

대형 원심주조 파이프의 후처리 전 이동을 위한 이송 자동화장치의 설계

Design of a Transfer Automation Device for the Pre-processing Movement of Large Centrifugal Cast Pipes

이 규 조^{1b}, 김 갑 순^{1b}(Kyu-Jo Lee^{1,2} and Gab Soon Kim^{3,*})¹Department of Mechanical Convergence Engineering, Gyeongsang National University²HDH Co., Ltd³Department of Control & Robot Engineering (ERI), Gyeongsang National University

Abstract: This study presents the design of an automated conveying device for the pre-processing movement of large centrifugal cast pipes. Large cast iron pipes (size: 442 mm × 5700 mm × 45 mm, weight: 1.2 t) are manufactured using the centrifugal casting method. The manufactured pipes must be washed, ground, cut, and circumferentially chamfered manually. Herein, the mechanical component of the automatic transfer device before post-processing of the centrifugal casting pipe has been newly modeled, designed using SolidWorks software, and manufactured based on the design results. The characteristic test on the manufactured product confirms normal operation. Therefore, the device developed in this paper can be used to move a post-processing automation device for large centrifugal casting pipes.

Keywords: post-processing automated transfer device, centrifugal cast pipe, centrifugal casting, mechanical device

I. 서론

발전소에서 발생하는 석탄재는 보일러실에서 멀리 위치한 적재장소에 적재된다. 이와 같이 석탄재를 멀리 이송시키는 방법은 무게가 무겁고 크기가 큰 대형 주철파이프를 길게 연결하고 강한 공기압을 활용한다. 이 대형 파이프는 원심주조법 등 다양한 방법으로 제조된다.

Lee [1]은 제철소에서 냉연강관 생산용 롤러에 활용되는 재사용 가능한 롤러 파이프 개발에 원심주조법을 적용하였다. 이것은 용접 영역이 없어 유도 경화 및 가공 후에도 균일한 표면 경도와 일관된 경화 깊이가 보장되고, 특히 탄소와 크롬을 첨가한 롤러는 Hs70 이상의 표면 경도와 충분한 경화 깊이를 달성하여 재사용에 대한 안정성을 보장할 수 있다. Kim [2]는 탈수소 열처리한 메탈베어링 제작의 핵심적인 주조공정인 원심주조시스템에 대해 연구하였고, 이 시스템을 베어링 제작에 적용함으로써 생산성 및 제품의 품질 향상은 물론 작업자의 안전성 확보하였다.

Huang [3]은 진공 원심 주조 기술로 새로운 유형의 고성능 Ti-46Al 합금 튜브를 제작하였다. 이를 위해, 실험적 접근 방식과 ProCAST 시뮬레이션 방법론을 사용하여 주조물의 미세 구조와 기계적 성능에 주입 시간이 미치는 영향을 종합적으로 연구하였다.

Ti-46Al 합금의 실온에서 인장 강도는 650 MPa에 도달하고, 800°C에서의 인장 강도는 705 MPa에 도달하여 기존의 주조 Ti-Al 합금보다 매우 높았다.

Jurkovića [4]는 금형 회전 속도, 주입 온도, 예열 금형 온도, 주입 속도, 코팅 두께가 수직 원심 주조에서 응고 시간, 수축 기공률 및 용융 속도에 미치는 영향을 연구하였다. 계산 시간을 최소화하고 효과에 대한 적절한 추정치를 얻기 위해 ProCAST 소프트웨어를 사용하여 수치 시뮬레이션을 실시하였다. 분산 분석 결과 코팅 두께가 응고 시간과 수축 기공률에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 가장 짧은 응고 시간은 20.68초였고, 수축 기공률은 무시할 수 있었으며, 금형 회전 속도의 가장 높은 값과 주입 온도, 예열 금형 온도, 주입 속도 및 코팅 두께의 가장 낮은 값으로 달성되었다. Gholami [5] 알루미늄-황동 바이메탈 중공 실린더는 수직 원심 주조 공정을 사용하여 100 - 400 °C로 예열되고, 분당 800, 1600 및 2000회전으로 회전하는 황동 중공 실린더에 주조되었다. 이것의 계면의 접착력은 계면의 두께를 증가시킴으로써 감소했고, 파단 표면의 파단면 분석은 평평한 면(Al₂Cu 침전물)이 서로 고정되어 있고 깊은 함몰이 컵 모양의 움푹 들어간 부분(a-Al/Al₃Cu 공융)과 관련이 있음을 보여주었다. Niu [6]는 원위치에서 형성된 텅스텐 카바이드 입자로 강화된 철 기반 복합체는 원심 주조 공정을

*Corresponding Author

Manuscript received April 14, 2025; revised June 5, 2025; accepted July 4, 2025

이규조: 에이치디에이치(주) 기술연구소 부소장(dsc8230@hanmail.net ORCID[®] 0009-0005-4124-3943)

김갑순: 경상국립대학교 제어로봇공학과/ERI 교수(gskim@gnu.ac.kr, ORCID[®] 0000-0002-1753-3319)

※ 본 논문은 한국생산기술연구원 국가뿌리산업진흥센터에서 지원하여 연구하였음.

통해 회주철 기판에 제조되었고, 이것은 회주철 용융물의 적절한 주입 온도(1300 °C)는 시차 주사 열량 측정법으로 결정된 텅스텐 와이어의 용해 온도를 고려하여 선택되었다. 실험 결과, 두께가 약 3 mm인 복합재는 밀도가 높고 회주철 기판에 야금적으로 결합되었고, 이것은 더 높은 내마모성을 나타내었다.

원심주조법으로 제조되는 원심주조파이프는 파이프의 외부에 조형제 등의 이물질이 붙어있어 세척을 해야하고, 파이프 외경에 표면조도가 매우 거칠어 그라인딩을 실시해야 하며, 정해진 길이로 절단을 해야 한다. 이와 같은 과정을 원심주조 파이프의 후처리공정이라고 한다. 후처리공정은 원심주조 파이프의 후처리전 이송공정, 후처리 가공공정, 후처리후 이송공정으로 구분된다. 이와 같은 공정은 작업자가 고압세척장치, 그라인더, 절단장치 등을 가지고 모두 수동으로 수행하였다. 이 작업은 매우 어렵고, 작업시 발생하는 먼지 등의 환경으로 인해 근로자를 채용하기 어려우므로 원심주조 파이프의 후처리공정의 자동화가 필요하다. 원심주조 파이프의 후처리 자동화장치는 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치, 후처리 가공자동화장치, 후처리후 이송 자동화장치로 구분된다. 본 논문에서는 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치에 대해 연구하고자 한다. 관련 자동화장치의 연구결과는 다음과 같다.

Tiago [7]는 광석을 운반하는 이송장치를 설계 및 제작하였고, 이송장치의 속도는 저울을 사용하여 광물의 무게를 측정하여 조절하도록 제어하였으며, 그 결과 광물이 균등하게 이송장치에 분포되었다. Siami [8] 광산 현장에서 원자재의 지속적인 수평 운송에 사용되는 운반시스템을 설계 및 제작하였고, 시스템의 과열을 적외선 이미지를 분석하여 감지하는 방법을 개발하였으며, 실험결과, 위치와 모양을 정확하게 감지하는 것을 확인하였다. Hou [9]는 컨베이어 시스템을 이용한 반자동 피킹 시스템을 설계 및 제작하였고, 플래너에게 작업량 균형 잡힌 작업 할당 제안을 생성하기 위한 모델을 개발하였으며, 실험결과, 정확하게 동작됨을 확인하였다. Selver [10]는 이동시스템의 벨트 위를 이동하는 대리석 슬래브를 자동으로 분류하고 제어 메커니즘을 그룹화하는 새로운 전기 기계 시스템을 설계 및 제작하였고, 이것은 컨베이어 벨트, 직렬 포트 통신 시스템, 공압 피스톤, 프로그래머블 로직 컨트롤러(PLC) 및 제어 회로 등으로 구성되어 있으며, 실험결과 대리석을 안전하게 이동시킬 수 있었다. Mattone [11]은 산업에서 물체를 이동시키는 장치를 컨베이어 벨트를 활용하여 설계 및 제작하였고, 레이저와 CCD 카메라를 사용하여 물체를 정확하게 잡는 비전시스템을 구축하였으며, 실험결과, 다양한 물체의 위치를 정확하게 판단할 수 있음을 확인하였다. 지금까지 개발된 후처리 이송 자동화장치는 대형 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치로 사용될 수 없으므로 새로운 개념의 이송 자동화장치의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 대형 원심주조 파이프(크기: 442 mm × 5700 mm × 45 mm, 무게: 1.2 t(12,000 kg))를 후처리 자동화장치까지 이송시킬 수 있는 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치를 설계 및 제작하고자 한다. 대형 원심주조 파이프를 이동시킬 수 있는 이송 자동화장치를 개념설계하였고, 소프트웨어를 이용하여 구조해석을 실시하여 설계하였으며, 설계 결과를 토대로 제작하였다. 그리고 제작한 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 특성실험을 실시하였다.

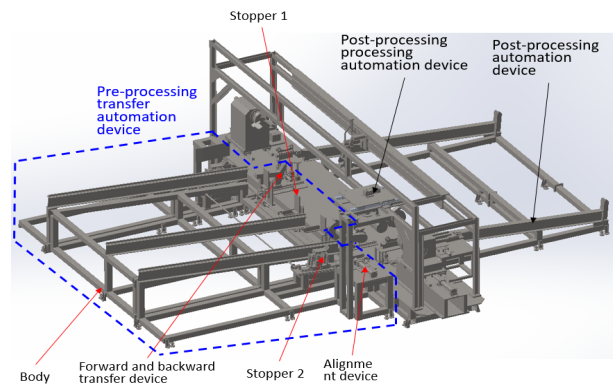
II. 대형 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치 설계

1. 대형 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치 구조

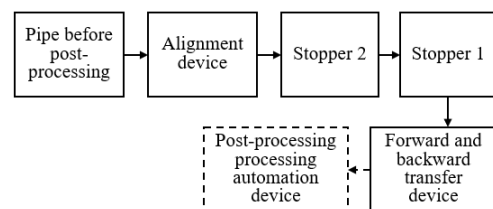
Fig 1은 대형 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치 구조를 나타내고 있고, (a)는 후처리전 원심주조 파이프가 없을 때, (b)는 후처리전 원심주조파이프의 동작순서도이다. 원심주조 파이프의 후처리 이송 자동화장치의 기계장치는 몸체(body), 스톱퍼 1(stopper 1), 스톱퍼 2(stopper 2), 파이프 정렬장치(pipe alignment device), 전후이송장치(forward and backward movement device) 등으로 구성된다.

원심주조 파이프의 이송 자동화장치의 동작 순서는 첫째, 후처리전 파이프 여러 개를 몸체(후처리전 진열장치) 위에 놓으면 파이프가 굴러 스톱퍼 1에 걸린다. 둘째, 파이프 정렬장치를 이용하여 파이프를 회전장치의 척에 정확하게 고정할 수 있도록 파이프를 밀어서 지지대에 밀착시켜 정렬한다. 셋째, 스톱퍼 2를 전후 및 상하 이동시켜 두 번째 파이프가 구르지 않도록 걸친 후 스톱퍼 1을 내려 첫 번째 파이프를 전후이송장치 위로 굴린다. 넷째, 전후이송장치는 후처리전 원심주조 파이프를 원심주조 후처리 가공자동화장치로 이동시킨다.

Fig. 1에 나타난 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 몸체는 원심주조 파이프의 후처리 자동화장치의 모든 부품을 고정하고 지지하고, 이것은 후처리전 진열장치(display unit before post-processing), 받침대 및 조정장치(stand and adjuster), 정렬장치 받침대(alignment device stand) 등으로 구성된다.



(a) Without pipe.



(b) Flowchart of operation.

그림 1. 대형 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치 구조

Fig. 1. Mechanical structure of the automatic transfer device before post-processing of large centrifugal casting pipe.

후처리전 진열장치는 프레임은 후처리전 원심주조 파이프를 최대 10개 진열할 수 있도록 설계하였고, 이것은 125 mm × 125 mm × 6 mm의 중공사각형강으로 구성되었으며, 원심주조파이프와 접촉되는 부분은 25 mm × 125 mm × 6 mm의 레일로 구성하였다. 받침대 및 조정장치는 조정장치는 나사와 판으로 구성되어 있고, 나사를 돌려 몸체 전체를 상하로 조정하며, 받침대는 조정되므로 몸체 위치에서 상하로 미끄러지지 않도록 고정한다. 이것은 하중이 집중되는 부분에 설치되었다. 파이프 정렬장치 받침대는 후처리전 파이프의 길이를 정렬하는 정렬 장치를 지지하는 역할을 한다. 중앙지지대는 회전장치, 상하이송 장치, 전하이송 장치 등이 고정되고, 안전과 무게 등을 고려하여 속이 비도록 설계하였다.

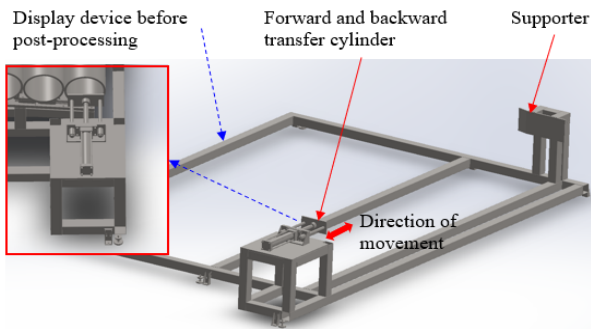


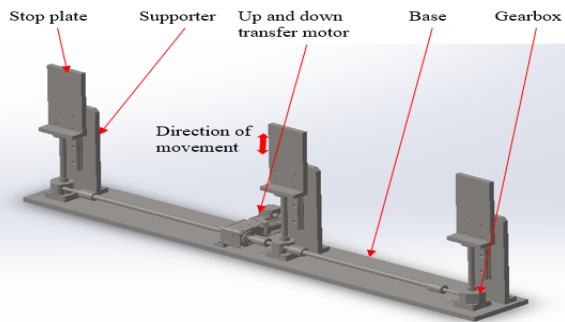
그림 2. 원심주조 파이프 후처리전 이송 자동화장치의 파이프 정렬장치의 구조.

Fig. 2. Structure of the pipe alignment device of the automatic transfer device before post-processing of centrifugal casting pipe.

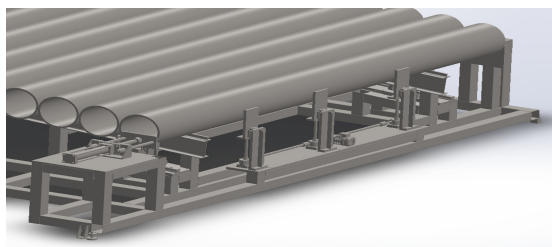
Fig 2는 원심주조 파이프 후처리전 이송 자동화장치의 파이프 정렬장치의 구조를 나타내고 있고, 이것은 파이프가 스톱퍼 1에 의해 정지되었을 때 회전장치 척에 고정되는 위치로 맞추는 역할을 하며, 빨간색 네모 안의 그림은 파이프를 정렬한 모습이다. 파이프 정렬장치는 지지대와 전하이송실린더로 구성되고, 지지대는 후처리전 진열장치에 고정되고, 이것의 위치는 회전장치의 척의 위치와 동일하다. 전하이송실린더는 후처리전 파이프를 길이방향으로 밀어 이동시키는 역할을 하고, 파이프와 두 개의 레일위의 5 mm이내의 면접촉을 고려하여 선정되었다. 모델은 THS1FA100C-300B-AB이며, 밀어 올리는 힘은 최대 1,000 kgf이다.

Fig 3은 원심주조 파이프 후처리전 이송 자동화장치의 스톱퍼 1의 구조를 나타내고 있고, (a)는 파이프가 없을 때, (b)는 파이프가 있을 때이며, 이것은 정지판 3개를 등간격으로 배치하여 후처리하기 위한 원심주조 파이프를 정지시키는 역할을 한다. 스톱퍼 1은 베이스(base), 정지판(stop plate), 지지대(supporter), 상하이송모터(up and down transport motor), 기어박스(gearbox) 등으로 구성된다. 베이스는 3개의 지지대를 고정시키고, 상하이송모터 및 기어박스를 고정시킨다.

정지판은 후처리전 파이프를 구르지 못하게 정지시키는 역할을 하고, 지지대의 LM가이드를 따라 상하로 이동하며, 위로 이동되었을 경우에 파이프를 정지시킨다. 지지대는 3개로 구성되어 있고, 베이스에 고정되어 있으며, 정지판에 걸리는 하중을 지지한다. 상하이송모터는 기어박스와 축을 이용하여 정지판(하중 31 kg)을 상하로 이동시키는 역할을 하고, 정지판의 무게를 고려하여 선정되었으며, 모델은 DYS30B-40N040 HC TYPE이고, 정격토크는 72.1 Nm이며, 기어비는 40:1이다. 스톱퍼 1은 정지판들을 올리면 후처리전 원심주조 파이프를 정지시키고, 정지판을 내리면 후처리 가공을 위해 파이프 스스로 전하이송장치로 굴러간다.



(a) Without pipe.



(b) With pipe.

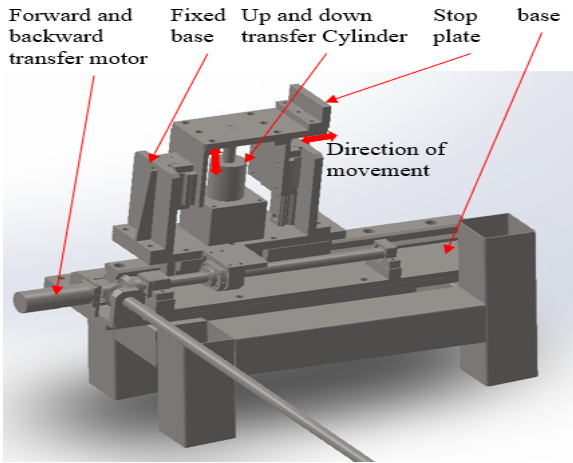
그림 3. 원심주조 파이프 후처리전 이송 자동화장치의 스톱퍼 1의 구조

Fig. 3. Structure of stopper 1 of the automatic transfer device before post-processing of centrifugal casting pipe.

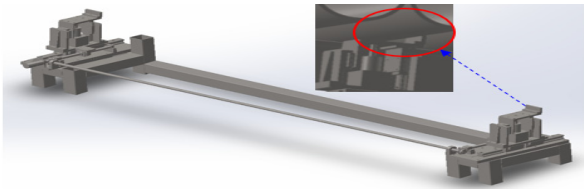
Fig 4는 원심주조 파이프 후처리전 이송 자동화장치의 스톱퍼 2의 구조를 나타내고 있고, (a)는 스톱퍼 2의 확대한 모습, (b)는 전체 모습이고 빨간색 원은 스톱퍼 2가 파이프를 정지시킨 모습이며, 이것은 정지판 2개를 배치하여 파이프가 굴러 내려 오지 않도록 정지시키는 역할을 한다. 스톱퍼 2는 베이스(base), 정지판(stop plate), 고정대(fixed base), 상하이송실린더(up and down transfer cylinder), 전하이송모터(forward and backward transport motor) 등으로 구성된다.

베이스는 후처리전 진열장치 위에 고정되고, 스톱퍼 2의 부품들을 고정 혹은 지지한다. 정지판은 두 번째 후처리전 파이프를 구르지 않도록 정지시키고, LM 가이드에 의해 고정대를 기준으로 상하이송실린더의 동작에 상하로 이동된다. 고정대는 “C”형태로 되어 있고 양측면에 LM 가이드가 고정되어 있으며, 상하이송실린더의 하부와 고정되어 있다. 상하이송실린더는 정지판을 상하로 이송하는 역할을 하고, 선정된 모델은 THC-FB50-50A이고, 밀어 올리는 힘은 최대 2,000 kgf이다. 이와 같은 용량의 실린더를 선택한 이유는 원심주조 파이프의 최대 무게가 1,200 kg이기 때문이고, 이것은 1.67 배이므로 충분한 성능을 가지고 있다.

전하이송모터는 기어박스와 축을 이용하여 정지판을 전후로 이동시키는 역할을 하고, 모델은 FBL-FB04AMK이며, 정격토크는 123 Nm이다. 기어박스는 전하이송모터의 회전력을



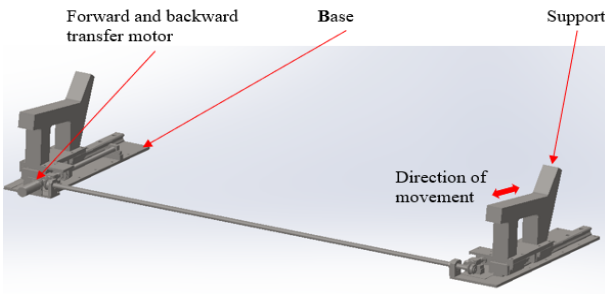
(a) Close-up of stopper 2.



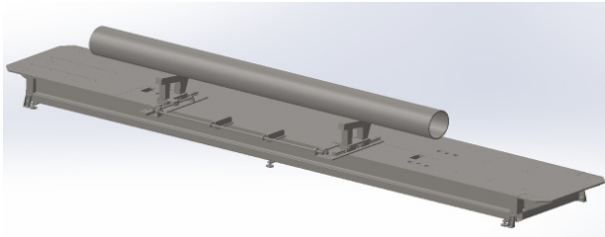
(b) Full view of stopper 2.

그림 4. 원심주조 파이프 후처리전 이송 자동화장치의 스톱퍼 2의 구조

Fig. 4. Stopper 2 of the automatic transfer device before post-processing of centrifugal casting pipe.



(a) Overall view of the forward and backward transport device.



(b) A view of the pipes on top of the forward and backward transport device.

그림 5. 원심주조 파이프 후처리전 이송 자동화장치의 전후이송장치의 구조

Fig. 5. Structure of the forward and reverse transfer device of the automatic transfer device before post-processing of centrifugal casting pipe.

축을 이용하여 정지판을 전후로 이송시키는 역할을 하고, 모델은 HSS0902B-B3110103C14이며, 기어비는 90:1이다. 스톱퍼 2는 정지판을 전후 및 상하로 이동할 수 있고, 전후 이동은 전후이송 모터에 의해 이동되고 원심주조 파이프의 직경(크기)에 따라 위치를 변경시키며, 상하 이동은 상하이송실린더에 의해 이동된다.

Fig. 5는 원심주조 파이프 후처리전 이송 자동화장치의 전후이송장치의 구조를 나타내고 있고, 이것은 후처리전 파이프를 회전장치의 중심위치로 이동시키는 역할을 하며, (a) 전후이송장치의 전체 모습, (b)는 전후이송장치 위에 파이프가 올려져 있는 모습이다. 전후이송장치는 베이스(base), 지지대(support), 전후이송모터(forward and backward transport motor)로 구성된다. 베이스는 지지대와 전후이송모터를 고정하고, LM 가이드가 고정되어 있다. 지지대는 후처리전 파이프를 올려놓으면 굴러갈 수 있도록 10° 경사를 가지도록 설계되어 있고, 전후이송모터의 구동에 의해 전후로 이동된다.

전후이송모터는 기어박스과 축을 이용하여 지지대를 전후로 이동시키는 역할을 하고, 모델은 FBL-FB04AMK이며, 정격토크 123 Nm이다. 사용된 기어박스의 모델은 HSS0902B-B3110103 C14이고, 기어비는 90:1이다. 전후이송장치는 전후이송모터의 구동에 의해 후처리전 파이프를 싣고 회전장치 중심축 위치로 이동하고, 이것은 파이프의 직경에 따라 정지하는 위치가 다르게 이동한다.

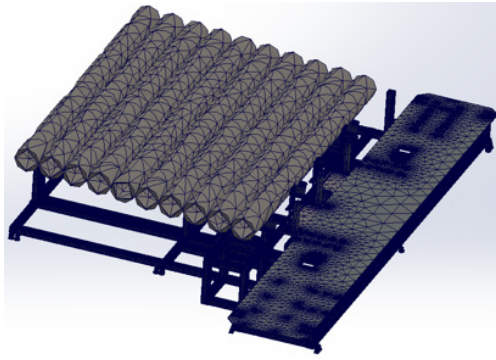
2. 대형 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치 설계

원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치를 안전하게 설계하기 위해서는 소프트웨어를 이용하여 구조해석을 실시해야 한다. 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치의 구조해석은 시스템이 매우 크므로 3개의 중요한 부품별로 나누어 실시한다. 기계장치의 몸체(골격)는 중공사각형강(125 mm × 125 mm × 12 mm), 받침대 등으로 구성되어 있고, 이것들의 재료는 S45C이고 항복강도는 345 MPa이다.

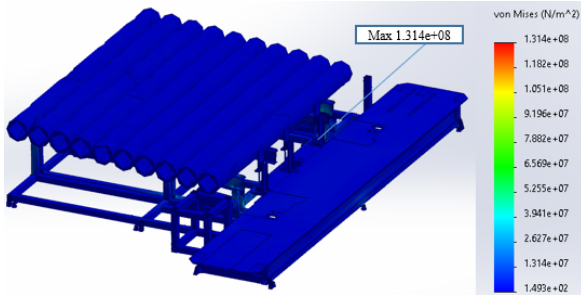
2.1 스톱퍼 1이 파이프를 지지할 경우 기계장치의 구조해석

Fig. 6은 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치의 스톱퍼 1이 파이프를 지지할 경우 기계장치의 구조해석 결과를 나타내고 있고, 이것은 원심주조 파이프(크기: ϕ 외경 442 mm × 길이 5700 mm × 두께 45 mm, 무게: 1.2 t) 10개가 놓인 실제 크기의 3차원으로 모델링하였다. 구조해석시, 구속은 바닥의 고정볼트와 고정되는 시스템 하부의 고정기구이고, 하중은 후처리전 원심주조 파이프의 자중, 모든 부품의 자중, 중앙지지대에는 지지대 위에 있는 부품의 자중을 계산하여 가하였다.

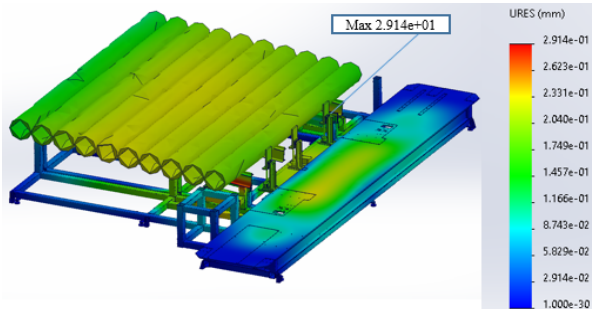
Fig. 6의 (a)는 메쉬한 모습을 나타내고, 이것은 하중이 집중으로 가해져 정확한 응력 및 변위가 필요한 부품들은 작은 크기(10 mm이하)로 나누고 그렇지 않은 부품은 큰 크기(10 mm~20 mm이상)로 나누었으며, 이와 같이 메쉬를 나눈 것은 부품수가 많고 전체 크기가 크기 때문에 개인 컴퓨터 용량의 한계로 인해 해석이 불가능하기 때문이다. (b)는 응력해석 결과는 최대 상당 응력이 131.4 MPa이었고, 이것은 사용한 부품 재료의 항복강도인 345 MPa과 비교하여 2.63배의 안전율을 가지고 있다. (c)는 변위해석 결과를 나타낸 것이고, 최대변위가 0.29 mm이었다.



(a) Mesh.



(b) Stress analysis results.



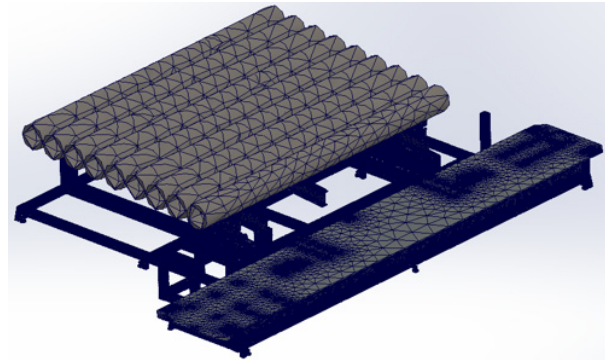
(c) Displacement analysis results.

그림 6. 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계 장치의 스톱퍼 1.

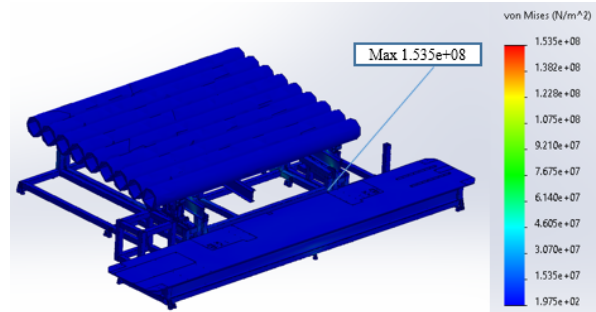
Fig. 6. Structural analysis results of the mechanical device when stopper 1 supports the pipe.

2.2 스톱퍼 2가 파이프를 지지할 경우 기계장치의 구조해석 결과 Fig. 7은 스톱퍼 2가 파이프를 지지할 경우 기계장치의 구조 해석 결과를 나타내고 있고, 이것은 원심주조 파이프(크기: Φ 외경 442 mm \times 길이 5700 mm \times 두께 45 mm, 무게: 1.2 t) 9개가 놓인 실제 크기의 3차원으로 모델링하였다. 구조해석시, 구속은 바닥의 고정볼트와 고정되는 시스템 하부의 고정기구이고, 하중은 후처리전 원심주조 파이프의 자중, 모든 부품의 자중, 중앙지지대에는 지지대 위에 있는 부품의 자중을 계산하여 가하였다.

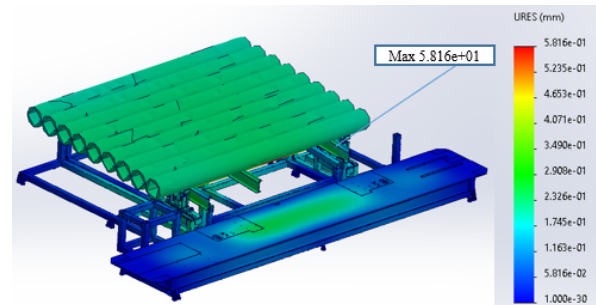
Fig. 7의 (a)는 메쉬한 모습을 나타내고, 이것은 “2.1 스톱퍼 1이 파이프를 지지할 경우 기계장치의 구조해석”과 같이 나누었 으며, 이와 같이 메쉬를 나눈 것은 부품수가 많고 전체 크기가 크기 때문에 개인 컴퓨터 용량의 한계로 인해 해석이 불가능하



(a) Mesh.



(b) Stress analysis results.



(c) Displacement analysis results.

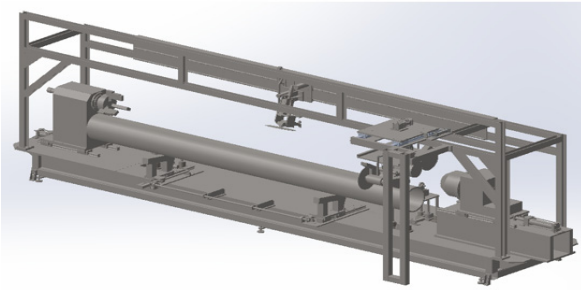
그림 7. 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계 장치의 스톱퍼 2.

Fig. 7. Structural analysis results of the mechanical device when stopper 2 supports the pipe.

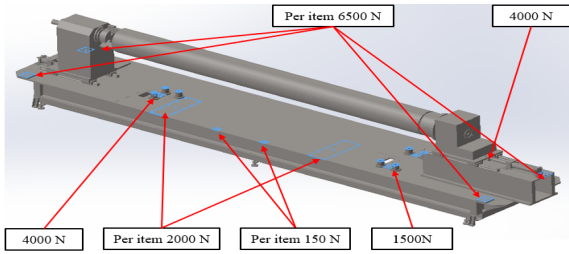
때문이다. (b)는 응력해석 결과는 최대 153.5 MPa이었고, 이것은 사용한 부품 재료의 항복강도인 345 MPa과 비교하여 2.25배의 안전율을 가지고 있다. (c)는 변위해석 결과를 나타낸 것이고, 최대변위가 0.58 mm이었다.

2.3 전후이송장치가 파이프를 지지할 경우 기계장치의 구조해석 결과

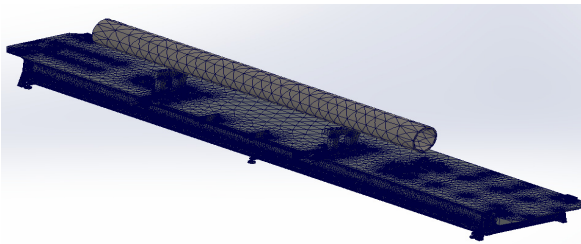
Fig. 8은 전후이송장치가 파이프를 지지할 경우 기계장치의 구조해석 결과를 나타내고 있고, (a)는 3차원 모델링한 모습을 나타내고 있으며, 이것은 회전장치의 척이 원심주조 파이프(크기: Φ 외경 442 mm \times 길이 5700 mm \times 두께 45 mm, 무게: 1.2 t) 1개를 전후이송장치 위에 놓은 실제 크기의 3차원으로 모델링하였다. (b)는 간략하게 모델링한 모습이고, 이것은 (a)에서 나타낸 모델은 제품의 크기가 크므로 필요한 파이프 1개와 전후이송장치만



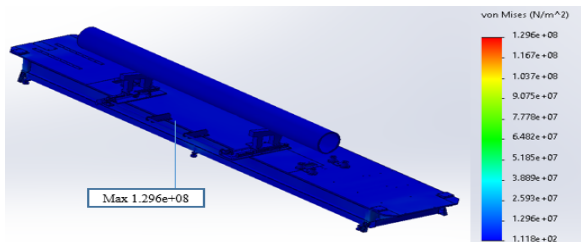
(a) 3D modeling.



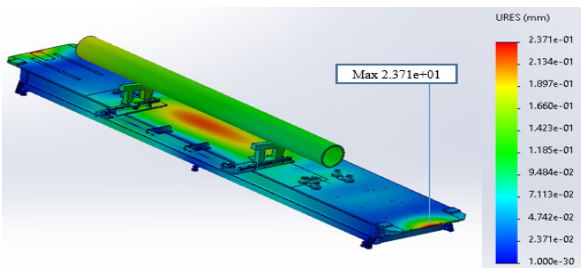
(b) Simplified modeling.



(b) Mesh.



(c) Stress analysis results.



(d) Displacement analysis results.

그림 8. 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계 장치의 스톱퍼 2.

Fig. 8. Structural analysis results of the mechanical device when stopper 2 supports the pipe.



(a) Transfer automation device without pipe.



(b) Transfer automation device with pipe.

그림 9. 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치.
Fig. 9. Manufactured automatic transfer device before post-processing of centrifugal casting pipe.

나타냈다. 구조해석시, 구속은 바닥의 고정볼트와 고정되는 시스템 하부의 고정기구이고, 하중은 모든 부품의 자중, 간략화한 부품은 실제의 무게를 하중으로 환산하여 가하였다.

Fig. 8의 (c)는 메쉬한 모습을 나타내고, 이것은 “2.1 스톱퍼 1이 파이프를 지지할 경우 기계장치의 구조해석”과 같이 나누었으며, 이와 같이 메쉬를 나눈 것은 부품수가 많고 전체 크기가 크기 때문에 개인 컴퓨터 용량의 한계로 인해 해석이 불가능하기 때문이다. (d)는 응력해석 결과는 최대 129.6 MPa이었고, 이것은 사용한 부품 재료의 항복강도인 345 MPa과 비교하여 2.66배의 안전율을 가지고 있다. (e)는 변위해석 결과를 나타낸 것이고, 최대변위가 0.24 mm이었다.

III. 대형 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치 제작 및 기초동작 실험

Fig. 9는 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치를 나타내고 있고, (a)는 이송 자동화장치에 파이프가 없는 상태, (b)는 파이프가 적재되어 있는 상태이다. 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치는 대형 원심주조 파이프(크기: 442 mm × 5700 mm × 45 mm, 무게: 1.2 t) 10개 총 12 t(12,000 kg)을 적재하였을 때 안전한 것으로 확인되었다.

Fig. 10은 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화

치의 파이프 정렬장치를 나타내고 있고, (a)는 원심주조 파이프가 없을 때의 파이프 정렬장치와 그것의 전후동작 모습이고, 밀음판이 125 mm 이동되었다. (b)는 유압의 힘으로 후처리전 원심주조 파이프를 밀어 정렬하였을 때의 파이프 정렬장치 모습이다. 파이프 정렬장치를 50회 이상 동작실험을 실시하였고, 특성실험결과, 파이프 정렬장치는 정상적으로 동작됨을 확인하였다.

Fig. 11은 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화 장치의 스톱퍼 1을 나타내고 있고, (a)는 원심주조 파이프가 없을 때의 스톱퍼 1과 그것의 상하동작 모습이고, 밀림출판이 200 mm 이동되었다. (b)는 원심주조 파이프를 지지하는 스톱퍼 1의 모습이다. 스톱퍼 1을 50회 이상 동작실험을 실시하였고, 특성실험결과, 스톱퍼 1은 정상적으로 동작됨을 확인하였다.

Fig. 12는 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화 장치의 스톱퍼 2를 나타내고 있고, (a)는 원심주조 파이프가 없을 때의 스톱퍼 2와 그것의 상하 및 전후동작 모습이고, 고정판이 상하와 전후로 각각 50 mm 이동되었다. (b)는 원심주조 파이프를 지지하는 스톱퍼 2의 모습이다. 스톱퍼 2를 50회 이상 동작실험을 실시하였고, 특성실험결과, 스톱퍼 2는 정상적으로 동작됨을 확인하였다.

Fig. 13은 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화 장치의 전후이송장치를 나타내고 있고, (a)는 원심주조 파이프가 없을 때의 전후이송장치와 그것의 상하 및 전후동작 모습이고, 지지대가 전후로 각각 430 mm 이동되었다. (b)는 원심주조 파이프를 지지하는 전후이송장치의 모습이다. 전후이송장치를 50회 이상 동작실험을 실시하였고, 특성실험결과, 전후이송장치는 정상적으로 동작됨을 확인하였다.



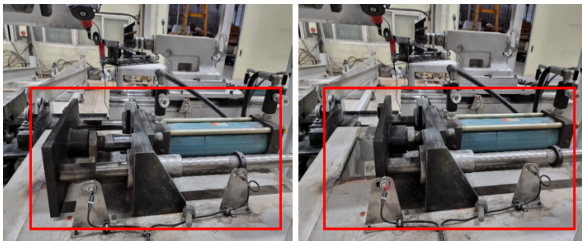
(a) Stopper 1 and its up and down movement without pipe.



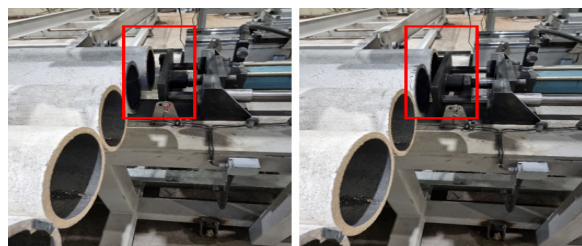
(b) Stopper 1 with pipe.

그림 11. 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화 장치의 스톱퍼 1.

Fig. 11. Manufactured stopper 1 of the automatic transfer device before post-processing of centrifugal casting pipe.



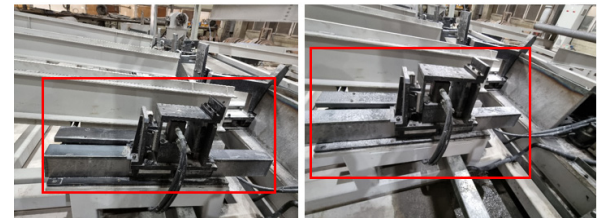
(a) Pipe alignment device and forward and backward movement without pipe.



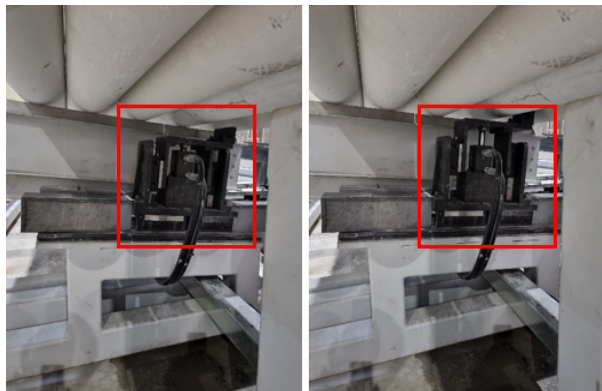
(b) Pipe alignment device and forward and backward movement with pipe.

그림 10. 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화 장치의 파이프 정렬장치.

Fig. 10. Manufactured pipe alignment device of the automatic transfer device before post-processing of centrifugal casting pipe.



(a) Stopper 2 and forward and backward movement without pipe.



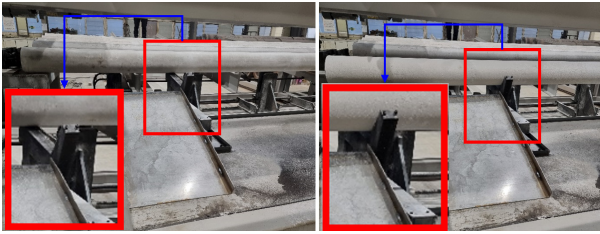
(b) Stopper 2 with pipe.

그림 12. 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화 장치의 스톱퍼 2.

Fig. 12. Manufactured stopper 2 of the automatic transfer device before post-processing of centrifugal casting pipe.



(a) Forward and backward movement of the forward and backward transport device without pipe.



(b) Forward and backward transport device with pipe.

그림 13. 제작된 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 전후이송장치.

Fig. 13. Manufactured forward and backward transport device of the automatic transfer device before post-processing of centrifugal casting pipe.

IV. 결론

본 논문에서는 대형 원심주조 파이프(크기: 442 mm × 5700 mm × 45 mm, 무게: 1.2 t)를 원심주조 파이프의 후처리 가공자동화장치까지 이동시킬 수 있는 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치의 기계장치를 설계 및 제작하였다. 이 기계장치는 새로운 모델로 개념설계되었고, 이것은 소프트웨어를 이용하여 설계되었다. 구조해석결과, 최대 상단응력이 153.5 MPa이었고, 안전율은 2.25이었으며, 최대변위가 0.58 mm이었다. 설계된 기계장치는 안전한 것으로 확인되었고, 장치의 크기에 비해 처짐도 매우 적은 것으로 판단되었다. 설계결과를 토대로 기계장치를 제작하였고, 제작된 장치의 진열장치에 후처리전 대형 원심주조 파이프 10개를 적재하였을 때 안전한 것을 확인하였다. 그리고 제작된 장치의 주요부품인 파이프 정렬장치, 스톱퍼 1, 스톱퍼 2, 전후이동장치의 동작실험을 파이프가 없을 경우와 파이프가 있을 경우로 구분하여 실시하였고, 그 결과 안전하게 동작됨을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 개발한 기계장치는 대형 원심주조 파이프를 원심주조 후처리 가공자동화장치에 이동시키는데 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

추후 연구는 후처리 원심주조 파이프의 가공자동화장치를 개발하고 이 장치에 본 논문에서 개발한 원심주조 파이프의 후처리전 이송 자동화장치를 부착하여 후처리전 원심주조 파이프의 후처리(세척, 그라인딩, 절단, 원주 모따기)의 특성 실험을 실시하는 것이다.

REFERENCES

[1] I. K. J. Lee, C. K. Song, and G. S. Kim, "Development of reusable roller pipes by centrifugal casting," *Journal of the*

Korean Society of Manufacturing Process Engineers, vol. 23, no. 10, pp. 55-62, 2024.
doi: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2024.23.10.055>

[2] J. H. Kim, C. G. Kim, J. Y. Byen, E. S. Lee, J. Y. Yang, and W. S. Choi, "Manufacturing system of centrifugal cast metal bearing by dehydrogenation," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, vol. 19, no. 5, pp. 111-117, 2020. doi: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2020.19.05.111>

[3] G. Huang, Q. Dang, C. C. Su, J. Zhao, C. Zhang, G. H. Liu, and Z. D. Wang, "Effect of pouring time on microstructure and mechanical properties of centrifugal cast Ti-46Al alloy tubes," *Research & Development*, vol. 22, no. 1, pp. 65-74, 2025. doi: <https://doi.org/10.1007/s41230-025-3171-9>

[4] K. Jurkovića, H. Cajnerb, P. Mrvarc, and B. Bauer, "Analysis of factor effects in process of vertical centrifugal casting," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 39, no. 3, pp. 386-397, 2024. doi: <https://doi.org/10.1080/10426914.2023.2236239>

[5] M. Gholami, S. G. Khiavi, A. Dehghani, M. Akbarifar, and M. Divandari, "Microstructure and mechanical properties of the interface of aluminum-brass bimetal produced via vertical centrifugal casting (VCC)," *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 18, pp. 1204-1216, 2024. doi: <https://doi.org/10.1007/s40962-023-01096-5>

[6] L. Niu, M. Hojamberdiev, and Y. Xu, "Preparation of in situ-formed WC/Fe composite on gray cast iron substrate by a centrifugal casting process," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 210, no. 14, pp. 1986-1990, 2010. doi: <https://doi-org.libproxy.gnu.ac.kr/10.1016/j.jmatprot.2010.07.013>

[7] T. A. Moraes, M. T. da Silva, and T. A. M. Euzébio, "Delay compensation in a feeder-conveyor system using the smith predictor: A case study in an iron ore processing plant," *Sensors*, vol. 24, no. 12, pp. 1-17, 2024. doi: <https://doi.org/10.3390/s24123870>

[8] M. Siami, T. Barszcz, J. Wodecki, and R. Zimroz, "Design of an infrared image processing pipeline for robotic inspection of conveyor systems in opencast mining sites," *Energies*, vol. 15, no. 18, pp. 1-21, 2022. doi: <https://doi.org/10.3390/en15186771>

[9] J. L. Hou, N. Wu and Y. J. Wu, "A job assignment model for conveyor-aided picking system" *Computers & Industrial Engineering*, vol. 56, no. 4, pp. 1254-1264, 2009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.07.017>

[10] M. A. Selver, O. Akaya, F. Alim, S. Bardakçı and

M. Ölmez, "An automated industrial conveyor belt system using image processing and hierarchical clustering for classifying marble slabs," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 27, no. 1, pp. 164~176, 2011.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.07.004>

- [11] R. Mattone, F. Galati and A. Wolf, "Automatic sorting of items on a moving conveyor belt: a neuro-fuzzy approach," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 31, no. 7, pp. 71~76, 1998.

[https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)40259-X](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)40259-X)



이 규 조

1985년 경남대 기계공학과 졸업. 1988년 동 산업대학원 석사. 2025년~현재 경상국립대 융합기계공학과 박사과정. 현재 HDH(주) 기술연구소 부소장. 관심분야는 원심주조 파이프, 원심주조 자동화시스템 설계.

김 갑 순

제어 · 로봇 · 시스템학회 논문지, 제17권 제5호 참조.