

## প্রযুক্তিগত উৎকর্ষতায় ছাপাইশিল্পের চর্চা ও প্রযুক্তির ব্যাপক ব্যবহার চারুশিল্পীদের জন্য নতুন সম্ভাবনার উৎস:

মোহাং. জসিম উদ্দিন \*

**প্রতিপাদ্যসার:** বর্তমান সময়ে ছাপাইশিল্পে প্রযুক্তির ব্যাপক ব্যবহারের সুবাদে বিভিন্ন দেশের শিল্পশিক্ষা প্রতিষ্ঠান এবং সমসাময়িক চারুশিল্পীদের কাছে প্রযুক্তি নির্ভর ছাপাই মাধ্যমসহ ভাস্কর্য তৈরীতে ত্রি-মাত্রিক ছাপাইয়ের প্রতি আগ্রহ বৃদ্ধি পাচ্ছে। ডিজিটাল ইমেজিং প্রযুক্তির এই ব্যাপক আগ্রহ বর্তমান সময়ে ইলেক্ট্রনিক উপায়ে ছাপচিত্রের পরীক্ষা নিরীক্ষাকে 'মিডিয়া বিপ্লব' ও সময়ের সাথে (Non-Toxic Printmaking) বা অ-বিষাক্ত ছাপাইশিল্পকে 'সবুজ বিপ্লব' বলা যেতে পারে। এই ধরনের নতুন করণকৌশলে ছাপাইশিল্পে ইমেজ মেকিং, প্লেটমেকিং, প্রিন্টিং প্রসেস, রিপ্রোডাকশন বা ম্যাস মিডিয়ায় সীমাহীন, সৃজনশীল উৎসসন্ধান ও সম্ভাবনা রয়েছে। 'এপ্লাইড আর্ট অ্যান্ড প্রিন্টমেকিং' একটি মূলধারার শিল্প পরিসর, সাধারণ মানুষের সামাজিক আচার অনুষ্ঠানে স্যুভেনির, প্যাকেজিং, উপহার সামগ্রী, বাণিজ্যিক ছাপাইশিল্পের প্রায়োগিক প্রয়োজন বা সমাজ বিনির্মানের যাবতীয় কার্যক্রমে বিশেষ অবদান রাখছে। চিকিৎসা ক্ষেত্রেও ডিজিটাল ইমেজিংয়ে রোগ নির্ণয়ের প্রাথমিক প্রচেষ্টায় গুরুত্বপূর্ণ জায়গা দখল করেছে। অটোমোবাইল, স্পেস-স্যাটল, অ্যারোনটিক্যাল ইঞ্জিনিয়ারিংসহ মানব সমাজের সার্বিক সহযোগিতার প্রেক্ষিতে ত্রি-মাত্রিক প্রিন্টিং সর্বাধিক অগ্রগণ্য ভূমিকা পালন করেছে। প্রিন্টমেকিংয়ের ঐতিহ্যগত প্রাচীন ছাপাইশিল্প ও বর্তমান সময়ে ইলেক্ট্রনিক উপায়ে প্রযুক্তিগত ক্রমবর্ধমান সম্ভাবনা ও সীমাবদ্ধতার পরিপ্রেক্ষিতে উভয় প্রক্রিয়ার মধ্যে প্রতিযোগিতার বিষয়ে বিবেচনা করা যেতে পারে। এই প্রবন্ধে ইলেক্ট্রনিক উপায়ে শিল্পকর্ম সৃষ্টি, ভাস্কর্য তৈরীতে প্রযুক্তিগত ব্যাপক ব্যবহার ও চারুশিল্পীদের জন্য নতুন উৎস ও সম্ভাবনার দিকটি আলোচনায় প্রাধান্য পাবে। ছাপাইশিল্পে প্রযুক্তিগত উৎকর্ষতা যেমন, ত্রি-মাত্রিক ছাপাই পদ্ধতি: কম্পিউটার এইডেড ডিজাইন (CAD), কম্পিউটার এইডেড ম্যানুফেকচারের (CAM) উপর ভিত্তি করে মুদ্রিত ফর্ম, প্লাজমা আর্ক কাটিং (PAC), কম্পিউটার নিউম্যারিক্যাল কন্ট্রোল (CNC) এবং রোপিড প্রোটোটাইপ (RP) প্রযুক্তি বিষয়ে আলোকপাত করা হবে। একই সাথে প্রিন্টমেকিংয়ের 'ভার্চুয়াল এবং ফিজিক্যাল' উপায়ের মধ্যে বিশেষ সমস্যার সমাধান বা যোগসূত্র তৈরি করবে; যেমন উভয় প্রক্রিয়ার মধ্যে পরিবর্তনের ফলে একটি দ্বিমাত্রিক ছাপাইশিল্প থেকে ত্রিমাত্রিক ছাপাইশিল্পে উত্তরণের বিভিন্ন ধাপে সমস্যা ও সমাধান, সর্বোপরি সম্ভাবনার বিস্তার দিকনির্দেশনা এবং উভয় প্রক্রিয়াতে অপার সম্ভাবনাসহ ছাপাইশিল্পের নব উৎস ও প্রযুক্তিগত আমূল পরিবর্তনের মূল উদ্দেশ্যকে সাদরে আহ্বান করার পরামর্শ থাকবে।

তথ্য প্রযুক্তির বর্তমান সময়ে ইন্টারনেট, ই-মেইল, ভয়েস-মেইল, এসএমএস, এসএনএস এবং ই-বুক ইত্যাদি যথেষ্ট জনপ্রিয় হয়ে উঠেছে। বিশ্বময় প্রসারিত হয়ে তথ্য প্রযুক্তির জন্য কাগজবিহীন যোগাযোগের মাধ্যমে অত্যন্ত দ্রুততার সাথে প্রচার মাধ্যম প্রচলিত আছে। সামাজিক যোগাযোগ মাধ্যম হিসেবে পৃথিবীর সবত্র দ্রুত প্রচার প্রচারণার জন্য ইলেক্ট্রনিক প্রচার মাধ্যমে টিএফটি, এলসিডি, এলইডি স্ক্রীন ডিসপ্লে অত্যাধুনিক ছাপাই শিল্পের ডিজিটাল প্লেট মেকিং স্তর হিসেবে বহুল পরিচিতি লাভ করেছে। ঐতিহ্যগত ফিজিক্যাল প্রিন্টমেকিং ছাড়া ডেক্সটপ-ল্যাপটপ কম্পিউটার, এনড্রয়েড মোবাইল, ট্যাব, আইফোনসহ অন্যান্য টিএফটি, এলসিডি, এলইডি স্ক্রীন

\* অধ্যাপক, ছাপচিত্র শাখা, চারুকলা ইনস্টিটিউট, চট্টগ্রাম বিশ্ববিদ্যালয়

ডিসপ্লেতে বিভিন্ন সফটওয়্যার ব্যবহার করে ইমেজ তৈরী পূর্বক ভিন্ন ভিন্ন দ্রাবক কালি বা ইঙ্ক ভিত্তিক মুদ্রণ যন্ত্র বা প্রিন্টারের সাহায্যে যে কোন সারফেসে প্রিন্ট নেয়া সম্ভব হচ্ছে। ফলে প্রয়োজনের ভিত্তিতে বাণিজ্যিক মুদ্রণ প্রক্রিয়া প্রতিনিয়ত সমৃদ্ধির সাথে রূপান্তরিত হচ্ছে। দ্রুত পরিবর্তনশীল ও ক্রমবর্ধমান বাজার রূপান্তরকে আয়ত্বে রাখার কৌশল হিসেবে অপরিহার্য দ্রুত বিতরণ, কম বা বেশী আয়তনে উৎপাদন ও কার্যকর যোগাযোগ পদ্ধতি রক্ষার অন্যতম দৃষ্টিভঙ্গি হল ‘বাণিজ্যিকীকরণের জন্য বাস্তব ডিজিটলাইজেশন’। এই অগ্রগামী মুদ্রণ পদ্ধতির উন্নীতকরণ যেমন ‘সিঙ্গেল শীট-ফেড ডিজিটাল প্রিন্টিং প্রেস’ এবং ‘লার্জ ফরমেট ইঙ্কজেট প্রিন্টার’, লেজার প্রিন্টার, ইউভি প্রিন্টার ইত্যাদির ব্যাপক প্রসার ও উন্নতি সাধন হচ্ছে। ম্যাস প্রোডাকশনের ক্ষেত্রে অফসেট মুদ্রণ ইতোমধ্যে জনপ্রিয়তার শীর্ষে রয়েছে।

ছাপচিত্রের অন্যান্য মাধ্যম যেমন: রিলিফ প্রিন্ট, সারফেস প্রিন্ট, ইন্টাগলিও প্রিন্ট, জ্বীর্ণ প্রিন্ট, প্ল্যানোগ্রাফিক প্রিন্ট, অলিওগ্রাফি প্রিন্ট ইত্যাদি যে কোনো চারুকলা শিক্ষা প্রতিষ্ঠানে অনায়াসে চর্চা করা সম্ভব। কিন্তু শুদ্ধ ছাপাইশিল্পে স্টোন লিথোগ্রাফির সফল বিকল্প ও অত্যাধুনিক মাধ্যম ওয়াটারলেস লিথোগ্রাফির অনুশীলন আমাদের দেশে শুধুমাত্র চট্টগ্রাম বিশ্ববিদ্যালয়ের চারুকলা ইনস্টিটিউটের ছাপচিত্র শাখায় প্রচলন রয়েছে। অতি প্রাচীন ছাপাই শিল্পের অন্যতম ও জনপ্রিয় এই মাধ্যমটির প্রথম ও প্রধান অন্তরায় হচ্ছে ‘লিথো স্টোন’ যা ইউরোপ থেকে আমদানী করতে হতো। বর্তমানে স্টোন লিথোগ্রাফির মূল উপকরণ লিথো স্টোন সহজলভ্য নয় বা লিথো স্টোন প্রিন্টিংয়ের বাণিজ্যিক মুদ্রণ প্রসেসটি উন্নীত বা প্রতিস্থাপিত হয়েছে অত্যাধুনিক অফসেট প্রিন্টিং প্রসেস দ্বারা। লিথো স্টোন আমদানীকারক প্রতিষ্ঠানসমূহ লিথো স্টোন আমদানী স্থগিত করেছে। ফলে বাংলাদেশে বিভিন্ন চারুকলা শিক্ষা প্রতিষ্ঠানে লিথো স্টোন এবং লিথো প্রিন্টিং প্রেস সংগ্রহ করা দুষ্কর ব্যাপার হয়ে উঠেছে। স্টোন লিথোগ্রাফিতে- স্টোন প্রিপারেশন, স্টোন স্লানান্তর করা, এটিং প্রসেসে ব্যবহৃত বিষাক্ত রাসায়নিক দ্রব্যের ক্ষতিকারক দিক বিবেচনায় অনেক উন্নতদেশে সহজলভ্যতা ও সুযোগ থাকা সত্ত্বেও স্টোন লিথোগ্রাফি পরিহার করে নতুন ফটো-সেন্সিটিভ অফসেট প্রুট বা আলোক-সংবেদনশীল অফসেট লিথো প্রুটে ‘লেজার টোনার’ বা ‘জেরক্স টোনার’ ড্রইংয়ের আকর্ষণীয় সল্পব্যয়ী বিকল্প ‘ওয়াটারলেস লিথোগ্রাফি’ প্রিন্টিং পদ্ধতির ব্যাপক ব্যবহার নিশ্চিত করা হয়েছে। অ-বিষাক্ত ছাপাইশিল্প তৈরীর ক্ষেত্রে এই ‘সবুজ বিপ্লব’ একই সাথে শিল্পের অন্যান্য শাখায় প্রসারিত হয়েছে। পলিয়েস্টার লিথোগ্রাফি প্রুট এবং ওয়াটারলেস লিথোগ্রাফি সিস্টেম সম্প্রতি অনেক ছাপাইশিল্পীর প্রথম পছন্দ। এই পদ্ধতিতে কম্পিউটার এইডেড ডিজাইন এবং কম্পিউটার গ্রাফিক্স সফটওয়্যার ব্যবহার করে কাজিত ডিজাইন ইমেজ সেটিংয়ের মাধ্যমে পজেটিভ ফিল্ম বা নেগেটিভ ফিল্ম বা প্রসেস ফিল্ম এক্সোপাজারের মাধ্যমে অফসেট পিএস প্রুট মেকিং করা যায়। বর্তমানে CTP- কম্পিউটার টু প্রুট মাধ্যমে সরাসরি অফসেট প্রুট মেকিং তথা ইমেজ সেটিংয়ের মাধ্যমে প্রসেস ফিল্মের পরিবর্তে কম্পিউটার গ্রাফিক্স সফটওয়্যারে তৈরীকৃত নকশা সরাসরি অফসেট প্রুটে প্রিন্ট সহকারে প্রুট ডেভেলোপ হয়ে যায়। ফলে প্রসেস ফিল্মের খরচ সাশ্রয় হয়, অপরপক্ষে ইমেজ স্থানান্তরে রেজুলেশনে কোনো প্রকার বিয়োগ হয় না। বাকী প্রসেস হলো ওয়াটারলেস লিথোগ্রাফির ধারাবাহিক পদ্ধতি অনুসরণ করে ছাপাইশিল্প তৈরী করা। অপর পক্ষে সনাতনী প্রক্রিয়ায় বাণিজ্যিক অফসেট প্রিন্টিং প্রেসে অনায়াসে মনো-কালার বা মাল্টি-কালার প্রিন্ট করা সম্ভব। অতএব একজন ছাপাইশিল্পীর ব্যক্তিগত স্টুডিওতে ইন্টাগলিও প্রেস থাকা জরুরী নয়। জাপানে Toray Company, ইউরোপে 3M বাণিজ্যিকভাবে প্রস্তুতকৃত ওয়াটারলেস লিথোগ্রাফি প্রুট মেকিংয়ের মাধ্যমে বাণিজ্যিক প্রোডাক্ট প্রিন্টিং বিগত কয়েক দশক যাবৎ সাফল্যের সাথে মুদ্রিত পণ্য সরবরাহ করে আসছে। সনাতন তথা ডেম্পিং অফসেট প্রিন্টিংয়ে হাই ভলিউম প্রিন্টিংয়ের ক্ষেত্রে কয়েক সেট প্রুট প্রয়োজন হয় যা অত্যন্ত ব্যয় সাপেক্ষ। এছাড়াও প্রিন্টিং কোয়ালিটি প্রত্যেক ব্যাচে আলাদা আলাদা

প্রযুক্তিগত উৎকর্ষতায় ছাপাইশিল্পের চর্চা ও প্রযুক্তির ব্যাপক ব্যবহার চারুশিল্পীদের জন্য নতুন সম্ভাবনার উৎস:

চরিত্র ধারণ করে। কিন্তু ওয়াটারলেস অফসেট প্রিন্টিংয়ের ক্ষেত্রে সিঙ্গেল সেট অফসেট প্লেটের মাধ্যমে হাই ভলিউম প্রিন্টিং সম্ভব এতে আর্থিক সাশ্রয় ও তুলনামূলক সময় কম লাগে।

ওয়াটারলেস লিথোগ্রাফি: স্টোন লিথোগ্রাফির পরিবর্তে 'ওয়াটারলেস লিথোগ্রাফি'তে ছাপাইশিল্প তৈরী; কানাডীয় শিল্পী Professor Nik Scmenoff (1928-2022), তিনি ১৯৯১ খ্রিষ্টাব্দে সফলভাবে এই পদ্ধতিটি আবিষ্কার করেন। অ-বিষাক্ত ছাপাইশিল্প তৈরী পদ্ধতির ফটো-সেন্সিটিভ বা আলোক-সংবেদনশীল অফসেট লিথো প্লেটে 'লেজার টোনার' বা 'জেরক্স টোনার' ড্রইংয়ের আকর্ষণীয় সল্লব্যয়ী বিকল্প লিথোগ্রাফ প্রিন্টিং মাধ্যম হিসেবে জনপ্রিয়তা পাচ্ছে। এতে পেইন্টলেস স্বচ্ছ সিলিকন গু ব্যবহারের ক্ষেত্রে অর্ডারলেস পেইন্ট থিনার দ্রবনীয় হিসেবে ব্যবহার করা হয়। এই প্রক্রিয়ায় সবচেয়ে সহজ আকারে মুদ্রণ কালি ইমেজ এরিয়া এবং নন-ইমেজ এরিয়াতে অবস্থান করা, মুদ্রণ কালি গ্রহণ করা বা প্রত্যাখান করার জন্য সিলিকনের ক্ষমতার উপর ভিত্তি করে গঠিত। লেজার টোনার বা জেরক্স টোনার, লিকুইড সোপ ও পানির সংমিশ্রণের সাহায্যে মাইলার ফিল্মের উপর ইমেজ তৈরি করতে হয় অথবা কম্পিউটারের সাহায্যে এডবি ফটোশপ, এডবি ইলাস্ট্রেটর বা শিল্পীর সুবিধা অনুযায়ী সফটওয়্যার ব্যবহার করে তৈরীকৃত ইমেজের একটি সাদা-কালো পজিটিভ বা নেগেটিভ ফ্লিম প্রিন্ট নিতে হয়। প্রিন্ট অবশ্যই ট্রান্সপারেন্ট ফিল্ম বা ট্রেসিং পেপারে নিতে হবে। ম্যানুয়েল পদ্ধতিতে মাইলারের উপর তৈরীকৃত ইমেজ বা কম্পিউটার লেজার প্রিন্ট বা পজেটিভ প্রসেস ফিল্ম পি.এস. প্লেটের (অফসেট প্রিন্টিং প্লেট) উপর সেট করে, লাইট এক্সপোজারের মাধ্যমে পি.এস প্লেটে কাঙ্ক্ষিত সময় ধরে প্লেট এক্সপোজ করার পর প্লেটটিতে ১ : ৫ - পানি : অফসেট প্লেট ডেভেলপার প্রয়োগের মাধ্যমে প্লেট মেকিং বা প্লেট প্রসেসিং করতে হয়। সনাতন পদ্ধতির এ্যারাবিক গামের পরিবর্তে তরলীকৃত ওয়াটার স্যালিয়েন্ট সিলিকন গু প্রয়োগ করে ফেসিয়েল টিস্যুর সাহায্যে বাফিং করার পর প্লেটটিকে কমপক্ষে বারো ঘন্টা স্বাভাবিক তাপমাত্রায় সম্পূর্ণ শুকানো হয়। প্রিন্টিং পর্যায়ে অ্যাসিটোন বা আইসোপ্রোফাইল অ্যালকোহল (IPA) ব্যবহার করে প্লেটে থেকে যাওয়া ইমালশানকে ফ্যাসিয়াল টিস্যুর সাহায্যে মুছে ফেলতে হয়। প্লেটে একটি গোস্ট ইমেজ লক্ষ্য করা যাবে, পরে ইঙ্কিং রোলার বা প্রফেসর নিক সেমিনফ আবিষ্কৃত ত্রিপার্ট রোলারের সাহায্যে মুদ্রণ কালি প্রয়োগ করা হলে সিলিকন যুক্ত নন-ইমেজ এরিয়াতে মুদ্রণ কালি স্পর্শ করবে না, শুধুমাত্র ফটো-সেন্সিটিভ বা আলোক-সংবেদনশীল অফসেট লিথো প্লেটে থেকে যাওয়া ইমালশানে মুদ্রণ কালি সংস্থাপিত হবে। যা এটিং প্রেস বা লিথোগ্রাফি প্রেসের মাধ্যমে অনায়াসে প্রিন্ট করা সম্ভব। এই প্রক্রিয়ায় অফসেট প্লেট ব্যবহার করা হয় কিন্তু চমৎকার বিষয় এই যে, এতে প্লেট এবং প্রিন্টিং পেপার ডেম্পিং প্রয়োজন হয়না বা পানি ব্যবহার করা হয় না। সম্পূর্ণ শুকনো পদ্ধতিতে প্লেট লিথোগ্রাফি, তথা ওয়াটারলেস লিথোগ্রাফি প্রিন্টমেকিংয়ে অত্যন্ত নিরাপদ ও ঝামেলামুক্ত প্রক্রিয়ায় সম্পন্ন করা যায়। ফলে প্রিন্ট অত্যন্ত পরিষ্কার পরিচ্ছন্ন থাকে এবং পুরো প্রক্রিয়াটিতে কায়িক পরিশ্রমও কম হয়।

ইঙ্কজেট প্রিন্টিং: সাম্প্রতিক সময়ে শিল্পীদের জন্য বড় চ্যালেঞ্জ লার্জ ফরমেট ইঙ্কজেট প্রিন্টিং সিস্টেম, মূলত বাণিজ্যিক দ্রাবক মুদ্রণ বা তথাকথিত দ্রাবক একটি ইঙ্কজেট প্লটার ব্যবহার করে জনপ্রিয় ও বহুল পরিচিত মুদ্রণ কৌশল বলা চলে। ছাপচিত্র শিল্পীদের এই পদ্ধতিতে বড় আকারে মিশ্রমাধ্যমে ছাপাইশিল্প তৈরীতে আগ্রহ প্রকাশকে আজকাল বিভিন্ন প্রদর্শনীতে শুদ্ধ ছাপাইশিল্প হিসেবে গণ্য করা হচ্ছে। এই পদ্ধতিতে ঐতিহ্যগত জলীয় কালি বা পিগমেন্টেড দ্রাবক কালি দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়েছে, যা জৈব দ্রাবকের ভিত্তিতে পরিচালিত হয়। এটি সবচেয়ে জনপ্রিয় বড় আকারের মুদ্রণ কৌশলগুলির মধ্যে অন্যতম। এই মুদ্রণ আলট্রাভায়োলেট (UV) বিকিরণসহ বায়ুমন্ডলীয় কারণগুলির প্রতিরোধী। ইঙ্কজেট প্রিন্টিংয়ের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত কালির উপর ভিত্তি করে দ্রাবক মুদ্রণ

প্রযুক্তি বা এর কৌশল নির্ভর করে। শুধুমাত্র একক নকশা বা কম্পিউটার এইডেড ডিজাইন ভিন্ন ভিন্ন মিডিয়ায় যেমন- পিভিসি, পলিভিনাইল (ফন্ট লাইট / ব্যাক লাইট), সলভেন্ট মিডিয়া, এনক্যাড মিডিয়া, ওয়ান ওয়ে ভিশন, ফেব্রিক্স প্রিন্ট নেয়া সম্ভব। এইসব ইঙ্কজেট প্রিন্ট সিস্টেমের কালিতে থাকা 'বেস কোট' বা দ্রাবকের পরিমাণ এবং প্রিন্ট আউটের স্থায়িত্বের উপর নির্ভর করে। ইঙ্কজেট প্রিন্টিং শ্রেণিভুক্ত:

(ক) **হার্ড সলভেন্ট** বা কঠিন দ্রাবক, যা সব ধরনের দ্রাবকের মধ্যে সবচেয়ে বিষাক্ত। এতে স্বাস্থ্য ও পরিবেশের জন্য ক্ষতিকারক 'সাইক্লোহেক্সানল' সর্বাধিক পরিমাণে রয়েছে। তবে এটি সলভেন্ট প্রিন্টিংয়ের মধ্যে সবচেয়ে স্থায়ী ও টেকসই। এর স্থায়িত্ব প্রায় তিন থেকে সাত বছর অনুমান করা হয়। এই ধরনের মুদ্রণ সুবিধার মধ্যে 'লেমিনেটিং' করার প্রয়োজন পড়েনা, উপরন্তু এই মুদ্রণ কালি ও রঙের বিবর্ণতা, পানি এবং ঘর্ষণ প্রতিরোধী। এই প্রিন্টিং প্রতিষ্ঠানে একজস্ট ফ্যান বা বায়ু নির্যাস পাখা স্থাপন বাধ্যতামূলক।

(খ) **সফট সলভেন্ট** বা মৃদু দ্রাবক, যাতে সাইক্লোহেক্সানলের উপাদান হার্ড সলভেন্ট বা কঠিন দ্রাবকের তুলনায় অনেক কম থাকে। ফলে এটি কম ক্ষতিকারক, কিন্তু অন্যদিকে এটি ঘর্ষণ, স্ক্র্যাচের জন্য বেশি সংবেদনশীল এবং কম টেকসই। ফলে এটিতে লেমিনেশন প্রয়োজন হয়।

(গ) **ইকো সলভেন্ট** বা পরিবেশবান্ধব দ্রাবক, নাম অনুসারে উপরে উল্লেখিত দুইটি মুদ্রণ প্রক্রিয়া থেকে আলাদা এবং স্বাস্থ্য ও পরিবেশের জন্য ক্ষতিকর নয়। এই ধরনের মুদ্রণের অতিরিক্ত সুবিধা হলো বিরক্তিকর গন্ধের অনুপস্থিতি। এই ক্ষেত্রে ব্যবহৃত কালিতে বিষাক্ত 'সাইক্লোহেক্সানল' নেই এবং এটি ল্যাকটিক এসিডের উপর ভিত্তি করে তৈরী, তাই এই ধরনের মুদ্রণ প্রতিষ্ঠানে বায়ু নির্যাস পাখা স্থাপন করার প্রয়োজন হয় না। অসংখ্য সুবিধার পাশাপাশি এই পরিবেশ বান্ধব মুদ্রণ প্রক্রিয়াতে ব্যবহৃত কালির সর্বোচ্চ অসুবিধা হলো বাহ্যিক অবস্থার কম প্রতিরোধ ক্ষমতা, ঘর্ষণ, স্ক্র্যাচের জন্য বেশি সংবেদনশীল এবং কম টেকসই। ফলে এটিতে লেমিনেশন প্রয়োজন হয় (A. Ramya et-al, may-June 2016)।

**ইঙ্কজেট কালি:** এই ইঙ্কজেট কালি, ইঙ্কজেট প্রিন্টিংয়ের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ উপাদান। কালির গঠন এবং রসায়ন মুদ্রণের গুণমান এবং সেইসাথে জেটিং বৈশিষ্ট্য নির্ধারণ করে। ডিজিটাল প্রিন্টিং প্রযুক্তি টেক্সটাইল প্রিন্টিংয়ে মুদ্রণের গতি, প্রিন্ট হেড টেকনোলজি এবং কালার গামুটের ক্ষেত্রে উল্লেখযোগ্য সাফল্যের সাথে রূপান্তরিত হয়েছে। তা সত্ত্বেও, ইঙ্কজেট কালি অনুপ্রবেশের সাথে সম্পর্কিত মানের সমস্যাগুলি এখনও বিশ্বজুড়ে গবেষকদের দ্বারা উচ্চ স্তরের মনোযোগ পাচ্ছে যাতে সুপেরিয়র ইঙ্ক তৈরি করা যায়। যা প্রিন্টিংয়ের প্রচলিত পদ্ধতি দ্বারা প্রাপ্ত প্রিন্টের গুণমানকে ছাড়িয়ে যেতে পারে। এই পর্যালোচনাটি ডিজিটাল টেক্সটাইল ইঙ্কজেট প্রিন্টিং-এ রঙ সংক্রান্ত সমস্যা সমাধানের জন্য তৈরি করা। বিভিন্ন ইঙ্কজেট কালির রসায়ন এবং চমৎকার রঙের দৃঢ়তা নিশ্চিত করার পাশাপাশি নিউটোনিয়ান ইঙ্কজেট কালির জেটিং আচরণের জন্য উপলব্ধ বিভিন্ন প্রি-ড্রিটমেন্ট প্রযুক্তিগুলিকে কার্যকরীভাবে দেখতে চায়। টেক্সটাইল প্রিন্টিংয়ের ডিজিটাল ইঙ্কজেট প্রিন্টার কাপড়ের মান এবং কালির উন্নয়ন সংক্রান্ত বিভিন্ন বিষয় তুলে ধরা হয়েছে। পরিবেশ বান্ধব সর্বজনীন কালির সন্ধান উল্লেখযোগ্য অগ্রগতি হয়েছে যা সমস্ত টেক্সটাইল সাবস্ট্রেট মুদ্রণ করতে পারে। ডিজিটাল টেক্সটাইল প্রিন্টিংয়ের সবচেয়ে আলোড়ন সৃষ্টিকারী দিকগুলির মধ্যে একটি হল অবিশ্বাস্যভাবে বিস্তৃত বাজার যেখানে এটি প্রয়োগ করা যেতে পারে। এখনও পর্যন্ত, প্রথাগত রোটারি স্ক্রীন টেক্সটাইল প্রিন্টারগুলি নিয়মিত গ্রাফিক্স প্রিন্টার তৈরির জন্য গ্রাফিক্স কালি প্রয়োগের সাথে পরীক্ষা করেছে, যাতে রোটারি স্ক্রীন খোদাইয়ের উচ্চ খরচ না করে নতুন প্যাটার্ন তৈরি করা যায়। অবিলম্বে

প্রযুক্তিগত উৎকর্ষতায় ছাপাইশিল্পের চর্চা ও প্রযুক্তির ব্যাপক ব্যবহার চারুশিল্পীদের জন্য নতুন সম্ভাবনার উৎস:

টেক্সটাইল রঞ্জক পদার্থ, ডিজিটাল কালি উৎপাদনসহ অনেক টেক্সটাইল প্রিন্টার ওভারগ্রাফিক কালি তৈরী ও অন্যান্য সুবিধা দেখতে শুরু করেছে। রঞ্জক পদার্থগুলি স্থির হতে পারে, ঠিক যেমনটি ঘূর্ণমান মুদ্রিত হয়। এই উন্নয়নের ফলে পতাকা, ব্যানার এবং লোগো, মনোগ্রাম, চিহ্ন, পোশাক, বাড়ির আসবাবপত্রের কাপড়, কুইল্টিং কাপড়, নন-ওভেন এবং টেকনিক্যাল টেক্সটাইল, গেমিং টেবিল, এমনকি চামড়া প্রিন্টিংয়ে অ্যাপ্লিকেশনের দিকে পরিচালিত হয়েছে। সারা বিশ্বের প্রিন্টাররা এখন দৈনিক ভিত্তিতে ডিজিটাল কালি বা ইঙ্কজেট কালি ব্যবহার করে এই প্রতিযোগিতামূলক বাজারের সাথে জড়িত সমস্ত সামগ্রী মুদ্রণ করতে মনোযোগী হয়েছেন।

আলট্রাভায়োলেট (UV) প্রিন্টিং

এই ধারার মুদ্রণ উৎপাদন হিসেবে 'ফটো ইনিশিয়েটর' আলট্রাভায়োলেট প্রিন্টিং প্রক্রিয়াটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। এই ফটো ইনিশিয়েটরগুলি বিষাক্ত বা অবিষাক্তভাবে প্রাসঙ্গিক, তাই এই প্রসঙ্গে এখনও ব্যাপক পরীক্ষা নিরীক্ষা চলমান রয়েছে। বর্তমান বাজারভিত্তিক মুদ্রণ প্রতিষ্ঠান এবং দ্রাবক প্রিন্টিং ইঙ্ক উৎপাদনকারী প্রতিষ্ঠান যৌথভাবে পরীক্ষা-নিরীক্ষা এবং আলাপ-আলোচনা অব্যাহত রেখেছে। ফলশ্রুতিতে ইউভি/এলইডি প্রিন্টিং উভয়ভিত্তিক সারসংক্ষেপ করা হয়ে থাকে এবং ক্র্যাডল থেকে ক্র্যাডল পরিপ্রেক্ষিত প্রয়োগ করা হয়। এই প্রিন্টিং প্রক্রিয়ায় যে কোনো তলে বা সারফেসে প্রিন্টিং সম্ভব। সম্প্রতি সিরামিক টাইলস, ইস্পাত, কাঠ, প্লাস্টিক ইত্যাদির উপরিতলে প্রিন্টিং প্রক্রিয়ায় ম্যুরালসহ ক্যানভাসে শিল্পকর্ম মুদ্রণ বাণিজ্যিকভাবে প্রচলন শুরু হয়েছে।

টেক্সটাইল প্রিন্টিং- ডিজিটাল ফ্যাব্রিক প্রিন্টিং প্রক্রিয়ায় টেক্সটাইল প্রিন্টিংয়ের নতুন সীমান্ত হয়ে উঠেছে, যা প্রক্রিয়াগত দক্ষতা, সহজে ব্যবহার, সাশ্রয়ী খরচ, কার্যকারিতা এবং পরিবেশগত প্রভাবের সুবিধা প্রদান করে। ডিজিটাল ফ্যাব্রিক প্রিন্টিং গত কয়েক দশক ধরে ডিজাইনার, প্রিন্টারদের এবং ব্যবসায়ীদের জন্য নতুন সুযোগ তৈরি করে দ্রুত বিকশিত হয়েছে। একইভাবে এই প্রযুক্তির একটি গুরুত্বপূর্ণ উপাদান হল মুদ্রণ বা ছাপার বা লেখার কালি। এই কালির উন্নয়ন এবং বৃদ্ধি 2500 খ্রিস্ট পূর্বাব্দে, যখন মিশরীয় এবং চীনারা প্রথম শতাব্দীতে জল বা আঠা মিশ্রিত জ্বলন্ত তেল থেকে তৈরি কার্বন অবশিষ্টাংশ আবিষ্কার করেছিল এবং বিভিন্ন উদ্দেশ্যে ব্যবহার করেছিল। তারপর থেকে সাধারণত রঙের বিকাশে ধীর এবং স্থির বৃদ্ধি ঘটেছে। আজ আধুনিক কালির শিল্পগুলি ক্রমাগত মুদ্রণ প্রযুক্তি পরিবর্তন করে প্রিন্টার এবং শেষ ব্যবহারকারীদের চাহিদার দ্বারা অনুপ্রাণিত হয়। দ্রুত মুদ্রণের গতি, আর ব্যয়- সংকোচন কার্যকর প্রক্রিয়া এবং কঠোর পরিবেশগত প্রবিধানগুলি বর্তমানে কালি শিল্পের মুখোমুখি কিছু চ্যালেঞ্জ। উপর্যুক্ত সংহতি একত্রে ধরে রাখা, কালির ক্ষমতা বর্ণনা করে; আনুগত্য একটি ভিন্ন উপাদানের সাথে লেগে থাকার শক্তিকে বোঝায়। যেমন, একটি সাবস্ট্রেট রঞ্জক কণাগুলির ভৌত-রাসায়নিক প্রকৃতির দৃষ্টিকোণ থেকে এই দুটি বৈশিষ্ট্য সাধারণ, বিশেষত কারণ তাদের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা একটি অবিচ্ছিন্ন মাধ্যমে পৃথক রঞ্জক কণা বিতরণ করার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তির পরিমাণ দ্বারা সংজ্ঞায়িত করা হয়, যাতে প্রতিটি রঞ্জক কণা সম্পূর্ণরূপে বেষ্টিত থাকে। একটি মাধ্যমের মধ্যে প্রাথমিক রঞ্জক কণার মধ্যে বিদ্যমান আন্তঃ-আণবিক শক্তিগুলি রঞ্জক কণা এবং স্তরগুলির মধ্যে কাজ করে এমন সংযোগ এবং আঠালো শক্তিগুলিকে উল্লেখযোগ্যভাবে প্রভাবিত করে।

সলভেন্ট এবং ইকো-সলভেন্ট মুদ্রণের মধ্যে পার্থক্য:

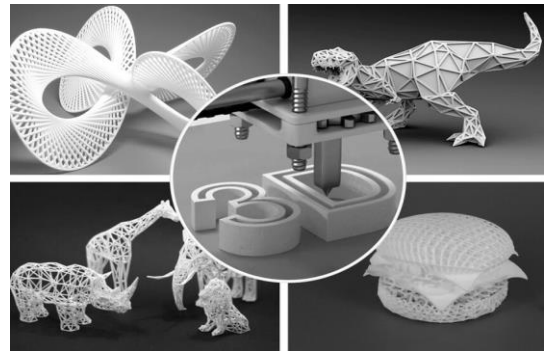
বাণিজ্যিক বিজ্ঞাপন প্রতিষ্ঠানের নামফলক, বিভিন্ন অনুষ্ঠান উপলক্ষে ব্যানার, ফেস্টুন ইত্যাদি মুদ্রণের ক্ষেত্রে ফ্লেক্স, পিভিসি এবং ভিনাইল প্রিন্টিংয়ের দ্রাবক এবং ইকো-দ্রাবক বহুল পরিচিত। ইকো-সলভেন্ট প্রিন্টিং প্রধানত



গৃহমধ্যস্থ পরিবেশনের জন্য অন্যতম যা পরিবেশগতভাবে নিরাপদ। এই দ্রাবক কালি রুঢ় হলেও নির্দিষ্ট গন্ধের সাথে যুক্ত থাকে। ফলে ইকো-সলভেন্ট প্রিন্ট গৃহের অভ্যন্তরে চলাচল বা কর্মজীবনে প্রতিবন্ধকতা সৃষ্টি করে না। অর্থাৎ ইকো-প্রিন্টিং দ্রাবকে কোনো ক্ষতিকারক উপাদান থাকে না বরং এটি 'বায়োডিগ্রেডেবল' বা জীবাণুবিয়োজ্য। জীবাণুবিয়োজ্য হওয়ার অর্থ এটি কোনো জটিলতা ছাড়াই মানুষের দেহে ভেঙে যেতে পারে বা মানুষের দেহ এটিকে শোষণ করতে পারে। বহিরাঙ্গণে তথা আউটডোর ব্যানার বা বড় মাপের হোর্ডিং সাধারণত মানুষের চলাচলের বা নাগালের উচ্চতায় এবং দূরত্বে থাকে বিধায় সরাসরি মানুষের ক্ষতি খুবই সীমিত। ইকো-সলভেন্ট প্রিন্ট গৃহের অভ্যন্তরে বা বহিরাঙ্গণে ব্যবহার প্রচলিত, মূলত দ্রাবক টাইপ বহিরাঙ্গণ বা অভ্যন্তরীণ আবহাওয়ার অধীনে স্থায়ী হয়। তাই অতি সহজেই হোর্ডিং, ব্যানার, শপ বোর্ড, সাইন বোর্ড, ক্যানোপি, স্ট্যাণ্ডিং ফ্লেক্স, ইনডোর ব্র্যান্ডিং, পিওপি ডিসপ্লে, পণ্যের ব্র্যান্ডিং ইত্যাদির জন্য মানুষের প্রথম পছন্দ। বর্তমানে এই ধারায় চারুশিল্পীগণ 'ইন্টারডিসপ্লিনারী আর্ট' বা 'কনটেম্পোরারী আর্ট প্রেক্ষিসে' ইকো-সলভেন্ট প্রিন্ট তাদের প্রধান বা সহযোগী মাধ্যম হিসেবে গ্রহণ করেছেন। এই ইকো-সলভেন্ট প্রিন্ট সাশ্রয়ী ও সহজলভ্য।

স্টেরিও-লিথোগ্রাফি (SLA): এটি সবচেয়ে ব্যাপকভাবে এবং দ্রুত ব্যবহৃত প্রোটোটাইপিং প্রযুক্তি। এটি সঠিক এবং বিস্তারিত পলিমার অংশের উচ্চ উৎপাদন করতে পারে। এটি ছিল প্রথম দ্রুত প্রোটোটাইপিং প্রক্রিয়া, উদ্ভাবক চার্লস হালের কাজের উপর ভিত্তি করে 3D সিস্টেম, ইনকর্পোরেশন দ্বারা ১৯৮৮ সালে যুক্তরাষ্ট্রে প্রবর্তিত হয়। স্টেরিও-লিথোগ্রাফি হল বহুল ব্যবহৃত দ্রুত প্রোটোটাইপিং প্রযুক্তি। স্টেরিও-লিথোগ্রাফি একটি লেজার রশ্মি ট্রেস করে প্লাস্টিকের অংশ বা বস্তুকে এক সময়ে এক একটি স্তর তৈরি করে। তরল ফটোপলিমারের একটি প্ল্যাটফর্মের পৃষ্ঠে, যার ভিতরে একটি চলমান পর্যায় রয়েছে যা নির্মাণ করা অংশ সমর্থন করে। লেজার যেখানেই হোক না কেন ফটোপলিমার দ্রুত শক্ত হয়ে যায়। মরীচি তরল পৃষ্ঠ, প্ল্যাটফর্ম সমান দূরত্ব দ্বারা নত হয়, প্রতিটি স্তরের পুরুত্ব হয় সাধারণত ০.০০৩-০.০০২ ইঞ্চি, এবং একটি স্তর পরবর্তী স্তরের উপরে গঠিত হয় পূর্বে সম্পন্ন হওয়া স্তরগুলির সংযোজনে। উপাদানের স্ব-আঠালো উপকরণ, প্রতিটি পরবর্তী স্তর আগেরটির সাথে বন্ধ করে এবং এইভাবে অনেকগুলি স্তরের মধ্যে একটি সম্পূর্ণ ত্রিমাত্রিক বস্তু তৈরি করে। যেসব বস্তুর ওভারহ্যাং বা আন্ডারকাট আছে বুননের বা প্রিন্টের প্রক্রিয়া চলাকালীন সমর্থনটি কাঠামো দ্বারা সমর্থিত হতে হবে। এইগুলো হয় ম্যানুয়ালি বা স্বয়ংক্রিয়ভাবে একটি কম্পিউটার প্রোগ্রামের সাথে বিশেষভাবে ডিজাইন করা। দ্রুত প্রোটোটাইপিংয়ের জন্য একবার প্রক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হলে, পরবর্তী অংশটি প্ল্যাটফর্মের পৃষ্ঠের উপরে উন্নীত হয় এবং নিষ্কাশন অতিরিক্ত পলিমার পরিষ্কার বা পৃষ্ঠ থেকে দূর হয়। অনেক ক্ষেত্রে, UV চুলায় অংশ স্থাপন করে একটি চূড়ান্ত নিষ্পত্তি দেওয়া হয়। চূড়ান্ত নিষ্পত্তির পরে, সমর্থন করে অবশিষ্ট অংশ কেটে ফেলা হয় এবং পৃষ্ঠগুলি পলিশ করা হয় (Thomas, 3D Printer and 3D Printing News, 2018)।

**ড্রিডি প্রিন্ট:** 3D প্রিন্টারের উদ্ভব হয়েছিল ১৯৭৪ সালে, ডেভিড ই. এইচ. জোনসের হাত ধরে। পরবর্তীতে ১৯৯৪ সালে 'চক হল সিস্টেম কর্পোরেশন' ড্রিডি প্রিন্টারের পেটেন্ট পূরণ করেছে। ঐতিহ্যগত ছাপাইশিল্পের দ্বি-মাত্রিক তলে ইমেজ তৈরীর ক্ষেত্রে খোদাই, কাটাই, রাসায়নিক বিক্রিয়াসহ বিশেষ পদ্ধতিতে ছাপাইশিল্পের করণকৌশল চর্চা বিগত শত শত বছর পূর্বে শুরু হয়েছে। বর্তমানে প্রযুক্তির বিশেষ পর্যবেক্ষণ, পরীক্ষা-নিরীক্ষার ফলে দ্বি-



প্রযুক্তিগত উৎকর্ষতায় ছাপাইশিল্পের চর্চা ও প্রযুক্তির ব্যাপক ব্যবহার চারুশিল্পীদের জন্য নতুন সম্ভাবনার উৎস:

মাত্রিকতা থেকে ত্রি-মাত্রিক ছাপাই পদ্ধতি সম্প্রতি জাগতিক জীবনের সর্বক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ অবদান রাখছে। ত্রি-মাত্রিক ছাপাই বাণিজ্যিক উৎপাদনের একটি সাধারণ পদ্ধতি যা ‘কম্পিউটার অ্যাডিটিভ ম্যানুফ্যাকচারিং’ (CAM) নামে পরিচিত। যা ডিজিটাল মডেল এবং বিশেষ উপাদান ‘এডেড ডিভাইস’ ব্যবহার করে আকর্ষণীয় ও উদ্ভেজনাপূর্ণ নতুন এই প্রযুক্তিতে ভৌত বস্তু এক একটি স্তর তৈরী করা বা সংযোজন করা। আজকের ত্রিডি প্রিন্টারে রয়েছে অল্প সময়ের মধ্যে একটি দীর্ঘ পথ পরিক্রমা এবং এক একটি জটিল উপাদান তৈরী করতে সক্ষমতা সম্পন্ন। এতে ইম্পাত, অ্যালুমিনিয়াম, টাইটানিয়াম এবং বিভিন্ন ধরনের প্লাস্টিকসহ যাবতীয় উপকরণ ব্যবহার করা সম্ভব। কয়েক দশক ধরে মেশিন এবং যন্ত্রাংশগুলি ঐতিহ্যগত বিয়োগমূলক পন্থা ব্যবহার করে তৈরী করা পদ্ধতি সমূহ যেমন- ঢালাই, ভাঁজ, সোল্ডারিং, মেশিনিং ইত্যাদি; প্রচলিত মেশিনিংয়ের মধ্যে রয়েছে মিলিং, ড্রিলিং, গ্রিলিং, এবং টার্নিং। ত্রিডি প্রিন্টিং বেশ কিছু সীমাবদ্ধতার মধ্যেও কর্মক্ষমতা এবং দক্ষতা সীমিত করেছে- এটি জটিল অংশ, ফিক্সচার, সময় এবং শক্তি সাশ্রয়ী, কম নির্ভুলতা তৈরী করতে, ব্যয়বহুল এবং কম বর্জ্য অপসারণ করতে সমর্থ হয়েছে।

ত্রি-ডি প্রিন্টিংয়ে এমন সফটওয়্যার ব্যবহার করে ত্রিডি মডেলকে স্তরে স্তরে ভাগ করে, যা অধিকাংশে কমপক্ষে ০.০১ মি.মি. পুরু হয়। প্রথমে কম্পিউটার সফটওয়্যারের মাধ্যমে মূল প্যাটার্ন তৈরি হয়ে গেলে ত্রি-ডি প্রিন্টারে কমান্ড প্রয়োগ করে বিল্ড প্লেটের উপর চিহ্নিত করা হয়। এভাবে বিল্ড প্লেট নামিয়ে দিয়ে পরবর্তী স্তরটি পূর্বের স্তরের উপরটিতে সংস্থাপন করা হয়। ক্রমাগত সাধারণ উৎপাদন কৌশলগুলি ‘বিয়োগমূলক উৎপাদন’ হিসেবে পরিচিত। কারণ পুরো প্রক্রিয়াটি একটি পারফর্মড ব্লক থেকে উপাদানসমূহ অপসারণ করে। এটি সাধারণত ‘মিলিং মেশিন’ দ্বারা বিয়োগমূলক উৎপাদন কৌশল। এই ধরনের প্রক্রিয়া অনেক বর্জ্য সৃষ্টি করে, এই বর্জ্য সাধারণত অন্য কোনো প্রকার উৎপাদনে ব্যবহার করা যায় না, এ শুধু স্ক্রাপ বা পরিত্যক্ত। সফটওয়্যারভিত্তিক ত্রি-ডি প্রিন্টিংয়ে এমন ধরনের বর্জ্য পরিহার করে শুধুমাত্র নির্দিষ্ট অবজেক্টটি প্রয়োজনীয় স্থানে স্থাপন করে, বাকিগুলি নেগেটিভ স্পেস হিসেবে ছেড়ে দেওয়া হয় (David, 3D Printer and 3D Printing News, 2021)।

সাধারণত একটি ত্রিমাত্রিক গঠনে বা ত্রিমাত্রিক অংশ তৈরি করতে উপাদান সংযোজন ও অপসারণ, ত্রিমাত্রিক প্রক্রিয়ায় ক্রমাগত অবজেক্ট তৈরির উপাদানসমূহ যোগ-বিয়োগ করে পছন্দসই আকৃতি সম্ভব। যেমন:

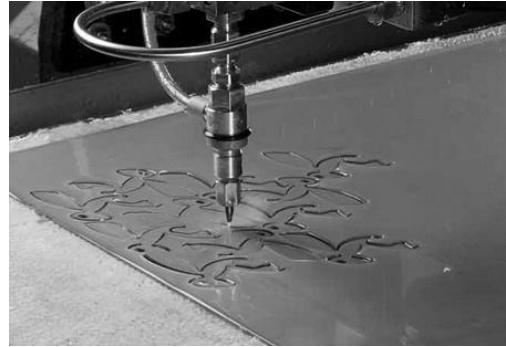
- (ক) বিশেষায়িত অংশ - প্রোটোটাইপিং: মহাকাশ, সামরিক সমরাস্ত্র, বায়োমেডিক্যাল ইঞ্জিনিয়ারিং
- (খ) চিকিৎসা শাস্ত্র: শরীরের নানা অঙ্গ-প্রত্যঙ্গ, ডেন্টাল
- (গ) শখ: গৃহস্থালী ব্যবহার
- (ঘ) স্থাপনা: ভবন, অটোমোবাইল, এরোনটিক্যাল ইঞ্জিনিয়ারিং ইত্যাদি
- (ঙ) চারুকলা: প্রিন্টমেকিং, ইন্টারডিসিপ্লিনারী আর্ট, সমসাময়িক শিল্প চর্চা, ত্রিমাত্রিক - ভাস্কর্য, ভার্চুয়াল আর্ট।

বিশেষায়িত অংশ বা প্রডাক্ট প্রোটোটাইপিং: একটি নতুন পণ্য তৈরি করতে সবসময় একই ডিজাইনের অনেকগুলি বিশেষায়িত অংশের পুনরাবৃত্তি জড়িত থাকে। ত্রি-ডি প্রিন্টিং- এক্ষেত্রে যুগান্তকারী শিল্পবিপ্লব ঘটিয়েছে, ডিজাইনারদের প্রকল্প বাস্তবায়নে কম্পিউটার এইডেড ডিজাইনে (CAD) সকল সংস্কার, পরিবর্তন, পরিবর্ধনের মাধ্যমে বিপ্লবী পরিবর্তন সূচিত হয়েছে। এই প্রক্রিয়া সফল হলে ত্রি-ডি প্রিন্টিংয়ের মাধ্যমে প্রোটোটাইপ মডেল

তৈরী করে বাস্তবায়নযোগ্য সম্ভাব্যতা যাচাই বাছাইয়ে ডিজাইনারদের একমত পোষণ করতে সহজতর হয়। প্রতিটি ধারণার জন্য আলাদা আলাদা সংস্করণ তৈরি করা যায়, ফলে প্রত্যেক ডিজাইনারগণ অত্যন্ত নিবীড় পরিচর্যায় প্রত্যেকটি সেগমেন্ট পরীক্ষা-নিরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ করে প্রদত্ত মতামতের ভিত্তিতে একটি চূড়ান্ত কর্মপরিধি ও কার্যকর পদক্ষেপ গ্রহণ করতে দীর্ঘ সময় ব্যয় করতে হয় না। এইভাবে ত্রি-ডি প্রিন্টিংয়ে ‘প্রডাক্ট প্রোটোটাইপ’ তৈরি করে তুলনা, সাদৃশ্য বৈসাদৃশ্য করার পূর্ণ স্বাধীনতা ও গঠনতাত্ত্বিক চিন্তার অবকাশ রয়েছে। উদাহরণ স্বরূপ ত্রিমাত্রিক পণ্য তৈরির ক্ষেত্রে বিশেষভাবে বিভিন্ন অংশ বিশেষের ‘ছাঁচ’, ডাইস, এবং টুলিং তৈরি অত্যন্ত ব্যয়বহুল। এছাড়াও পুরো প্রক্রিয়া বাণিজ্যিক ভাবে সফল হতে বেশ কয়েকবার ‘ছাঁচ’, ডাইস, এবং টুলিং তৈরি করতে হতে পারে এবং এটি একটি দীর্ঘ সময়ের ব্যাপ্তিও বটে। ত্রি-ডি প্রিন্টিংয়ে ‘প্রডাক্ট প্রোটোটাইপ’ তৈরিতে পুরো প্রক্রিয়াটি বিভিন্ন ধাপে খন্ড-খন্ড করে অল্প সময়ের মধ্যে স্বল্পব্যয়ে পর্যবেক্ষণমূলক নকশার প্রয়োজনীয়তা পূরণ করে। এই প্রক্রিয়াটি সমাপ্ত পণ্যের মতো সময়ের ব্যবধানকে চূড়ান্ত করে। এতে পর্যায়ক্রমিক সুবিধা ও সীমাবদ্ধতার দিকটি হলো: লেয়ার বাই লেয়ার প্রোডাকশন, ডিজাইনে অনেক বেশি নমনীয়তা এবং সৃজনশীলতার বহিঃপ্রকাশ ঘটে।

প্রথমত, কাঙ্ক্ষিত বস্তুর একটি ভার্চুয়াল নকশা তৈরী করা হয়। এই ডিজাইনটি ত্রিডি প্রিন্টার পড়ার (Reading) জন্য এটি ব্রুপ্রিন্টের মতো কাজ করবে। ভার্চুয়াল নকশাটি কম্পিউটার এইডেড ডিজাইন সফটওয়্যার ব্যবহার করে তৈরী করা হয়, যা এক বিশেষ ধরনের সফটওয়্যার, এটি সুনির্দিষ্ট অঙ্কন এবং প্রযুক্তিগত নকশা বা ইমেজ তৈরী করতে পারে। কখনও একটি ত্রিডি স্ক্যানার ব্যবহার করার মাধ্যমেও ভার্চুয়াল ডিজাইনটি তৈরী করা যেতে পারে, যা মূলত বিভিন্ন কোণ থেকে কাঙ্ক্ষিত বস্তু বা বিষয়ের একটি অনুলিপি তৈরী করে। ভার্চুয়াল মডেল প্রিন্টিংয়ের জন্য স্লাইসিং নামক একটি প্রক্রিয়া ব্যবহার করে মডেলটিকে অনেকগুলি স্তর ভেঙ্গে এটি করা হয়। স্লাইসিং মডেলটি নেয় এবং বিশেষ সফটওয়্যার ব্যবহার করে এটিকে শত শত বা এমনকি হাজার হাজার পাতলা, আনুভূমিক স্তরে ভাগ করে। মডেলটি কাটার পরে, স্লাইসগুলি ত্রিডি প্রিন্টারে আপলোড করার জন্য প্রস্তুত হয়। একটি ইউ.এস.বি ক্যাবল বা ওয়াই-ফাই সংযোগ ব্যবহার করে ত্রিডি প্রিন্টারে আপলোড করা হয়, তখন এটি মডেলের প্রতিটি স্লাইস পড়ে এবং স্তরে স্তরে মুদ্রণ করে। প্রিন্টিং কমান্ড অনুযায়ী প্রয়োজনীয় উপাদানসমূহ প্রিন্টারে দেয়া হয় এক্সট্রুডার এবং ফিলামেন্ট গরম করা ও গলতে থাকে। এই দ্রবীভূত উপাদান প্রিন্ট বেডের উপর এডেড প্রোগাম এবং জমা উপকরণ দ্বারা তৈরী একে অপরের উপর লেয়ার বাই লেয়ার পদ্ধতিতে আনুভূমিক, ক্রস, জিগজ্যাগভাবে একে অপরের সাথে হেক্সাগোনাল বা হানিকোম গঠন করে।

ফিজিক্যাল থেকে পিক্সেল প্রিন্টমেকিং মুদ্রণে উন্নয়ন, আরও স্পষ্টভাবে এর বিকশিত ভিজুয়াল ভাষা প্রিন্টমেকিং, স্পষ্টতই একটি বিবর্তনীয় প্রক্রিয়া, যেমন: প্রিন্টমেকিং পর্যায়ক্রমে আলিঙ্গন করে নতুন প্রযুক্তি: ইস্পাত খোদাই, কাঠের ব্লক, ফটোমেকানিক্যাল প্রক্রিয়া, লিথোগ্রাফি, স্ক্রিন-প্রিন্টিং এবং সম্প্রতি ডিজিটাল ইঙ্কজেট প্রিন্টিং ইত্যাদি স্তর, প্রিন্টমেকিং এর ভিজুয়াল শব্দ ভাষার উন্নয়ন দ্বারা চালিত হয়েছে। এটি সম্পূর্ণরূপে কেন্দ্রীভূত হয়েছে বিশেষভাবে দ্বি-মাত্রিক ডিজিটাল প্রিন্টারের অবিচ্ছিন্ন প্রয়োগ একীভূতকরণের উপর ইমেজ প্রসেস এবং ডিজিটাল ইঙ্কজেট প্রিন্ট সলিউশনের প্রয়োগ দ্বারা। এই ক্রিয়া যতই জটিল এবং জটিলতর হোক না কেন, শিল্পীর দৃষ্টি শেষ পর্যন্ত পূর্বনির্ধারিত, অ্যালগরিদমিক গণনা দ্বারা মধ্যস্থতা করবে। এছাড়াও শিল্পী অভূতপূর্ব



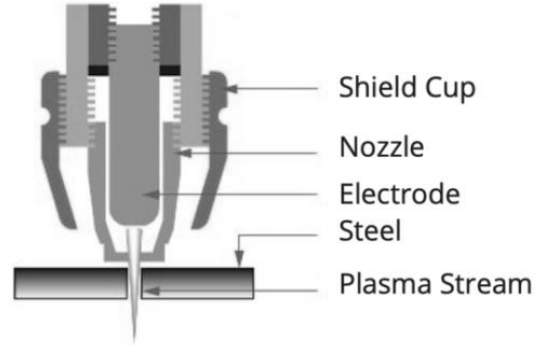


প্রযুক্তিগত উৎকর্ষতায় ছাপাইশিল্পের চর্চা ও প্রযুক্তির ব্যাপক ব্যবহার চারুশিল্পীদের জন্য নতুন সম্ভাবনার উৎস:

সৃজনশীল সম্ভাবনা এবং কি অফার এই প্রক্রিয়ার জন্য এখানে গুরুত্বপূর্ণ হল এবং কাজ করার সময় শিল্পী যে ভূমিকা নিয়ে আলোচনা করেন কম্পিউটারের সাথে সেটিই বিবেচ্য। কম্পিউটার নিজেই একটি হাতিয়ার নয়, এটি একটি মাধ্যমও নয়, তবুও এটি শিল্পীর জন্য অন্তহীনভাবে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ সরঞ্জাম। প্রিন্ট মিডিয়া এবং বেশিরভাগকে পুনরায় সংজ্ঞায়িত করার একটি সুযোগ প্রদান করে গুরুত্বপূর্ণভাবে নতুন ভিজুয়াল আর্ট ফর্ম তৈরিই এর মূল উদ্দেশ্য। যে কোনো নতুন প্রযুক্তির একটি মুহূর্ত পছন্দ, ভেক্টর অঙ্কন সফটওয়্যার ব্যবহার করে বিগত কয়েক বছর ধরে কাজের উপর স্থাপত্যকলায় ভবন, দালান বা বিল্ডিং তৈরি করা হয়েছে। Computer Numerical Control কাটিং হার্ডওয়্যার এবং প্রচলিত রিলিফ প্রিন্ট কৌশল। একটি ত্রি-মাত্রিক ফর্ম প্রস্তাব করে এই CAD-কম্পিউটার-এইডেড-ডিজাইন এবং CAM-কম্পিউটার-এইডেড-ম্যানুফেকচারিং এবং RP-রেপিড প্রোটোটাইপিং প্রযুক্তির উপর ভিত্তি করে প্রিন্টমেকিং পরিব্যপ্ত। কারণ রিলিফ প্রিন্ট প্রসেস, কাটিং, কার্ভিং ইত্যাদি ফাইন আর্ট বা শুদ্ধ শিল্পকর্ম তৈরীতে শিল্পীরা অনায়াসে CAD, CAM, CNC প্রক্রিয়ায় এনগ্রেভিং, লেজার কাটিং ইত্যাদিতে প্রযুক্তি নির্ভরতায় সময় ও আর্থিক সাশ্রয়ী কর্মপন্থা গ্রহণ করতে পারেন (Tess, 3D Printer and 3D Printing News, 2017)।

### প্লাজমা কাটিং

একটি প্রক্রিয়া যা গরম প্লাজমার একটি ত্বরিত জেটের মাধ্যমে বৈদ্যুতিকভাবে পরিবাহী পদার্থের মাধ্যমে কাঙ্ক্ষিত নকশা কাটা হয়। প্লাজমা টর্চ দিয়ে কাটা সাধারণ উপকরণগুলির মধ্যে রয়েছে ইস্পাত, স্টেইনলেস স্টিল, অ্যালুমিনিয়াম, পিতল এবং তামা, যদিও অন্যান্য পরিবাহী ধাতুগুলিও কাটা হতে পারে। প্লাজমা কাটিং প্রায়শই ফ্যাব্রিকেশন শপ, স্বয়ংচালিত মেরামত এবং পুনরুদ্ধার শিল্প নির্মাণ ও স্ক্র্যাপিং অপারেশনগুলিতে ব্যবহৃত হয়। কম খরচের সাথে মিলিত উচ্চ গতি এবং নির্ভুলতার কারণে প্লাজমা কাটিং



বৃহৎ আকারের শিল্প CNC অ্যাপ্লিকেশন থেকে শুরু করে ছোট শেখের দোকানের পণ্য সরবরাহে ব্যাপক ব্যবহার দেখা যায়। প্রাথমিক প্লাজমা কাটিং প্রক্রিয়ার মধ্যে রয়েছে সুপারহিটেড, বৈদ্যুতিকভাবে আয়নিত গ্যাসের একটি বৈদ্যুতিক চ্যানেল তৈরি করা, যেমন প্লাজমা কাটিং থেকে প্লাজমা কাটিং ওয়ার্কপিসের মাধ্যমে, এইভাবে একটি গ্রাউন্ডিং ক্ল্যাম্পের মাধ্যমে প্লাজমা কাটিংয়ে ফিরে একটি সম্পূর্ণ বৈদ্যুতিক সার্কিট তৈরি করা হয়। এটি একটি সংকুচিত গ্যাস (অক্সিজেন, বায়ু, জড় এবং অন্যান্য উপাদান কাটিংয়ের উপর নির্ভর করে) দ্বারা সম্পন্ন হয় যা ওয়ার্কপিসের দিকে উচ্চ গতিতে একটি ফোকাসড অগ্রভাগের মাধ্যমে প্রস্ফুটিত হয়। একটি বৈদ্যুতিক চাপ, তারপর গ্যাসের মধ্যে সংগঠিত হয়, একটি ইলেক্ট্রোডের কাছাকাছি বা গ্যাসের অগ্রভাগ এবং ওয়ার্কপিসের মধ্যে একত্রিত হয়। বৈদ্যুতিক চাপ কিছু গ্যাসকে আয়নিত করে, যার ফলে প্লাজমার একটি বৈদ্যুতিক পরিবাহী চ্যানেল তৈরি হয়। কর্তনকারী টর্চ থেকে বিদ্যুৎ এই প্লাজমাটির নীচে ভ্রমণ করার সাথে সাথে এটি ওয়ার্কপিসের মাধ্যমে গলে যাওয়ার জন্য পর্যাপ্ত তাপ সরবরাহ করে। একই সময়ে, বেশিরভাগ উচ্চ-বেগ প্লাজমা এবং সংকুচিত গ্যাস গরম গলিত ধাতুকে উড়িয়ে দেয়, যার ফলে কাঙ্ক্ষিত নকশা বা বস্তু আলাদা হয়ে যায়, অর্থাৎ ওয়ার্কপিসটি কেটে যায়। প্লাজমা কাটিং হল পাতলা এবং পুরু উপাদান একইভাবে কাটার একটি কার্যকর উপায়। সনাতন পদ্ধতিতে

আর্ক কাটিং এবং অক্সি-এসিটালিন গ্যাস কাটিং পদ্ধতিতে হাতে ধরা টচগুঁলি সাধারণত ৩৮ মিমি (১.৫ ইঞ্চি) পুরু স্টিলের প্লেট পর্যন্ত কাটতে পারে এবং শক্তিশালী কম্পিউটার-নিয়ন্ত্রিত টচগুঁলি ১৫০ মিমি (৬ ইঞ্চি) পুরু স্টিল কাটতে পারে। যেহেতু প্লাজমা কাটারগুলি ধাতু কাটার জন্য একটি খুব গরম এবং খুব স্থানীয় "শঙ্কু" তৈরি করে, তাই এগুলি বাঁকা বা কৌণিক আকারে শীট ধাতু কাটার জন্য অত্যন্ত উপযোগী। অতি সম্প্রতি এই পদ্ধতিতে বন্দর নগরী চট্টগ্রামের সরকারি হাজী মুহম্মদ মহসিন কলেজের সীমানা প্রাচীরে কবি, সাহিত্যিক, রাজনীতিবিদসহ প্রখ্যাত মনীষীদের প্রতিকৃতি স্থাপন করা হয়েছে। এছাড়াও শিল্পক্ষেত্রে বিভিন্ন যন্ত্রাংশ তৈরীতে CAD, CAM, CNC প্রক্রিয়ার ব্যাপক ব্যবহার শুরু হয়েছে।



CNC- Computer Numerical Control (কম্পিউটার-সংখ্যাগতভাবে-নিয়ন্ত্রিত কাটিং)

**মিলিং সিএনসি:** স্পিন্ডল (ওয়াকপিস) বিভিন্ন অবস্থান এবং গভীরতায় সরানোর জন্য নির্দিষ্ট সংখ্যা এবং অক্ষর সমন্বিত প্রোগ্রাম অনুবাদ করে। অভিযোজনের উপর নির্ভর করে একটি উল্লম্ব মিলিং কেন্দ্র (VMC) বা একটি অনুভূমিক মিলিং কেন্দ্র (HMC) হতে পারে। এক্ষেত্রে অনেকেই জি-কোড ব্যবহার করেন। ফাংশনগুলির মধ্যে রয়েছে: ফেস মিলিং, শোল্ডার মিলিং, ট্যাপিং, ড্রিলিং এবং কিছু বাঁক দেওয়ার অফার। আধুনিক সিএনসি সিস্টেমে, একটি যান্ত্রিক অংশের নকশা এবং এর উৎপাদন প্রোগ্রাম অত্যন্ত স্বয়ংক্রিয় অংশের যান্ত্রিক মাত্রাগুলি CAD সফটওয়্যার ব্যবহার করে সংজ্ঞায়িত করা হয় এবং কম্পিউটার-এডেড ম্যানুফ্যাকচারিং সফটওয়্যার দ্বারা উৎপাদন নির্দেশাবলীতে অনুবাদ করা হয়। ফলস্বরূপ নির্দেশগুলি "পোস্ট প্রসেসর" সফটওয়্যার দ্বারা একটি নির্দিষ্ট মেশিনের উপাদান তৈরি করার জন্য প্রয়োজনীয় নির্দিষ্ট কমান্ডগুলিতে রূপান্তরিত হয় এবং CNC মেশিনে লোড করা হয়। যেহেতু যেকোন নির্দিষ্ট উপাদানের জন্য বিভিন্ন সরঞ্জাম - ড্রিল, করাত ইত্যাদি ব্যবহারের প্রয়োজন হতে পারে - আধুনিক মেশিনগুলি প্রায়শই একটি একক "সেল" একাধিক সরঞ্জামকে একত্রিত করে। অন্যান্য ইনস্টলেশনে, একটি বাহ্যিক নিয়ন্ত্রক এবং মানবীয় ও রোবোটিক অপারেটরগুলির সাথে বিভিন্ন মেশিন ব্যবহার করা হয় যা উপাদানটিকে মেশিন থেকে মেশিনে স্থানান্তরিত করে। উভয় ক্ষেত্রেই, যেকোনো অংশ তৈরির জন্য প্রয়োজনীয় ধাপগুলির সিরিজ অত্যন্ত স্বয়ংক্রিয় এবং এমন একটি অংশ তৈরি করে যা মূল CAD অঙ্কনের সাথে ঘনিষ্ঠভাবে মেলবন্ধন ঘটায় (Thomas, "Paul G. 3D Printer and 3D Printing News. 2019)।

প্রযুক্তিগত উৎকর্ষতায় ছাপাইশিল্পের চর্চা ও প্রযুক্তির ব্যাপক ব্যবহার চারুশিল্পীদের জন্য নতুন সম্ভাবনার উৎস:

### সুবিধা ও সীমাবদ্ধতা:

লেয়ার বাই লেয়ার প্রোডাকশন ডিজাইনে নমনীয়তা এবং সৃজনশীলতা প্রকাশের ক্ষেত্রে প্রডাক্ট ডিজাইনারদেরকে উৎপাদনের জন্য নকশা করতে হবে না। বরং ডিজাইনাররা একটি নির্দিষ্ট অংশকে পুঞ্জানুপুঞ্জ ও শক্তিশালী ভাবে নকশা করবে যাতে তাঁরা পূর্ণ নকশাটি চূড়ান্ত করতে পারেন। অংশগুলি সম্পূর্ণরূপে পুনরায় ডিজাইন করা যেতে পারে যাতে তারা এমন অঞ্চলে শক্তিশালী এবং সামগ্রিকভাবে হালকা হয়। ত্রিমাত্রিক প্রিন্টিং উল্লেখযোগ্যভাবে ডিজাইন এবং প্রোটোটাইপিং প্রক্রিয়াকে গতিশীল করে। কোন সমস্যা নেই একবারে একটি অংশ তৈরি করা হলেও প্রতিবার এটি উৎপাদিত হলে নকশা পরিবর্তন করা সম্ভব। যে কোনো অংশ ঘন্টার মধ্যে তৈরি হতে পারে। নকশা চক্রকে তুলনামূলকভাবে দিন বা সপ্তাহের মধ্যে নিয়ে আসা, এছাড়াও যেহেতু কয়েক বছর ধরে ত্রিমাত্রিক প্রিন্টারের দাম কমেছে, কিছু ত্রিমাত্রিক প্রিন্টার এখন সাধারণ গ্রাহক বা ছোট কোম্পানির আর্থিক নাগালের মধ্যে। সাধারণভাবে ত্রিমাত্রিক প্রিন্টিংয়ের সীমাবদ্ধতার মধ্যে রয়েছে ব্যয়বহুল হার্ডওয়্যার এবং ব্যয়বহুল উপকরণ। ত্রিমাত্রিক প্রিন্টিং প্রতিটি ধরনের উৎপাদন পদ্ধতির উত্তর নয়; তবে তার অগ্রগতি ডিজাইন এবং ইঞ্জিনিয়ারিংকে আগের চেয়ে বেশি ত্বরান্বিত করতে সহায়তা করে। ত্রিমাত্রিক প্রিন্টার ব্যবহারের মাধ্যমে ডিজাইনাররা এক ধরনের শিল্প, জটিল বিল্ডিং এবং পণ্য তৈরি করতে সক্ষম, ডিজাইন এবং যন্ত্রাংশ তৈরিসহ আমরা ত্রিমাত্রিক প্রিন্টিংয়ের প্রভাব অনেক শিল্পে দেখতে শুরু করেছি। আশা করা যায় চারুকলা চর্চায় ত্রিমাত্রিক প্রিন্টিংয়ের প্রভাব বা ব্যবহার নব দিক নির্দেশনা বা সম্ভাবনার উৎসে পরিণত হবে।

### উপসংহার:

বর্তমান বিশ্বে অনেক ক্ষেত্রে ইতিমধ্যেই সক্ষমতাসহ ব্যাপক হাইব্রিড প্রিন্ট সমাধান পরিলক্ষিত হয়েছে। ফিজিক্যাল হিসাবে মুদ্রিত পৃষ্ঠ মাইক্রোডট এবং ৩-অক্ষের আরও ক্ষণস্থায়ী জগতের পথ প্রদর্শন করে মেশিন কোড, প্রিন্টমেকিং অনুশীলনে আমাদের বর্তমান সংজ্ঞাগুলি কীভাবে মোকাবেলা করে এই উন্নয়নে তা বিবেচ্য বিষয়। ড্রিডি প্রিন্টারগুলির সম্ভাব্য ভবিষ্যতের প্রয়োগের অনেক প্রতিশ্রুতিশীল ক্ষেত্র রয়েছে। নতুন ড্রিডি মুদ্রণ প্রক্রিয়াগুলি চারুশিল্পী, ভাস্কর, ডিজাইনার এবং প্রকৌশলীদের সৃজনশীল কর্মের জন্য ধারণা তৈরির যে দীর্ঘ সময় নেয় তা হ্রাস করেছে মূলত প্রোটোটাইপিং প্রক্রিয়াকে গতিশীল করার মাধ্যমে। সবচেয়ে প্রতিশ্রুতিশীল ক্ষেত্রগুলির মধ্যে রয়েছে চিকিৎসা অ্যাপ্লিকেশন, কাস্টমাইজড যন্ত্রাংশ প্রতিস্থাপন এবং কাস্টমাইজড ভোক্তা পণ্য উৎপাদনের শক্ত হাতিয়ার হিসেবে। উপকরণগত উন্নতি এবং খরচ সাশ্রয়ী অন্যান্য অ্যাপ্লিকেশন যা আমরা সবে কল্পনা করতে পারি। আজ সম্ভবত সর্বশ্রেষ্ঠ ড্রিডি প্রিন্টিংয়ের সম্ভাব্য ও সফল ব্যবহার বৃদ্ধির ক্ষেত্র হল 'চারুকলা'। ভাস্কর্য, পাবলিক স্পেসে নান্দনিক স্থাপনা, যে কোনো বৃহৎ স্থাপনা নির্মানের পূর্বে একই স্থাপনার একাধিক (বিভিন্ন কোণ থেকে দৃশ্যমান) প্রতিযোগিতামূলক মডেল ও নকশা তৈরি, ক্রেস্ট, উপহার সামগ্রী, স্যুভেনির ইত্যাদিতে ত্রিমাত্রিক প্রিন্টিং আদর্শ এবং চারুশিল্পীদের শিল্পকর্ম তৈরির নতুন সম্ভাবনাময় উৎস হবে এ কথা নির্দিধায় বলা যায়।

### তথ্যসূত্র

A.Ramya et-al, '3D Printing Technologies in Various Applications', International Journal of Mechanical Engineering and Technology', Volume7-issue3, may-June 2016.

Thomas, "3D printed jellyfish robots created to monitor fragile coral reefs," 3D Printer and 3D Printing News, 2018.

**The Chittagong University Journal of Arts and Humanities**

- Tess, "Indian jewelry brand Isharya unveils 'Infinite Petals' 3D printer jewelry collection," 3D Printer and 3D Printing News, 2017.
- Thomas, "Paul G. Allen's Stratolaunch space venture uses 3D printing to develop PGA rocket engine., 3D Printer and 3D Printing News. 2019
- David, "MX3D to install world's first 3D printed steel bridge over Amsterdam canal," 3D Printer and 3D Printing News, 2021.