একটাই লক্ষ্য

হতে হবে দক্ষ

টেকনোলজিঃ সিভিল, পর্বঃ ৬ষ্ঠ

বিষয়ঃ স্টিল স্ট্রাকচার (২৮৮৬৩)

জাহাঙ্গীর আলম
ইন্সট্রাক্টর (সিভিল)
ময়মনসিংহ পলিটেকনিক ইন্সটিটিউট

মোঃ রোহিত মিয়া
খন্ডকালিন শিক্ষক (সিভিল)
ময়মনসিংহ পলিটেকনিক ইনস্টিটিউট

অধ্যায়-১

স্টিল স্ট্রাকচার-এর পরিচিতি
(Introduction to Steel Structure)

১.১ স্টিল স্ট্রাকচার (Steel structure) :

স্টিল স্ট্রাকচার সাধারণত ইস্পাত বা স্টিল দ্বারা তৈরি একটি ধাতব কাঠামো, যা সাধারণত লোড বহন করে এবং অনমনীয়তা প্রদান করে। স্টিলের উচ্চ শক্তির কারণে এই কাঠামোগুলো নির্ভরযোগ্য। কংক্রিট বা অন্যান্য কাঠামোর তুলনায় কম কাঁচামাল প্রয়োজন হয়। কংক্রিট বিল্ডিং-এর সঙ্গে স্টিল বিল্ডিং-এর গাঠনিক নানারকম পার্থক্য রয়েছে। কংক্রিট বিল্ডিং মূলত তৈরি হয় কংক্রিটের সঙ্গে বাজারে সহজলভ্য রি-রোলিং দিয়ে। অপরদিকে স্টিল বিল্ডিং-এর ক্ষেত্রে উচ্চ গ্রেডসম্পন্ন (৩৬ ও ৫০ ksi) স্টিল যেমন— বিভিন্ন রকম আই-সেকশন, হলো পাইপ, চ্যানেল ইত্যাদি দিয়ে কলাম ও বিমের ফ্রেম তৈরি করা হয়। গোডাউন শেডের ক্ষেত্রে স্টিল ফ্রেমগুলো পার্লিন ও শিটিং-এর সঙ্গে নাট-বল্টু দিয়ে লাগানো থাকে। আবার হাইরাইজ বিল্ডিং-এর ক্ষেত্রে কংক্রিট বিল্ডিং-এর মতোই স্টিলের বিম কলাম ফ্রেম বানিয়ে বাকি অংশ প্রয়োজন অনুযায়ী স্ল্যাব, ওয়াল, জানালা, দরজা দিয়ে স্ট্রাকচার সম্পন্ন করা হয় । বর্তমান সময়ে উন্নত দেশগুলোর সঙ্গে তাল মিলিয়ে আমাদের দেশে স্টিল স্ট্রাকচারের প্রচলন শুরু হয়েছে ।

সাধারণত চার(৪) প্রকার স্টিল স্ট্রাকচার হয়ে থাকে; যথা—

(i) বেসিক বিল্ডিং ফ্রেম স্ট্রাকচার (Basic building frame structure)
(ii) পোর্টাল ফ্রেম স্ট্রাকচার (Portal frame structure)
(iii) ট্রাস স্ট্রাকচার (Truss structure)
(iv) গ্রিড স্ট্রাকচার (Grid structure)

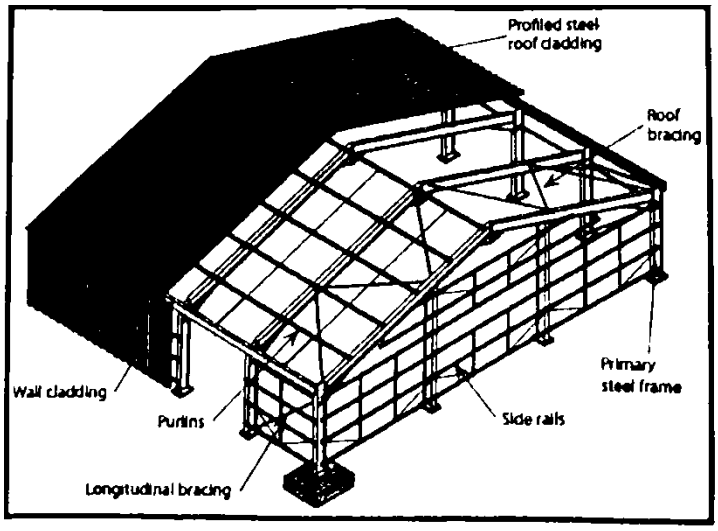
১.১.১ স্টিল স্ট্রাকচার এবং আরসিসি স্ট্রাকচারের মধ্যে তুলনা :

গবেষণায় দেখা যায় যে, স্টিলের কাঠামো আরসিসি কাঠামোর চেয়ে বেশি প্রতিরোধী ও উচ্চ শক্তিসম্পন্ন স্টিলের কাঠামোর কম ওজনের কারণে শেয়ার ফোর্স এবং বেন্ডিং মোমেন্টের প্রভাব। আরসিসি কাঠামোতে তুলনামূলক বিম কলাম-এর সেকশন কম হওয়ায় স্টিল স্ট্রাকচার বেশি গ্রহণযোগ্য । উচ্চ শক্তির জন্য বড় কাঠামো তৈরিতে স্টিল স্ট্রাকচার বেশি প্রতিরোধী।

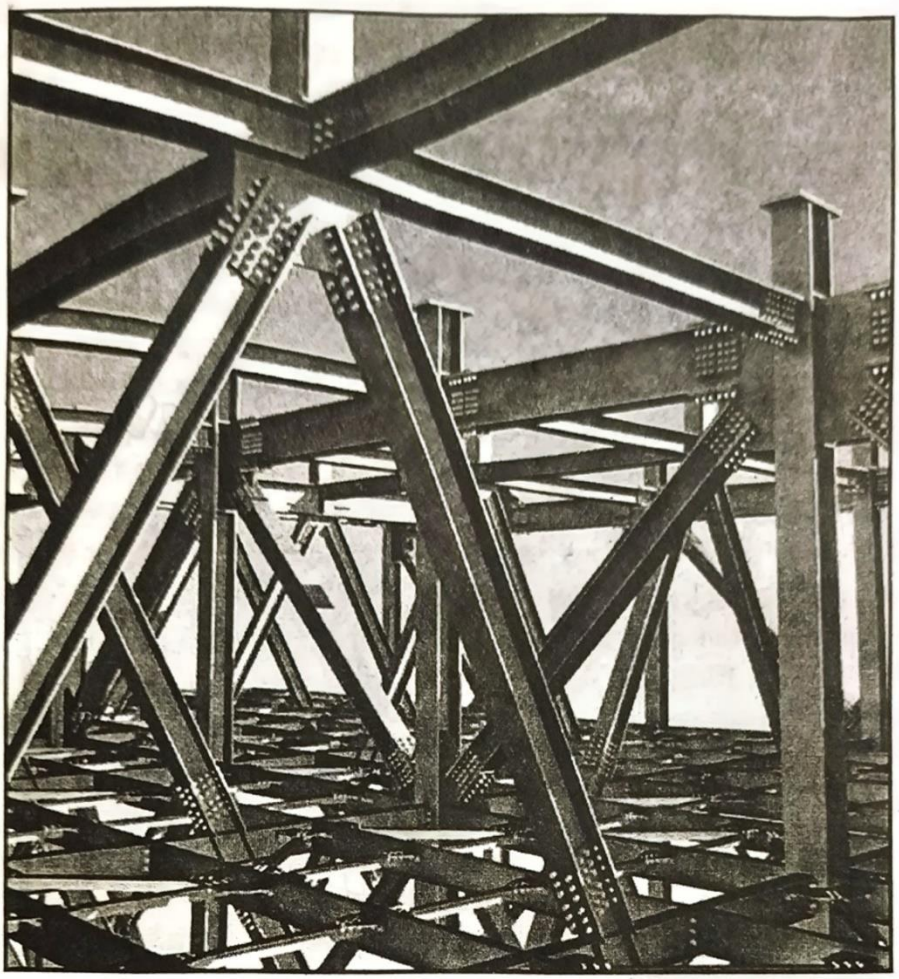
স্টিল স্ট্রাকচার এবং আরসিসি কাঠামোর মধ্যে পার্থক্য নিম্নরূপ—

স্টিল স্ট্রাকচার	আরসিসি কাঠামো
১। স্টিল স্ট্রাকচার অতি উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ।	১। তুলনামুলক কম শক্তিসম্পন্ন ।

২। নিজস্ব ওজন কম হওয়ায় বেল্ডিং মোমেন্ট ও শেয়ার ফোর্স-এর প্রভাব কম ।	২। বেল্ডিং মোমেন্ট ও শেয়ার ফোর্স দ্বারা প্রভাবিত।
৩। অতি উচ্চ কাঠামো ও শিল্পকারখানায় স্টিল স্ট্রাকচার বেশি ব্যাবহৃত হয়।	৩। কম ব্যবহার হয়।
৪। আরসিসি কাঠামোর তুলনায় ব্যয়বহুল।	৪। সহজলভ্য ও কম ব্যয়বহুল।


Profiled steel
roof cladding
Roof
bracing
Primary
steel frame
Side rails
Wall cladding
Purlins
Longitudinal bracing

চিত্র : ১.১



চিত্র : ১.২

১.২ বিভিন্ন প্রকার লোড-এর আলোচনা (Discussion of various types of load) :

ডেড লোড (Dead load) : কাঠামোতে যে-সব লোডের বিস্তৃতি অপরিবর্তনশীল অর্থাৎ কাঠামোর আয়ুষ্কালে তার উপর আপতিত যে লোড অপরিবর্তিত থাকে, তাকে ডেড লোড বা নিশ্চল ভর বলে।

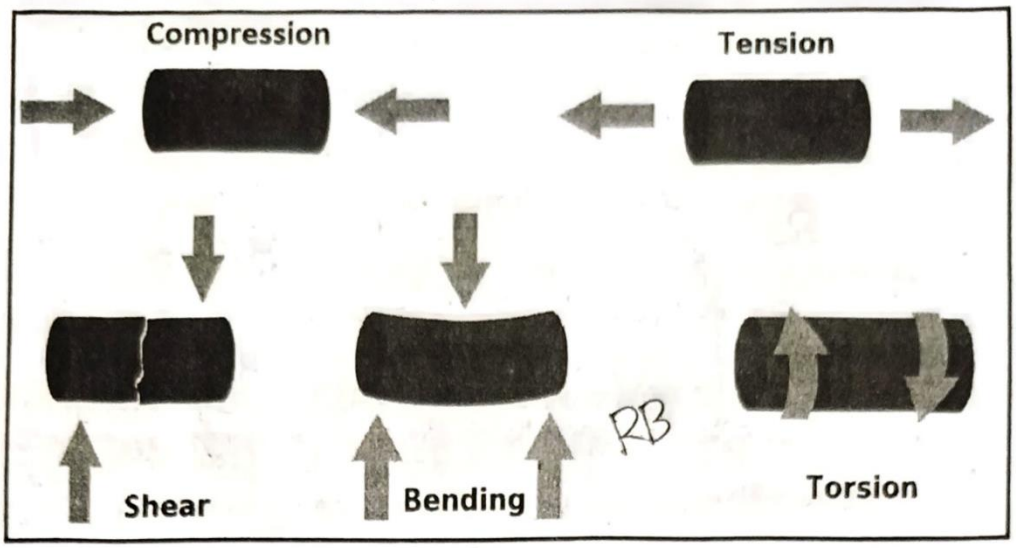
লাইভ লোড (Live load) : যে-সব লোড কাঠামোর উপর সবসময় থাকে না, কেবল সময়বিশেষ উপস্থিত করানো হয়, এরূপ ক্ষণস্থায়ীভাবে আসা ওজনকে লাইভ লোড বলে। অর্থাৎ, কাঠামোর উপর আরোপিত সকল পরিবর্তনশীল ভরকে সচল ভর বা লাইভ লোড বলে।

উইন্ড লোড (Wind load) : উইন্ড লোড হলো কাঠামোর উপর আগত একপ্রকার লোড, যা কাঠামোর উপর বাতাসের গতি এবং বায়ুর ঘনত্ব দ্বারা প্রভাব বিস্তার করে।

ভূমিকম্প লোড বা সিসমিক লোড (Earthquake load or Seismic load) : ভূমিকম্প লোড বা সিসমিক লোড বলতে বুঝানো হয় একটি স্থাপনার উপর ভূমিকম্পের কারণে সৃষ্ট চাপ বা বল। এটি ভূমিকম্পের সময় ভূপৃষ্ঠের কম্পন এবং স্থানচ্যুতি থেকে সৃষ্ট চাপ যা স্থাপনার স্থিতিশীলতা ও নিরাপত্তার জন্য বিশেষভাবে গুরুত্বপূর্ণ। ভূমিকম্প লোড বিবেচনা করে স্থাপনার নকশা করা হয়, যাতে ভবন ও অন্যান্য কাঠামোগুলো ভূমিকম্পের সময় এবং পরে টিকে থাকতে পারে। ভূমিকম্পের ফলে কাঠামোর উপর অনুভূমিক ও উল্লম্ব উভয় প্রকার লোড সৃষ্টি হয়।

তুষার বা স্নো লোড (Snow load) : তুষার লোড বা স্নো লোড় বলতে বুঝানো হয় একটি স্থাপনার উপর তুষারপাতের কারণে সৃষ্ট ওজন বা চাপ। এটি বিশেষ করে এমন অঞ্চলে গুরুত্বপূর্ণ যেখানে শীতকালে ভারী তুষারপাত ঘটে। তুষার লোড বিবেচনা করে স্থাপনার নকশা করা হয় যাতে ভবন ও অন্যান্য কাঠামোগুলো তুষারের ওজন সহ্য করতে পারে এবং নিরাপদ থাকে।

বাহির হতে একটি বিল্ডিং স্ট্রাকচার-এর উপর বিভিন্ন ফোর্স করে। এগুলোকে নিচে চিত্রের মাধ্যমে দেখানো হলো-



চিত্র : ১.৩

১.৩ বিল্ডিং কোড এবং ডিজাইন স্পেসিফিকেশন (Building code and design specification) :

কাঠামো নির্মাণের জন্য একটি নির্দিষ্ট বিধিবিধান থাকতে হবে। যার মধ্যে স্ট্রাকচারাল নিরাপত্তা, অগ্নি নিরাপত্তা (Fire safety), প্লাম্বিং, ভেন্টিলেশন ইত্যাদি বিষয় অন্তর্ভুক্ত থাকবে। বিল্ডিং কোড কোনো সরকারি অনুমোদিত প্রতিষ্ঠান দ্বারা পরিচালিত হবে। বিল্ডিং কোড কখনই ডিজাইন পদ্ধতি বলে দিবে না কিন্তু বিল্ডিং কোড নির্দিষ্ট করে থাকে ডিজাইনের সীমাবদ্ধতা এবং প্রয়োজনীয়তা । আমাদের দেশের বিল্ডিং কোড প্রণয়নকারী সংস্থা হচ্ছে BNBC (Bangladesh National Building Code)। বিল্ডিং কোডের বিপরীতে, ডিজাইন স্পেসিফিকেশন নির্দিষ্ট নির্দেশনা দেয়; স্ট্রাকচারাল মেম্বার এবং স্ট্রাকচারাল মেম্বার কানেকশনের। ডিজাইন স্পেসিফিকেশন গাইডলাইন এবং নির্দিষ্ট মানদণ্ড নির্ধারণ করে, যা একজন স্ট্রাকচারাল প্রকৌশলীকে উদ্দেশ্যগুলো অর্জনে সক্ষম করে তোলে । ডিজাইন স্পেসিফিকেশন নির্দিষ্ট করে দেয়। স্ট্রাকচারাল প্রকৌশলীদের কোনটি অনুশীলন করতে হবে এবং স্পেসিফিকেশন অবশ্যই সাম্প্রতিক গবেষণালব্ধ । তা পর্যায়ক্রমে সংশোধিত হয় এবং পরিপূরক বা সম্পূর্ণ নতুন সংস্করণ ইস্যু করে আপডেট করা হয় । বিল্ডিং কোড-এর আইনি অবস্থান না থাকলেও নকশা উপস্থাপন এবং সীমাবদ্ধতা ইত্যাদি বিল্ডিং কোড দিয়ে থাকে।

১.৪ স্টিল স্ট্রাকচার ডিজাইনের বিল্ডিং কোডের তালিকা (List various types of building code for steel structure design):

স্টিল স্ট্রাকচার ডিজাইনের জন্য নিম্নলিখিত সংস্থাগুলো স্পেসিফিকেশন প্রদান করে থাকে

1. American Institute of Steel Construction (AISC)
2. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
3. American Railway Engineering and Maintenance of way Association (AREMA)
4. American Iron and Steel Institute (AISI)

১.৫ স্টিলের বৈশিষ্ট্য বর্ণনা (Description of properties of steel) :

(ক) শক্তি (Strength) : যে ধর্ম বা গুণের জন্য পদার্থের ব্যর্থতা ছাড়াই এর উপর প্রয়োগকৃত বল প্রতিরোধ করতে পারে, তাকে শক্তি বা স্ট্রেংথ বলে। অর্থাৎ, ব্যর্থতা ব্যতিরেকেই সর্বোচ্চ পীড়ন প্রতিরোধ ক্ষমতাকে শক্তি বলে।

(i) **সমানুপাতিক সীমা :** কোনো বস্তুর উপর টানা লোড প্রয়োগ করলে বস্তুর দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায় অর্থাৎ বস্তুর বিকৃতি ঘটে। আর এ লোড প্রয়োগ করে এর পীড়ন বাড়ালে বস্তুতে বিকৃতির পরিমাণও বৃদ্ধি পায়। পীড়ন এবং বিকৃতির বৃদ্ধি একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত সমানুপাতিক হারে হয়ে থাকে। এ সীমা অতিক্রম করলেই পীড়ন ও বিকৃতির মধ্যে এই সমানুপাত বজায় থাকে না। সুতরাং টান পরীক্ষায় সর্বোচ্চ যে পীড়ন পর্যন্ত পীড়ন ও বিকৃতি পরস্পর সমানুপাতিক (অর্থাৎ হুকের সূত্র মেনে চলে), তাকে সমানুপাতিক সীমা বলে ।

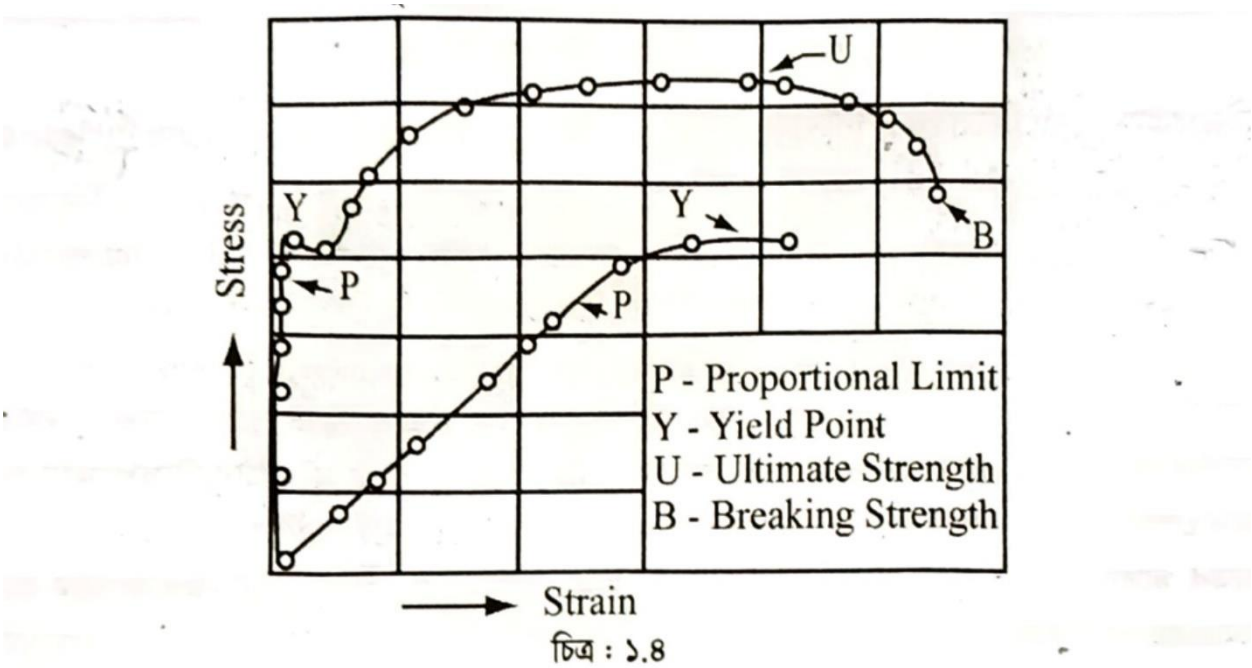
(ii) **নতি বা সর্বোচ্চ বিন্দু বা সহনসীমা বিন্দু :** সমানুপাতিক সীমার কিছু পরেই পীড়ন না বাড়লেও বিকৃতির মাত্রা বাড়তে থাকে, যা লেখা কাগজে অঙ্কিত হলে কিছুটা অনুভূমিক রেখার মতো দেখায়। অর্থাৎ, পীড়ন-বিকৃতি ডায়াগ্রামের সমানুপাতিক সীমার একটু উপরেই পীড়ন-বিকৃতি রেখা অনুভূমিকভাবে অগ্রসর হয়। এ স্থানে পীড়নের একককে নতি বা সর্বোচ্চ বিন্দু বা সহনসীমা বিন্দু (Yield point) বলে। সুতরাং যে পীড়নের ফলে বস্তুর উপর প্রয়োগকৃত পীড়নের মান বৃদ্ধি ছাড়াই

বিকৃতি ঘটে, সে পীড়নকে নতি বিন্দু বা ইল্ড পয়েন্ট বলে। এ বিন্দুতে পদার্থের কিছুটা স্থায়ী বিকৃতি ঘটে। চিত্রে এ পয়েন্টকে Y দ্বারা দেখানো হয়েছে।

পীড়ন-বিকৃতি ডায়াগ্রাম হতে কোনো পদার্থের স্থিতিস্থাপক সীমা, নতি বিন্দু এবং সর্বোচ্চ পীড়ন ইত্যাদি সম্পর্কে জানা যায়। নিরাপদভাবে কার্যকরী পীড়নের মান ডিজাইনের জন্য গ্রহণ করা হয়। সাধারণত ডিজাইন পীড়নের মান সমানুপাতিক সীমার চেয়ে অনেক কম ধরা হয় ।

(iii) **সর্বোচ্চ শক্তি :** নতি বা সর্বোচ্চ বিন্দুর পর পীড়নের মাত্রা সামান্য হ্রাস পেলেও বিকৃতির মান স্বল্প দূরত্বের জন্য বৃদ্ধি পেতেই থাকে। এর পীড়নের মাত্রা কিছুটা বাড়লেও বিকৃতির মাত্রা তুলনামূলকভাবে অত্যন্ত বৃদ্ধি পায়। ফলে পীড়ন- বিকৃতি রেখা ফ্লাট (Flat) হয়ে যায়। এ অবস্থায় সর্বোচ্চ পীড়নকে সর্বোচ্চ শক্তি বলে। অর্থাৎ ব্যর্থ হওয়ার পূর্বে বস্তুটি বা নমুনাটি যে সর্বোচ্চ লোড নিতে পারে, তাকে Ultimate Strength বলে। ১.২নং চিত্রে একে U দ্বারা দেখানো হয়েছে।

∴ সর্বোচ্চ শক্তি বা পীড়ন = $\frac{\text{সর্বোচ্চ } \textit{লোড}}{\textit{মুল ক্ষেত্রফল}}$



চিত্র : ১.৪

(iv) **ভাঙন শক্তি :** সর্বোচ্চ সীমার পর পীড়ন কমতে থাকে কিন্তু বিকৃতি বাড়তে থাকে। এ অবস্থায় দেখা যায় যে, পরীক্ষা নমুনার অল্প কিছু অংশের ব্যাস কমে যাচ্ছে। একে নেক (Neck) বলে। এরপর Necking-এর মান দ্রুত বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং পরিশেষে একটি শব্দ করে নমুনাটি ছিঁড়ে যায়। সুতরাং যে পীড়নের ফলে নমুনা পদার্থটি ব্যর্থ হয় বা ছিড়ে যায়, তাকে ব্রেকিং স্ট্রেংথ (Breaking strength) বলে। একে ১.৩নং চিত্রে B দ্বারা দেখানো হয়েছে।

(খ) প্রসার্যতা (Ductility) : এটা পদার্থের একটি গুণ বা ধর্ম, যার ফলে এতে টানা বল প্রয়োগ করলে না ছিঁড়ে অধিক সময় পর্যন্ত ক্রমাগত লম্বা হতে থাকে, তাকে প্রসার্যতা বলে। এ ধর্মের জন্য পদার্থে টানা বল প্রয়োগ করে চিকন তারে পরিণত করা যায়। পদার্থের এ গুণের মাধ্যমে দৈর্ঘ্যের শতকরা বৃদ্ধি (Percentage elongation of length) এবং ক্ষেত্রফলের শতকরা হ্রাস (Percentage reduction of area) পরিমাপ করা হয় ।

পদার্থের শতকরা দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি বা প্রসার্যতা, $D_e = \frac{L_f - L}{L} \times 100$

এখানে, L = মূল দৈর্ঘ্য

L_f = শেষ দৈর্ঘ্য।

পদার্থের প্রস্থচ্ছেদের শতকরা হ্রাস (Reduction), $D_r = \frac{A - A_f}{A} \times 100$

এখানে, A = প্রাথমিক প্রস্থচ্ছেদী ক্ষেত্রফল

A_f = শেষ (ছিড়ে যাওয়া বা ভাঙার সময়কালীন) প্রস্থচ্ছেদী ক্ষেত্রফল।

যেমন— তামা, সিসা, অ্যালুমিনিয়াম, পেটা লোহা, মাইল্ড স্টিল প্রভৃতিতে এ গুণ বিদ্যমান।

অধ্যায়-২

স্টিল স্ট্রাকচার ডিজাইন
(Steel Structure Design)

২.১ স্টিল স্ট্রাকচার ডিজাইন পদ্ধতি বর্ণনা (Description of design method of steel structure)

স্টিল স্ট্রাকচার ডিজাইনের ক্ষেত্রে কাঠামোর মেম্বারের ক্রস-সেকশনগুলো এমনভাবে ধরা হয়, যাতে লোড নিরাপদে বহন করতে পারে এবং ক্রস-সেকশনটি ইকোনমিক্যাল হয়। এখানে ইকোনমিক্যাল বলতে Cross-section-টির সর্বনিম্ন ওজন হবে এবং স্টিল কম লাগবে। অর্থাৎ, ক্রস-সেকশন-এর আকার কম হবে। যদি সেকশনগুলোর আকার কম হয়, তবে স্ট্রাকচারটি হালকা হবে। তবে প্রকৌশলীদের সবসময় খেয়াল রাখতে হবে কীভাবে স্ট্রাকচারটি নিরাপদ হয়।

স্ট্রাকচারাল ডিজাইনের মৌলিক দিক হচ্ছে প্রয়োজনীয় শক্তি (Required strength) সবসময় উপলব্ধ শক্তির থেকে কম হবে। অর্থাৎ, Required strength – available strength স্টিল স্ট্রাকচার ডিজাইনের ক্ষেত্রে AISC দুটি পদ্ধতি অনুসরণ করে। পদ্ধতি দুটি হলো—

(i) ASD = Allowable Strength Design
(ii) LRFD = Load and Resistance Factor Design

২.২ ভরকেন্দ্র এবং জড়তার ভ্রামক (Center of gravity and moment of inertia) :

ভরকেন্দ্র (Center of gravity) : বিশ্বে প্রত্যেক বস্তুর প্রতিটি কণাকে পৃথিবী তার কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে। পৃথিবীর এ আকর্ষণ বল বস্তুর কণার ভরের সমানুপাতিক এবং যা খাড়াভাবে নিচের দিকে কাজ করে। এটাই বস্তুর ওজন হিসেবে পরিচিত। প্রতিটি বস্তুর এমন একটি বিন্দু আছে, বস্তুটি যেভাবেই রাখা হোক না কেন, যে বিন্দু দিয়ে ঐ বস্তুর সমস্ত ওজন পৃথিবীর কেন্দ্র অভিমুখে ক্রিয়া করে, তাকে ঐ বস্তুর ভরকেন্দ্র (Center of gravity) বলে। একে সংক্ষেপে cg বলা হয়। স্মরণ রাখা দরকার যে, প্রতিটি বস্তুতে কেবলমাত্র একটি ভরকেন্দ্র থাকে। সুতরাং বলা যায় যে, কোনো বস্তুকে একই স্থানে যেভাবেই রাখা হোক না কেন, তার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বল বা বস্তুর ওজন বা ভর একটি বিশেষ বিন্দু দিয়ে অতিক্রম করে। ঐ বিশেষ বিন্দুটিকেই বস্তুটির

ভরকেন্দ্র বলে।

মোমেন্ট অব ইনার্শিয়ার একক (Units of moment of inertia) : কোনো নির্দিষ্ট বিন্দুতে বলের মোমেন্ট = বল x লম্ব দূরত্ব। যদি বল 'P' এবং কোনো নির্দিষ্ট বিন্দু হতে এটির লম্ব দূরত্ব (Perpendicular distance) 'x' হয়, তাহলে বলের মোমেন্ট হবে P.x। এ মোমেন্টকে বলের প্রথম মোমেন্ট বলে। উক্ত মোমেন্টকে পুনরায় লম্ব দূরত্ব 'x' দ্বারা গুণ করলে পাওয়া যায় (P.x). x = Px2; একে বলের মোমেন্টের মোমেন্ট বা বলের দ্বিতীয়

মোমেন্ট বা জড়তার ভ্রামক (Moment of inertia) বলে। সংক্ষেপে একে MI অথবা কেবলমাত্র। দ্বারা সূচিত করা হয়।

বলের পরিবর্তে যদি কোনো ক্ষেত্র কিংবা ভর বিবেচনা করা যায় তবে দ্বিতীয় মোমেন্ট যথাক্রমে ক্ষেত্রের দ্বিতীয় মোমেন্ট বা ভরের দ্বিতীয় মোমেন্ট বলে পরিচিত। সুতরাং, সকল প্রকার দ্বিতীয় মোমেন্টকে মোমেন্ট অব ইনার্শিয়া বা জড়তার ভ্রামক বলে। ক্ষেত্রফলের এককের উপর নির্ভর করে মোমেন্ট অব ইনার্শিয়ার একক নিম্নরূপ—

১। ক্ষেত্রফল বর্গমিটার এবং দৈর্ঘ্য মিটার হলে, MI-কে (মিটার) দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

২। ক্ষেত্রফল বর্গসেমি এবং দৈর্ঘ্য সেমি হলে, MI-কে (সেমি) দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং

৩। ক্ষেত্রফল বর্গমিমি এবং দৈর্ঘ্য মিমি হলে, MI-কে (মিমি) দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

২.৩ LRFD এবং ASD পদ্ধতি (LRFD and ASD method) :

ASD (Allowable Stress Design) : ASD পদ্ধতি বলতে বুঝায় সার্ভিস লোড ডিজাইন বা Work in Stress Design (WSD)। এ পদ্ধতির মৌলিক ধারণা হলো কোনো একটি স্ট্রাকচারাল মেম্বারের সর্বোচ্চ পীড়ন (Maximum stress) সবসময় অনুমোদনযোগ্য পীড়নের থেকে কম হবে।

Required strength ≤ allowable strength

অর্থাৎ, সর্বোচ্চ আরোপিত পীড়ন ≤ অনুমোদনযোগ্য পীড়ন। এ পদ্ধতিকে ASD ডিজাইন বলে। অনুমোদনযোগ্য পীড়ন ম্যাটেরিয়ালের ইলাস্টিক রেঞ্জের মধ্যে থাকবে। এ পদ্ধতিকে আবার বলা হয় ইলাস্টিক ডিজাইন বা Working stress design ওয়ার্কিং স্ট্রেস ওয়ার্কিং লোড থেকে প্রাপ্ত হয়। ওয়ার্কিং লোডকেই সার্ভিস লোড বলে।

LRFD (Load and Resistance Factor Design) : লোড এবং রেজিস্ট্যান্স ফ্যাক্টর ডিজাইন (LRFD) প্লাস্টিক ডিজাইনের মতো শক্তি (Strength) বা ব্যর্থতার অবস্থা (Failure condition) বিবেচনা করা হয়। লোড ফ্যাক্টর সার্ভিস লোড হিসেবে প্রয়োগ করা হয় এবং স্ট্রাকচারাল মেম্বার যথেষ্ট শক্তিশালী হবে, যা ফ্যাক্টর লোডকে প্রতিরোধ করবে।

অর্থাৎ, ফ্যাক্টর লোড ≤ ফ্যাক্টর স্ট্রেংথ

ফ্যাক্টর লোড হচ্ছে সকল ধরনের সার্ভিস লোডের যোগফল।

ϵ(লোড × লোড ফ্যাক্টর) ≤ রেজিস্ট্যান্স X রেজিস্ট্যান্স ফ্যাক্টর।

যদি ফ্যাক্টর লোডেই ফেইলুর (Failure) লোড হয় যা প্রকৃত সার্ভিস লোড থেকে বেশি হয়, তখন ফ্যাক্টর লোড এক (১)-এর থেকে বেশি হবে, যদিও ফ্যাক্টর স্ট্রেংথ ব্যবহৃত স্ট্রেংথ থেকে কম হয় এবং রেজিস্ট্যান্স ফ্যাক্টর ১(এক)-এর কম হয়। অর্থাৎ, লোড রেজিস্ট্যান্স ফ্যাক্টর ডিজাইন (LRFD) পদ্ধতিতে কোনো ফ্যাক্টর দ্বারা স্ট্রাকচারাল উপাদানের স্ট্রেংথ বা রেজিস্ট্যান্স কমানো হয় এবং লোডকে বাড়ানো হয়।

ASD এবং LRFD-এর মধ্যে পার্থক্য :

ASD	LRFD
১। Allowable Stress Design	১। Load and Resistance Factor Design.
২। স্ট্রাকচারে সার্ভিস লোড প্রয়োগ (Apply) করা হয়।	২। আলটিমেট ফ্যাক্টর লোড প্রয়োগ করা হয়।
৩। ডিজাইন অনুমোদনযোগ্য ম্যাটেরিয়াল স্ট্রেস > সর্বোচ্চ ম্যাটেরিয়াল স্ট্রেংথ	৩। ডিজাইন ফ্যাক্টর ক্যাপাসিটি > ফ্যাক্টর ফোর্স
৪। প্রয়োজনীয় শক্তি ≤ অনুমোদনযোগ্য স্ট্রেংথ	৪। ফ্যাক্টর লোড ≤ ফ্যাক্টর স্ট্রেংথ

২.৪ সেফটি ফ্যাক্টর এবং LRFD এবং ASD-এর মধ্যে লোড কম্বিনেশন (Safety factor and load combination for LRFD and ASD method):

অনুমোদনযোগ্য স্ট্রেংথ ডিজাইনের জন্য লোড এবং স্ট্রেংথ-এর মধ্যে সম্পর্ক হলো—

Rn Ra≤ Ω

যেখানে, R_a = প্রয়োজনীয় শক্তি

R_n = নমিনাল স্ট্রেংথ (LRFD-এর জন্য একই)

Ω = সেফটি ফ্যাক্টর (নিরাপদ সহগ)

R_n/ Ω = অনুমোদনযোগ্য শক্তি

প্রয়োজনীয় শক্তি (R_a) হচ্ছে সকল সার্ভিস লোড বা লোড ইফেক্টের যোগফল।

কম্বিনেশন-১ : D

কম্বিনেশন-২ : D + L

কম্বিনেশন-৩ :-D + (Lr or S or R

কম্বিনেশন-৪ : D + 0.75L + 0.75 (Lr or S or R)

কম্বিনেশন-৫ : D ° (0.6W or 0.7E)

কম্বিনেশন-৬(ক) : D + 0.75L + 0.75(0.6W) + 0.75 (Lr or S or R)

কম্বিনেশন-৬(খ) : D + 0.75L ± 0.75 (0.7E) + 0.75S

কম্বিনেশন-৭ এবং ৮ : 0.6 D ° (0.6W or 0.7E)

সাথে দুটি সাধারণ মান আছে যা LRFD পদ্ধতিতে রেজিস্টিং ফ্যাক্টর ও সেফটি ফ্যাক্টর 2ি হচ্ছে ASD এবং রেজিস্টিং ফ্যাক্টর- এর মধ্যে সম্পর্ক :

$\Omega = \frac{1.5}{\emptyset}$ যেখানে, বাকলিং-এর জন্য

$\Omega = 1.67$

এবং র‍্যাপচার-এর জন্য $\Omega = 2.0$

D = ডেড লোড

L = লাইভ লোড

Lr = রুফ লাইভ লোড

W = বায়ু লোড

S = স্নো লোড

E = ভূমিকম্পজনিত লোড

R = রেইন ওয়াটার লোড ।

২.৫ সম্ভাব্য লোড এবং রেজিস্ট্যান্স ফ্যাক্টর (Probabilistic load and resistance factor) :

AISC দ্বারা নির্দিষ্ট করা লোড এবং রেজিস্ট্যান্স ফ্যাক্টর সম্ভাব্যতার ধারণার উপর ভিত্তি করে নির্ধারণ করা হয়। জিস্ট্যান্স ফ্যাক্টর সাধারণত ম্যাটেরিয়ালের গুণাগুণ, ডিজাইন পদ্ধতি, ফেব্রিকেশন এবং কনস্ট্রাকশন প্রাকটিস-এর উপর নির্ভর করে।

২.৬ স্টিল স্ট্রাকচার ডিজাইনের ধাপসমূহ (List the step of steel design) :

স্টিল স্ট্রাকচার ডিজাইনের ধাপসমূহ নিম্নে দেয়া হলো-

ধাপ-১ : মাত্রা এবং বৈশিষ্ট্য (Dimensions and properties)

ধাপ-২ : সাধারণ ডিজাইন বিবেচনা (General design consideration)

ধাপ-৩ : ফ্লেক্সারাল মেম্বার ডিজাইন (Design of flexural member)

ধাপ-৪ : কম্প্রেশন মেম্বার ডিজাইন (Design of compression member)

ধাপ-৫ : টেনশন মেম্বার ডিজাইন (Design of tension member)

ধাপ-৬ : কম্বাইন্ড লোডের জন্য মেম্বার ডিজাইন (Design of member subject to combind loading)

ধাপ-৭ : বোল্ট ডিজাইন বিবেচনা (Design consideration for bolts)

ধাপ-৮ : ওয়েল্ড ডিজাইন বিবেচনা (Design consideration of weld)

ধাপ-৯ : সংযোগকারী উপাদানের ডিজাইন (Design of connecting elements)

ধাপ-১০ : সাধারণ শেয়ার কানেকশন ডিজাইন (Design of simple shear connection)

ধাপ-১১ : আংশিকভাবে সংযত মোমেন্ট কানেকশন ডিজাইন (Design of partially restrained moment connections)

ধাপ-১২ : সম্পূর্ণ সংযত মোমেন্ট কানেকশন ডিজাইন (Fully restrained moment connectiondesign)

ধাপ-১৩ : ব্রেসিং এবং ট্রাস কানেকশন ডিজাইন

ধাপ-১৪ : বিম বিয়ারিং প্লেটস, কলাম বেস প্লেট অ্যাঙ্কর রডস এবং কলাম স্পালস ডিজাইন

ধাপ-১৫ : হ্যাঙ্গার কানেকশনস, ব্র্যাকেট প্লেট এবং ব্রেন রেইল কানেকশন।

অধ্যায়-৩

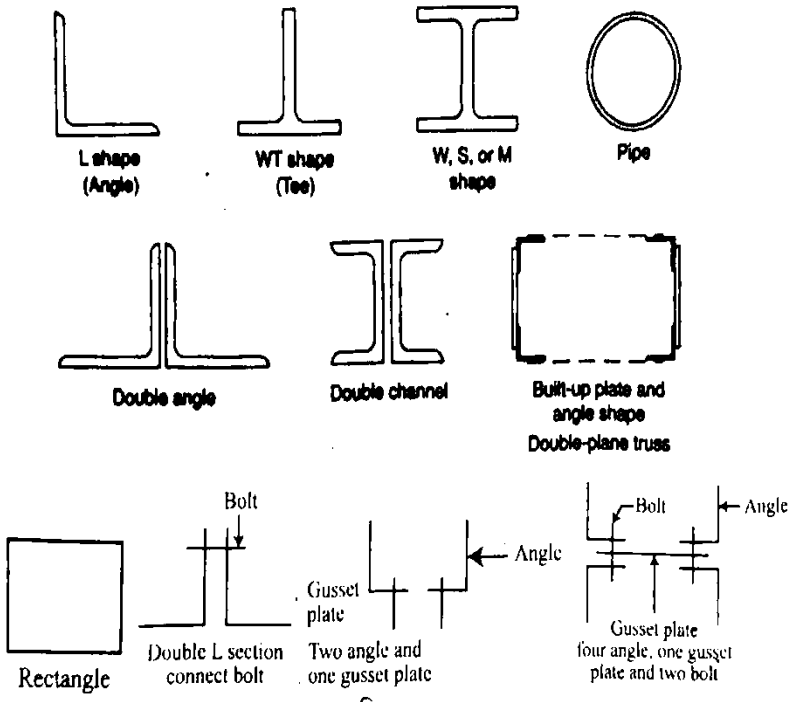
স্টিল স্ট্রাকচারের টেনশন মেম্বার
(Tension Member in Steel Structure)

৩.০ ভূমিকা (Introduction) :

টেনশন মেম্বার হলো স্ট্রাকচারাল মেম্বার, যা Axial টেনসাইল ফোর্স বহন করে। বিল্ডিং-এর টেনশন মেম্বারগুলো হলো ট্রাস মেম্বার, ক্যাবল Suspension ব্রিজ, ব্রেসিং ইত্যাদি। টেনশন মেম্বার হিসেবে সাধারণত বৃত্তাকার রড এবং রোলড (Rolled) অ্যাঙ্গেল Shape ব্যবহার করা হয়। যে মেম্বার ডিরেক্ট টেনশন বহন করে, তাকে টাই বলে।

টেনশন মেম্বারের প্রকারভেদ (Types of tension members) :

স্টিল স্ট্রাকচার বিল্ডিং-এ বিভিন্ন প্রকার টেনশন মেম্বার ব্যবহার করা হয়। চাহিদা অনুযায়ী তাদের আকার-আকৃতি বিভিন্ন প্রকার হয়। নিম্নে এদের প্রকারভেদ দেখানো হলো-



চিত্র : ৩.১

১। L-আকৃতি সিঙ্গেল অ্যাঙ্গেল (L-shape single angle)

২। টি আকার (Tee shape)

৩। আই আকার (I shape)

৪। পাইপ (Pipe)

৫। ডাবল অ্যাঙ্গেল (Double angle)

৬। ডাবল চ্যানেল (Double channel)

৭। ডাবল প্লেন ট্রাস (Double plane truss)

৮। আয়তাকার আকার (Rectangle shape)

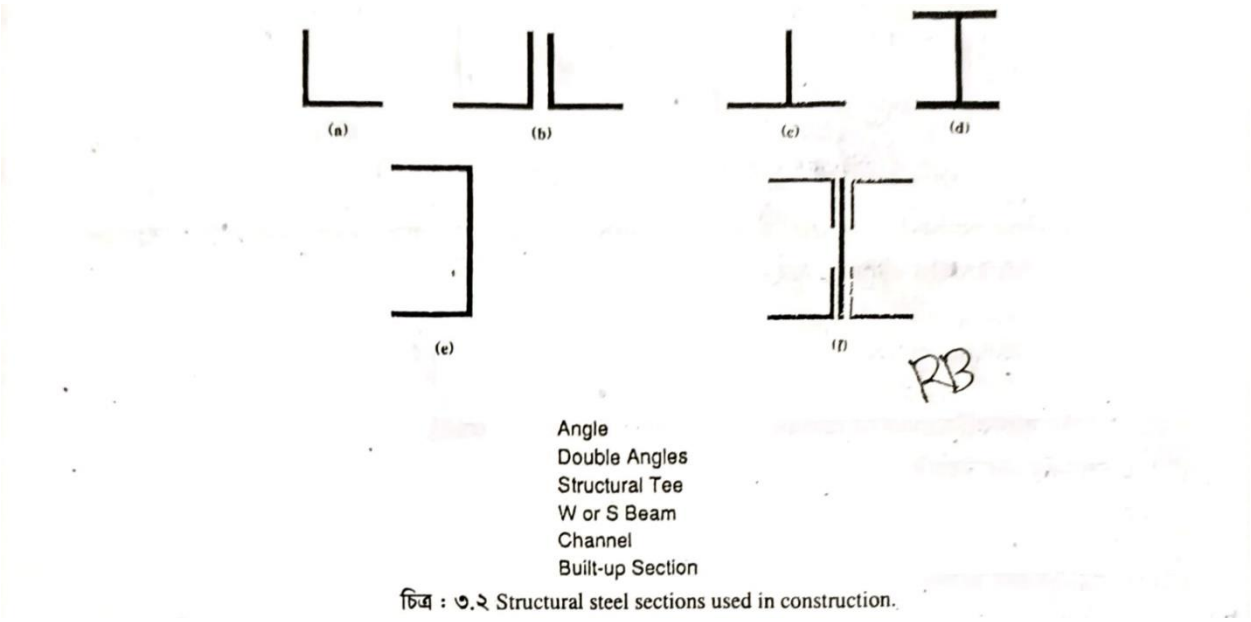
৯। ডাবল অ্যাঙ্গেলের সাথে বোল্ট (Double angle with connect bolt)

১০। ডাবল অ্যাঙ্গেলের সাথে গাসেট প্লেট (Double angle and single gusset plate)

১১। চার অ্যাঙ্গেল সংযুক্ত গাসেট প্লেট (Four angle, one gusset plate) ।

৩.১ টেনশন মেম্বারের ডিজাইন মানদণ্ড (Design criteria of tension member) :

টেনশন মেম্বার দুইভাবে ফেইল করতে পারে- অতিরিক্ত ডিফরমেশন জনিত কারণ অথবা ফ্রাকচার জনিত কারণে। অতিরিক্ত ডিফরমেশন প্রতিরোধ করার জন্য কোনো গ্রোস সেকশনে লোড কম হতে হবে, যাতে ঐ গ্রোস সেকশনের ইল্ড স্ট্রেস (Yield stress) Fy কম হয়। আবার ফ্রাকচার (Fracture) প্রতিরোধ করার জন্য কোনো নির্দিষ্ট সেকশনের নিট স্ট্রেস (Net stress) টেনসাইল স্ট্রেংথের চেয়ে কম হবে। প্রতিটি ক্ষেত্রে স্ট্রেস P/A অবশ্যই লিমিটিং স্ট্রেস F-এর কম হবে।



চিত্র : ৩.২ Structural steel sections used in construction.

অর্থাৎ, $^{P}/_{A}$ <F

Angle

তাই, লোড P অবশ্যই FA থেকে কম হবে

P<FA

ইল্ডিং (Yielding)-এর জন্য নমিনাল স্ট্রেংথ

$P_n = F_y A_g$

এবং ফ্রাকচার-এর জন্য নমিনাল স্ট্রেংথ

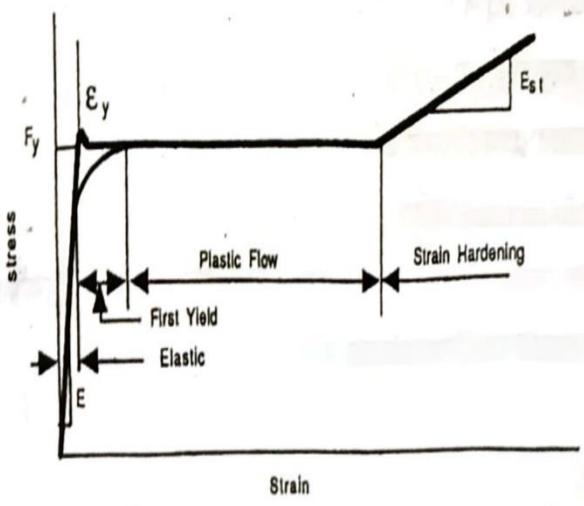
Pn = Fu Ae

যেখানে A, হচ্ছে ইফেক্টিভ নিট এরিয়া (Effective net area), যা কখনো সমান বা কম নিট এরিয়ার থেকে হতে পারে।

৩.২ টেনশন মেম্বারে ASD এবং LRFD পদ্ধতি (ASD and LRFD method of tension member) :

LRFD পদ্ধতিতে টেনশন মেম্বার ডিজাইন :

লোড এবং রেজিস্ট্যান্স ফ্যাক্টর ডিজাইন-এর ক্ষেত্রে ফ্যাক্টর টেনসাইল লোড ডিজাইন স্ট্রেংথের সাথে তুলনা করা হয় স্ট্রাকচারাল স্টিল একটি নমনীয় উপাদান, যা চিত্র ৩.৩ দেখানো হয়েছে



চিত্র : ৩.৩ Stress vs.strain for structural steel

LRFD ডিজাইনের ক্ষেত্রে AISC স্পেসিফিকেশন শর্ত অনুসারে কোনো টেনশন মেম্বারের ডিজাইন স্ট্রেংথ নমিনা স্ট্রেংথের (P_n) থেকে কম হবে। যদি আল্টিমেট ডিজাইন লোড P_u হয়, তাহলে নমিনাল এবং আস্টিমেট ডিজাইন লোডের সম্পর্ক হলো-

$$P_u = \emptyset P_n$$

ইল্ডিং (Yielding)-এর জন্য গ্রোস সেকশন

$$\emptyset t = 0.90$$

$$P_n = F_y A_g$$

ফ্রাকচারের জন্য নিট (Net) সেকশন

$$\emptyset t = 0.75$$

$$P_n = F_u A_c$$

যেখানে প্রতীকগুলোর নামকরণ AISC দ্বারা স্বীকৃত। যখন কিছু লোড ক্রস-সেকশনাল মেম্বার থেকে বোল্ট এবং রি ট্রান্সমিটেড হবে, তখন নিট ইফেক্টিভ এরিয়া A_e হবে

$$A_e = U A_n$$

LRFD স্পেসিফিকেশন, $\emptyset t = 0.75$

$$P_n = 2.0 F_y A_e$$

I বার এবং পিন কানেকটেড মেম্বারের ডিজাইন স্ট্রেংথ নিম্নোক্ত লিমিট অপেক্ষা কম হবে।

(ক) টেনশন-এর জন্য ইফেক্টিভ এরিয়া

$$\emptyset t = 0.75$$

$$P_n = 2t\, b_{eff}\, F_u$$

(খ) শিয়ার-এর জন্য ইফেক্টটিভ এরিয়া

$$\emptyset = 1.0$$

$$P_n = Apb\ Fy$$

Apb = প্রজেক্টেড বিয়ারিং এরিয়া (Projected bearing area)

$Aff = 2t\,(a + d/_2)\ (in^2)$

a = দূরত্ব

d = পিন ডায়ামিটার (in)

t= প্লেটের পুরুত্ব (in)

ASD পদ্ধতিতে টেনশন মেম্বার ডিজাইন : অনুমোদনযোগ্য স্ট্রেস Ft কখনো 0.60F,-এর থেকে বেশি হতে পারবে না । একটি নির্দিষ্ট গ্রোস এরিয়ার জন্য যদিও নিট কার্যকরী এরিয়ার জন্য 0.50F, পিন কানেকটেড মেম্বারের জন্য নিট কার্যকরী এলাকার (Net effective area) এর অনুমোদিত স্ট্রেস 0.45Fy-এর বেশি হবে না। বিয়ারিং স্ট্রেস প্রজেক্টেড এলাকার জন্য 0.90F,-এর সমান বা কম হবে।

গ্রোস সেকশনের উপর ভিত্তি করে স্ট্রেংথ P = 0.60 Fy Ay

নিট সেকশনের উপর ভিত্তি করে স্ট্রেংথ P = 0.50 Fu Ae

যেখানে, Ag = টেনশন মেম্বারের গ্রোস সেকশন এরিয়া

A_e= টেনশন মেম্বারের Cross-sectional এরিয়া

যদি কানেক্টর থেকে সরাসরি লোড ক্রস-সেকশনাল উপাদানে ট্রান্সমিটেড হয়, তখন ইফেক্টিভ এরিয়া (A.) সমান নিট এরিয়া হবে যদি কিছু লোড বোল্ট এবং রিভেট দ্বারা ট্রান্সমিটেড হয় তাহলে,

A_e = U An

যেখানে, A_n = নিট এরিয়া

U = সংযোগ সহগ