

Chapter: 4

লেকচার মেটেরিয়াল: ট্রানজিশন কার্ভ

সূচিপত্র

1. ট্রানজিশন কার্ভ কী? (সংজ্ঞা ও ধারণা)
 2. ট্রানজিশন কার্ভের উপাদানসমূহ
 3. ট্রানজিশন কার্ভের শর্তাবলী
 4. ট্রানজিশন কার্ভের প্রকারভেদ
 5. সুপার এলিভেশনের সূত্র নির্ণয়
 6. ট্রানজিশন কার্ভের দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের সূত্র (হাইওয়ে ও রেলওয়ে)
 7. শিফটিং কার্ভের প্রয়োজনীয়তা (৪.৭)
 8. ট্যানজেনশিয়াল অ্যাজেল পদ্ধতিতে ট্রানজিশন কার্ভ স্থাপনের প্রক্রিয়া (৪.৮)
 9. ট্রানজিশন কার্ভের সমস্যা সমাধান (৪.৯)
 10. ব্যবহারিক উদাহরণ
 11. সারাংশ
-

১. ট্রানজিশন কার্ভ কী? (সংজ্ঞা ও ধারণা)

১.১ সংজ্ঞা

ট্রানজিশন কার্ভ হলো এমন একটি বক্ররেখা যা সরলরেখা (straight path) ও বৃত্তাকার বক্ররেখা (circular curve) এর মধ্যে ধীরে ধীরে সংযোগ স্থাপন করে। এর ব্যাসার্ধ অসীম (সরলরেখায়) থেকে শুরু করে ধীরে ধীরে কমতে কমতে বৃত্তাকার বক্ররেখার ব্যাসার্ধ R -এ পৌঁছায়।

১.২ কেন ট্রানজিশন কার্ভ প্রয়োজন?

বাস্তব জীবনে কোনো গাড়ি বা ট্রেন সরলপথ থেকে হঠাৎ বক্রপথে ঢুকলে সেন্টিফিউগাল ফোর্স (বহির্মুখী বল) হঠাৎ করে কাজ করতে শুরু করে, যা যাত্রীদের অস্বস্তি ও পার্শ্চ্যুতির ঝুঁকি তৈরি করে। ট্রানজিশন কার্ভ এই বলকে ধীরে ধীরে বাড়ায় ও কমায়।

প্রধান সুবিধাসমূহ:

- কেন্দ্রাতিগ বল ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পায়
- সুপার এলিভেশন (বাঁকানো রাস্তা) ধীরে ধীরে দেওয়া যায়
- যাত্রীদের আরাম নিশ্চিত হয়
- গাড়ির স্টিয়ারিং ধীরে ধীরে ঘোরানোর সুযোগ হয়

১.৩ ট্রানজিশন কার্ভের আকৃতি

আদর্শ ট্রানজিশন কার্ভের আকৃতি হলো ক্লথয়েড (Clothoid) বা অয়লার স্পাইরাল (Euler's Spiral)। এখানে ব্যাসার্ধ ও দৈর্ঘ্যের গুণফল ধ্রুবক:

text

$$R \times L = \text{ধ্রুবক}$$

যেখানে, R = যেকোনো বিন্দুর ব্যাসার্ধ, L = ট্রানজিশন কার্ভের শুরু থেকে ঐ বিন্দুর দূরত্ব।

২. ট্রানজিশন কার্ভের উপাদানসমূহ (Elements)

নিচের চিত্রটি কল্পনা করো (তুমি নিজে হাতে আঁকতে পারো):

text

সরলরেখা ----- TS ----- ট্রানজিশন কার্ভ ----- SC ----- বৃত্তাকার কার্ভ ----- CS ----- ট্রানজিশন কার্ভ -----
- ST ----- সরলরেখা

উপাদানসমূহ:

সংকেত	পূর্ণ নাম	অর্থ
TS	Tangent to Spiral	সরলরেখা থেকে ট্রানজিশন শুরু
SC	Spiral to Curve	ট্রানজিশন শেষ, বৃত্তাকার শুরু
CS	Curve to Spiral	বৃত্তাকার শেষ, ট্রানজিশন শুরু
ST	Spiral to Tangent	ট্রানজিশন শেষ, সরলরেখা শুরু
L_s	Length of transition	ট্রানজিশন কার্ভের দৈর্ঘ্য
R	Radius of circular curve	বৃত্তাকার বক্ররেখার ব্যাসার্ধ
Δ	Deflection angle	মোট বক্রতার কোণ
θ_s	Spiral angle	ট্রানজিশন কার্ভের কেন্দ্রীয় কোণ
e	Super elevation	সুপার এলিভেশন (উচ্চতার পার্থক্য)

Shift	Shift	বৃত্তাকার কার্ভের স্থানচ্যুতি
-------	-------	-------------------------------

গাণিতিক সম্পর্ক:

text

$$\theta_s = L_s / (2R) \text{ (রেডিয়ানে)}$$

$$\text{Shift} = L_s^3 / (24R)$$

৩. ট্রানজিশন কার্ভের শর্তাবলী (Conditions)

একটি আদর্শ ট্রানজিশন কার্ভ নিম্নলিখিত শর্তগুলো পূরণ করতে হয়:

৩.১ জ্যামিতিক শর্তসমূহ

শর্ত নং	বিবরণ
১	TS বিন্দুতে ব্যাসার্ধ $= \int$ (সরলরেখা)
২	SC বিন্দুতে ব্যাসার্ধ $= R$ (বৃত্তাকার কার্ভের ব্যাসার্ধ)
৩	TS বিন্দুতে বক্রতার হার $= 0$
৪	SC বিন্দুতে বক্রতার হার $= 1/R$
৫	বক্রতার হার সমানুপাতিকভাবে বাড়ে (linear variation of curvature)

৩.২ গতিবিদ্যার শর্তসমূহ (যাত্রীদের আরামের জন্য)

শর্ত নং	বিবরণ
৬	কেন্দ্রাতিগ বল সময়ের সাথে ধীরে ধীরে বাড়ে
৭	সুপার এলিভেশনের হার ধ্রুবক (সাধারণত 1 in N)
৮	স্টিয়ারিং হইল ঘুরানোর হার ধ্রুবক

৩.৩ রেলওয়ের অতিরিক্ত শর্ত

- ট্র্যাকের প্রস্থ (gauge) অনুযায়ী সর্বোচ্চ সুপার এলিভেশন নির্ধারিত

৪. ট্রানজিশন কার্ভের প্রকারভেদ (Types)

৪.১ ক্লথয়েড (Clothoid) / অয়লার স্পাইরাল

সূত্র: $R \times L = \text{ধ্রুবক } (A^3)$

ব্যবহার: সবচেয়ে আদর্শ, হাইওয়ে ও রেলওয়েতে বহুল ব্যবহৃত

৪.২ কিউবিক প্যারাবোলা (Cubic Parabola)

সূত্র: $y = x^3 / (6RL)$

ব্যবহার: পুরনো রেললাইনে, সহজ হিসাবের জন্য

৪.৩ লেমনিসকেট (Lemniscate)

সূত্র: $r^3 = a^3 \cos 2\theta$

ব্যবহার: খুব কম দেখা যায়, বিশেষ ক্ষেত্রে

৪.৪ সার্কুলার ট্রানজিশন

ব্যবহার: সরল বৃত্তাকার (আদর্শ নয়), শুধু জরুরি প্রয়োজনে

তুলনা:

ধরন	সূত্র	নির্ভুলতা	ব্যবহার
ক্লথয়েড	$RL = \text{constant}$	সর্বোচ্চ	আধুনিক হাইওয়ে
কিউবিক প্যারাবোলা	$y \propto x^3$	মধ্যম	পুরনো রেলওয়ে
লেমনিসকেট	$r^3 = a^3 \cos 2\theta$	উচ্চ	বিশেষ জ্যামিতিতে

৫. সুপার এলিভেশনের সূত্র নির্ণয় (Formula for Super Elevation)

৫.১ ধারণা

সুপার এলিভেশন (e) হলো বক্রপথের বাইরের প্রান্ত ভেতরের প্রান্ত থেকে উঁচু করে দেওয়া, যাতে কেন্দ্রাতিগ বল প্রতিহত হয়।

৫.২ সূত্র নির্ণয়

মনে করি,

- v = গাড়ির বেগ (m/s)
- R = বক্রতার ব্যাসার্ধ (m)
- g = অভিকর্ষজ ত্বরণ (9.81 m/s²)
- e = সুপার এলিভেশন (m অথবা %)
- B = ট্র্যাকের প্রস্থ (m) (রেলের স্প্রেড)

বল বিশ্লেষণ:

text

কেন্দ্রাতিগ বল $(P) = (mv^2)/R$

ওজনের উপাংশ $(W \sin\theta) = mg \sin\theta$

সাম্যাবস্থায়:

text

$$mv^2/R = mg \tan\theta$$

$$\Rightarrow \tan\theta = v^2/(gR)$$

সুপার এলিভেশন $e = B \times \tan\theta$ (যদি θ ছোট হয়, $\tan\theta \approx \theta$)

text

$$e = B \times (v^2/(gR))$$

সাধারণ সূত্র:

text

$$e = (v^2) / (gR) \text{ (মিটার/মিটার হলে)}$$

অথবা শতাংশে: $e\% = (v^2 \times 100)/(gR)$

রেলওয়ের জন্য (B = গেজ দূরত্ব):

text

$$e = (G \times v^2) / (gR) \text{ [যেখানে } G = \text{গেজ প্রস্থ}]$$

হাইওয়ের জন্য:

প্রচলিত সূত্র: $e + f = v^2/(gR)$ [যেখানে f = ঘর্ষণ সহগ]

৫.৩ ব্যবহারিক সূত্র (হাইওয়ে ডিজাইনে)

ভারতে প্রচলিত (IRC কোড):

text

$$e = (V^3) / (225 \times R) \quad [V = \text{কিমি/ঘন্টায়, } e = \text{শতাংশ}]$$

৬. ট্রানজিশন কার্ভের দৈর্ঘ্য নির্ণয়ের সূত্র

৬.১ রেলওয়েতে ট্রানজিশন কার্ভের দৈর্ঘ্য (L_s)

রেলওয়েতে ট্রানজিশন কার্ভের দৈর্ঘ্য তিনটি শর্তের ভিত্তিতে বের করা হয় – সবচেয়ে বড় মানটি গ্রহণ করা হয়।

শর্ত ১: কেন্দ্রাতিগ বল বৃদ্ধির হার (Rate of change of centrifugal acceleration)

text

$$L_s = (v') / (C \times R)$$

যেখানে, C = কেন্দ্রাতিগ ত্বরণ বৃদ্ধির হার (0.3 to 0.6 m/s^২)

রেলওয়েতে $C = 0.3 \text{ m/s}^2$ (আরামের জন্য)

শর্ত ২: সুপার এলিভেশন বৃদ্ধির হার (Rate of super elevation)

text

$$L_s = (G \times v^3) / (g \times R \times r)$$

যেখানে, r = সুপার এলিভেশন বৃদ্ধির হার (রেলের ক্ষেত্রে 1 in 360 থেকে 1 in 720)

শর্ত ৩: শূন্য থেকে পূর্ণ সুপার এলিভেশন পেতে

text

$$L_s = (e \times G) / (\text{gradient of super elevation})$$

সরলীকৃত: $L_s = (e \times 1000) / n$ [যেখানে $n = 360$ (রেল)]

৬.২ হাইওয়েতে ট্রানজিশন কার্ভের দৈর্ঘ্য (IRC সূত্র)

সূত্র ১ (আরামের জন্য):

text

$$L_s = (V') / (46.5 \times R) \quad [V = \text{কিমি/ঘন্টা, } R = \text{মিটার}]$$

সূত্র ২ (সুপার এলিভেশনের জন্য):

text

$$L_s = (N \times e \times W) / 100 \quad [W = \text{রাস্তার প্রস্থ}, e = \%, N = \text{হার}]$$

সাধারণত $L_s = e \times W / (1/n)$ যেখানে $1/n =$ সুপার এলিভেশন গ্রেডিয়েন্ট (যেমন 1 in 150)

সূত্র ৩ (ক্ষেত্র বিশেষ): সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্য = 30 m (নিম্নস্তরের রাস্তায়)

৬.৩ সরলীকৃত রেলওয়ে সূত্র (ভারতীয় রেল)

text

$$L_s = 0.008 \times V^3 / R \quad [V = \text{km/h}, R = \text{m}] \quad (C = 0.3 \text{ ধরে})$$

$$\text{অথবা } L_s = (V^3 \times G) / (g \times R \times r) \quad \text{এখানে } r = 0.8 \text{ cm/s}^2$$

বাস্তব রেল কোড অনুযায়ী (সহজ সূত্র):

text

$$L_s = 4.4 \times \infty(R) \quad (\text{মিটার}) \quad [\text{BG ট্র্যাকের জন্য}]$$

$$L_s = 3.7 \times \infty(R) \quad (\text{মিটার}) \quad [\text{MG ট্র্যাকের জন্য}]$$

৭. শিফটিং কার্ভের প্রয়োজনীয়তা (Necessity of Shifting Curve)

৭.১ শিফটিং (Shift) কী?

যখন একটি বৃত্তাকার বক্ররেখার উভয় প্রান্তে ট্রানজিশন কার্ভ সংযুক্ত করা হয়, তখন মূল বৃত্তাকার বক্ররেখাকে **ভিতরের দিকে সরিয়ে (shift)** নিতে হয়। এই সরানোর দূরত্বকে **Shift (S)** বলে।

text

চিত্রের বর্ণনা:

আদি বৃত্তাকার কার্ভ --- (ট্রানজিশন যোগ করার পর) ---> নতুন অবস্থান (ভিতরে সরানো)

৭.২ কেন শিফটিং প্রয়োজন?

নিচের কারণগুলোর জন্য বৃত্তাকার কার্ভকে শিফট করতে হয়:

ক্রম	কারণ	ব্যাখ্যা
------	------	----------

১	ট্রানজিশন কার্ভের জন্য জায়গা তৈরি	ট্রানজিশন কার্ভ যাতে TS ও SC বিন্দুতে স্পর্শকের সাথে মসৃণভাবে মিলতে পারে
২	জ্যামিতিক সামঞ্জস্য বজায় রাখা	মূল বৃত্তাকার কার্ভ ও ট্রানজিশন কার্ভের মধ্যে স্পর্শকীয় সংযোগ নিশ্চিত করা
৩	নির্দিষ্ট স্পর্শক দৈর্ঘ্য বজায় রাখা	স্পর্শক বিন্দু (tangent point) একই রাখতে চাইলে বৃত্তকে ভিতরে সরাতে হবে
৪	কেন্দ্রাতিগ বল নিয়ন্ত্রণ	ট্রানজিশনের শেষে সুপার এলিভেশন পূর্ণ মাত্রায় পৌঁছানোর জন্য

৭.৩ শিফটের সূত্র

ক্লথয়েড ট্রানজিশন কার্ভের জন্য:

text

$$\text{Shift (S)} = L_s^3 / (24R)$$

যেখানে,

- L_s = ট্রানজিশন কার্ভের দৈর্ঘ্য
- R = বৃত্তাকার কার্ভের ব্যাসার্ধ

৭.৪ শিফটের প্রভাব

বিষয়	শিফট ছাড়া	শিফট সহ
স্পর্শক দৈর্ঘ্য	কম হয়	সঠিক হয়
TS ও ST বিন্দু	অস্পষ্ট	নির্দিষ্ট
বক্রতা পরিবর্তন	হঠাৎ হয়	ধীরে হয়
সুপার এলিভেশন	হঠাৎ শুরু হয়	ধীরে শুরু হয়

৮. ট্যানজেনশিয়াল অ্যাঞ্জেল পদ্ধতিতে ট্রানজিশন কার্ভ স্থাপনের প্রক্রিয়া

৮.১ পদ্ধতির ভূমিকা

এটি Rankine's পদ্ধতির অনুরূপ, তবে এখানে ট্রানজিশন কার্ভের জন্য কোণ নির্ণয়ের সূত্র ভিন্ন। ট্রানজিশন কার্ভের বক্রতা ধ্রুব হারে বাড়ে বলে ট্যানজেনশিয়াল অ্যাঞ্জেল (δ) দৈর্ঘ্যের বর্গের সমানুপাতিক।

৮.২ সূত্র নির্ণয়

ক্লথয়েড ট্রানজিশন কার্ভের জন্য:

text

একটি বিন্দুতে ট্যানজেনশিয়াল অ্যাঙ্গেল, $\delta = (l^3) / (2R L_s)$ (রেডিয়ানে)

যেখানে,

- l = TS বিন্দু থেকে ঐ বিন্দুর দূরত্ব
- R = বৃত্তাকার কার্ভের ব্যাসার্ধ
- L_s = ট্রানজিশন কার্ভের মোট দৈর্ঘ্য

ডিগ্রিতে রূপান্তর:

text

δ (ডিগ্রি) = $(l^3 \times 90^\circ) / (\pi R L_s)$

বিশেষ ক্ষেত্র:

- SC বিন্দুতে ($l = L_s$): $\delta = L_s / (2R)$ রেডিয়ান
- এটি ট্রানজিশন কার্ভের স্পাইরাল অ্যাঙ্গেল (θ_s)-এর সমান

৮.৩ সম্পূর্ণ প্রক্রিয়া (ধাপে ধাপে)

ধাপ	কার্য	বিস্তারিত
১	উপাত্ত সংগ্রহ	R, Δ, L_s, c (সমান জ্যা দৈর্ঘ্য) নির্ণয় করো
২	শিফট ও অন্যান্য পরামিতি বের করো	$S = L_s^3 / (24R), \theta_s = L_s / (2R)$ রেডিয়ান
৩	TS বিন্দু চিহ্নিত করো	স্পর্শকের উপর T_1 থেকে দূরত্ব মেপে
৪	থিওডোলাইট বসাও	TS বিন্দুতে থিওডোলাইট বসাও, স্পর্শক বরাবর লাইন দেখিয়ে 0° সেট করো
৫	টেবিল তৈরি করো	$l = c, 2c, 3c, \dots L_s$ পর্যন্ত $\delta = l^3 / (2RL_s)$ বের করো
৬	প্রথম বিন্দু বসাও	δ_1 কোণে ঘুরিয়ে TS থেকে c দূরত্বে চিহ্নিত বিন্দুর সাথে মিলিয়ে P_1 বসাও
৭	পরবর্তী বিন্দু বসাও	একইভাবে $\delta_2, \delta_3, \dots$ কোণে ঘুরিয়ে পরপর c দূরত্বে বিন্দু বসাও
৮	SC বিন্দু যাচাই করো	লান্স্ট বিন্দুতে $\delta = \theta_s$ হওয়া আবশ্যিক
৯	বৃত্তাকার অংশ বসাও	Rankine পদ্ধতিতে SC থেকে CS পর্যন্ত বিন্দু বসাও
১০	শেষ ট্রানজিশন বসাও	CS থেকে ST পর্যন্ত অনুরূপ পদ্ধতি (বিপরীত দিকে)

৮.৪ উদাহরণ টেবিল ($R=200$ m, $L_s=80$ m, $c=20$ m)

l (m)	δ (রেডিয়ান) = $l^3 / (2 \times 200 \times 80)$	δ (ডিগ্রি)
20	$400 / (32000) = 0.0125$	$0.716^\circ \pm = 0^\circ \pm 43'$

40	$1600/32000 = 0.05$	$2.865 \pm = 2 \pm 52'$
60	$3600/32000 = 0.1125$	$6.445 \pm = 6 \pm 27'$
80	$6400/32000 = 0.20$	$11.459 \pm = 11 \pm 28'$

৮.৫ সাবধানতা

- ট্রানজিশন কার্ভে δ দৈর্ঘ্যের বর্গের সমানুপাতিক – এটি বৃত্তাকার কার্ভের চেয়ে দ্রুত বাড়ে
- SC বিন্দুতে $\delta = \theta_s = L_s/(2R)$ যাচাই করো
- শেষ অংশে TS থেকে দূরত্ব c না মেপে পূর্ববর্তী বিন্দু থেকে c মাপাই ভালো (জ্যা পদ্ধতি)

৯. ট্রানজিশন কার্ভের সমস্যা সমাধান (

উদাহরণ ১ (মৌলিক – শিফট ও স্পাইরাল অ্যাঙ্গেল)

একটি ট্রানজিশন কার্ভের $L_s = 100$ m, $R = 400$ m। Shift ও স্পাইরাল অ্যাঙ্গেল θ_s নির্ণয় করো।

সমাধান:

text

$$\text{Shift } S = L_s^3/(24R) = (10000)/(24 \times 400) = 10000/9600 = 1.0417 \text{ m}$$

$$\theta_s \text{ (রেডিয়ান)} = L_s/(2R) = 100/(800) = 0.125 \text{ রেডিয়ান}$$

$$\theta_s \text{ (ডিগ্রি)} = 0.125 \times (180/\pi) = 0.125 \times 57.2958 = 7.162 \pm = 7 \pm 9' 43''$$

উদাহরণ ২ (ট্যানজেনশিয়াল অ্যাঙ্গেল পদ্ধতি)

একটি ট্রানজিশন কার্ভের $R = 300$ m, $L_s = 90$ m, সমান জ্যা $c = 15$ m। TS থেকে ২য় ও ৪র্থ বিন্দুর ট্যানজেনশিয়াল অ্যাঙ্গেল নির্ণয় করো।

সমাধান:

text

$$\text{ধুবক} = 2 R L_s = 2 \times 300 \times 90 = 54000$$

$$l_1 = 15 \text{ m} \rightarrow \delta_1 = (15)^3 / 54000 = 225/54000 = 0.004167 \text{ রেডিয়ান}$$

$$\delta_1 (\text{ডিগ্রি}) = 0.004167 \times 57.2958 = 0.2387^\circ = 0^\circ 14' 19''$$

$$l_2 = 30 \text{ m} \rightarrow \delta_2 = (30)^3/54000 = 900/54000 = 0.01667 \text{ রেডিয়ান} = 0.955^\circ = 0^\circ 57' 18''$$

$$l_3 = 45 \text{ m} \rightarrow \delta_3 = 2025/54000 = 0.0375 \text{ রেডিয়ান} = 2.149^\circ = 2^\circ 8' 56''$$

$$l_4 = 60 \text{ m} \rightarrow \delta_4 = 3600/54000 = 0.06667 \text{ রেডিয়ান} = 3.820^\circ = 3^\circ 49' 12''$$

উদাহরণ ৩ (সুপার এলিভেশন ও L_s সমন্বিত সমস্যা)

একটি হাইওয়েতে $V = 80 \text{ km/h}$, $R = 250 \text{ m}$, $f = 0.15$ । সুপার এলিভেশন e নির্ণয় করো। পরে যদি ট্রানজিশন কার্ভের দৈর্ঘ্য $L_s = 75 \text{ m}$ হয়, তবে Shift কত হবে?

সমাধান:

text

$$v = 80 \times 1000/3600 = 22.22 \text{ m/s}$$

$$e + f = v^3/(gR) = (493.8)/(9.81 \times 250) = 493.8/2452.5 = 0.2014$$

$$e = 0.2014 - 0.15 = 0.0514 \text{ m/m} = 5.14\%$$

$$\text{Shift } S = L_s^3/(24R) = (5625)/(24 \times 250) = 5625/6000 = 0.9375 \text{ m}$$

উদাহরণ ৪ (পূর্ণ ট্রানজিশন ও বৃত্তাকার অংশ)

একটি বক্ররেখার জন্য $\Delta = 50^\circ$, $R = 200 \text{ m}$, $L_s = 60 \text{ m}$ । নির্ণয় করো: (ক) θ_s , (খ) Shift, (গ) বৃত্তাকার অংশের জন্য অবশিষ্ট কেন্দ্রীয় কোণ।

সমাধান:

text

$$(ক) \theta_s = L_s/(2R) = 60/(400) = 0.15 \text{ রেডিয়ান} = 8.594^\circ$$

$$(খ) S = (60)^3/(24 \times 200) = 3600/4800 = 0.75 \text{ m}$$

$$(গ) \text{ বৃত্তাকার অংশের কেন্দ্রীয় কোণ} = \Delta - 2\theta_s = 50^\circ - (2 \times 8.594^\circ) = 50^\circ - 17.188^\circ = 32.812^\circ$$

উদাহরণ ৫ (রেলওয়েতে L_s নির্ণয় – তিন শর্ত)

BG রেলওয়েতে ($G = 1.676 \text{ m}$) $R = 500 \text{ m}$, $V = 100 \text{ km/h}$ । নিচের তিনটি শর্তে L_s নির্ণয় করো এবং কোনটি গ্রহণযোগ্য হবে?

শর্ত ১: $C = 0.3 \text{ m/s}^2$

শর্ত ২: সুপার এলিভেশন গ্রেডিয়েন্ট = 1 in 360, $e = v^3/(gR)$

শর্ত ৩: সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্য = $4.4 \times R$

সমাধান:

text

$$v = 100 \times 1000/3600 = 27.78 \text{ m/s}$$

$$\text{শর্ত ১: } L_s = v^2/(C \times R) = (27.78)^2/(0.3 \times 500) = (21440)/(150) = 142.93 \text{ m}$$

$$\text{শর্ত ২: প্রথমে } e = v^3/(gR) = (27.78)^3/(9.81 \times 500) = 771.6/4905 = 0.1573 \text{ m/m}$$

$$\text{সুপার এলিভেশন গ্রেডিয়েন্ট} = 1 \text{ in } 360 \text{ মানে } L_s = e \times G \times 360$$

$$L_s = 0.1573 \times 1.676 \times 360 = 94.9 \text{ m}$$

$$\text{শর্ত ৩: } L_s = 4.4 \times R = 4.4 \times 500 = 2200 \text{ m}$$

তিন শর্তের মধ্যে সবচেয়ে বড় মান = 142.93 m → এটি গ্রহণযোগ্য (আরাম ও নিরাপত্তার জন্য)

উত্তর: $L_s = 143 \text{ m}$ (প্রায়)

১০. পূর্ণাঙ্গ সারাংশ (সংযোজিত অংশসহ)

টপিক	সূত্র/সংক্ষিপ্ত বিবরণ
Shift	$S = L_s^3/(24R)$
স্পাইরাল অ্যাঙ্গেল	$\theta_s = L_s/(2R)$ রেডিয়ান
ট্যানজেনশিয়াল অ্যাঙ্গেল (ট্রানজিশনে)	$\delta = l^3/(2RL_s)$ রেডিয়ান
শিফটের প্রয়োজনীয়তা	ট্রানজিশন সংযোগ ও স্পর্শক বজায় রাখতে
স্থাপন পদ্ধতি	Rankine পদ্ধতির মতো, কিন্তু $\delta \propto l^3$
L_s নির্ণয়ে তিন শর্ত	বেগ, সুপার এলিভেশন গ্রেডিয়েন্ট, অভিজ্ঞতাসিদ্ধ সূত্র