

주물의 유무기 함침처리 기술

김억수[†] · 이광학^{*}

한국생산기술연구원 부산연구센터, *울산대학교 첨단소재공학부

Organic and Inorganic Impregnation Technology of Castings

Eok Soo Kim[†] and Kwang Hak Lee^{*}

Pusan R&D Center, Korea Institute of Industrial Technology, Busan 683-420, Korea
 *School of Materials Science & Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

1. 서 언

함침처리란 Al합금, Zn합금, Mg합금, Cu합금, Fe합금이나 분말야금 소결체 등의 표면에서 내부에 이르기까지의 미세결함, 특히 porosity결함 내에 액상의 물질을 침투시켜 누설(leaking) 경로를 차단하는 방법으로 제품의 품질을 높이는 하나의 기술이다.

그 역사는 1930년대에 미국에서 처음으로 실시되어 본격적인 함침기술의 보급은 1951년 미국에서 세계 최초로 MIL-I-6869A 규격이 제정되어 함침물의 내구시험방법이 명시되면서 일반화 되어 군사품, 항공기부품, 자동차부품 등에 적용되어 왔다. 이웃 일본의 경우는 1960년대 부터 사용되었지만 초기에는 사형, 금형주조품에 주로 사용되었으며, 다이캐스팅에는 1963년 자동차의 자동변속기용 case 등의 내압기밀부품이 고압주조법인 다이캐스트화 되면서 사용되었다. 함침처리의 변이는 함침제와 함침장치의 변화로 살펴볼 때, 먼저 함침제의 변화는 처음에는 유지나 grease 등이 사용되기 시작하여 1930년대 부터는 무기계(water glass계)가 등장하였고, 무기계 함침제는 내열성이 우수하고 배수처리가 용이하면서 저가인 장점이 있으나 강한 알칼리성으로 인해 알루미늄부품의 부식 위험성과 건조시에 미경화된 액의 유출 위험성 때문에 제품에 따라서는 강제건조(일반적으로 80°C, 1시간)시키거나 자연건조시 24시간~48시간 방치하는 방법이 요구된다. 이후 1970년 경에는 유기계의 함침제가 개발되었지만 사용방법이나 기타 불편한 면이 많아 그다지 사용되지 않다가 1985년에 종래의 polyester수지, epoxy수지계에 비하여 대폭 개선된 메타-아크릴 수지계가 개발되어 폭넓은 적용이 이루어지고 있다.

한편 국내의 경우도 자동차부품의 본격적인 양산과 특히 자동변속기와 같은 내압기밀부품의 국산화가 진행되고, 제품의 요구품질 수준이 높아짐에 따라 다양한 주조결함의 형태에 대응할 수 있는 후공정기술의 하나인 함침처리 방법이 1980년대 후반부터 본격적으로 도입된 것으로 추정된다. 하지만 대부분의 업체에서는 아직도 함침처리에 관한 기본정보나 기술자료, 경험

의 부족으로 함침공정을 설계하고 효율적으로 운용하는데 애로를 겪고 있어, 본고에서는 이와 같은 주물의 함침처리에 있어 기본 기술인 유무기 함침의 특징과 적용 사례에서의 자료를 중심으로 함침에 관한 기초정보를 제공하고자 한다.

2. 함침처리의 특징 및 종류

2.1 함침처리의 원리

함침처리 원리는 Fig. 1에서와 같은 미세한 porosity에 함침액을 충전시킨 다음 자연경화 또는 열경화시켜서 porosity를 sealing하는데 sealing방식에 따라 무기함침(Inorganic Impregnation)과 유기함침(Organic Impregnation)으로 대별할 수 있다.

무기함침이란 함침액이 결합공의 내벽에 부착반응해서 수축의 갈라진 부분에서 산화물을 만들어 sealing하는 방식이고, 유기함침이란 결합공 전체를 함침액으로 충전해서 경화밀봉하는 방식이며, 그 경화 mechanism(Fig. 2)은 화학적 중합반응이며 그 source는 열(heating)이다.

일반적인 함침처리 공정의 흐름도는 Fig. 3에서와 같이 함침 chamber내에 피 함침물을 넣고 진공감압에 의해 주물의 결합부 내부의 air까지 충분히 빼내어 준 뒤 함침액을 chamber내로 주입하여 1차적으로 진공감압상태에서 피 함침물의 결합부 사이로 함침액을 충전시키고, 2차 chamber내 함침액의 상부를

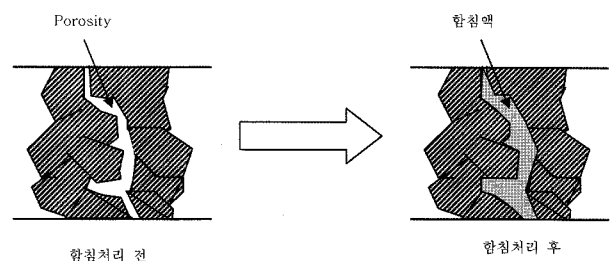


Fig. 1. 함침처리의 원리.

[†]E-mail : osgim@kitech.re.kr

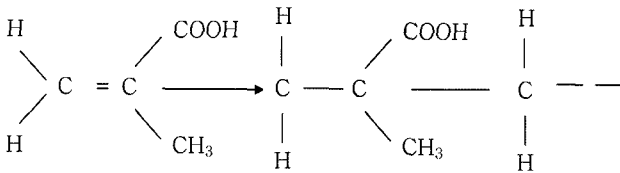


Fig. 2. 유기 합침처리의 경화 mechanism.

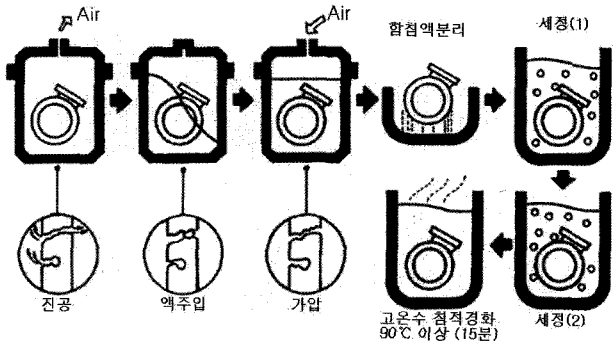


Fig. 3. 합침처리 공정 흐름도.

air압력으로 가압하여 결합부로의 합침액의 침투를 용이하게 하는 상태로 일정시간을 유지한 후 가압력을 해제하고 피합침물을 꺼내어 합침액 제거와 세정의 공정 그리고 경화공정을 거쳐 합침처리를 마무리하게 된다.

2.2 유무기 합침의 특징

Table 1에서와 같이 유무기 합침제의 특성을 성분, PH, 비중, 점도, 독성 및 인화점 등으로 나누어 비교해 보면 먼저,

Table 1. 유기 및 무기합침제의 특성비교.

특성	구분	무기계	유기계
주성분		SiO ₂ · Na ₂ O	CH ₂ =CH ₂ COOH
PH		11.4	6
비중		1.42	1.01
점도		60cps (at 25°C)	9~10cps (at 25°C)
독성		무	무
인화점		불연성	112°C

Table 2. 유기 및 무기합침 공정비교.

공정	구분	무기합침 공정	유기합침 공정
	주성분	Water glass	Meta-acryl ester
	적용제품	Al, Zn, Mg, Fe, Cu합금	Al, Zn, Mg, Fe, Cu합금
공정시간	진공	15분	15분
	침지	2분	1분
	가압	15분	15분
	액회수	X	10분
	세척	10분	10분
	건조	24~48HR	X
	경화	X	15분(at 90°C이상)

무기계 합침제로는 Water glass계(XSiO₂·YNa₂O)가 주로 사용되는데 실온에서 CO₂와 반응에서 경화하나 그 경화시간이 길며 건조나 가열에 의해 탈수해서 경화한다. 또한 무기계 합침제는 수용성이며 고 점도성(60cps), 알칼리성(PH = 11.4)이므로 물에 희석시켜(비중 1.35~1.37) 사용해야 하는데 경화 시에 여분의 수분이 증발하면서 액 중의 고형분이 40~50%로 줄어들게 된다. 따라서 무기합침은 피합침물의 특성에 따라 반복 합침이 필요할 때도 있다. 또한, 유기계 합침제는 Meter-acryl ester로서 점성이 낮아서(10pcs at 25°C) 물에 용해시킬 필요가 없으며 또한 고형분이 100%이므로 이상적인 합침제이다. 경화는 열 경화성이므로 90°C이상의 물에서 10~20분 침적하는 것으로 경화가 완료되므로 후공정의 연계적인 측면에서도 바람직한 합침처리이다.

Table 2와 3에서는 유무기 합침공정과 장단점을 비교하였으며, 무기합침의 경우 상대적으로 처리비용(합침제 가격, 설비비 등)이 싼 장점이 있으나, 결합을 sealing하는 합침능력 면에서는 상대적으로 유기합침에 비하여 떨어지는 단점도 있다. 한편 유기합침의 경우 처리비용이 비싼 반면 경화시간이 짧기 때문에 후공정과 연계성 면에서 우수하고 무기합침에 비해 결합의 sealing능력이 우수하다고 평가 되고 있다.

2.3 합침의 종류

2.3.1 침지 합침법

가장 단순한 방법으로 저점도 수지에 단순 침지하는 방식(Fig. 4)이다. 따라서 가장 값싸게 합침할 수 있는 방법이나 내부까지의 결합공을 배우기에는 불가능한 단점을 가지고 있다.

2.3.2 침지-진공 합침법

Fig. 5에서와 같이 합침chamber 내의 저점성 수지액에 피합

Table 3. 유기 및 무기함침의 장단점.

구분	무기함침 공정	유기함침 공정
장점	1. 함침액의 가격이 싸다. 2. 설비가 비교적 간단하다. 3. 주성분이 Silica계열이므로 피함침물에 대해 물리화학적으로 안정하다.	1. 함침능력이 우수하다. 2. 경화시간이 짧기 때문에 처리후에 즉시 다음 공정으로 투입이 가능하다.
단점	1. 점도가 높아서 물에 용해시켜서 사용해야 한다. 2. 함침능력이 미흡하다.	1. 함침액이 고액이다. 2. 설비가 비교적 복잡하다.

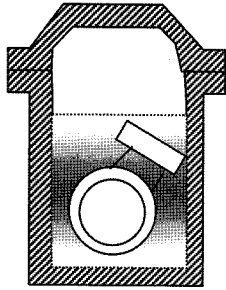


Fig. 4. 침지함침 공정도.

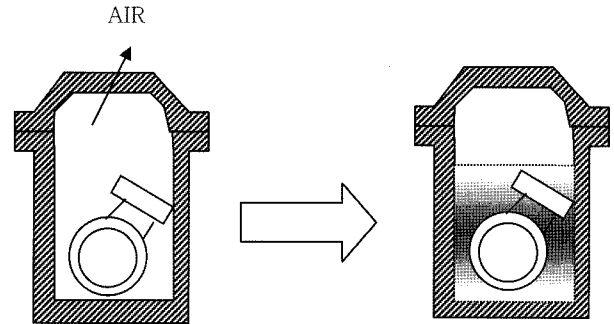


Fig. 6. 진공-침지함침 공정도

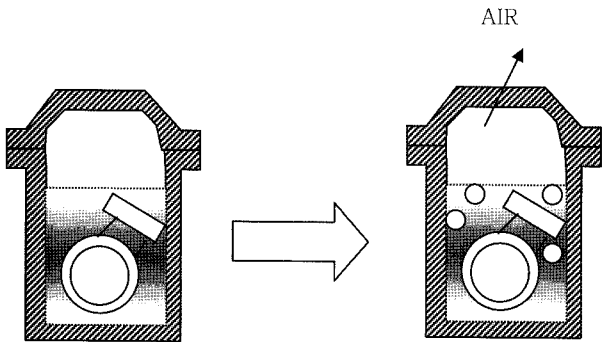


Fig. 5. 침지-진공함침 공정도.

침물을 침지하고 밀폐한 후 10~30분간 1 mmHg 정도의 진공도로 감압한다. Porosity의 개구부가 한곳만 관통되어 있는 결합에는 상압으로 돌아올 때 수지액이 침투되는 가장 간단한 진공함침법으로서 소결체에는 이 방법으로도 충분한 효과가 있다.

2.3.3 진공-침지 함침법

Fig. 6에서와 같이 비어있는 함침chamber 내에 피함침물을 넣고 진공상태를 유지한 후 일시에 함침액을 suction force에 의해 넣는다. 감압공정에서 피함침물에 붙어있는 수분이나 용제를 제거하는 것도 가능하다.

2.3.4 진공-침지-가압 함침법

Fig. 7에서와 같이 chamber 내에 피함침물을 넣은 다음 진공상태로 감압한 후 함침액을 감압에 의해 주입시킨 후 5~8 kg/cm²의 2차 압력으로 10~30분 가압한다.

2.3.5 침지-진공-가압 함침법

Fig. 8에서와 같이 chamber 내의 함침액에 피함침물을 넣은 다음 진공상태로 감압하여 porosity내의 공기를 빼낸 다음 다시 가압하여 porosity내부로 함침액을 충전시킨다.

2.3.6 진공-침지-진공-가압 함침법

Fig. 9에서와 같이 chamber 내에 피함침물을 넣고 진공상태로 감압한 후 함침액을 주입 침지시키고, 2차 진공감압하여 porosity내의 공기를 더 효과적으로 제거한 다음 함침액의 상부를 air압력으로 3차 가압하여 결합부에 함침액을 충전시키는

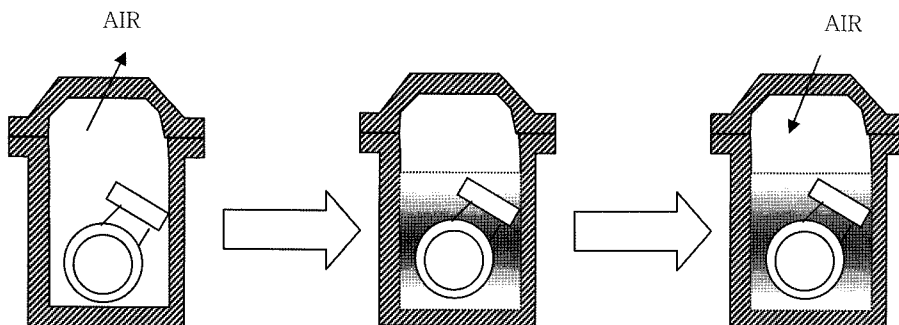


Fig. 7. 진공-침지-가압함침 공정도.

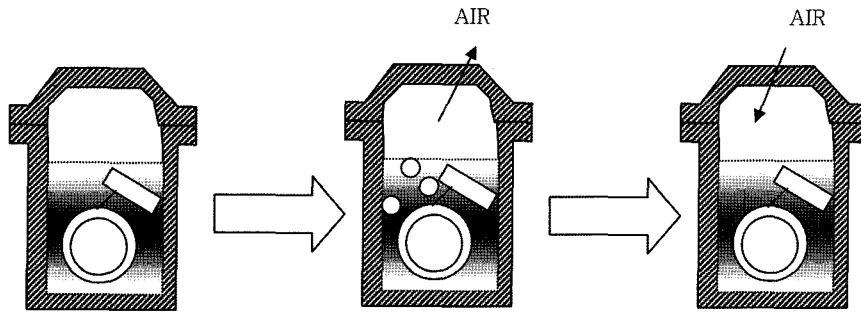


Fig. 8. 침지-진공-가압합침 공정도.

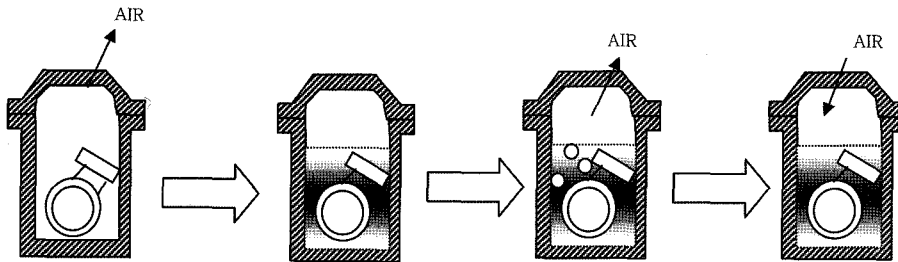


Fig. 9. 진공-침지-진공-가압합침 공정도.

방식이다.

2.4 합침장치의 종류

합침장치는 기본적으로 유기 무기의 합침제의 변화에 따라서는 큰 차이는 없으며(단, 유기합침의 경우에는 경화공정 추가), 자동화 방식이나 흐름 작업방식에 따라 변화하여 왔다.

Fig. 10의 Batch hoist식 합침장치가 최초로 도입되어 사용되고 있으며, 이 방식은 합침하고자하는 제품을 basket에 담아 합침 chamber에 넣고 우선 1차적으로 진공상태로 감압한 뒤 합침액을 합침 chamber내로 흡입시키고, 2차 가압하여 합침액을 피합침물의 결합부로 압입하는 방식으로 각 처리조 간의 이동은 상부에 설치된 hoist에 의해 수동으로 작업하는 방식으로 이점으로는 다품종 대량생산을 대응할 수 있지만 작업인원을 필요로 하는 결점이 있다.

일본에서 1980년대에 개발된 Fig. 11의 Batch carrier식 합침장치는 Fig. 10의 수동의 hoist이동 방식을 개선하기 위해 carrier에 의해 자동작업을 가능하게 하여 전공정 무인화를 실현한 방식이다.

그리고 최근에는 Fig. 12와 같이 In-line방식의 합침장치가 개발되어 주조공정 또는 기계가공 공정 중에 합침공정을 구성하여 단품종 대량생산처리, 단시간 처리, 무인화 처리가 가능하도록 공정설계를 하는 추세에 있다. 이러한 In-line방식의 합침

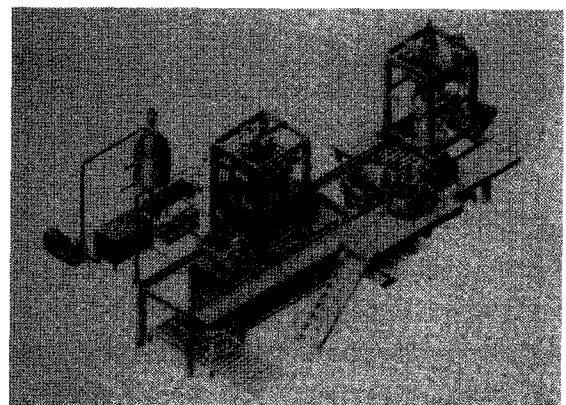


Fig. 11. Batch carrier식 합침장치.

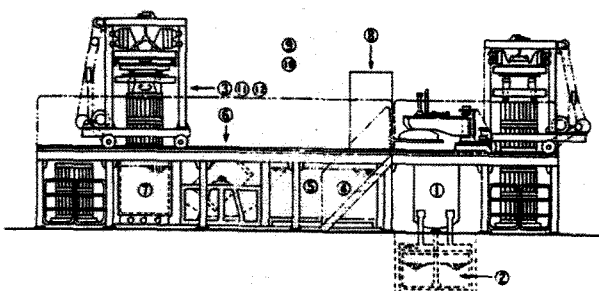


Fig. 10. Batch hoist식 합침장치.

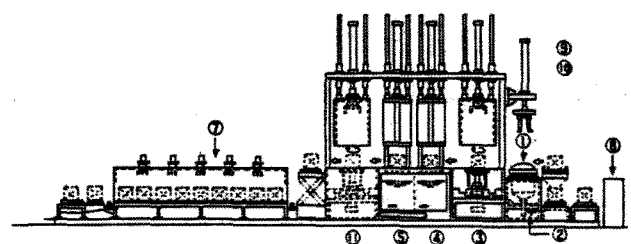


Fig. 12. In-line방식 합침장치.

Table 4. 유무기 합침처리 적용사례 (Leak test air 압력 : 3 kg/cm²).

구분	무기 합침		유기 합침		
	소재	가공품	소재	가공품	
투입수량(개)	200	100	200	100	
중력 주조품	합침전 불량개수, 율(%)	12 (6.0%)	7 (7.0%)	13 (6.5%)	8 (8.0%)
	합침후 불량개수, 율(%)	6 (3.0%)	2 (2.0%)	6 (3.0%)	1 (1.0%)
고압 주조품	합침전 불량개수, 율(%)	19 (9.5%)	11 (11.0%)	17 (8.5%)	10 (10.0%)
	합침후 불량개수, 율(%)	15 (7.5%)	3 (3.0%)	14 (7.0%)	1 (1.0%)

Table 5. 합침처리 능력의 한계 (日本 Nissei 社 합침처리 자료근거).

합침액	계열	합침능력 (Pin Hole의 ϕ 기준)						비고
		10 μ	50 μ	100 μ	300 μ	500 μ	600 μ	
무기 CIDEX Cast seal B-O	규산염계							
유기 P ₄₀₁	아크릴계							

은 경화시간이 빠른 유기합침제를 사용하고 기본적으로는 1분 전후로 1개의 제품이 합침 처리되도록 line을 구성한다.

2.5 유무기 합침 적용사례

유무기 합침처리의 효과를 비교해 보기 위하여 AI제 중력주조품과 고압 다이캐스트품을 소재상태와 기계가공 후의 상태로 나누어 유무기합침 처리를 실 제품에 적용시켜 본 결과 Table 4와 같았다. 먼저 중력주조품의 경우 소재상태에서의 leakage 불량률은 6.0~6.5% 정도이었으나 유무기 합침 후 공히 3.0%로 비슷한 합침효과를 보였으며, 기계가공 후의 leakage 불량률은 7.0~8.0%로 소재상태 보다 불량률이 조금 올라갔으나 합침 후의 불량률은 무기합침 2.0%, 유기합침 1.0%로 합침효과를 보였으며, 특히 유기합침의 효과가 상대적으로 우수한 것으로 나타났다. 또한, 고압주조품의 경우 소재상태의 leakage 불량률은 8.5~9.5%로 나타났으며, 합침후 7.0~7.5%로 그다지 합침효과를 보이지 않았으나 기계가공 후에는 합침 전후의 불량 개선효과가 매우 뚜렷하게 10.0~11.0%에서 1.0~3.0%로 확연한 개선 효과를 보였으며, 특히 유기합침의 효과가 중력주조품에 비해 개선효과가 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 중력주조품과 고압주조품 그리고 소재와 가공품에 따른 합침효과와의 차이는 고압주조품의 경우 고속사출방식의 용탕주입에 따라 상대적으로 중력주조품에 비해 내부 미세결함이 많고, 고압력 작용으로 인하여 표면부에만 경질의 chill층이 형성되는 특성으로 소재상태의 합침효과는 미미하며 표면의 chill층이 가공 후 제거되면 합침의 효과는 더욱 뚜렷한 것으로 생각된다. 또한 유

무기 합침효과와의 차이는 Table 5에서와 같이 일본의 Nissei社가 유무기 합침제에 따른 합침능력의 평가에서도 무기계 합침제는 결함의 size가 100 μ m이하의 경우 효과적인 것으로, 그리고 유기계 합침제의 경우는 결함의 size가 300 μ m이하까지 sealing의 효과가 있는 것으로 평가한 것보다 일치하는 결과라고 볼 수 있었다.

3. 결 언

세계적인 합침처리에 대한 추세는 무기계에서 유기계로 바뀌어져 가는 상황이다. 이처럼 유기계 합침제가 고가임에도 불구하고 널리 채용되는 이유는 무기계에 비해 합침능력이 다소 우수하기 때문이다. 그러나 유기합침 처리로도 500 μ m이상의 결함공은 근본적으로 처리가 불가능하고, 300 μ m이상의 결함도 확실한 효과는 파악되지는 않았다. 본고의 2.5 합침처리 사례에서의 합침 후 leak test 결과에서 발생한 불량품의 결함부도 대개 육안으로 식별이 가능했으며 그러한 결함은 500 μ m이상이다. 따라서, 주조품의 결함 size가 500 μ m이상인 제품은 기본적으로 합침 처리로서는 해결이 불가능하며 size가 100~300 μ m인 것은 유기합침이 합침 처리비가 비싼 만큼 무기합침에 비하여 효과가 우수하며, 300 μ m이상의 결함에는 사실상 합침 처리로는 근본적인 결함 해결이 어렵고, 결함 size가 100 μ m 이하로 매우 작고 leak test 압력이 2~3 kg/cm²(Air 압)로 비교적 낮은 경우에는 유무기 합침처리에 현격한 차이는 없음을 알 수 있었다.