

สัดส่วนที่เหมาะสมของเถ้าหนักลิกไนต์และหินฝุ่น ในแอสฟัลต์คอนกรีต

Optimum Ratio of Lignite Bottom Ash and Rock Dust in Asphalt Concrete

วัชรินทร์ วิทยกุล และนิรชร นกแก้ว¹

Watcharin Witayakul and Nirachorn Nokkaew

ABSTRACT

This research focused on asphalt concrete using lignite bottom ash and rock dust as mineral dust in the mixture. Bottom ash is the coalesced waste residue from lignite burning in power generation. In this study the material was obtained from Mae Moh Thermal Plant, Lampang Province. Two types of aggregate were used, limestone and basalt. The proportions of bottom ash and rock dust were determined from hot bin 1 by trial and error. Asphalt content, by weight of aggregate, varied from 4.5-7.5% for limestone and 5.5-8.5% for basalt, determine the optimum asphalt content. The results indicated that for limestone, the optimum ratio of bottom ash to rock dust was 0.043. Optimum percentage of bottom ash and asphalt were found to be 2% and 6.2% by weight of aggregate respectively. For basalt, The results indicated that the optimum ratio of bottom ash to rock dust was 0.042. Optimum percentage of bottom ash and asphalt were found to be 2% and 7.2% by weight of aggregate respectively. It was noted that using bottom ash resulted in increasing demand for asphalt for both aggregates. This cost increase must be considered in accooding with the benefit of waste utilization.

Key words : lignite bottom ash, asphalt concrete

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้เถ้าหนักลิกไนต์และหินฝุ่นเป็นส่วนหนึ่งของมวลรวมละเอียดในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เถ้าหนักที่ใช้เป็นวัสดุที่เหลือจาก

การเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง วัสดุมวลรวมที่ใช้ครั้งนี้มีสองชนิดคือ หินปูนและหินบะซอลต์ สัดส่วนของเถ้าหนักและหินฝุ่นหาจากถังร้อนเบอร์ 1 โดยการลองผสม ปริมาณแอสฟัลต์มีค่าระหว่าง 4.5-7.5% โดยน้ำหนักของมวล

¹. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

รวมสำหรับหินปูน และ 5.5-8.5 % สำหรับหินบะซอลต์ เพื่อหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า สำหรับหินปูนอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเถ้าหนักกับหินฝุ่นมีค่า 0.043 ที่เหมาะสมของเถ้าหนักและแอสฟัลต์มีค่า 2% และ 6% โดยน้ำหนักของมวลรวม ตามลำดับ สำหรับหินบะซอลต์อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเถ้าหนักกับหินฝุ่นมีค่า 0.042 ที่เหมาะสมของเถ้าหนักและแอสฟัลต์มีค่า 2% และ 7.2% โดยน้ำหนักของมวลรวม ตามลำดับ จึงแสดงให้เห็นว่า การใช้เถ้าหนักมีผลให้ใช้ปริมาณแอสฟัลต์เพิ่มขึ้น การใช้งานจึงต้องพิจารณาถึงราคาเทียบกับผลประโยชน์ที่ได้จากการใช้วัสดุเหลือใช้ด้วย

ที่เป็นผลตามมาจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์ทำให้เหลือกากเชื้อเพลิงเรียกว่าเถ้าลิกไนต์ เถ้าลิกไนต์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เถ้าลอยลิกไนต์ (lignite fly ash) และเถ้าหนักลิกไนต์ (lignite bottom ash) เถ้าลิกไนต์มีลักษณะเป็นเม็ดหรือก้อนและมีความคม ถ้าสามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมละเอียดในแอสฟัลต์คอนกรีตได้จะเป็นประโยชน์อย่างมากทั้งยังเป็นการลดปัญหาภาวะแวดล้อมอีกด้วย วราภรณ์ (2536) ดังนั้นจึงได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าหนักลิกไนต์ และมวลรวมละเอียดชนิดหินฝุ่นของหินปูนและหินบะซอลต์ และเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิกไนต์ของชนิดหินปูนและหินบะซอลต์

วิธีการ

คำนำ

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแม่เมาะ จ.ลำปาง ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า สิ่ง

วิธีทดสอบวัสดุ

วิธีการทดสอบใช้การทดสอบมาตรฐานตาม Table 1 ดังต่อไปนี้

Table 1 Characteristics and standard test method. (American Society for Testing and Material, 1986)

Bottom ash and fine aggregate as mineral dust of limestone and basalt

Characteristics	Standard test method	Test method designation	
		AASHTO	ASTM
Gradation	DH-T 205/2516	T 27-77	C 117-76
Specific Gravity	DH-T 209/2517	T 84-77	C 128-73
Soundness	DH-T 213/2531	T 104-77	C 88-76
Sand Equivalent	DH-T 203/2515	T 176-73	D 2419-71
Coarse Aggregate			
Characteristics	Standard test method	Test method designation	
		AASHTO	ASTM
- Gradation	DH-T 204/2516	T 27-74	C 136-76
- Abrasion	DH-T 202/2515	T 96-77	C 131

Table 1 (continued).

Coarse Aggregate			
Characteristics	Standard test method	Test method designation	
		AASHTO	ASTM
- Flakiness index	DH-T 210/2518	BS 812-1967	BS 812-1967
- Elongation	DH-T 211/2518	BS 812-1967	BS 812-1967
- Specific gravity	DH-T 207/2517	T 85-77	C 128-73
- Soundness	DH-T 213/2531	T 104-77	C 88-76
Asphalt cement grade 60-70			
Characteristics	Standard test method	Test method designation	
		AASHTO	ASTM
- Penetration	DH-T 403/2518	T 49	D 5-83
- Flash point	DH-T 406/2519	T 48	D 92-78
- Ductility	DH-T 405/2519	T 51	D 113-85
- Solubility in trichloroethylene	DH-T 409/2520	T 44	D 2042-81
- Loss on heating thin film oven	DH-T 404/2518	T 47	D 6-80
- Loss on heating	DH-T 404/2518	T 47	D 6-80
- Penetration of residue	DH-T 403/2518	T 49	D 5-83
- Ductility of residue	DH-T 405/2519	T 51	D 113-85

วิธีการทดสอบส่วนผสม

ขั้นตอนการออกแบบให้ทำตามวิธี Marshall เอกสารอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบที่ ทล.ม.-604/2517 (กองวิศวกรรมและวิจัย, 2535) และใช้เกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Wearing Course ขนาด 12.5 มิลลิเมตร และข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต Table ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

การออกแบบส่วนผสม

1. ใช้มวลรวมแต่ละชนิดออกแบบ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้งาน

2. ใช้อัตราส่วนของเถ้าหนักกลในด้อมมวลรวมใน Hot Bin 1 ส่วน Hot Bin 2, 3 และ 4 ยังคงใช้มวลรวมและอัตราส่วนเดิม (อัตราส่วนที่ออกแบบไว้แล้ว ดังข้อ 1)

3. ใช้อัตราส่วนของเถ้าหนักกลในด้อมมวลรวมใน Hot Bin 1 ส่วน Hot Bin 2, 3 และ 4 ยังคงใช้มวลรวมและอัตราส่วนเดิม (อัตราส่วนที่ออกแบบไว้แล้ว ดังข้อ 1)

4. ใช้อัตราส่วนของเถ้าหนักกลในด้อมมวลรวมใน Hot Bin 1 ส่วน Hot Bin 2, 3 และ 4 ยังคง

Table 2 Asphalt cement and gradation for wearing course thickness 40-70 mm.

Sieve size		Passing
mm	in.	percent by weight
19	3/4	100
12.5	1/2	80-100
4.75	# 4	44-74
2.36	# 8	25-58
0.3	# 50	5-21
0.075	# 200	2-10
Asphalt cement content by total weight of aggregate		3.0-7.0

Table 3 Marshall design criteria.

Characteristics		Wearing course
Blows	75	
Stability	(N)	8006
	(lb)	1800
Flow 0.25 mm (0.01 in)		8-16
Percent air voids : Min. (%)		3-5
Voids in mineral aggregate (VMA) : Min. (%)		14
(Stability/flow) : Min. (N/0.25 mm)		712
	(lb/0.01 in.)	160
Strength index : Min. (%)		75

ใช้มวลรวม โดยเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสม
การทดสอบคุณสมบัติดัชนีความแข็งของแอสฟัลต์
คอนกรีตผสมเข้ากันกลไกในคัมที่ผสมใช้ในการใช้งาน

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแสดงใน Table 4 ดังต่อไปนี้

Table 4 Result of material testing.

Bottom ash and fine aggregate as mineral dust of limestone and basalt				
Characteristics	Bottom ash	Mineral dust of limestone	Mineral of basalt	Specification
Gradation		-	-	-
Specific gradation	2.536	2.738	2.719	-
Soudness	25	3.2	1.8	9 Max.
Sand equivalent	74	76	73	50 Min.
Coarse aggregate				
Characteristics		Mineral dust of limestone	Mineral dust of basalt	Specification
Gradation		-	-	-
Abrasion		28	18.4	40 Max.
Flakiness index		15	30	-
Elongation index		15	25	-
Specific gravity		2.765	2.741	-
Soundness		0.5	0.4	9 Max.
Asphalt cement grade 60-70				
Characteristics	Results of meterial testing			Specification
Penetration	66			60-70
Flash point	323			232 Min.
Ductility	100 Min.			100 Min.
Solubility in trichloroethylene	99.90			99.00 Min
Loss on heating thin film oven	0.048			0.8 Max.
- Loss on heating	0.089			0.8 Max.
- Penetration of residue	63.8			54 Min.
- Ductility of residue	50 Min.			50 Min.

Table 5 Comparison of mixing ratio between bottom ash, lime stone and basalt for asphalt concrete mixing containing asphalt cement content 5.2 and 6.1 percent.

Properties	Density	Air voids	Flow	Stability	VFB	VMA
Mix proportion	(g/ml)	(%)	(1/100 in.)	(lb)	(%)	(%)
Limestone						
(0 : 47) : 28 : 11 : 14	2.468	3.8	10.4	2,320	75.0	15.2
(13.4 : 33.6) : 28 : 11 : 14 ¹	2.140	15.9	7.4	1,600	38.0	25.6
(8 : 39) : 28 : 11 : 14	2.260	11.5	12.4	1,980	48.0	21.8
(5 : 42) : 28 : 11 : 14	2.339	8.4	12.4	2,240	57.0	19.2
(2 : 45) : 28 : 11 : 14	2.394	4.0	12.4	1,810	64.0	17.3
(47 : 0) : 28 : 11 : 14	-	-	-	-	-	-
(8 : 38) : 29 : 11 : 14	2.251	11.7	12.4	1,750	47.0	22.0
(5 : 41) : 29 : 11 : 14	2.306	9.7	12.4	1,820	50.3	20.3
(2 : 44) : 29 : 11 : 14	2.374	7.2	12.4	2,075	60.1	18.1
Basalt						
(0 : 48) : 17 : 15 : 20	2.433	3.8	11.2	2,430	77.0	16.4
(13.7 : 34.3) : 17 : 15 : 20 ²	2.102	16.3	15.2	1,300	39.8	27.0
(8 : 40) : 17 : 15 : 20	2.203	12.4	15.2	1,720	45.5	23.7
(5 : 43) : 17 : 15 : 20	2.291	9.0	14.2	1,910	57.0	19.3
(2 : 46) : 17 : 15 : 20	2.344	6.9	14.2	1,740	64.0	17.5
(48 : 0) : 17 : 15 : 20	-	-	-	-	-	-
(8 : 39) : 18 : 15 : 20	2.198	12.6	12.2	1,370	47.0	23.8
(5 : 42) : 18 : 15 : 20	2.236	11.2	15.2	1,251	51.0	20.4
(2 : 45) : 18 : 15 : 20	2.341	7.1	12.2	1,640	20.4	19.3
Department of Highway Standard	-	3-5	8-16	≥1800	-	≥15

Note : 1, 2 from soundness with using the ratio for bottom ash mineral dust ratio of limestone and basalt **1 : 2.5**. soundness 7.9, 6.3 percent respectively with maximum 9 percent

Table 6 Results of the most suitable asphalt concrete mixing bottom ash between limestone and basalt with asphalt cement content 6.2 and 7.2 percent.

Properties	Density	Air voids	Flow	Stability	VFB	VMA
Mix proportion	(g/ml)	(%)	(1/100 in.)	(lb)	(%)	(%)
Limestone						
(2 : 45) : 28 : 11 : 14	2.426	4.0	14.4	2,050	77.0	17.3
Basalt						
(2 : 46) : 17 : 15 : 20	2.382	4.5	16.4	2,030	77.0	17.4
Department of Highway Standard	-	3 - 5	8 - 16	≥ 1800	-	≥ 15

Table 7 Results of strength index for the most suitable asphalt concrete mixing bottom ash between limestone and basalt at asphalt cement content 6.2 and 7.2 percent.

Properties	Strength index
Mix propotion	(%)
Limestone	
(2 : 45) : 28 : 11 : 14	81
Basalt	
(2 : 46) : 17 : 15 : 20	85
Department of Highway Standard	≥ 75

สรุป

1. จากการศึกษาคูสมบัติทางกายภาพของ เถ้าหนักลิกไนต์และมวลรวมละเอียดชนิดหินฝุ่น ใน ห้องปฏิบัติการ

1.1 ขนาดคละของเถ้าหนักลิกไนต์ มี ขนาดใกล้เคียงกับหินฝุ่นชนิดหินปูนและหินบะซอลท์

1.2 ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าหนัก ลิกไนต์มีค่าเท่ากับ 2.536 หินฝุ่นชนิดหินปูนมีค่าเท่ากับ 2.738 และหินฝุ่นชนิดหินบะซอลท์มีค่าเท่ากับ 2.719 ที่น้ำหนักเท่ากันเถ้าหนักลิกไนต์จะมีปริมาตรมากกว่า

หินฝุ่นชนิดหินปูนและหินบะซอลท์

1.3 ความทนทานของเถ้าหนักลิกไนต์มี ค่าเท่ากับ ร้อยละ 25 หินฝุ่นชนิดหินปูนมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 3.2 และหินฝุ่นชนิดหินบะซอลท์มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 1.8

1.4 Sand Equivalent ของเถ้าหนัก ลิกไนต์มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 74 หินฝุ่นชนิดหินปูนมีค่า เท่ากับ ร้อยละ 76 และหินฝุ่นชนิดบะซอลท์มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 73

2. เมื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ สำหรับการนำเอาเถ้าหนักลิกไนต์มาใช้แทนมวลรวม

ละเอียดชนิดหินฝุ่นเป็นวัสดุผสมสำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยเปรียบเทียบกับการใช้หินฝุ่นของหินชนิดต่าง ๆ ในแอสฟัลต์คอนกรีตเช่น หินปูนและหินบะซอลท์ พบว่า

2.1 ความแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิไกในตชนิดหินปูน และหินบะซอลท์ที่บดทับแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความแน่นสูงสุด หลังจากนั้นความแน่นจะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อใช้ปริมาณเถ้าหนักลิไกในตมาก ความแน่นจะมีค่าลดลง เมื่อลดปริมาณเถ้าหนักลิไกในตค่าความแน่นจะเพิ่มขึ้น แต่ยังคงมีค่าความแน่นน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใด ๆ

2.2 เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิไกในต ชนิดหินปูนและหินบะซอลท์จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับความแน่น จุดที่มีความแน่นสูงสุดจะใกล้เคียงกับจุดที่มีเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศในแอสฟัลต์คอนกรีตน้อยที่สุด และเมื่อใช้ปริมาณของเถ้าหนักลิไกในตมาก เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศมาก เมื่อลดปริมาณเถ้าหนักลิไกในต เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศจะมีค่าลดลง แต่ยังคงมีค่ามากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใด ๆ

2.3 ค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิไกในตชนิดหินปูน และหินบะซอลท์พบว่า ค่าการไหลจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแอสฟัลต์ที่เพิ่มขึ้น และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิไกในตชนิดหินบะซอลท์ซึ่งมีขนาดโตกว่าหินปูน จะมีค่าการไหลมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิไกในตชนิดหินปูน ดังนั้นหินบะซอลท์จึงต้องการปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์มากกว่าและมีค่าการไหลสูงกว่า

2.4 เสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิไกในตชนิดหินปูน และหินบะซอลท์พบว่า เมื่อค่าความแน่นเพิ่มขึ้น ค่าเสถียรภาพก็จะ

เพิ่มขึ้นและเมื่อค่าความแน่นลดลง ค่าเสถียรภาพลดลงตามไปด้วย เมื่อใช้ปริมาณเถ้าหนักลิไกในตมาก ความแน่นจะมีค่าลดลง เมื่อลดปริมาณเถ้าหนักลิไกในตค่าเสถียรภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ยังคงมีค่าเสถียรภาพน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใด ๆ

2.5 เปอร์เซ็นต์ช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิไกในตชนิดหินปูนและหินบะซอลท์ จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกับเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศ จุดที่เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศมากจะใกล้เคียงกับจุดที่มีเปอร์เซ็นต์ช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จะมีค่าน้อย เมื่อลดปริมาณเถ้าหนักลิไกในตเปอร์เซ็นต์ช่องว่างส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จะมีค่ามาก แต่ยังคงมีค่าน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใด ๆ

2.6 เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิไกในต ชนิดหินปูนและหินบะซอลท์จะมีค่าเพิ่มตามปริมาณเถ้าหนักลิไกในตที่เพิ่มขึ้น และจะมีค่าลดลงเมื่อลดปริมาณเถ้าหนักลิไกในต แต่ยังคงมีค่ามากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตปกติที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ใด ๆ

2.7 คัดชนีความแข็งของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนักลิไกในตชนิดหินปูน และหินบะซอลท์ที่ Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 เท่ากับ (2 : 45) : 28 : 11 : 14 , (2 : 44) : 29 : 11 : 14 มีค่าเท่ากับ 81, 85% ตามลำดับ และ (2 : 46) : 17 : 15 : 20 , (2 : 45) : 18 : 15 : 20 มีค่าเท่ากับ 85, 85% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดเช่นเดียวกับแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ

3. เพื่อหาแนวทางที่จะนำเถ้าหนักลิไกในตมาใช้ประโยชน์เป็นมวลรวมละเอียด ในงานแอสฟัลต์คอนกรีต

3.1 แอสฟัลต์คอนกรีตผสมเถ้าหนัก

ลิกไนต์ชนิดหินปูนและหินบะซอลท์ ที่ Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 เท่ากับ (2 : 45) : 28 : 11 : 14 , (2 : 44) : 29 : 11 : 14 , (2 : 46) : 17 : 15 : 20 และ (2 : 45) : 18 : 15 : 20 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ร้อยละ 6.2, 7.2 โดยน้ำหนักของมวลรวม จะสอดคล้องตามเกณฑ์กำหนด

ข้อเสนอแนะ

1. จากการวิจัยพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตผสมถ่านกัมมันต์จะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของแอสฟัลต์ซีเมนต์มากกว่าแอสฟัลต์ปกติ จึงมีผลทำให้ปริมาณช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้นและใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ในปริมาณมากเพราะถ่านกัมมันต์มีความพรุนมากกว่ามวลรวมชนิดหินปูนและหินบะซอลท์ ควรจะมีการศึกษาต่อไปว่า ก่อนนำถ่านกัมมันต์มาใช้หลังจากกระบวนการผลิตแล้ว ควรศึกษาวิธีปรับปรุงคุณสมบัติให้ได้ตามเกณฑ์กำหนดก่อนนำมาใช้งาน
2. ควรศึกษาถึงวิธีการป้องกันมลพิษจากก๊าซที่อาจจะเกิดขึ้น ในระหว่างกระบวนการผลิตและการบดอัดส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมถ่านกัมมันต์ โดยวิธีดักก๊าซผ่านน้ำผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซดาไฟ
3. ควรศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ เช่น โมดูลัสยืดหยุ่น การต้านทานความสึกหรอของ

แอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมถ่านกัมมันต์ เพื่อนำมาพิจารณาประกอบการออกแบบความหนาของชั้นทางและอายุการใช้งาน

4. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งาน โดยเปรียบเทียบผลการตอบแทนทางเศรษฐกิจพิจารณาจากต้นทุนการผลิตการประหยัดแรงงานและเชื้อเพลิง อายุการใช้งานของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมถ่านกัมมันต์

เอกสารอ้างอิง

- กองวิเคราะห์และวิจัย 2535. งานแอสฟัลต์คอนกรีต, น. 154-166. ในรายการละเอียด และข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.
- วารกรณ์ คุณวานากิจ, 2536. คุณสมบัติพื้นฐานของถ่านกัมมันต์, น. 2-1-2-15. ในเอกสารการสัมมนาทางวิชาการเรื่องศักยภาพของการนำถ่านกัมมันต์มาใช้ประโยชน์, 27-28 เมษายน 2536. สำนักงานวิจัยและพัฒนาวิชาการ, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, นนทบุรี.
- American Society for Testing and Material. 1986. Annual Book of ASTM Standard. Vol. 04.03. American Society for Testing and Materials, Easton, Maryland, U.S.A. 135 p.