

세라믹 볼을 이용한 판형열교환기 세정장치의 볼 회수율 측정

The Measurements of Ball Recovery Rate for the Cleaning Apparatus in Plate Heat Exchanger Using Ceramic Ball

채희만* · 권정태** · 차동안*** · 권오경****†

Hee-Man Chae*, Jeong-Tae Kwon**, Dong-An Cha*** and Oh-Kyung Kwon****†

(접수일 : 2013년 08월 21일, 수정일 : 2013년 12월 18일, 채택확정 : 2013년 12월 18일)

Abstract: The objectives of this study are to measure the ball recovery rate of cleaning apparatus for plate heat exchanger. Ceramic ball is used for plate heat exchanger cleaning. The main components of cleaning apparatus are comprised of ball collector, ball trap, ejector, pump and plate heat exchanger. The ball recovery rate are obtained with change in recovery time and velocity of water. The results show that the ball recovery rate is slightly increased with increase in the recovery time and the velocity of water over 0.4 m/s in the straight flow. In the case of reverse flow, the ball recovery rate more increased than straight flow. The maximum ball recovery rate of the straight flow and reverse flow reach 83.97% and 86.61%, respectively, when the velocity and cleaning time are 0.5 m/s and 15min.

Key Words : Ball Recovery Rate, Ceramic Ball, Fouling, Plate Heat Exchanger

1. 서 론

무분별한 에너지 사용과 산업화의 확산으로 화석연료가 점점 고갈되고 있으며 이로 인해 지구온난화와 같은 환경변화가 발생하고 있다. 이에 대응하기 위해 1차 에너지 사용을 줄이고 친환경 에너지 및 폐열을 이용하는 기술도입이 필요하다. 이를 위해 다양한 형태의 폐열에너지 즉, 생활폐기물 소각열, 해수, 하천수, 산업현장에서 사용되고 버려지는 수많은 폐열에너지를 재활용하면 에

너지절약뿐만 아니라 환경개선 측면에서도 효과가 높다고 할 수 있다¹⁾.

폐열에너지의 경우 히트펌프 시스템과 같은 다양한 시스템에서 열교환기를 사용하게 된다. 하지만 폐열을 이용하여 열교환기를 장시간 운전할 경우 작동유체가 열교환기내부를 순환하면서 열전달을 방해하는 침전물이 형성된다. 이러한 물리 화학적 현상을 파울링(Fouling)이라고 하고 열전달을 방해하는 물질의 총괄적인 표현이다.

판형열교환기 내부에 오염물질이 생성되면 점

**** 권오경(교신저자) : 한국생산기술연구원 열유체시스템연구실용화그룹

E-mail : kwonok@kitech.re.kr, Tel : 041-589-8528

*채희만 : 호서대학교 대학원 기계공학과

**권정태 : 호서대학교 기계공학부

***차동안 : 한국생산기술연구원 열유체시스템연구실용화그룹

**** Oh-Kyung Kwon(corresponding author) : Energy System R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology.

E-mail : kwonok@kitech.re.kr, Tel : 041-589-8528

*Hee-man Chae : Department of Mechanical Engineering, Hoseo University.

**Jeong-Tae Kwon : Department of Mechanical Engineering, Hoseo University.

***Dong-An Cha : Energy System R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology.

차적으로 열교환 성능이 저하된다. 오염물질은 열교환기 내부의 흐름을 방해하고 압력강하 및 부하가 발생하여 전체시스템에 영향을 주게 된다. 이와 같은 문제를 해결하고 열교환기 성능을 유지하기 위해서는 오염물질 제거가 필수적이다. 일반적으로 행해지고 있는 판형열교환기 세정방법으로는 장치를 정지하고 열교환기를 분해하여 청소하는 방법, 브러쉬 등 도구를 이용하여 오염물질을 제거하는 방법, 화학약품을 침지하여 세정하는 방법 등이 행해지고 있다. 이러한 방법들은 세정시간동안 시스템을 운전 할 수 없다는 단점이 있다. 특히 열교환기를 분해하여 세정하면 다시 조립해야 하는 불편함이 생기고 화학 약품을 사용하여 세정하는 경우에는 환경오염의 우려가 발생하게 된다. 그래서 세정작업의 불편함을 없애고 환경오염 방지 및 열교환기 효율을 유지하기 위해 다양한 방법이 연구되고 있다.²⁾

자동세정장치에 관한 연구로 Sung 등은 냉각수의 오염 특성과 물리적 수처리 방안 및 냉각수 계통에서 세라믹 볼의 오염저감효과 연구를 수행하여 저감장치를 통과하는 유속 변화에 따라 파울링 저감 효과가 다르게 나타나는 것을 분석하였다.^{3,4)} Kim은 이젝터를 이용한 다관식 열교환기 최적화를 위한 구동특성 연구를 수행하여 이젝터의 최적화 및 볼 크기 변화에 의한 통과시간을 확인하였다.⁵⁾ 그리고 Baek 등은 냉각수 유속 변화 및 에어버블 투입에 대한 열교환기 열전달 효과와 상관관계 연구를 수행하여 기존에 비해 열전달효과가 10% 우수함을 보고하였다.^{6,7)}

다관식 열교환기 내에 스펀지 볼(Sponge ball)을 통과시켜 세정하는 자동오염제거장치의 경우 국내에서는 E사, 이스라엘의 C사 등 여러 회사 장치들이 시중에 보급되고 있으며 연구도 활발히 진행되고 있다. 그러나 세라믹 볼을 이용한 판형 열교환기 오염제거장치 개발은 전무한 실정이다.

본 연구에서는 세라믹 볼을 이용한 판형열교환기의 오염제거장치에서 판내 유속변화, 세정시간 및 회수시간 변화에 따른 세라믹 볼의 회수율을 측정하였다. 또한 각 운전조건에 대한 세라믹 볼 회수 특성을 파악하여 세라믹 볼을 이용한 판형열



Fig. 1 Plate heat exchanger cleaning apparatus.

교환기용 세정장치 개발을 위한 기초설계 자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험에 사용된 세라믹 볼을 이용한 판형열교환기 세정장치를 나타낸 것이다. 장치구성은 크게 메인배관 부분과 볼 투입 및 회수 부분, 세정방향 전환 배관으로 구성되어 있다.

메인배관은 물 순환을 위한 3.7 kW용 메인펌프(Main pump)와 유량조절을 위한 인버터(Inverter)가 설치되어 있으며, 초음파 유량계를 이용하여 유량을 측정하였다. 또한 판형열교환기(1000×350×120 mm)와 세정 후 세라믹 볼 유실을 방지하기 위한 볼 분리기(Ball trap)로 구성되어 있다.

볼 분리기는 볼텍스(Vortex)형상으로 제작되어 오염물은 상부로 부유하여 배출되고 세라믹 볼은 내부 격벽에 의해 분리되어 볼 수집기로 순환되도록 하였다.

세라믹 볼의 투입 및 회수 부분은 2.5 kW용 유닛펌프(Unit pump)와 볼 수집기(Ball collector), 이젝터(Ejector)로 구성되어 있다. 볼 수집기 내부는 세라믹 볼 투입구와 배출구, 회수 상태를 확인할 수 있는 가시창이 설치되어 있다. 메인배관에는 세라믹 볼 투입 및 회수가 용이하도록 투입구에 이젝터를 설치하였다. 이젝터는 유닛 펌프 운전

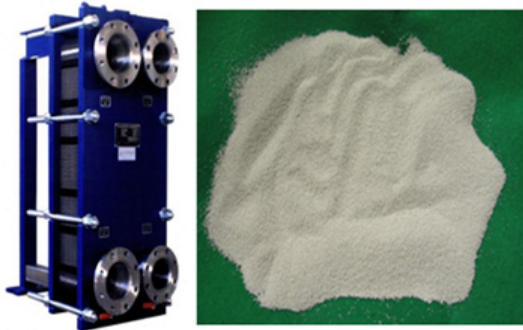


Fig. 2 Photo of plate heat exchanger and ceramic ball.

시 발생하는 압력으로 볼 수집기 내부의 유체와 세라믹 볼을 흡입하여 메인 배관으로 배출하는 역할을 하게 된다.

세정방향 전환부분은 전체 65A 크기 배관으로 구성되었다. 방향은 세라믹 볼이 판형열교환기 아래에서 위로 이동하는 순방향과 위에서 아래로 이동하는 역방향이 있다. 이는 세정장치를 순방향으로만 작동시키면 판의 접촉면으로 인해 하부면만 세정이 되는 문제가 발생하여 반대쪽 상부면도 세정하기 위해 방향 전환 배관을 설치하였다. 본 실험에서는 방향 전환에 따른 세라믹 볼의 회수율을 확인하였다.

2.2 실험방법

Fig. 2는 본 실험에 사용된 판형열교환기와 세라믹 볼을 나타낸 것이다. 판형열교환기는 조립이 가능한 가스켓 타입을 사용하였으며, 전열판수는 19장이다. 전열판은 웨브론 형상으로 웨브론 각도는 30°이며, 판과 판 사이 간격은 약 4~7 mm이다. 열교환기 세정을 위해 사용되는 세라믹 볼은 크기가 1 mm이며, 볼 분리기 내부에서 유실되는 것을 방지하기 위해 무게 0.0016g, 비중 2.5의 물성을 가진 세라믹 볼을 선정하였다.

Fig. 3은 본 실험에서 구성된 세라믹 볼을 이용한 판형열교환기 세정장치의 개략도이다. 실험에서 유속은 메인펌프에 인버터를 연결하여 회전수를 조절하였고 메인배관에 초음파유량계를 설치하여 유속을 측정 하였다. 그리고 유닛펌프는 메

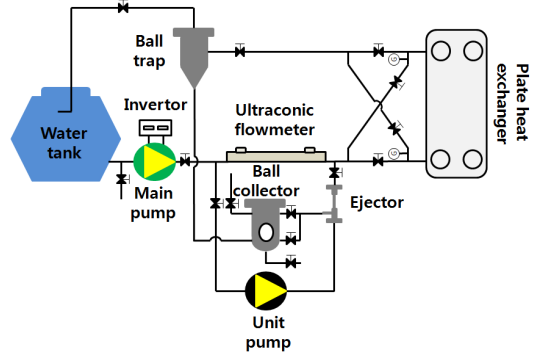


Fig. 3 Schematic diagram of ceramic ball cleaning and collect system.

Table 1 Experimental conditions

| Parameter | Conditions |
|------------------------|---------------------------|
| Input ceramic ball (g) | 100 |
| Velocity (m/s) | 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5 |
| Cleaning time (min) | 5, 15 |
| Recovery time (min) | 5, 10, 15, 20, 25 |
| Direction | Straight, Reverse |

인배관에 흐르는 유체를 이용하여 이젝터에 압력을 생성하게 된다. 그리고 볼 수집기에는 5개의 배관과 4개의 밸브가 설치되어있다. 상부와 하부로 향하는 배관이 있으며, 상부는 세라믹 볼을 수집기에 투입하기 위한 배관이고 하부는 세라믹 볼과 유체를 외부로 배출하기 위한 배관이다. 그리고 이젝터에 연결된 2개의 배관은 세라믹 볼의 투입과 회수를 위해 사용된다.

Table 1은 세라믹 볼을 이용한 판형열교환기 세정장치의 투입 및 회수시간 조건을 나타낸 것이다. 실험은 순방향, 역방향 변화와 세정 시간을 기준으로 유속과 회수시간 변화에 따른 회수율을 실험하였다. 실험은 먼저 물탱크 내부의 온도를 상온으로 유지하고 세라믹 볼을 건조 상태에서 정밀 저울로 100g 측정 후 세정방향과 세정시간을 결정하였다. 그리고 메인펌프를 가동하여 인버터를 통해 유속을 일정하게 유지하였고 유닛펌프 가동 후 세라믹 볼을 수집기 내부에 투입하였다.

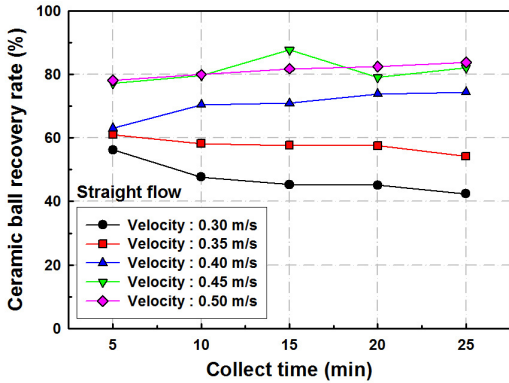


Fig. 4 Variation of ceramic ball recovery rate with collect time. (5 min cleaning)

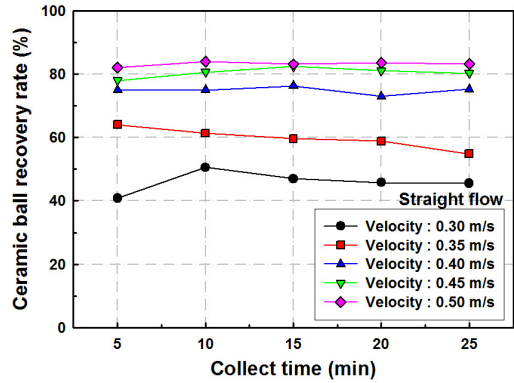


Fig. 6 Variation of ceramic ball recovery rate with collect time. (15 min cleaning)

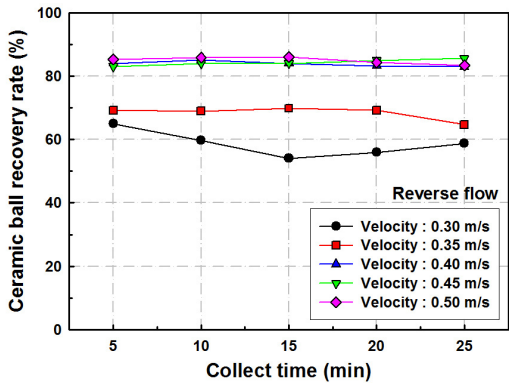


Fig. 5 Variation of ceramic ball recovery rate with collect time. (5 min cleaning)

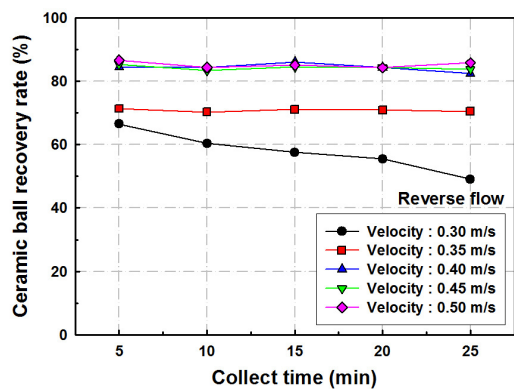


Fig. 7 Variation of ceramic ball recovery rate with collect time. (15 min cleaning)

유속과 회수시간 변화에 따른 회수량 비교실험은 유속조건(0.3 ~ 0.5 m/s)에서 회수시간(5 ~ 25분)을 5분씩 증가시켜 5회 실험을 하였다. 세정이 끝나면 회수밸브를 이용하여 상기 조건에 따라 세라믹 볼을 수집기에 수집하였다. 일정 회수시간이 지나면 볼 수집기 하부의 배출밸브를 이용해 물과 세라믹 볼을 배출하고 세라믹 볼의 최초 투입건조 무게(100g)에서 회수된 세라믹 볼의 무게를 기준으로 회수량을 산정하였다.

이때 침수되었던 세라믹 볼을 2 kW 고온 열풍기를 이용하여 회수된 세라믹 볼의 건조무게를 측정하였다. 실험이 완료되면 다음 실험을 위해 실험장치 내부에 잔존하는 세라믹 볼을 높은 유속으로 100% 회수한 후 다음 실험을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 세라믹 볼이 순방향으로 5분 세정 할 때 회수시간 변화에 따른 볼 회수율을 측정된 것이다. 0.4 m/s에서 0.5 m/s로 유속이 증가하고 회수시간이 5분에서 25분으로 증가함에 따라 회수율이 증가하는 것으로 나타났다. 유속 0.4 m/s에서는 0.45~0.5 m/s보다 상대적으로 낮은 회수율이 측정되었다. 이는 판형열교환기 출구의 방향전환 배관에서 일정량의 세라믹 볼이 정체된 것으로 판단된다. 하지만 유속 0.3~0.35 m/s에서는 회수시간이 증가할수록 회수율은 평균적으로 각각 10~5% 감소하는 것으로 측정되었다. 이는 낮은 유속에서 볼 회수를 위해 유닛펌프를 작동하면, 메인배관에

세라믹 볼을 이용한 판형열교환기 세정장치의 볼 회수율 측정

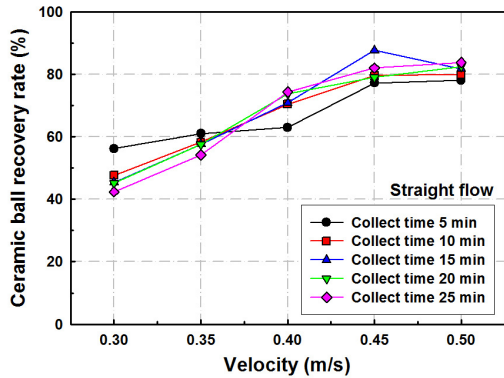


Fig. 8 Variation of ceramic ball recovery rate with velocity. (5 min cleaning)

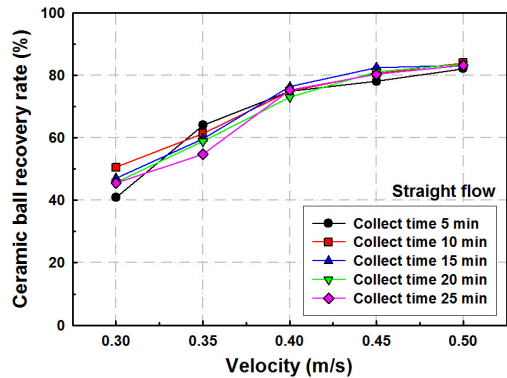


Fig. 10 Variation of ceramic ball recovery rate with velocity. (15 min cleaning)

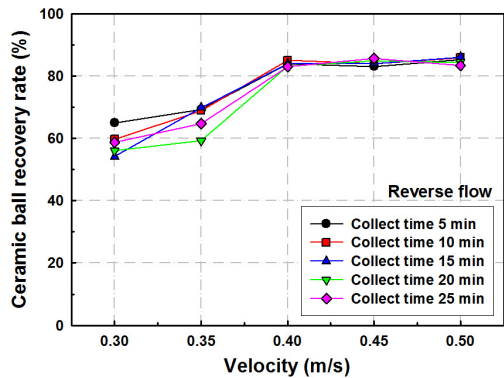


Fig. 9 Variation of ceramic ball recovery rate with velocity. (5 min cleaning)

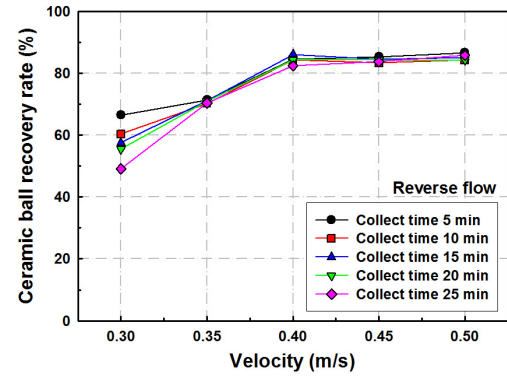


Fig. 11 Variation of ceramic ball recovery rate with velocity. (15 min cleaning)

호르던 유체가 유닛 펌프로 일부 이동하면서 압력차가 발생하게 된다. 메인배관의 유체는 증기압보다 낮아져 액속의 공기와 수증기가 분리되고 기포가 발생하는 것으로 사료된다. 이 때 생성된 기포는 불 분리기에서 외부로 배출되지만 일부는 불 수집기로 이동하는 것으로 판단되며, 가시화창을 통하여 불 수집기로 기포가 유입되는 것을 확인하였다. 그 결과 기포가 상승하면서 세라믹 볼을 다시 메인배관에 투입시키는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 세라믹 볼이 역방향으로 5분 세정 할 때 회수시간 변화에 따른 볼 회수율을 나타낸 것이다. 유속이 0.4~0.5 m/s에서 볼 회수율은 회수시간에 관계없이 83~86%로 일정하게 나타났다. 이는 열교환기 출구배관 굴곡부가 순방향은 방향전

환 밸브와 불 분리기로 연결된 배관 총 세 부분이 고 역방향은 불 분리기로 연결된 배관 총 한 부분으로 세라믹 볼의 정체가 적은 것으로 판단된다. 볼 회수율은 순방향과 동일하게 역방향 유속 0.3~0.35 m/s에서도 감소하는 경향이 측정되었다. 하지만 평균적인 감소율은 각각 9~5%로 비슷하게 나타났지만 회수율은 순방향보다 굴곡부 영향이 적어 10% 높게 나타났다.

Fig. 6과 Fig. 7은 세라믹 볼이 순방향과 역방향으로 15분 세정 할 때 회수시간 변화에 따른 볼 회수율을 나타낸 것이다. 순방향 0.4~0.5 m/s에서는 회수시간 증가에 따라 회수율이 증가하는 경향이 측정되었고 5분 세정과 비교 시 평균 7%이상 높은 회수율이 나타났다. 하지만 역방향일 때

0.4~0.5 m/s에서는 회수시간에 관계없이 82~86% 이상의 일정한 회수율이 측정되었으며, 5분 세정 시 측정된 값과 유사하게 나타났다. 또한 0.3~0.35 m/s 에서는 불 회수율이 감소하는 경향이 나타났으며, 순방향은 평균적으로 4~7%, 역방향은 1~18% 감소하였다. 세정시간을 5분에서 15분으로 증가시켜 비교할 때 세라믹 불의 회수율 변화 폭이 크지 않은 것으로 나타났다.

Fig. 8은 세라믹 불이 순방향으로 5분 세정 할 때 유속변화에 따른 불 회수율을 나타낸 것이다. 유속이 0.3~0.5 m/s로 증가하면 회수율도 일정하게 증가하는 경향이 나타났다. 이는 낮은 유속으로 작동 시 판형열교환기 출구의 방향전환 배관에서 정체되어 있던 세라믹 불들은 유속이 증가하면서 정체가 해소되는 것으로 판단된다. 유속이 0.3 m/s에서 0.4 m/s로 증가하면 불 회수율이 평균 15%씩 향상되었고 80%에 근접하면서 회수율은 안정되는 것으로 측정되었다.

Fig. 9는 세라믹 불이 역방향으로 5분 세정할 때 유속변화에 따른 불 회수율을 나타낸 것이다. 유속이 증가함에 따라 회수율이 증가하는 경향을 나타내었으며, 순방향 회수율보다 10%이상 높은 회수율이 측정되었다. 특히 유속이 0.4~0.5 m/s에서 83% 이상의 일정한 회수율이 측정되었다. 이는 역방향에서 굴곡부 등의 배관 영향이 순방향보다 적어 0.4 m/s에서부터 일정한 회수율이 측정된 것으로 판단된다.

Fig 10과 Fig. 11은 세라믹 불이 순방향과 역방향으로 15분 세정할 때 유속변화에 따른 불 회수율을 나타낸 것이다. 유속이 증가함에 따라 순방향과 역방향에서 세라믹 불 회수율이 증가하는 경향이 측정되었다. 순방향의 경우에는 0.3 m/s에서 0.4 m/s까지는 높은 불 회수율이 측정되다가 그 이후에는 점차 불 회수율의 증가폭이 미미하였다. 역방향의 경우 0.3 m/s에서는 회수시간에 따라 불 회수율이 다양하게 측정되었지만 0.35 m/s 이후에는 회수시간에 상관없이 유사한 회수율이 나타났다. 유속이 0.4~0.5 m/s인 경우에는 83% 이상의 일정한 회수율이 측정되었다.

4. 결 론

세라믹 불을 이용한 판형열교환기 세정장치의 불 회수율에 관한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 세라믹 불의 회수율은 순방향으로 5분과 15분 세정시 유속이 0.4 m/s 이상에서 회수시간이 증가함에 따라 회수율이 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 하지만 유속 0.3~0.35 m/s에서는 회수시간이 증가할수록 기포의 영향으로 회수율은 평균적으로 각각 10~5% 감소하는 것으로 측정되었다.

(2) 역방향의 경우 불 회수율은 5분과 15분 세정시 유속이 0.4 m/s 이상에서 회수시간에 관계없이 83~86%로 나타났다. 역방향의 경우 순방향보다 굴곡부의 영향이 적어 회수율이 높게 나타났다.

(3) 세라믹불의 최대 회수율은 순방향의 경우 유속 0.5 m/s, 15분 세정, 회수시간 10분에서 83.97%, 역방향의 경우 유속 0.5 m/s, 15분 세정, 회수시간 5분에서 86.61%를 회수하였다.

향후에는 세라믹 불의 회수율을 보다 높이기 위해서 세라믹 불의 정체를 최소화 할 수 있도록 배관구조를 굴곡부가 없는 직관으로 구성하고 배관내에 오염을 인위적으로 생성시켜 세정장치의 성능시험을 수행하고자 한다.

후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(No. 20112020100120)

References

1. P. A. Pilavachi, and J. D. Isdalem, 1993, "European Community R&D Strategy in the Field of Heat Exchanger Fouling Project, Fouling Mechanism", Heat Recovery Systems and CHP, Vol. 13, No. 2, pp. 133-138.
2. T. R. Bott, L. F. Melo, 1997, "The Fouling of Heat Exchangers" Experimental Thermal and

Fluid Science, Vol. 14, No. 4, pp. 315.

3. S. K. Sung, S. H. Suh, H. W. Roh and Y. I. Cho
2003, "A Study on the Formation of Fouling in a
Heat Exchanging System for HAN-River Water as
Cooling Water", Proceeding of the KSME, pp.
1473-1478.
4. S. K. Sung, S. H. Suh, 2007, "Effect of Fouling
Mitigation for Ceramic Ball in Cooling Water
System of Heat Exchanger", Journal of the
Korean Society of Mechanical Engineers, (B),
Vol. 31, No. 4, pp. 330-334.
5. J. D. Kim, 2009, "An Experimental Study of
Operating Characteristics on Fouling Auto
Removal Apparatus of Multi Pass Type Heat
Exchanger Using Ejector", Journal of the Korean
Society Power System Engineering, Vol. 13, No.
6, pp. 63-69.
6. S. M. Baek, W. S. Seol, H. S. Lee and J. I.
Yoon, 2009, "Characteristics of Auto Fouling
Cleaning System in Plate Heat Exchanger",
Proceeding of the KOSME, pp. 275-280.
7. S. M. Baek, W. J. Choi, J. I. Yoon and W. S.
Seol, 2010, "Characteristics of Decrease Effect in
Fouling on Plate Heat Exchanger Using Air
Bubble", Journal of the Korean Society for Power
System Engineering, Vol. 14, No. 1, pp. 22-26.