

중공업 설비용 금속 소재의 파손 사례 연구

Case Study on the Failures of Materials in Heavy Industry

임채선* · 백광기 · 최기영
현대중공업(주) 산업기술연구소

1. 서 론

중공업용 산업 설비의 고성능화를 추구하면서, 아울러 생산성 및 설비의 신뢰도 향상 등의 제반 조건을 동시에 만족시키기 위해서는 여러 분야에서 다각적인 노력이 필요하다. 설비를 구성하는 각종 부품은 설계, 재료 선택 및 제조 과정을 거쳐 생산되며, 이 과정 중 어느 한가지라도 적절한 공정에서 벗어날 경우에는 제품의 조기 파손에 의한 해당 설비의 사용 수명 단축을 초래하게 된다.

파손에 따른 수리 및 손해 보상 비용 등의 직접적인 손실 뿐만 아니라 무형적인 제반의 간접적 손실을 포함하면 그 피해는 상당히 크다. 이러한 파손 사례를 '산 교훈'으로 최대한 활용하려는 노력이 파손 분석(failure analysis)이며, 실제 운전 조건에서 발생한 파손은 실험실에서의 소규모 실험으로는 얻기 어려운 가치 있는 자료이므로, 파손 원인 및 대책을 파악하여 생산 공정에 반영하는 것은 제품의 품질 및 신뢰성 향상에 필수적이다.

본 보고에서는 당 연구소에서 수행한 중공업 설비용 금속 소재의 파손 분석 사례를 총 64건 선정하여 검토한 후, 각각의 파손 요인 별로 분류하였다. 아울러, 동일 사례에 의한 피해 재발을 방지하기 위해 대표적인 사례들의 파손 현상과 원인 및 대책을 소개하고자 한다.

2. 파손 사례의 분류

중공업용 구조물 및 각종 기계 부품의 종류는 매우 다양하며, 중공업 분야의 특성상 주로 금속 소재로 제작된다. 금속 소재를 사용하여 제작된 각종 부품의 사용 중 조기 파손된 사례들 (총 64건)을 검토한 결과, 파손에 이르게 한 1차적인 원인을 제공한 과정은 제조 과정 (61%)으로서 다른 분야 즉, 설계 및 운전 과정에 의한 파손 사례에 비해 월등히 높았으며, 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 이는 제조 과정이 여러 단계를 거쳐 이루어지므로, 설계 및 운전 과정에 비해 부품에 결함을 초래할 가능성이 상대적으로 높기 때문이라 할 수 있다.

한편, 설계 및 재료 선택을 포함하는 설계 과정 (25%)의 기술은 선진국에 비해 국내의 산업체에서는 가장 취약한 생산 기술이며, 파손에 대한 간접적인 영향을 고려하

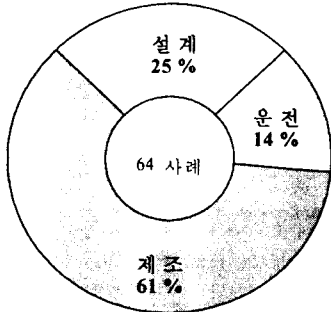


Fig. 1 Failure causes and their frequencies.

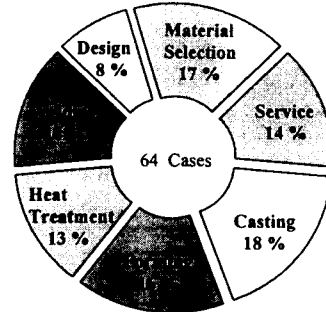


Fig. 2 Detailed failure causes and their frequencies as shown in Fig. 1.

면 포괄적인 의미의 설계는 파손과 밀접한 관계를 가진다고 할 수 있다. 부품을 조기 파손에 이르게 하는 요인들을 살펴보면 Fig. 2와 같으며, 입고된 원소재의 불량을 포함하는 주조 공정에서 도입된 결함이 파손의 원인이 되는 사례가 많았다. 또한 부품의 사용 부위 및 분위기 등의 조업 조건에 따라 요구되는 재료의 물성이 다양한 만큼 적절한 재료 선택이 이루어져야 함에도 불구하고, 부적절한 재료를 사용하거나 초기 설계에서 규정한 바와 다른 재료를 사용함으로써 파손되는 사례들도 적지 않았다. 설계, 제조 및 운전 과정에서 파손의 주된 원인을 제공한 사례들 중 파손 빈도를 발생 원인 별로 살펴보면 Table 1과 같이 구분할 수 있다.

이 중 용접 과정에서 발생한 용접 결함에 기인한 파손 사례가 9건, 주조 과정에서 발생한 비금속 개재물 또는 합금 원소의 편석에 기인한 파손 사례가 8건으로 나타나서, 그 발생 빈도가 가장 높았다. 따라서 용접과 관련된 제반 결함들을 방지하기 위한 노력과 아울러 원소재의 용해 정련 공정에 대한 엄격한 관리가 우선적으로 필요하다. 설계 과정의 부적절한 재료 선택에 의한 파손 사례는 7건으로 그 대부분은 재료의 조기 부식에 기인하는 경우이므로, 설비의 제조 시 설계자는 재료 선택 단계에서 재료 또는 부식 전문가와 협의하여 재료를 선택하는 것이 필요하다. 설계대로 제작되어 문제가 없는 설비의 경우라도, 사용자가 유지·관리에 필요한 지식이 없이 사용하여 조기 파손된 사례도 많아서, 적정 사용 조건하에서 설비를 운전하는 것도 중요하다.

실제로는 제품의 조기 파손이 발생하였을 때 설계, 제조, 운전 과정 중 특정 단계에서 기인한 파손이라기 보다는 각 과정의 상호 작용에 의해 파손이 발생하는 사례도 빈번하다. 따라서 조기 파손을 방지하여 제품의 품질 및 신뢰성을 향상하기 위해서는 이러한 각각의 분야별 사례들을 참고로 하여 동일한 피해가 재발하지 않도록 다각적인 노력이 필요하다.

Table 1. Frequency and causes of components failure in terms of their occurring stage.

과 정		발생 원인	사례 수
설계 과정	Design	- 형상	2건
		- 진동	1건
		- 용접 설계	2건
	Material selection	- 부적절한 소재 선택	7건
		- 불량 소재 사용	3건
제조 과정	Casting	- 편석(비금속 개재물, 합금 원소)	8건
		- 용고 수축 결함, 공정 설계 등	5건
	Forming	- 가공 노치	5건
		- 가스 절단에 의한 노치 및 경화 조직	2건
		- 단조 결함 등	3건
	Heat Treatment	- 열처리 불량	4건
		- 열처리 과정 누락	4건
	Welding	- 용접 결함	9건
운전 과정	Service	- 과열, 과부하	5건
		- 부적절한 수처리	3건
		- 운송 및 보관	1건

3. 결 론

당 연구소에서 수행한 중공업 설비용 금속 소재의 파손 분석 사례를 총 64건 선정하여 검토한 후, 각각의 파손 요인 별로 분류하였다. 그 결과 제품을 조기 파손에 이르게 한 주된 원인을 제공한 과정은 제조 (61%) 과정이 가장 높았고, 그 다음이 설계 (25%) 및 운전 (14%) 과정 순으로 나타났다.

또한 제품을 조기 파손에 이르게 하는 요인별로 분류한 것을 근거로 하여, 파손 사례들을 검토해 보았다. 그 결과 설계 과정에서는 부적절한 재료 선택에 기인한 파손 사례가 많았고, 제조 과정에서는 용접 결함 및 비금속 개재물 또는 합금 원소의 편석에 의한 파손 사례가 많았으며, 운전 과정에서는 과열에 의한 파손 사례가 많았다.

따라서 제품의 조기 파손을 줄이기 위해서는 우선적으로, 용접 결함을 방지를 위한 노력과 아울러 원소재의 용해 정련 공정에 대한 관리가 필요한 것으로 나타났다. 또한 재료 선택 단계에서는 재료 또는 부식 전문가와 협의하는 것이 필요하며, 운전 과정에서는 적정 사용 조건을 준수하는 것이 필요하다.