

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2542. ปฏิบัติการทดสอบวัสดุการทาง. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2531. วิศวกรรมการทาง. กรุงเทพมหานคร: พิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.
- ชยธันว์ พรหมสร. 2541. การวิเคราะห์หาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของวัสดุงานทางโดยวิธี
INDIRECT TENSILE TEST เพื่อใช้ออกแบบโครงสร้างถนนเชิงวิเคราะห์. รายงานฉบับที่ วพ.
167, กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, โรง
พิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.
- ชยธันว์ พรหมสร. 2541. การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์และวัสดุผสมแอส- ฟัลต์
คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารโพลีเมอร์. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง
กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.
- ดิเรก ลาวัณย์ศิริ. 2540. การนำวัสดุท้องถิ่นมาใช้ในงานก่อสร้างถนน. เอกสารวิจัยส่วนบุคคล วิทยาลัย
ป้องกันราชอาณาจักร. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทางหลวง, กรม. 2535. รายการละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง (SPECIFICATIONS FOR
HIGHWAY CONSTRUCTION) เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงคมนาคม.
- ทางหลวง, กรม. 2536. มาตรฐานงานทาง. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงคมนาคม.
- ชนศักดิ์ ใฝ่กระโทก. 2536. อิลาสติคพารามิเตอร์ของดินลูกรังซีเมนต์โดยวิธีอินไดเรคเทนไฮล. วิทยา
นิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษิต, สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2536ก. การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง (Flexible pavement design). วาร
สารทางหลวง. ปีที่30, ฉบับที่ 6 (มิถุนายน) : 16,23.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2536ข. การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง (Flexible pavement design). วาร
สารทางหลวง. ปีที่30, ฉบับที่ 7 (กรกฎาคม) : 13.
- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. 2536ค. การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยาง (Flexible pavement design). วาร
สารทางหลวง. ปีที่30, ฉบับที่ 9 (กันยายน) : 24.

- ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และอนันต์ ทวีวรรณสศโส. 2543. คุณสมบัติความเค้นความเครียดของวัสดุปรับ
ปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ภายใต้การทดสอบกำลังรับแรงอัดแนวตั้ง. รายงานฉบับที่ วพ.179,
กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, โรงพิมพ์องค์
การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.
- นิพนธ์ ตังศิริวัฒน์. 2543. การนำค่ามอดุลัสคั้นตัวของดินลูกรังผสมซีเมนต์มาใช้ในการออกแบบชั้นพื้น
ทางถนนชนิดยึดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- ประสิทธิ์ ภูประทุม. 2539. อุณหภูมิมาตรฐานของถนนกรมทางหลวง. รายงานฉบับที่ วพ. 158,
กรุงเทพมหานคร: ศูนย์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, โรงพิมพ์องค์
การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.
- พรชัย ศีลารมย์. 2543. การเปรียบเทียบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีมาร์
แชลและวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- วรากร กริมวงษ์รัตน์. 2543. การออกแบบชั้นรองพื้นทางของถนนชนบทโดยใช้วัสดุท้องถิ่นบริเวณ
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- วัชรินทร์ วิทกุล. 2537. วัสดุการทาง. กรุงเทพมหานคร: พิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.
- วิเคราะห์และวิจัย, กอง. 2524. วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่มที่ 3. กรุงเทพมหานคร: กรมทางหลวง,
กระทรวงคมนาคม.
- วิเคราะห์และวิจัย, กอง. 2530. วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กรมทางหลวง,
กระทรวงคมนาคม.
- วิเคราะห์และวิจัย, กอง. 2519. วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่มที่ 2. กรุงเทพมหานคร: กรมทางหลวง,
กระทรวงคมนาคม.
- สมหวัง ช่างสุวรรณ. 2538. โรงโม่บดย่อยหิน แหล่งระเบิดหิน-ย่อยหิน และกลสมบัตินิคมของหิน
ในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม,
โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.
- สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง. 2539. มาตรฐานงานทาง. กรุงเทพมหานคร: กรมทางหลวง
กระทรวงคมนาคม, โรงพิมพ์ชุมนุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ภาษาอังกฤษ

- AASHTO. 1995. Standard Specification for Transportation Materials and Method of Sampling and Testing. American Association of State Highway Officials.
- AASHTO. 1995. Standard Specification for Transportation Materials and Method of Sampling and Testing .Part II .Method of Sampling and Testing. American Association of State Highway Officials.
- American Society for Testing and Materials. 1995. Annual Book of ASTM Standard.Vol.04.03. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. 1997. Annual Book of ASTM Standard.Vol.04.02-04.03. Philadelphia: ASTM.
- American Society for Testing and Materials. 1997. Annual Book of ASTM Standard.Vol.04.08. Philadelphia: ASTM.
- AUSTROADS. 1992. Pavement Design - A Guide to the Structural Design of Road Pavements. Sydney: AUSTROADS.
- Bonnaure, F.; Gravois, A., and Udron, J. 1980. A New Method for Predicting the Fatigue Life of Bituminous Mixes. Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists. Vol.49: 499-524.
- Huang Yang H. 1993. Pavement Analysis and Design. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Ministry of Transport and Communications Department of Highway. 2000. UTM-5P Universal Testing Machine General Manual. Pavement Technology Project Implementation of Falling Weight Deflectometer Technology and Development of Analytical Pavement Design in Thailand.
- Murphy, H.W.; Baran, B.T., and Gordon, R.G. 1980. Cement Treated Bases For Pavement. Journal Institution of Engineers Australia (Queensland Division). Vol.21. No.29. October: 31-39.
- NCHRP. 1997. Laboratory Determination of Resilient Modulus for Flexible Pavement Design. Final Report. Washington. D.C., U.S.A.: Transportation Research Board. National Research Council.
- Roberts, F.L.; Kandhal, P.S.; Brown, E.R; Lee, D., and Kennedy, T.W. 1996. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction. 2nd ed. U.S.A.

- Pell, P.S. 1978. Development in Highway Pavement EngineeringI. London: Applied Science Publishers.
- Pretorius, P.C., and Monismith, C.L. 1972. Fatigue Crack Formation and Propagation in Pavements Containing Soil-Cement Bases. Highway Research Record. No.407: 102-115.
- The Asphalt Institute. 1991. Thickness Design Asphalt Pavement for Highways & Streets. Manual Series No.1. U.S.A.: Asphalt Institute.
- The Asphalt Institute. 1981. Thickness Design-Asphalt Pavement for Highway and Streets .Manual Series No.1. Asphalt Institute.
- The Asphalt Institute. 1982. Research and Development of Asphalt Institute's Thickness Design. Manual Series No.1. 9th ed. Research Report No.82-2. U.S.A.: Asphalt Institute.
- Thompson, M.R., and Quentin, L.R. 1976. Resilient Properties of Subgrade Soils Final Report. Project IHR-063. Illinois Co-operative Highway and Transportation Research Program. University of Illinois.
- Van Der Poel, C., 1954. A General System Describing the Visco-Elastic Properties of Bitumens and Its Relation to Routine Test Data. Journey of Applied Chemistry, Vol. 4, 1954, pp. 221-236.
- Van Til , C.J.; McCullough, B.F.; Vallerge, B.A., and Hicks, R.G. 1972. Evaluate of AASHO Interim Guides for Design of Pavement Structure. NCHRP Report 128. Highway Research Board.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ด้วยวิธีมาร์แชล

ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การทดสอบหาการดูดซึมแอสฟัลต์ (Asphalt Absorption Test)

เป็นการทดสอบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดทางทฤษฎี (Theoretical Maximum Specific Gravity) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่ได้ทำการบดอัดและใช้ค่าความ ถ่วงจำเพาะสูงสุดทางทฤษฎีนี้หาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมแอสฟัลต์ของวัสดุผสมรวม ความถ่วงจำเพาะประสิทธิภาพของมวลรวม และเปอร์เซ็นต์แอสฟัลต์ประสิทธิภาพโดยน้ำหนักของส่วนผสม เพื่อที่จะใช้หาค่า Air Void และ VFA ต่อไป

ผลการทดสอบ

Department of Civil Engineering
Chulalongkorn University
Highway Materials Testing Laboratory

Source of materials: บริษัท เซลล์ แห่งประเทศไทย จำกัด

Material type: AC 60/70

Source of Aggregate: จังหวัดกาญจนบุรี

Material type: limestone

		Specimen	Remark
Percent Asphalt Cement by weight of Aggregate		7.00	
Percent Asphalt Cement by weight of total mix	W	6.54	
Mass of Flask in water (g)	A	709.76	
Mass of Flask in air (g)	B	1295.40	
Mass of Flask + Sample in air (g)	C	2419.93	
Mass of Sample in air (g)	D = C - B	1124.53	
Mass of Flask + Sample after evacuation (g)	E	1365.57	
Theoretical Maximum Specific Gravity @ 7 percent Asphalt Cement	$G_{mm} = \frac{D}{A+D-E}$	2.399	ตัวอย่างทดสอบ มวลรวมจังหวัด กาญจนบุรี
Specific Gravity of Asphalt Cement	G_{ac}	1.031	
Average effective Specific Gravity of total Aggregate	$G_{se} = \frac{100 - W}{\frac{100 - W}{G_{mm}} + \frac{W}{G_{ac}}}$	2.645	
Average Bulk Specific Gravity of total Aggregate	G_{sb}	2.62	
Percent Asphalt Absorption	$\frac{100 \times G_{se} - G_{sb} \times G_{ac}}{G_{se} \times G_{sb}}$	0.37	

ผลการทดสอบ

Department of Civil Engineering
Chulalongkorn University
Highway Materials Testing Laboratory

Source of materials: บริษัท เซลล์ แห่งประเทศไทย จำกัด

Material type: AC 60/70

Source of Aggregate: จังหวัดชลบุรี

Material type: limestone

		Specimen	Remark
Percent Asphalt Cement by weight of Aggregate		7.00	
Percent Asphalt Cement by weight of total mix	W	6.54	
Mass of Flask in water (g)	A	712.90	
Mass of Flask in air (g)	B	1295.23	
Mass of Flask + Sample in air (g)	C	2548.94	
Mass of Sample in air (g)	D = C - B	1253.71	
Mass of Flask + Sample after evacuation (g)	E	1448.15	
Theoretical Maximum Specific Gravity	$G_{mm} = \frac{D}{A+D-E}$	2.418	ตัวอย่างทดสอบ มวบรวมจังหวัด ชลบุรี
@ 7 percent Asphalt Cement			
Specific Gravity of Asphalt Cement	G_{ac}	1.031	
Average effective Specific Gravity of total Aggregate	$G_{se} = \frac{100 - W}{\frac{100 - W}{G_{mm}} + \frac{W}{G_{ac}}}$	2.669	
Average Bulk Specific Gravity of total Aggregate	$G_{sb} = \frac{100 \times G_{se} - G_{ac} \times W}{G_{se} \times G_{sb}}$	2.653	
Percent Asphalt Absorption		0.233	

ผลการทดสอบ

Department of Civil Engineering
Chulalongkorn University
Highway Materials Testing Laboratory

Source of materials: บริษัท เซลล์ แห่งประเทศไทย จำกัด

Material type: AC 60/70

Source of Aggregate: จังหวัดเพชรบุรี

Material type: limestone

		Specimen	Remark
Percent Asphalt Cement by weight of Aggregate		7.00	
Percent Asphalt Cement by weight of total mix	W	6.54	
Mass of Flask in water (g)	A	709.76	
Mass of Flask in air (g)	B	1295.40	
Mass of Flask + Sample in air (g)	C	2402.98	
Mass of Sample in air (g)	D = C - B	1107.58	
Mass of Flask + Sample after evacuation (g)	E	1356.88	
Theoretical Maximum Specific Gravity	$G_{mm} = \frac{D}{A+D-E}$	2.405	ตัวอย่างทดสอบ
@ 7 percent Asphalt Cement			มวลรวมจังหวัด
Specific Gravity of Asphalt Cement	G _{ac}	1.031	เพชรบุรี
Average effective Specific Gravity of total Aggregate	$G_{se} = \frac{100 - W}{\frac{100 - W}{G_{mm}} + \frac{W}{G_{ac}}}$	2.653	
Average Bulk Specific Gravity of total Aggregate	G _{sb}	2.63	
Percent Asphalt Absorption	$\frac{100 \times G_{se} - G_{sb} \times G_{ac}}{G_{se} \times G_{sb}}$	0.34	

ผลการทดสอบ

Department of Civil Engineering
Chulalongkorn University
Highway Materials Testing Laboratory

Source of materials: บริษัท เซลต์ แห่งประเทศไทย จำกัด

Material type: AC 60/70

Source of Aggregate: จังหวัดราชบุรี

Material type: limestone

		Specimen	Remark
Percent Asphalt Cement by weight of Aggregate		7.00	
Percent Asphalt Cement by weight of total mix	W	6.54	
Mass of Flask in water (g)	A	709.76	
Mass of Flask in air (g)	B	1295.40	
Mass of Flask + Sample in air (g)	C	2390.53	
Mass of Sample in air (g)	D = C - B	1095.13	
Mass of Flask + Sample after evacuation (g)	E	1345.92	
Theoretical Maximum Specific Gravity	$G_{mm} = \frac{D}{A+D-E}$	2.306	ตัวอย่างทดสอบ มวลรวมจังหวัด ราชบุรี
@ 7 percent Asphalt Cement			
Specific Gravity of Asphalt Cement	G _{ac}	1.031	
Average effective Specific Gravity of total Aggregate	$G_{se} = \frac{100 - W}{\frac{100 - W}{G_{mm}} + \frac{W}{G_{ac}}}$	2.628	
Average Bulk Specific Gravity of total Aggregate	G _{sb}	2.60	
Percent Asphalt Absorption	$\frac{100 \times G_{se} - G_{sb} \times G_{ac}}{G_{se} \times G_{sb}}$	0.42	

ผลการทดสอบ

Department of Civil Engineering
Chulalongkorn University
Highway Materials Testing Laboratory

Source of materials: บริษัท เซลต์ แห่งประเทศไทย จำกัด

Material type: AC 60/70

Source of Aggregate: จังหวัดสระบุรี

Material type: limestone

		Specimen	Remark
Percent Asphalt Cement by weight of Aggregate		7.00	
Percent Asphalt Cement by weight of total mix	W	6.54	
Mass of Flask in water (g)	A	709.76	
Mass of Flask in air (g)	B	1295.40	
Mass of Flask + Sample in air (g)	C	2472.41	
Mass of Sample in air (g)	D = C - B	1177.01	
Mass of Flask + Sample after evacuation (g)	E	1396.24	
Theoretical Maximum Specific Gravity	G_{mm} = $\frac{D}{A+D-E}$	2.399	ตัวอย่างทดสอบ มวลรวมจังหวัด สระบุรี
@ 7 percent Asphalt Cement			
Specific Gravity of Asphalt Cement	G_{ac}	1.031	
Average effective Specific Gravity of total Aggregate	G_{se} = $\frac{100 - W}{\frac{100 - W}{G_{mm}} + \frac{W}{G_{ac}}}$	2.645	
Average Bulk Specific Gravity of total Aggregate	G_{sb}	2.62	
Percent Asphalt Absorption	$\frac{100 \times G_{se} - G_{sb} \times G_{ac}}{G_{se} \times G_{sb}}$	0.38	

ตารางที่ ก-1 แสดงอัตราส่วนปรับแก้ของค่าเสถียรภาพที่ได้จากการ
ทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

Stability Correlation Ratio	
ความหนาโดยประมาณของ ตัวอย่างทดสอบ (เซนติเมตร)	Correlation Ratio
6.61 - 6.65	0.90
6.66 - 6.70	0.89
6.71 - 6.74	0.88
6.75 - 6.80	0.87
6.81 - 6.88	0.86
6.89 - 6.98	0.85
6.99 - 7.08	0.84
7.09 - 7.18	0.83
7.19 - 7.26	0.82
7.27 - 7.32	0.81
7.33 - 7.38	0.80
7.39 - 7.43	0.79
7.44 - 7.50	0.78
7.51 - 7.58	0.77
7.59 - 7.66	0.76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : จังหวัดกาญจนบุรี

Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031

Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.62

Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.399

Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70

Design Traffic Criteria : Medium

Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gse) : 2.645

Percent of Asphalt absorption (x) : 0.37

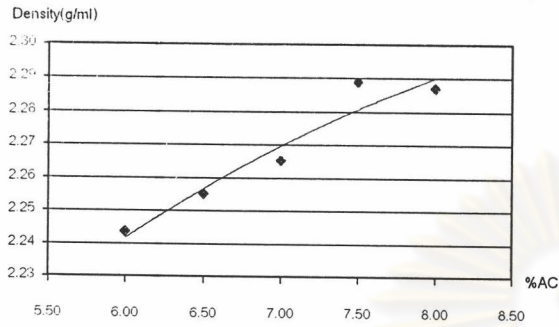
No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	factor Adjusted		
1	6.00	5.66	5.31	6.89	1280.9	1287.3	711.6	575.7	2.22	11.46	80.11	19.89	8.42	57.64	8400	0.85	7140	13.9
2	6.00	5.66	5.31	6.81	1244.1	1250.5	697.8	552.7	2.25	11.60	81.05	18.95	7.35	61.20	8400	0.86	7224	12.7
3	6.00	5.66	5.31	6.85	1267.4	1274.0	711.8	562.2	2.25	11.61	81.17	18.83	7.21	61.69	8200	0.86	7052	12.8
Avg	6.00								2.24			19.22	7.66	60.18			7139	13.1
4	6.50	6.10	5.76	7.01	1270.3	1274.3	720.5	553.8	2.29	12.81	82.21	17.79	4.99	71.97	8300	0.84	6972	15.8
5	6.50	6.10	5.76	7.03	1269.9	1274.1	705.8	568.3	2.23	12.48	80.08	19.92	7.44	62.64	9300	0.84	7812	14.5
6	6.50	6.10	5.76	7.00	1275.0	1279.1	709.1	570.0	2.24	12.49	80.16	19.84	7.35	62.96	8100	0.84	6804	14.3
Avg	6.50								2.26			19.18	6.59	65.85			7196	14.9
7	7.00	6.54	6.20	6.93	1284.4	1285.9	727.5	558.4	2.30	13.82	82.05	17.95	4.13	77.01	8600	0.85	7310	14.5
8	7.00	6.54	6.20	6.97	1257.7	1259.5	706.3	553.2	2.27	13.66	81.10	18.90	5.24	72.29	7900	0.85	6715	13.4
9	7.00	6.54	6.20	6.95	1282.1	1284.1	707.0	577.1	2.22	13.35	79.25	20.75	7.40	64.34	8100	0.85	6885	13.8
Avg	7.00								2.27			19.20	5.59	71.21			6970	13.9

(ต่อ)

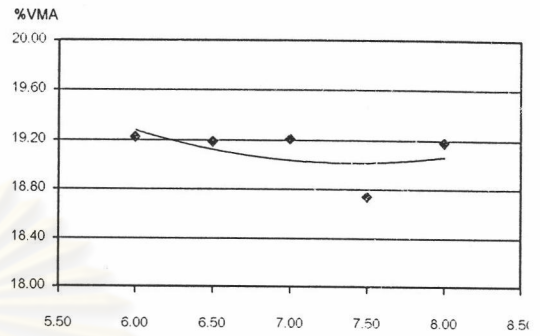
(ต่อ)

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	factor Adjusted		
10	7.50	6.98	6.63	6.96	1284.6	1285.8	729.6	556.2	2.31	14.86	82.00	18.00	3.14	82.56	8000	0.85	6800	16.7
11	7.50	6.98	6.63	6.88	1278.6	1280.1	717.6	562.5	2.27	14.62	80.71	19.29	4.67	75.79	7400	0.86	6364	15.1
12	7.50	6.98	6.63	6.79	1267.4	1268.5	713.5	555.0	2.28	14.69	81.08	18.92	4.23	77.64	7200	0.87	6264	15.5
Avg	7.50								2.29			18.74	4.01	78.58			6476	15.8
13	8.00	7.41	7.06	6.97	1268.5	1269.9	713.5	556.4	2.28	15.62	80.57	19.43	3.81	80.41	7800	0.85	6630	17.2
14	8.00	7.41	7.06	7.07	1271.5	1272.2	719.1	553.1	2.30	15.75	81.24	18.76	3.00	83.98	8400	0.84	7056	17.7
15	8.00	7.41	7.06	7.04	1280.0	1280.9	720.0	560.9	2.28	15.64	80.65	19.35	3.71	80.81	8300	0.84	6972	15.2
Avg	8.00								2.29			19.18	3.51	81.71			6886	16.7

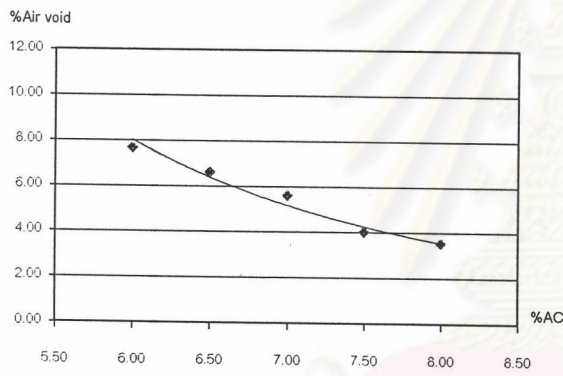
%AC vs Density



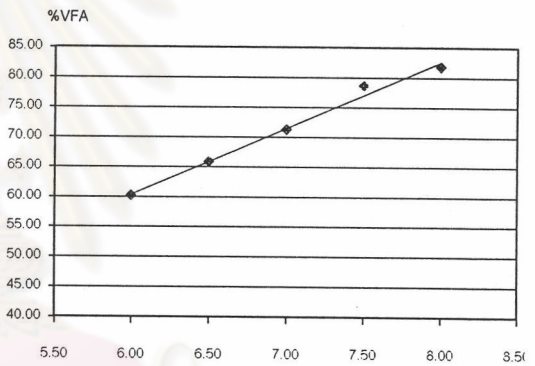
%AC vs %VMA



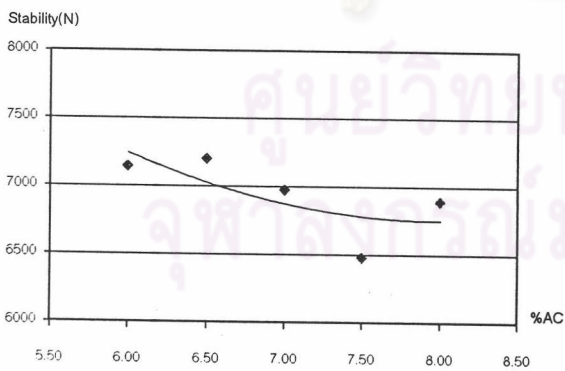
%AC vs %Air void



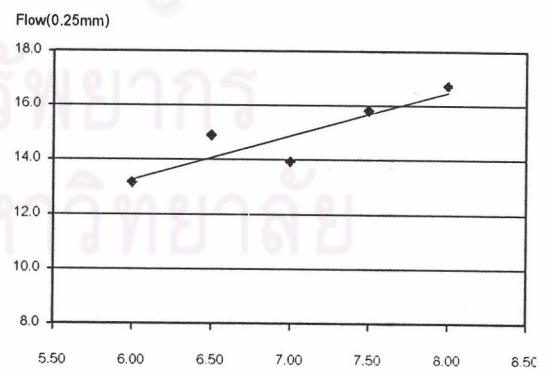
%AC vs %VFA



%AC vs Stability



%AC vs Flow



Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : จังหวัดกาญจนบุรี

Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031

Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.62

Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.399

Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70

Design Traffic Criteria : Heavy

Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gse) : 2.645

Percent of Asphalt absorption (x) : 0.37

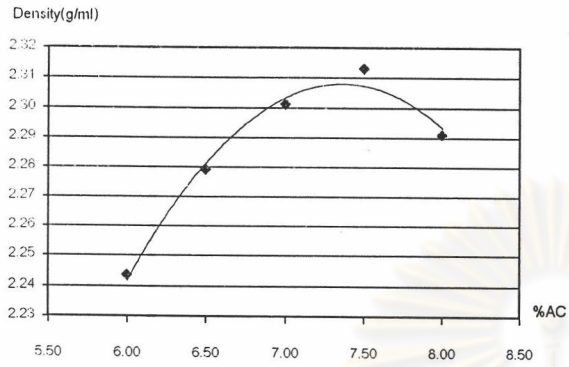
No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%YMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้อ (0.25mm)	
					In Air	Sat.Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	factor Adjusted		
1	6.00	5.66	5.31	7.04	1264.4	1268.1	709.0	559.1	2.26	11.65	81.43	18.57	6.92	62.74	8500	0.84	7140	12.7
2	6.00	5.66	5.31	7.01	1283.4	1286.8	707.3	579.5	2.21	11.41	79.74	20.26	8.85	56.33	8400	0.84	7056	11.5
3	6.00	5.66	5.31	6.95	1253.4	1256.8	700.7	556.1	2.25	11.61	81.16	18.84	7.23	61.62	7800	0.85	6630	13.1
Avg	6.00								2.24			19.22	7.67	60.23			6942	12.4
4	6.50	6.10	5.76	7.02	1281.0	1282.8	722.4	560.4	2.29	12.76	81.92	18.08	5.32	70.59	9000	0.84	7560	11.9
5	6.50	6.10	5.76	7.03	1291.1	1293.1	726.3	566.8	2.28	12.72	81.64	18.36	5.65	69.25	10100	0.84	8484	13.5
6	6.50	6.10	5.76	7.00	1278.6	1280.3	717.9	562.4	2.27	12.69	81.48	18.52	5.83	68.52	9300	0.84	7812	12.8
Avg	6.50								2.28			18.32	5.60	69.45			7952	12.7
7	7.00	6.54	6.20	6.93	1272.9	1275.2	723.3	551.9	2.31	13.86	82.27	17.73	3.87	78.19	9600	0.85	8160	13.4
8	7.00	6.54	6.20	7.03	1289.7	1291.9	730.7	561.2	2.30	13.81	81.98	18.02	4.21	76.63	9500	0.84	7980	12.8
9	7.00	6.54	6.20	6.96	1274.1	1276.0	721.7	554.3	2.30	13.81	81.99	18.01	4.19	76.71	10100	0.85	8585	13
Avg	7.00								2.30			17.92	4.09	77.18			8242	13.1

(ต่อ)

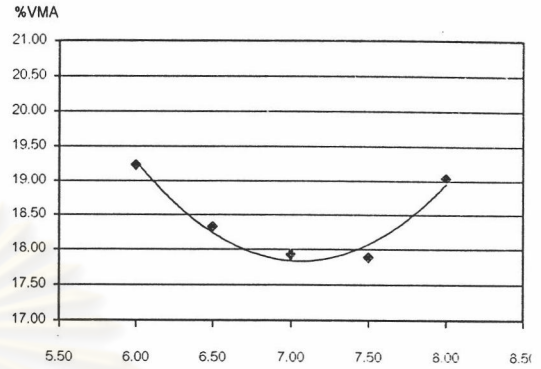
(ต่อ)

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	factor Adjusted		
10	7.50	6.98	6.63	7.04	1274.0	1275.3	717.3	558.0	2.28	14.69	81.06	18.94	4.25	77.56	10100	0.84	8484	13.2
11	7.50	6.98	6.63	6.89	1273.0	1274.5	721.1	553.4	2.30	14.80	81.67	18.33	3.53	80.75	10800	0.85	9180	14.1
12	7.50	6.98	6.63	6.79	1256.8	1258.3	724.7	533.6	2.36	15.15	83.63	16.37	1.22	92.54	11000	0.87	9570	13.6
Avg	7.50								2.31			17.88	3.00	83.22			9078	13.6
13	8.00	7.41	7.06	6.91	1284.4	1285.6	727.7	557.9	2.30	15.78	81.36	18.64	2.86	84.64	8100	0.85	6885	14.5
14	8.00	7.41	7.06	6.72	1272.9	1274.1	718.1	556.0	2.29	15.69	80.91	19.09	3.40	82.17	8000	0.88	7040	13.8
15	8.00	7.41	7.06	6.91	1278.9	1279.6	719.0	560.6	2.28	15.63	80.62	19.38	3.74	80.67	7700	0.85	6545	13.4
Avg	8.00								2.29			19.04	3.34	82.47			6823	13.9

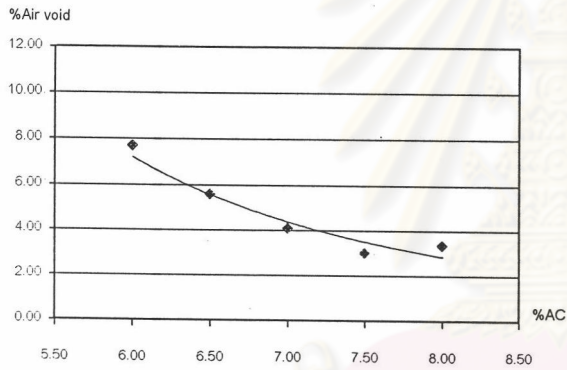
%AC vs Density



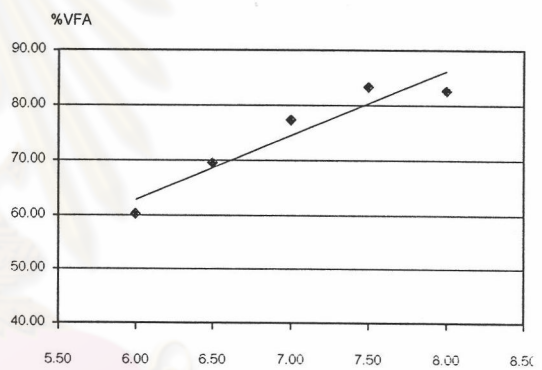
%AC vs %VMA



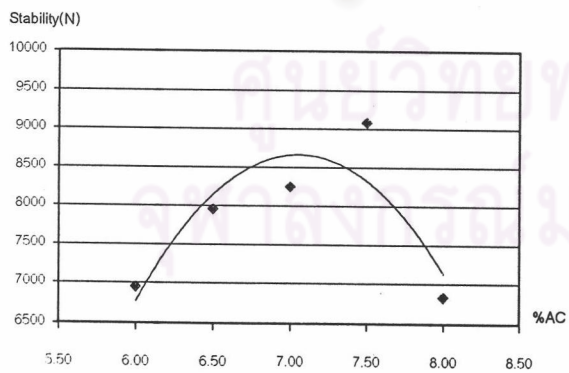
%AC vs %Air void



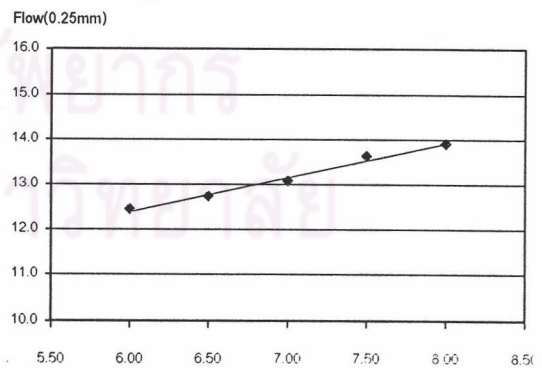
%AC vs %VFA



%AC vs Stability



%AC vs Flow



Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : ทุ่งหินวัดดอนหวาย

Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70

Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031

Design Traffic Criteria : Medium

Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.653

Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gse) : 2.669

Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.418

Percent of Asphalt absorption (x) : 0.233

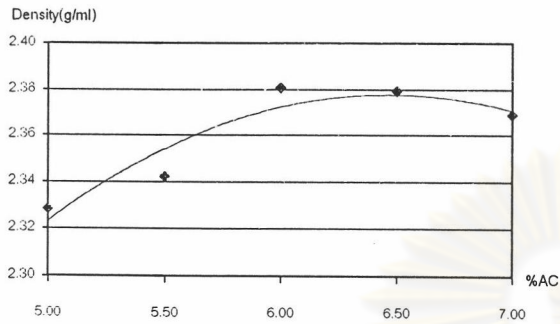
No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้อ (0.25mm)	
					In Air	Sat.Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	Adjusted		
1	5.00	4.76	4.54	6.73	1256.8	1265.0	726.7	538.3	2.33	10.28	83.81	16.19	5.91	63.51	8790	0.88	7735.2	6.3
2	5.00	4.76	4.54	6.24	1179.0	1186.6	687.5	499.2	2.36	10.40	84.79	15.21	4.81	68.37	7700	0.98	7546	5.3
3	5.00	4.76	4.54	6.81	1249.0	1259.1	713.1	546.0	2.29	10.07	82.11	17.89	7.81	56.31	6980	0.86	6002.8	7.1
Avg	5.00								2.33			16.43	6.18	62.73			7095	6.2
4	5.50	5.21	4.99	6.67	1263.2	1267.9	733.2	534.6	2.36	11.44	84.41	15.59	4.15	73.40	9120	0.89	8116.8	6.7
5	5.50	5.21	4.99	6.68	1263.8	1268.1	732.1	536.1	2.36	11.42	84.23	15.77	4.36	72.37	9730	0.89	8659.7	6.4
6	5.50	5.21	4.99	6.79	1263.5	1269.3	721.2	548.1	2.31	11.16	82.36	17.64	6.47	63.30	8870	0.87	7716.9	6.6
Avg	5.50								2.34			16.33	4.99	69.69			8164	6.5
7	6.00	5.66	5.44	6.68	1271.9	1275.5	739.4	536.1	2.37	12.52	84.37	15.63	3.11	80.09	9490	0.89	8446.1	7.1
8	6.00	5.66	5.44	6.63	1268.4	1271.6	740.3	531.3	2.39	12.60	84.89	15.11	2.51	83.40	9830	0.9	8847	9.4
9	6.00	5.66	5.44	6.65	1275.6	1280.2	744.6	535.6	2.38	12.57	84.70	15.30	2.74	82.13	9520	0.90	8568	7.1
Avg	6.00								2.38			15.35	2.79	81.87			8620	7.9

(ต่อ)

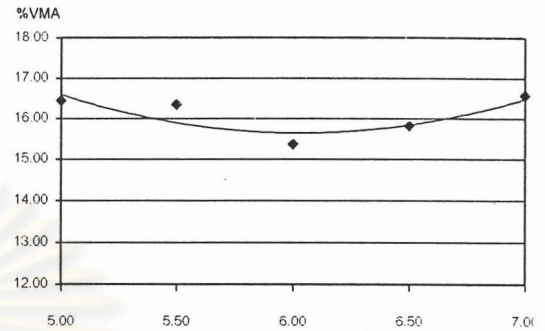
(ต่อ)

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	factor Adjusted		
10	6.50	6.10	5.88	6.53	1280.1	1283.8	747.3	536.5	2.39	13.62	84.45	15.55	1.93	87.59	9330	0.92	8583.6	12.0
11	6.50	6.10	5.88	6.71	1283.3	1286.6	746.6	540.0	2.38	13.56	84.11	15.89	2.33	85.36	11500	0.88	10120	7.9
12	6.50	6.10	5.88	6.74	1277.1	1279.8	741.9	537.9	2.37	13.55	84.03	15.97	2.42	84.87	11150	0.88	9812	10.2
Avg	6.50								2.38			15.80	2.22	85.93			9505	10.0
13	7.00	6.54	6.32	6.71	1282.6	1285.6	747.8	537.8	2.38	14.63	84.01	15.99	1.36	91.49	11490	0.88	10111.2	12.5
14	7.00	6.54	6.32	6.79	1281.9	1285.2	743.5	541.8	2.37	14.51	83.35	16.65	2.13	87.18	11490	0.87	9996.3	9.2
15	7.00	6.54	6.32	6.77	1282.1	1284.9	740.3	544.6	2.35	14.44	82.94	17.06	2.62	84.66	9190	0.87	7995.3	7.8
Avg	7.00								2.37			16.57	2.04	87.70			9368	9.8

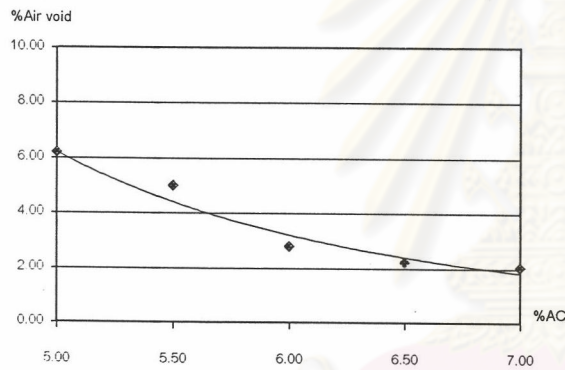
%AC vs Density



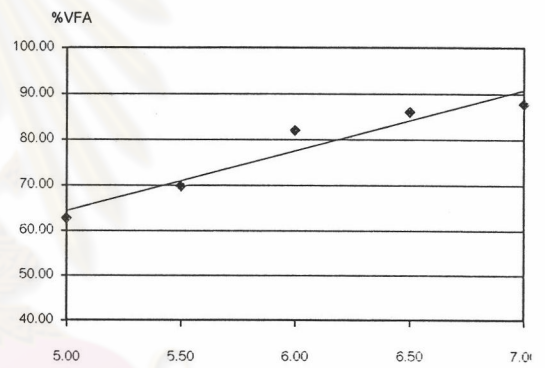
%AC vs %VMA



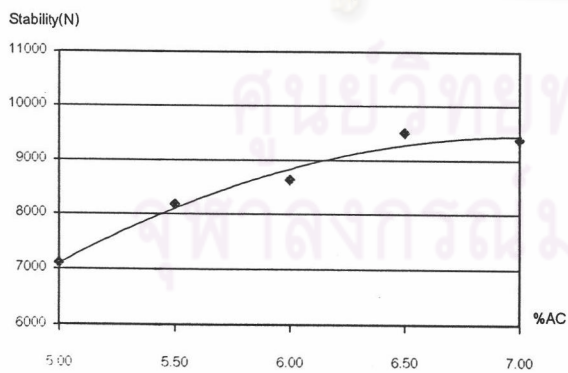
%AC vs %Air void



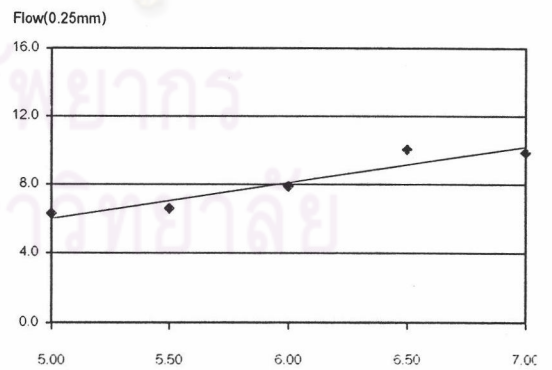
%AC vs %VFA



%AC vs Stability



%AC vs Flow



Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : จังหวัดชลบุรี

Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031

Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.653

Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.418

Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70

Design Traffic Criteria : Heavy

Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gse) : 2.669

Percent of Asphalt absorption (x) : 0.233

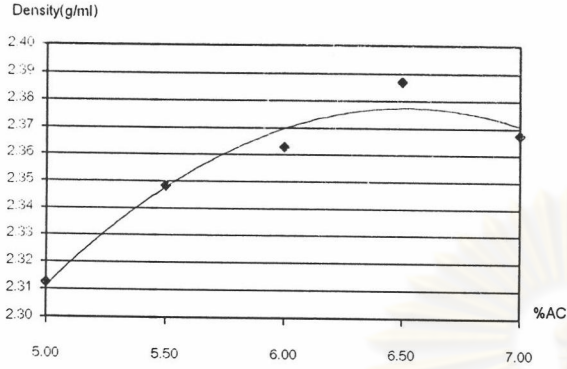
No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water							Reading (N)	Adjusted factor		
1	5.00	4.76	4.54	6.71	1258.1	1264.5	729.9	534.6	2.35	10.36	15.52	5.16	66.76	9230	0.88	8122.4	5.32
2	5.00	4.76	4.54	6.78	1243.7	1252.1	707.2	544.9	2.28	10.05	18.07	8.02	55.63	7380	0.87	6594.6	5.66
3	5.00	4.76	4.54	6.80	1258.8	1265.4	718.5	547.0	2.30	10.13	17.38	7.25	58.30	8150	0.87	7090.5	7.17
Avg	5.00								2.31		16.99	6.81	60.23			7269	6.1
4	5.50	5.21	4.99	6.48	1266.8	1272.8	738.6	534.3	2.37	11.48	15.28	3.80	75.13	9160	0.93	8518.8	8.04
5	5.50	5.21	4.99	6.71	1268.5	1272.3	735.1	537.1	2.36	11.44	15.63	4.19	73.19	9650	0.88	8492	9.62
6	5.50	5.21	4.99	6.78	1258.6	1265.4	720.9	544.5	2.31	11.19	17.42	6.22	64.27	9450	0.87	8221.5	6.55
Avg	5.50								2.35		16.11	4.74	70.86			8411	8.1
7	6.00	5.66	5.44	6.72	1270.3	1274.4	736.4	538.0	2.36	12.46	16.04	3.58	77.70	10200	0.88	8976	8.47
8	6.00	5.66	5.44	6.68	1277.0	1282.3	741.9	540.4	2.36	12.47	15.97	3.50	78.08	10240	0.89	9113.6	8.42
9	6.00	5.66	5.44	6.68	1256.0	1259.8	728.5	531.3	2.36	12.47	15.94	3.47	78.23	11620	0.89	10341.8	7.51
Avg	6.00								2.36		15.98	3.52	78.01			9477	8.1

(ต่อ)

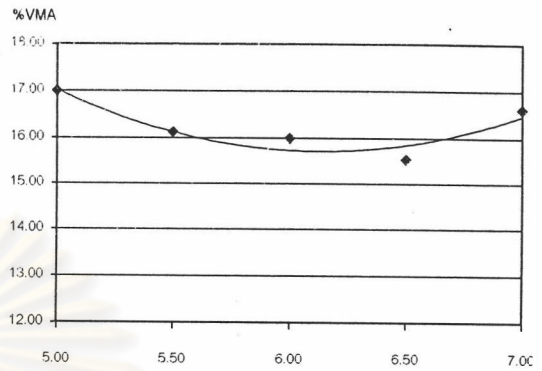
(ต่อ)

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้อ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	factor Adjusted		
10	6.50	6.10	5.88	6.73	1282.9	1286.3	749.8	536.4	2.39	13.65	84.64	15.36	1.71	88.89	13730	0.88	12082.4	11.41
11	6.50	6.10	5.88	6.63	1285.7	1288.9	750.7	538.2	2.39	13.64	84.55	15.45	1.81	88.28	12330	0.9	11097	9.06
12	6.50	6.10	5.88	6.73	1277.5	1280.8	744.0	536.8	2.38	13.58	84.23	15.77	2.19	86.14	12730	0.88	11202.4	6.35
Avg	6.50								2.39			15.52	1.90	87.75			11461	8.9
13	7.00	6.54	6.32	6.73	1278.7	1281.7	745.1	536.6	2.38	14.62	83.94	16.06	1.44	91.05	12260	0.88	10788.8	8.84
14	7.00	6.54	6.32	6.67	1277.8	1281.6	744.3	537.3	2.38	14.59	83.78	16.22	1.63	89.96	8500	0.89	7565	11.47
15	7.00	6.54	6.32	6.77	1278.4	1284.1	738.0	546.2	2.34	14.36	82.46	17.54	3.18	81.86	8000	0.87	6960	11.3
Avg	7.00								2.37			16.60	2.08	87.46			8438	10.5

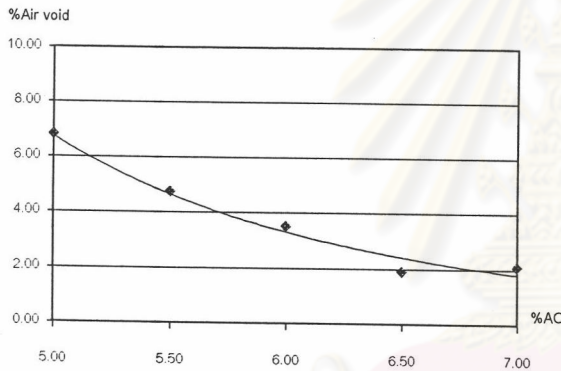
%AC vs Density



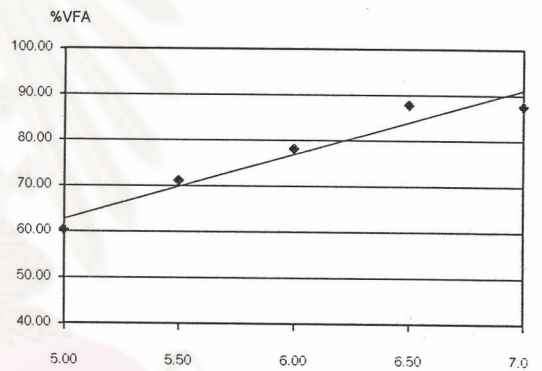
%AC vs %VMA



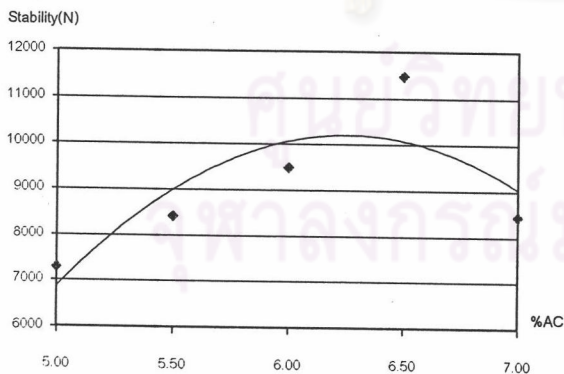
%AC vs %Air void



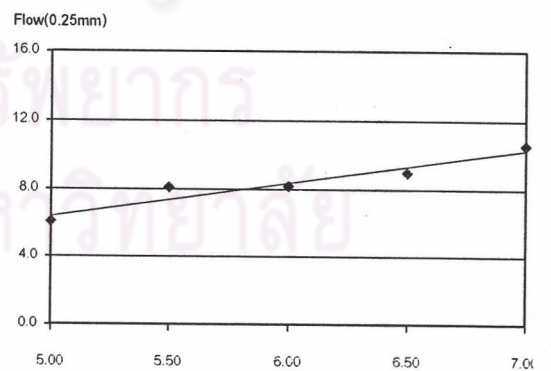
%AC vs %VFA



%AC vs Stability



%AC vs Flow



Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : จังหวัดเพชรบุรี

Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031

Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.63

Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.405

Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70

Design Traffic Criteria : Medium

Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gse) : 2.653

Percent of Asphalt absorption (x) : 0.34

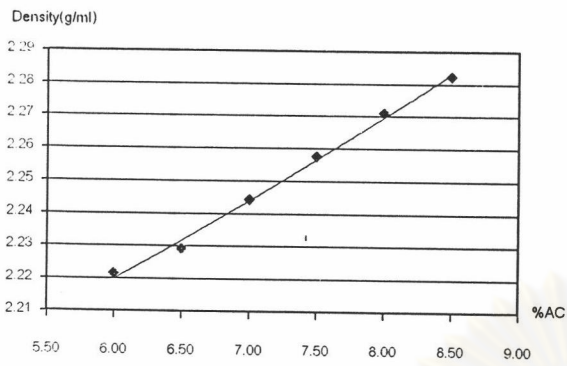
No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow (0.25mm)
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	Adjusted	
1	6.00	5.66	5.34	7.21	1267.4	1273.7	706.3	567.4	2.23	11.57	80.12	19.88	8.31	58.20	6800	5576	12.4
2	6.00	5.66	5.34	7.20	1260.1	1266.1	700.4	565.7	2.23	11.54	79.90	20.10	8.56	57.40	6100	5002	10.6
3	6.00	5.66	5.34	7.12	1267.2	1273.3	698.1	575.2	2.20	11.41	79.03	20.97	9.57	54.40	6600	5478	11.1
Avg	6.00								2.22			20.32	8.81	56.67		5352	11.4
4	6.50	6.10	5.78	7.13	1272.4	1276.6	703.7	572.9	2.22	12.46	79.29	20.71	8.25	60.18	6300	5229	12
5	6.50	6.10	5.78	7.26	1263.4	1267.9	704.8	563.1	2.24	12.59	80.10	19.90	7.31	63.26	7100	5822	12.9
6	6.50	6.10	5.78	7.13	1263.9	1268.7	700.1	568.6	2.22	12.47	79.36	20.64	8.17	60.42	6700	5561	10.7
Avg	6.50								2.23			20.41	7.91	61.29		5537	11.9
7	7.00	6.54	6.22	7.33	1278.0	1280.2	710.9	569.3	2.24	13.55	79.77	20.23	6.68	67.00	7200	5760	13.1
8	7.00	6.54	6.22	7.23	1275.3	1277.3	709.2	568.1	2.24	13.55	79.77	20.23	6.68	67.00	8100	6642	10.9
9	7.00	6.54	6.22	7.18	1271.8	1273.3	706.2	567.1	2.24	13.54	79.69	20.31	6.77	66.67	7700	6391	12.5
Avg	7.00								2.24			20.25	6.71	66.89		6264	12.2

(ต่อ)

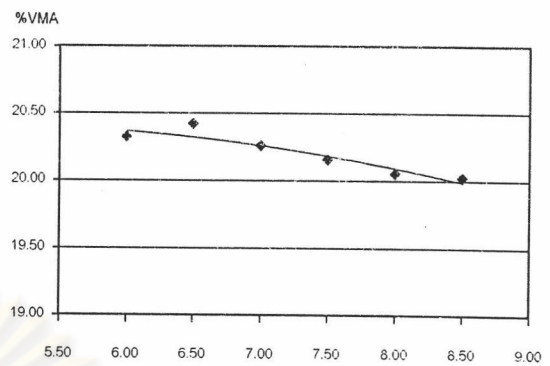
(ต่อ)

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	Adjusted		
10	7.50	6.98	6.66	7.19	1281.1	1282.6	713.9	568.7	2.25	14.55	79.68	20.32	5.77	71.61	8200	0.82	6724	14.5
11	7.50	6.98	6.66	7.28	1280.5	1281.8	715.6	566.2	2.26	14.61	79.99	20.01	5.40	73.02	8500	0.81	6885	12.9
12	7.50	6.98	6.66	7.16	1271.0	1272.3	709.5	562.8	2.26	14.59	79.88	20.12	5.53	72.50	6400	0.83	5312	13.8
Avg	7.50								2.26			20.15	5.57	72.37			6307	13.7
13	8.00	7.41	7.09	7.15	1284.8	1286.0	722.1	563.9	2.28	15.67	80.21	19.79	4.11	79.22	7200	0.83	5976	15.2
14	8.00	7.41	7.09	7.09	1284.4	1285.2	718.3	566.9	2.27	15.59	79.77	20.23	4.65	77.03	6900	0.83	5727	14.6
15	8.00	7.41	7.09	7.13	1284.9	1285.8	719.4	566.4	2.27	15.61	79.87	20.13	4.53	77.51	7500	0.83	6225	14
Avg	8.00								2.27			20.05	4.43	77.91			5976	14.6
16	8.50	7.83	7.52	7.32	1302.6	1303.6	729.9	573.7	2.27	16.56	79.57	20.43	3.87	81.06	7200	0.81	5832	15
17	8.50	7.83	7.52	7.03	1281.2	1281.6	722.4	559.2	2.29	16.71	80.29	19.71	3.00	84.80	7000	0.84	5880	14.9
18	8.50	7.83	7.52	7.13	1280.1	1280.8	720.6	560.2	2.29	16.67	80.08	19.92	3.25	83.67	6300	0.83	5229	16.2
Avg	8.50								2.28			20.02	3.37	83.15			5647	15.4

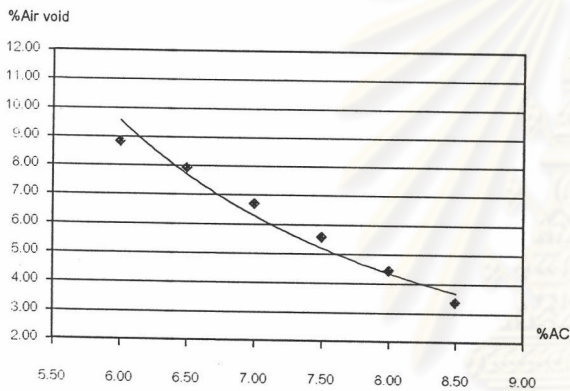
%AC vs Density



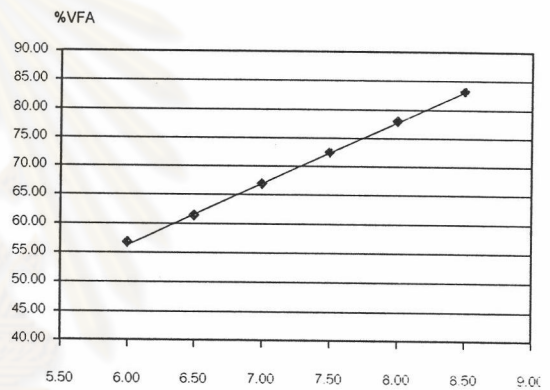
%AC vs %VMA



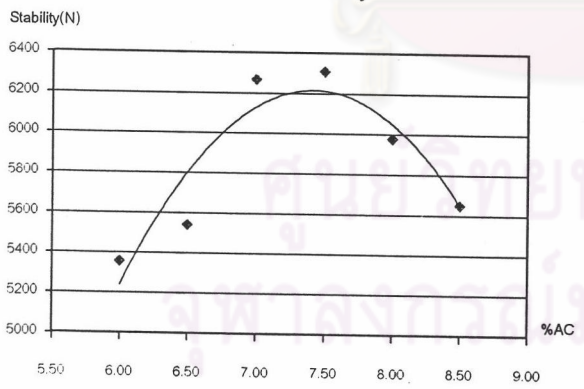
%AC vs %Air void



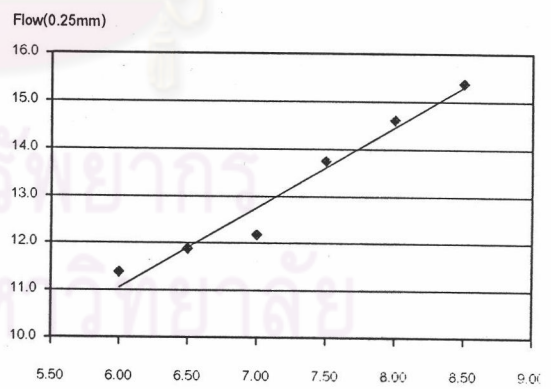
%AC vs %VFA



%AC vs Stability



%AC vs Flow



Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : ทุ่งหวัดเพชรบุรี
 Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70
 Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031
 Design Traffic Criteria : Heavy
 Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.63
 Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gse) : 2.653
 Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.405
 Percent of Asphalt absorption (x) : 0.34

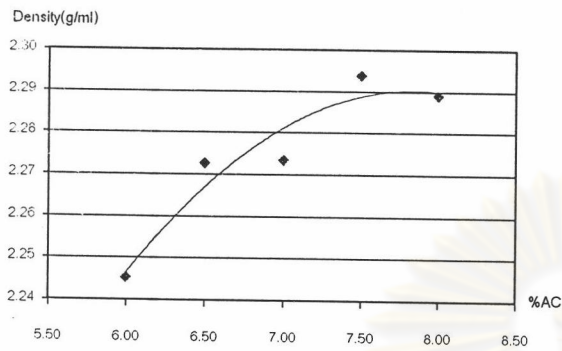
No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)			Flow ค่าที่ได้อ (0.25mm)
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	factor	Adjusted	
1	6.00	5.66	5.34	7.14	1278.1	1284.5	712.7	571.8	2.24	11.58	80.18	19.82	8.24	58.40	10000	0.83	8300	10.7
2	6.00	5.66	5.34	7.08	1276.5	1283.1	715.6	567.5	2.25	11.65	80.69	19.31	7.67	60.31	9700	0.84	8148	11.2
3	6.00	5.66	5.34	7.12	1265.4	1274.2	712.1	562.1	2.25	11.66	80.75	19.25	7.59	60.57	10700	0.83	8881	10.2
Avg	6.00								2.25			19.46	7.83	59.76			8443	10.7
4	6.50	6.10	5.78	7.02	1270.8	1275.7	713.5	562.2	2.26	12.68	80.70	19.30	6.62	65.71	10000	0.84	8400	10.8
5	6.50	6.10	5.78	7.01	1278.4	1283.3	717.1	566.2	2.26	12.67	80.61	19.39	6.72	65.33	11300	0.84	9492	11.5
6	6.50	6.10	5.78	7.14	1276.4	1281.4	726.3	555.1	2.30	12.90	82.09	17.91	5.01	72.04	9900	0.83	8217	11
Avg	6.50								2.27			18.86	6.12	67.69			8703	11.1
7	7.00	6.54	6.22	7.21	1281.8	1283.7	716.0	567.7	2.26	13.63	80.23	19.77	6.13	68.96	10600	0.82	8692	12.4
8	7.00	6.54	6.22	7.19	1274.2	1276.3	719.0	557.3	2.29	13.80	81.25	18.75	4.95	73.61	10300	0.82	8446	11.3
9	7.00	6.54	6.22	7.15	1281.5	1283.0	719.9	563.1	2.28	13.74	80.87	19.13	5.39	71.83	11600	0.83	9628	12.6
Avg	7.00								2.27			19.22	5.49	71.47			8922	12.1

(ต่อ)

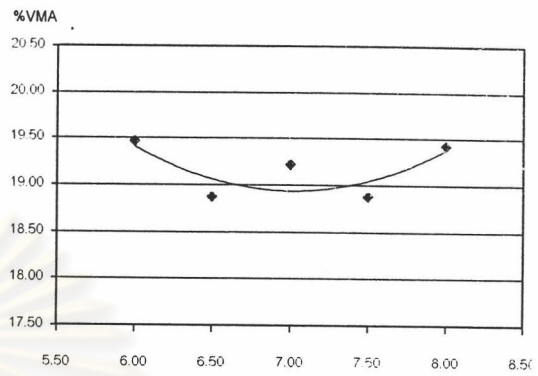
(ต่อ)

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	factor Adjusted		
10	7.50	6.98	6.66	7.26	1286.1	1287.2	728.2	559.0	2.30	14.86	81.38	18.62	3.76	79.81	9500	0.82	7790	14
11	7.50	6.98	6.66	7.08	1290.7	1292.1	729.5	562.6	2.29	14.82	81.14	18.86	4.03	78.60	9400	0.84	7896	13.6
12	7.50	6.98	6.66	7.06	1283.1	1284.8	723.6	561.2	2.29	14.77	80.87	19.13	4.36	77.20	10000	0.84	8400	12.1
Avg	7.50								2.29			18.87	4.05	78.53			8029	13.2
13	8.00	7.41	7.09	7.11	1287.7	1288.3	729.1	559.2	2.30	15.84	81.07	18.93	3.09	83.69	8800	0.83	7304	15.3
14	8.00	7.41	7.09	7.20	1291.4	1292.2	721.8	570.4	2.26	15.57	79.71	20.29	4.72	76.75	9500	0.82	7790	13.4
15	8.00	7.41	7.09	7.08	1289.2	1289.8	729.2	560.6	2.30	15.82	80.96	19.04	3.22	83.10	8500	0.84	7140	13.3
Avg	8.00								2.29			19.42	3.67	81.08			7411	14.0

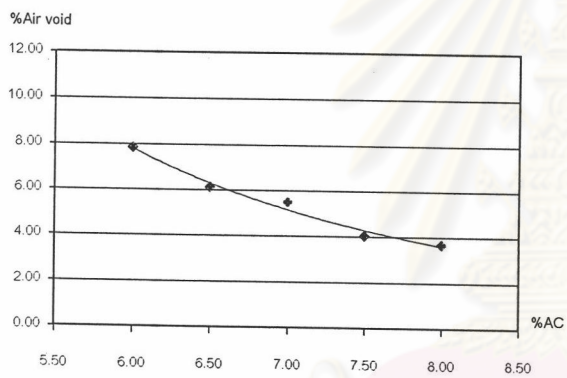
%AC vs Density



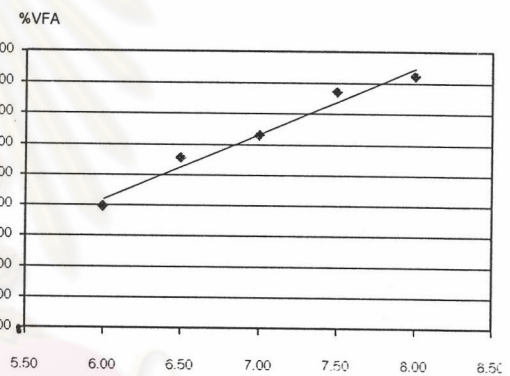
%AC vs %VMA



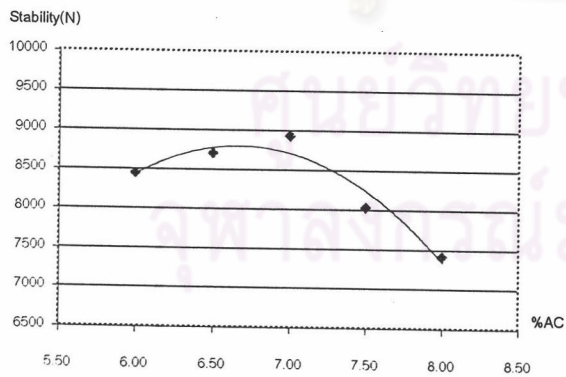
%AC vs %Air void



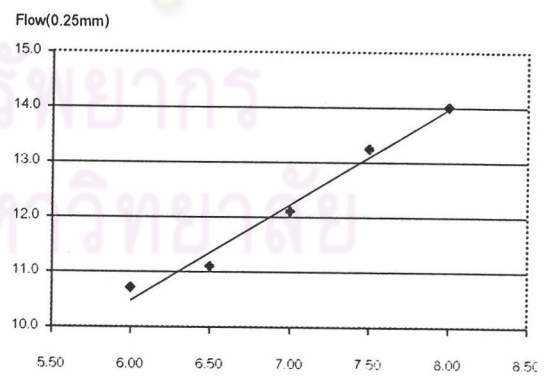
%AC vs %VFA



%AC vs Stability



%AC vs Flow



Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : จังหวัดราชบุรี

Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031

Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.60

Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.386

Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70

Design Traffic Criteria : Medium

Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gse) : 2.628

Percent of Asphalt absorption (x) : 0.42

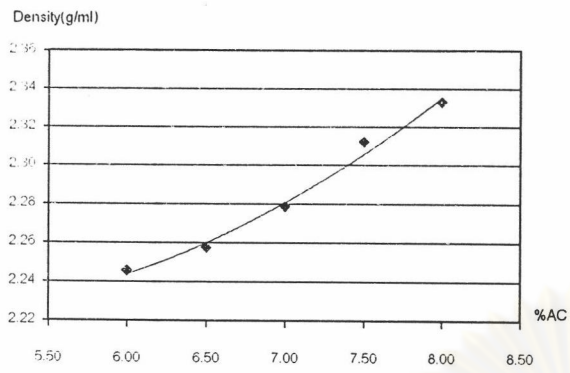
No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้อ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	Adjusted		
1	6.00	5.66	5.26	7.01	1275.1	1281.7	717.6	564.1	2.26	11.54	82.02	17.98	6.44	64.18	8500	0.84	7140	10.7
2	6.00	5.66	5.26	7.05	1278.2	1284.8	701.5	583.3	2.19	11.19	79.51	20.49	9.30	54.61	8200	0.84	6888	10.2
3	6.00	5.66	5.26	7.04	1269.3	1275.5	719.9	555.6	2.28	11.66	82.89	17.11	5.44	68.19	9900	0.84	8316	11.5
Avg	6.00								2.25			18.53	7.06	62.33			7448	10.8
4	6.50	6.10	5.71	6.82	1279.1	1283.5	717.7	565.8	2.26	12.52	81.64	18.36	5.84	68.19	9500	0.86	8170	11.5
5	6.50	6.10	5.71	7.03	1277.4	1281.6	712.5	569.1	2.24	12.43	81.06	18.94	6.51	65.63	7000	0.84	5880	12.3
6	6.50	6.10	5.71	6.96	1282.5	1286.6	720.8	565.8	2.27	12.55	81.86	18.14	5.59	69.19	10000	0.85	8500	11.0
Avg	6.50								2.26			18.48	5.98	67.67			7517	11.6
7	7.00	6.54	6.15	6.90	1295.2	1297.3	728.2	569.1	2.28	13.57	81.81	18.19	4.62	74.62	9100	0.85	7735	13.8
8	7.00	6.54	6.15	6.78	1294.5	1296.0	726.2	569.8	2.27	13.55	81.66	18.34	4.79	73.90	9400	0.87	8178	15.7
9	7.00	6.54	6.15	6.71	1284.5	1286.7	725.0	561.7	2.29	13.64	82.20	17.80	4.16	76.63	8400	0.88	7392	15.0
Avg	7.00								2.28			18.11	4.52	75.05			7768	14.8

(ต่อ)

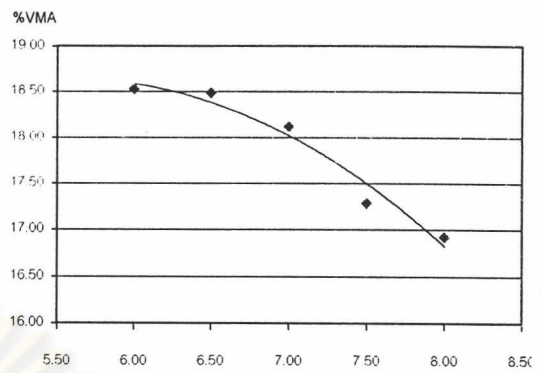
(ต่อ)

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้อ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water							Reading (N)	factor Adjusted		
10	7.50	6.98	6.59	6.88	1283.8	1285.6	730.6	555.0	2.31	14.78	17.24	2.46	85.71	7400	0.86	6364	16.1
11	7.50	6.98	6.59	6.92	1281.4	1282.5	731.4	551.1	2.33	14.85	16.81	1.96	88.36	8000	0.85	6800	14.9
12	7.50	6.98	6.59	6.88	1290.7	1292.6	730.9	561.7	2.30	14.68	17.79	3.11	82.52	8600	0.86	7396	15.6
Avg	7.50								2.31		17.28	2.51	85.48			6853	15.5
13	8.00	7.41	7.02	7.16	1293.3	1293.8	745.5	548.3	2.36	16.06	16.00	-0.06	100.36	7300	0.83	6059	16.0
14	8.00	7.41	7.02	7.16	1295.1	1295.9	737.0	558.9	2.32	15.77	17.48	1.70	90.26	8100	0.83	6723	16.5
15	8.00	7.41	7.02	7.10	1293.6	1294.3	737.4	556.9	2.32	15.81	17.28	1.46	91.52	6500	0.83	5395	17.5
Avg	8.00								2.33		16.92	1.04	93.87			6059	16.7

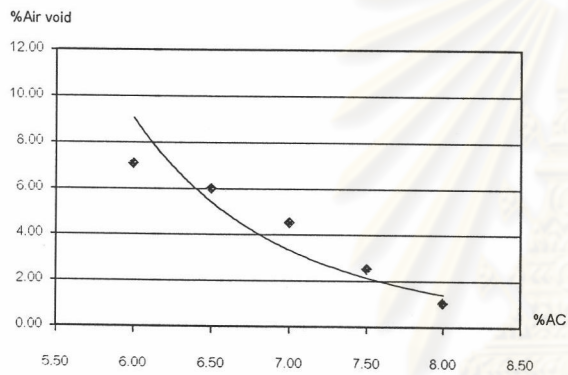
%AC vs Density



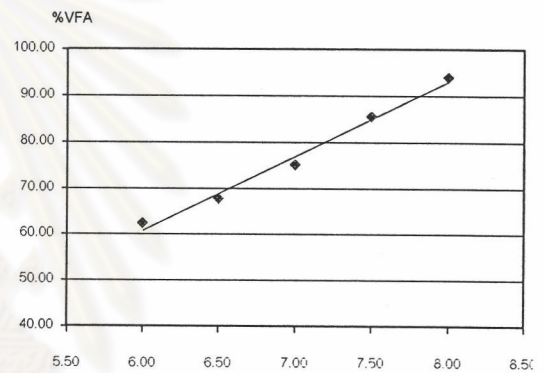
%AC vs %VMA



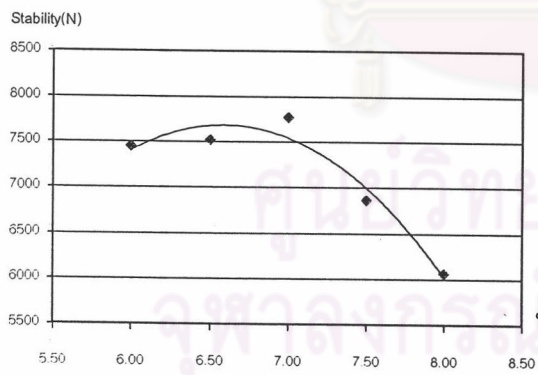
%AC vs %Air void



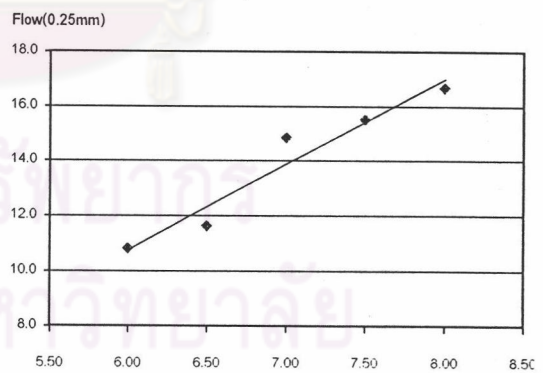
%AC vs %VFA



%AC vs Stability



%AC vs Flow



Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : จังหวัดราชบุรี

Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70

Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031

Design Traffic Criteria : Heavy

Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.60

Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gse) : 2.628

Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.386

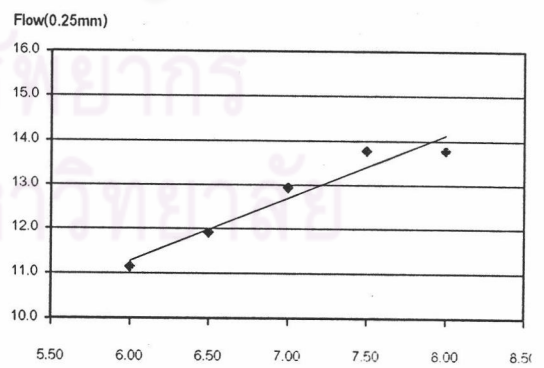
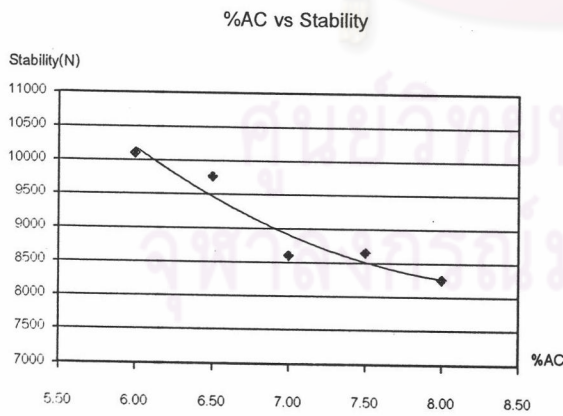
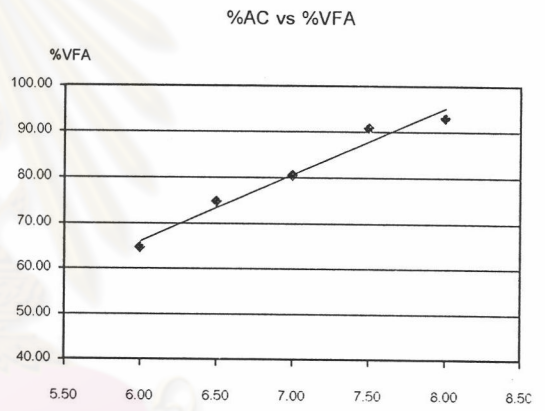
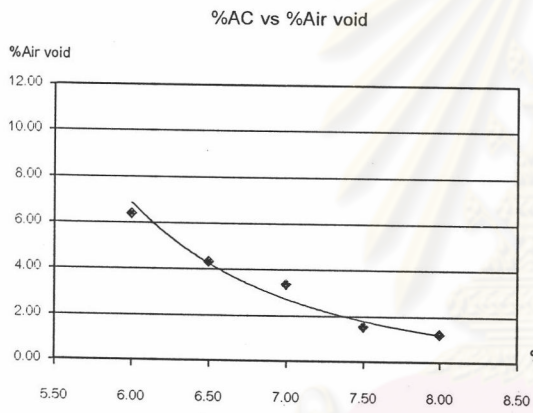
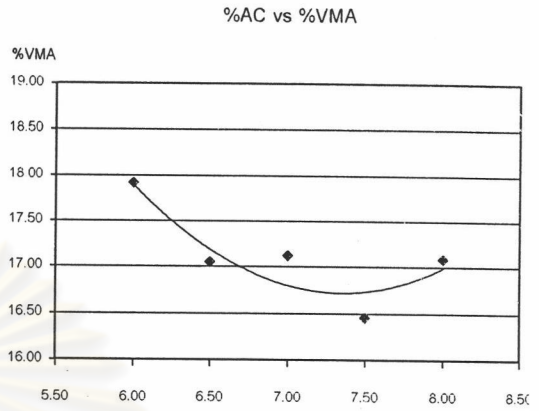
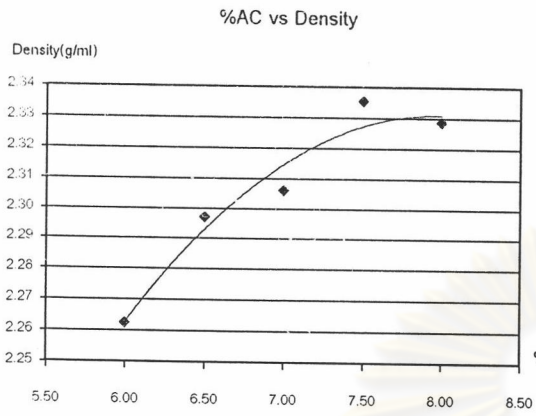
Percent of Asphalt absorption (x) : 0.42

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ที่ 10 มม. (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	Adjusted		
1	6.00	5.66	5.26	6.97	1269.0	1275.8	717.3	558.5	2.27	11.60	82.44	17.56	5.95	66.08	11700	0.85	9945	11.6
2	6.00	5.66	5.26	7.05	1269.7	1276.3	709.4	566.9	2.24	11.44	81.27	18.73	7.30	61.05	12300	0.84	10332	10.8
3	6.00	5.66	5.26	7.04	1265.9	1272.7	716.3	556.4	2.28	11.62	82.55	17.45	5.83	66.58	11900	0.84	9996	11
Avg	6.00								2.26			17.91	6.36	64.57			10091	11.1
4	6.50	6.10	5.71	6.88	1276.1	1280.3	720.6	559.7	2.28	12.62	82.34	17.66	5.04	71.48	11500	0.86	9890	12.5
5	6.50	6.10	5.71	7.10	1276.7	1281.1	726.3	554.8	2.30	12.74	83.11	16.89	4.15	75.42	11800	0.83	9794	11.7
6	6.50	6.10	5.71	6.99	1271.0	1275.3	725.0	550.3	2.31	12.79	83.41	16.59	3.80	77.09	11400	0.84	9576	11.5
Avg	6.50								2.30			17.05	4.33	74.67			9753	11.9
7	7.00	6.54	6.15	7.03	1285.0	1287.3	734.4	552.9	2.32	13.86	83.54	16.46	2.60	84.22	11000	0.84	9240	12.6
8	7.00	6.54	6.15	6.99	1285.3	1287.6	726.4	561.2	2.29	13.66	82.32	17.68	4.01	77.29	9700	0.84	8148	12.1
9	7.00	6.54	6.15	7.12	1275.5	1277.6	723.8	553.8	2.30	13.74	82.79	17.21	3.47	79.82	10100	0.83	8383	14.1
Avg	7.00								2.31			17.12	3.36	80.44			8590	12.9

(ต่อ)

(ต่อ)

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)			Flow ค่าที่ปรับ (0.25mm)
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	factor	Adjusted	
10	7.50	6.98	6.59	6.78	1285.3	1286.4	737.2	549.2	2.34	14.95	83.73	16.27	1.32	91.90	10500	0.87	9135	13.8
11	7.50	6.98	6.59	7.02	1295.0	1296.7	740.6	556.1	2.33	14.88	83.32	16.68	1.81	89.17	9500	0.84	7980	14.6
12	7.50	6.98	6.59	7.00	1287.6	1288.9	737.9	551.0	2.34	14.93	83.61	16.39	1.46	91.07	10500	0.84	8820	12.9
Avg	7.50								2.34			16.45	1.53	90.70			8645	13.8
13	8.00	7.41	7.02	6.82	1290.6	1291.4	744.2	547.2	2.36	16.06	83.99	16.01	-0.05	100.31	10200	0.86	8772	14.8
14	8.00	7.41	7.02	6.94	1294.4	1295.0	735.6	559.4	2.31	15.75	82.40	17.60	1.84	89.52	9900	0.85	8415	12.9
15	8.00	7.41	7.02	7.12	1297.8	1298.1	737.0	561.1	2.31	15.75	82.37	17.63	1.88	89.31	9100	0.83	7553	13.6
Avg	8.00								2.33			17.08	1.23	92.82			8247	13.8



Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : จังหวัดสระบุรี

Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031

Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.62

Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.399

Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70

Design Traffic Criteria : Medium

Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gsc) : 2.645

Percent of Asphalt absorption (x) : 0.38

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	Adjusted		
1	6.00	5.66	5.30	7.14	1261.1	1267.6	699.8	567.8	2.22	11.42	79.97	20.03	8.60	57.03	8000	0.83	6640	13.5
2	6.00	5.66	5.30	7.00	1255.3	1261.8	694.5	567.3	2.21	11.38	79.68	20.32	8.94	55.99	8000	0.84	6720	13.0
3	6.00	5.66	5.30	7.19	1263.5	1270.2	701.2	569.0	2.22	11.42	79.96	20.04	8.62	56.97	8000	0.82	6560	14.5
Avg	6.00								2.22			20.13	8.72	56.66			6640	13.7
4	6.50	6.10	5.75	7.14	1270.7	1275.1	707.9	567.2	2.24	12.49	80.29	19.71	7.22	63.35	9000	0.83	7470	14.5
5	6.50	6.10	5.75	7.08	1260.3	1265.2	702.4	562.8	2.24	12.48	80.25	19.75	7.26	63.21	8000	0.84	6720	12.0
6	6.50	6.10	5.75	7.12	1268.8	1273.2	706.9	566.3	2.24	12.49	80.30	19.70	7.22	63.38	8500	0.83	7055	15.0
Avg	6.50								2.24			19.72	7.23	63.31			7082	13.8
7	7.00	6.54	6.19	7.17	1273.3	1275.6	713.3	562.3	2.26	13.59	80.78	19.22	5.64	70.68	9000	0.83	7470	13.5
8	7.00	6.54	6.19	7.09	1270.3	1272.5	711.5	561.0	2.26	13.59	80.77	19.23	5.64	70.67	10000	0.83	8300	16.0
9	7.00	6.54	6.19	7.08	1270.1	1272.0	710.2	561.8	2.26	13.57	80.64	19.36	5.79	70.09	7500	0.84	6300	13.0
Avg	7.00								2.26			19.27	5.69	70.48			7357	14.2

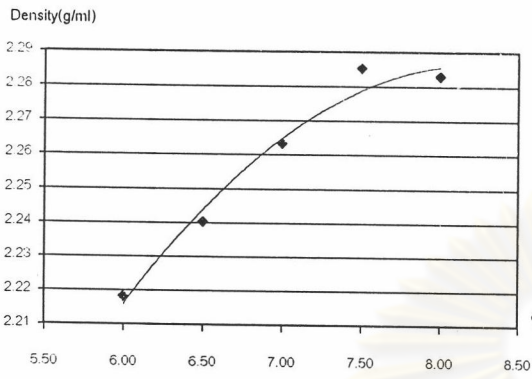
(ต่อ)

(ต่อ)

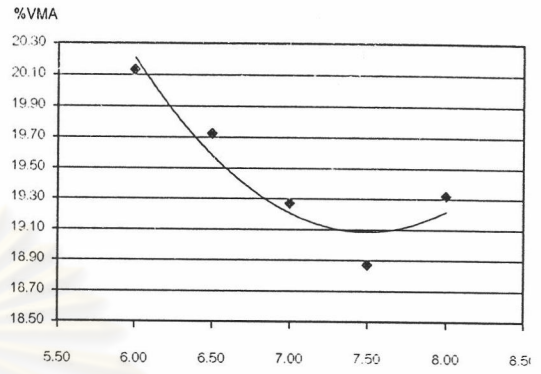
No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	Adjusted		
10	7.50	6.98	6.62	7.11	1273.4	1274.8	717.6	557.2	2.29	14.68	81.14	18.86	4.18	77.85	8000	0.83	6640	14.0
11	7.50	6.98	6.62	7.06	1270.1	1271.8	715.4	556.4	2.28	14.66	81.05	18.95	4.29	77.38	8000	0.84	6720	15.0
12	7.50	6.98	6.62	7.15	1275.2	1276.3	718.8	557.5	2.29	14.69	81.21	18.79	4.09	78.21	8000	0.83	6640	14.5
Avg	7.50								2.29			18.87	4.19	77.81			6667	14.5
13	8.00	7.41	7.06	7.24	1280.2	1281.5	721.1	560.4	2.28	15.63	80.73	19.27	3.63	81.14	8000	0.82	6560	17.5
14	8.00	7.41	7.06	7.21	1278.5	1279.6	718.6	561.0	2.28	15.60	80.54	19.46	3.86	80.14	8500	0.82	6970	18.5
15	8.00	7.41	7.06	7.22	1279.8	1280.4	720.4	560.0	2.29	15.64	80.77	19.23	3.59	81.31	7000	0.82	5740	16.0
Avg	8.00								2.28			19.32	3.70	80.86			6423	17.3

ที่มา : พรชัย ตีลาภรณ์ (2543)

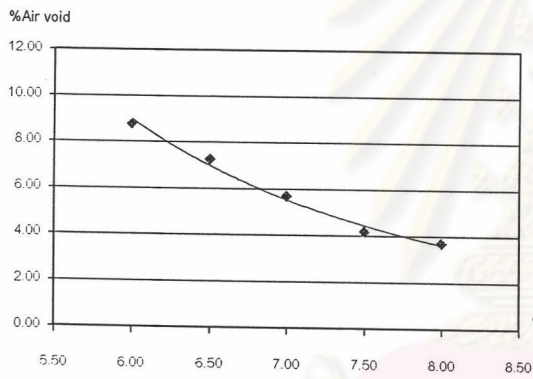
%AC vs Density



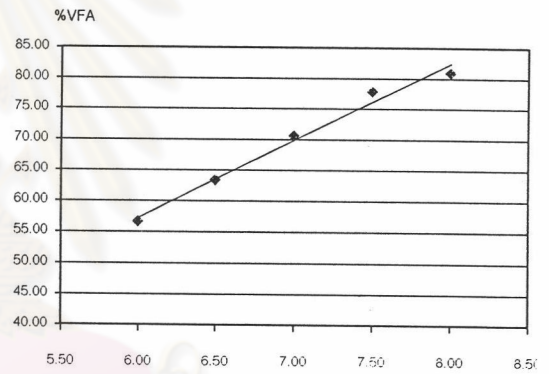
%AC vs %VMA



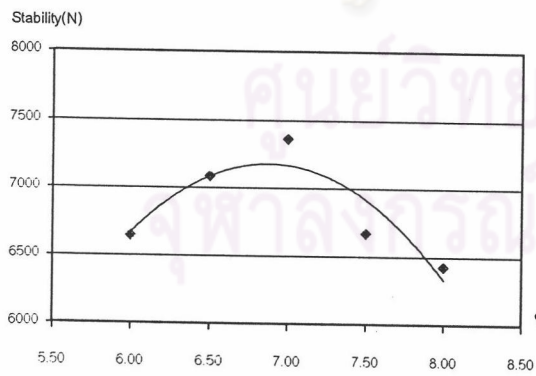
%AC vs %Air void



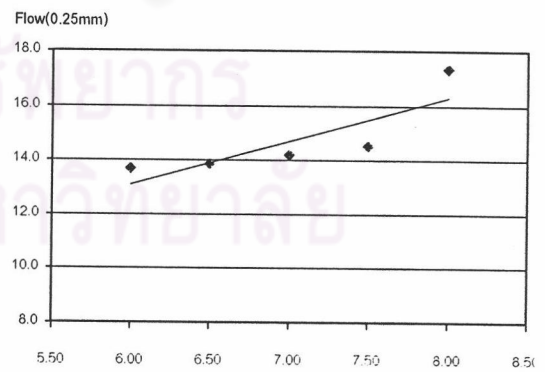
%AC vs %VFA



%AC vs Stability



%AC vs Flow



Chulalongkorn University, Department of Civil Engineering

Hot-Mix Design Data by Marshall Method

Source of Aggregate : จังหวัดสระบุรี

Specific Gravity of Asphalt Cement (Gac) : 1.031

Average Bulk Specific Gravity of Total Aggregate (Gag) : 2.62

Maximum Specific Gravity of Mixture @ 7% AC : 2.399

Penetration Grade of Asphalt Cement : AC 60-70

Design Traffic Criteria : Heavy

Average Efficient Specific Gravity of Total Aggregate (Gse) : 2.645

Percent of Asphalt absorption (x) : 0.38

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	Adjusted		
1	6.00	5.66	5.30	7.05	1271.5	1275.5	714.6	560.9	2.27	11.66	81.63	18.37	6.72	63.44	11000	0.84	9240	12.6
2	6.00	5.66	5.30	6.98	1273.5	1276.4	715.0	561.4	2.27	11.67	81.68	18.32	6.65	63.68	10500	0.85	8925	14.2
3	6.00	5.66	5.30	7.00	1264.1	1266.1	710.5	555.6	2.28	11.70	81.92	18.08	6.38	64.73	11000	0.84	9240	13
Avg	6.00								2.27			18.26	6.58	63.95			9135	13.3
4	6.50	6.10	5.75	6.98	1279.3	1281.3	720.8	560.5	2.28	12.72	81.80	18.20	5.48	69.89	9000	0.85	7650	11.5
5	6.50	6.10	5.75	6.97	1279.3	1280.6	720.3	560.3	2.28	12.73	81.83	18.17	5.45	70.03	11000	0.85	9350	13.5
6	6.50	6.10	5.75	7.00	1280.1	1281.8	721.5	560.3	2.28	12.73	81.88	18.12	5.39	70.27	9500	0.84	7980	11.7
Avg	6.50								2.28			18.16	5.44	70.07			8327	12.2
7	7.00	6.54	6.19	6.93	1274.2	1276.8	721.6	555.2	2.30	13.77	81.87	18.13	4.36	75.95	10500	0.85	8925	17
8	7.00	6.54	6.19	6.94	1275.5	1277.5	720.1	557.4	2.29	13.73	81.63	18.37	4.64	74.74	10000	0.85	8500	12
9	7.00	6.54	6.19	6.90	1273.8	1275.3	720.5	554.8	2.30	13.78	81.90	18.10	4.32	76.12	11000	0.85	9350	15.2
Avg	7.00								2.29			18.20	4.44	75.60			8925	14.7

(ต่อ)

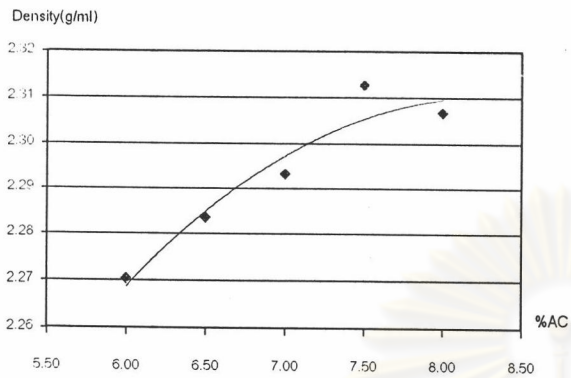
(ต่อ)

No.	%AC by wt. of Agg	%AC by wt. of Mix	%eff AC by wt. of mix	Spec. Height (cm)	Mass (grams)			Bulk Vol. (cc.)	Density (g/ml)	%Volume AC	%Volume aggregate	%VMA	%Air Void	%VFA	Stability (N)		Flow ค่าที่ได้อ (0.25mm)	
					In Air	Sat. Surface Dry in Air	In water								Reading (N)	Adjusted		
10	7.50	6.98	6.62	6.95	1282.6	1284.0	727.4	556.6	2.30	14.80	81.82	18.18	3.38	81.41	9000	0.85	7650	13.5
11	7.50	6.98	6.62	6.90	1277.7	1279.3	726.4	552.9	2.31	14.85	82.05	17.95	3.11	82.70	8000	0.85	6800	14.2
12	7.50	6.98	6.62	6.78	1270.2	1271.5	724.6	546.9	2.32	14.92	82.46	17.54	2.62	85.07	8000	0.87	6960	16.6
Avg	7.50								2.31			17.89	3.03	83.04			7137	14.8
13	8.00	7.41	7.06	6.95	1283.4	1284.9	727.3	557.6	2.30	15.75	81.34	18.66	2.91	84.42	8000	0.85	6800	15
14	8.00	7.41	7.06	6.75	1269.3	1270.5	724.6	545.9	2.33	15.91	82.17	17.83	1.92	89.25	8500	0.87	7395	13.7
15	8.00	7.41	7.06	6.74	1268.4	1270.7	717.6	553.1	2.29	15.69	81.05	18.95	3.26	82.80	8000	0.88	7040	13
Avg	8.00								2.31			18.48	2.69	85.42			7078	13.9

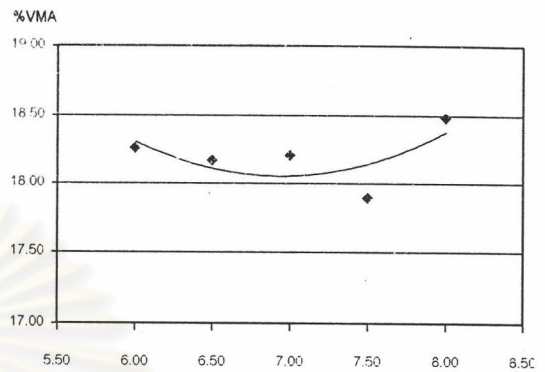
ที่มา : พรชัย ติลารัมย์ (2543)

(Heavy)

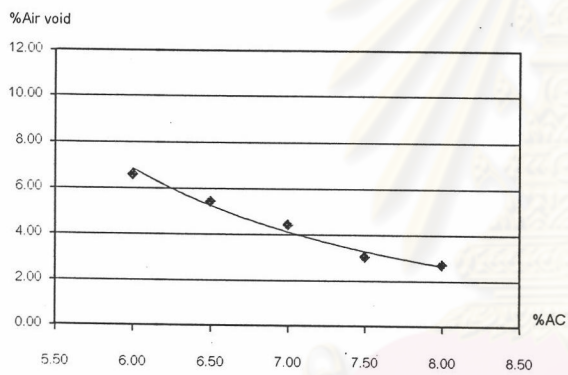
%AC vs Density



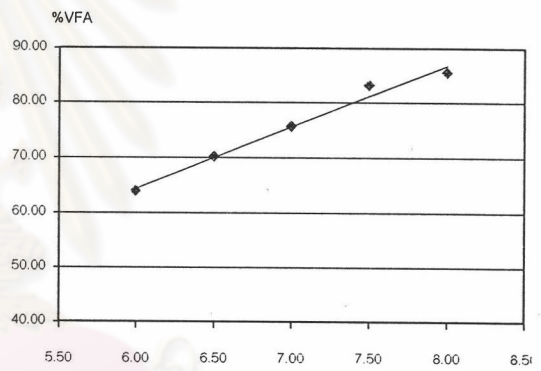
%AC vs %VMA



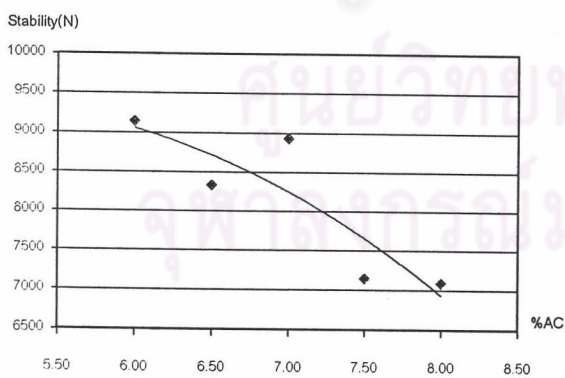
%AC vs %Air void



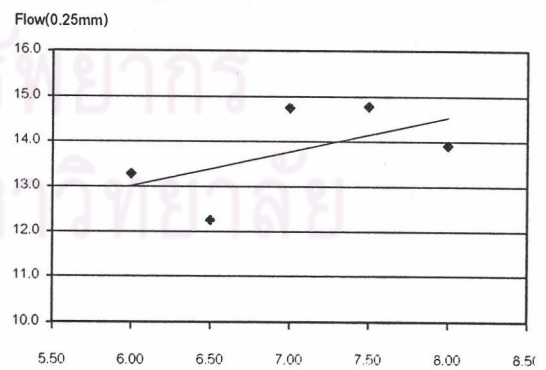
%AC vs %VFA



%AC vs Stability



%AC vs Flow



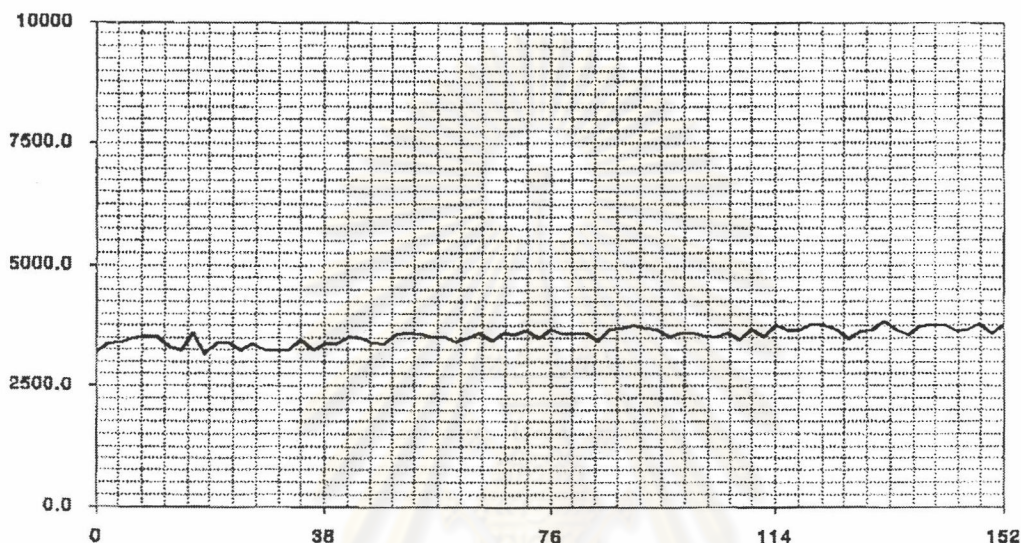


ภาคผนวก ข

การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีต

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ ข-1 แสดงตัวอย่างการอ่านค่าและการคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างทดสอบ ก่อนที่ 2 ทดสอบ ณ อุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียสในทิศทางกดแรงที่ 1 โดยแกนตั้งจะเป็นค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และแกนนอนเป็นจำนวนครั้งที่ทำการกดตัวอย่าง สำหรับรายละเอียดของค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ค่าการคืนตัว อุณหภูมิทดสอบ ณ จำนวนครั้งที่กดไป จะแสดงเฉพาะ 5 ครั้งสุดท้าย โดยเราจะนำผลที่ได้จากการทดสอบกดแรง 5 ครั้งสุดท้ายมาหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตดังตารางที่ ข-1



รูปที่ ข-1 แสดงผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต จากการกดตัวอย่างทั้งหมด 150 ครั้ง

ตารางที่ ข-1 แสดงผลการคำนวณค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และค่าการคืนตัวเฉลี่ย 5 ครั้งสุดท้าย

Pulse	ค่าการคืนตัว (MicroStrain)	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Mpa)	อุณหภูมิขณะทำการ ทดสอบ (องศาเซลเซียส)
144	6.339	3,647	25.2
146	6.339	3,668	25.2
148	6.195	3,775	25.2
150	6.483	3,587	25.2
152	6.195	3,753	25.2
ค่าเฉลี่ย	6.310	3,686	25.2

ตารางที่ ข-2 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสที่ต้นตัวของมวลรวมทดสอบทั้งหัวถักยางนบุรี

Resilient Modulus Test Result : From last 5 pulses of 150 pulses (Direction 1, 2 and Average)												
Sample No.	Test Temp (Celcius)	Direction 1				Direction 2				Average		
		ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)
			15	8.932	8,454	15.3	15.3	8.558	8,776	15.3	15.3	8.745
กายจนบุรี 1	25	14.828	3,776	25.0	24.9	14.848	3,743	24.9	24.9	14.838	3,760	25.0
	40	40.228	1,000	40.4	40.4	46.812	870	40.4	40.4	43.520	935	40.4
	15	7.913	9444	15.6	15.7	8.631	8652	15.7	15.7	8.272	9,048	15.6
กายจนบุรี 2	25	13.388	4170	24.7	24.8	15.396	3622	24.8	24.8	14.392	3,896	24.7
	40	47.910	847	40.2	40.2	52.920	765	40.2	40.2	50.415	806	40.2
	15	9.439	10266	15.4	15.6	8.642	8647	15.6	15.6	9.041	9,457	15.5
กายจนบุรี 3	25	16.304	3986	24.9	25.1	16.226	3849	25.1	25.1	16.265	3,918	25.0
	40	50.819	834	39.8	39.9	49.844	892	39.9	39.9	50.332	863	39.9

ตารางที่ ข-3 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของมวลรวมทดสอบจิ้งหรีดชนิดบุรี

Sample No.	Test Temp (Celcius)	Resilient Modulus Test Result : From last 5 pulses of 150 pulses (Direction 1 , 2 and Average)											
		Direction 1				Direction 2				Average			
		ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)
ชนิดบุรี 1	15	5.406	8,775	15.8	5.492	8,579	16.0	5.449	8,677	15.9			
	25	7.880	4,330	25.2	8.801	3,733	25.1	8.341	4,032	25.2			
	35	10.350	1,186	37.8	14.378	868	37.5	12.364	1,027	37.6			
	40	19.100	672	45.6	29.512	439	46.2	24.306	556	45.9			
ชนิดบุรี 2	15	6.166	7,647	17.7	7.175	6,394	18.3	6.671	7,021	18.0			
	25	6.310	3,686	25.2	6.484	3,501	25.2	6.397	3,594	25.2			
	35	12.190	1,038	38.0	13.056	976	37.8	12.623	1,007	37.9			
	40	16.916	738	46.3	30.640	389	46.3	23.778	564	46.3			
ชนิดบุรี 3	15	6.980	6,747	18.3	7.210	6,440	18.3	7.095	6,594	18.3			
	25	4.182	5,399	25.1	6.317	3,603	25.1	5.250	4,501	25.1			
	35	10.876	1,130	37.4	17.100	770	37.3	13.988	950	37.4			
	40	15.522	942	46.5	25.222	387	46.1	20.372	665	46.3			

ตารางที่ ข-5 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคั้นตัวของมวลรวมทดสอบจังหวัดราชบุรี

Sample No.	Test Temp (Celcius)	Resilient Modulus Test Result : From last 5 pulses of 150 pulses (Direction 1 , 2 and Average)											
		Direction 1				Direction 2				Average			
		ResiStrm (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrm (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrm (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrm (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)
ราชบุรี 1	15	5.555	13,463	15.0	9.929	7,550	15.1	7.742	10,507	15.0			
	25	19.662	2,846	25.2	19.112	2,921	25.1	19.387	2,884	25.1			
	40	67.772	603	40.4	42.984	965	40.1	55.378	784	40.2			
ราชบุรี 2	15	8.839	8,466	15.3	8.290	9,024	15.4	8.564	8,745	15.3			
	25	15.598	3,587	24.8	16.120	3,472	24.8	15.859	3,529	24.8			
	40	49.402	823	40.3	55.370	730	40.2	52.386	776	40.3			
ราชบุรี 3	15	8.693	9,623	15.1	8.998	9,149	15.0	8.846	9,386	15.1			
	25	17.539	3,641	25.0	16.953	3,375	24.9	17.246	3,508	25.0			
	40	50.333	948	40.4	54.322	897	40.3	52.328	923	40.4			

ตารางที่ ข-4 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของมวลรวมทดสอบจังหวัดเพชรบุรี

Sample No.	Test Temp (Celcius)	Resilient Modulus Test Result : From last 5 pulses of 150 pulses (Direction 1, 2 and Average)											
		Direction 1				Direction 2				Average			
		ResiStrm (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrm (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrm (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	
	15	9.585	7829	14.8	10.270	7258	15.1	15.1	9.928	7,544	15.0		
เพชรบุรี 1	25	18.272	3055	24.9	19.112	2920	24.9	24.9	18.692	2,988	24.9		
	40	56.548	718	40.4	59.550	682	40.4	40.4	58.049	700	40.4		
	15	10.770	6932	15.7	10.454	7141	15.6	15.6	10.612	7,036	15.6		
เพชรบุรี 2	25	18.610	2991	24.8	18.468	3005	24.7	24.7	18.539	2,998	24.7		
	40	53.340	752	40.5	52.190	775	40.4	40.4	52.765	763	40.5		
	15	8.641	7859	15.2	9.372	8011	15.6	15.6	9.007	7,935	15.4		
เพชรบุรี 3	25	16.671	3086	25.0	18.992	3237	25.0	25.0	17.832	3,162	25.0		
	40	55.637	873	40.2	54.235	948	40.4	40.4	54.936	911	40.3		

ตารางที่ ๗-6 แสดงรายละเอียดผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืบตัวของมวลรวมทดสอบจังหวัดสระบุรี

Resilient Modulus Test Result : From last 5 pulses of 150 pulses (Direction 1 , 2 and Average)												
Sample No.	Test Temp (Celcius)	Direction 1			Direction 2			Average				
		ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)	ResiStrn (microstrain)	ResiMod (MPa)	TempPrb (degree celcius)		
สระบุรี 1	15	9.372	6223	14.8	9.917	6046	15.4	9.645	6,135	15.1		
	25	16.605	3137	24.9	16.145	3872	25.5	16.375	3,505	25.2		
	40	50.439	1011	40.1	54.792	920	40.3	52.616	966	40.2		
สระบุรี 2	15	7.878	7007	15.3	7.840	8165	15.3	7.859	7,586	15.3		
	25	19.586	2504	24.8	15.937	3192	24.6	17.762	2,848	24.7		
	40	51.751	1012	40.3	52.262	844	39.7	52.007	928	40.0		
สระบุรี 3	15	9.299	6864	15.3	10.287	7301	15.0	9.793	7,083	15.2		
	25	19.965	3426	25.5	19.288	3152	25.3	19.627	3,289	25.4		
	40	53.579	751	40.5	54.105	777	40.6	53.842	764	40.6		

Note : Force Temp = 15 use 20% of Indirect Tensile Strength

Temp = 25 use 15% of Indirect Tensile Strength

Temp = 35 and 40 use 10% of Indirect Tensile Strength



ภาคผนวก ค

Design Chart สำหรับการออกแบบโครงสร้างถนน
ชนิดยึดหยุ่นที่มีชั้นผิวทางเป็นวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

แบบ **Linear Elastic**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-1 แสดง Design Chart ของโครงสร้างถนนรูปแบบต่างๆ

Chart Type	Surface	Base	Subbase	Subgrade
Design Chart 1	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 2	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 3	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 4	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 5	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 6	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular 300 mm.	Subgrade Soil

ตารางที่ ค-2 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางประเภทต่างๆ

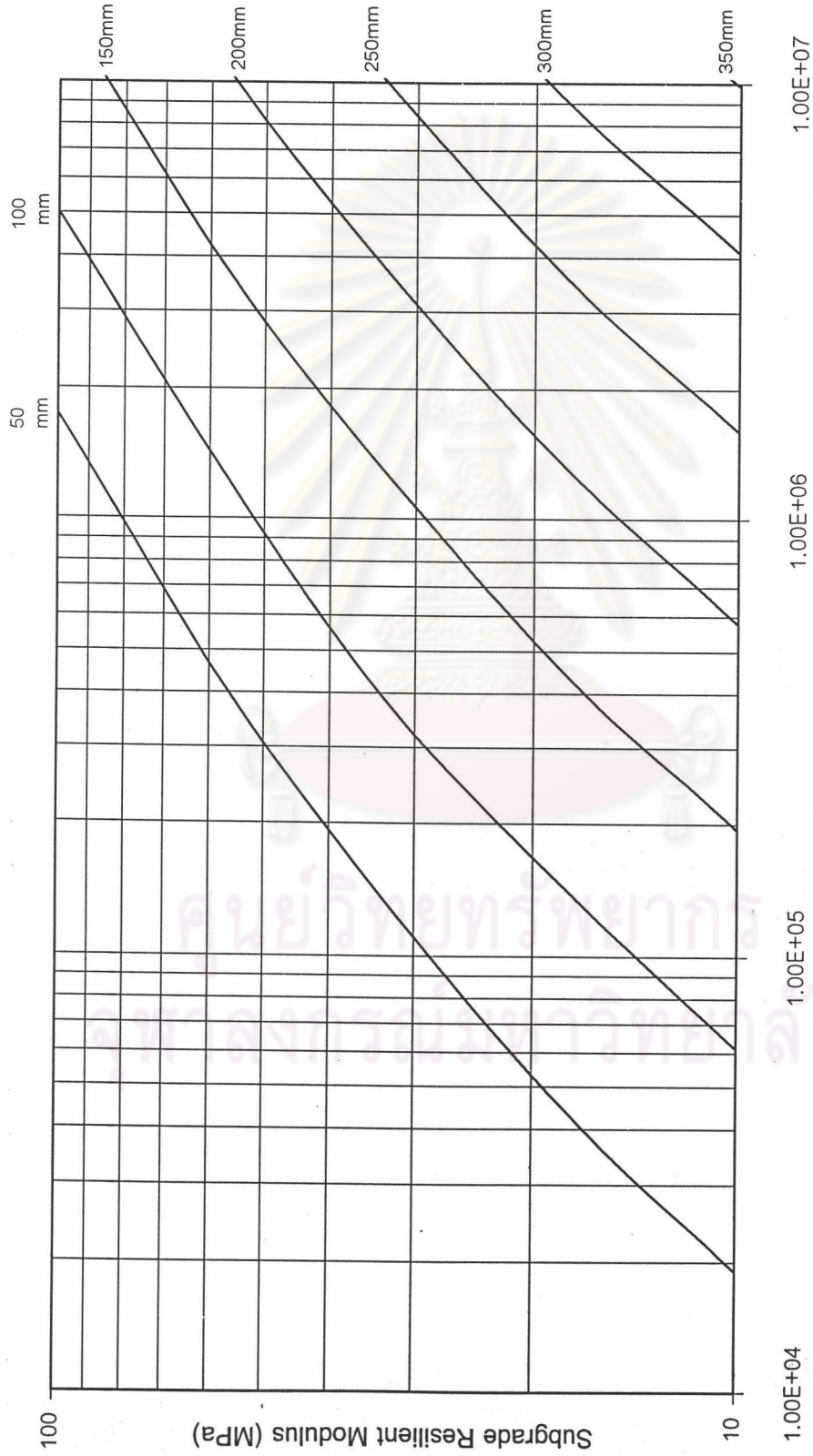
Materials	M_r (Mpa)	Poisson's Ratio	Fatigue Criteria*
Asphalt Concrete	1,000	0.4	$N_f = 0.0796 \epsilon_t^{-3.291} E^{-0.854}$
Soft Lateritic Soil-Cement Base	1,000	0.2	$N_f = (280/\mu\epsilon_t)^{18}$
Hard Lateritic Soil-Cement Base	3,000	0.2	$N_f = (280/\mu\epsilon_t)^{18}$
Unbound Granular Subbase	90	0.35	$N_f = 1.365 \times 10^{-9} \epsilon_c^{-4.477}$
Subgrade Soil	10 – 100	0.45	$N_f = 1.365 \times 10^{-9} \epsilon_c^{-4.477}$

* N_f : Number of 80 kN (18,000 lb) Equivalent Single Axle Loads

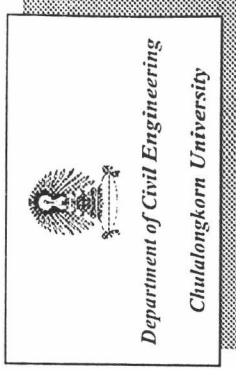
ϵ_t : Tensile Strain at Bottom of Asphalt Concrete or Lateritic Soil-Cement Layer

ϵ_c : Vertical Compressive Strain at Top of Subgrade Layer

Design Chart 1 Thickness of Asphalt Concrete Surface

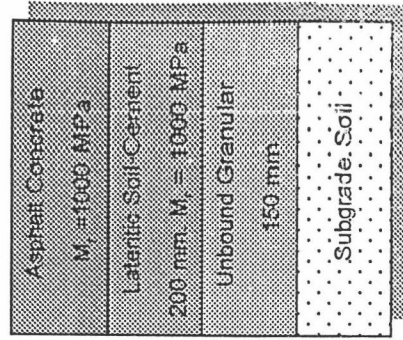


Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

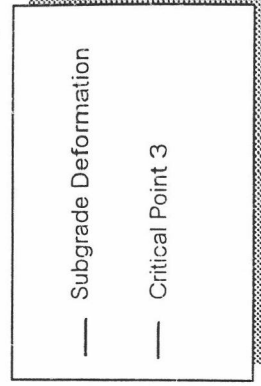


Characteristic of

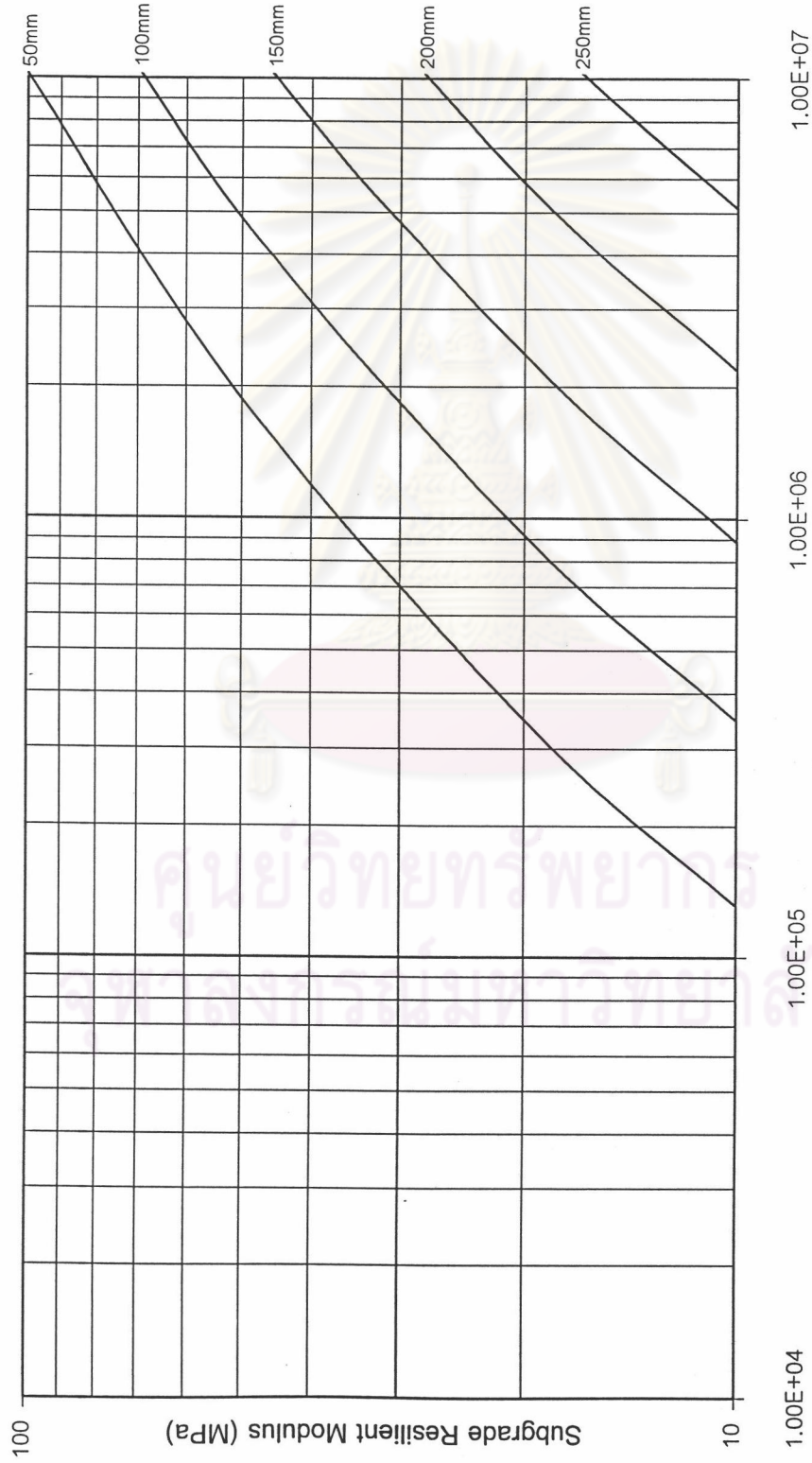
Pavement Structure



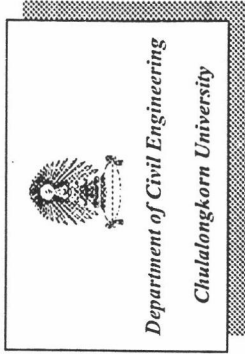
Dominant Distress Mode



Design Chart 2 Thickness of Asphalt Concrete Surface

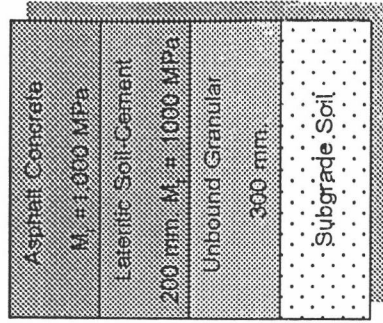


Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

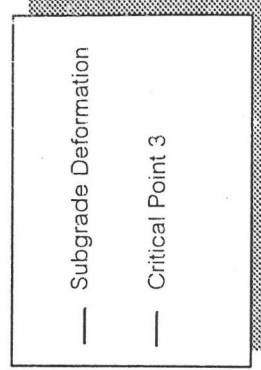


Characteristic of

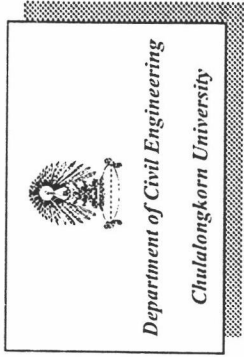
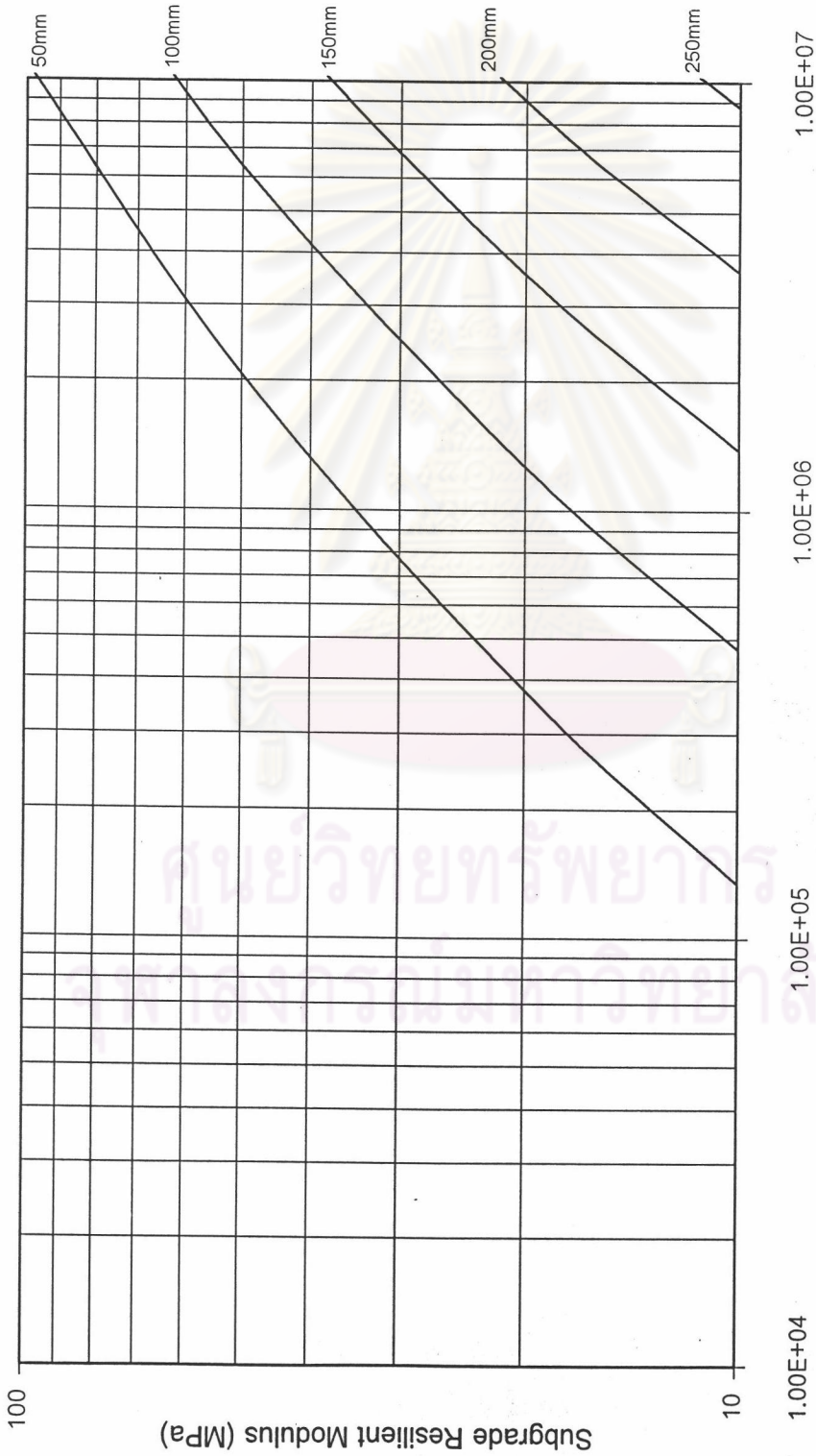
Pavement Structure



Dominant Distress Mode

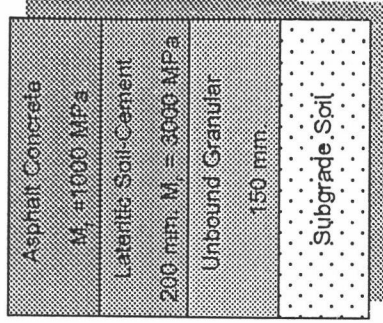


Design Chart 3 Thickness of Asphalt Concrete Surface

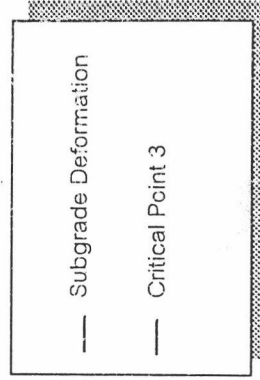


Characteristic of

Pavement Structure

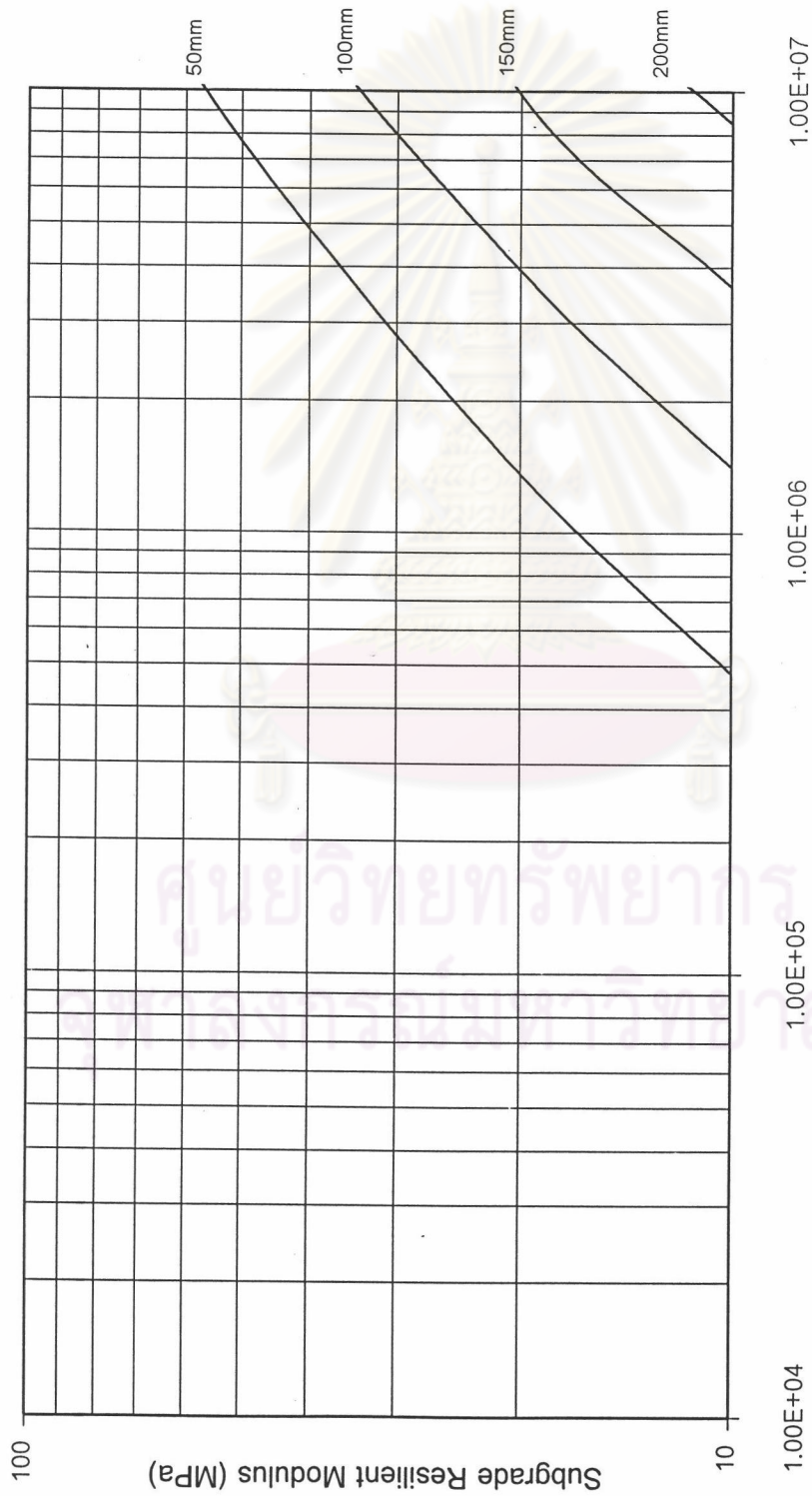


Dominant Distress Mode

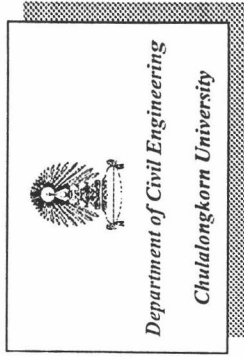


Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 4 Thickness of Asphalt Concrete Surface

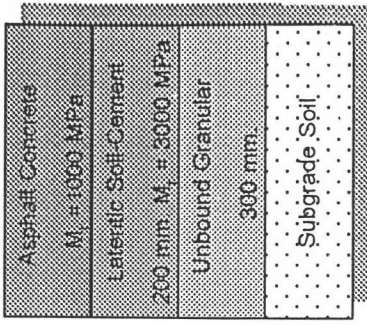


Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

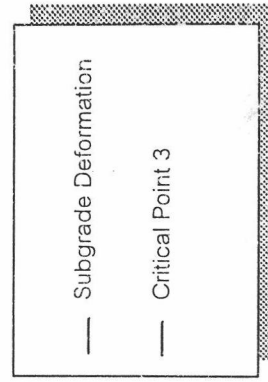


Characteristic of

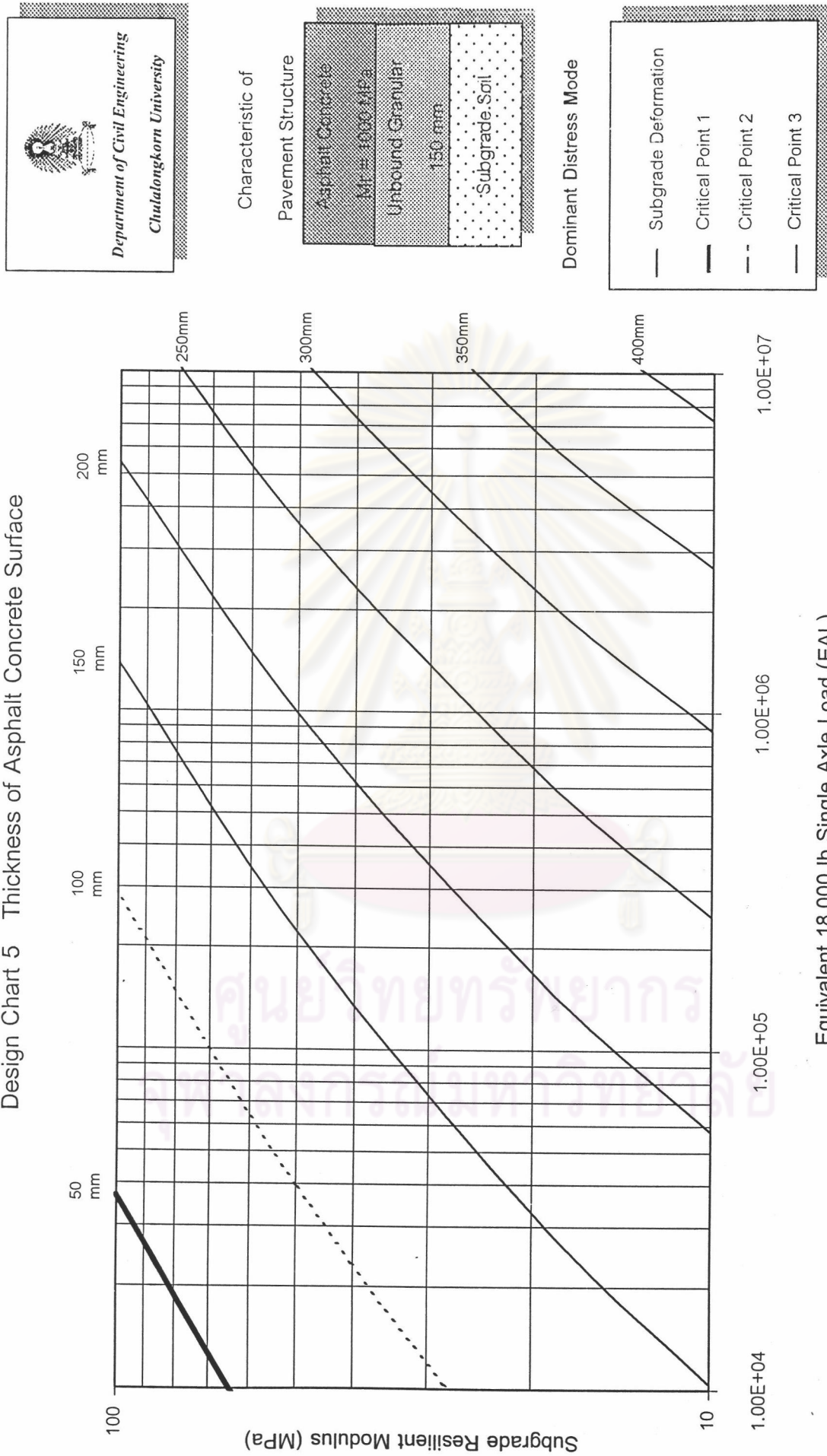
Pavement Structure



Dominant Distress Mode



Design Chart 5 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

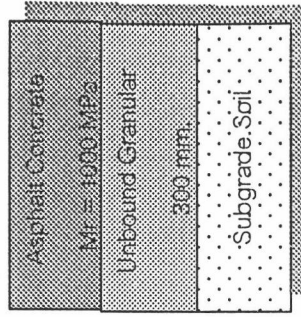


Department of Civil Engineering
Chulalongkorn University

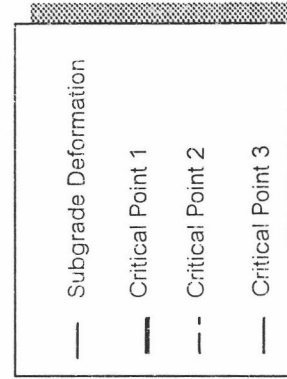


Characteristic of

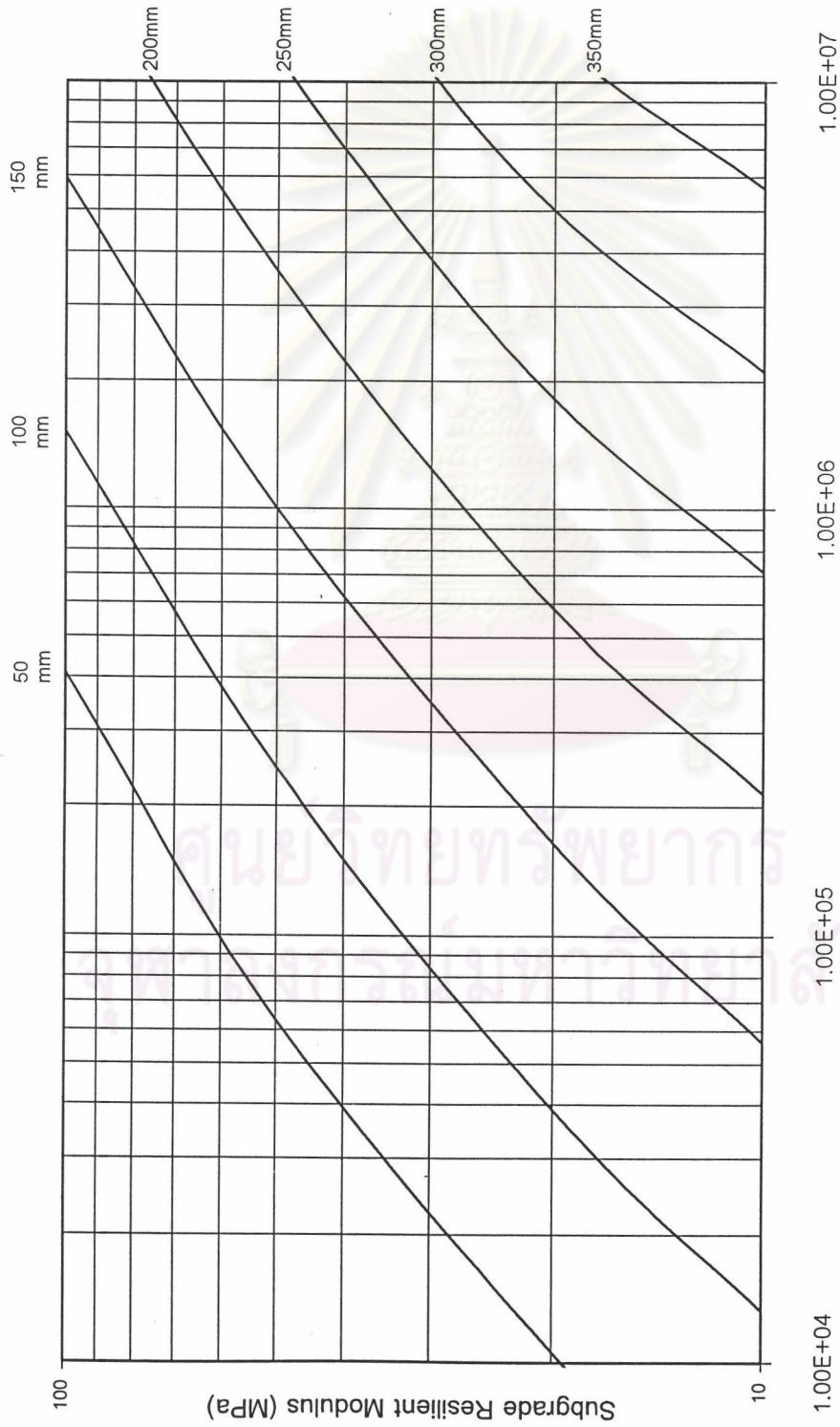
Pavement Structure



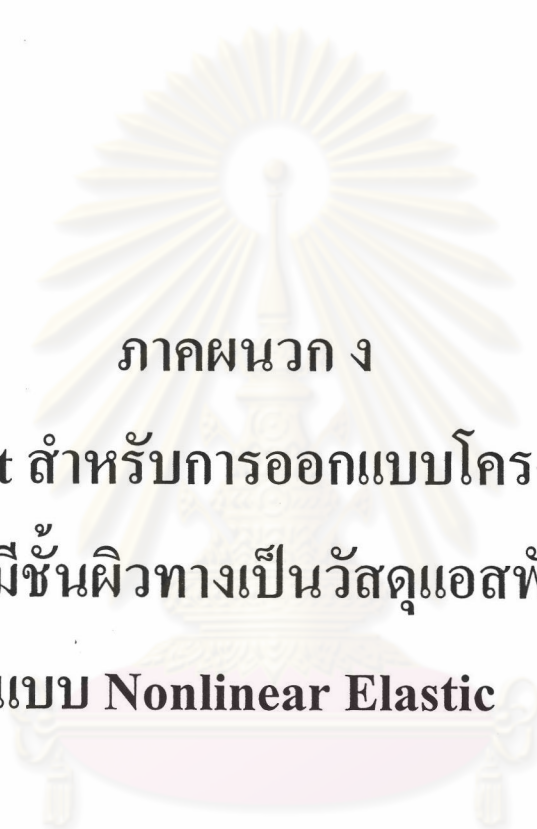
Dominant Distress Mode



Design Chart 6 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)



ภาคผนวก ง

Design Chart สำหรับการออกแบบโครงสร้างถนน
ชนิดยึดหยุ่นที่มีชั้นผิวทางเป็นวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต
แบบ **Nonlinear Elastic**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-1 แสดง Design Chart ของโครงสร้างถนนรูปแบบต่างๆ

Chart Type	Surface	Base	Subbase	Subgrade
Design Chart 1	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-1-a 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 2	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-1-a 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 3	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-2-4, A-2-6 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 4	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-2-4, A-2-6 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 5	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-1-a 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 6	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-1-a 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 7	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-2-4, A-2-6 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 8	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-2-4, A-2-6 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 9	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular A-1-a 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 10	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular A-1-a 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 11	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular A-2-4, A-2-6 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 12	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular A-2-4, A-2-6 300 mm.	Subgrade Soil

ตารางที่ ง-2 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางประเภทต่าง ๆ

Materials	M_r (MPa)	Poisson's Ratio	Fatigue Criteria*
Asphalt Concrete	1,000	0.4	$N_f = 0.0796 \epsilon_t^{-3.291} E^{-0.854}$
Soft Lateritic Soil-Cement Base	1,000	0.2	$N_f = (280 / \mu \epsilon_t)^{18}$
Hard Lateritic Soil-Cement Base	3,000	0.2	$N_f = (280 / \mu \epsilon_t)^{18}$
Unbound Granular Subbase A-1-a	$3800^{0.35}$	0.35	$N_f = 1.365 \times 10^{-9} \epsilon_c^{-4.477}$
Unbound Granular Subbase A-2-4, A-2-6	$4500^{0.25}$	0.35	$N_f = 1.365 \times 10^{-9} \epsilon_c^{-4.477}$
Subgrade Soil	10 - 100	0.45	$N_f = 1.365 \times 10^{-9} \epsilon_c^{-4.477}$

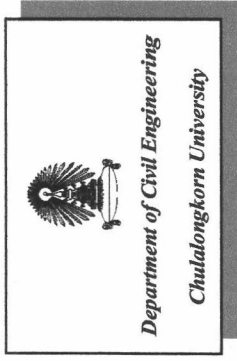
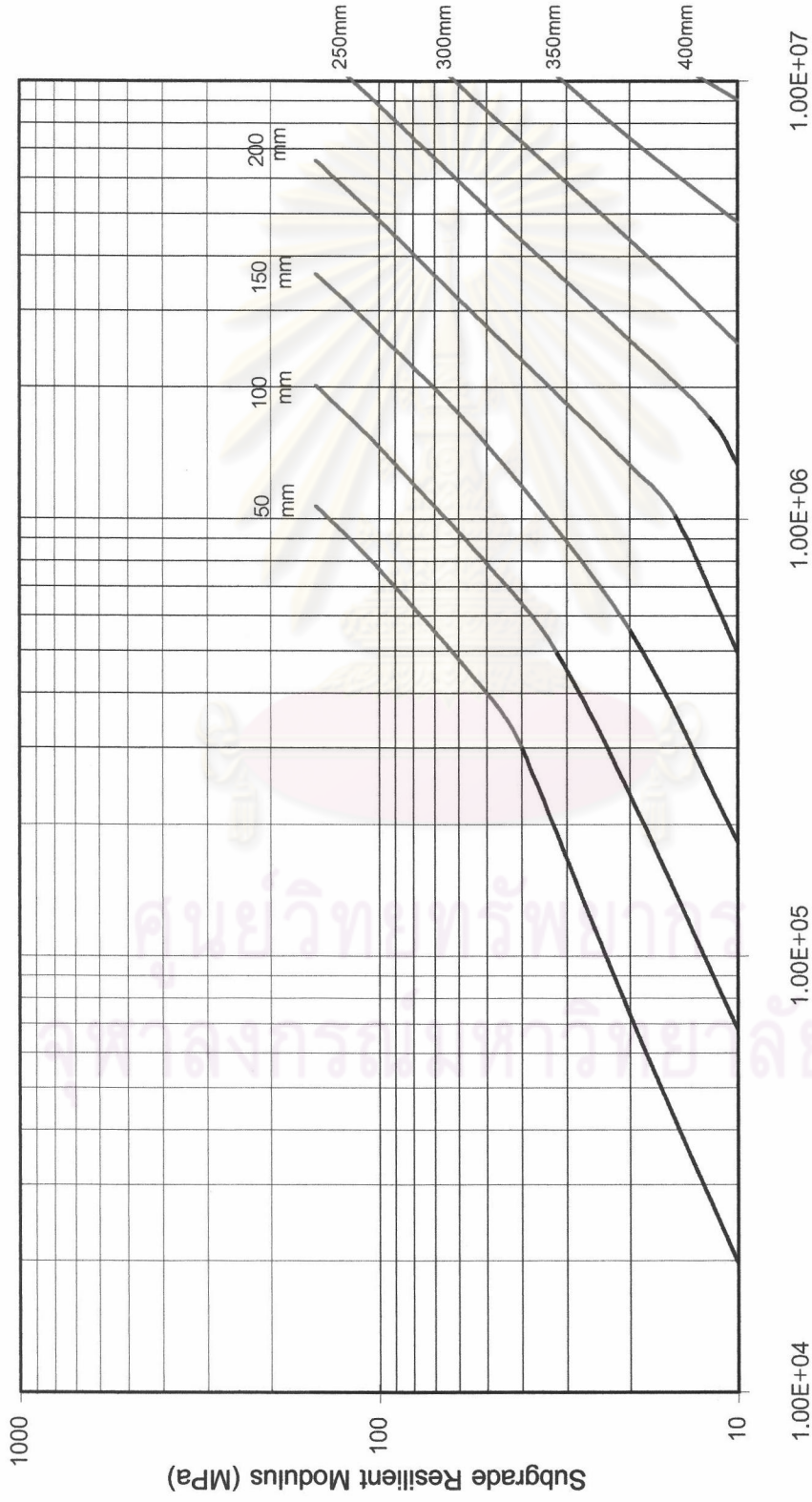
* N_f : Number of 80 kN (18,000 lb) Equivalent Single Axle Loads

ϵ_t : Tensile Strain at Bottom of Asphalt Concrete or Lateritic Soil-Cement Layer

ϵ_c : Vertical Compressive Strain at Top of Subgrade Layer

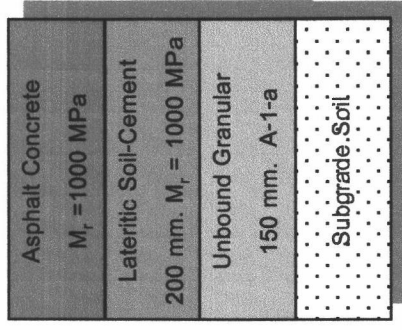
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Design Chart 1 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Characteristic of

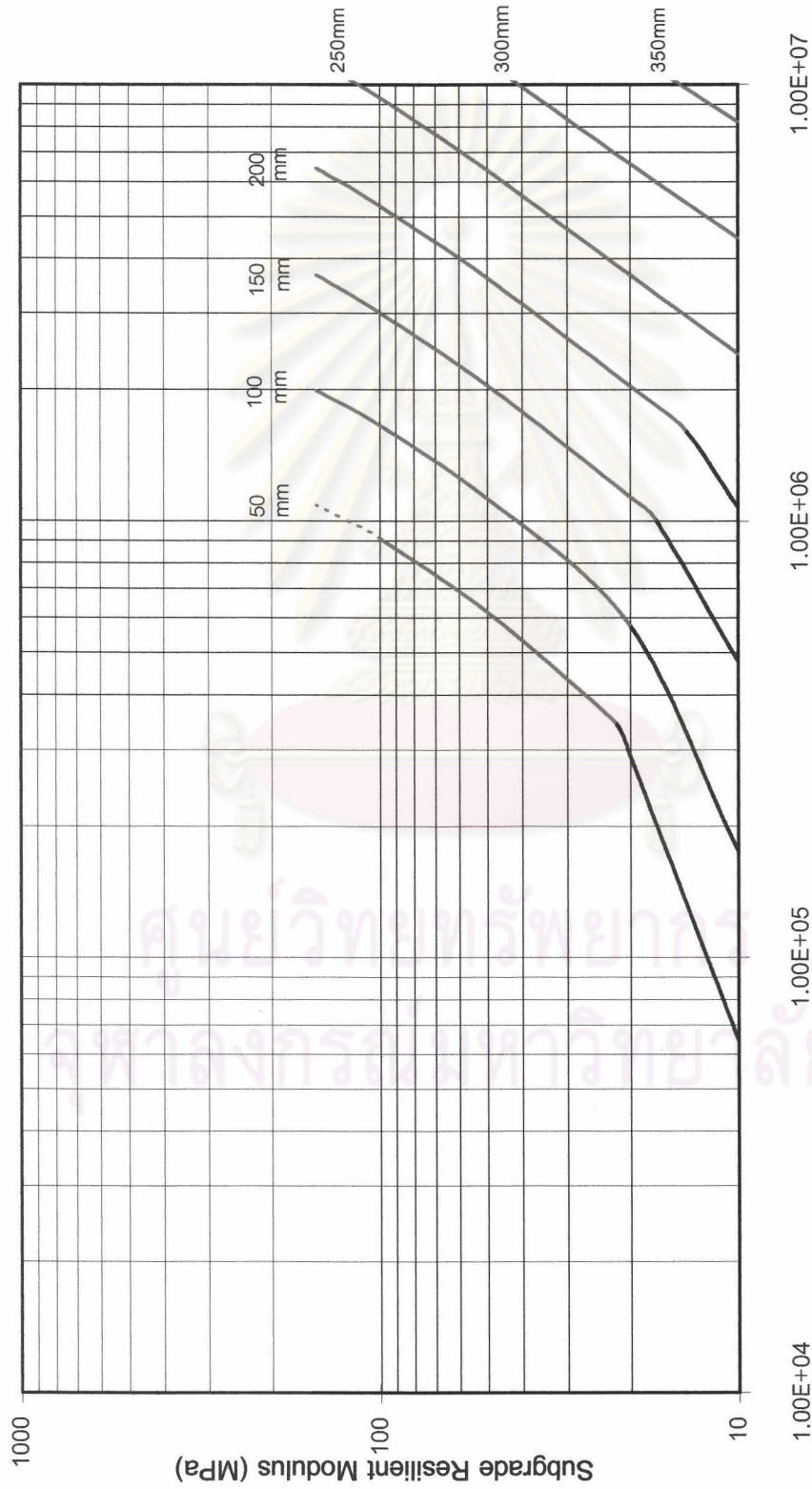
Pavement Structure



Dominant Distress Mode

- Subgrade Deformation
- Fatigue of Lateritic
- Soil-Cement Base
- - Critical Point 2
- Critical Point 3

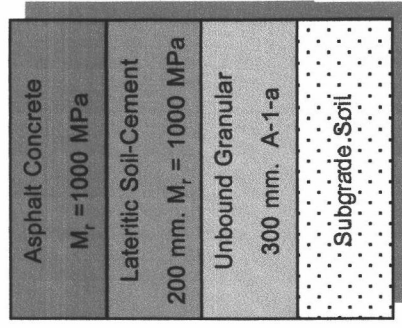
Design Chart 2 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)



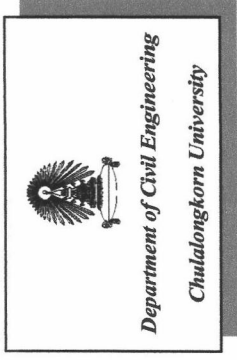
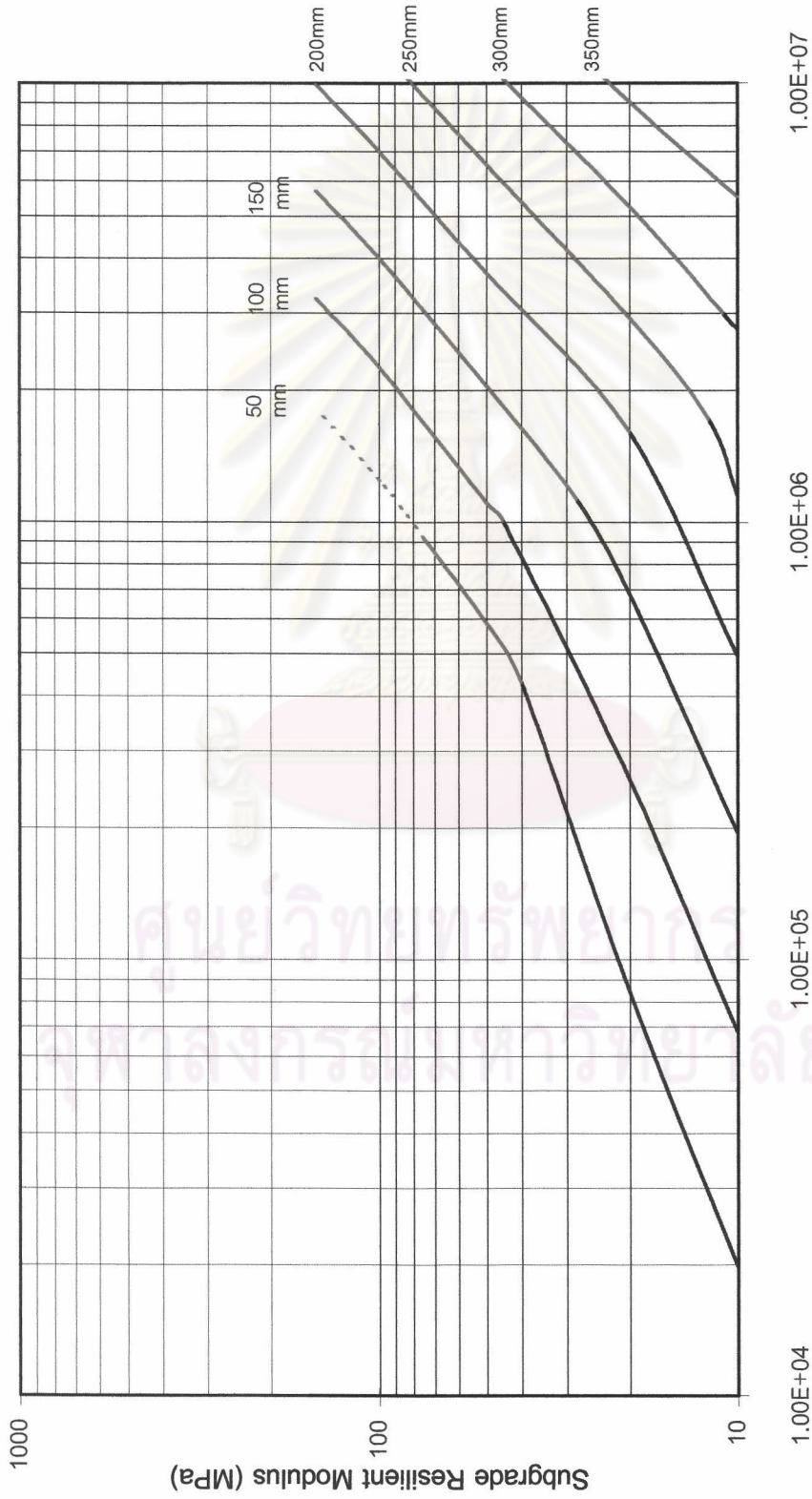
Characteristic of
Pavement Structure



Dominant Distress Mode

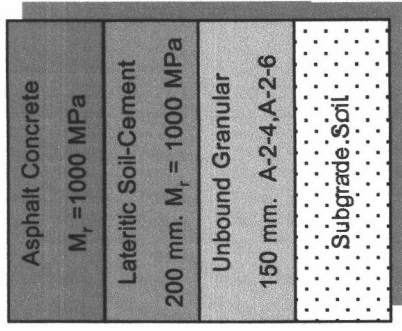


Design Chart 3 Thickness of Asphalt Concrete Surface

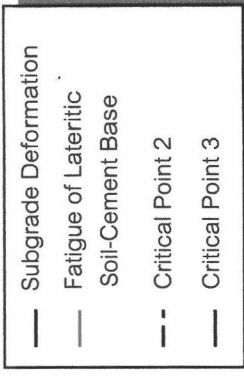


Characteristic of

Pavement Structure

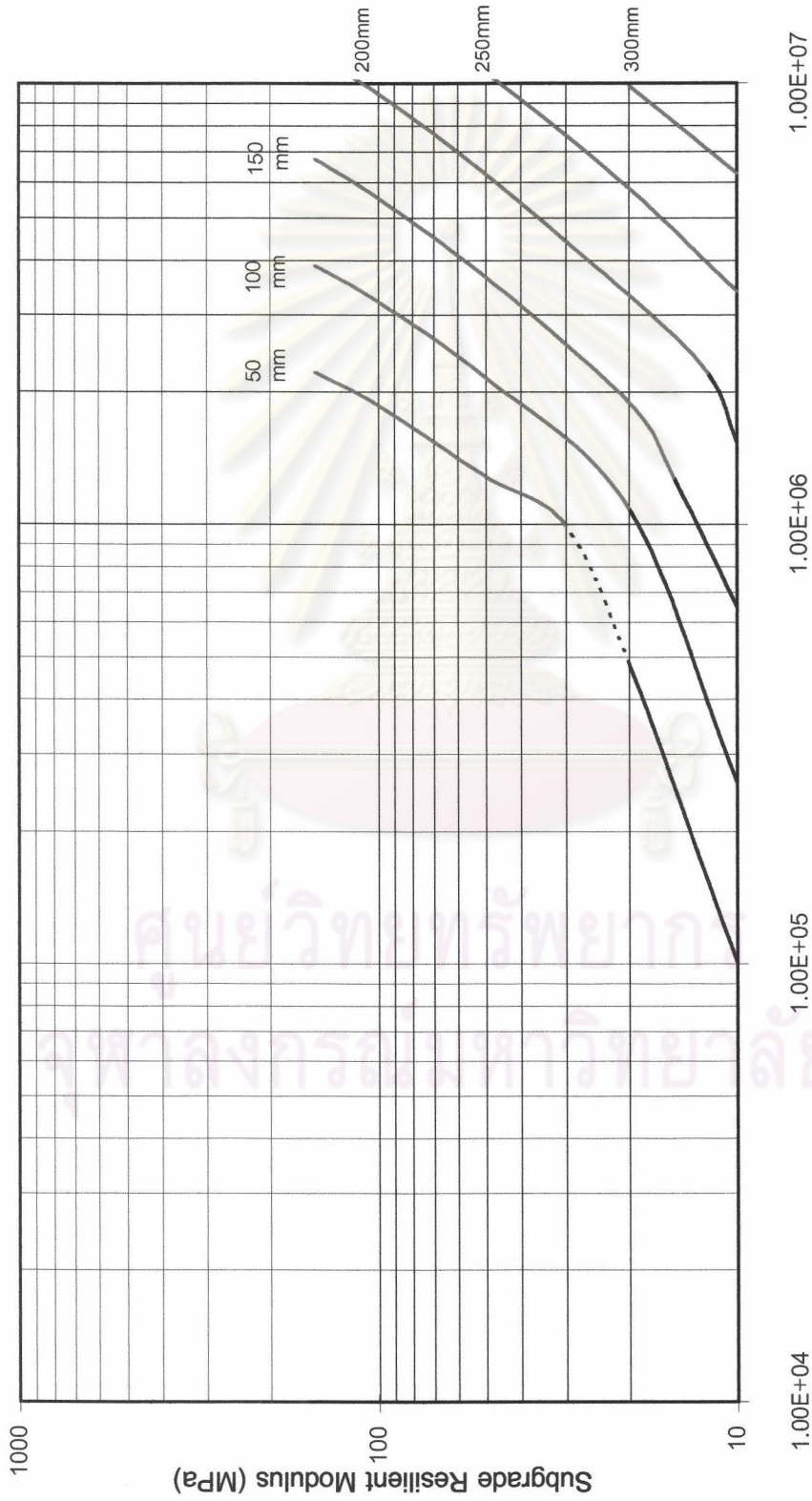


Dominant Distress Mode

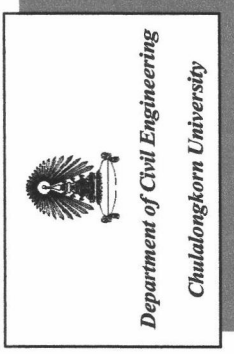


Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 4 Thickness of Asphalt Concrete Surface

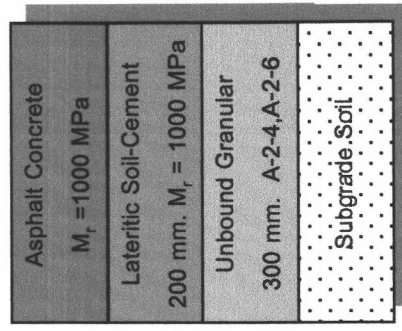


Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

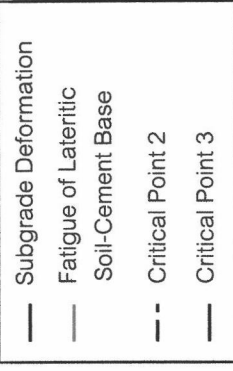


Characteristic of

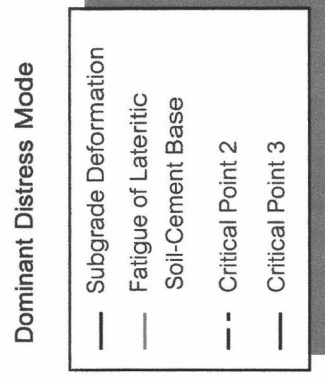
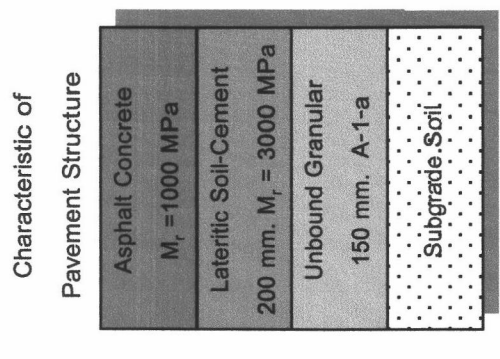
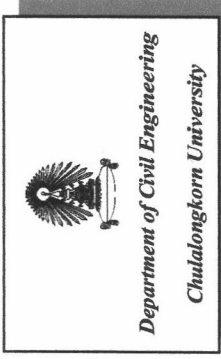
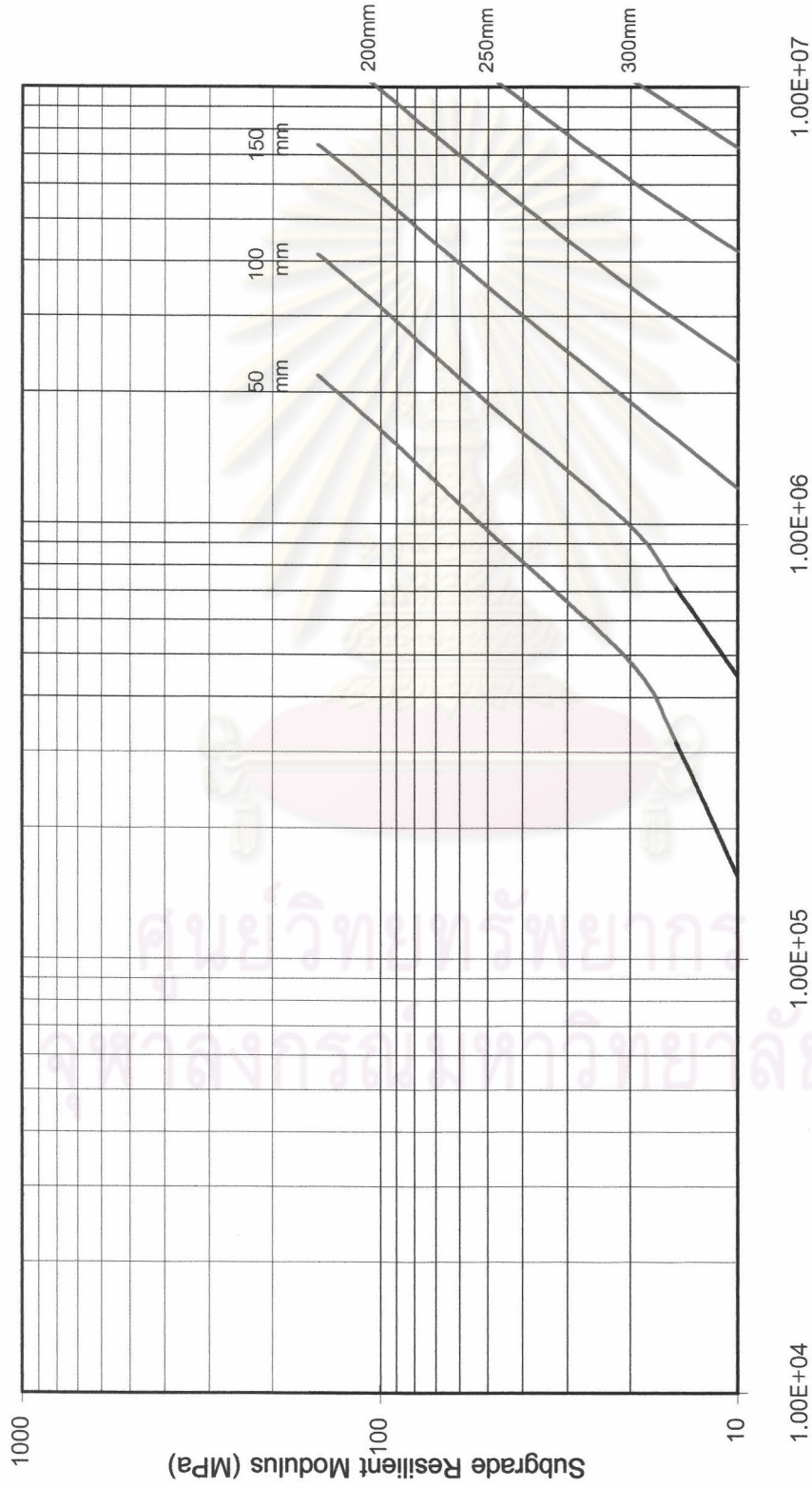
Pavement Structure



Dominant Distress Mode

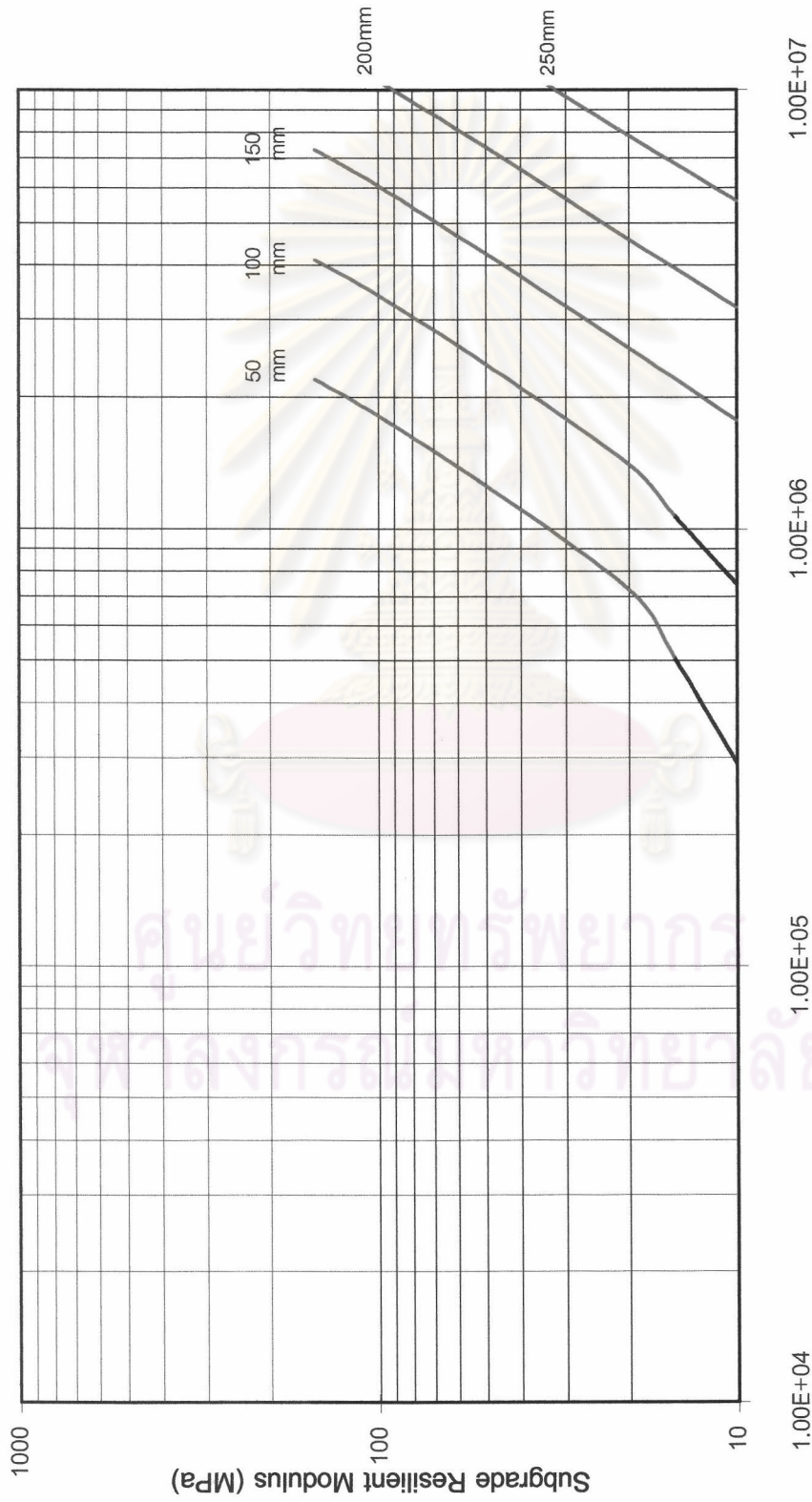


Design Chart 5 Thickness of Asphalt Concrete Surface

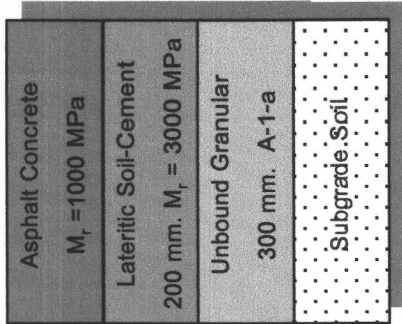


Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 6 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Characteristic of
Pavement Structure

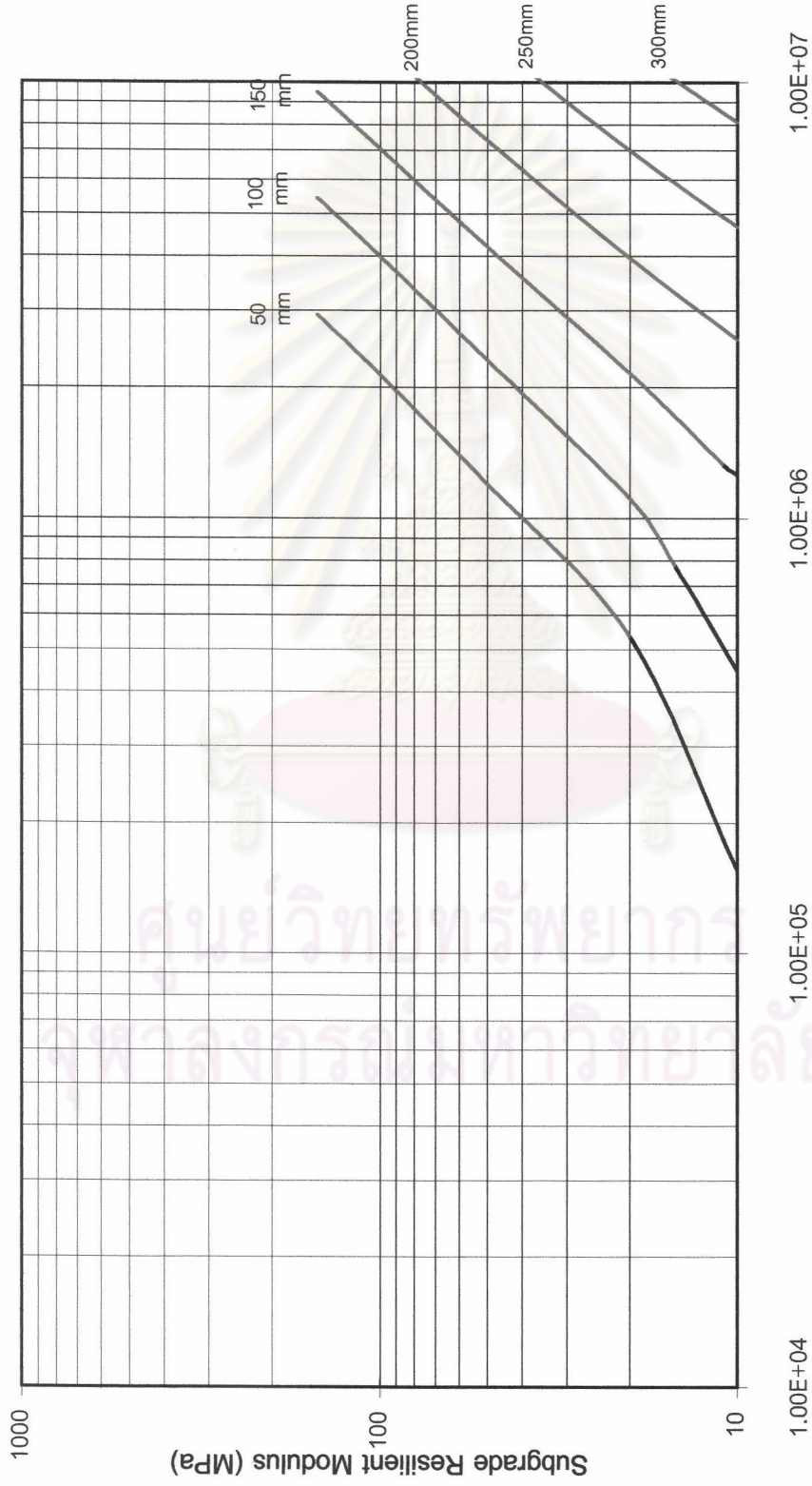


Dominant Distress Mode

- Subgrade Deformation
- Fatigue of Lateritic
- Soil-Cement Base
- - Critical Point 2
- Critical Point 3

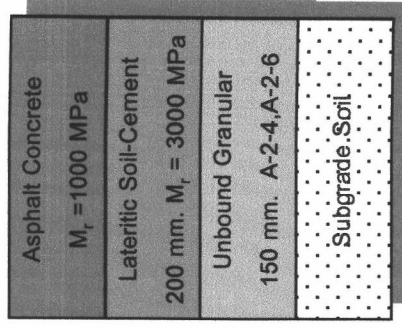
Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 7 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Characteristic of

Pavement Structure

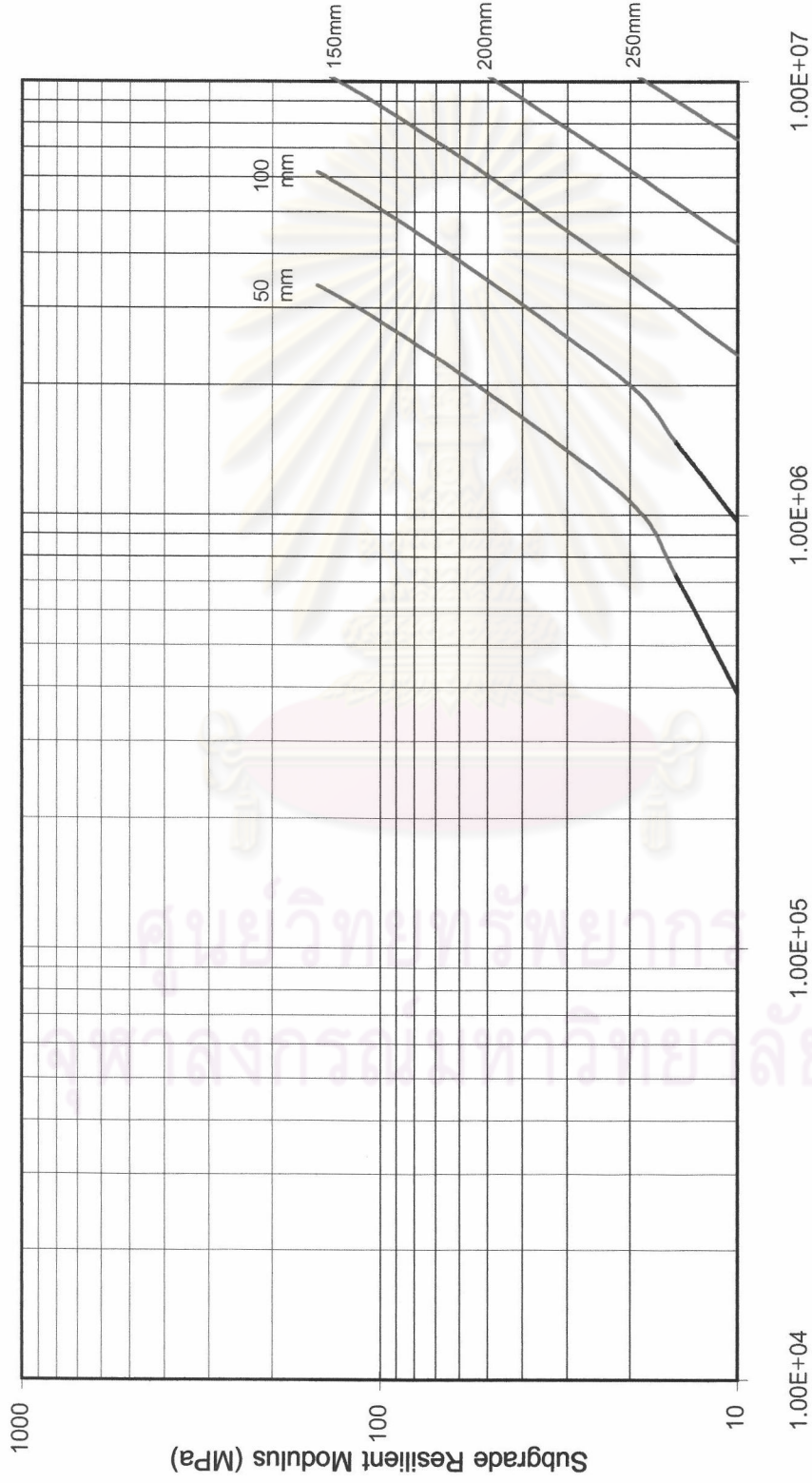


Dominant Distress Mode

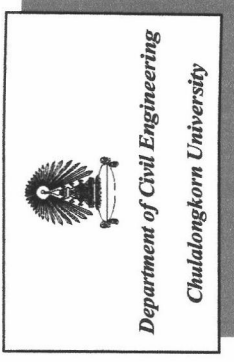
- Subgrade Deformation
- Fatigue of Lateritic
- Soil-Cement Base
- - Critical Point 2
- Critical Point 3

Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 8 Thickness of Asphalt Concrete Surface

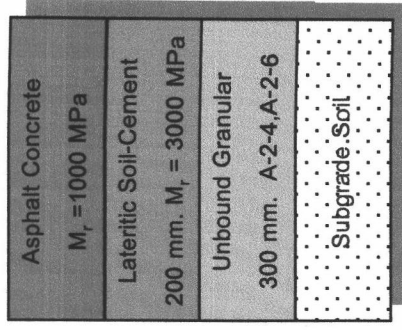


Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

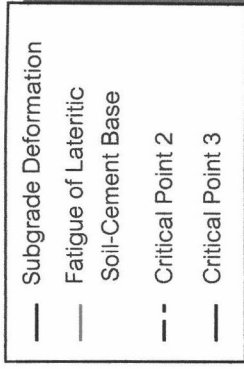


Characteristic of

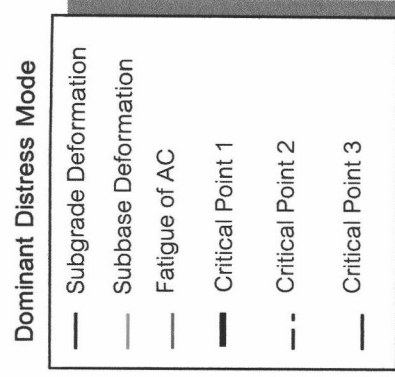
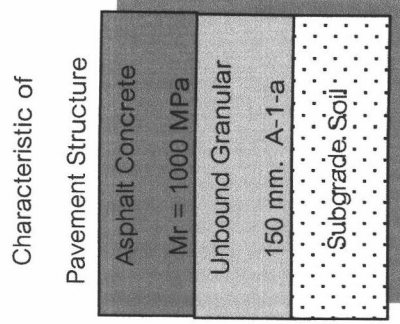
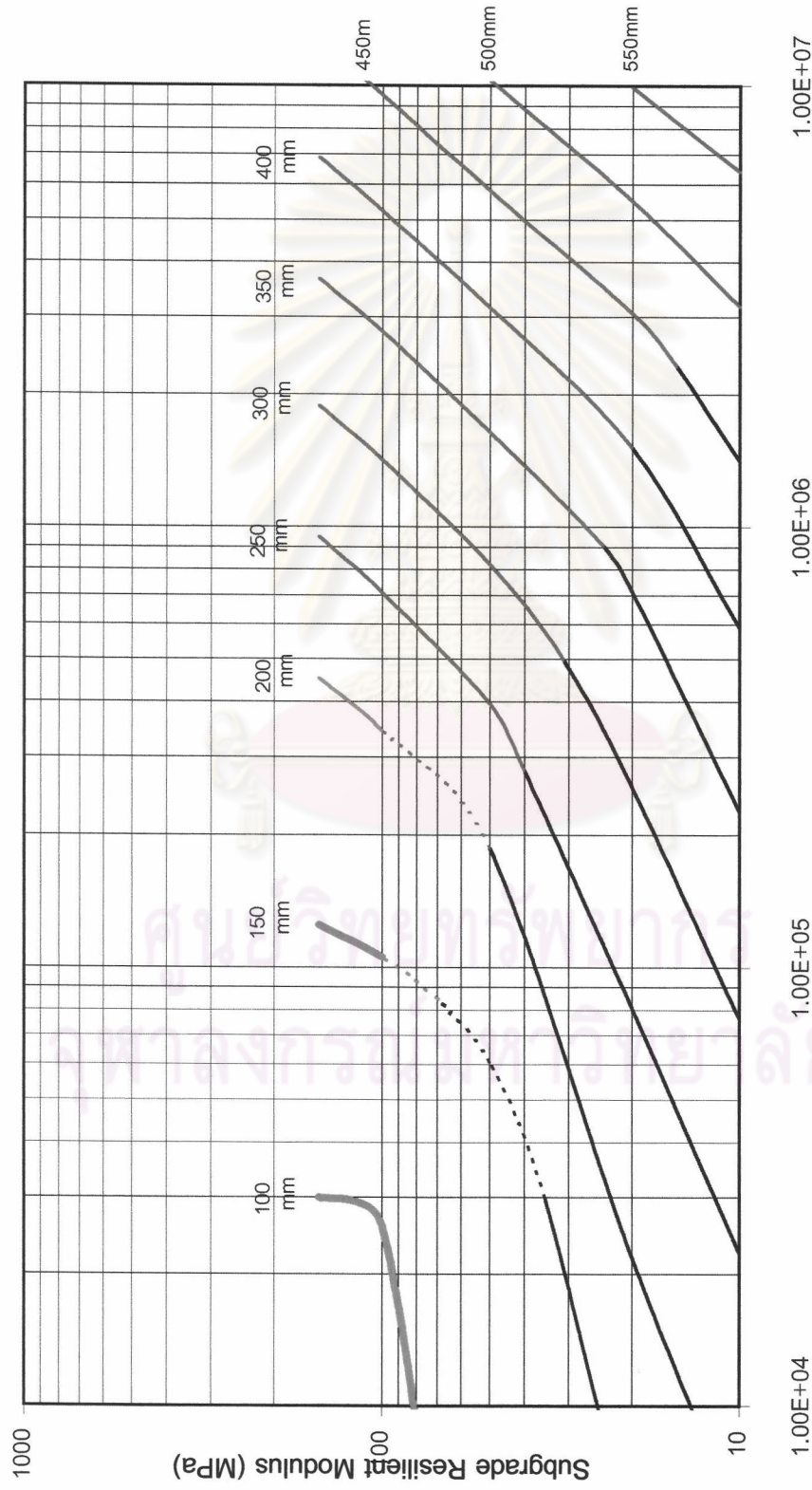
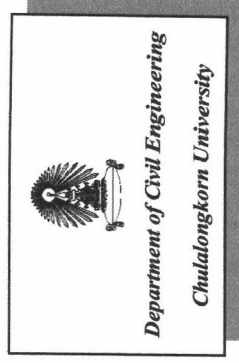
Pavement Structure



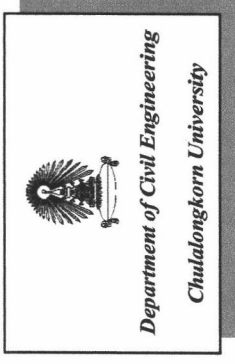
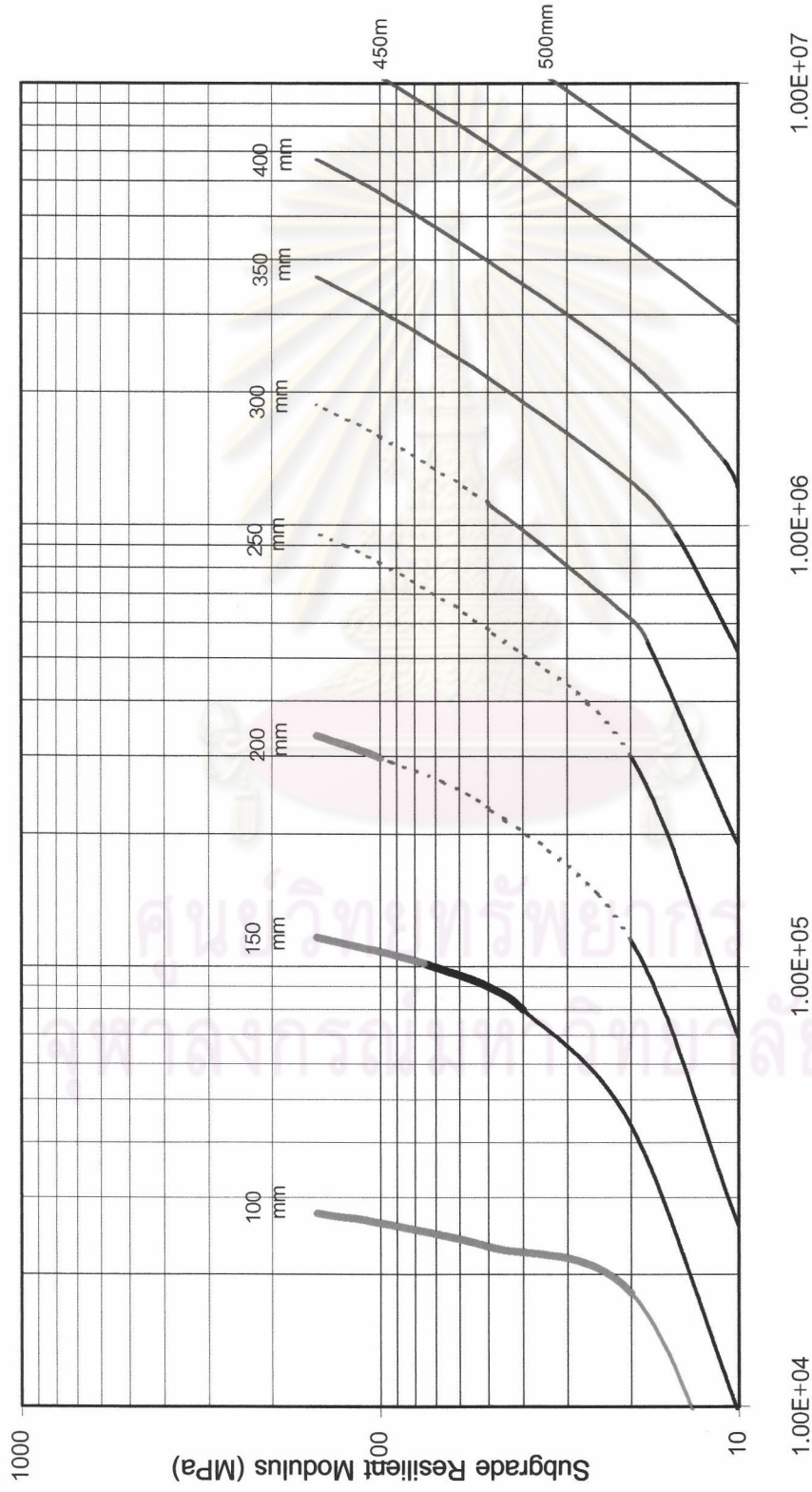
Dominant Distress Mode



Design Chart 9 Thickness of Asphalt Concrete Surface

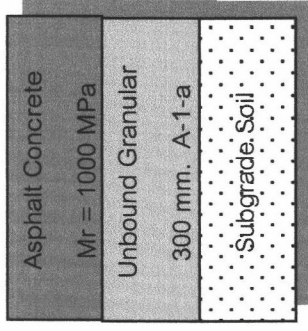


Design Chart 10 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Characteristic of

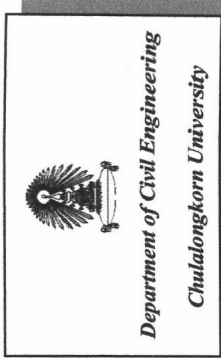
Pavement Structure



Dominant Distress Mode

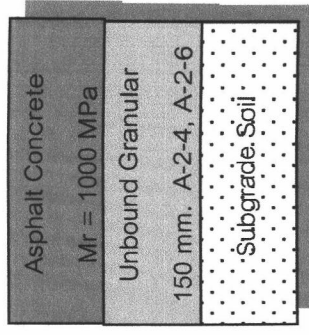
- Subgrade Deformation
- Subbase Deformation
- Fatigue of AC
- Critical Point 1
- · - Critical Point 2
- - - Critical Point 3

Design Chart 11 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Characteristic of

Pavement Structure

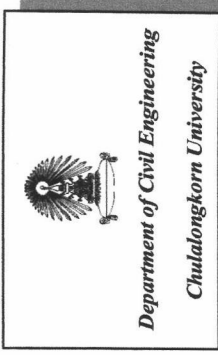
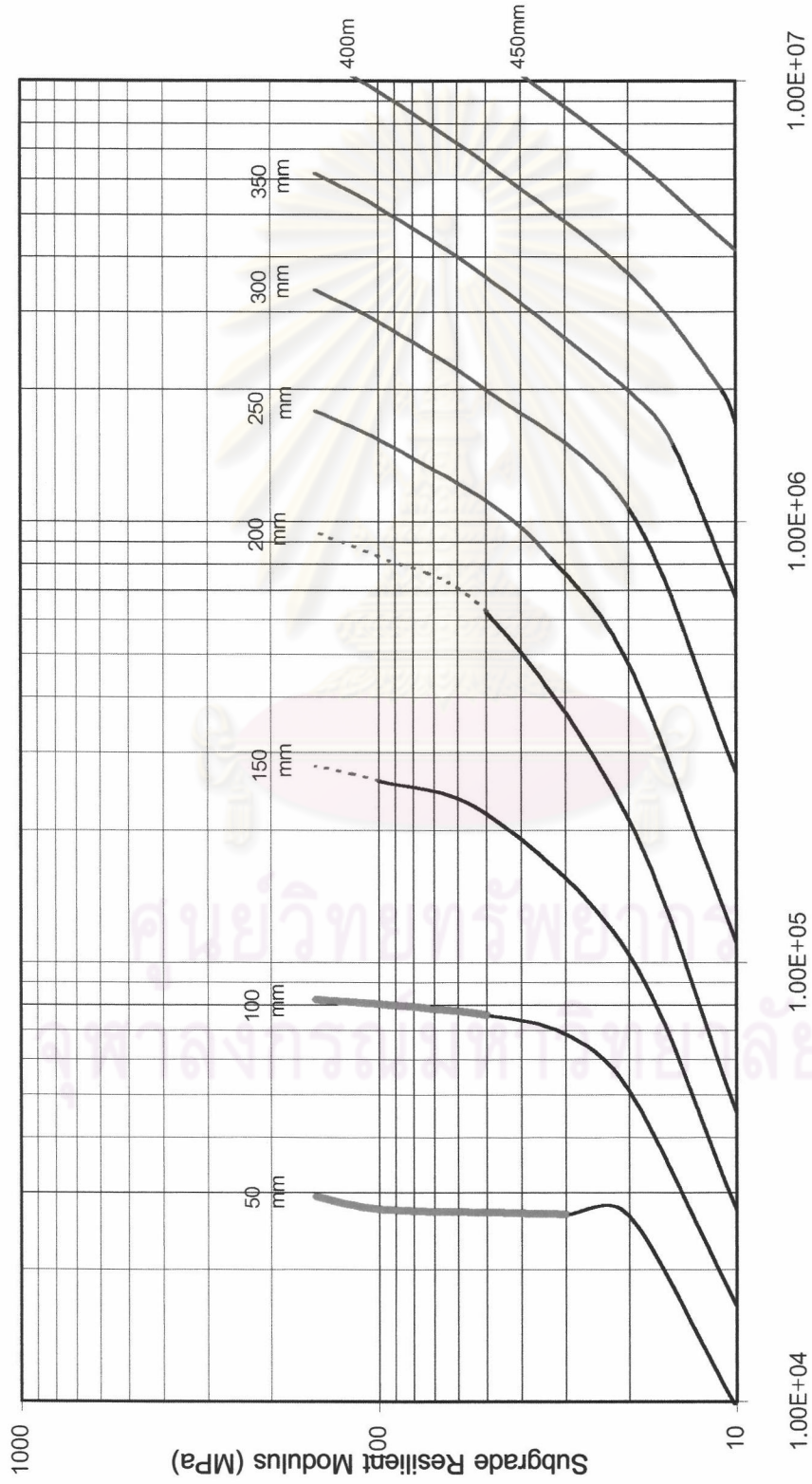


Dominant Distress Mode

- Subgrade Deformation
- Subbase Deformation
- Fatigue of AC
- Critical Point 1
- - Critical Point 2
- Critical Point 3

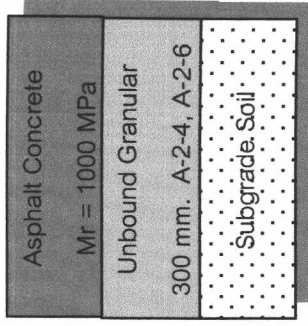
Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 12 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Characteristic of

Pavement Structure



Dominant Distress Mode

- Subgrade Deformation
- Subbase Deformation
- Fatigue of AC
- Critical Point 1
- - Critical Point 2
- Critical Point 3



ภาคผนวก จ

Design Chart สำหรับการออกแบบโครงสร้างถนน
ชนิดยึดหยุ่นที่มีชั้นผิวทางเป็นวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

แบบ Viscoelastic

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-1 แสดง Design Chart ของโครงสร้างถนนรูปแบบต่างๆ

Chart Type	Surface	Base	Subbase	Subgrade
Design Chart 1	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-1-a 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 2	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-1-a 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 3	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-2-4, A-2-6 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 4	Asphalt Concrete Vary Thickness	Soft Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-2-4, A-2-6 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 5	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-1-a 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 6	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-1-a 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 7	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-2-4, A-2-6 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 8	Asphalt Concrete Vary Thickness	Hard Lateritic Soil-Cement 200 mm.	Unbound Granular A-2-4, A-2-6 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 9	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular A-1-a 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 10	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular A-1-a 300 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 11	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular A-2-4, A-2-6 150 mm.	Subgrade Soil
Design Chart 12	Asphalt Concrete Vary Thickness		Unbound Granular A-2-4, A-2-6 300 mm.	Subgrade Soil

ตารางที่ จ-2 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุชั้นทางประเภทต่าง ๆ

Materials	M_r (Mpa)	Poisson's Ratio	Fatigue Criteria*
Asphalt Concrete	1,000	0.4	$N_f = 0.0796 \epsilon_t^{-3.291} E^{-0.854}$
Soft Lateritic Soil-Cement Base	1,000	0.2	$N_f = (280 / \mu \epsilon_t)^{18}$
Hard Lateritic Soil-Cement Base	3,000	0.2	$N_f = (280 / \mu \epsilon_t)^{18}$
Unbound Granular Subbase A-1-a	$380\theta^{0.35}$	0.35	-
Unbound Granular Subbase A-2-4, A-2-6	$450\theta^{0.25}$	0.35	-
Subgrade Soil	10 - 100	0.45	$N_f = 1.365 \times 10^{-9} \epsilon_c^{-4.477}$

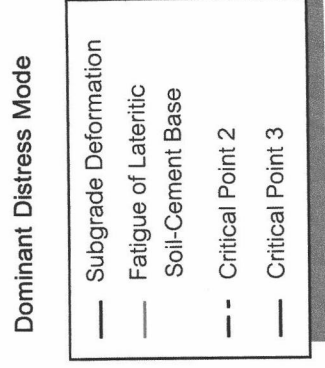
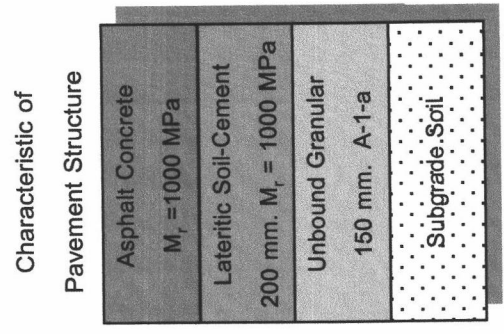
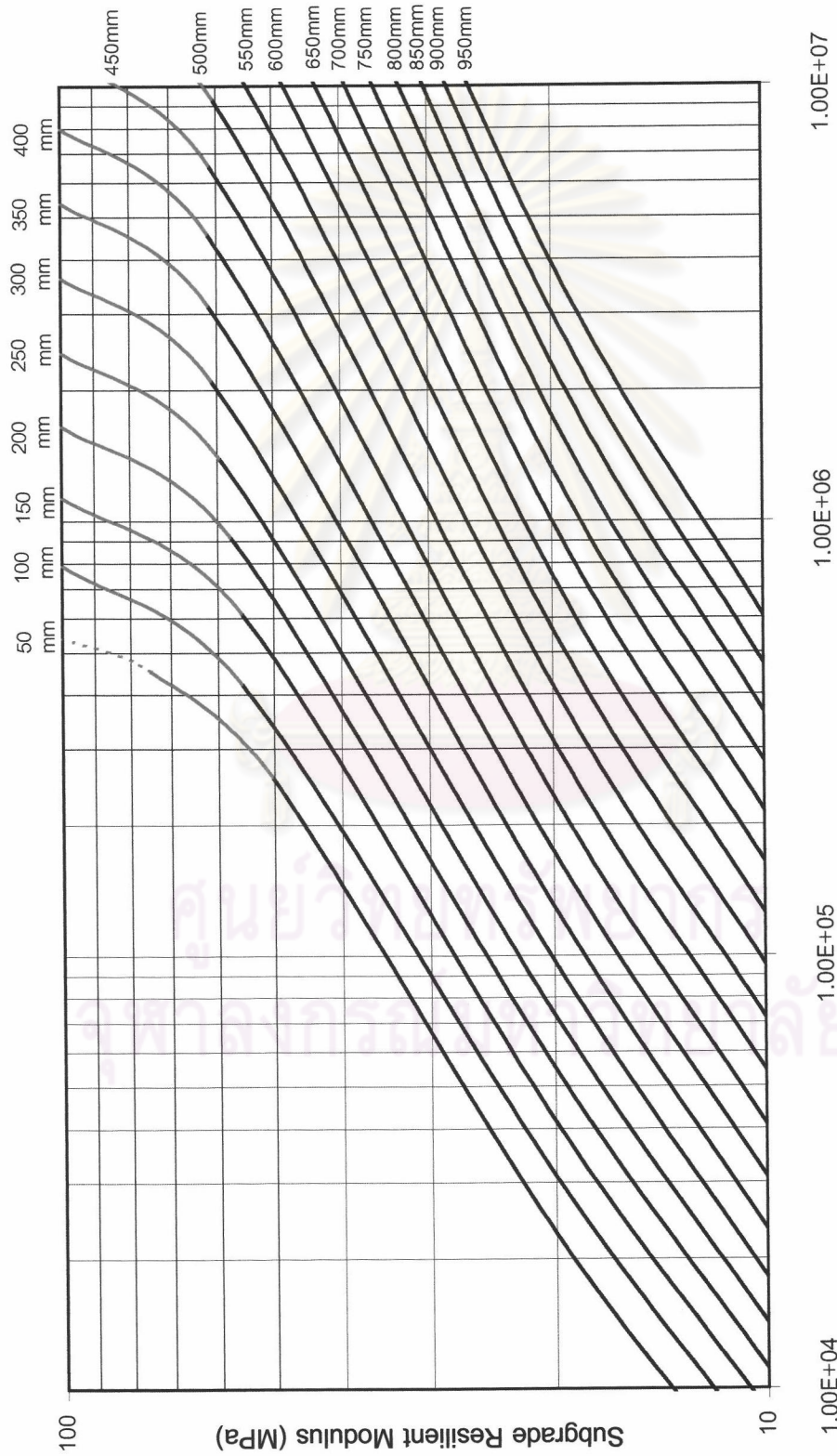
* N_f : Number of 80 kN (18,000 lb) Equivalent Single Axle Loads

ϵ_t : Tensile Strain at Bottom of Asphalt Concrete or Lateritic Soil-Cement Layer

ϵ_c : Vertical Compressive Strain at Top of Subgrade Layer

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

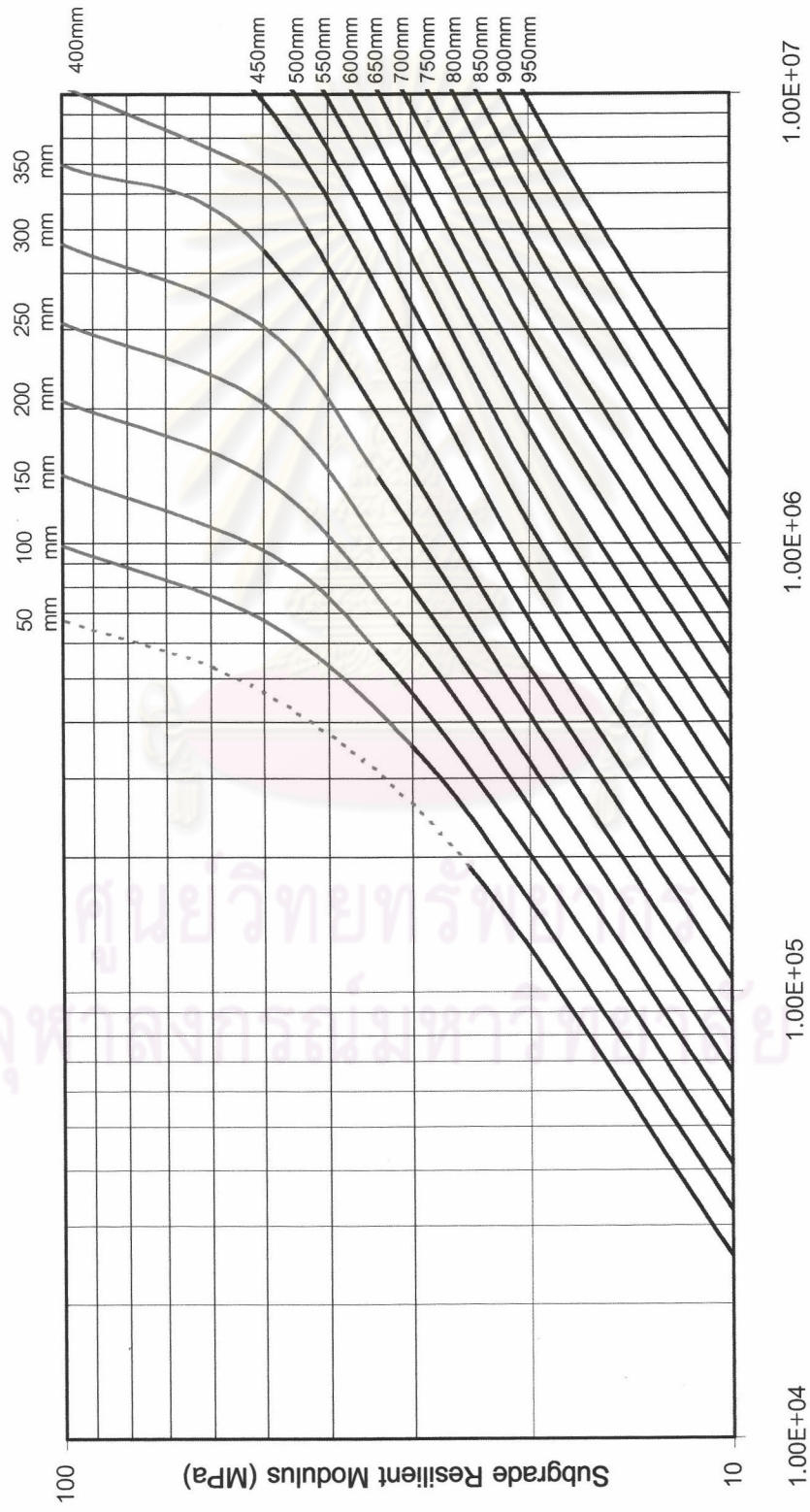
Design Chart 1 Thickness of Asphalt Concrete Surface



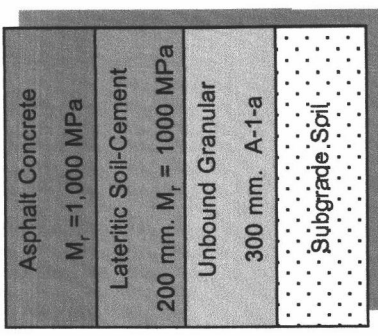
Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)



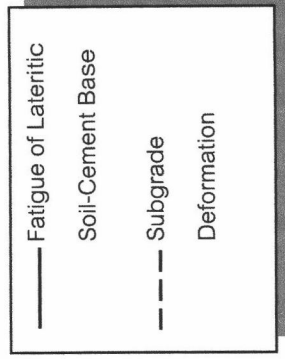
Design Chart 2 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Characteristic of Pavement Structure

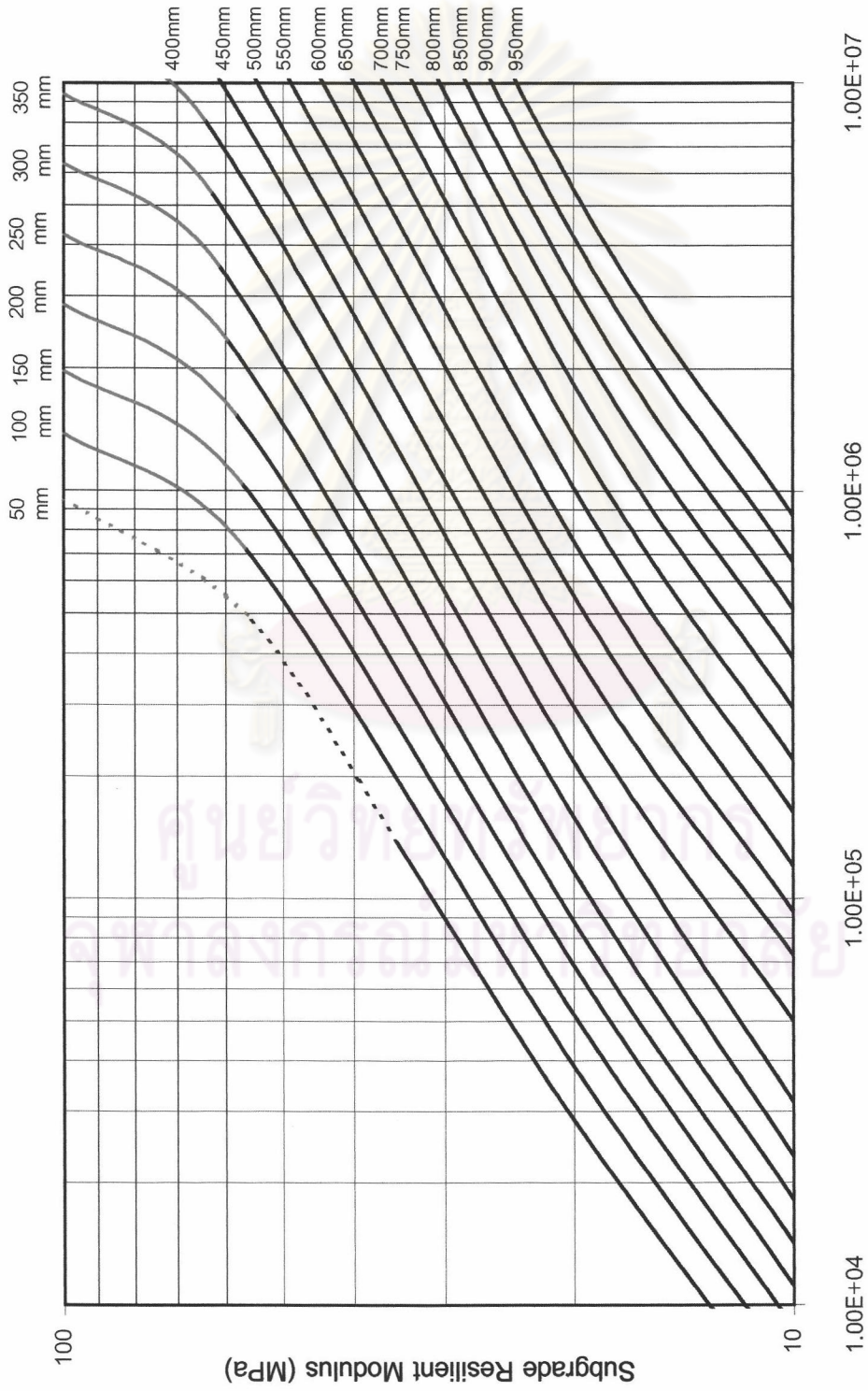


Dominant Distress Mode

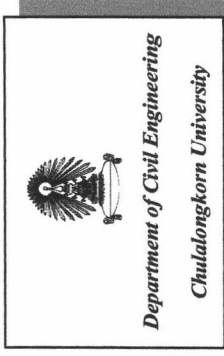


Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 3 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)



Characteristic of

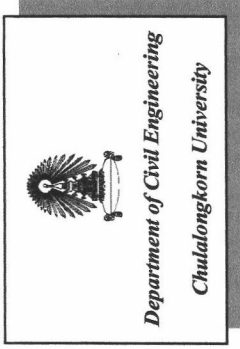
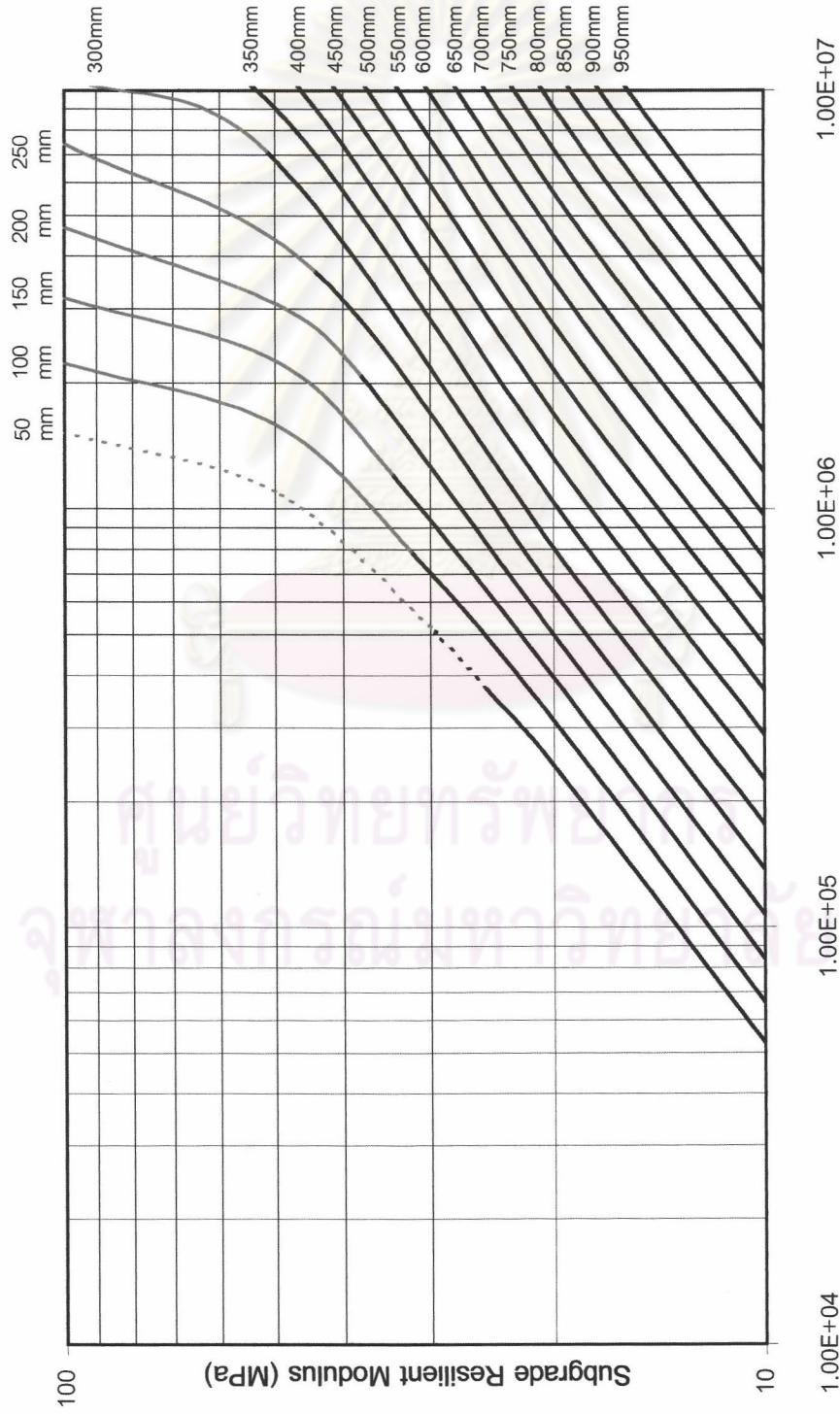
Pavement Structure

Asphalt Concrete
$M_r = 1000 \text{ MPa}$
Lateritic Soil-Cement
200 mm. $M_r = 1000 \text{ MPa}$
Unbound Granular
150 mm. A-2-4, A-2-6
Subgrade Soil

Dominant Distress Mode

—	Subgrade Deformation
—	Fatigue of Lateritic Soil-Cement Base
- - -	Critical Point 2
—	Critical Point 3

Design Chart 4 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Characteristic of

Pavement Structure

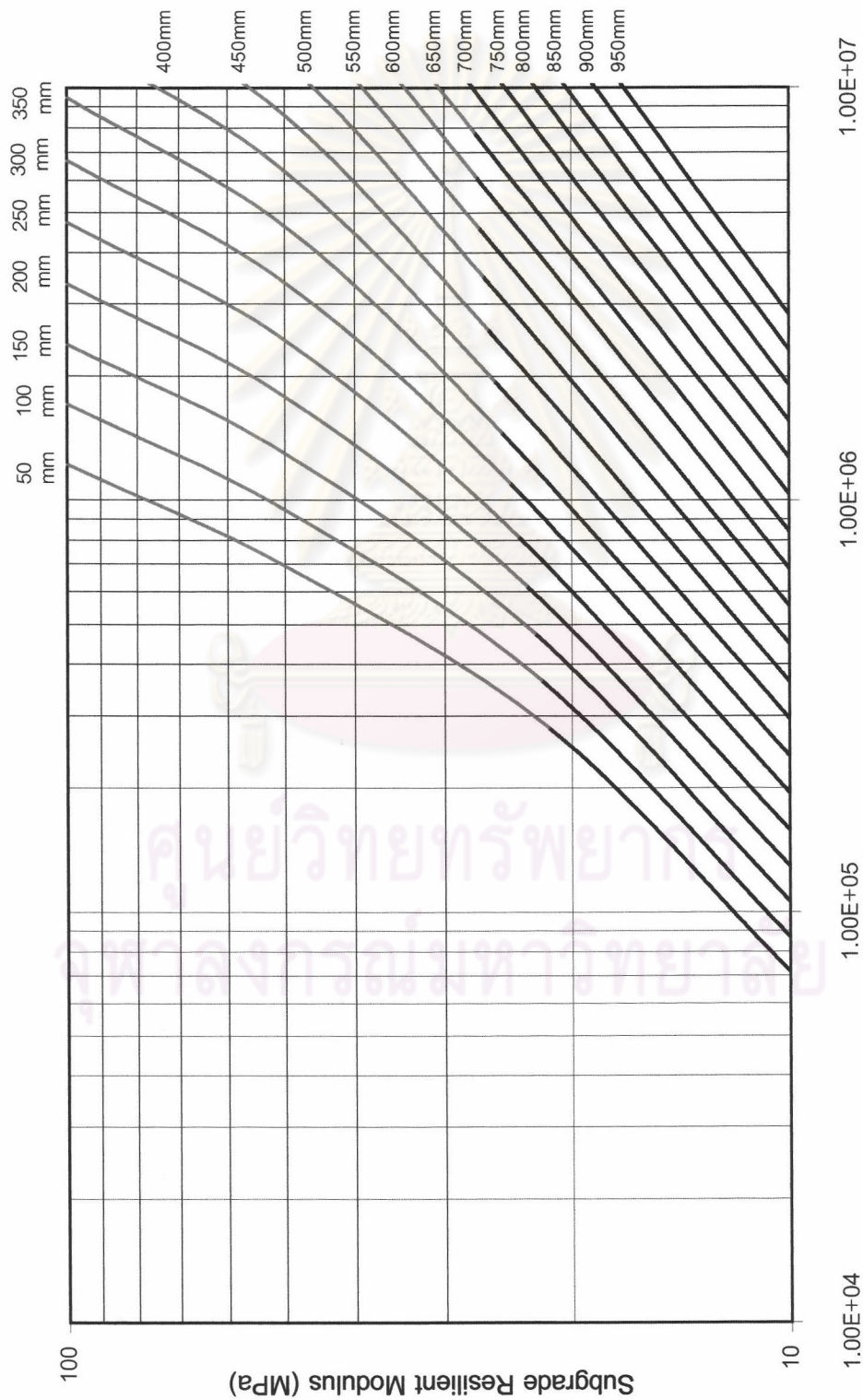
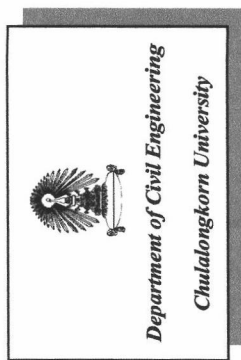
Asphalt Concrete
$M_r = 1000 \text{ MPa}$
Lateritic Soil-Cement
200 mm. $M_r = 1000 \text{ MPa}$
Unbound Granular
300 mm. A-2-4, A-2-6
Subgrade Soil

Dominant Distress Mode

—	Subgrade Deformation
—	Fatigue of Lateritic Soil-Cement Base
- -	Critical Point 2
—	Critical Point 3

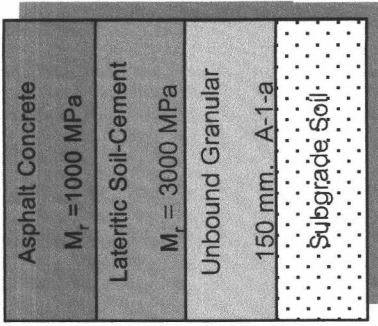
Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 5 Thickness of Asphalt Concrete Surface

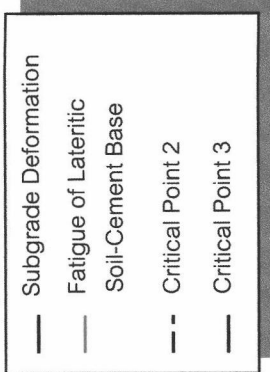


Characteristic of

Pavement Structure

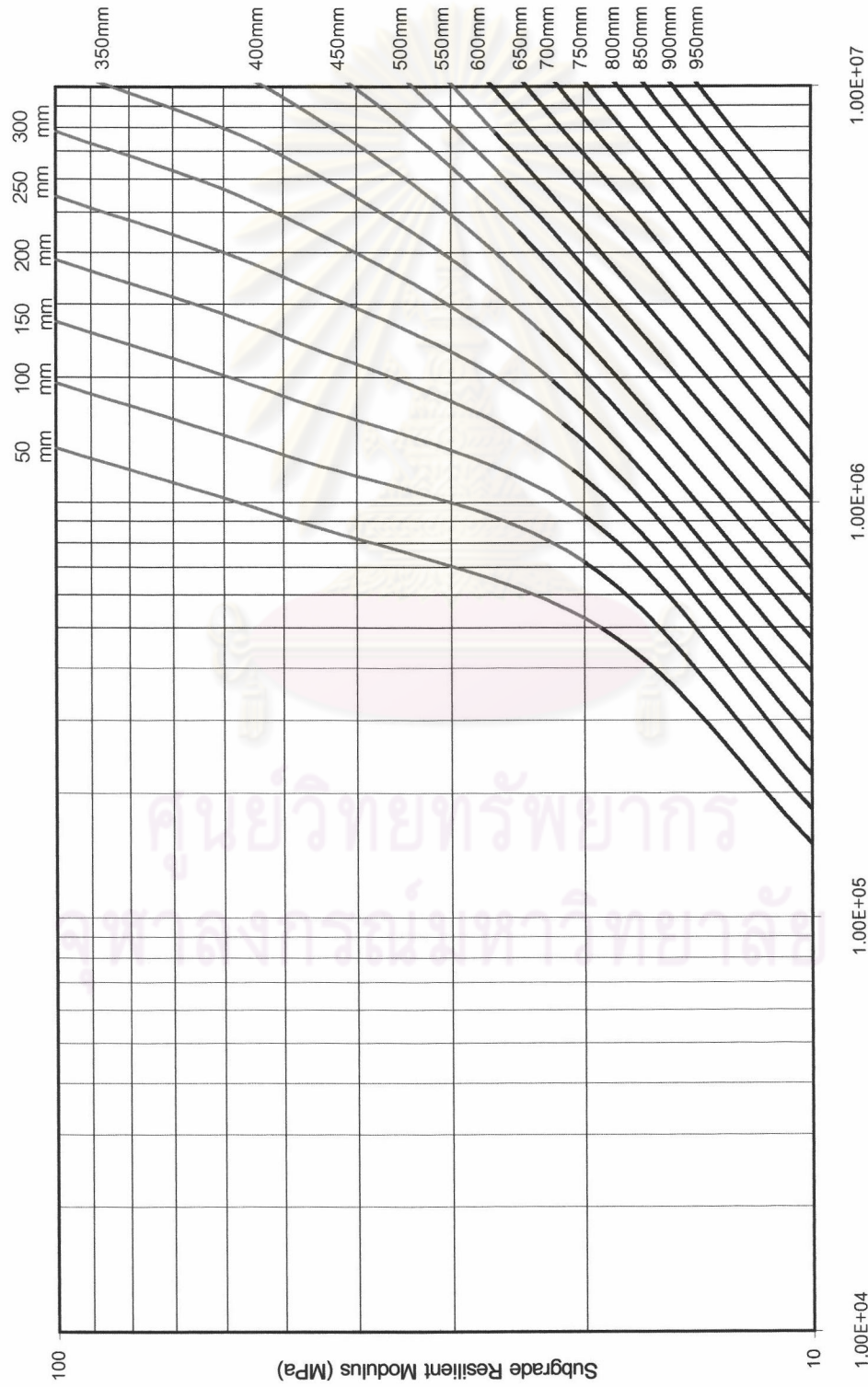


Dominant Distress Mode



Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 6 Cemented Base and Subbase Thickness



Characteristic of Pavement Structure

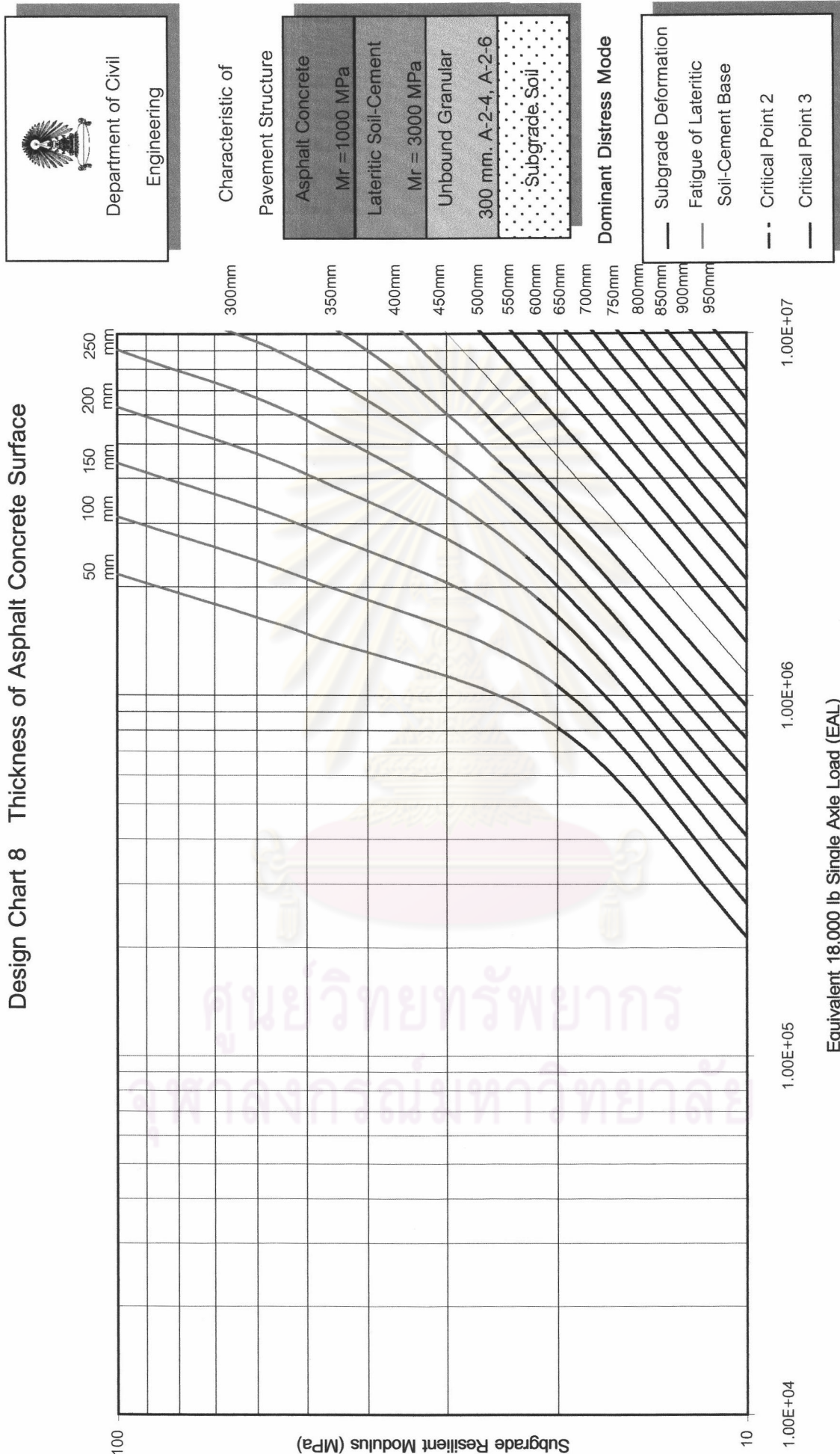
Asphalt Concrete
$M_r = 1000 \text{ MPa}$
Lateritic Soil-Cement
$M_r = 3000 \text{ MPa}$
Unbound Granular
300 mm. A-1-a
Subgrade Soil

Dominant Distress Mode

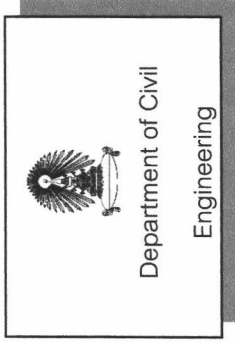
—	Subgrade Deformation
—	Fatigue of Lateritic Soil-Cement Base
- -	Critical Point 2
—	Critical Point 3

Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 8 Thickness of Asphalt Concrete Surface

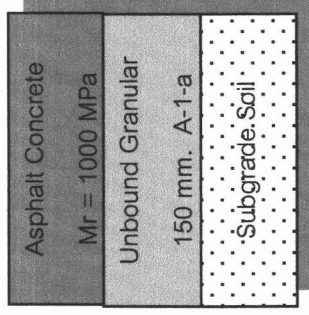


Design Chart 9 Thickness of Asphalt Concrete Surface

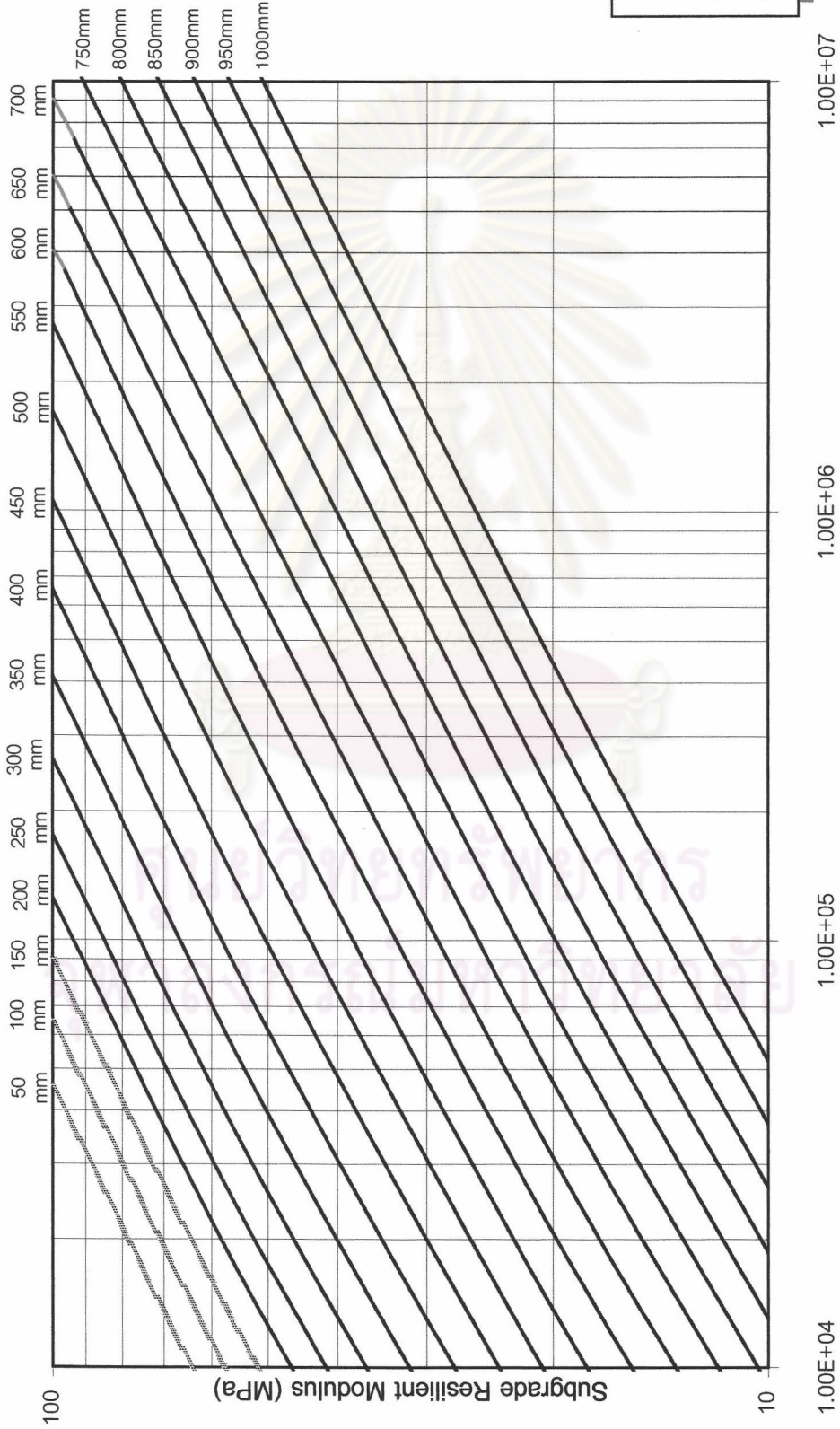
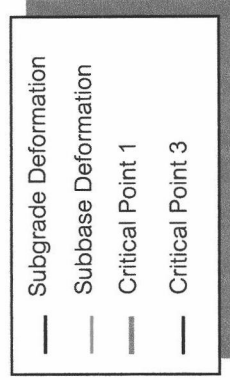


Characteristic of

Pavement Structure

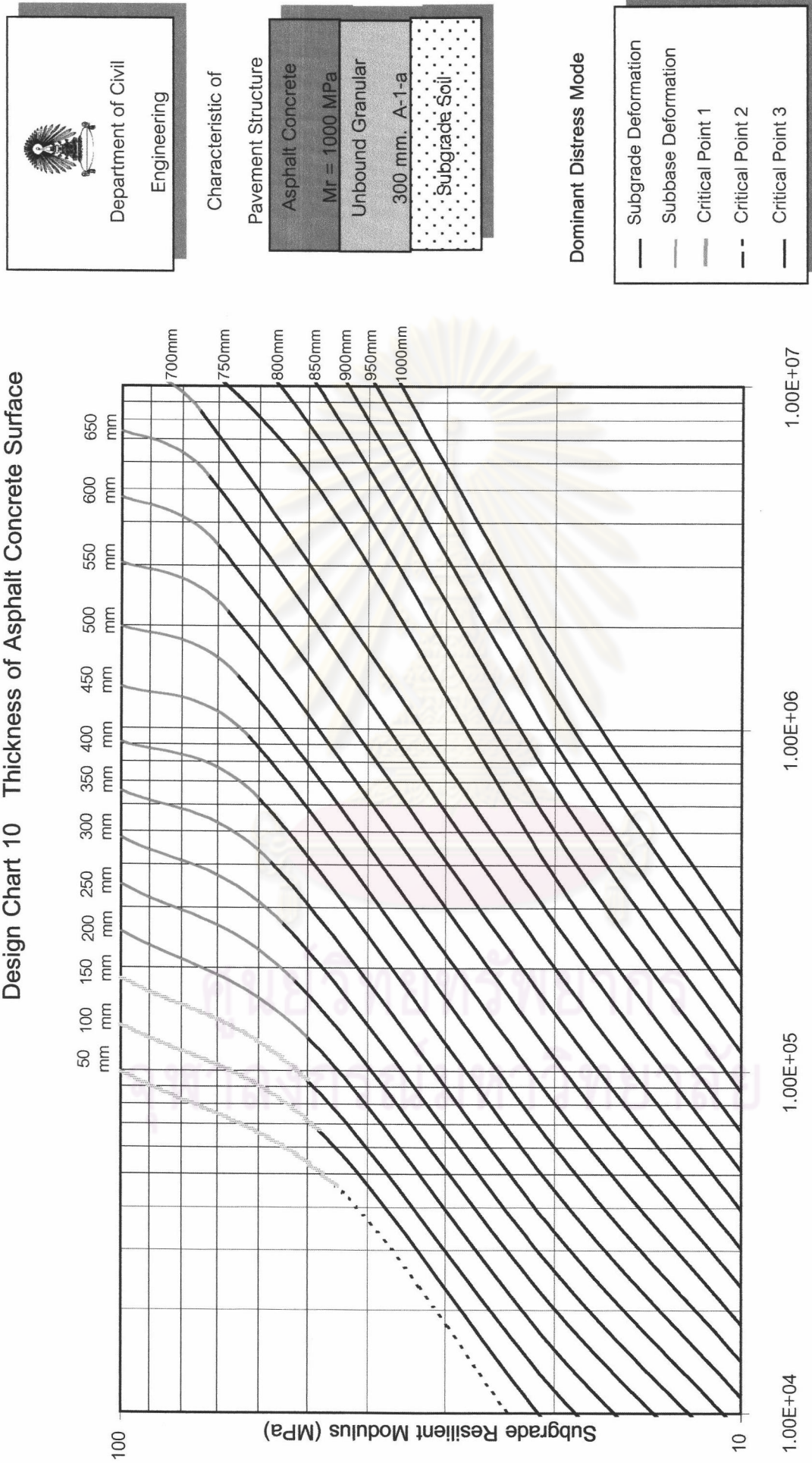


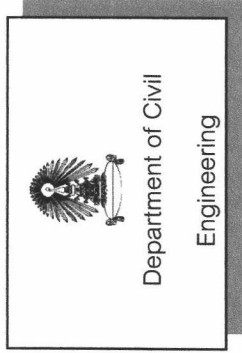
Dominant Distress Mode



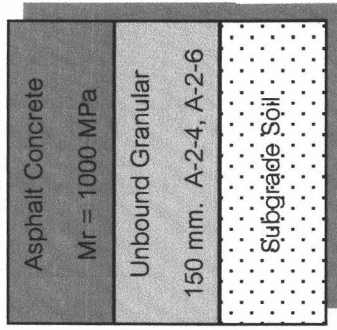
Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 10 Thickness of Asphalt Concrete Surface

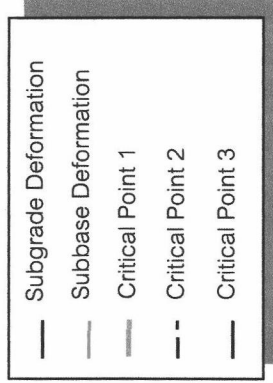




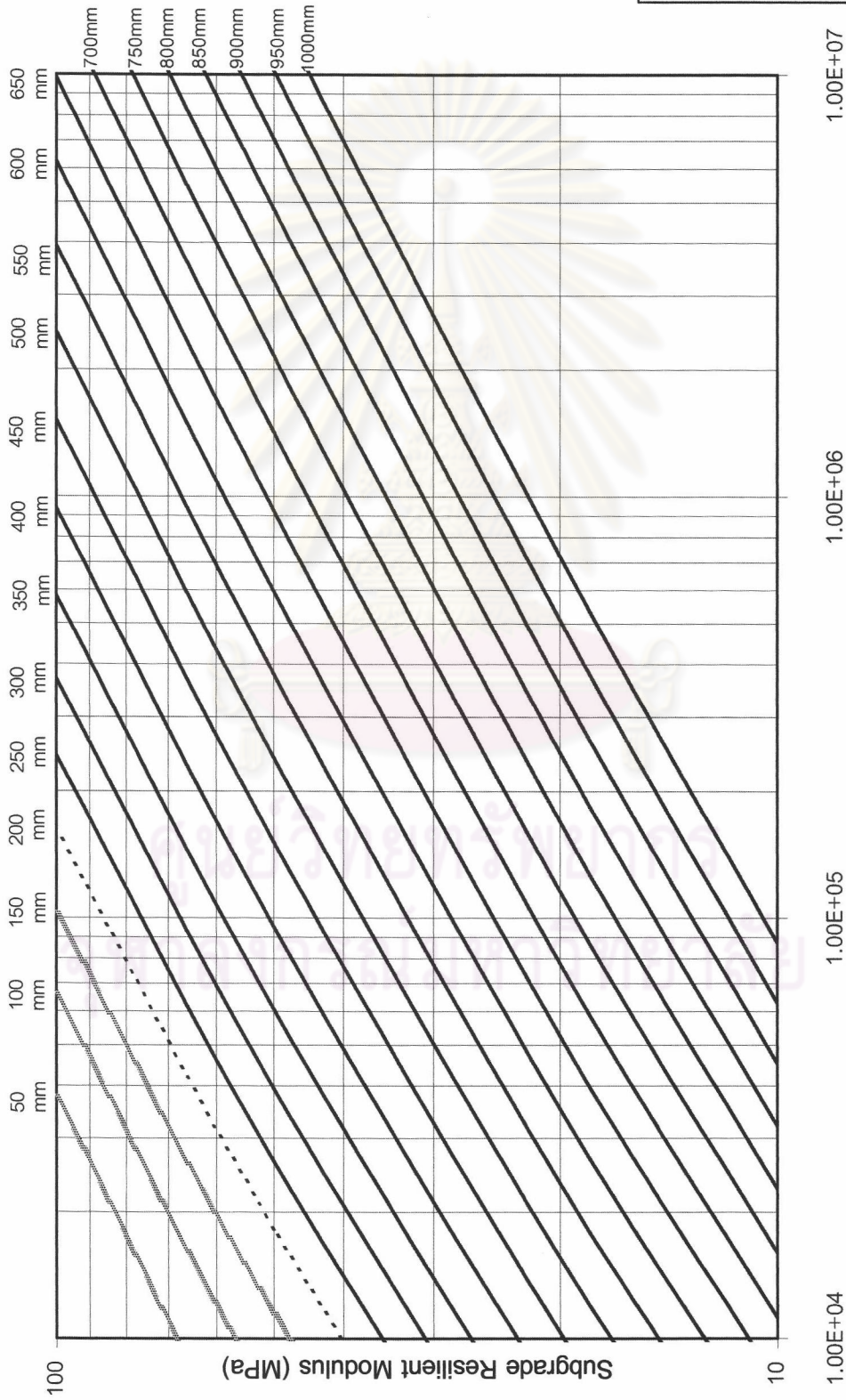
Characteristic of Pavement Structure



Dominant Distress Mode

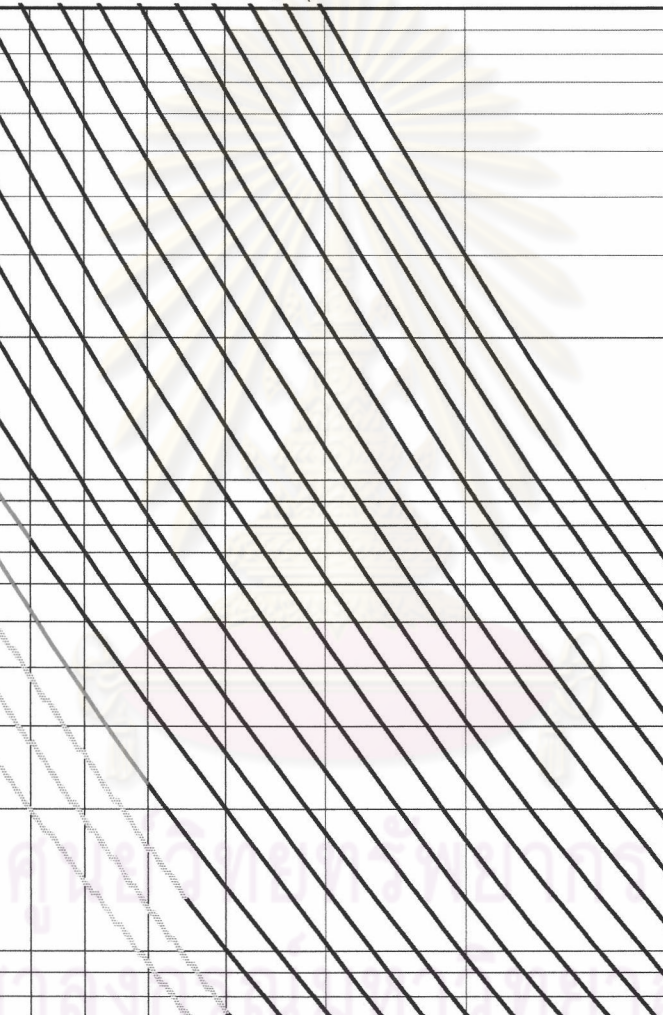
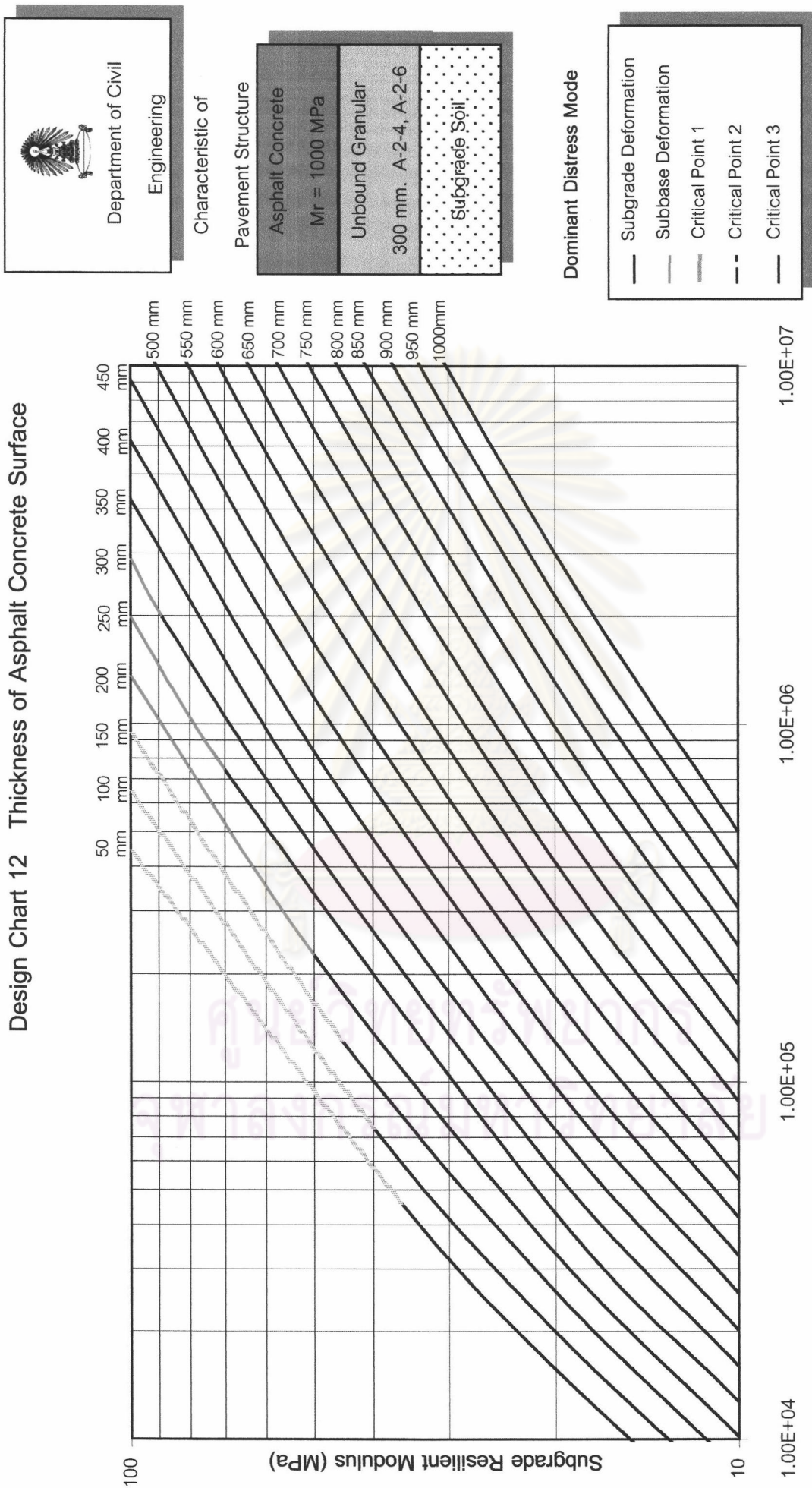


Design Chart 11 Thickness of Asphalt Concrete Surface



Equivalent 18,000 lb Single Axle Load (EAL)

Design Chart 12 Thickness of Asphalt Concrete Surface





ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างผิวทางชนิดยืดหยุ่น

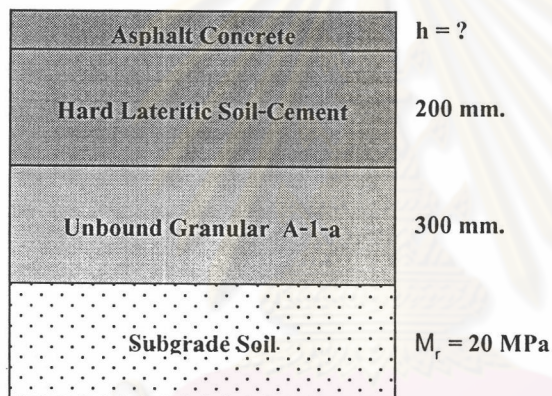
โดยใช้ Design Chart

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการใช้ Design Chart ในการออกแบบโครงสร้างผิวทางชนิดยืดหยุ่น

จากการวิเคราะห์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต และการประยุกต์ใช้โปรแกรม Kenlayer ทำให้สามารถสร้าง Design Chart เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างผิวทางของถนนชนิดยืดหยุ่นได้ทั้ง 6 แบบ (สำหรับการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic) และ 12 แบบ (สำหรับการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic และแบบ Viscoelastic) ซึ่งประโยชน์ของ Design Chart นี้จะช่วยให้การออกแบบเป็นไปได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว สำหรับผู้ที่ต้องการออกแบบโครงสร้างผิวทางของถนนชนิดยืดหยุ่นโดยอาศัย Design Chart ในภาคผนวก ค. ภาคผนวก ง. และภาคผนวก จ. สามารถศึกษาวิธีการและขั้นตอนการออกแบบได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 จงออกแบบความหนาของแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นผิวทาง จากโครงสร้างถนนดังรูป

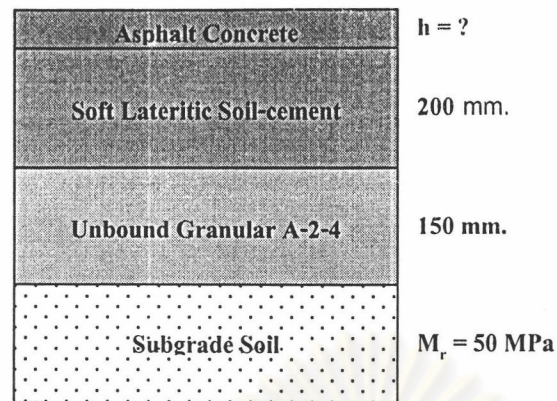


- เมื่อกำหนดให้
1. ชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์ Hard-Lateritic หนา 200 มิลลิเมตร
 2. ชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular A-1-a หนา 300 มิลลิเมตร
 3. โมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับเท่ากับ 20 MPa
 4. Design Traffic เท่ากับ 10^6 EAL
 5. วิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic

ขั้นตอนการออกแบบ

จาก Design Chart 6 (ภาคผนวก ง.) ซึ่งเป็น Design Chart ที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนตามคุณสมบัติที่โจทย์กำหนดข้างต้น พบว่าที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade เท่ากับ 20 MPa และ Design Traffic เท่ากับ 10^6 EAL จะต้องการความหนาชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 75 มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่ 2 จงออกแบบความหนาของแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นผิวทาง จากโครงสร้างถนนดังรูป

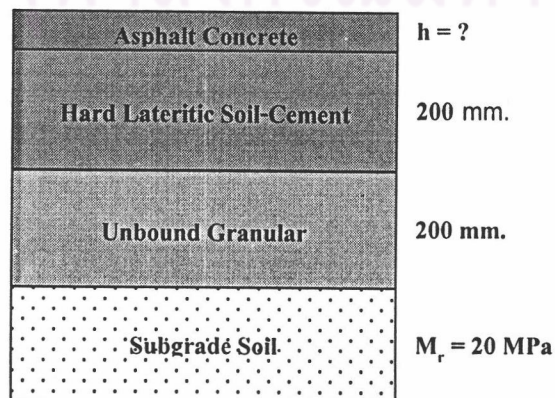


- เมื่อกำหนดให้
1. ชั้นพื้นทางดินลูกรังธรรมชาติผสมซีเมนต์ Soft Lateritic หนา 200 มิลลิเมตร
 2. ชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular A-2-4 หนา 150 มิลลิเมตร
 3. โมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับเท่ากับ 50 MPa
 4. Design Traffic เท่ากับ 4×10^5 EAL
 5. วิเคราะห์แบบ Viscoelastic

ขั้นตอนการออกแบบ

จาก Design Chart 3 (ภาคผนวก จ.) ซึ่งเป็น Design Chart ที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนตามคุณสมบัติที่โจทย์กำหนดข้างต้น พบว่าที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade เท่ากับ 50 MPa และ Design Traffic เท่ากับ 2×10^6 EAL จะต้องการความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 100 มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่ 3 จงออกแบบความหนาของแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นผิวทาง จากโครงสร้างถนนดังรูป



- เมื่อกำหนดให้
1. ชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์ Hard Lateritic หนา 200 มิลลิเมตร
 2. ชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 200 มิลลิเมตร
 3. โมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับเท่ากับ 20 MPa
 4. Design Traffic เท่ากับ 10^6 EAL
 5. วิเคราะห์แบบ Linear Elastic

ขั้นตอนการออกแบบ

เนื่องจาก Design Chart ที่จัดทำไว้จะมีเฉพาะความหนาของชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular เท่ากับ 150 มิลลิเมตร และ 300 มิลลิเมตรเท่านั้น แต่ถ้าต้องการหาความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 200 มิลลิเมตร จะต้องทำการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ (Interpolate) ผลจาก Design Chart ที่ 1 และ 2 (ภาคผนวก ก.) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 หาความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจาก Design Chart 1 พบว่าที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade เท่ากับ 20 Mpa และ Design Traffic เท่ากับ 10^6 EAL จะต้องการความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 89 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 150 มิลลิเมตร

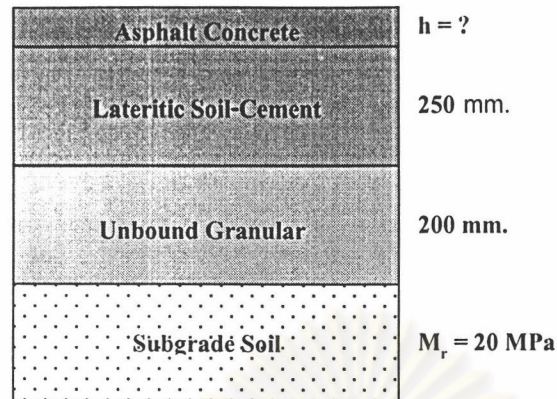
ขั้นที่ 2 หาความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจาก Design Chart 2 พบว่าที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade เท่ากับ 20 Mpa และ Design Traffic เท่ากับ 10^6 EAL จะต้องการความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 38 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 300 มิลลิเมตร

ขั้นที่ 3 ทำการเทียบบัญญัติไตรยางศ์หาค่าความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต จากผลการออกแบบที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 โดยกำหนดให้ชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 200 มิลลิเมตร

$$\text{ความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีค่าเท่ากับ } 89 - \frac{(200-150) \times (89-38)}{(300-150)} = 70 \text{ มิลลิเมตร}$$

จากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ข้างต้น จะได้ความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 70 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 200 มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่ 4 จงออกแบบความหนาของแอสฟัลต์คอนกรีตชั้นผิวทาง จากโครงสร้างถนนดังรูป



- เมื่อกำหนดให้
1. ชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์ Hard Lateritic หนา 250 มิลลิเมตร
 2. ชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 200 มิลลิเมตร
 3. โมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade มีค่าเท่ากับเท่ากับ 20 MPa
 4. Design Traffic เท่ากับ 10^6 EAL
 5. วิเคราะห์แบบ Linear Elastic

ขั้นตอนการออกแบบ

เนื่องจาก Design Chart ที่จัดทำไว้จะมีเฉพาะความหนาของชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์เท่ากับ 200 มิลลิเมตร และชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular เท่ากับ 150 มิลลิเมตร และ 300 มิลลิเมตรเท่านั้น แต่ถ้าต้องการหาความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์หนาเท่ากับ 250 มิลลิเมตร และชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนาเท่ากับ 200 มิลลิเมตร สามารถทำการออกแบบได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ขั้นที่ 1 หาความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีชั้นพื้นทางดินลูกรังซีเมนต์หนาเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนาเท่ากับ 200 มิลลิเมตร จากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ระหว่าง Design Chart 1 และ Design Chart 2 ดังแสดงในตัวอย่างที่ 3 พบว่าที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้น Subgrade เท่ากับ 20 Mpa และ Design Traffic เท่ากับ 10^6 EAL จะต้องการความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 70 มิลลิเมตร

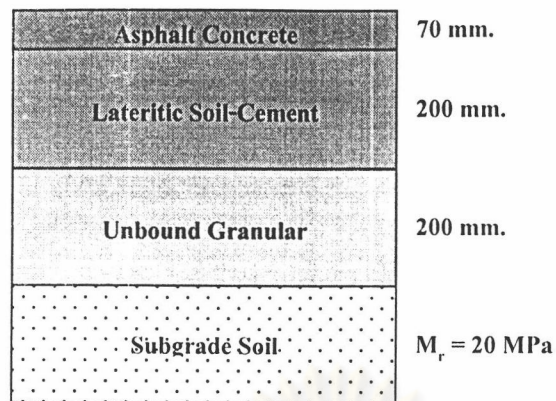
ขั้นที่ 2 หากความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งมีโครงสร้างชั้นทางและผิวทางเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต ที่กำหนดให้มีชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular มีความหนาเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade เท่ากับ 20 MPa และค่า Design Traffic เท่ากับ 10⁶ EAL ด้วยวิธีการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ระหว่างความหนาที่ออกแบบได้จาก Design Chart 5 และ Design Chart 6 ดังนี้

- หากความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตจาก Design Chart 5 พบว่าที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade เท่ากับ 20 MPa และ Design Traffic เท่ากับ 10⁶ EAL จะต้องการความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 265 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 150 มิลลิเมตร
- หากความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตจาก Design Chart 6 พบว่าที่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade เท่ากับ 20 MPa และ Design Traffic เท่ากับ 10⁶ EAL จะต้องการความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 220 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 300 มิลลิเมตร

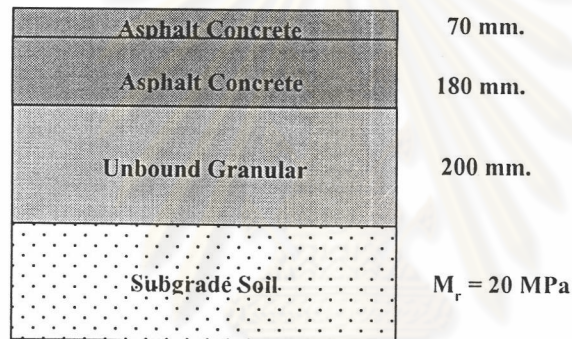
ความหนาชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีค่าเท่ากับ $265 - \frac{(200-150) \times (265-220)}{(300-150)} = 250$ มิลลิเมตร

จากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ข้างต้นด้วยผลการออกแบบที่ได้จาก Design Chart 5 และ Design Chart 6 จะได้ความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 250 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาของชั้นแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มีชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนาเท่ากับ 200 มิลลิเมตร

ขั้นที่ 3 ทำการหาค่าสัดส่วนความหนาของชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์ กับพื้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยจากขั้นตอนที่ 2 เมื่อหักความหนาของชั้นพื้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตออก 70 มิลลิเมตร จะเหลือความหนาของชั้นพื้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ $250 - 70 = 180$ มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาที่เทียบได้กับชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์ 200 มิลลิเมตร ดังรูปต่อไปนี้



ความหนาโครงสร้างทางที่หาจากขั้นตอนที่ 1



ความหนาโครงสร้างทางที่หาจากขั้นตอนที่ 2

ดังนั้นจะได้สัดส่วนความหนาของชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์กับชั้นพื้นทางแอสฟัลต์

คอนกรีตเท่ากับ $200/180 = 1.11$

ขั้นที่ 4 ทำการหาความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์ซีเมนต์ เมื่อกำหนดให้ชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์หนา 250 มิลลิเมตร และชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 200 มิลลิเมตร ได้ดังนี้

- ความหนาของพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์ ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นผิวทางเท่ากับ $250 - 200 = 50$ มิลลิเมตร ซึ่งความหนาดังกล่าวเทียบเท่ากับความหนาผิวทางแอสฟัลต์ซีเมนต์ $= 50/1.11 = 45$ มิลลิเมตร

- จากความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ทำได้จากชั้นตอนที่ 1 เมื่อชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์หนาเพิ่มขึ้น 50 มิลลิเมตร จะต้องการความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ $70 - 45 = 25$ มิลลิเมตร

ดังนั้นเมื่อกำหนดชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์หนา 250 มิลลิเมตร ชั้นรองพื้นทาง Unbound Granular หนา 200 มิลลิเมตร โมดูลัสยืดหยุ่นชั้น Subgrade เท่ากับ 20 MPa และ Design Traffic เท่ากับ 10^6 EAL จะต้องการความหนาของชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 25 มิลลิเมตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายฉัฐพล สัจจันทรรัตน์ เกิดวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2520 มีพี่น้องรวม 2 คน สำเร็จการศึกษา ระดับประถมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนนฤมลทิน ธนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย