비회 운송용 유리섬유 복합관 개발

정규상† · 원삼용* · 문진성**

Development of Composite Fly Ash Pipe

Gyusang Jeong, Samyong Won and Jinsung Moon

Key Words : Fly ash pipe(비회관), Abrasion(마모), Anti-wear Agent(내마모제), Composites(복합재료)

Abstract

The majority of fly ash pipes in thermal power stations use steel pipes. This makes frequent replacement inevitable due to severe abrasion near the hot and curved section of pipes. Recently, there have been efforts to prevent this abrasion with lining techniques using ceramic or basalt on the inner wall of the pipe. This study uses composite and anti-wear material to maximize the anti-abrasion effects on the hot section of the pipe. The thickness of the abrasion layer was determined by the abrasion ratio of material found through the experiment; the thickness of the reinforcement layer was determined by micromechanics. Experiments were conducted on epoxy resins to test for heat and abrasion. Anti-abrasion test using particle impingement was intended to recreate realistic conditions when abrasion occurs within the hot section of an actual pipe. This study analyzes the abrasion ratio obtained from both the specimen experiment and from on-site measurement and provides evidence that a combination of composites and anti-wear agent can be used to create a fly ash pipe that is lower in costs and higher in quality than what is used currently.

1. 서 론

복합재료관의 내마모성을 향상시키기 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. 예를 들면, 유리섬유와 에폭시 수지로 된 복합재료를 FGD Slurry 용 배관에 적용하기 위하여 관 내부를 통과하는 입자의 속도, 충돌각도, 내부온도 등을 바꾸어가면서 실험을 수행하고, 재료에 대해서도 수지는 3 가지, filler 는 7 가지, 그리고 섬유도 3 가지 종류에 대해 다양한 조합으로 제작하였다. 60°C 이하의 조건에서만 실험이 수행되었으므로 본 연구와는 온도조건은 다르지만 훨씬 다양한 내마모제를 대상으로 실험을 수행한 점, 그리고 Ductile/Brittle Transition 에 대해 심도있게 연구를 진행한 점은 본 연구에서도 고려해 보아야 할 것으로 사료된다[1]. 열가소성 수지와 유리섬유로 만든 복합재료 시편에 대해 내마모성 실험을 수행한 연구도 있다. CSM 과 내마모제의 중량비가 내마모성에 미치는 영향에 대해 심층적으로 조사하였는데, 내마모제의 함량이 늘수록 내마모 효과가 감소하였으며 극한인장강도 및 파괴 연신율 또한 감소하였다. 내마모성을 증대시키기 위하여 내마모제를 많이 투입하는 것이 적절치 못함을 보여주고 있다[2].

또한 내마모성을 증대시키기 위한 최근의 시도들에 대해 자세하게 소개하고, SiC 를 내마모제로 사용하였을 경우, G-E Composites 가 내마모성에 있어서 탁월함을 실험을 통하여 보여준 연구도 있다[3]. 마지막 자료는 광산 Slurry 운송용으로 사용되는 Steel Pipe System 에 대해 소개하고 있는데, 마모의 종류, 경도, 파이프의 재료, 시스템 설계, 부품 등에 대해 소상하게 언급하고 있으므로 기존의 재료를 새로운 재료로 대체하는 경우에 알고 있어야 할 기본적인 내용이 수록되어 있다[4]. 본 연구에서는 화력발전소 현장에서 주기적인 파이프의 파손으로 인하여 애로를 겪고 있는 점에 착안, 파이프의 소재를 복합재료로 대체하기 위하여 시편실험 등을 통하여 재료를 선정하고 시제품 파이프를 제작한 후 현장설치를 통하여 시제품 파이프의 성능을 검증하고자 하였다.

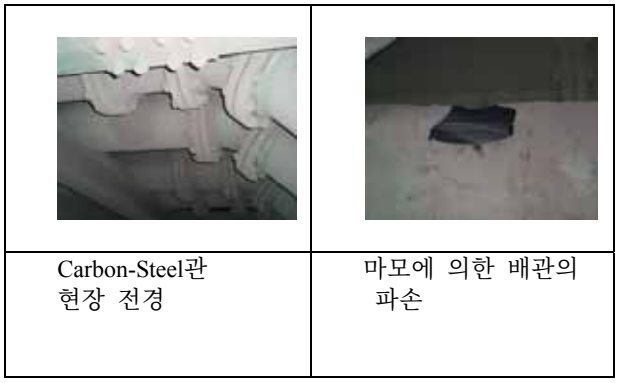
2. Fly Ash Pipe 의 개념

화력발전소에서는 석탄을 주연료로 하여 보일러를 가열하여 증기를 발생시키고 그 증기의 힘으로 터빈을 돌려서 발전을 하게 된다. 석탄이 타고 난 후 그 부산물로서는 바닥에 가라앉는 Bottom Ash 와 부상하는 Fly Ash 가 있는데, Fly

† 회원, (주)길광그린텍
E-mail : gsjeong@gilgwang.com
TEL : (031)354-4222 FAX : (031)354-3456
* (주)길광그린텍
** (주)길광그린텍

Ash 를 운반하기 위해 설치한 Carbon-Steel 관의 경우 시간이 경과하면서 곡관부 근처에 심한 마모가 발생하면 시스템 작동을 중지하고 내부에 바잘트 또는 세라믹 코팅을 하여 마모에 보다 잘 견딜 수 있도록 처리한 관으로 교체한다. 바잘트나 세라믹의 경우 재료비가 상당히 고가이므로 발전소 측에서는 보다 저렴하고도 성능이 뛰어난 파이프 내지는 재료에 많은 관심을 가지고 있다. 길광그린텍 기술연구소에서는 선행과제인 서천화력 회처리 이송용 고강도 배관 개발[5]을 통하여 습득한 화력발전소 Bottom Ash Pipe 에 대한 제품개발 경험을 바탕으로 Fly Ash Pipe 의 운전조건, 경계조건 등에 유의하면서 Fly Ash Pipe 의 재료를 기존의 Carbon-Steel 로부터 FRP 로 교체하기 위한 연구를 수행하였다[6].

본 연구진이 측정한 바에 의하면 영흥 화력발전소의 경우 Fly Ash 운반용 Carbon-Steel 관 고온부의 최대 온도는 90°C 이며, 관 내부압력은 1 기압이고, Ash 의 이송속도는 1m/sec 이다. Fly Ash Pipe 는 실내 외를 막론하고 전술한 바와 같이 곡관부 근처에서 심한 마모 현상이 관찰되었다 (Fig. 1).



Carbon-Steel관 현장 전경

마모에 의한 배관의 파손

Fig. 1 Abrasion within the curved section of pipe

Fly Ash 운반용 탄소강관에 마모현상이 현저하게 진행되어 관 교체가 불가피하므로 시스템 가동을 정지시킨 후 장비를 동원하여 관 교체작업을 수행한다. 관 교체 주기는 파이프 곡관부의 내마모성 내지 내마모력에 비례한다고 할 수 있다. 즉, 파이프 곡관부의 내마모성이 우수할수록 관 교체주기는 길어지게 된다. 재료의 두께가 더 두꺼워지든지 아니면 더 우수한 재료를 사용하든지 해야 할 것인데 이 경우 가격은 불가피하게 상승할 수 밖에 없으므로 화력발전소의 형편에 맞추어 적절한 재료 및 두께가 선정될 것이다. 그러므로 본 과제의 목표는 기존 탄소강관 고온부의 성능보다 같거나 우수한 복합 재료관의 재료 선택 및 그 재료의 두께 결정에 있다고 할 수 있다.

3. 시편 제작 및 시험

유리섬유와 에폭시 및 페놀수지 그리고 내마모제를 사용하여 내마모 시편을 Hand Lay-Up 법으로 제작하였으며 기포를 제거하기 위해 많은 시간이 소모되었다. 최적의 내마모 성능을 도출하기 위하여 시행 착오법을 통하여 최종 배합비를 결정하였다(Table 1). 페놀수지의 내열성능이 에폭시 수지에 비해 더 우수하므로 페놀수지를 이용한 시편제작에 먼저 착수하였으나, 페놀수지의 경우 고온 경화시 기포(Blister)가 다소 발생하였고 심지어 박리 현상까지 나타나 중도에 포기할 수 밖에 없었다. 페놀수지와 내마모제 간의 Compatibility 또는 페놀수지 자체의 화학적 안정성 등이 그 원인일 수 있으나, 에폭시 수지의 경우에는 전혀 그러한 문제가 없었으므로 에폭시 수지가 최종적으로 선정되었다.

Table 1 Mixture ratio between anti-wear agent and resin

No.	혼합비(%)		분말 크기 (Mesh)	마모량 (Δmg)
	Resin	Powder		
1	70	30	46	30
2	70	30	80	25
3	70	30	100	41
4	70	30	120	41.5
5	70	30	150	74.6
6	70	30	180	110

3.1 마모시험

마모시험은 ASTM D 4060 에 의거하여 Taber 社 제품을 사용하였다. Carbon-steel 과 FRP 에 대해 동일한 방법으로 마모시험을 수행한 결과는 Table 2 와 같다.

Table 2 Wear due to material difference

마모감량(Δmg)		비 고
Carbon-steel	FRP	
52	25	ASTM D 4060

3.2 분사식 마모시험 및 SEM

화력발전소에서는 비회 처리를 파이프로 하고 있다. 직관과 곡관을 연결하여 비회를 이송하는 과정에서 마모가 발생한다. 시편시험 외에 추가적인 시험으로서 분사식 마모시험을 수행하였다. 비회를 내마모 시편에 충돌시킬 수 있도록 시스템을 구성한 후, 시편의 각도, 비회의 속도, 가동시간 등을 바꾸어가면서 시험한 결과 시편마다 서로 다른 결과를 얻었다. 상온에서 실험하였으므로 실제 현장에서의 내열, 내마모 성능과는 다소 상이한 값일 수 밖에 없었으나,

시편간의 내마모 성능 비교를 통하여 시제품 제작에 착수할 수 있는 근거를 확보할 수 있는데 그 의의가 있다고 사료된다.

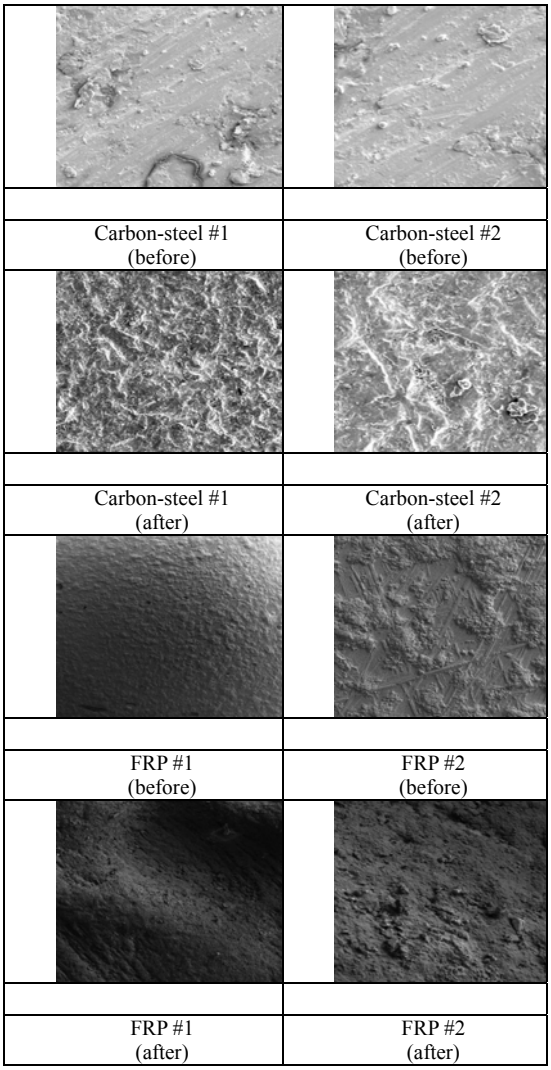


Fig. 2. Comparison of carbon-steel and FRP Before and after abrasion

Fig. 2 는 carbon-steel 시편과 FRP 시편에 대해 분사식 내마모시험을 수행한 결과이다. 시험시간을 단축하고, 실제보다 더 열악한 조건을 부여하기 위하여, 1 기압, 5m/sec 로 48 시간 동안 SiC 분말을 시편에 충돌(impingement)시킨 후 SEM 으로 시편 표면을 촬영하였다.

Table 3. Abrasion test results

	Carbon-steel	FRP
지속시간(hours)	48	48
마모전 중량(grams)	1900	48.91
마모후 중량(grams)	1890	46.71

표 3 에서는 충돌 전후의 시편 무게를 보여주고 있다.

Table 4. Sharpy impact strength and heat deflection temperature results

종 류	시험항목	단위	결과치	시험방법
FRP	하중변형온도 (1.82 MPa)	℃	204	ASTM D648
	샤르피 충격강도	KJ/㎡	180	KS M 3056
Carbon-steel	샤르피 충격강도	KJ/㎡	150	KS M 3056

표 4 에서는 시편의 하중변형온도 및 충격강도를 인증기관에 의뢰하여 확인한 결과로서, 유리섬유가 함유된 수지, 즉 복합재료의 하중변형온도는 수지보다 내열성이 향상됨을 확인할 수 있었다. 충격강도 또한 carbon steel 보다 FRP 가 더 향상되었음을 확인할 수 있었다.

4. 시제품 제작 및 설치

4.1 제작

시편시험을 통하여 파이프 제작을 위한 재료를 선정한 후 시제품 파이프 제작에 착수하였다.

내마모성이 극대화된 Inner-Layer 를 수적층으로 시도하는 과정에서 많은 어려움이 있었으나 분사식 제작법으로 극복하였으며 현재 이 방법은 특허출원 중에 있다[7].

1) 내마모제를 분사기에 투입한다.
2) 수지를 함침시킨 장섬유를 회전중인 몰드에 Winding 한다.
3) 분사기에 의하여 최적의 비율에 따라 내마모제를 회전 중인 몰드의 표면에 분사시킨다.
4) Winding 후 Surface Mat를 부착한다.
5) 경화 후 제작길이에 따라 가공한다.
6) 표면코팅 및 자외선 차단제를 도포한다.

시제품 제작 시 작업성도 고려해야 하므로 내열성과 내마모성을 동시에 만족하는 수지를 선택하기 위하여 시편시험과 시제품 제작 간 피드백이 요청되었다. 내마모제 공급업체 및 수지공급업체로부터 많은 도움을 받았다. 그림 3에서는 시편 제작과정 중에서 플랜지의 가공 및 표면 코팅 장면을 보여주고 있다.

End Plate 가공

표면 코팅 및 자외선 차단제 도포

Fig. 3. . Fabrication of prototype FRP pipe

4.2 설치 및 계측

발전소의 overhaul 기간에 맞추어 시제품 파이프를 설치한다. 설치 위치 및 기존 파이프와 체결될 부위에 대한 정확한 자료를 입수한 후, 고온부의 직관 및 곡관을 FRP 관으로 교체한다. 발전소가 재가동되면 계측에 착수하여, 약 6 개월간 동안 주기적 계측 후 시제품 파이프를 해체하고 마모 부위에 대한 점검이 이루어지게 된다.

1. 시제품 이송

2. 배관 배치

3. 설치 준비

4. 설치 완료

Fig. 4 . Installation of prototype FRP pipe

5. 결론

FRP 의 경량성과 내부식성을 최대한 살리면서 내마모성을 극대화한 FRP 관을 개발하여 Fly Ash 의 운반매체로서의 FRP 파이프의 장점을 최대한 살리고자 하였다. 본 과제에서의 파이프 목표성능은 시편에서는 확인되었으나 파이프의 실제 성능은 시제품 파이프를 현장 설치한 후 일정시간이 경과한 후에야 확인 가능하므로 추후 현장에서의 계측 결과를 토대로 검증이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 구매조건부 신제품개발사업으로 수행되었으며 연구지원에 감사드린다.

참고문헌

1. M. Jaeger, G. Schneider and C. Gauthier, Proc. Of the 2nd Biennial International Composites Africa, Johannesburg(2004), pp. 291-303.
2. J. J. Rajesh, J. Bijwe, U.S. Tewari, J. Mater. Sci., 36 (2001), pp. 351-356.
3. B. Suresha, G. Chandramohan, J.N. Prakash, V. Balusamy and K. Sankaranarayanasamy, J. M & M Char. & Engr. 5-1 (2006), pp. 87-101.
4. R. Klemm, unpublished (1999), UltraTech, Port Washington, WI 53074-308 USA
5. G. Jeong, Final Report, Seocheon Thermal Powerplant (2006) (in Korean).
6. G. Jeong, Interim Report, Namdong Thermal Powerplant (2006) (in Korean).
7. High strength FRP pipe and its fabrication methodology & the system, patent pending (2006)