

필터재 투과성 효율 증대를 위한 초음파의 활용

Effect of Sonication on Permeability of Filter Paper

오세현¹⁾, Se-Hun Oh, 황명기²⁾, Myong-Ki Hyong, 김형수³⁾, Hyong-Soo Kim, 김영욱⁴⁾, Young-Uk Kim,

¹⁾ 명지대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Myonji University

²⁾ 명지대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Myonji University

³⁾ 성균관대학교 토목환경공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Myonji University

⁴⁾ 명지대학교 토목환경공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Myonji University

SYNOPSIS : This study investigated the effect of ultrasound on the permeability of the filter paper. The investigation involves laboratory experiments, and the laboratory tests were conducted under a broad range of conditions including energy levels of ultrasonic waves, time for treatment, and temperature. The results of the study show that sonication enhances the permeability of the filter paper significantly. The degree of enhancement varies with sonication power and duration of application. The effect of sonication on permeability with temperature variation and concentration of the test specimens seems not to be significant.

Key Words : energy, filter, permeability, sonication, ultrasound

1. 서론

급속한 산업의 고도성장과 생활수준의 향상에 따라 생활용수 및 공업용수의 수질은 점점 오염되고 있다. 오염된 물을 공업용수 및 식음료 수로 사용하기 위해서는 그 용도에 맞도록 오염 물질을 제거하고 필요에 따라서 일정 순도까지 정제하여 사용하게 된다. 이러한 물의 정제과정에 사용되는 분리재료를 필터재(Filter)라한다. 일반적으로 필터재는 단독으로 사용되기는 어렵고 정제 과정에 이용할 수 있도록 일반적으로 장치화하여 사용한다. 최근 고분자기술, 전기화학, 세라믹 기술 등 소재산업의 발달에 따라 분리막으로서 이용할 수 있는 막의 재질이 다양화 되고 다양화된 막의 성질을 이용해 여러가지 기체나 액체의 분리 등에 적합한 막을 선택적으로 이용할 수 있다. 이러한 원리를 이용해 이 연구에서는 물의 정제 과정에 분리막(Membrane)으로서의 필터재 사용과 필터재의 투과성 향상에 초음파가 어떠한 영향을 주는지 알아보았다. 현재까지 국내에서는 필터재의 투과 효율 증대를 위하여 초음파를 사용하는 경우는 거의 없었으며, 해외의 연구 실적도 많이 부족한 편이다. 이 연구에서는 현재 진행되고 있는 해외의 연구에서 한 걸음 더 나아가 보다 광범위한 시험 조건을 적용하여 최적의 조건을 찾아내고 필터재를 사용한 물의 처리 효율을 극대화시키기 위하여 초음파의 적용에 관하여 연구하고, 기존의 여과방식의 가장 큰 단점인 미세입자 및 먼지 등에 의해 필터재의 투과율을 저하시키는 필터재의 막힘현상(Clogging)으로 인한 경제적, 시간

적 손실을 극복하기 위해 초음파 공동(Cavitation)에너지를 이용한 필터재의 투과효율 증대 여부에 대해서도 알아보았다.

본 연구에서는 초음파에 의해 필터재를 통과한 전해질의 투과속도에 대하여 조사하였으며 초음파 강도, 온도, 전해질의 초기농도 등을 달리하여 실내시험을 실시하였다.

2. 초음파의 특성

2.1 초음파의 정의

소리의 높낮이는 주파수에 의해서 결정되는데 넓은 소리의 범위 가운데 사람이 들을 수 있는 범위는 제한되어 있다. 즉 사람이 들을 수 있는 가청주파수의 범위는 1초에 20번 진동하는 소리에서 20,000번 진동하는 소리까지이다. 초음파도 본질적으로는 가청범위의 음파와 성질이 같으나 일반적으로 사람의 귀로는 소리로서 느낄 수 없는 주파수 약 20,000Hz 이상의 음파로 정의된다.

2.2 초음파의 적용원리

초음파는 본질적으로 가청범위의 음파와 성질이 같으나, 주파수가 높고 따라서 파장이 짧기 때문에 상당히 강한 진동이 생기므로 보통의 소리에서는 볼 수 없는 성질도 나타낸다. 특히 초음파는 물질을 흔드는 힘이 강하기 때문에 물을 넣은 용기의 아래 부분에서 초음파를 발생시키면 물보라를 만들 수 있을 정도로 강하며, 초음파의 진로상의 매질은 부분적으로 가열되어 액체 내에 작은 기포가 발생한다. 이 현상을 초음파의 공동현상(Cavitation)이라 하며 이 공동이 폭발하면서 강력한 에너지를 방출한다.(Li, et. al,1995) 또한, 이 기포가 터질 때의 압력 및 기포 내에서의 방전 때문에 초음파를 받은 물질은 기계적인 작용을 받거나 화학변화를 일으킨다. 결국 초음파로 인해서 발생하는 에너지를 이용하여 막 또는 필터재의 막힘 현상을 제거하며 투과성을 증대시키는 효과를 얻을 수 있다. (Chai, et. al, 1998)

3. 실내시험

3.1 시험기구

필터재 투과성 효율 증대를 위한 이 시험에 사용되는 장비 및 재료로는 초음파공급장치 (CS 2300, 최대출력 800W), Filter paper(Whatman 17CHR), 비이커(100, 250, 300, 500 ml), 메스실린더(1000ml), pH측정 장치(Model 420A 실험실용 pH Meter), 전극제(pH 10.01의 전해질 용액)등이 사용되며 사진 1, 2, 3과 같다.

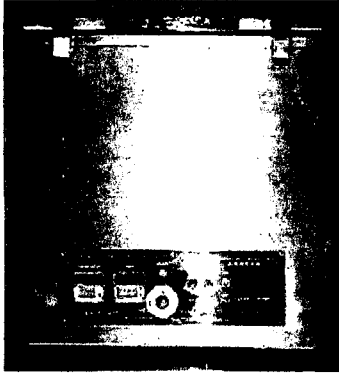


사진1. 초음파처리기

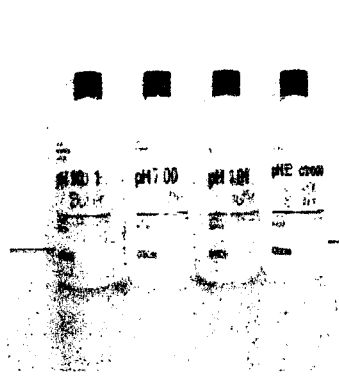


사진2. 전극제



사진3. pH 측정기

3.2 시험방법 및 순서

이 시험에서는 초음파처리가 분리 막의 투과특성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해서 초음파강도, 온도조건, 전해질 용액의 양 등을 변화시켜 가면서 투과성 변화 특성을 조사하였다. 초음파강도는 100W, 400W, 800W를 사용하였으며, 초음파처리 되는 용액의 농도와 온도조건을 변화하여 시험을 실시하였으며 세부적인 시험방법은 다음과 같다.

- ① 메스실린더를 사용하여 초음파처리기에 물 4000ml를 채운다.
- ② 필터페이퍼를 사용하여 시험기 내부에 분리 막을 설치한다.
- ③ 전해질 용액을 투과하기 전에 초기 pH 값을 측정한다.
- ④ 물이 담겨진 초음파처리기에 전해질용액을(그림 1의 (1)부분)에 넣는다.
- ⑤ pH 측정 장치를 사용하여 전해질 용액을 투과한 반대편(그림 1의 (2)부분)의 pH의 변화를 확인하고 시간별로 기록한다.
- ⑥ 시험 중 Stirrer를 이용하여 그림 1의 (1)과 (2) 부분에 농도가 일정하도록 유지한다.

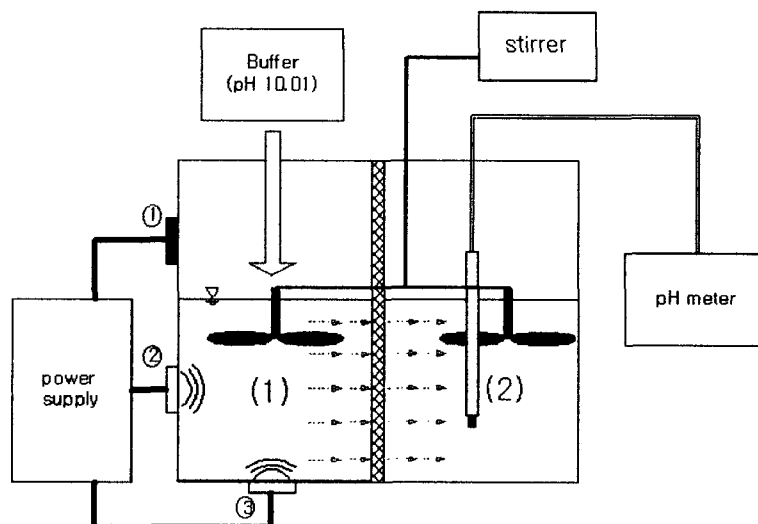


그림1. 초음파처리실험 개략도

4. 시험결과 및 분석

그림 2는 무처리시와 각 강도별 초음파 처리시의 pH 값의 변화를 나타낸 것이다. 분리 막(필터재)을 기준으로 물 4ℓ 에 한쪽은 전해질 용액 pH 10.01을 225ml 투여하고 다른 한쪽에 pH METER를 설치하여 무처리시의 분리 막을 통과하는 자연적인 전해질 이동을 80분 동안 살펴보았다. 이때 pH METER를 이용한 초기 pH는 7.48이었고 마지막 측정시 pH는 7.7이었다. 무처리시 pH의 변화량이 0.28에 불과하며 전해질 용액의 이동이 더디다는 것을 알 수 있었다. 다음으로 무처리와 동일한 시험방법으로 초음파 강도를 100W를 적용하였다. 전해질을 투과하지 않은 부분의 초기 pH는 7.8이고 초음파 처리 9분여 만에 pH는 8.79로 그 변화량이 약 1.0으로 초음파를 적용하지 않은 경우에 비하여 투과성이 약 3배정도 증가한 것을 알 수 있다. 위 두 시험에서 초음파가 전해질용액의 투과성에 커다란 영향을 준다는 것이 나타났다. 다음으로 초음파 강도 100W와 비교하기 위해서 초음파 강도를 400W로 적용한 결과 초기 pH는 7.94에서 초음파 처리 시간 7분여 만에 pH는 9.01로 변화하였다. 그 변화량은 약 1.1로 초음파 강도 100W와 비교하면 초음파강도의 증가에 비해 상대적인 변화량이 적었으나 처리시간에 있어서는 약 1~2분정도의 단축을 보였다. 마지막으로 초음파 강도 800W 적용시 초기 pH는 7.94 이고 처리시간 7분여 만에 pH가 9.28로 상승했다. 강도 400W에 비하여 투과특성이 크게 향상하였음을 알 수 있었다. 이상의 결과에서 무처리시 보다는 초음파 처리시가 전해질 용액의 투과성 향상에 영향을 주고 초음파 처리 시에는 초음파 강도가 클수록 효율성이 더 좋은 것으로 나타났다. 이는 초음파가 전해질 용액의 분자활동과 용액의 투과속도에 영향을 주어 pH 농도가 낮은 반대쪽으로 분자운동이 활발하게 발생하여 분리막(필터재)의 투과성이 향상된 것이다.(King and Foster, ,1990)

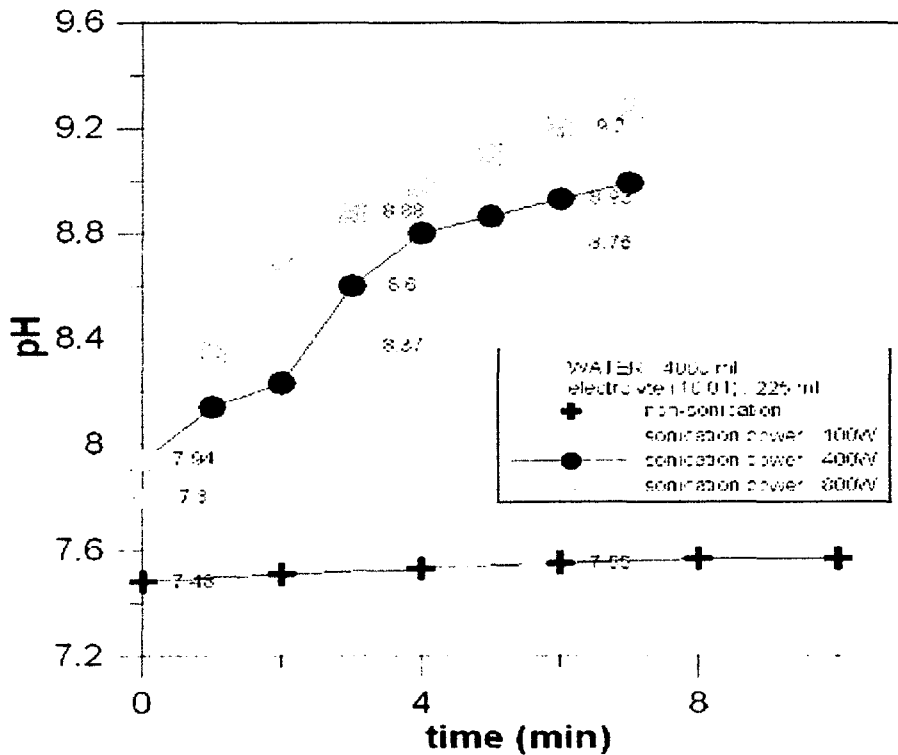


그림2. 초음파 처리중합

그림 3은 분리막(필터재)의 투과특성에 가장 큰 영향을 주는 초음파강도 800W에서 수온 15°C, 물 4ℓ에 대한 전해질 용액(pH 10.01)을 각각 150ml, 250ml을 투여하여 전해질 용액의 농도에 대한 pH 값의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과에서 보듯이 농도에 의한 전해질 용액의 투과특성의 차이가 거의 존재하지 않고 초음파 처리에 의한 투과성 향상만 존재하는 것을 알 수 있다. 따라서 농도는 분리막(필터재)의 투과성 증진에 별로 영향을 끼치지 않는 것을 알 수 있다.

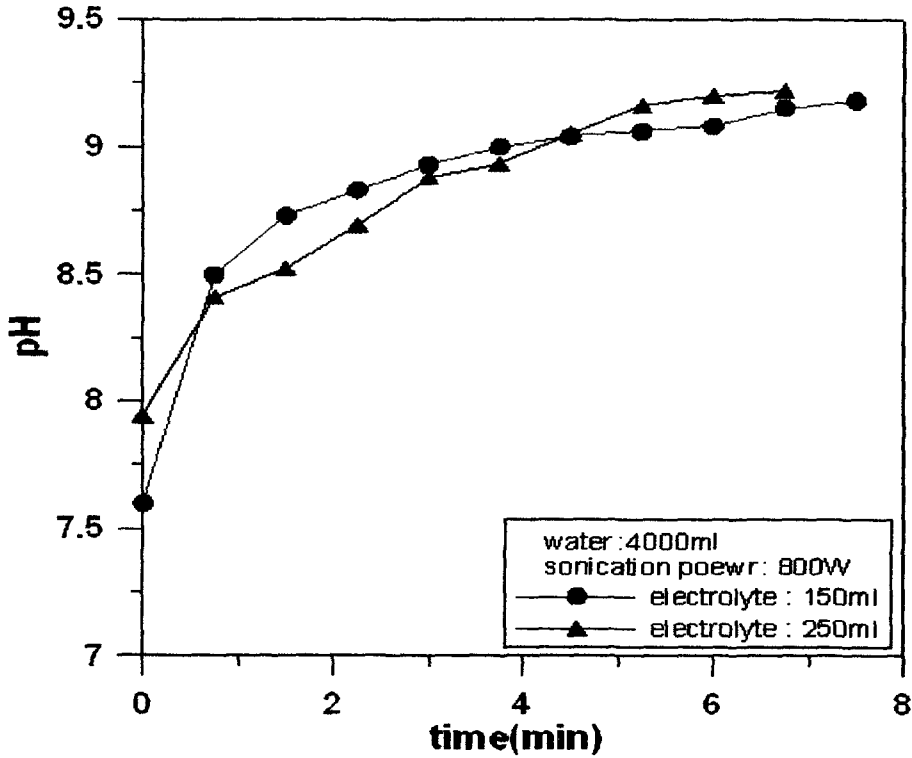


그림3. 초음파처리에 대한 농도의 영향

그림 4는 물 4ℓ에서 전해질 용액의 농도 변화를 뚜렷이 볼 수 있는 초음파 강도 800W와 전해질 용액 225ml에서 수온 15°C, 30°C, 60°C에서 시험을 실시하였다. 실험결과 수온 15°C에서는 전해질 투과 부분의 반대편 초기 pH는 7.94에서 초음파 처리시간 7분여 만에 pH 9.24로 일정해졌으며, 그 변화량은 1.31이었다. 수온 30°C에서는 초기 pH 7.94에서 초음파 처리시간 4분여 만에 pH 9.33이 되었다. 수온 15°C에 비하여 그다지 변화량은 크지 않았지만 처리시간에 있어서 단축효과가 나타났다. 수온 60°C에서는 초기 pH 7.82에서 처리시간 5분 만에 pH 8.62로 일정해 졌지만, 초음파 처리시간을 증가시켜도 그 이상의 증가는 없었다. 오히려 수온이 너무 높으면 초음파 처리의 효과가 감소됨을 알 수 있었으며 이들 온도의 영향을 그림 4에 종합적으로 나타내었다. 이 시험결과에서 보듯이 초음파 처리의 효율성 증진에 영향을 주는 적절한 온도가 여기서는 30°C임을 알 수 있었다. 이러한 결과는 초음파의 특성중 매질이 물인 경우에 온도가 높을수록 초음파 반응의 에너지원인 캐비테이션 기포의 수는 증가하나 캐비테이션 강도가 약해지기 때문이며 적절한 온도범위 이상에서는 너무 높은 온도로 인하여 초음파를 받은 물질의 화학적 안정성에도 변화를 가져온 결과라 할 수 있다.

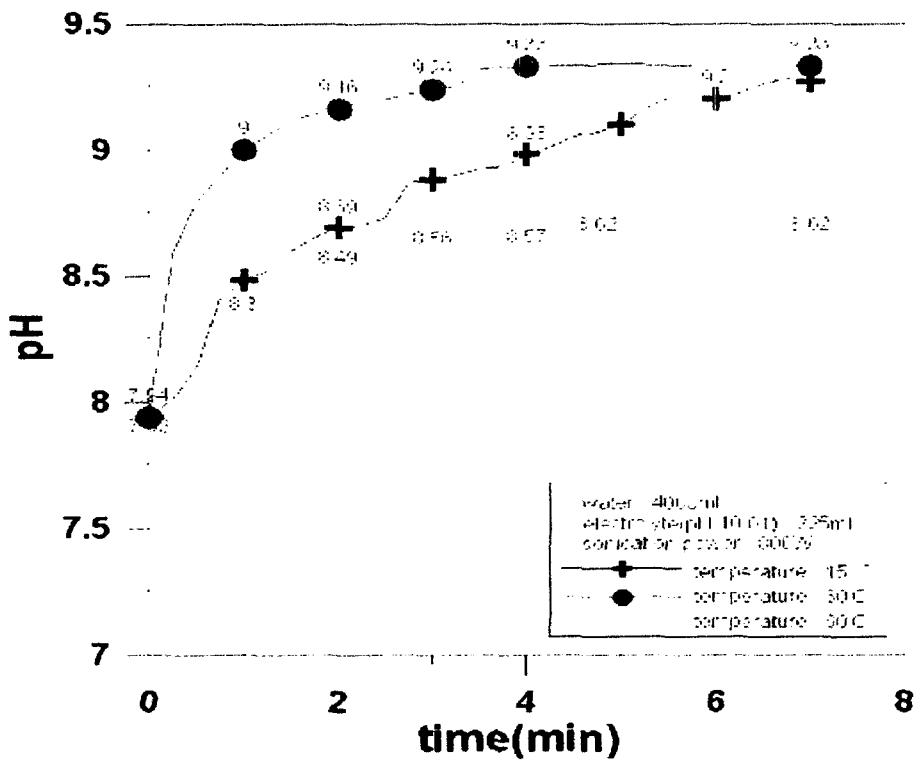


그림4. 초음파처리에 대한 온도의 영향

아래의 사진은 초음파처리에 따른 막(필터재)의 구조적 변화를 알아보기 위하여 초음파처리하지 않은 경우와 초음파강도 100W, 400W, 800W로 처리한 네 가지 경우에 대하여 SEM 촬영사진이다. 사진의 결과에서 보듯이 이번 연구에서 사용된 분리막(필터재)의 경우에 있어서는 초음파처리로 인한 필터재의 구조적 손상은 없었고 투과성 향상 현상만 나타났음을 알 수 있었다.

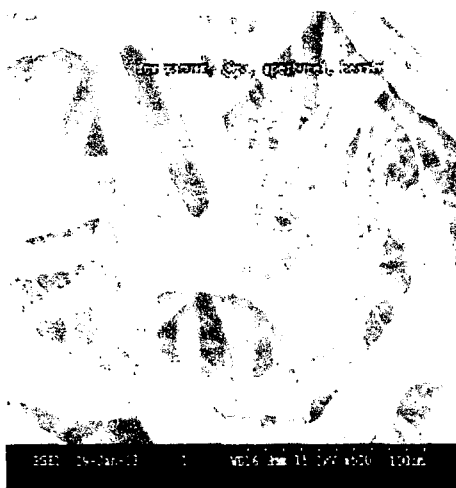


사진5. NON-SONICATION

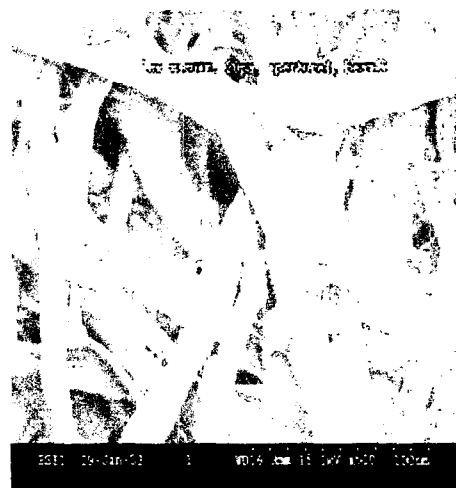


사진6. 초음파강도 100W

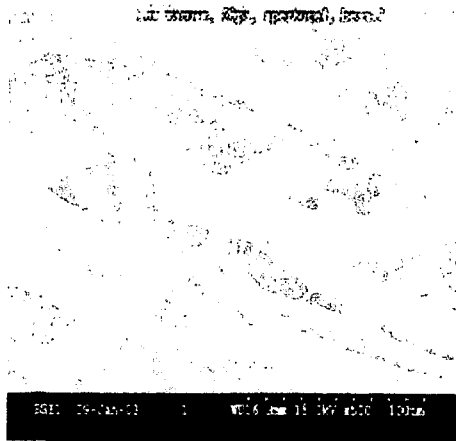


사진7. 초음파강도 400W

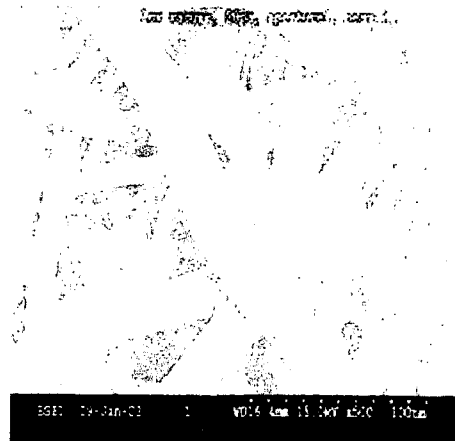


사진8. 초음파강도 800W

결론

초음파 처리를 통한 막(필터재)의 투과특성 향상 여부를 알아보기 위하여 다양한 조건에 대한 실험이 실시되었다. 주된 시험조건으로는 초음파강도, 처리시간, 농도조건 및 온도조건 등을 들 수 있으며 세부적인 결론을 내리면 다음과 같다.

- 1) 초음파를 적용한 경우가 적용하지 않은 경우에 비하여 투과성이 크게 향상 되는데 이는 물질을 흔드는 힘이 강한 초음파의 특징에 기인하여 전해질의 이동속도가 초음파를 처리하지 않았을 때 보다 빨라졌기 때문이다
- 2) 동일한 조건에서는 초음파강도가 증가할수록 필터재의 투과성도 향상된다.
- 3) 전해질 용액의 농도는 막(필터재)의 투과특성 향상에 별다른 영향을 미치지 않는다.
- 4) 온도가 증가함에 따라 전해질 용액의 활발한 분자운동으로 인하여 투과성이 향상되지만 그 온도가 적정 온도를 초과하면 투과되는 시료의 특성에 따라 오히려 투과특성이 감소함을 알 수 있다.
- 5) 이 연구에서 사용된 시험조건에서는 초음파처리로 인한 분리 막의 구조적 손상은 발생하지 않았다.

이번 연구를 통해서 막분리과정에 있어서 초음파가 상당한 영향을 미친다는 결론을 지을 수 있으며 특히 초음파강도는 막분리과정의 필터재 투과효율 향상에 가장 큰 영향을 미치는 영향인자중의 하나이고, 온도조건도 또한 시험결과에 영향을 미치는 것으로 드러났다. 그러므로 이번 결과를 토대로 하여 막분리과정에 있어서의 여러 가지 인자들의 영향을 일정한

함수로 정량화하는 한층 더 세부적인 연구가 가능해졌으며 보다 다양한 종류의 분리막을 대상으로 동일한 시험을 실시함으로써 실제에 사용가능한 최적의 운전조건을 결정하여 현장에 적용할 수 있는 가능성을 판단하였다.

감사의 글

이 연구는 환경부지정 경기지역 환경기술개발센터에서 주관하는 3차년도 연구개발사업의 일환으로 실시 되었기에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. Chai, Xijun, Kobayashi, Takaomi, and Fujii, Nobuyuki, (1998) "Ultrasound effect on cross-flow filtration of polyacrylonitrile ultrafiltration membranes ", *Journal of Membrane Science*, Vol.148, pp. 129-135.
2. King, R.O. and Forster, C. F., (1990), "Effects of Sonication on Activated Sludge" , *Enzyme Microb. Technol.*, vol.12, February, pp.109-115.
3. Li, Hui, Ohdaira, Etsuzo, and Ide , Masao, (1995), "Enhancement in Diffusion of Electrolyte through Membrane Using Ultrasonic Dialysis Equipment with Plane Membrane", *Japanese Journal of Applied Physics*, Part 1.