บทที่ 4
ผลการศึกษา

จากการฝึกสหกิจศึกษา ผู้ศึกษาสหกิจได้ดำเนินการศึกษาและปฏิบัติตามขั้นตอนการทำโครงงานตามบทที่ 3 โดยผู้ศึกษาสหกิจศึกษาได้วิเคราะห์ผลการศึกษาที่ประกอบไปด้วยการทดสอบในห้องทดลองสนามและการรวบรวมข้อมูลของผลการทดสอบทั้ง 5 วิธี และนำมาตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุชั้นรองพื้นทาง(ลูกรัง) โดยใช้สมมุติฐานการกระจายข้อมูลทางสถิติแบบ Z- test และ t- test ดังนี้

4.1 ผลศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นทางวิศวกรรมของวัสดุรองพื้นทาง มทช. 202-2545

ชั้นรองพื้นทางเป็นชั้นของถนนที่ต้องรับน้ำหนักของชั้นทางอื่นๆ ที่อยู่เหนือขึ้นไป ทั้งยังต้องรับน้ำหนักของรถต่างๆด้วย ดังนั้น วัสดุที่ต้องใช้จึงต้องมีคุณภาพที่ดีขึ้นกว่าวัสดุในชั้นต่างๆที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยทั่วไปมักใช้ดินลูกรัง (Soil Aggregate) เป็นวัสดุก่อสร้างชั้นรอพื้นทาง ซึ่งปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) Shale รากไม้หรือวัชพืชอื่นๆ มีค่าขีดเหลว(LL)ไม่มากกว่า 35% ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก(PI)ไม่มากกว่า 11% ตามการทดสอบ มทช.(ท) 501.5-2545 และ มทช.(ท) 501.6-2545 มีการสึกหรอเมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบที่ มทช.(ท) 501.9-2545 ไม่มากกว่า ร้อยละ 60 มีขนาดใหญ่สุดไม่โตกว่า 50 มม. มีขนาดมวลคละผ่านตะแกรง ตาม มทช. 202-2545 เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบที่ มทช.(ท) 501.8-2545

สำหรับการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางนี้ มีกรรมวิธีคล้ายคลึงกับชั้นวัสดุคัดเลือก กล่าวคือลงวัสดุเป็นชั้นๆ ตามความหนาที่ต้องการ โดยจะต้องเผื่อความหน่าเมื่อวัสดุถูกบดอัดด้วย เนื่องจากความหนาที่ระบุในแบบนั้น เป็นความหนาหลังจากบดอัดจนมีความหนาแน่นตามต้องการแล้ว เมื่อลงวัสดุจังตรวจสอบ และฉีดน้ำให้ได้ในปริมาณน้ำที่เหมาะสม เนื่องจากลูกรังในชั้นรองพื้นทางนี้ เป็นส่วนผสมของวัสดุลูกรังหรือมวลรวมดิน จึงต้องระมัดระวังอัตตราส่วนของน้ำ อย่าให้มากหรือน้อยเกินไป เมื่อปรับวัสดุนี้จนได้รูปร่างตามต้องการแล้ว จึงทำการบดอัดจนได้ความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 95% ของความแน่นปห้งสูงสุด ตามวิธีการทดสอบที่ มทช.(ท) 501.4-2545 และเมื่อบดอัดแน่นแล้วต้องรับแรงกดหรือมีค่า C.B.R ไม่น้อยกว่า 25% หรือตามแบบที่กำหนด [1]

4.2 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200

โครงงานได้รวบรวมเอกสารผลการทดสอบหาค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์200 ของวัสดุรองพื้นทางของตัวอย่างลูกรังตั้งแต่ กม. 7+000 จนถึง 31+000 รวมทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ซึ้งจะมีการเก็บตัวอย่างมาทดสอบคุณสมบัติ 1 ตัวอย่างต่อปริมาณลูกรัง 2000 ลูกบาศก์เมตร (คิดเป็น ตัวอย่าง) จำนวนทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ดังแสดงและรวบรวมไว้ใน**ภาคผนวก ข** ในการวิเคราะห์และรวบรวมผลทดสอบ ค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จะต้องไม่มากกว่า (2/3) ของตะแกรงเบอร์40 คิดเป็น 20% จากผลทดสอบแต่ละฉบับ ได้ข้อมูลออกมา 30 ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางคุณสมบัติของค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200

	ตัวอย่างการทดสอบ									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
ค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200	1.31	12.7	12.0	14.06	8.86	13.9	14.5	15.1	10.1	13.21
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	11	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
	12.07	10.52	13.14	12.33	14.20	9.28	17.64	3.16	15.48	17.44
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	21	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
	11.19	13.54	16.61	15.01	15.41	11.65	13.3	10.2	14.1	13.21

หากลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมโดยใชสูตรของเครจซี่และมอร์แกน

การคำนวนหากลุ่มประชากร ถนนกว้าง 3.5 เมตร 4ช่องจาราจร = 14 เมตร ความหนา 0.25 เมตร ระยะทางลูกรังตั้งแต่ กม. 7+000 จนถึง 31+000 ทั้งหมด 25 กิโลเมตร หรือ 25000 เมตร เก็บตัวอย่างทุกๆ 2000 ลูกบาก์ศเมตร เพราะฉะนั้น

$$N = \frac{14*0.25*25000}{2000} = 43.75 \text{ กลุ่มประชากร}$$

มี N = 43.75, x^2 = 3.841, e = ระดับคงามควาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ 10%หรือ (0.10), (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด p = 0.5)

$$n = \frac{x^2Np(1-p)}{e^2(N-1)+x^2p(1-p)} = \frac{3.841*43.75*0.5(1-0.5)}{0.10^2(43.75-1)+3.841*0.5(1-0.5)}$$

n = 30.43 หรือ 30 ตัวอย่าง, $\sum x$ =375.22, $\sum x^2$ = 5062.50

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน H_0 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) = คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

H_1 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) ≠ คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีดังสูตรที่ 15

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \frac{375.22}{30} = 12.51$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}} = \sqrt{\frac{5062.50 - (375.22)^2/30}{30-1}}$$

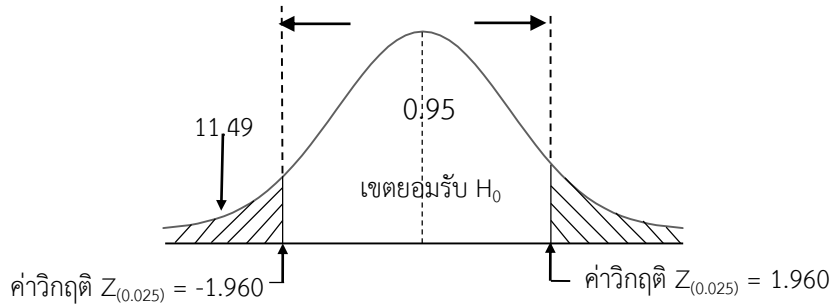
$$= 3.569$$

ขั้นที่ 3 เมื่อใช้สมมุติฐานการกระจายข้อมูลทางสถิติแบบ Z- test เพื่อตรวจรับคุณภาพวัสดุรองพื้นทาง(ลูกรัง)โดยใช้เกณฑ์ ค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์200 เฉลี่ยต่ำกว่า 20% (μ = 20) ด้วยค่านัยสำคัญα =**0.05**สามารถทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มเดียวโดยมีโจทย์ปัญหาที่ตั้งไว้คือผลสำรวจคุณภาพวั้สดุรองพื้นทางจำนวน 30 ตัวอย่าง มีค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์200เฉลี่ย($\bar{X}$) =12.51 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (S) = 3.569 จะสรุปได้หรือไม่ว่า วัสดุรองพื้นทาง (ลูกรัง) นี้มีค่าร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์200 เฉลี่ยต่ำกว่า 20%เมื่อทดสอบที่นัยสำคัญที่ α = 0.05 มีดังสูตรที่ 15

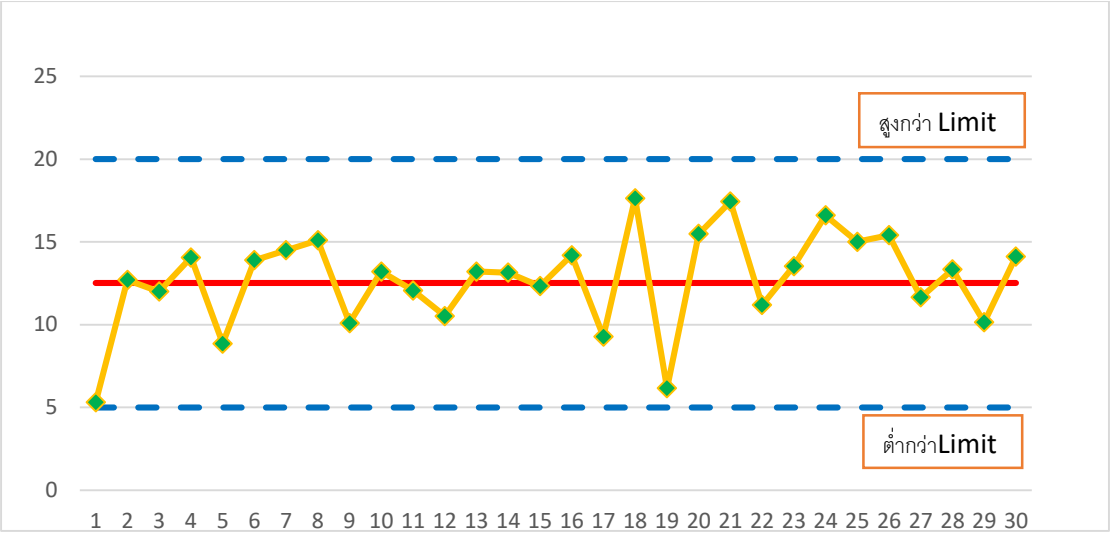
วิธีทำ $Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{12.51 - 20}{\frac{3.569}{\sqrt{30}}} = -11.49$

ขั้นที่ 4 กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยการหาค่า Z วิกฤต (จากตารางค่าวิกฤตของ Z)

กรณีการทดสอบแบบสองหาง (Two-tailed test)



ขั้นที่ 5 ผลวิเคราะห์คือ ค่า Z ตกอยู่ในขอบเขตวิกฤต ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 หรืออาจใช้การเปรียบเทียบค่าสถิติโดยไม่คิดเครื่องหมายติดลบ พบว่า Z > Z วิกฤต (11.49> 1.960) ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0และยอมรับ H_1นั้นคือ วัสดุรองพื้นทางนี้ มีค่า % ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เฉลี่ยต่ำกว่า 20% และได้ตามเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงชนบทที่ได้กำหนดไว้ โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงเกณฑ์ผลทดสอบ Sieve Analysis

4.3 ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของค่าขีดเหลวจำกัด LL ไม่มากกว่า 35%

โครงงานได้รวบรวมเอกสารผลการทดสอบหาค่าขีดเหลว LL ของวัสดุรองพื้นทาง(ลูกรัง) (Liquid Limit) ของตัวอย่างลูกรังตั้งแต่ กม. 7+000 จนถึง 31+000 รวมทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ซึ่งจะมีการเก็บตัวอย่างมาทดสอบคุณสมบัติ 1 ตัวอย่างต่อปริมาณลูกรัง 2000 ลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นตัวอย่าง) จำนวนทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ดังแสดงและรวบรวมไว้ใน**ภาคผนวก ก** ในการวิเคราะห์และรวบรวมผลทดสอบ ค่าขีดเหลวไม่มากกว่า 35% จากผลทดสอบแต่ละฉบับ ได้ข้อมูลออกมา 30 ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 4.2 ตารางค่าคุณสมบัติของค่าขีดเหลวจำกัด LL

ค่าขีดเหลวจำกัด LL	**ตัวอย่างการทดสอบ**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
	29	29	26	23.3	28.4	28.8	21.4	22.4	23.4	22.9
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	11	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
	22.2	23	29	21.6	22.3	21.1	22	21.7	22.9	29.5
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	21	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
	22.2	22.8	22.2	22/9	21.3	22.2	21	27.2	26.8	23.4

หากลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมโดยใชสูตรของเครจซี่และมอร์แกน

การคำนวนหากลุ่มประชากร ถนนกว้าง 3.5 เมตร 4ช่องจาราจร = 14 เมตร ความหนา 0.25 เมตร ระยะทางลูกรังตั้งแต่ กม. 7+000 จนถึง 31+000 ทั้งหมด 25 กิโลเมตร หรือ 25000 เมตร เก็บตัวอย่างทุกๆ 2000 ลูกบาก์ศเมตร เพราะฉะนั้น

$$N = \frac{14*0.25*25000}{2000} = 43.75 \text{ กลุ่มประชากร}$$

มี N = 43.75, x^2 = 3.841, e = ระดับคงามควาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ 10%หรือ (0.10), (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด p = 0.5)

$$n = \frac{x^2 Np(1-p)}{e^2(N-1)+x^2p(1-p)} = \frac{3.841*43.75*0.5(1-0.5)}{0.10^2(43.75-1)+3.841*0.5(1-0.5)}$$

n = 30.43 หรือ 30 ตัวอย่าง, $\sum x = 722.12$, $\sum x^2 = 17624.08$

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน H_0 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) = คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

H_1 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) ≠ คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของค่าขีดเหลว LL (ร้อยละ) มีดังสูตรที่ 15

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} = \frac{722.12}{30} = 24.07$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2-(\sum x)^2/n}{n-1}} = \sqrt{\frac{17624.08-(722.12)^2/30}{30-1}}$$

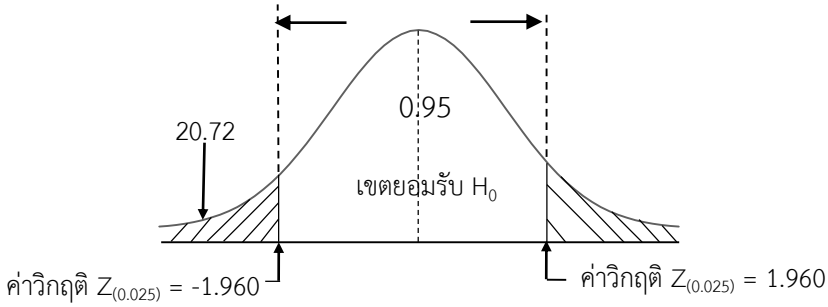
$$= 2.889$$

ขั้นที่ 3 เมื่อใช้สมมุติฐานการกระจายข้อมูลทางสถิติแบบ Z- test เพื่อตรวจรับคุณภาพวัสดุรองพื้นทาง(ลูกรัง)โดยใช้เกณฑ์ ค่าขีดเหลว Liquid Limit ไม่มากกว่า 35% (μ = 35) ด้วยค่านัยสำคัญα =**0.05** สามารถทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มเดียวโดยมีโจทย์ปัญหาที่ตั้งไว้คือผลสำรวจคุณภาพวั้สดุรองพื้นทางจำนวน 30 ตัวอย่าง มีค่าขีดเหลว LL เฉลี่ย($\bar{X}$) =24.07 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (S) = 2.889 จะสรุปได้หรือไม่ว่า วัสดุรองพื้นทาง (ลูกรัง) นี้มีค่าขีดเหลว L.L เฉลี่ยมากกว่า 35% เมื่อทดสอบที่นัยสำคัญที่ α = 0.05 มีดังสูตรที่ 15

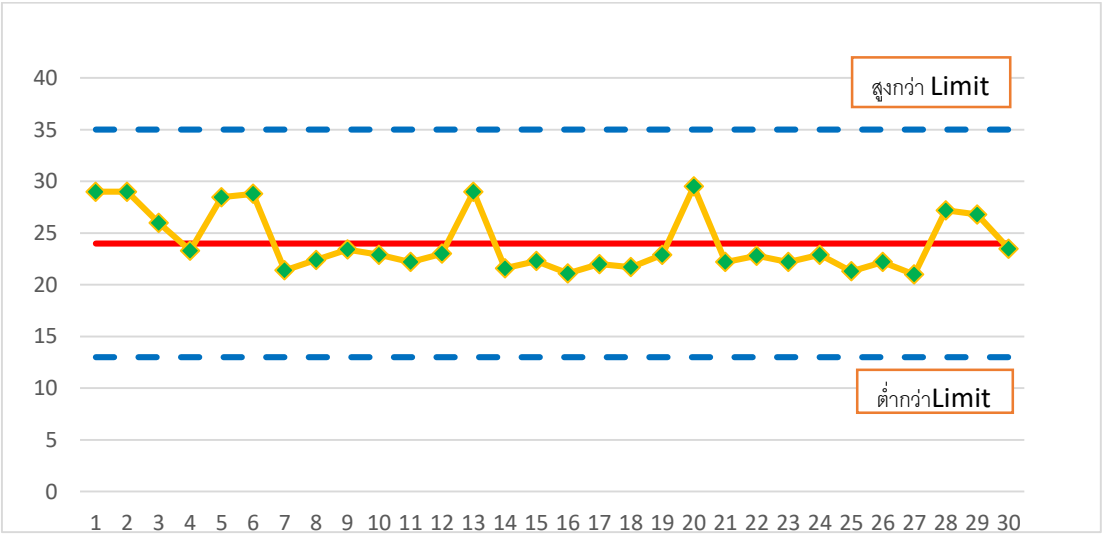
วิธีทำ $Z = \frac{\bar{x}-\mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{24.07 - 35}{\frac{2.889}{\sqrt{30}}} = -20.72$

ขั้นที่ 4 กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยการหาค่า Z วิกฤต (จากตารางค่าวิกฤตของ Z)

กรณีการทดสอบแบบสองหาง (Two-tailed test)



ขั้นที่ 5 ผลวิเคราะห์คือ ค่า Z ตกอยู่ในขอบเขตวิกฤต ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 หรืออาจใช้การเปรียบเทียบค่าสถิติโดยไม่คิดเครื่องหมายติดลบ พบว่า Z > Zวิกฤต (20.72 > 1.960) ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0และยอมรับ H_1 นั้นคือ วัสดุก่อสร้างชั้นรองพื้นทางนี้ มีค่าขีดเหลว LL (ร้อยละ) เฉลี่ยไม่เกิน 35% และได้ตามเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงชนบทที่ได้กำหนดไว้ โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเกณฑ์ผลทดสอบ Liquid Limit (LL)

4.4 ผลผลวิเคราะห์คุณสมบัติของค่าค่าดัชนีความเป็นพลาสติกPIไม่มากกว่า 11%

โครงงานได้รวบรวมเอกสารผลการทดสอบหาค่าค่าดัชนีความเป็นพลาสติกPI ของวัสดุรองพื้นทาง(ลูกรัง) (Plastic index) ของตัวอย่างลูกรังตั้งแต่ กม. 7+000 จนถึง 31+000 รวมทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ซึ่งจะมีการเก็บตัวอย่างมาทดสอบคุณสมบัติ 1 ตัวอย่างต่อปริมาณลูกรัง 2000 ลูกบาศก์เมตร (คิดเป็น ตัวอย่าง) จำนวนทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ดังแสดงและรวบรวมไว้ใน**ภาคผนวก ก** ในการวิเคราะห์และรวบรวมผลทดสอบ ค่าความเป็นพลาสติกไม่มากกว่า 11% จากผลทดสอบแต่ละฉบับได้ข้อมูลออกมา 30 ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 4.3 ตารางค่าคุณสมบัติของค่าดัชนีความเป็นพลาสติก PI

ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก PI	**ตัวอย่างการทดสอบ**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
	10.07	10.88	10.32	10.47	10.08	9.96	9.27	9.82	9.06	9.26
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	11	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
	9.26	10.53	10.19	9.40	9.14	9.01	8.79	9.35	10.60	10.34
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	21	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
	10.67	10.94	10.23	9.96	10.27	9.46	10.02	9.3	10.64	10.68

หากลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมโดยใชสูตรของเครจซี่และมอร์แกน

การคำนวนหากลุ่มประชากร ถนนกว้าง 3.5 เมตร 4ช่องจาราจร = 14 เมตร ความหนา 0.25 เมตร ระยะทางลูกรังตั้งแต่ กม. 7+000 จนถึง 31+000 ทั้งหมด 25 กิโลเมตร หรือ 25000 เมตร เก็บตัวอย่างทุกๆ 2000 ลูกบาก์ศเมตร เพราะฉะนั้น

$$N = \frac{14*0.25*25000}{2000} = 43.75 \text{ กลุ่มประชากร}$$

มี N = 43.75, x^2 = 3.841, e = ระดับคงามควาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ 10%หรือ (0.10), (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด p = 0.5)

$$n = \frac{x^2Np(1-p)}{e^2(N-1)+x^2p(1-p)} = \frac{3.841*43.75*0.5(1-0.5)}{0.10^2(43.75-1)+3.841*0.5(1-0.5)}$$

n = 30.43 หรือ 30 ตัวอย่าง, $\sum x$ =297.97, $\sum x^2$ = 2970.93

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน H_0 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) = คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

H_1 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) ≠ คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของค่าค่าดัชนีความเป็นพลาสติกPI (ร้อยละ) มีดังสูตรที่ 15

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} = \frac{297.97}{30} = 9.93$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}} = \sqrt{\frac{2970.93 - (297.97)^2/30}{30-1}}$$

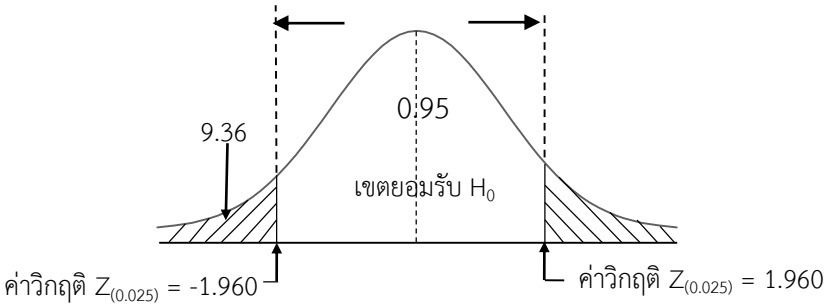
$$= 0.626$$

ขั้นที่ 3 เมื่อใช้สมมุติฐานการกระจายข้อมูลทางสถิติแบบ Z- test เพื่อตรวจรับคุณภาพวัสดุรองพื้นทาง(ลูกรัง)โดยใช้เกณฑ์ ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก Plastic Index ไม่มากกว่า 11% (μ = 11) ด้วยค่านัยสำคัญα =**0.05**สามารถทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มเดียวโดยมีโจทย์ปัญหาที่ตั้งไว้คือผลสำรวจคุณภาพวั้สดุรองพื้นทาง(ลูกรัง)จำนวน 30 ตัวอย่าง มีค่าดัชนีความเป็นพลาสติก PI เฉลี่ย($\bar{X}$) =9.93 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (S) = 0.626 จะสรุปได้หรือไม่ว่า วัสดุรองพื้นทางนี้มีค่าดัชนีความเป็นพลสาติก PI เฉลี่ยมากกว่า 11% เมื่อทดสอบที่นัยสำคัญที่ α = 0.05 มีดังสูตรที่ 15

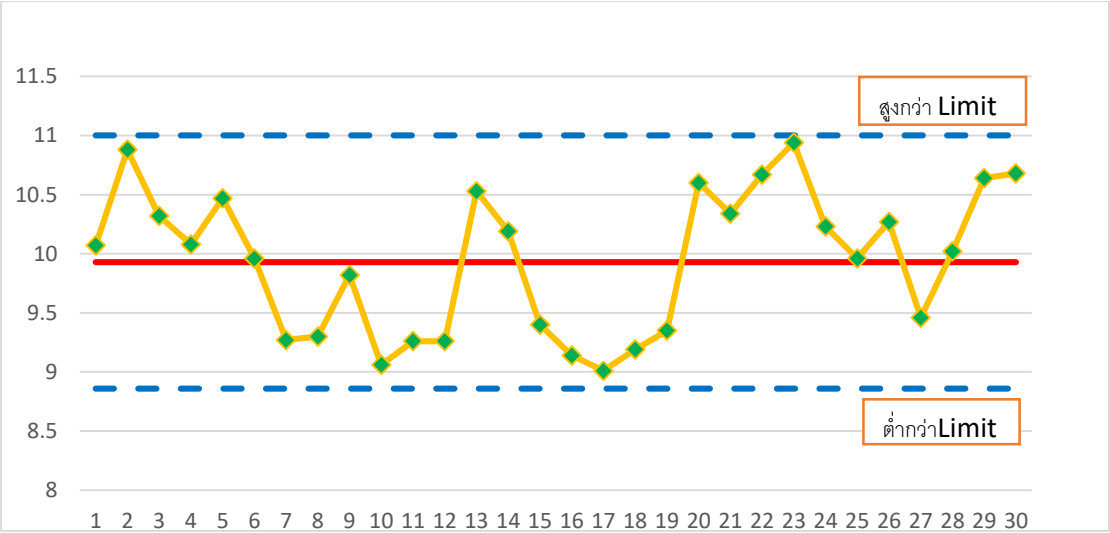
วิธีทำ $Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{9.93 - 11}{\frac{0.626}{\sqrt{30}}} = -9.36$

ขั้นที่ 4 กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยการหาค่า Z วิกฤต (จากตารางค่าวิกฤตของ Z)

กรณีการทดสอบแบบสองหาง (Two-tailed Test)



ขั้นที่ 5 ผลวิเคราะห์คือ ค่า Z ตกอยู่ในขอบเขตวิกฤต ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 หรืออาจใช้การเปรียบเทียบค่าสถิติโดยไม่คิดเครื่องหมายติดลบ พบว่า Z > Zวิกฤต (9.36 > 1.960) ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0และยอมรับ H_1 นั้นคือ วัสดุก่อสร้างชั้นรองพื้นทางนี้ มีค่าค่าดัชนีความเป็นพลาสติก PI (ร้อยละ) เฉลี่ยไม่เกิน 11% และได้ตามเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงชนบทที่ได้กำหนดไว้ โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเกณฑ์ผลทดสอบ Plastic Index (PI)

4.5 ผลวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติของค่าความแน่นแห้งสูงสุด Compaction Test

โครงงานได้รวบรวมเอกสารผลทดสอบหาค่าความหนาแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ของตัวอย่างทรายถมคันทางตั้งแต่ Station 7+000 จนถึง 31+000 รวมทั้งหมด 60 ตัวอย่าง ซึ่งหน่วยงานมีการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติวัสดุ 1 ตัวอย่างต่อปริมาณดินลูกรัง 1000 ลูกบาศก์เมตร (คิดเป็น 1 ตัวอย่าง) จำนวนทั้งหมด 60 ตัวอย่างดังแสดงและรวบรวมไว้ใน**ภาคผนวก ค** ในการวิเคราะห์รวบรวมเฉพาะข้อมูลค่า**ความแน่นแห้งสูงสุด** จากผลทดสอบแต่ละฉบับ ได้ออกมา 60 ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 4.4 ตารางค่าคุณสมบัติของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด

ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด	**ตัวอย่างการทดสอบ**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
	2.220	2.179	2.153	2.147	2.170	2.115	2.161	2.17	2.148	2.13
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	11	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
	2.220	2.142	2.140	2.145	2.12	2.136	2.169	2.14	2.15	2.166
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	21	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
	2.130	2.137	2.141	2.181	2.179	2.145	2.161	2.12	2.139	2.149
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	31	**32**	**33**	**34**	**35**	**36**	**37**	**38**	**39**	**40**
	2.140	2.133	2.14	2.157	2.150	2.113	2.151	2.16	2.145	2.164
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	41	**42**	**43**	**44**	**45**	**46**	**47**			
	2.169	2.13	2.145	2.164	2.117	2.189	2.161			

หากลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมโดยใช้สูตรของเครจซี่และมอร์แกน

การคำนวนหากลุ่มประชากร ถนนกว้าง 3.5 เมตร 4ช่องจาราจร = 14 เมตร ความหนา 0.25 เมตร ระยะทางลูกรังตั้งแต่ กม. 7+000 จนถึง 31+000 ทั้งหมด 25 กิโลเมตร หรือ 25000 เมตร เก็บตัวอย่างทุกๆ 1000 ลูกบาก์ศเมตร เพราะฉะนั้น

$$N = \frac{14*0.25*25000}{1000} = 87.5 \text{ กลุ่มประชากร}$$

มี N = 87.5, x^2 = 3.841, e = ระดับคงามควาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ 10%หรือ (0.10), (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด p = 0.5)

$$n = \frac{x^2Np(1-p)}{e^2(N-1)+x^2p(1-p)} = \frac{3.841*87.5*0.5(1-0.5)}{0.10^2(87.5-1)+3.841*0.5(1-0.5)}$$

n = 46.03 หรือ 47 ตัวอย่าง, $\sum x$ =101126, $\sum x^2$ = 217609104

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน H_0 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) = คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

H_1 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) ≠ คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของค่าความแน่นแห้งสูงสุดไม่น้อยกว่า 2100 kg/m^3 มีดังสูตรที่ 15

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} = \frac{101126}{47} = 2151.61$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{n-1}} = \sqrt{\frac{217609104 - (101126)^2/47}{47-1}}$$

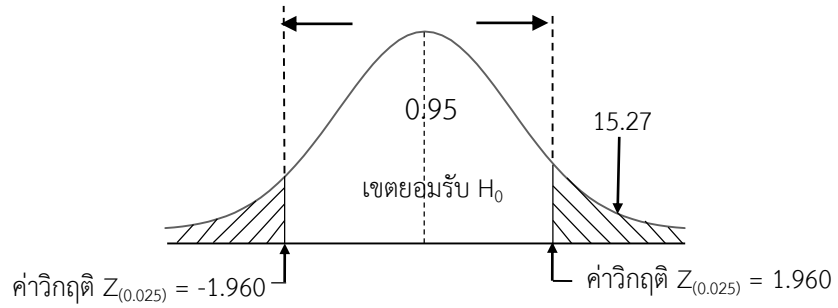
$$= 23.16$$

ขั้นที่ 3 เมื่อใช้สมมุติฐานการกระจายข้อมูลทางสถิติแบบ Z- test เพื่อตรวจรับคุณภาพวัสดุรองพื้นทาง(ลูกรัง)โดยใช้เกณฑ์ ความแน่นแห้งสูงสุดไม่น้อยกว่า 2100 kg/m^3 (μ = 2100) ด้วยค่านัยสำคัญ α =**0.05** สามารถทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มเดียวโดยมีโจทย์ปัญหาที่ตั้งไว้คือผลสำรวจคุณภาพวั้สดุรองพื้นทาง(ลูกรัง)จำนวน 47 ตัวอย่าง มีค่า **ความแน่นแห้งสูงสุด** เฉลี่ย($\bar{X}$) =2151.61 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (S) = 23.16 จะสรุปได้หรือไม่ว่า วัสดุรองพื้นทางนี้มีค่า**ความแน่นแห้งสูงสุด** เฉลี่ยมากกว่า 2100 เมื่อทดสอบที่นัยสำคัญที่ α = 0.05 มีดังสูตรที่ 15

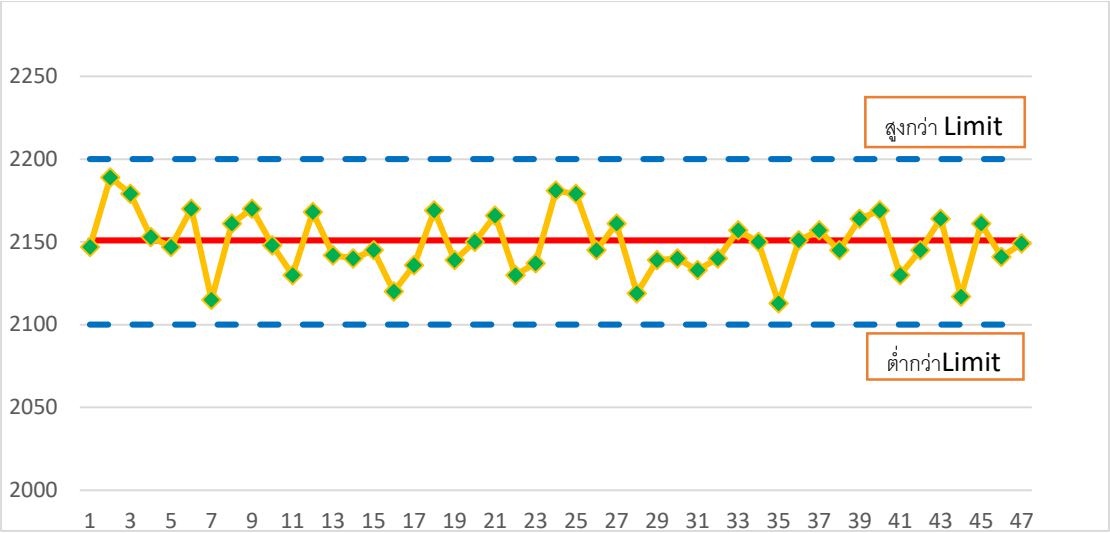
วิธีทำ $Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{2151.61 - 2100}{\frac{23.16}{\sqrt{47}}} = 15.27$

ขั้นที่ 4 กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยการหาค่า Z วิกฤต (จากตารางค่าวิกฤตของ Z)

กรณีการทดสอบแบบสองหาง (Two-tailed test)



ขั้นที่ 5 ผลวิเคราะห์คือ ค่า Z ตกอยู่ในขอบเขตวิกฤต ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 หรืออาจใช้การเปรียบเทียบค่าสถิติโดยไม่คิดเครื่องหมายติดลบ พบว่า Z > Zวิกฤต (15.27 > 1.960) ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0และยอมรับ H_1 นั้นคือ วัสดุรองพื้นทางนี้ มีค่าความแน่นแห้งสูงสุดไม่น้อยกว่า 2100 kg/m^3 และได้ตามเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงชนบทที่ได้กำหนดไว้ โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเกณฑ์ผลทดสอบ Compaction Test

4.6 ผลวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติคุณสมบัติ ของซี.บี.อาร์. (ร้อยละ)

โครงงานได้รวบรวมเอกสารผลทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R. Test) ของตัวอย่างวัสดุรองพื้นทางตั้งแต่ Station 7+000 จนถึง 31+000 รวมทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ซึ่งหน่วยงานมีการเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติวัสดุ 1 ตัวอย่างต่อปริมาณดินลูกรัง 2000 ลูกบาศก์เมตร (คิดเป็น 1 ตัวอย่าง) จำนวนทั้งหมด 30 ตัวอย่างดังแสดงและรวบรวมไว้ใน**ภาคผนวก ง** ในการวิเคราะห์รวบรวมเฉพาะข้อมูลค่า % C.B.R จากผลทดสอบแต่ละฉบับ ได้ออกมา 30 ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 4.5 ตารางค่าคุณสมบัติของค่า C.B.R. (ร้อยละ)

ค่าของ ซี.บี.อาร์. (ร้อยละ)	**ตัวอย่างการทดสอบ**									
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
	26.9	27.5	28.1	29.9	26	28..2	28.8	27.3	26	27.8
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	11	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
	25.9	27.5	28.8	27.8	25.9	31.2	25.4	26.1	26.1	28.1
	ตัวอย่างการทดสอบ									
	21	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
	26.2	25.8	28.4	27.3	26.94	26.1	26.5	25.7	26.4	26.2

หากลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมโดยใชสูตรของเครจซี่และมอร์แกน

การคำนวนหากลุ่มประชากร ถนนกว้าง 3.5 เมตร 4ช่องจาราจร = 14 เมตร ความหนา 0.25 เมตร ระยะทางลูกรังตั้งแต่ กม. 7+000 จนถึง 31+000 ทั้งหมด 25 กิโลเมตร หรือ 25000 เมตร เก็บตัวอย่างทุกๆ 2000 ลูกบาก์ศเมตร เพราะฉะนั้น

$$N = \frac{14*0.25*25000}{2000} = 43.75 \text{ กลุ่มประชากร}$$

มี N = 43.75, x^2 = 3.841, e = ระดับคงามควาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ 10%หรือ (0.10), (ถ้าไม่ทราบให้กำหนด p = 0.5)

$$n = \frac{x^2Np(1-p)}{e^2(N-1)+x^2p(1-p)} = \frac{3.841*43.75*0.5(1-0.5)}{0.10^2(43.75-1)+3.841*0.5(1-0.5)}$$

n = 30.43 หรือ 30 ตัวอย่าง, $\sum x$ =815.39, $\sum x^2$ = 22215.18

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน H_0 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) = คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

H_1 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) ≠ คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของค่าซี.บี.อาร์. (ร้อยละ) มีดังสูตรที่ 15

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n} = \frac{815.39}{30} = 27.18$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2-(\sum x)^2/n}{n-1}} = \sqrt{\frac{22215.18-(815.39)^2/30}{30-1}}$$

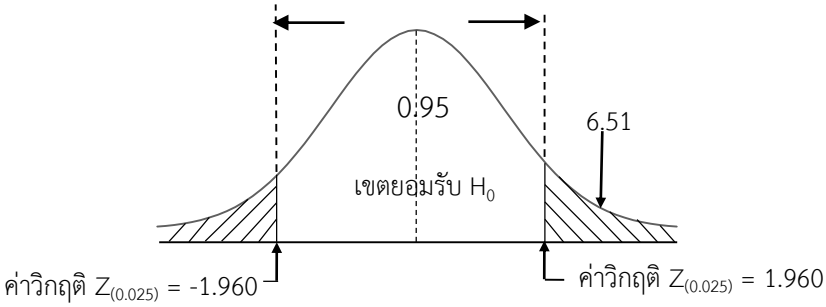
S = 1.833

ขั้นที่ 3 เมื่อใช้สมมุติฐานการกระจายข้อมูลทางสถิติแบบ Z- test เพื่อตรวจรับคุณภาพวัสดุรองพื้นทางโดยใช้เกณฑ์ ซี.บี.อาร์. ร้อยละไม่น้อยกว่า 25% (μ = 25) ด้วยค่านัยสำคัญα =**0.05** สามารถทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มเดียวโดยมีโจทย์ปัญหาที่ตั้งไว้คือผลสำรวจคุณภาพวั้สดุรองพื้นทาง(ลูกรัง)จำนวน 30 ตัวอย่าง มีค่าซี.บี.อาร์. เฉลี่ย($\bar{X}$) =27.18 มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (S) = 1.883 จะสรุปได้หรือไม่ว่า วัสดุรองพื้นทาง (ลูกรัง) นี้มีค่าซี.บี.อาร์. ร้อยละไม่น้อยกว่า 25% เมื่อทดสอบที่นัยสำคัญที่ α = 0.05 มีดังสูตรที่ 15

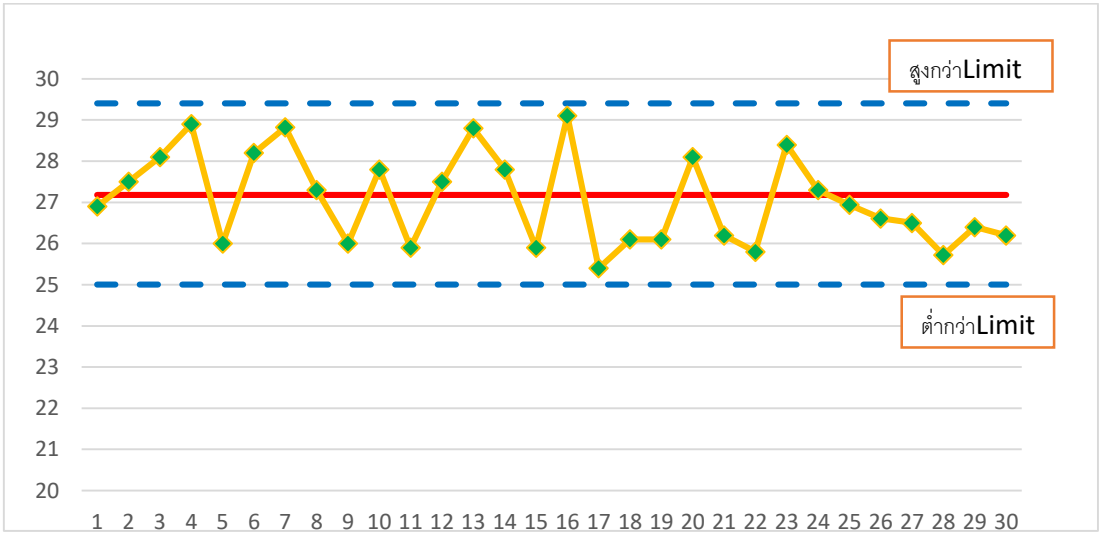
วิธีทำ $Z = \frac{\bar{x}-\mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = \frac{27.18 - 25}{\frac{1.833}{\sqrt{30}}} = 6.51$

ขั้นที่ 4 กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยการหาค่า Z วิกฤต (จากตารางค่าวิกฤตของ Z)

กรณีการทดสอบแบบสองหาง (Two-tailed test)



ขั้นที่ 5 ผลวิเคราะห์คือ ค่า Z ตกอยู่ในขอบเขตวิกฤต ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 หรืออาจใช้การเปรียบเทียบค่าสถิติโดยไม่คิดเครื่องหมายติดลบ พบว่า Z > Zวิกฤต (6.51 > 1.960) ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0และยอมรับ H_1 นั้นคือ วัสดุรองพื้นทางนี้ มีค่าซี.บี.อาร์. (ร้อยละ) เฉลี่ยมากกว่า 25% และได้ตามเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงชนบทที่ได้กำหนดไว้ โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเกณฑ์ผลทดสอบ ซี.บี.อาร์. (C.B.R. Test)

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดผลการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติของลูกรัง

ตั้งสมมุติฐาน H_0 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) = คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0) H_1 : คุณสมบัติของลูกรังหน้างาน (μ) ≠ คุณสมบัติของลูกรังทีบ่อดิน(μ_0)			
ผลทดสอบ	**ลูกรังบ่อ A**	**ลูกรังบ่อ B**	**ผลวิเคราะห์และตรวจสอบคุณสมบัติลูกรังหน้างาน**
Sieve Analysis (ร้อยละ)	14.67	19.8	12.51
Liquid Limit (ร้อยละ)	29.10	22.5	24.07
Plastic Index (ร้อยละ)	10.88	9.16	9.93
Compaction Test (g/cm^3)	2.122	2.124	2.152
C.B.R Test (ร้อยละ)	25.7	25.8	27.18

4.7 สรุปผลการวิเคราะห์

จากการทดลองในห้องทดลองสนาม (Control Test) และรวบรวมข้อมูลของผลการทดสอบทั้ง 5 วิธี มาทำการตรวจสอบด้วยหลักวิชาทางสถิติได้พบว่าวิธีการทดสอบในห้องทดลองสนามสามารถบอกได้ว่าวัสดุรองพื้นทางผ่านเกณฑ์มาตราฐานที่กรมทางหลวงชนบทได้กำหนดไว้ทั้งห้าเกณฑ์คือ 1.ค่าขีดเหลว Liquid Limit ต้องไม่มากกว่า 35% 2.ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก Plastic Index ต้องไม่มากกว่า 11% 3.ร้อยละผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จะต้องไม่เกิน (2/3) ของตะแกรงเบอร์ 40 คิดเป็น 20% 4. ค่าความแน่นแห้งสูงสุดไม่น้อยว่า 2100 kg/m^3 5.ค่า ซี.บี.อาร์(ร้อยละ)ไม่น้อยกว่า 25% โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งหมด