

Machine Tool Control Laboratory (MTCL)



2021년 10월 19일(화)

**Ph.D. candidate
강 정 모**

▪ E-mail : jmkang@dankook.ac.kr

Introduction - Lab. members



◆ Professor



- 지도교수 : 지 성 철
- E-mail : scjee@dankook.ac.kr
- Tel. : (031) 8005 - 3504
- Office : 1공학관 512호

Major research area

- ✓ Computerized numerical controller (CNC)
- ✓ Real-Time machine tool control
- ✓ High speed & precision machining

◆ Students

Doctor of Philosophy (Ph.D.)	Master of science (M.S.)	Bachelor of science (B.S.)
1	6	3

- Tel. : (031) 8005 - 3528
- Office : 종합실험동 107호



저희 코딩합니다.

(제조업 취업 전반에 매우 도움이 되는 방향으로)

```
error' => $quote['error']
);
er = array();
$quotes as $key => $value) {
_order[$key] = $value['sort_order'];
tisor($sort_order, SORT_ASC, $quotes);
session->data['lpa']['shipping_methods'] = $quotes;
session->data['lpa']['address'] = $address;
($quotes)) {
['error'] = $this->language->get('
error_no_shipping_methods');
['quotes'] = $quotes;
($this->session->data['lpa']['shipping_method']) && !
($this->session->data['lpa']['shipping_method']) &&
($this->session->data['lpa']['shipping_method']['code']
['selected'] = $this->session->data['lpa']['
shipping_method']['code'];
['selected'] = '';
ror'] = $this->language->get('error_shipping_methods');
se->addHeader('Content-Type: application/json');
```

```
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
```

```
(this.paused = true)
}
if (this.$element.find('.next, .prev').length && $.support.transition) {
this.$element.trigger($.support.transition.end)
this.cycle(true)
}
this.interval = clearInterval(this.interval)
return this
}
Carousel.prototype.next = function () {
if (this.sliding) return
return this.slide('next')
}
Carousel.prototype.prev = function () {
if (this.sliding) return
return this.slide('prev')
}
Carousel.prototype.slide = function (direction) {
var $next = this.$element.find('.item.active')
var $next = next || this.getItemForDirection(type, $active)
var isCycling = this.interval
var direction = type == 'next' ? 'left' : 'right'
var fallback = type == 'next' ? 'first' : 'last'
var that = this
if (!$next.length) {
if (!this.options.wrap) return
$next = this.$element.find('.item')[fallback]()
}
if ($next.hasClass('active')) return (this.sliding = false)
var relatedTarget = $next[0]
var slideEvent = $.Event('slide.bs.carousel', {
relatedTarget: relatedTarget,
direction: direction
})
this.$element.trigger(slideEvent)
```

그것도 매우 실무적인

(코딩으로 어떠한 기계장치라도 정밀하게 제어해 보셨나요?)

```
error' => $quote['error'],
);
er = array();
$quotes as $key => $value) {
_order[$key] = $value['sort_order'];
tisor($sort_order, SORT_ASC, $quotes);
session->data['lpa']['shipping_methods'] = $quotes;
session->data['lpa']['address'] = $address;
($quotes)) {
['error'] = $this->language->get(
error_no_shipping_methods');
['quotes'] = $quotes;
($this->session->data['lpa']['shipping_method']) && !
($this->session->data['lpa']['shipping_method']) &&
($this->session->data['lpa']['shipping_method']['code'])
['selected'] = $this->session->data['lpa']['
shipping_method']['code'];
['selected'] = '';
ror'] = $this->language->get('error_shipping_methods');
se->addHeader('Content-Type: application/json');
```

```
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
```

```

    (this.paused = true)
}
if (this.$element.find('.next, .prev').length && $.support.transition) {
    this.$element.trigger($.support.transition.end)
    this.cycle(true)
}
this.interval = clearInterval(this.interval)
return this
}
Carousel.prototype.next = function () {
    if (this.sliding) return
    return this.slide('next')
}
Carousel.prototype.prev = function () {
    if (this.sliding) return
    return this.slide('prev')
}
Carousel.prototype.slide = function (type, $active) {
    var $next = this.$element.find('.item.active')
    var isCycling = this.interval
    var direction = type == 'next' ? 'left' : 'right'
    var fallback = type == 'next' ? 'first' : 'last'
    var that = this
    if (!$next.length) {
        if (!this.options.wrap) return
        $next = this.$element.find(fallback)()
    }
    if ($next.hasClass('active')) return (this.sliding = false)
    var relatedTarget = $next[0]
    var slideEvent = $.Event('slide.bs.carousel', {
        relatedTarget: relatedTarget,
        direction: direction
    })
    this.$element.trigger(slideEvent)
```

Our research
interest!

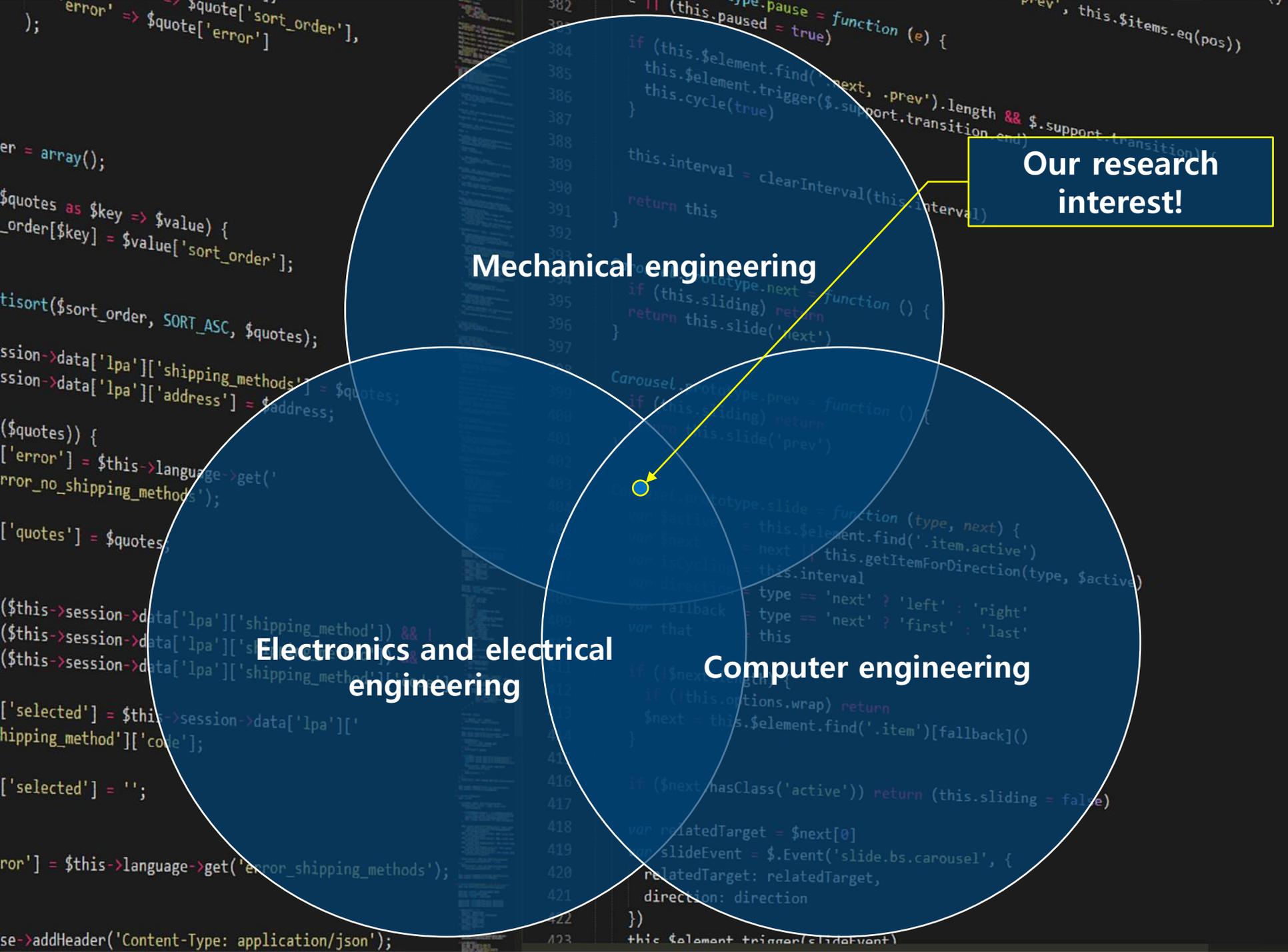
Mechanical engineering

기계공학만 알아서는...

(요즘 같은 시대에 경쟁력을 가졌다고 볼수만은 없지)

Electronics and electrical
engineering

Computer engineering



Our research interest!

Mechanical engineering

Electronics and electrical engineering

Computer engineering

Mechanical engineering

- 다축 로봇(5축 가공기) 기구 설계
- 이송 시스템 설계 및 운용
- 기계장비의 열변형 예측 및 보정
- 시스템 특성을 고려한 가공경로 최적화
- 기계장비 운용을 통한 실가공물의 품질 평가 등

Our research interest!

Solution: MTCL

(산업현장과 밀접한 매우 실무적인 R&D 경험을 할 수 있습니다)

Electronics and electrical engineering

- 실시간 서보 제어 시스템 구성
- 주변장치 PLC 제어 로직 구성
- 기계장비 특성을 고려한 서보 시스템 최적화
- 센서 기반의 각종 데이터 취득 시스템 구성 등

Computer engineering

- C/C++, C#, Matlab, Labview, python 등 컴퓨터 프로그래밍
- S/W 및 서보 시스템 간의 통신 프로토콜 구성
- 시스템 자동화 및 최적화 등 알고리즘 개발 및 프로그래밍

(참고: Smart factory와 매우 밀접함)

본인은 코딩도 공부도 잘하지 못한다고요?

(내가 과연 연구실에 들어가자마자 '연구' 같은 것을 할 수 있을까?)

```
error' => $quote['error'],
);
er = array();
$quotes as $key => $value) {
_order[$key] = $value['sort_order'];
tisor($sort_order, SORT_ASC, $quotes);
session->data['lpa']['shipping_method'] = $quotes;
session->data['lpa']['address'] = $addresses;
($quotes) {
['error'] = $this->language->get('error_no_shipping_methods');
rror_no_shipping_methods');
['quotes'] = $quotes;
($this->session->data['lpa']['shipping_method']) && !
($this->session->data['lpa']['shipping_method']) &&
($this->session->data['lpa']['shipping_method']['code']
['selected'] = $this->session->data['lpa']['shipping_method']['code'];
shipping_method']['code'];
['selected'] = '';
ror'] = $this->language->get('error_shipping_methods');
se->addHeader('Content-Type: application/json');
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
401
402
403
404
405
406
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
type.pause = function (e) {
    (this.paused = true)
}
if (this.$element.find('.next, .prev').length && $.support.transition) {
    this.$element.trigger($.support.transition.end)
    this.cycle(true)
}
this.interval = clearInterval(this.interval)
return this
}
Carousel.prototype.next = function () {
    if (this.sliding) return
    return this.slide('next')
}
Carousel.prototype.prev = function () {
    if (this.sliding) return
    return this.slide('prev')
}
Carousel.prototype.slide = function (type, direction) {
    var $active = this.$element.find('.item.active')
    var $next = type == 'next' ? this.getItemForDirection('next', $active) : this.getItemForDirection('prev', $active)
    var isCycling = this.isCycling()
    var direction = type == 'next' ? 'left' : 'right'
    var fallback = type == 'next' ? 'first' : 'last'
    var that = this
    if (!$next.length) {
        if (!this.options.wrap) return
        $next = this.$element.find('.item')[fallback]()
    }
    if ($next.hasClass('active')) return (this.sliding = false)
    var relatedTarget = $next[0]
    var slideEvent = $.Event('slide.bs.carousel', {
        relatedTarget: relatedTarget,
        direction: direction
    })
    this.$element.trigger(slideEvent)
}
```

잘 따라만 오세요. 잘하게 만들어 드립니다.

(참고: 충분히 강해질 때까지 트레이닝 후 연구 시킴)

```
error' => $quote['error'],
);
er = array();
$quotes as $key => $value) {
_order[$key] = $value['sort_order'];
tisor($sort_order, SORT_ASC, $quotes);
session->data['lpa']['shipping_methods'] = $quotes;
session->data['lpa']['address'] = $address;
($quotes)) {
['error'] = $this->get('error_shipping_methods');
error_no_shipping_methods);
['quotes'] = $quotes;
($this->session->data['lpa']['shipping_method']) && !
($this->session->data['lpa']['shipping_method']) &&
($this->session->data['lpa']['shipping_method']['code']
['selected'] = $this->session->data['lpa']['shipping_method']['code'];
['selected'] = '';
ror'] = $this->language->get('error_shipping_methods');
se->addHeader('Content-Type: application/json');
```

```
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
type.pause = function (e) {
    (this.paused = true)
    if (this.$element.find('.next, .prev').length && $.support.transition) {
        this.$element.trigger($.support.transition.end)
        this.cycle(true)
    }
    this.interval = clearInterval(this.interval)
    return this
}
Carousel.prototype.next = function () {
    if (this.sliding) return
    return this.slide('next')
}
Carousel.prototype.previous = function () {
    if (this.sliding) return
    return this.slide('prev')
}
Carousel.prototype.slide = function (type, next) {
    var $element = this.$element,
        $next = next || this.getItemForDirection(type, next),
        isCycling = this.isCycling,
        fallback = type == 'next' ? 'left' : 'right',
        var fallback = type == 'next' ? 'first' : 'last'
        var that = this
    if (!$next.length) {
        if (!this.options.wrap) return
        $next = this.$element.find('.item')[fallback]()
    }
    if ($next.hasClass('active')) return (this.sliding = false)
    var relatedTarget = $next[0]
    var slideEvent = $.Event('slide.bs.carousel', {
        relatedTarget: relatedTarget,
        direction: direction
    })
    this.$element.trigger(slideEvent)
```

**Our research
interest!**

Mechanical engineering

Solution: MTCL

(석/박사 과정 및 학부연구생 상시 모집)

**Electronics and electrical
engineering**

Computer engineering

Research interest

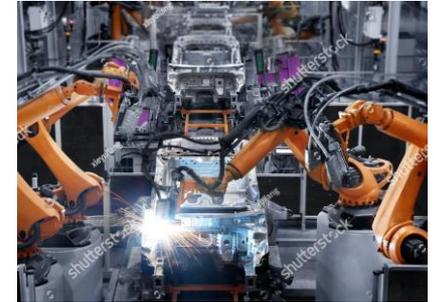


◆ 세상에 존재하는 수많은 기계 부품들은 누가 어떻게 만드는 것인가?

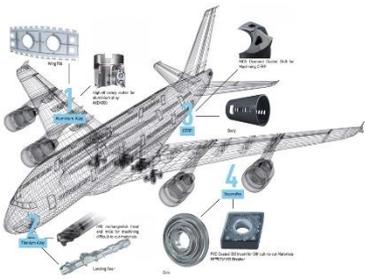
- ▶ 수만개의 자동차 부품, 항공기의 날개, 엔진, 스마트폰, 산업용 로봇, 방산 무기 등, 정교하게 제작된 기계 부품들은 대부분 공작기계를 통하여 생산된다 (우리 눈에는 보이지 않지만)



DMG MORI



www.dmgmori.com



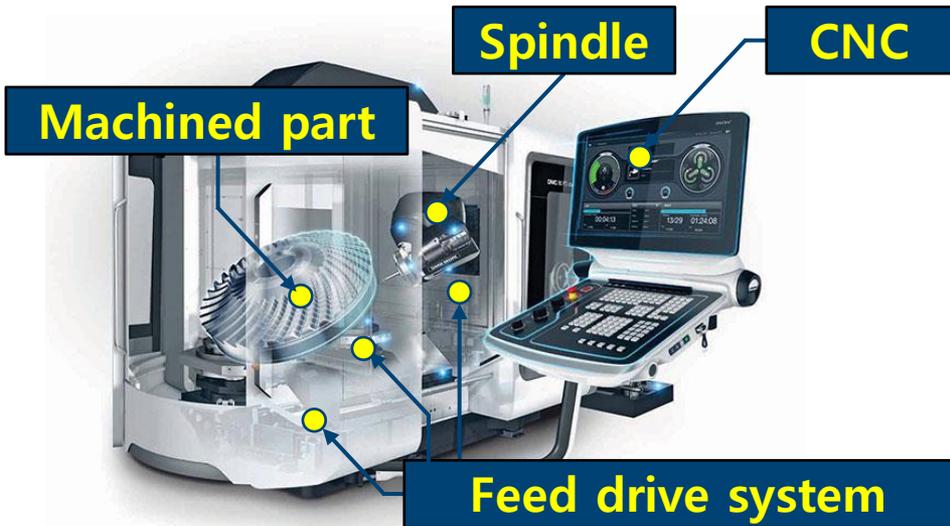
출처: <https://www.youtube.com/watch?v=PIC2bHUBBns>, DMG MORI The 5-Axis Champions 홍보자료

Research interest

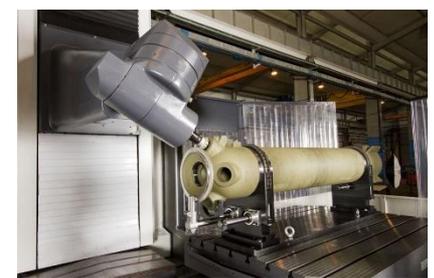
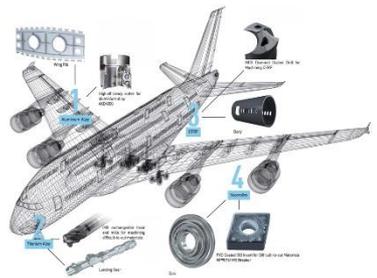


◆ 세상에 존재하는 수많은 기계 부품들은 누가 어떻게 만드는 것인가?

- ▶ 수만개의 자동차 부품, 항공기의 날개, 엔진, 스마트폰, 산업용 로봇, 방산 무기 등, 정교하게 제작된 기계 부품들은 대부분 공작기계를 통하여 생산된다 (우리 눈에는 보이지 않지만)



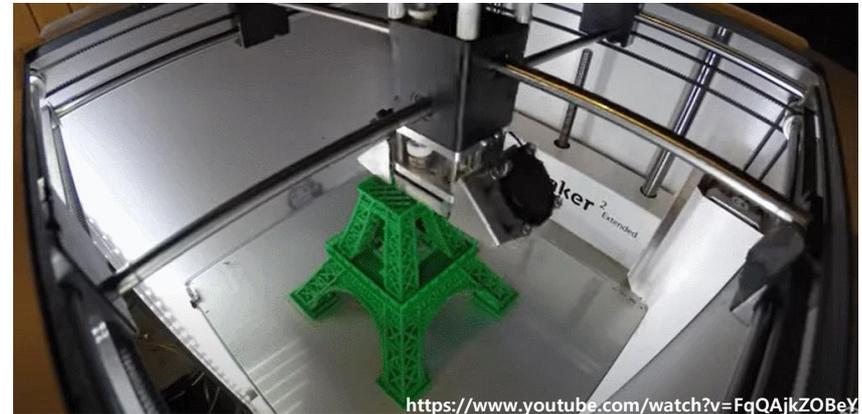
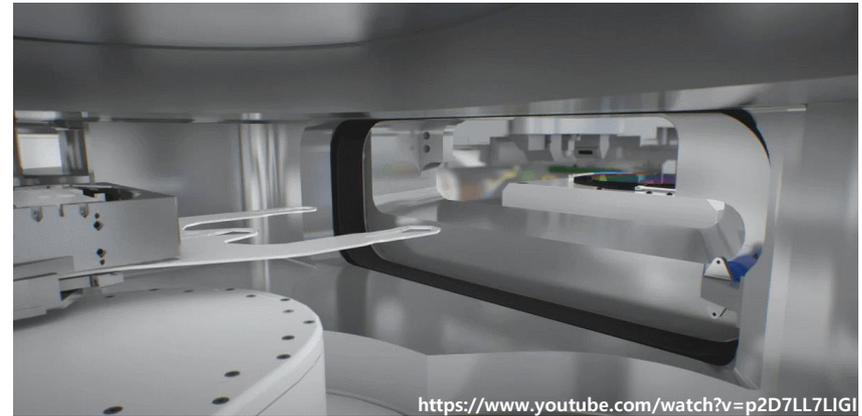
5-Axis machining center



출처: <https://metalworkingnews.info/large-dmg-mori-5-axis-milling-machine-investment-gears-up-titanus-slew-rings-for-new-business/>

Research interest

- ◆ CNC 기술은 공작기계 뿐만이 아닌 다양한 분야에 적용이 가능
 - ▶ 공작기계를 운용하고 정교하게 제어하는 CNC 기술은 공작기계 뿐만이 아닌, 산업용 로봇, 반도체 장비, 3D 프린터, 자동차, 자동화 설비 등 산업 전반에 적용이 가능

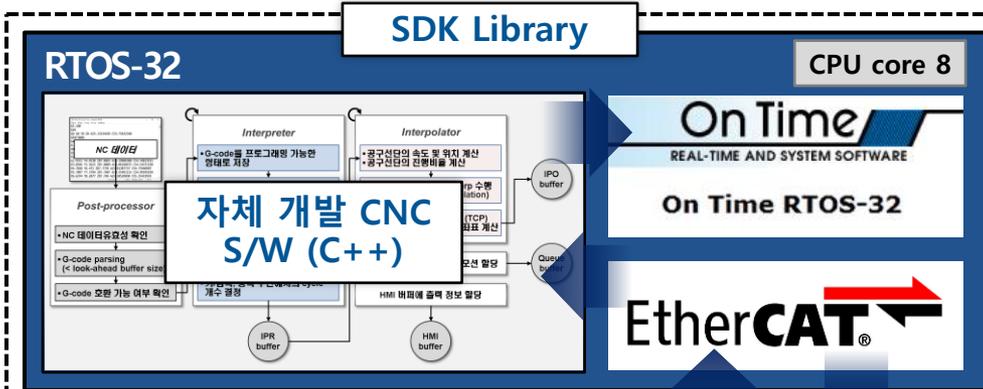


Research interest



◆ 고성능 CNC(computerized numerical controller) 개발 및 국산화

▶ 공작기계의 핵심 부품인 스마트 제어기(CNC) 개발 및 국산화, 다양한 고급 기술 개발



산업부, 스마트 제어기(CNC) 국산화 추진...기계산업도 日 넘는다

발행일 : 2020.06.21 16:00



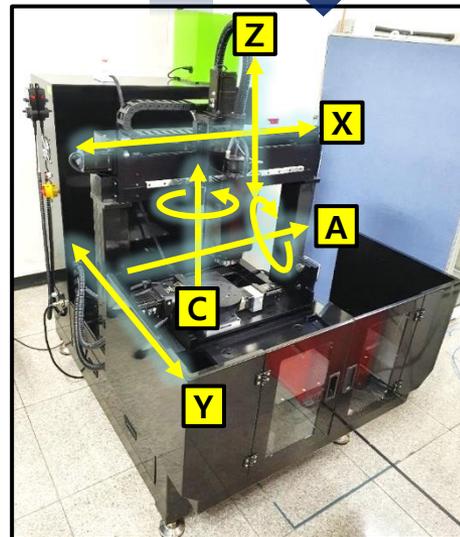
주식 "큰돈" 벌고 싶다면 "3가지 원칙" 꼭 지켜라! "화제"

정부가 공작기계 핵심 부품인 '스마트제어기(CNC)' 국산화에 나선다. 그동안 수입에 의존했던 CNC를 국내서 조달, 제조업을 위한 안정적 기반을 마련하겠다는 청사진을 제시했다. 작년 일본 수출규제 이후 본격 추진된 정부의 소재 부품 장비(소부장) 자립화에 가속이 붙었다.

21일 업계에 따르면 산업통상자원부는 최근 '2020년 제조장비 시스템 스마트제어기 기술 개발사업 신규지원 대상과 제'를 공고했다. CNC 국산화와 성능 고도화를 동시에 추진해 국내 제조 장비 시스템의 스마트 혁신을 현실화하는 게 골자다.

이번 사업의 최종 목적은 'CNC 국산화다. 총 예산 81억7000만원을 지원, 총 4개 과제를 공모한다. 한국산업기술평가관 리원(KEIT)가 사업을 전담하는 기관으로 지정됐다.

산업부는 "CNC 국산화로 국내 제조장비 산업과 제조업 전반의 안정적 생산기반을 확보하겠다"면서 "성능 고도화로 제조장비 시스템의 스마트 혁신을 선도할 것"이라고 사업 목표를 밝혔다.

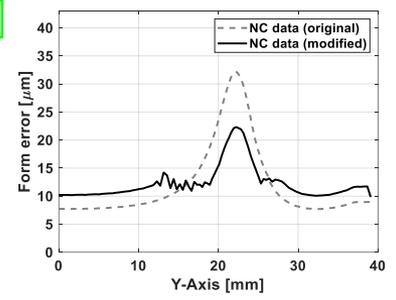
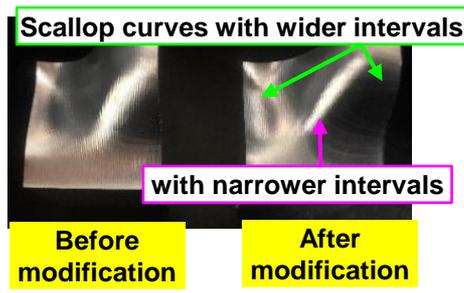
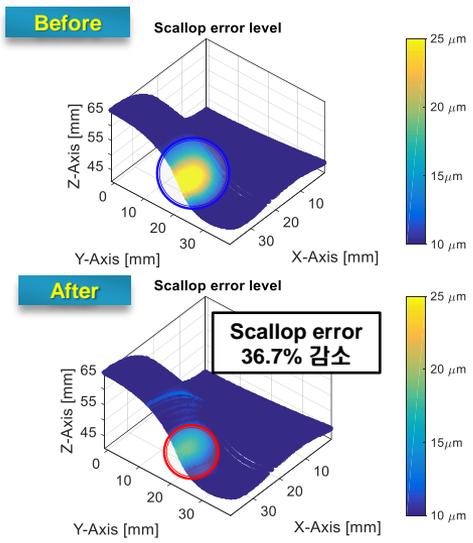
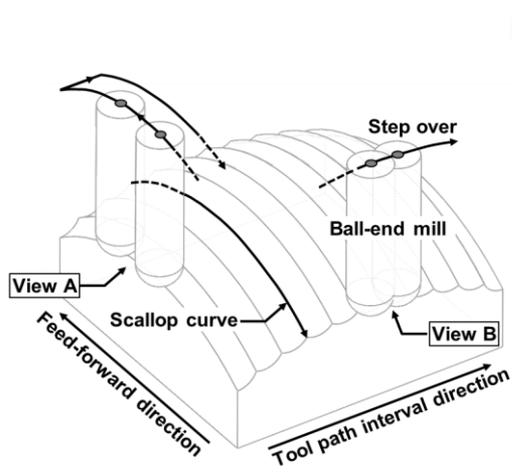
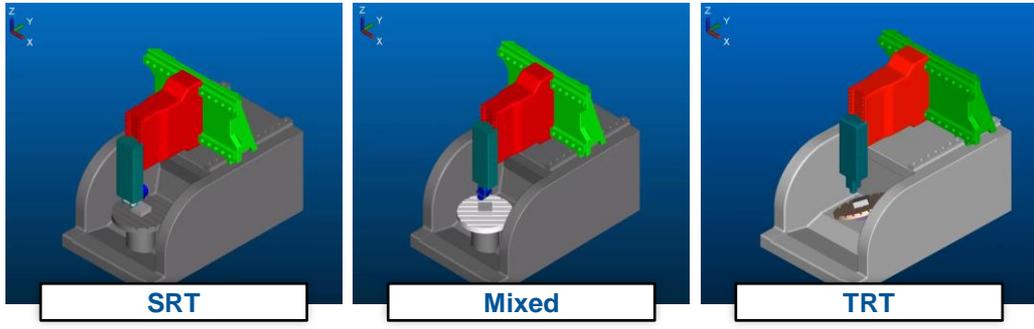


출처: https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1005391602, <https://etnews.com/20200619000184>

Research interest

5축 공작기계 high speed & precision machining 기술 개발 (1/2)

- ▶ 다양한 조합의 5축 공작기계 운용 기술 및 정밀도 향상 기술 개발
- ▶ 최적화 알고리즘을 활용한 가공경로(NC 데이터) 최적화 기술 개발 및 평가 수행



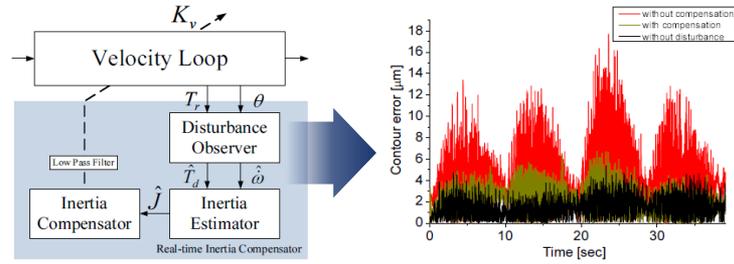
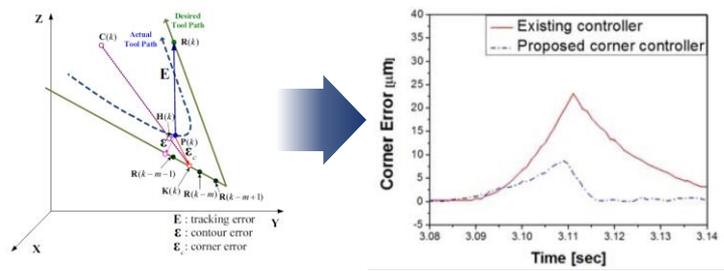
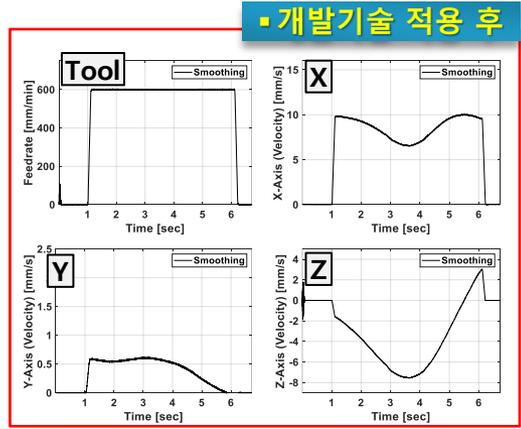
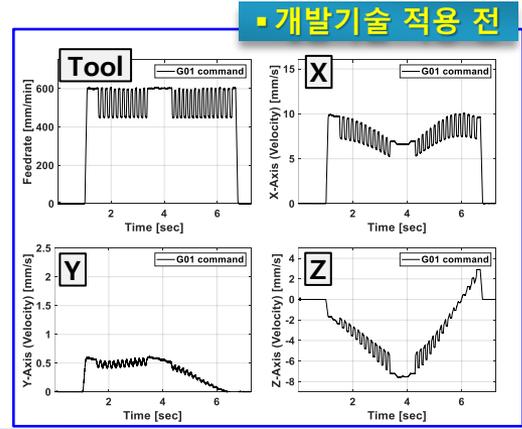
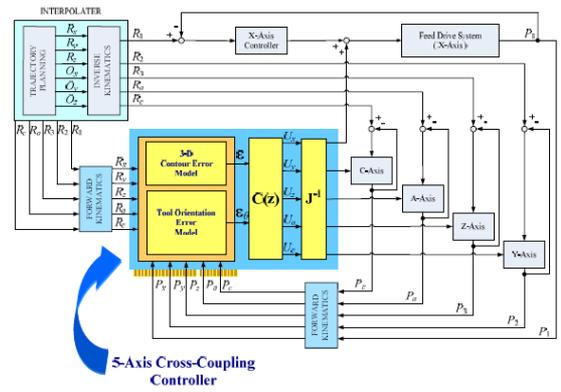
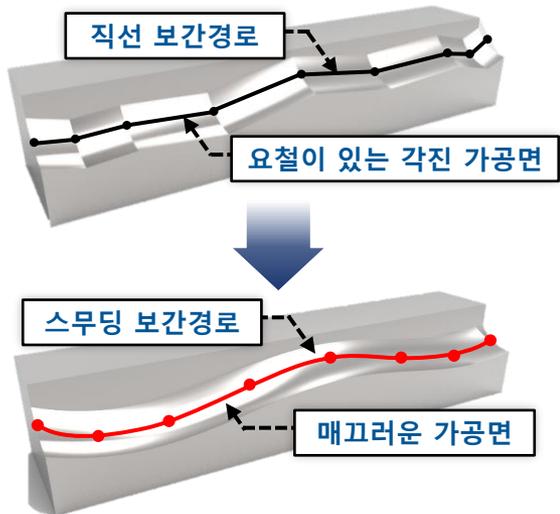
Comparison of measurement result				
	Before modification	After modification	Unit	Note
Form error (Max.)	32.11	22.14	μm	31.1% ▼
Number of blocks	9,885	10,007	Block	1.2% ▲

Research interest



5축 공작기계 high speed & precision machining 기술 개발 (2/2)

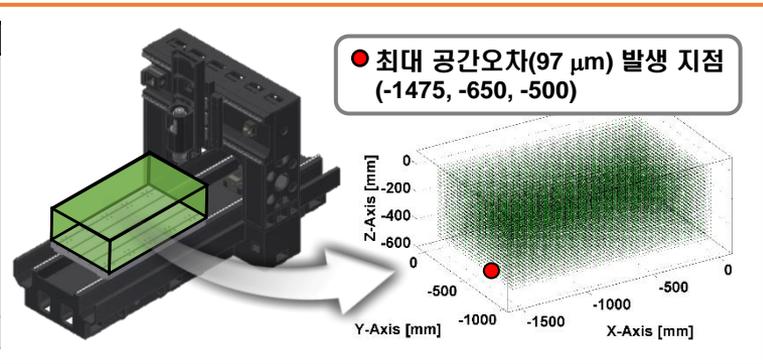
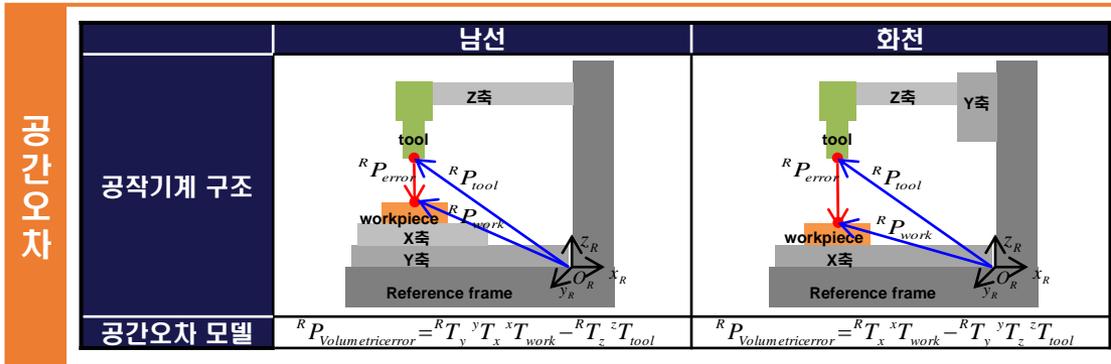
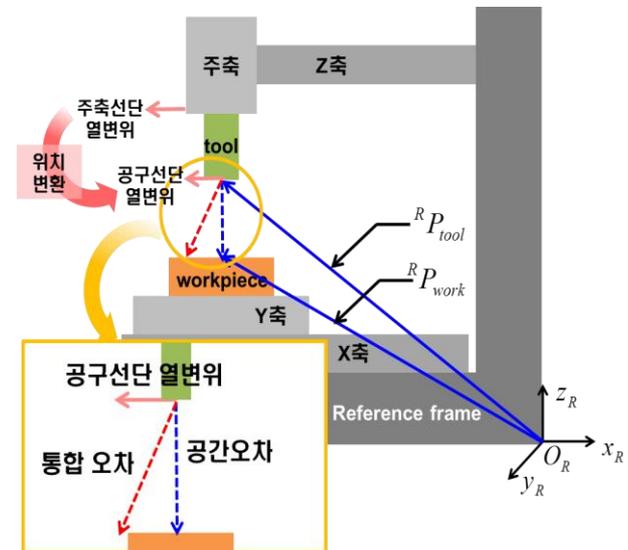
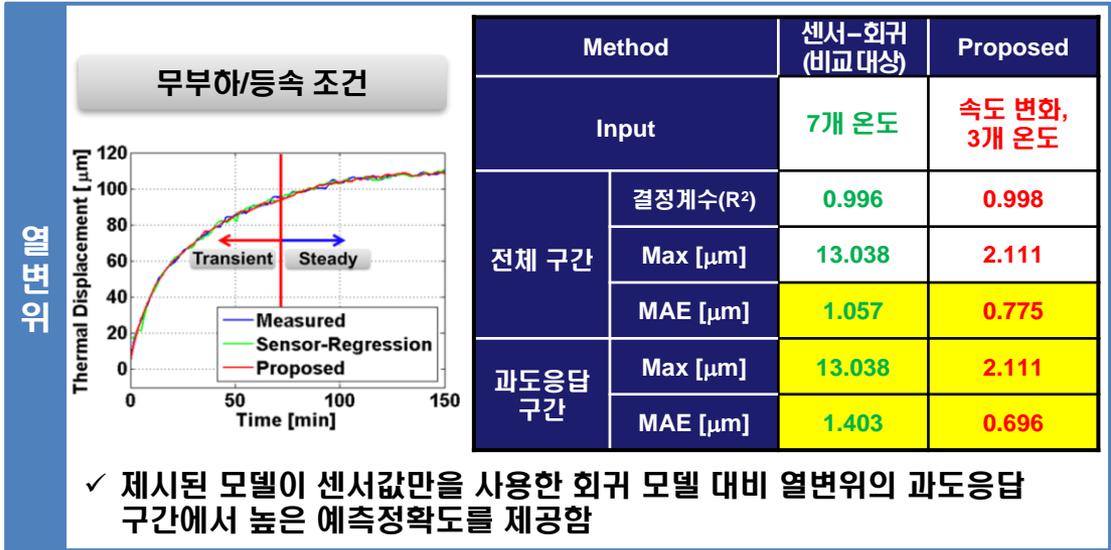
- 직선 근사된 가공경로를 스무딩 보간하는 방식의 윤곽오차 감소 기술 개발
- 다축 공작기계의 윤곽정확도 향상을 위한 다양한 제어기술 개발 및 실효성 평가



Research interest



- ◆ **공작기계의 열변위 및 공간오차 제어를 통한 고신뢰화 핵심기술 개발**
 - ▶ 공작기계 가공오차의 주요한 원인인 열변위 오차와 공간오차를 예측하는 기술 개발
 - ▶ 온도센서를 최소화하고 CNC 내의 정보를 사용함으로 효과적인 열변위 예측 시스템 개발



Research interest



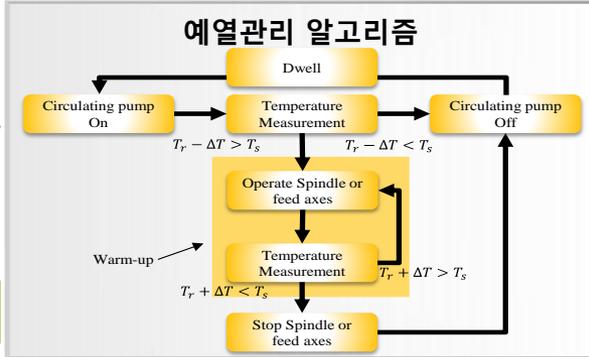
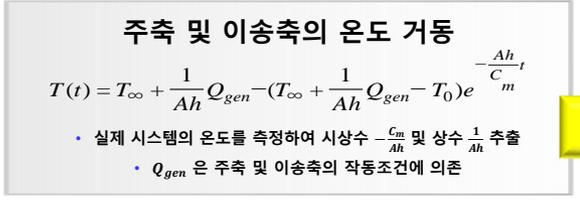
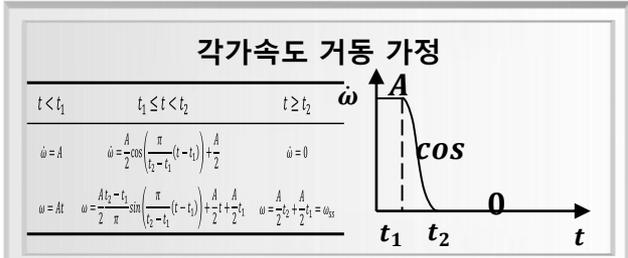
에너지 절감형 5축 머시닝센터 개발

- 머시닝센터 운용을 위한 전력소모에 따라 불필요한 에너지 소모가 추가 발생(주변장치)
- 가공, 비가공시 이송축과 주축의 열적 거동을 고려하여 주변장치의 에너지절감 기술 개발

모터 파라미터 추출

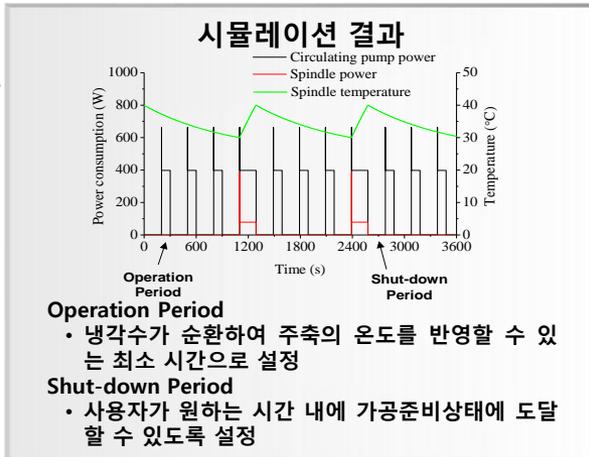
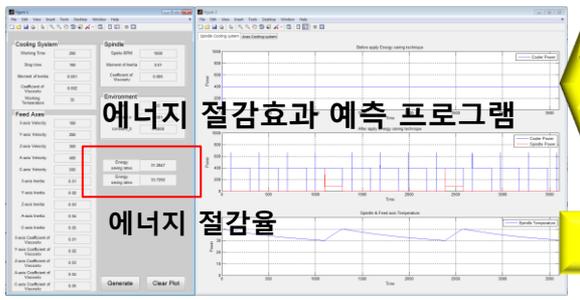
가공개시 요건에 필요한 최소 에너지 분석

주변장치의 지능형 단속 및 대기를 위한 관리 알고리즘 구성



측정값과 이론값의 오차 최소화

- $C = \eta \frac{P_{in,ss}}{\omega_{ss}^2}$ η : 모터 효율
- $J = \frac{2}{\omega_{ss}^2} (\int_0^T P_{in} dt - \int_0^T C \omega^2 dt - \int_0^T P_{loss} dt)$
- C : 모터의 점성계수, J : 모터의 관성모멘트



- 사용자에게 작업장의 온도에 따른 적정 정지기간 추천
- 정지기간을 설정하여 시뮬레이션을 통해 에너지 절감을 예측
- 예열관리 알고리즘 적용

모터의 손실전력 가정

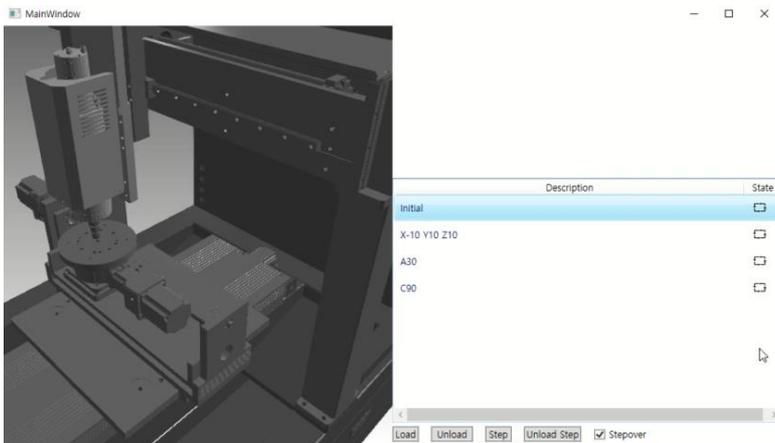
$$T(t) = T_{\infty} + \frac{1}{Ah} Q_{gen} - (T_{\infty} + \frac{1}{Ah} Q_{gen} - T_0) e^{-\frac{Ah}{C}t}$$

$$P_{loss} = \frac{P_{in,0} - (1 - \eta)P_{in,ss}}{I_{rms,0}^2 - I_{rms,ss}^2} (I_{rms}^2 - I_{rms,ss}^2) + (1 - \eta)P_{in,ss}$$

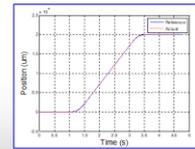
Research interest

◆ Digital twin 및 최적화 알고리즘 기반의 가공 성능 향상 기술 개발

- ▶ 공작기계 이송계의 system identification을 통한 digital twin 모델링 진행 중
- ▶ 기존 연구된 알고리즘 적용을 통하여, 모의 가공, 시스템 파라미터 최적화 수행 예정

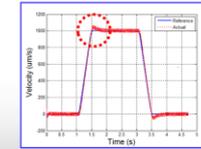


- Fitness function for single-axis motion



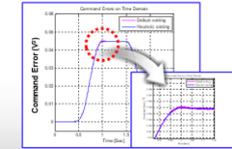
Performance Index 1

ITAE (Integral of Time-weighted Absolute Error)



Performance Index 2

Velocity Overshoot



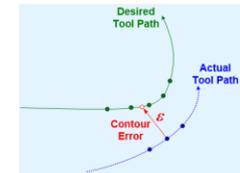
Performance Index 3

ISCO (Integral of Squared Controller Output)

Fitness Function

$$I = w_1 \int_0^T |e(t)| dt / ITAE_{\text{default}} + w_2 (\text{Velocity Overshoot}) / (\text{Velocity Overshoot})_{\text{default}} + w_3 \int_0^T u^2(t) dt / ISCO_{\text{default}} \quad w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

- Fitness function for contouring motion



Performance Index 1

ITACE (Integral of Time-weighted Absolute Error)

Performance Index 2

Maximum Contour Error

Performance Index 3

ISCO (Integral of Squared Controller Output)

Fitness Function

$$I = w_1 \int_0^T |e(t)| dt / ITACE_{\text{default}} + w_2 |\epsilon_{\text{max}}| / (\epsilon_{\text{max}})_{\text{default}} + w_3 \int_0^T (u_x^2(t) + u_y^2(t)) dt / ISCO_{xy, \text{default}} \quad w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

출처: <https://www.sme.org/technologies/articles/2020/october/siemens-advances-digital-twin-technology-for-machining/>

Ongoing project



- ◆ 스마트 제조장비용 CNC 제어시스템 기술 개발(산업통상자원부)
 - ▶ 차세대 스마트 CNC 개발을 위하여, 5축 공작기계의 보간 및 제어기술 개발을 목표로 함
 - ▶ 2020년부터 연구 프로젝트 진행 중
- ◆ 고품위 가공을 위한 NC 데이터 보정 및 보간 기술 개발(두산공작기계)
 - ▶ 다축 공작기계의 가공경로(NC 데이터) 최적화 및 고급 보간 기술 개발
 - ▶ 2021년부터 연구 프로젝트 진행 중
- ◆ 스마트 제조용 차세대 CNC R&D 전문인력 양성 사업(한국산업기술진흥원)
 - ▶ 차세대 CNC R&D 인력 양성 및 신기술 개발, 사업화 고용연계
 - ▶ 현재 전문인력 양성사업 기획 중으로 2022년부터 진행 예정

◆ 참여 컨소시엄



두산공작기계
Doosan Machine Tools



생산공학 연구실(MTCL)에서는 여러분들께 다음과 같은 혜택을 드릴 수 있습니다

1. 연구실 내 자리 배정 및 개인 PC 지원
2. 대학원 진학에 따른 매 학기 등록금(장학금) + α 지원 가능
3. 정부 및 기업 연구과제에 연구원으로서 직접적인 실무 참여 가능
4. 다양한 취업 연계 기회



Solution: MTCL

(석/박사 과정 및 학부연구생 상시 모집)

Thank You.