.	4.85	1.04	1.3	5.89	6.15
14. งานผิวทางคอนกรีต						
ค่าติดตั้งเครื่องผสม	ครั้ง	150000				
ค่าผสมคอนกรีต	ลบม.	83.71	26.84	33.55	110.55	117.26
ค่าขนส่งคอนกรีต	ลบม./กม.	5.17	1.01	1.26	6.18	6.43
ค่าแบบข้างคิดตามยาว 2 ข้าง	เมตร	6.3	2.52	3.15	8.82	9.45
ค่าปูผิวคอนกรีต	ตร.ม.	5.84	1.58	1.98	7.42	7.82
ค่าดัดรอยต่อคอนกรีต	เมตร	13.42	1.66	2.08	15.08	15.5
ค่าหยอดยางรอยต่อคอนกรีต	เมตร	5.24	1.56	1.95	6.8	7.19
ค่าบมผิวคอนกรีต	ตร.ม.	2.84	0.38	0.48	3.22	3.32
15.งาน Stabilized layer						
ค่าผสมวัสดุลูกรัง	ลบม.แน่น	21.69	7.35	9.19	29.04	30.88
ค่าบ่มวัสดุลูกรัง	ลบม.แน่น	14.19	1.92	2.4	16.11	16.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่5.5 ค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง

ภูมิประเทศเป็นที่ราบ ทางผิวลาดยาง ปริมาณการจราจรปกติ

(น้ำมันดีเซล ที่ กทม. 9.00 - 9.99 บาท/ลิตร เฉลี่ย 9.50 บาท /ลิตร)

ระยะขนส่ง	ค่าบรรทุก	ค่าบรรทุก	ระยะขนส่ง	ค่าบรรทุก	ค่าบรรทุก	ระยะขนส่ง	ค่าบรรทุก	ค่าบรรทุก
กม.	บาท/ตัน	บาท/ ลบม.	กม.	บาท/ตัน	บาท/ ลบม.	กม.	บาท/ตัน	บาท/ ลบม.
1	4.1	5.73	41	49.57	69.4	81	97.29	136.21
2	4.93	6.91	42	50.76	71.07	82	98.49	137.88
3	5.77	8.08	43	51.96	72.74	83	99.68	139.55
4	6.61	9.25	44	53.15	74.41	84	100.87	141.22
5	7.45	10.43	45	54.34	76.08	85	102.07	142.89
6	8.28	11.6	46	55.53	77.75	86	103.26	144.56
7	9.12	12.77	47	56.73	79.42	87	104.45	146.23
8	10.2	14.28	48	57.92	81.09	88	105.65	147.9
9	11.39	15.95	49	59.11	82.76	89	106.84	149.57
10	12.58	17.62	50	60.31	84.43	90	108.03	151.24
11	13.78	19.29	51	61.5	86.1	91	109.22	152.91
12	14.97	20.96	52	62.69	87.77	92	110.42	154.59
13	16.16	22.63	53	63.89	89.44	93	111.61	156.26
14	17.36	24.3	54	65.08	91.11	94	112.8	157.93
15	18.55	25.97	55	66.27	92.78	95	114	159.6
16	19.74	27.64	56	67.47	94.45	96	115.19	161.27
18	30.98	29.31	57	68.66	96.12	97	116.38	162.94
19	23.32	32.65	59	71.05	99.46	99	117.77	166.28
20	24.51	34.32	60	72.24	101.13	100	119.96	167.95
21	25.71	35.99	61	73.43	102.8	101	121.16	169.62
22	26.9	37.66	62	74.62	104.47	102	122.35	171.29
23	28.09	39.33	63	75.82	106.14	103	123.54	172.96
24	29.29	41	64	77.01	107.82	104	124.74	174.63
25	30.48	42.67	65	78.2	109.49	105	125.93	176.3
26	31.67	44.34	66	79.4	111.16	106	127.12	177.97
27	32.87	46.01	67	80.59	112.83	107	128.31	179.64
28	34.06	47.68	68	81.78	114.5	108	129.51	181.31
29	35.25	49.35	69	82.98	116.17	109	130.7	182.98
30	36.45	51.02	70	84.17	117.84	110	131.89	184.65
31	37.64	52.69	71	85.36	119.51	111	133.09	186.32
32	38.83	54.36	72	86.56	121.18	112	134.28	187.99
33	40.02	56.03	73	87.75	122.85	113	135.47	189.66
34	41.22	57.7	74	88.94	124.52	114	136.67	191.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง

ภูมิประเทศเป็นที่ราบ ทางผิวลาดยาง ปริมาณการจราจรปกติ

(น้ำมันดีเซล ที่ กทม. 9.00 - 9.99 บาท/ลิตร เฉลี่ย 9.50 บาท /ลิตร)

ระยะขนส่ง	ค่าบรรทุก	ค่าบรรทุก	ระยะขนส่ง	ค่าบรรทุก	ค่าบรรทุก	ระยะขนส่ง	ค่าบรรทุก	ค่าบรรทุก
กม.	บาท/ตัน	บาท/ ลบม.	กม.	บาท/ตัน	บาท/ ลบม.	กม.	บาท/ตัน	บาท/ ลบม.
36	43.6	61.05	76	91.33	127.86	116	139.05	194.67
37	44.8	62.72	77	92.52	129.53	117	140.25	196.34
38	45.99	64.39	78	93.71	131.2	118	141.44	198.01
39	47.18	66.06	79	94.91	132.87	119	142.63	199.68
40	48.38	67.73	80	96.1	134.54	120	143.83	201.36
121	145.02	203.03	148	177.23	248.13	175	209.45	293.22
122	146.21	204.7	149	178.43	249.8	176	210.64	294.9
123	147.4	206.37	150	179.62	254.47	177	211.83	296.57
124	148.6	208.04	151	180.81	253.14	178	213.03	298.24
125	149.79	209.71	152	182	254.81	179	214.22	299.91
126	150.98	211.38	153	183.2	256.48	180	215.41	301.58
127	152.18	213.05	154	184.39	258.15	181	216.6	303.58
128	153.37	214.72	155	185.58	259.82	182	217.8	304.92
129	154.56	216.39	156	186.78	261.49	183	218.99	306.59
130	155.76	218.06	157	187.97	263.16	184	220.18	308.26
131	156.95	219.73	158	189.16	264.83	185	221.38	309.93
132	158.14	221.4	159	190.36	266.5	186	222.57	311.6
133	159.34	223.07	160	191.55	268.17	187	223.76	313.27
134	160.53	224.74	161	192.74	269.84	188	224.96	314.94
135	161.72	226.41	162	193.94	271.51	189	226.15	316.61
136	162.91	228.08	163	195.13	273.18	190	227.34	318.28
137	164.11	229.75	164	196.32	274.85	191	228.54	319.95
138	165.3	231.42	165	197.52	276.52	192	229.73	321.62
139	166.49	233.09	166	198.71	278.19	193	230.92	323.29
140	167.69	234.76	167	199.9	279.86	194	232.12	324.96
141	168.88	236.43	168	201.09	281.53	195	233.31	326.63
142	170.07	238.1	169	202.29	283.2	196	234.5	328.3
143	171.27	239.77	170	203.48	284.87	197	235.69	329.97
144	172.46	241.44	171	204.67	286.54	198	236.89	331.64
145	173.65	243.11	172	205.87	288.21	199	238.08	333.31
146	174.85	244.78	173	207.06	289.88	200	239.27	334.98
147	176.04	246.45	174	208.25	291.55	201 - 1000	@ 1.19	@ 1.67
							ต่อ กม.	ต่อ กม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุป

(1) เมื่อเทียบกับยางมะตอย AC 60 -70 ยาง PMA.จะมีความแข็งที่อุณหภูมิ 25°C เท่ากัน คือ มีค่า Penetration ระหว่าง 60 - 70 เหมือนกัน แต่ค่าความหนืดของยาง PMA. จะสูงกว่ายาง 60 - 70 มาก ยางที่มีความหนืดสูง เมื่อผสมทำผิวทาง Asphalt Concrete จะให้ความแข็งแรง รับน้ำหนักได้สูง ไม่เสียรูปร่าง (Deformation) ได้ง่าย

(2) Temperature Susceptibility ต่ำ ซึ่งหมายความว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางด้าน Consistency น้อยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป วัดได้ด้วยค่า PI (Penetration Index) ค่า PI สูง หมายความว่ายางมีค่า Temperature Susceptibility ต่ำ

เมื่อเทียบกับยาง AC 60 - 70 ซึ่งมีค่า PI เป็นลบ (น้อยกว่าศูนย์) ในขณะที่ยาง PMA. มีค่า PI ไม่น้อยกว่า +3 การที่ยาง PMA. มีค่า PI สูงแสดงว่ามันไม่เกิดการอ่อนตัวมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของแอสฟัลท์ คอนกรีต ไม่ลดลงมาก เมื่ออุณหภูมิผิวทางสูงมาก ช่วยไม่ให้เกิดร่องล้อ หรือเสียรูปร่าง (Deform) ในลักษณะอื่น เช่น Shoving (ผิวทางถูกแรงล้อรถผลักให้ไหลไปบวมปูดแต่ไม่ Slip) แต่ในทางกลับกัน ที่อุณหภูมิต่ำ ยาง PMA. จะไม่แข็งแรงเปราะยังคงมีความเหนียว (วัดด้วยค่า Ductility ที่อุณหภูมิ 13°C หรือต่ำกว่าได้) ซึ่งช่วยให้ผิวทางไม่เกิดการแตกร้าว

(3) Softening Point ของยาง PMA. สูงประมาณ 70°C ในขณะที่ยาง AC 60 - 70 มีค่าประมาณ 50°C ซึ่งหมายความว่าผิวทาง Asphalt Concrete ที่ผสมด้วยยาง AC 60 - 70 มีโอกาสเกิดปัญหายางเยิ้มที่ผิวได้ง่าย ในขณะที่ผิวทางที่ใช้ยาง PMA. จะไม่เกิดปัญหานี้

(4) ยาง PMA. มีคุณสมบัติยืดหยุ่น ได้ดี ซึ่ง ตรวจสอบได้ด้วยการทดลองหาค่า Torsional Recovery ยาง PMA. มีค่า Torsional Recovery ที่อุณหภูมิ 25°C ประมาณ 85 - 90% ในขณะที่ยาง AC 60 - 70 มีค่าเพียง 4 - 5%

ผิวทาง Asphalt Concrete ที่ใช้ยาง PMA. จะมีความยืดหยุ่นสูง ไม่แข็งเปราะช่วยให้ผิวทางไม่เกิดร่องล้อได้ง่าย เพราะขณะที่ผิวทางยุบตัวตามน้ำหนักของล้อรถ มันสามารถกลับคืนตัวได้เมื่อล้อรถผ่านไป นอกจากนี้ความยืดหยุ่นของผิวทาง ทำให้ผิวทางมีคุณสมบัติ Flexibility สูง ช่วยแก้ปัญหาผิวทางแตกเพราะเกิดการล้า (Fatigue Crack)

(5) ยาง PMA. มีค่า Cohesion สูง ซึ่งหมายถึงยาง PMA. มีค่า Tensile Strength สูงนั่นเอง ทดสอบด้วยวิธีการทดลองหาค่า Toughness ยาง PMA. จะมีค่า Toughness ไม่น้อยกว่า 250 กก.-ซม. ซึ่งสูงกว่ายาง AC 60 - 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาง PMA. มีค่า Cohesion สูงเมื่อใช้ทำผิวทาง Asphalt Concrete จะให้แรงยึดเหนี่ยวหินมวลรวมสูง ทำให้ไม่เกิดปัญหา Reveling (ผิวทางสึกกร่อนเป็นหน้าข้าวตัง)

(6) ถนนแอสฟัลท์คอนกรีตในเมืองไทยที่ใช้ PMA เป็นตัวเชื่อมประสานยังมีไม่มาก เพราะถนนเส้นแรกที่ใช้ PMA สร้างเสร็จเมื่อประมาณ 3 ปีที่แล้ว ดังนั้นข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกับถนน PMA จึงยังมีไม่มากนัก จึงเป็นการยากที่จะสรุปว่า ราคาที่เพิ่มขึ้นจะมีความเหมาะสม หรือมีความคุ้มทุนมากน้อยแค่ไหน คงต้องอาศัยการเก็บข้อมูลอีกสักระยะ จึงจะสามารถสรุปได้ถึงข้อดีข้อด้อยในเชิงเศรษฐศาสตร์

(7) การออกแบบถนนของเมืองไทยใช้วิธีที่เรียกว่า Empirical Method ซึ่งไม่ได้นำคุณสมบัติที่ดีของ PMA ที่ดีกว่า ยาง AC ธรรมดามาใช้ในการออกแบบ ดังนั้นความหนาที่ใช้ในการก่อสร้างจึงเท่ากับความหนาที่ออกแบบผิวทางโดยใช้ยาง AC ธรรมดา และเนื่องจากราคาที่สูงกว่าของ PMA ทำให้ ถนนที่ใช้ PMA จึงยังไม่เป็นที่นิยมมากนัก แต่ถ้าหากเมืองไทยเปลี่ยนไปใช้วิธีการออกแบบเป็น Analytical Method ซึ่งใช้ในประเทศแถบยุโรป ถึงวันนั้นถนนที่ใช้ PMA อาจจะได้รับความนิยมมากขึ้น เพราะราคาที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน แต่ให้คุณสมบัติที่ดีกว่าหลายเท่า ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลดลง อายุการใช้งานก็นานขึ้น ไม่ต้องทำการซ่อมบำรุงบ่อยครั้ง

ค่า E (Resilient Modulus) ที่ใช้ในการคำนวณเพื่อการเปรียบเทียบราคาในโครงงานพิเศษนี้ได้จากวารสารต่างประเทศ เนื่องจากในเมืองไทยยังไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าดังกล่าวได้ ทางผู้จัดทำได้ลองพยายามใช้ อุปกรณ์ที่มีอยู่ แต่ค่าที่ได้ก็ไม่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลอง อัตราส่วนผสมของโพลิเมอร์ ที่สามารถทำให้คุณสมบัติของยาง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง คือ อัตราส่วนของยางที่มี SIS 7 % และ SIS : EVA = 6 % : 1 % แต่เนื่องจากราคาของ SIS เท่ากับ 88 บาท/ กิโลกรัม ในขณะที่ราคาของ EVA เท่ากับ 76 บาท/กิโลกรัม เมื่อคุณสมบัติของมีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นในทางการค้าจึงน่าจะเลือกใช้ อัตราส่วนที่มี SIS : EVA = 6 :1 % นอกจากจะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย
2. ในการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของโพลิเมอร์กับยางแอสฟัลท์ จากผลการทดลองโพลิเอทิลีน (PE) และ โพลิพรอบโพลีน (PP) ไม่สามารถละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกับยางได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมต่ำเกินไป ซึ่งถ้าหากเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น โพลิเมอร์ทั้งสองชนิดอาจจะสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้แต่ที่ผู้จัดทำไม่ได้ทำการทดลองให้เห็นผล อันเนื่องมาจาก อุณหภูมิที่สูงกว่า 190 c จะส่งผลให้ยางเสื่อมคุณภาพ และอีกอย่างคือจะทำให้การทำงานโดยเฉพาะในขั้นตอนการปูผิวมีความยุ่งยาก รวมทั้งค่าใช้จ่ายในผลิตก็จะสูงขึ้นด้วย เพราะต้องใช้พลังงานในการให้ความร้อนในขั้นตอนการผลิต และการเก็บรักษา
3. ผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่า สไตรีน - ไอโซพรีน - สไตรีน (SIS) และ เอทิลีน - ไวนิล-อะซิเดต (EVA) จะทำให้ยางแอสฟัลท์มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น แต่การทดลองนี้ก็เป็นเพียงการหาคุณสมบัติขั้นต้นของยางเท่านั้น ถ้าหากจะมีการนำไปใช้งานจริงก็ควรจะต้องมีการทดอลงเพิ่มเติมในส่วนของการนำมวลรวมมาผสมเข้าด้วยกัน เช่น การทดลองหาความต้านทานการไหลของวัสดุผสม (Marshall)
4. ความเหมาะสมของการใช้ถนน PMA จากการศึกษา ถนนที่มี ปริมาณ ADT สูงกว่า 10,000 คัน ก็ควรจะใช้ PMA เพราะถ้าหากใช้ ยาง AC ธรรมดา จะทำให้ถนนเกิดความเสียหายมากส่งผลให้อายุการใช้งานน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST AT TIPCO ASPHALT PUBLIC CO.,LTD
QUALITY CONTROL DEPARTMENT

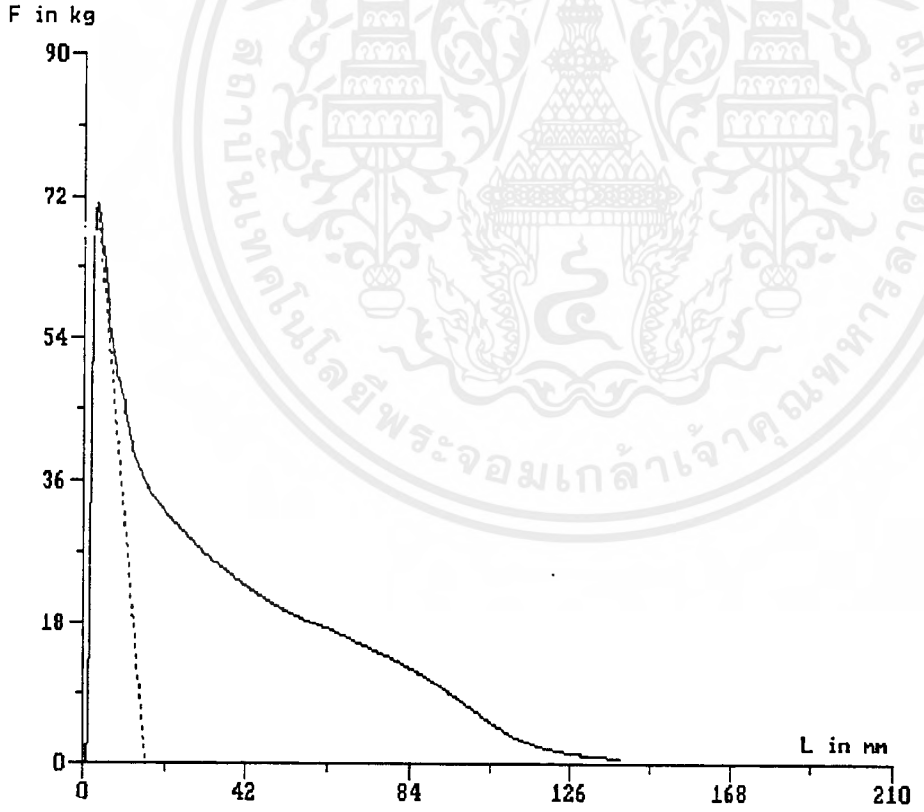
Date : 06.11.97

MATERIAL : Polymer Modifield Asphalt
TESTER :
TEST NUMBER :
SAMPLE NUMBER: sis 7%

PARAMETER :
START E-MODULUS [% Fmax]: 90
END E-MODULUS [% Fmax]: 80
TEST SPEED : 500 mm/m

TEST RESULTS :

Toughness kg.cm	Tenacity kg.cm.
246.824	191.513



Zwick PC Software Z1008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST AT TIPCO ASPHALT PUBLIC CO.,LTD
QUALITY CONTROL DEPARTMENT

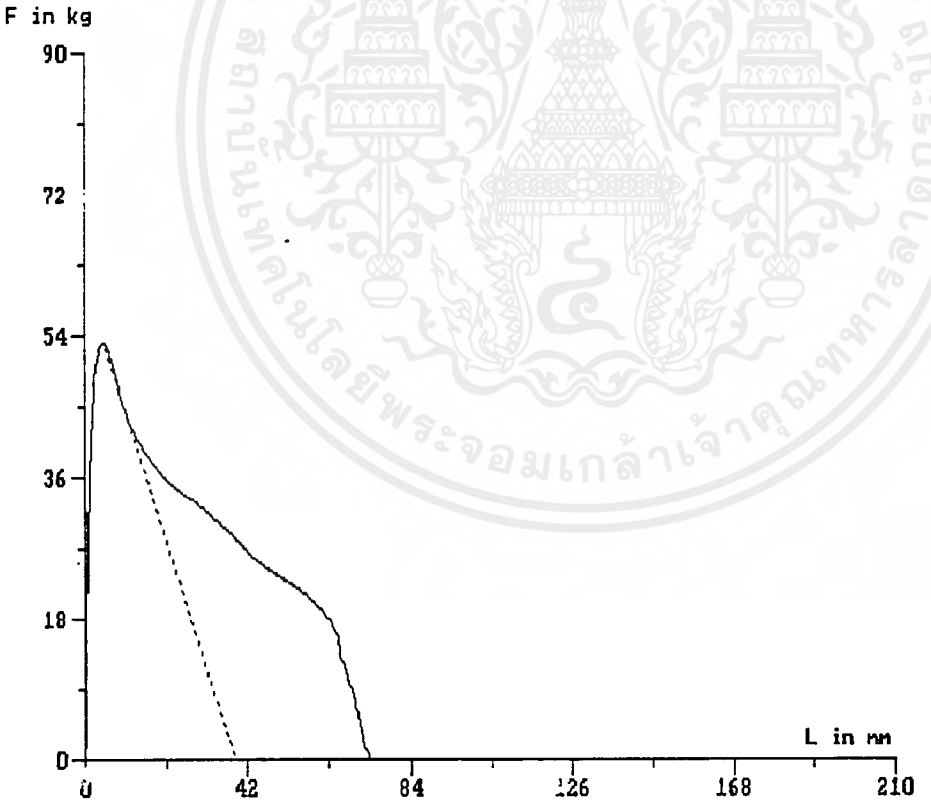
Date : 06.11.97

MATERIAL : Polymer Modifield Asphalt
TESTER :
TEST NUMBER :
SAMPLE NUMBER: eva 7%

PARAMETER :
START E-MODULUS [% Fmax]: 90
END E-MODULUS [% Fmax]: 80
TEST SPEED : 50 mm/m

TEST RESULTS :

Toughness kg.cm	Tenacity kg.cm
213.133	102.646



Zwick PC Software Z1008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST AT TIPCO ASPHALT PUBLIC CO.,LTD
QUALITY CONTROL DEPARTMENT

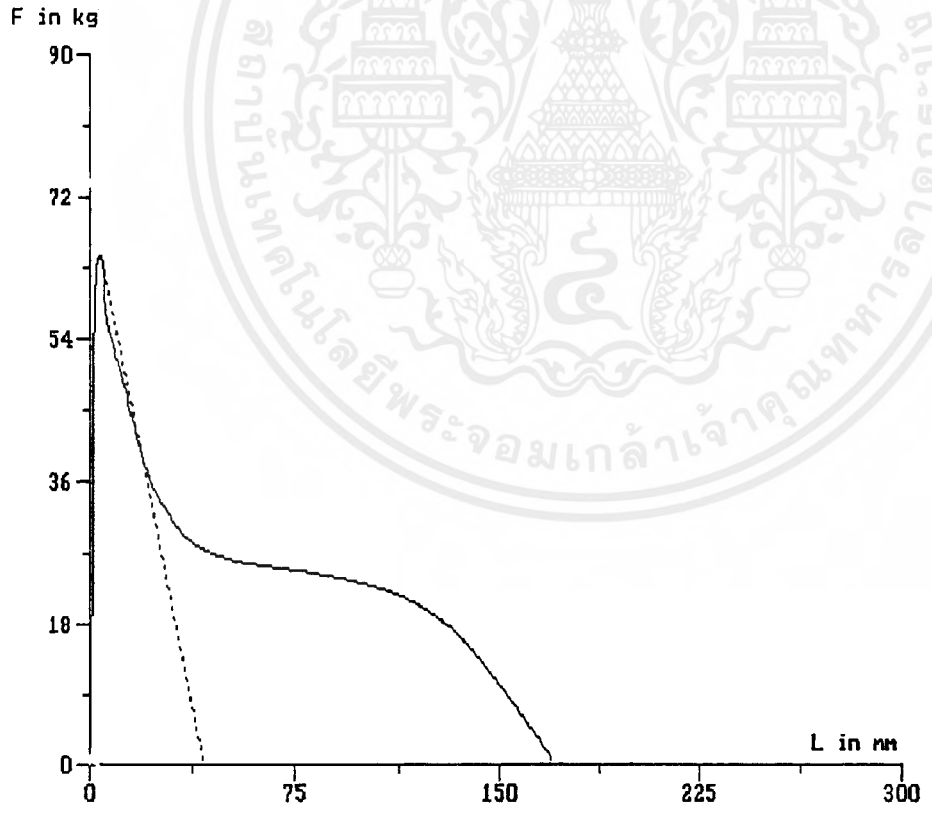
Date : 07.11.97

MATERIAL : Polymer Modifield Asphalt
TESTER :
TEST NUMBER :
SAMPLE NUMBER: sis 5% : eva 2%

PARAMETER :
START E-MODULUS [% Fmax]: 90
END E-MODULUS [% Fmax]: 80
TEST SPEED : 500 mm/m

TEST RESULTS :

Toughness kg.cm	Tenacity kg.cm
418.010	276.729



Zwick PC Software Z1008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST AT TIPCO ASPHALT PUBLIC CO.,LTD
QUALITY CONTROL DEPARTMENT

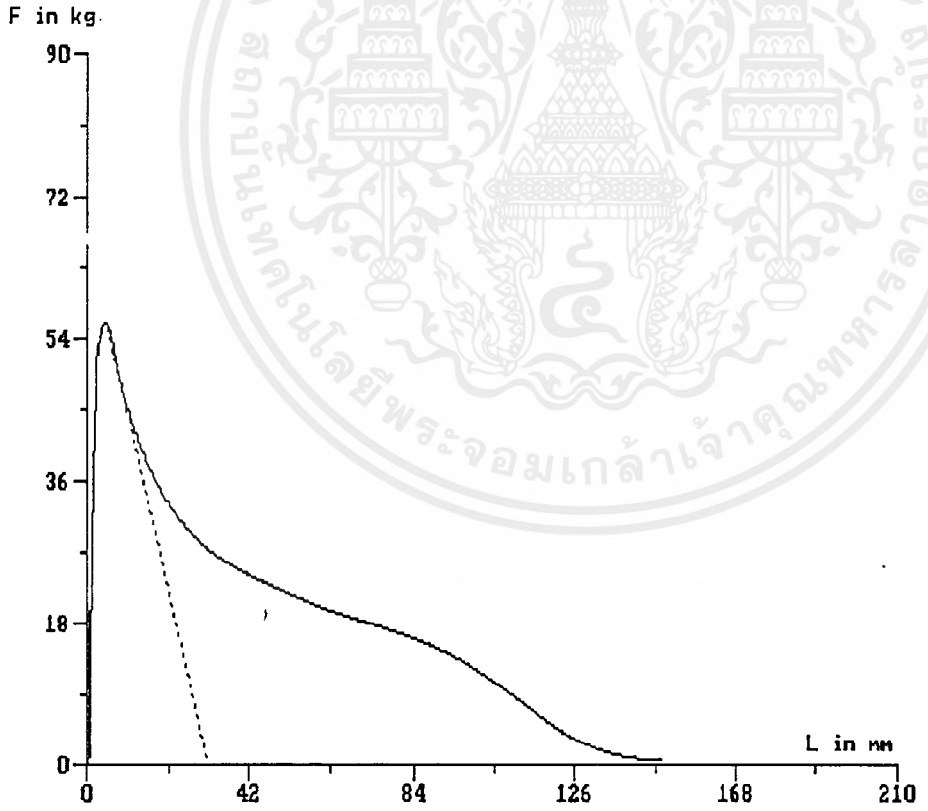
Date : 07.11.97

MATERIAL : Polymer Modifield Asphalt
TESTER :
TEST NUMBER :
SAMPLE NUMBER: sis 6% : eva 1%

PARAMETER :
START E-MODULUS [% Fmax]: 90
END E-MODULUS [% Fmax]: 80
TEST SPEED : 500 mm/m

TEST RESULTS :

Toughness kg.cm	Tenacity kg.cm
276.492	183.645



Zwick PC Software Z1008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST AT TIPCO ASPHALT PUBLIC CO.,LTD
QUALITY CONTROL DEPARTMENT

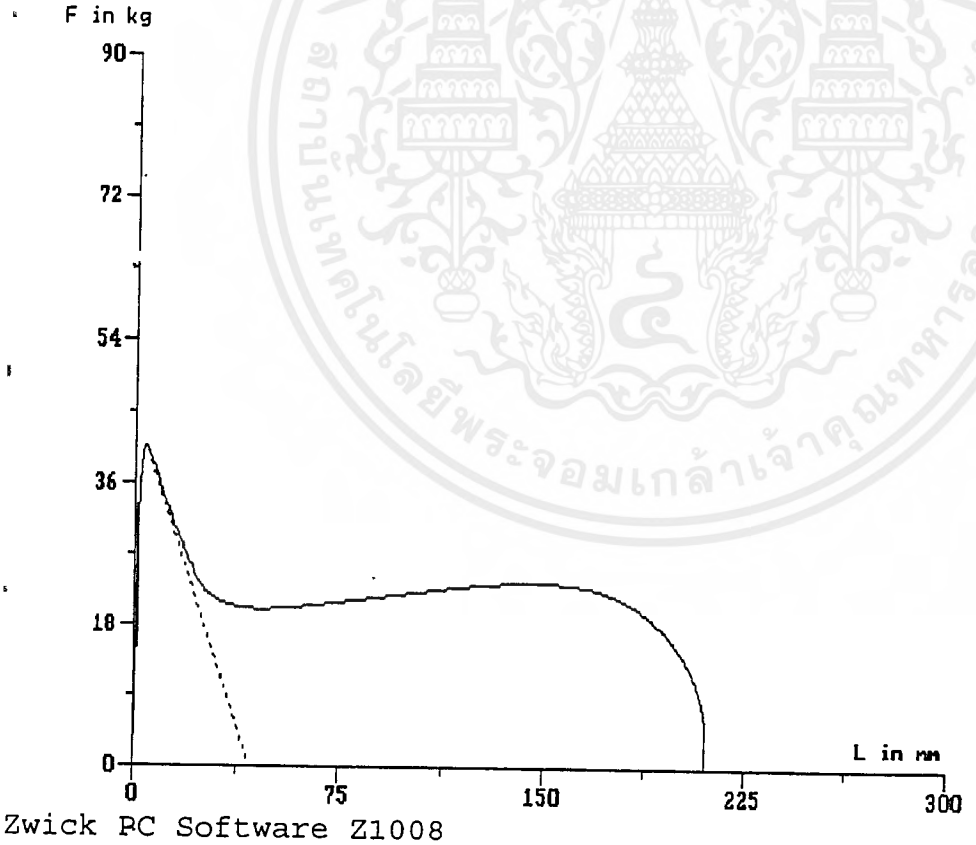
Date : 07.11.97

MATERIAL : Polymer Modifield Asphalt
TESTER :
TEST NUMBER :
SAMPLE NUMBER: sis 7% : eva 1%

PARAMETER :
START E-MODULUS [% Fmax]: 90
END E-MODULUS [% Fmax]: 80
TEST SPEED : 500 mm/m

TEST RESULTS :

Toughness kg.cm	Tenacity kg.cm
467.083	376.242



Zwick RC Software Z1008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEST AT TIPCO ASPHALT PUBLIC CO.,LTD
QUALITY CONTROL DEPARTMENT

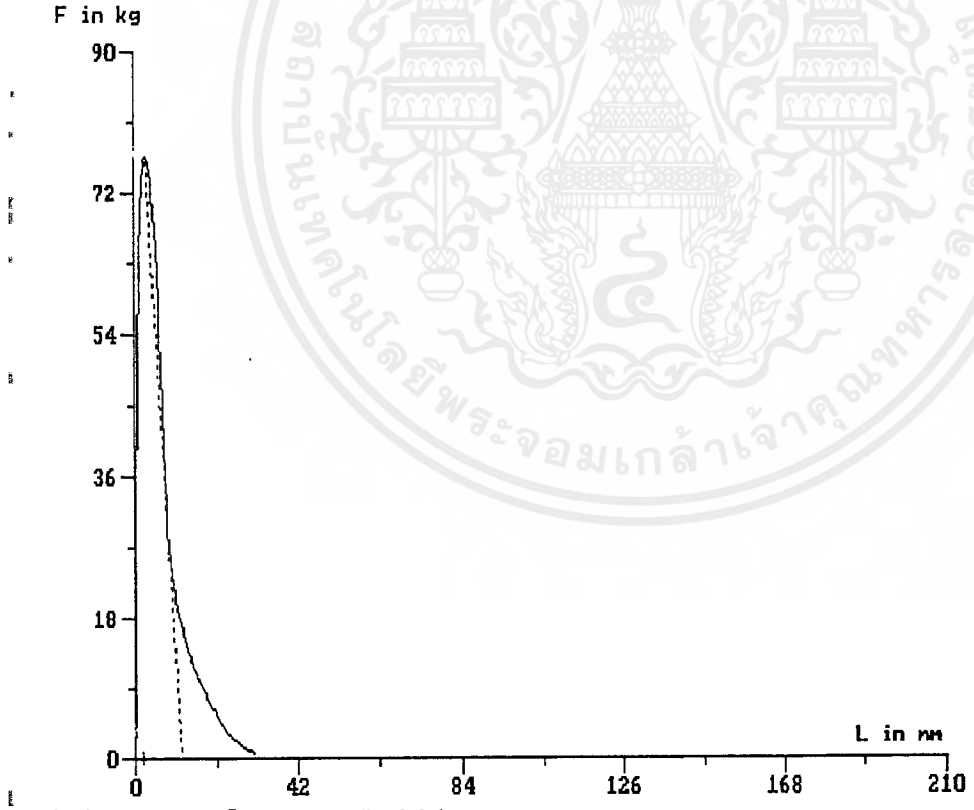
Date : 06.11.97

MATERIAL : Polymer Modifield Asphalt
TESTER :
TEST NUMBER :
SAMPLE NUMBER: ac 100%

PARAMETER :
START E-MODULUS [% Fmax]: 90
END E-MODULUS [% Fmax]: 80
TEST SPEED : 500 mm/m

TEST RESULTS :

Toughness kg.cm	Tenacity kg.cm
70.348	19.017



Zwick PC Software Z1008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 05/11/97 Time: 08:39
File: Sample: SIS 6%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	59.4	1485	276.2	18.6	135	0
2	20	55.7	1392	259.0	18.6	135	0
3	20	52.9	1322	246.0	18.6	135	0
4	20	51.4	1285	239.0	18.6	135	0
5	20	49.9	1247	232.0	18.6	135	0
6	20	49.0	1225	227.9	18.6	135	0
7	20	48.1	1202	223.7	18.6	135	0
8	20	47.2	1180	219.5	18.6	135	0
9	20	46.8	1170	217.6	18.6	135	0
10	20	46.1	1152	214.4	18.6	135	0
11	20	45.7	1142	212.5	18.6	135	0
12	20	45.3	1132	210.6	18.6	135	0
13	20	45.0	1125	209.3	18.6	135	0
14	20	44.7	1117	207.9	18.6	135	0
15	20	44.2	1105	205.5	18.6	135	0
16	20	44.3	1107	206.0	18.6	135	0
17	20	43.9	1097	204.1	18.6	135	0
18	20	43.7	1092	203.2	18.6	135	0
19	20	43.7	1092	203.2	18.6	135	0
20	20	43.4	1085	201.8	18.6	135	0
21	20	43.4	1085	201.8	18.6	135	0
22	20	43.2	1080	200.9	18.6	135	0
23	20	43.2	1080	200.9	18.6	135	0
24	20	43.0	1075	200.0	18.6	135	0
25	20	42.9	1072	199.5	18.6	135	0
26	20	42.9	1072	199.5	18.6	135	0
27	20	42.7	1067	198.6	18.6	135	0
28	20	42.8	1070	199.0	18.6	135	0
29	20	42.7	1067	198.6	18.6	135	0
30	20	42.7	1067	198.6	18.6	135	0
31	20	42.7	1067	198.6	18.6	135	0
32	20	42.6	1065	198.1	18.6	135	0
33	20	42.7	1067	198.6	18.6	135	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 05/11/97 Time: 09:08
File: Sample: sis 6%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	22.2	555.0	103.2	18.6	165	0
2	20	20.0	500.0	93.0	18.6	165	0
3	20	18.8	470.0	87.4	18.6	165	0
4	20	18.2	455.0	84.6	18.6	165	0
5	20	17.5	437.5	81.4	18.6	165	0
6	20	17.0	425.0	79.1	18.6	165	0
7	20	16.6	415.0	77.2	18.6	165	0
8	20	16.2	405.0	75.3	18.6	165	0
9	20	15.9	397.5	73.9	18.6	165	0
10	20	15.5	387.5	72.1	18.6	165	0
11	20	15.4	385.0	71.6	18.6	165	0
12	20	15.1	377.5	70.2	18.6	165	0
13	20	14.9	372.5	69.3	18.6	165	0
14	20	14.8	370.0	68.8	18.6	165	0
15	20	14.6	365.0	67.9	18.6	165	0
16	20	14.5	362.5	67.4	18.6	165	0
17	20	14.3	357.5	66.5	18.6	165	0
18	20	14.3	357.5	66.5	18.6	165	0
19	20	14.2	355.0	66.0	18.6	165	0
20	20	14.1	352.5	65.6	18.6	165	0
21	20	14.1	352.5	65.6	18.6	165	0
22	20	14.0	350.0	65.1	18.6	165	0
23	20	13.9	347.5	64.6	18.6	165	0
24	20	13.9	347.5	64.6	18.6	165	0
25	20	13.9	347.5	64.6	18.6	165	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 06/11/97 Time: 16:06
File: Sample: eva 7%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	64.1	1602	298.1	18.6	135	0
2	20	61.0	1525	283.7	18.6	135	0
3	20	59.3	1482	275.7	18.6	135	0
4	20	57.6	1440	267.8	18.6	135	0
5	20	56.6	1415	263.2	18.6	135	0
6	20	55.9	1397	259.9	18.6	135	0
7	20	55.1	1377	256.2	18.6	135	0
8	20	54.8	1370	254.8	18.6	135	0
9	20	54.5	1362	253.4	18.6	135	0
10	20	54.3	1357	252.5	18.6	135	0
11	20	54.3	1357	252.5	18.6	135	0
12	20	54.2	1355	252.0	18.6	135	0
13	20	54.1	1352	251.6	18.6	135	0
14	20	53.7	1342	249.7	18.6	135	0
15	20	53.8	1345	250.2	18.6	135	0
16	20	53.6	1340	249.2	18.6	135	0
17	20	53.4	1335	248.3	18.6	135	0
18	20	53.5	1337	248.8	18.6	135	0
19	20	53.3	1332	247.8	18.6	135	0
20	20	53.3	1332	247.8	18.6	135	0
21	20	53.2	1330	247.4	18.6	135	0
22	20	53.3	1332	247.8	18.6	135	0
23	20	53.3	1332	247.8	18.6	135	0
24	20	53.1	1327	246.9	18.6	135	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 06/11/97 Time: 16:26
File: Sample: eva 7%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	16.2	405.0	75.3	18.6	165	0
2	20	15.9	397.5	73.9	18.6	165	0
3	20	15.9	397.5	73.9	18.6	165	0
4	20	16.0	400.0	74.4	18.6	165	0
5	20	15.9	397.5	73.9	18.6	165	0
6	20	15.8	395.0	73.5	18.6	165	0
7	20	15.8	395.0	73.5	18.6	165	0
8	20	15.8	395.0	73.5	18.6	165	0
9	20	15.6	390.0	72.5	18.6	165	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 07/11/97 Time: 14:37
File: Sample: SIS 5% : EVA 2%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	66.8	1670	310.6	18.6	135	0
2	20	65.8	1645	306.0	18.6	135	0
3	20	64.9	1622	301.8	18.6	135	0
4	20	64.4	1610	299.5	18.6	135	0
5	20	64.2	1605	298.5	18.6	135	0
6	20	63.9	1597	297.1	18.6	135	0
7	20	63.8	1595	296.7	18.6	135	0
8	20	63.7	1592	296.2	18.6	135	0
9	20	63.6	1590	295.7	18.6	135	0
10	20	63.6	1590	295.7	18.6	135	0
11	20	63.6	1590	295.7	18.6	135	0
12	20	63.5	1587	295.3	18.6	135	0
13	20	63.5	1587	295.3	18.6	135	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 07/11/97 Time: 14:51
File: Sample: SIS 5% : EVA 2%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	20.5	512.5	95.3	18.6	165	0
2	20	20.3	507.5	94.4	18.6	165	0
3	20	20.2	505.0	93.9	18.6	165	0
4	20	20.0	500.0	93.0	18.6	165	0
5	20	19.9	497.5	92.5	18.6	165	0
6	20	19.9	497.5	92.5	18.6	165	0
7	20	19.7	492.5	91.6	18.6	165	0
8	20	19.7	492.5	91.6	18.6	165	0
9	20	19.6	490.0	91.1	18.6	165	0
10	20	19.5	487.5	90.7	18.6	165	0
11	20	19.4	485.0	90.2	18.6	165	0
12	20	19.3	482.5	89.7	18.6	165	0
13	20	19.4	485.0	90.2	18.6	165	0
14	20	19.3	482.5	89.7	18.6	165	0
15	20	19.3	482.5	89.7	18.6	165	0
16	20	19.3	482.5	89.7	18.6	165	0
17	20	19.2	480.0	89.3	18.6	165	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 06/11/97 Time: 16:48
File: Sample: sis 6% : eva 1%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	70.0	1750	325.5	18.6	135	0
2	20	69.0	1725	320.9	18.6	135	0
3	20	72.9	1822	339.0	18.6	135	0
4	20	67.3	1682	312.9	18.6	135	0
5	20	66.6	1665	309.7	18.6	135	0
6	20	66.6	1665	309.7	18.6	135	0
7	20	66.2	1655	307.8	18.6	135	0
8	20	65.5	1637	304.6	18.6	135	0
9	20	65.4	1635	304.1	18.6	135	0
10	20	65.0	1625	302.3	18.6	135	0
11	20	64.7	1617	300.9	18.6	135	0
12	20	64.6	1615	300.4	18.6	135	0
13	20	64.3	1607	299.0	18.6	135	0
14	20	64.2	1605	298.5	18.6	135	0
15	20	63.9	1597	297.1	18.6	135	0
16	20	64.0	1600	297.6	18.6	135	0
17	20	63.7	1592	296.2	18.6	135	0
18	20	63.6	1590	295.7	18.6	135	0
19	20	63.6	1590	295.7	18.6	135	0
20	20	63.4	1585	294.8	18.6	135	0
21	20	63.4	1585	294.8	18.6	135	0
22	20	63.4	1585	294.8	18.6	135	0
23	20	63.2	1580	293.9	18.6	135	0
24	20	63.3	1582	294.3	18.6	135	0
25	20	63.2	1580	293.9	18.6	135	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 07/11/97 Time: 08:52
File: Sample: sis 6% : eva 1%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	23.9	597.5	111.1	18.6	165	0
2	20	23.0	575.0	107.0	18.6	165	0
3	20	22.7	567.5	105.6	18.6	165	0
4	20	22.5	562.5	104.6	18.6	165	0
5	20	22.4	560.0	104.2	18.6	165	0
6	20	22.4	560.0	104.2	18.6	165	0
7	20	22.4	560.0	104.2	18.6	165	0
8	20	22.4	560.0	104.2	18.6	165	0
9	20	22.3	557.5	103.7	18.6	165	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 06/11/97 Time: 09:46
File: Sample: sis 7%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	83.0	2075	386.0	18.6	135	0
2	20	80.8	2020	375.7	18.6	135	0
3	20	78.8	1970	366.4	18.6	135	0
4	20	77.2	1930	359.0	18.6	135	0
5	20	75.8	1895	352.5	18.6	135	0
6	20	74.6	1865	346.9	18.6	135	0
7	20	73.6	1840	342.2	18.6	135	0
8	20	72.6	1815	337.6	18.6	135	0
9	20	71.8	1795	333.9	18.6	135	0
10	20	71.0	1775	330.2	18.6	135	0
11	20	70.5	1762	327.8	18.6	135	0
12	20	70.1	1752	326.0	18.6	135	0
13	20	69.6	1740	323.6	18.6	135	0
14	20	69.2	1730	321.8	18.6	135	0
15	20	68.8	1720	319.9	18.6	135	0
16	20	68.6	1715	319.0	18.6	135	0
17	20	68.2	1705	317.1	18.6	135	0
18	20	68.0	1700	316.2	18.6	135	0
19	20	67.8	1695	315.3	18.6	135	0
20	20	67.6	1690	314.3	18.6	135	0
21	20	67.5	1687	313.9	18.6	135	0
22	20	67.3	1682	312.9	18.6	135	0
23	20	67.2	1680	312.5	18.6	135	0
24	20	67.1	1677	312.0	18.6	135	0
25	20	66.9	1672	311.1	18.6	135	0
26	20	66.9	1672	311.1	18.6	135	0
27	20	66.7	1667	310.2	18.6	135	0
28	20	66.7	1667	310.2	18.6	135	0
29	20	66.7	1667	310.2	18.6	135	0
30	20	66.5	1662	309.2	18.6	135	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4 21 Date: 06/11/97 Time: 09:05
File: Sample: sis 7%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
50	20	21.4	535.0	99.5	18.6	165	0
51	20	21.3	532.5	99.0	18.6	165	0
52	20	21.4	535.0	99.5	18.6	165	0
53	20	21.8	545.0	101.4	18.6	165	0
54	20	21.3	532.5	99.0	18.6	165	0
55	20	21.4	535.0	99.5	18.6	165	0
56	20	21.3	532.5	99.0	18.6	165	0
57	20	21.2	530.0	98.6	18.6	165	0
58	20	21.3	532.5	99.0	18.6	165	0
59	20	21.4	535.0	99.5	18.6	165	0
60	20	21.3	532.5	99.0	18.6	165	0
61	20	21.3	532.5	99.0	18.6	165	0
62	20	21.4	535.0	99.5	18.6	165	0
63	20	21.4	535.0	99.5	18.6	165	0
64	20	21.4	535.0	99.5	18.6	165	0
65	20	21.4	535.0	99.5	18.6	165	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 07/11/97 Time: 13:03
File: Sample: AC 100%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	18.0	450.0	83.7	18.6	135	0
2	20	17.4	435.0	80.9	18.6	135	0
3	20	17.1	427.5	79.5	18.6	135	0
4	20	16.7	417.5	77.7	18.6	135	0
5	20	16.4	410.0	76.3	18.6	135	0
6	20	16.2	405.0	75.3	18.6	135	0
7	20	15.9	397.5	73.9	18.6	135	0
8	20	15.8	395.0	73.5	18.6	135	0
9	20	15.6	390.0	72.5	18.6	135	0
10	20	15.4	385.0	71.6	18.6	135	0
11	20	15.3	382.5	71.1	18.6	135	0
12	20	15.1	377.5	70.2	18.6	135	0
13	20	15.1	377.5	70.2	18.6	135	0
14	20	15.0	375.0	69.8	18.6	135	0
15	20	14.9	372.5	69.3	18.6	135	0
16	20	14.8	370.0	68.8	18.6	135	0
17	20	14.7	367.5	68.4	18.6	135	0
18	20	14.7	367.5	68.4	18.6	135	0
19	20	14.7	367.5	68.4	18.6	135	0
20	20	14.6	365.0	67.9	18.6	135	0
21	20	14.6	365.0	67.9	18.6	135	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 07/11/97 Time: 13:27
File: Sample: AC 100%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	17.6	440.0	81.8	18.6	164	0
2	20	14.8	370.0	68.8	18.6	164	0
3	20	12.7	317.5	59.1	18.6	164	0
4	20	11.1	277.5	51.6	18.6	164	0
5	20	10.4	260.0	48.4	18.6	164	0
6	20	8.7	217.5	40.5	18.6	165	0
7	20	8.0	200.0	37.2	18.6	165	0
8	20	7.4	185.0	34.4	18.6	165	0
9	20	6.8	170.0	31.6	18.6	165	0
10	20	6.5	162.5	30.2	18.6	165	0
11	20	6.1	152.5	28.4	18.6	165	0
12	20	5.9	147.5	27.4	18.6	165	0
13	20	5.6	140.0	26.0	18.6	165	0
14	20	5.4	135.0	25.1	18.6	165	0
15	20	5.2	130.0	24.2	18.6	165	0
16	20	5.1	127.5	23.7	18.6	165	0
17	20	4.9	122.5	22.8	18.6	165	0
18	20	4.8	120.0	22.3	18.6	165	0
19	20	4.7	117.5	21.9	18.6	165	0
20	20	4.7	117.5	21.9	18.6	165	0
21	20	4.6	115.0	21.4	18.6	165	0
22	20	4.6	115.0	21.4	18.6	165	0
23	20	4.5	112.5	20.9	18.6	165	0
24	20	4.5	112.5	20.9	18.6	165	0
25	20	4.4	110.0	20.5	18.6	165	0
26	20	4.4	110.0	20.5	18.6	165	0
27	20	4.4	110.0	20.5	18.6	165	0
28	20	4.3	107.5	20.0	18.6	165	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 07/11/97 Time: 17:03
File: Sample: sis 7% : eva 1%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	27.1	677.5	126.0	18.6	165	0
2	20	26.5	662.5	123.2	18.6	165	0
3	20	26.1	652.5	121.4	18.6	165	0
4	20	25.9	647.5	120.4	18.6	165	0
5	20	25.8	645.0	120.0	18.6	165	0
6	20	25.6	640.0	119.0	18.6	165	0
7	20	25.6	640.0	119.0	18.6	165	0
8	20	25.4	635.0	118.1	18.6	165	0
9	20	25.3	632.5	117.6	18.6	165	0
10	20	25.2	630.0	117.2	18.6	165	0
11	20	25.1	627.5	116.7	18.6	165	0
12	20	25.1	627.5	116.7	18.6	165	0
13	20	25.0	625.0	116.2	18.6	165	0
14	20	25.0	625.0	116.2	18.6	165	0
15	20	24.9	622.5	115.8	18.6	165	0
16	20	24.8	620.0	115.3	18.6	165	0
17	20	24.8	620.0	115.3	18.6	165	0
18	20	24.7	617.5	114.9	18.6	165	0
19	20	24.7	617.5	114.9	18.6	165	0
20	20	24.6	615.0	114.4	18.6	165	0
21	20	24.7	617.5	114.9	18.6	165	0
22	20	24.6	615.0	114.4	18.6	165	0
23	20	24.6	615.0	114.4	18.6	165	0
24	20	24.5	612.5	113.9	18.6	165	0
25	20	24.5	612.5	113.9	18.6	165	0
26	20	24.5	612.5	113.9	18.6	165	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model: RV Spindle: SC4-21 Date: 07/11/97 Time: 16:56
File: Sample: sis 7% : eva 1%

Item #	Speed RPM	Torque %	Viscosity cP	Sh Stress D/cm2	Sh Rate 1/s	Temp °C	T M
1	20	77.9	1947	362.2	18.6	135	0
2	20	77.5	1937	360.4	18.6	135	0
3	20	76.8	1920	357.1	18.6	135	0
4	20	76.6	1915	356.2	18.6	135	0
5	20	76.2	1905	354.3	18.6	135	0
6	20	75.9	1897	352.9	18.6	135	0
7	20	75.7	1892	352.0	18.6	135	0
8	20	75.3	1882	350.1	18.6	135	0
9	20	75.3	1882	350.1	18.6	135	0
10	20	74.8	1870	347.8	18.6	135	0
11	20	74.8	1870	347.8	18.6	135	0
12	20	74.8	1870	347.8	18.6	135	0
13	20	74.4	1860	346.0	18.6	135	0
14	20	74.5	1862	346.4	18.6	135	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. กองวิเคราะห์และวิจัย 2520 ก. วิธีการทดสอบวัสดุก่อสร้าง เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรมทางหลวง กรุงเทพฯ 238 น.
2. กองวิเคราะห์และวิจัย 2520 ข. วิธีการทดสอบวัสดุก่อสร้าง เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรมทางหลวง กรุงเทพฯ 94 น.
3. กองวิเคราะห์และวิจัย 2524 ค. วิธีการทดสอบวัสดุก่อสร้าง เล่ม 3. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรมทางหลวง กรุงเทพฯ 97 น.
4. กองวิเคราะห์และวิจัย 2532 มาตรฐานแอสฟัลท์คอนกรีต. กรมทางหลวง กรุงเทพฯ 48 น.
5. กองวิเคราะห์และวิจัย 2536 Specification for Polymer Modified Asphalt Cement for Asphalt Concrete กรมทางหลวง กรุงเทพฯ 2 น.
6. วัชรินทร์ วิทยกุล 2529 คู่มือปฏิบัติการวัสดุแอสฟัลท์และแอสฟัลติกคอนกรีต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 276 น.
7. สว่าง ศรีวรกูล 2514 Bituminous Material วิชาการฉบับที่ วว.2/2514. กองวิเคราะห์และ วิจัย ของกรมทางหลวง กรุงเทพฯ 17 น.
8. Kenneth R Wardlaw and Scott Shuler , Polymer Modified Asphalt Binders
9. กองฝึกอบรม , ฝ่ายอบรมด้านโยธา , เอกสารประกอบการบรรยาย หมวดวิชาวิศวกรรมการทาง เล่ม 1
10. กองฝึกอบรม , ฝ่ายอบรมด้านโยธา , เอกสารประกอบการบรรยาย หมวดวิชาวิศวกรรมการทางเล่ม 2
11. ดร. ยอดพล ธนาบริบรูณ์ , ไพรัช รุ้งรุจิเมฆ , การทดลองวัสดุแอสฟัลท์ติกคอนกรีต
12. ดร. ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ , การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง
13. ASTM (1995) Annual Book of ASTM Standard , section 4 , (Construction) Volume 04.04 (Roof , Waterproofing , and Bituminous Materials) , American Society For Testing And materials , 1916 Race Street / Philadelphia , PA 19103
14. วัชรินทร์ วิทยกุล , วัสดุทาง Highway Material ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์ , กรุงเทพฯ
15. จิรพัฒน์ โชติกไกร , วิศวกรรมการทาง Highway Engineering , ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์ , กรุงเทพฯ
16. ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ , เคมีโพลิเมอร์พื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้