

부리산업 IT 융합 동향

류동현

ETRI 연구협력팀/팀장

dhryu@etri.re.kr

조관제

ETRI 연구위원

1. 개요
2. 부리산업 현황
3. 부리산업의 IT 융합 동향
4. 결론

1. 개요

부리산업이란 원재료를 소재나 부품으로, 부품을 완제품으로 생산하는 부품·소재 제조산업을 의미하며, 우리나라에서는 주조, 금형, 소성가공, 열처리, 표면처리, 용접을 6 대 부리산업으로 정의하고 있다. 나무에 열매가 풍성하게 열리고 잎이 울창하기 위해서는 양분을 공급하는 뿌리가 튼튼해야 한다. 제조업에서 부리산업은 모든 부품·소재 제조에 적용되어 완제품의 품질과 부가가치를 창출하는 출발점에 위치하여 나무의 뿌리와 같은 역할을 담당하고 있으며, 부리산업은 주조, 금형, 용접, 소성가공과 같이 부품(제품)의 형상을 제조하는 공정과 열처리 및 표면처리와 같이 부품·소재에 특수한 기능(고강도, 내마모성, 내식성 등)을 부여하는 공정으로 구분하고 있다.

열응용 부리산업은 작업환경의 낙후로 인해 내국인의 직무기피가 심한 산업으로 고에너지의 높은 열을 주로 사용하는 열응용 부리산업은 고열, 분진, 유해가스 발생 등으로 인해 제조환경이 매우 열악하고, 노동 강도가 크고, 각종 위험에 노출되어 있는 소위 3D (Difficult, Dirty, Dangerous) 산업으로 인식되어 내국인 및 청년들의 직무기피가 심한 산업이다. 또한, 에너지의 다소비, 온난화가스 배출이 많은 열응용 부리산업은 세계적으로 직면하고 있는 자원제약, 환경규제 및 인구제약에 대응할 수 있는 방향으로 발전이 필요하다. 또한 수요 제조업의 고도화 및 첨단화에 따른 고품질·고부가가치 제품제조 지원을 위한 뿌리기술, 설계·제조공정 고도화 기술, 사회적 요청과 제약 및 규제에 대응하기 위

* 본 내용과 관련된 사항은 ETRI 연구협력팀 류동현 팀장(☎ 042-860-5975)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 대구기계부품연구원에서 수행하고 있는 “열응용 부리산업의 SW 융합 제조공정혁신 지원사업”을 기반으로 함

*** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 NIPA의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

한 방향으로 발전이 필요하다.

본 고에서는 IT 융합을 통한 고품질·고부가가치의 부품·소재 생산을 위한 스마트 열응용 뿌리기술 동향에 대해 기술하고자 한다.

2. 뿌리산업 현황

가. 뿌리산업의 정의 및 분류

열응용 뿌리산업이란 부품·소재 제조 시 막대한 양의 열과 에너지를 사용하는 고에너지 응용기술로서 (그림 1)과 같이 6 대 뿌리산업 중에서 주조, 열처리, 용접·접합, 표면처리와 같은 에너지 다소비 산업을 의미한다[1].

- ① 주조: 금속재료를 로(furnace) 내에 장입하여 고온에서 녹여 액상으로 만든 후 주형(모래, 세라믹 또는 금속으로 만든 제품형상의 틀) 속에 주입·응고시켜 부품의 형상으로 만드는 기술이다. 이와 같은 일련의 공정으로 얻어진 제품을 주물 또는 주조품으로 정의 내리며, 국내 주조산업은 세계 8 위의 생산량은 양적으로는 세계적인 수준에 도달하였으나 기술 경쟁력을 바탕으로 한 질적 성장이 요구된다.
- ② 금형: 주물을 만들 때에 사용하는 철이나 그 밖의 금속으로 만든 주형, 또는 플라스틱 등의 성형용으로 사용되는 것으로, 세계 5 위 금형 생산 국가로 성장하였으나 중국 등의 급성장으로 인한 기술 및 단가 경쟁력 강화가 필요하게 되었다.
- ③ 소성가공: 점진성형, 정형성형, 고장력강성형 등 기술개발 수준 향상으로 전통적인 소성가공 공정으로부터 IT 화 및 자동화 전환이 필요하며, 차체부품, 파워 트레인 부품, 사시모듈 부품, 엔진 부품 등 핵심제품에 적용된다.



(그림 1) 원재료로부터 완제품의 제조과정 및 뿌리산업의 위치

- ④ 용접·접합: 금속 또는 비금속 소재 및 부품을 열 또는 압력을 이용하여 결합시키는 기술로서 용접(welding)은 접합하고자 하는 모재를 높은 열로서 용융시키는 기술이다. 브레이징 및 솔더링은 모재를 용융시키지 않고 삽입금속을 용융시켜 접합하는 기술로서 삽입금속의 용융 온도가 450℃ 이상인 경우를 브레이징(brazing), 450℃ 이하인 경우를 솔더링(soldering)으로 정의한다.

<표 1> 뿌리기술 분류 체계

| 중분류 | 소분류 | 주요 핵심공정 |
|-----------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------|
| 주조 (Casting) | 사형주조기술(Sand Casting) | 주조방안설계기술/조형기술 등 |
| | 금형주조기술(Permanent Mold Casting) | 주조방안설계기술/주형소재 및 가공기술 등 |
| | 다이캐스팅기술(Die Casting) | 다이캐스트 주조기 기술/다이캐스팅 주조공정기술 등 |
| | 특수주조기술(Special Casting) | 가압주조기술/정밀주조기술/연속주조기술 등 |
| | 주조재료기술(Casting materials) | 주철재료기술/주강재료기술 등 |
| 금형 (Dies & Molds) | 플라스틱금형기술(Plastic Dies & Molds Technology) | 사출금형설계기술/플라스틱 성형기술 등 |
| | 프레스금형기술(Press Mold Technology) | 프레스 금형설계기술/금속성형기술 등 |
| | 특수금형기술(Special Mold Technology) | 특수금형소재 기술/특수성형기술 등 |
| 소성가공 (Metal Forming) | 단조기술 (Forging Technology) | 자유단조 기술/형단조기술 등 |
| | 압출성형기술(Extrusion Technology) | 경량합금압출기술/클래드 압출기술 등 |
| | 판재성형기술(Sheet Metal Forming Technology) | 박판성형기술/후판성형기술 등 |
| | 인발성형기술(Drawing Technology) | 세선 성형기술/심리스 튜브 인발가공기술 등 |
| 열처리 (Heat Treatment) | 침탄기술(Carburizing) | 진공침탄/가스침탄/플라즈마침탄기술 등 |
| | 질화기술(Nitriding) | 가스질화/플라즈마질화/저압질화기술 등 |
| | 전경화기술(Total Hardening) | QT 열처리/진공열처리 등 |
| | 국부경화기술(Local Hardening) | 고주파경화/레이저경화/화염경화 등 |
| 표면처리 (surface Treatment) | 도금기술(Plating Technology) | 전해도금/무전해도금 등 |
| | 도장기술(Painting Technology) | 용제도장기술/분체도장기술 등 |
| | 건식코팅기술(Dry Coating Technology) | PVD/CVD/PECVD 등 |
| | 습식코팅기술(Wet Coating Technology) | 화성처리/양극산화/습식코팅 설비기술 등 |
| 용접접합 (Welding & Joining) | 용접공정기술(Welding Process) | 아크용접/저항용접기술/레이저용접 등 |
| | 용접기자재기술(Welding Equipment) | 아크 용접전원/와이어 송급기/캐리지 기술 등 |
| | 용접재료기술(Welding Consumables) | 탄소강/알루미늄/스테인리스강/오버레이/특수용접재료 기술 등 |
| | 접합공정기술(Joining Process) | 솔더링 실장 기술/플러팁 실장기술 등 |
| | 접합소재기술(Joining Materials) | 무연솔더기술/전기접속용 접착소재기술 등 |

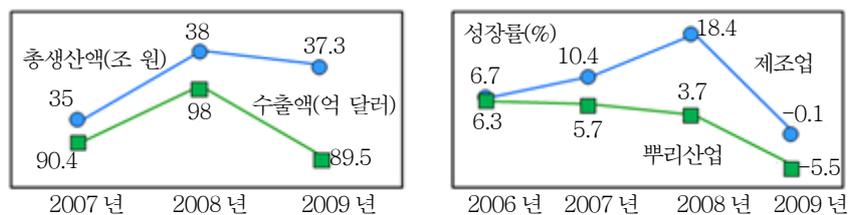
<자료>: 제조업의 원천, 뿌리산업의 현황과 발전전략, KEIT, 2011.

- ⑤ 열처리: 가열과 냉각을 반복하여 재료의 성질을 부품의 용도와 요구기능에 적합하도록 재료 내부의 미세조직(microstructure)을 제어하는 기술로서 열처리기술과 열처리에 관련된 설비기술을 총칭하여 열처리산업이라 하고, 열처리는 자동차 부품의 강도, 내마모·내피로 특성뿐만 아니라 성능 및 정밀도를 결정하며, 제조공정의 최종 단계에서 제품의 품질수준과 부가가치를 최종적으로 결정하는 기술이다.
- ⑥ 표면처리: 재료의 표면을 전기적, 물리적, 화학적으로 처리하여 모재를 특정 환경(내열, 내식, 마모 등)으로부터 보호하고, 모재와는 다른 기능·특성을 부여하여 부품의 내구성·기능성을 개선 또는 창출하거나 미관을 향상시켜 상품의 부가가치를 높이기 위해 모재에 모재와는 다른 재료를 접합·결합시키는 일종의 복합재료 기술을 총칭하며, 또한 이러한 처리를 통해 새로운 기능의 제품을 만드는 박막코팅도 포함한다.

나. 뿌리산업의 시장 현황

뿌리산업은 생산, 수출 및 고용에 있어서 큰 비중을 차지하는 국가 핵심산업으로 (그림 2)와 같이 2009년 기준 국내 뿌리산업 총생산액은 37.3조 원으로 GDP의 4.4%를 차지했으며, 매출규모 세계 10위로서 총생산액의 25%인 89.6억 달러(2009년 기준)를 수출했다[2].

2011년 자동차 수출액 684억 달러(69조 원)의 70%인 48조 원이 뿌리산업의 제품으로 국내 뿌리산업 총 고용은 21,000여개 업체(종사자 10인 미만 업체 14,000여개)에 약 33만 명(2008년 기준)이 종사(전체 제조업 고용 279만 명의 약 11.8%)하고 있다[3]. 우리나라에서의 뿌리산업의 성장률은 매년 둔화되는 추세로 특히 경제위기 이후 2009년에는 전체 제조업보다 성장률이 큰 폭으로 하락하여 우리나라의 제조업 기반이 흔들리고 산업의 공동화가 우려되는 상황이다.



(그림 2) 뿌리산업의 생산액, 수출액 및 성장률

<표 2> 글로벌 뿌리산업 시장 전망

(단위: 조 원)

| 구분 | | 소계 | 주소 | 금형 | 소성가공 | 열처리 | 표면처리 | 용접 |
|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 세계 시장 | 2008 | 1,466 | 308 | 107 | 772 | 169 | 95 | 15 |
| | 2013 | 1,745 | 298 | 137 | 953 | 208 | 130 | 19 |
| | CAGR | 3.5% | -0.7% | 5.1% | 4.3% | 4.2% | 6.5% | 4.8% |

<자료>: 생산기반 산업 시장분석보고서(딜로이트컨설팅, 2012) 참고

이에 반해, 세계 뿌리산업의 시장 전망은 <표 2>와 같이 연평균 3.5% 증가로 2013년에는 1,745 조 원까지 확대가 예상되며, 미래형자동차 차체, 휴대용 전자기기 등 감성기능 및 보호기능용 외장부품의 도금, 도장 등의 분야에 수요 증가를 예상하고 있다[4].

다. 뿌리산업의 특징

생산공정의 업스트림(Upstream)과 다운스트림(Downstream)을 연결하는 중간 공정을 담당하고 있어 겉으로 드러나지는 않으나 최종 제품에 내재되어 제조업 경쟁력의 근간을 형성하고 있다. 전통 제조업 강국인 일본, 독일 등의 선진국들은 뿌리산업을 쉽게 모방이 어려운 ‘기술 프리미엄’ 영역으로 인식하고 있다.

주력산업에 있어 뿌리산업이 차지하는 비중이 (그림 3)과 같이 전기전자(29%), 자동차(25%), 조선산업기계(24%) 등이다[5].

특히, 연간 660 만 대(2011년, 국내외 포함)의 자동차를 생산하는 세계 5위의 자동차



(그림 3) 주력산업과 뿌리산업의 연계성



(그림 4) 자동차 1대 생산에서 열응용 뿌리산업이 적용되는 비중

강국을 지속하고 나아가 상위로 진입하기 위해서는 자동차 제조에서 90%가 적용되는 열응용 뿌리산업의 절대적인 기술력 향상이 동반되어야 한다[6]. 자동차 1대 생산에서 뿌리산업의 비중은 부품 수 기준으로 90%(22,500 개), 무게 기준으로 86%(1.36 톤)나 차지하며, 단가기준 14%, CO₂ 배출기준 28%를 차지하고 있다[7].

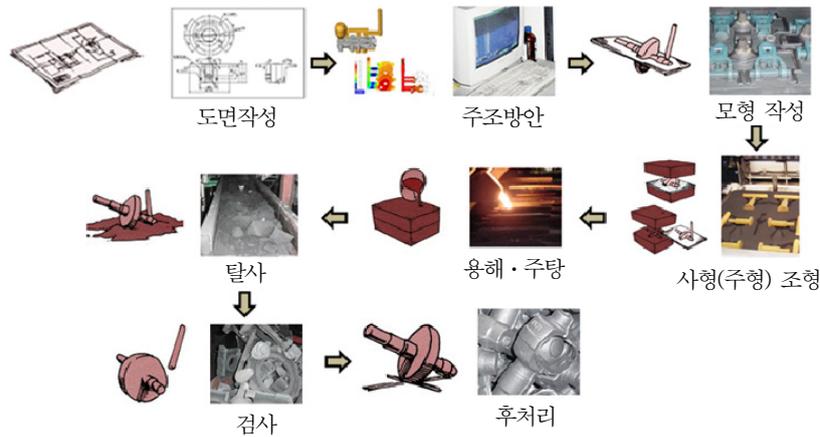
뿐만 아니라, (그림 4)와 같이 자동차 전체 부품에서 열처리 63%, 용접 20%, 주조 19%, 표면처리 19%가 적용되며, 자동차 분야에서 개발이 필요한 기술로 도출된 총 426 개의 핵심기술 중 30%인 128 개가 뿌리기술이다[8].

3. 뿌리산업의 IT 융합 동향

열응용 뿌리산업의 제조공정은 작업환경이 열악하여 인력수급에 어려움이 많고, 주로 사람에 의한 수작업으로 이루어지기 때문에 사람에 따라 제품의 품질 편차가 크고, 불량률이 높고, 생산속도의 저하로 인해서 기업의 경쟁력이 저하되고 있다. 이러한 현실을 극복하기 위해서는 제조공정을 스마트화하여 작업환경을 개선하고, 안정화하여 균일한 품질의 제품 생산이 필요하다. IT 융합화를 통한 기존 제조현장의 리엔지니어링 지원으로 데이터의 실시간 모니터링 및 관리·제어 시스템 조성 구축, 제조공정 스마트화를 통해 뿌리산업의 디지털 제조공정 혁신을 구현하고, 구조 고도화, 불량률 저감 및 생산성 향상을 통해 기업의 글로벌 역량 강화가 요구되고 있다[9].

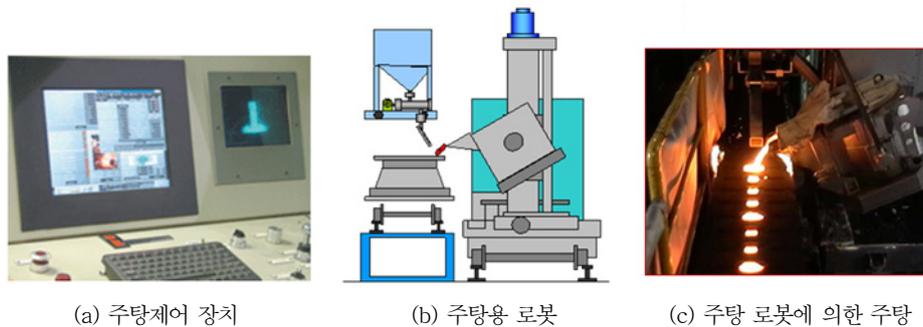
가. 주탕(쇳물 주입)공정의 자동화

주조에서 주탕공정은 품질을 결정하는 핵심공정이나, (그림 5)의 주물 제조과정과 같이 고온의 용탕에 의한 위험성이 매우 높아 직무기피가 심해 주로 외국인이 담당하고 있는 실정으로, 주탕공정은 용탕의 온도, 주형(제품 형상의 틀)과 주탕 사이의 거리, 주탕 시의 각도 등과 같은 경험적 의존 노하우에 따라 주입(용탕의 흐름)이 달라지고 그에 따라 주물의 품질이 결정되기 때문에 일본 등의 뿌리산업 강국을 비롯한 선도기업에서는 숙련에 의존하지 않는 균일한 품질확보와 인력의 노동강도를 줄이기 위해 주탕공정의 자동화를 추진 중이다.

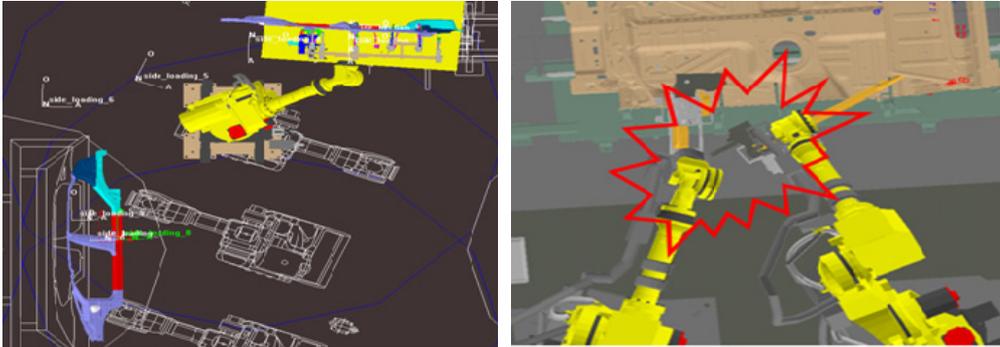


(그림 5) 주물의 제조 과정

용탕을 주형에 주입하는 주탕공정 자동화 시스템 구축이 (그림 6)과 같이 추진되고 있다. 주조기와 용탕과의 거리를 좁히고, 용탕에서 주조기로 쇳물을 주입하는 용탕주입 작업



(그림 6) 주탕공정의 자동화



(그림 7) 주탕공정 Virtual Work 및 자동화 시스템의 최적화

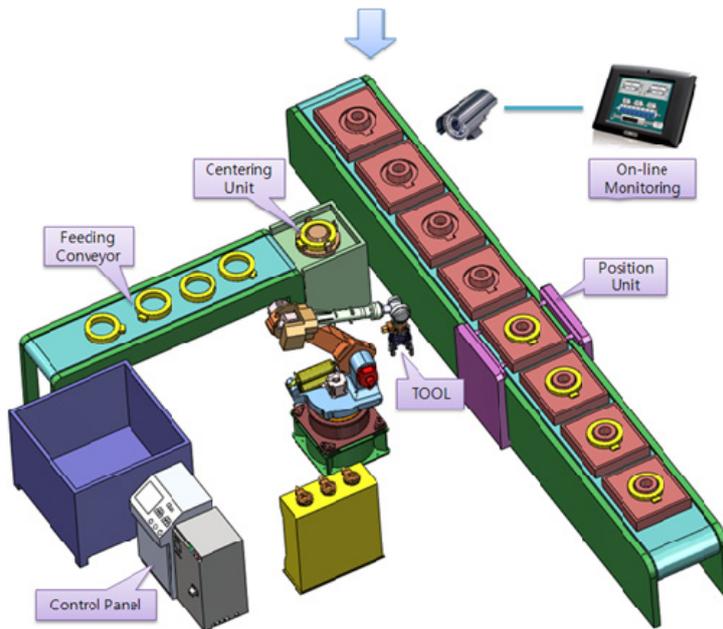
은 작업자를 대신하여 로봇이 용탕에서 주조기로 바로 주입할 수 있는 자동화 설비를 설치하고, 자동화로 주물을 제작함으로써 공정시간 단축, 생산성 향상 및 작업자의 노동강도를 저하시킬 수 있다. 수평형 용해로로 시설이 상당히 낙후되어 있으며, 용해 중간에 알루미늄 잉곳을 투입하는 경우, 작업자는 용해로의 불길에 의해 위험에 노출되므로 수직형 용해로로 시설을 교체하여 용해에서부터 주입하는 구간까지를 자동화로 추진하고 있다.

이를 통해 작업자는 고열, 분진, 유해가스가 없는 쾌적한 공간에서 주탕제어장치를 보면서 주탕제어시스템을 조작하여 주탕함으로써 노동강도가 감소되고, 고열, 유해가스, 분진 등의 유해환경으로부터 해방되며, 주탕기술의 표준화에 의해 주물의 품질이 안정화 된다.

또한, (그림 7)과 같이 주탕공정 Virtual Work 및 자동화 시스템의 최적화 지원을 통해 주탕 시 용탕의 온도, 주형과 주탕 사이의 거리, 주탕 시의 각도 등 경험적 주탕 조건의 디지털화 DB 를 구축하였다. 그리고, 주탕공정 자동화 시스템의 3 차원 공정설계를 지원하여 자동화 시스템의 3D 가상 시뮬레이션에 의한 안정성 및 사이클타임 예측을 통한 공정의 효율성을 향상시키고 있다.

나. 주형 제조공정의 자동화

고온의 용탕을 사용하여 부품 형상으로 제조하는 데는 부품의 형상을 한 틀(주형)이 사용되며, 주형에는 주로 모래(사형), 철강 등의 금속(금형), 내화물의 모래에 열경화성 수지를 섞어서 만든 셀형 등이 사용되며, 주형 제조에서는 미세한 모래를 많이 사용하므로 미세한 먼지의 비산에 의해 작업장의 환경이 열악하고 미세 먼지의 흡입으로 인해 작업자의 건강 손상이 우려된다.



(그림 8) 주형 코어 제조공정의 로봇 자동화

(그림 8)과 같은 주형 제조공정의 자동화 시스템으로 다양한 형상의 주형 취급을 위한 Flexible Tool Changer 시스템 적용, 다관절 로봇 시스템 및 주행 Carriage 적용, 자동화 시스템의 수명 향상을 위해 분진, 슬러지 등으로부터 보호하기 위한 방진구조시스템 적용, 실시간 작업관리를 위한 원격 On-line 모니터링 시스템 적용 등의 자동화 기술이 지원되고 있다.

다. 주물사 회수 및 클리닝 자동화 시스템

주물의 품질은 적정 온도에서 용탕을 붓고, 얼마나 매끄럽게 탈사와 사상이 수행되느냐에 의존한다. (그림 9)와 같이 주물에 부착된 모래를 떼어 내는 탈사공정 및 사상공정에서는 작업장이 온통 미세한 모래먼지로 뒤덮이는 등 작업환경이 매우 열악하여 대개 외국인 근로자들이 이 공정을 담당하고 있다.

또한, 재생 가능한 주물용 모래의 효율적인 회수장치가 없어 일반 분진 등과 같이 폐



(그림 9) 탈사·사상공정의 현황(수작업)



(그림 10) 탈사·사상공정시스템 고도화 구조도

기되어 원자재의 낭비와 폐기물 처리 비용이 발생하게 된다.

공장 전체에 대해 주물사 회수용 파이프라인을 설치하고, 15~20 개 소에 흡입구를 설치하여 주물사는 회수하여 재사용하고, 분진은 별도로 분리하여 폐기한다.

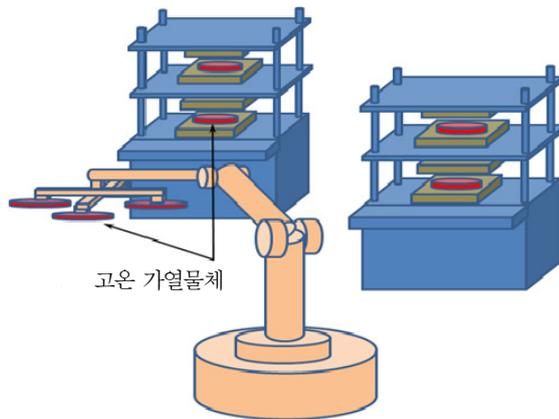
전 공장을 회수, 회수 & 클리닝, 클리닝, 퇴적사 대량회수 준으로 구분하여 회수 분리 배출 준은 중앙집진장치로 흡인하여 분리·배출하고, 클리닝 준은 이동식 대차를 이용하여 흡인분리 회수된 모래는 모래 재생장치로 자동 이송하게 된다.

(그림 10)에서의 클리닝 자동화 시스템을 통해 분진 및 모래로 인한 열악한 작업환경의 개선으로 클린 사업장화 및 모래, 분진의 자동분리로 인한 모래회수로 원가절감 및 폐기물 감소로 인한 비용절감 효과가 있다.

라. 고온 가열물체 이송 공정 자동화

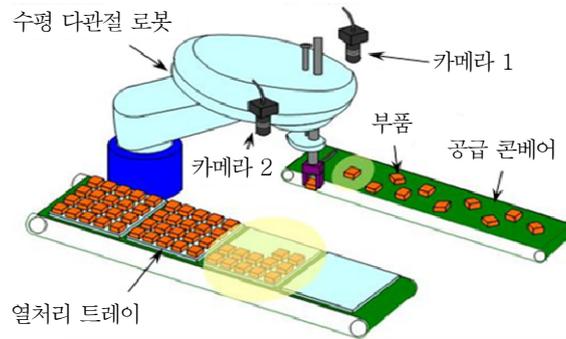
400℃로 가열된 장비에 근접하여 단순반복적인 입반출 작업을 수작업으로 진행함으로써 해당 작업자가 극도의 피로 가중과 고온작업 특성상 화상 등의 위험성에 상시 노출되고 있다.

작업자가 고온으로 가열된 물체를 집게로 직접 취출함으로써 화상 및 화재의 위험성이 크기 때문에 고온으로 가열된 물체를 이송하는 공정에 (그림 11)과 같이 자동화 시스템을 적용하여 노동강도 저하와 작업자의 안전성 향상을 지원해야 한다. 고온 가열물체 이송 로봇 시스템으로 공정분석 및 로봇 이송 시스템의 3 차원 공정설계, 로봇 시



(그림 11) 고온가열물체 이송시스템

스템 시제품 제작 및 성능 평가, 로봇 시스템의 작업 영역 및 주변설비와의 간섭·충돌 해석, 공정 자동화 SW 및 HW 시스템 설계부품을 열처리하기 위해서는 트레이라고 하는 열처리용 상자에 제품을 균일하게 적재해야 하며, 열처리 후는 제품을 다시 트레이로부터 빼내야(탈거) 한다. 이러한 무거운 제품의 적재·탈거 공정에 (그림 12)와 같은 자동화 시스템을 적용하여 노동강도 저하와 작업자의 안전성 향상을 지원하고 있다. 열처리 트레이에 자동 적재 및 하역 자동화 시스템으로는 임의의 방향으로 놓여 있는 부품들을 카메라



(그림 12) 열처리 트레이에 자동적재 및 탈거 시스템

로 인식시켜 로봇으로 부품을 집어서 열처리 트레이에 정렬하는 시스템, 공정분석 및 로봇 이송 시스템의 3 차원 공정설계, 로봇 시스템 시제품 등이 있다.

4. 결론

뿌리산업은 고에너지의 높은 열을 주로 사용하는 주조, 금형, 소성가공, 열처리, 표면처리, 용접 등 6대 열응용 산업으로 고열, 분진, 유해가스 발생 등으로 인해 제조환경이 매우 열악하고, 노동 강도가 크고, 각종 위험에 노출되어 있는 소위 3D(Difficult, Dirty, Dangerous) 산업으로 인식되어 내국인 및 청년들의 직무기피가 심한 산업이다.

국내 산업 경쟁력을 좌우할 핵심요인임에도 불구하고, 저평가되어 있는 뿌리산업은 국가 미래 성장동력 산업을 견인하는 기반으로 수요 제조업의 고도화 및 첨단화에 따른 고품질·고부가가치 제품제조 지원을 위한 주력산업의 뿌리역할이 요구되고 있다.

국내 뿌리산업 기술 경쟁력은 선진국 대비 80% 수준이나(금형의 경우 선진국 대비 95% 수준) 경쟁 우위 기술에 대한 지속적인 수준유지를 위해 IT+ 뿌리산업 융합을 통한 핵심 기술의 지속적인 개발이 이루어져야 하며, 이를 통한 국내 주력산업(자동차, 전기전자, 디스플레이 등)의 동반성장도 꾀해야 할 것이다.

또한, 에너지 다소비, 온난화가스 배출이 많은 열응용 뿌리산업은 세계적으로 직면하고 있는 자원제약, 환경규제 및 인구제약에 대응할 수 있는 방향으로의 발전이 필요한 상황으로, 열악한 열응용 뿌리산업 제조현장의 IT 융합화 및 자동화를 통해 작업환경을 친환경화함으로써 3D 산업의 이미지를 탈피하여 에너지 절감형 그린 산업으로의 발판을 마련할 수 있을 것이다.

<참 고 문 헌>

- [1] 김성덕, “제조업의 원천, 뿌리산업의 현황과 발전전략”, KEIT PD ISSUE REPORT, AUG. 2011.
- [2] “뿌리산업 경쟁력 강화 전략”, 지식경제부, 2010. 5.
- [3] “뿌리산업 비전 2020 기획자료”, 한국생산기술연구원, 2010.
- [4] “뿌리산업의 진흥 및 첨단화 지원사업”, 한국생산기술연구원, 2011.
- [5] 김성덕, “지식경제 R&D PD 가 바라보는 유망 뿌리기술과 정책”, KEIT PD ISSUE REPORT, AUG. 2012.
- [6] “산업융합원천 R&D 전략 생산기반분야(2013~2017)”, 한국산업기술평가관리원, 2012.
- [7] “미래 뿌리기술포럼 발표자료”, 한국산업기술평가관리원, 2012.
- [8] “지식경제통합기술청사진”, 지식경제부, 2008. 9.
- [9] 대구시, “대경권 열응용 뿌리산업의 SW 융합 제조공정혁신 기획보고서”, 2012.