

AHP를 이용한 폐수정화공정의 막기술 선정에 관한 연구

홍순욱¹ · 김강민² · 김태현² · 조근태³

¹영동대학교 건설공학부/ ²성균관대학교 시스템경영공학부/ ³한국보건산업진흥원 산업기술단

An Application of the Analytic Hierarchy Process to the Selection of the Membrane Systems of Waste Water Treatment

Soon-Wook Hong¹ · Gang-Min Kim² · Tae-Hyun Kim² · Keun-Tae Cho³

Recently, due to the primary emphasis of environmental problem, the proper selection of the membrane systems necessary for waste water treatment has been one of the critical issues in the industrial sector. This paper shows how an Analytic Hierarchy Process (AHP) model can be used for assessing the performance of selected membrane systems: ultrafiltration, microfiltration, reverse osmosis, and electro dialysis essential for waste water treatments. The final results show that ultrafiltration is the most attractive membrane system to use in a water recycling system, followed by microfiltration, reverse osmosis and electro dialysis. This is consistent with the information that we found with respect to the elements that were taken into consideration. Sensitivity analysis is also provided here.

1. 서론

환경오염에 대한 지구의 자정능력은 이미 그 한계부하량을 초과한지 오래이다. 이에 따라 국내외적으로 환경오염에 대한 관심은 급증하고 있으며, 이는 제도적, 정책적 차원에서 기업의 사회적 책임은 강화하려는 방향으로 초점을 모으고 있다(폐수관리대책, 1997; 폐수배출 부과금, 1997; 폐수배출 업소 현황 및 배출량, 1997; 조형준과 홍성태, 1994; 사득환, 1997; 김인환과 이덕길, 1998). 이와 함께 환경문제를 환경기술로 해결하려는 움직임에 따라 지속적 개발 및 도입 또한 중요한 문제로 대두되고 있다(김훈기, 1994). 우리나라도 1992년부터 앞으로 10년간 많은 예산을 배정하여 대기오염방지, 수질오염방지, 폐기물처리, 해양환경보전, 청정기술, 환경보전기술, 환경생태기술, 지구환경보전기술 등 8개 분야의 23개 핵심과제에 대한 기술개발을 추진하려는 계획을 갖고 있다(G-7 환경공학 기술개발 1단계 사업평가 및 전망, 1996).

우리나라의 경우, 2차 산업의 급속한 성장에 따른 공단폐수 문제가 특히 심각한데, 환경부의 폐수처리실태 조사자료에 의하면(폐수배출업소 현황 및 배출량, 1997), 1997년도 기준으로 전국 38,939개의 폐수배출업소에서 하루 2,618천 톤의 폐수를 공공수역에 배출시키고 있다. 그러나 공단폐수 종말처리시설

은 총 30개소 시설용량 664.66천(톤/일), 농공단지 폐수종말처리시설은 총 88개 단지 시설용량 56,480(m³/일)으로서, 총 배출량의 30%도 처리하지 못하고 있는 실정이다. 이에 따라 폐수정화시설의 확충과 효율적 운영 및 그에 부응할 수 있는 새로운 정화기술의 개발이 요구되고 있다.

국내의 원자력 및 화력발전소, 석유화학산업, 철강산업, 반도체산업 분야 등 대량의 공업용수를 사용하는 산업분야에서는 부족한 용수를 확보하기 위한 시스템, 폐수발생을 최소화할 수 있는 시스템, 폐수를 재활용하는 시스템 등에 많은 관심을 가지고 있으며, 관련업체는 이와 같은 문제점과 요구조건을 충족시킬 수 있는 시스템을 연구개발하고 있다.

기존의 처리공정을 보면, 적용분야에 따라 차이는 있지만 대부분 전처리 시스템과 후처리 시스템으로 구성된다. 전처리 시스템은 응집침전과 여과, 흡착공정으로 이루어지며 후처리 공정은 주로 탈염공정으로써 이온교환수지를 이용한 탈염공정이 많이 적용되고 있다. 80년대 후반 들어 이러한 공업용수 처리 시스템에 막기술(membrane)을 채용한 처리시스템이 점차 늘어나기 시작했다.

최근 들어 전처리 시스템에는 Hollow Fiber Type Filter Membrane과 Tubular Type Filter Membrane, 후처리 시스템에는 역삼투막과 이온교환막을 적용한 시스템이 늘어나고 있다. 또한 처리수의 적용처에 따라 후단에 용존산소 제거설비를 적용하여

공업용수를 처리하고 있다(이창소, 1998). 오늘날 1)공업폐수정화공정을 도입하는 과정에서 분리막 기술을 이용하는 추세가 활발함에 따라 분리막 기술에 대한 체계적 효과평가가 시급히 요구된다. 이러한 요구에 부응하기 위한 막기술의 평가문제를 이 논문에서 다루려고 한다.

분리막 기술은 1960년경 미국에서 공업용수 등을 탈염하기 위해 개발된 이후, 공업용수 제조와 액화제품 분리에 폭넓게 이용되고 있다. 나아가 분리막 기술의 수처리 적용은 1960년대 Loeb과 Sourirajan에 의해 비대칭성 셀룰로오스막이 개발되어 상업화된 이래 최근에는 고도의 분리능을 갖는 막의 개발과 고효율 시스템의 개발 및 새로운 적용분야가 개척되고 있는데, 이러한 분리막의 종류에는 크게 역삼투막, 한외여과막, 정밀여과막, 이온교환막, 기체분리막, 투과증발막, 확산투석막, 전기투석막, 액막 등이 있다(최광호, 1997).

폐수처리공정은 산업분야별로 어느 정도 정형화된 패턴을 갖는 것이 일반적이지만, 산업분야간에는 그 공정이 상이하며, 공정을 이루는 핵심기술도 다양하다. 또한 경제성 측면에서 폐수정화시설을 비용으로 인식하는 업계의 고정관념 때문에 정화기술 자체에 대한 긍정적 이해가 부족한 것이 현실이다. 따라서 기업이 정화시설을 갖추어야 할 때 무엇을 어떻게 고려해야 하는가에 대한 평가 및 의사결정의 과정이 무척 어렵다고 하겠다. 이에 따라 본 연구에서는 정화시설과 관련된 핵심기술, 특히 오늘날 활발한 응용과 개발이 진행중인 대표적인 막기술에 관한 종합적 평가를 통하여 기업체의 정화공정 설계에 도움을 주고자 계층적 분석과정(Analytic Hierarchy Process: AHP)에 기초한 의사결정 모형의 개발을 통하여 합리적인 막기술 선정 모형을 제시하고자 한다.

복잡한 시스템에 관한 평가 및 의사결정 문제에 있어서 대안의 평가기준들은 정량적 자료로 표현될 수 있는 것도 있지만, 정성적 자료로밖에 표현될 수 없는 것들도 있다. 이러한 상황에서 최적 의사결정은 이들 자료를 토대로 판단기준 또는 대안들간에 얼마만큼의 우선순위를 두는가에 따라 달라지게 된다. 그러므로 다수의 기준하에서 평가되는 다수의 대안들의 우선순위를 선정하는 문제를 다루는 AHP 모형을 적용하여 대안간의 우선순위를 산정하고 의사결정을 내리려는 접근 방법은 타당하다고 본다. 또한 AHP 모형은 다속성 의사결정분석의 선호보정이 있는 모형이므로 의사결정에 관여한 사람들간의 주관적 판단의 민감도를 분석하고, 이를 어느 정도 보정할 수 있다는 점에서도 적용의 타당성이 확보된다고 할 수 있

1) 일반적으로, 일반폐수는 하수, 오수 등 생활폐수의 개념으로 재활용을 목적으로 하지 아니하고 생화학적 규제값 이하의 수질로 방류해야 하는 반면, 공업폐수는 공업활동의 산물로 생성되는 독성오염이 심한 폐수로서 정화 후 재활용을 목적으로 하는 경우가 많다. 재활용을 목적으로 도입되는 정화공정에는 막기술이 핵심기술이며 본 연구에서 고려된 막기술 내안들은 기술적인 측면에서 볼 때, 재활용을 목적으로 하는 모든 정화공정에 적용가능하다. 또한, 최근에 중수도법 제정 등을 통하여 정부가 일반폐수의 재활용까지 추진하려 하므로 향후 막기술에 대한 수요와 시장규모가 더욱 커질 것으로 예측된다.

다. 분석에 사용된 소프트웨어는 Expert Choice社의 ECpro 이다.

2. 폐수처리기술의 현황

폐수의 집수, 처리 및 처분시설의 설계와 운전 그리고 효과적인 수질관리를 위하여 중요한 것은 폐수의 성질을 파악하는 일이다. 폐수는 크게 물리적, 화학적, 생물학적 조성을 중심으로 그 특성을 파악할 수 있다. 폐수의 처리도 이러한 폐수의 성질에 따라 단계별로 분류된다. 즉, 폐수처리를 공정별로 분류하면 물리적 처리공정, 화학적 처리공정, 생물학적 처리공정으로 구분되고, 처리 계통별로 분류하면 1차 처리, 2차 처리, 3차 처리 즉, 고도처리로 나눌 수 있다. 또한, 처리방법에 따라 물리적 처리, 화학적 처리 및 생물학적 처리로 나눌 수 있다. 1차 처리는 폐수 중 다량의 부유 고형물을 제거하기 위한 장치로 구성되어 있으며, 2차 처리는 잔존하는 유기성 부유 고형물과 유기성 용존고형물을 생물학적으로 산화시키는 장치로 구성되어 있다. 3차 처리는 유출수 수질의 증대를 위한 고도처리의 단계이다.

막분리에 의한 폐수처리막 공법은 물리적 처리방법의 일종이다. 재래의 정화공정에 해당되는 스크린, 침사, 유량관등조, 친전, 부상분리, 입상여과, 기체전달 등의 방법과 막공법을 생물학적 처리법, 물리·화학적 처리법과 함께 비교하면 <표 1>과 같다(기문봉 외, 1997).

<표 1>에서 알 수 있듯이 막공법에 의한 폐수처리 기술은 일반적으로 전처리를 요구하는 고도처리분야, 또는 재활용을 위한 고품질의 수원을 확보하기 위한 기술로 적합하다는 것을 알 수 있다. 이러한 막공법의 특성은 정부의 규제나 폐수를 재활용해야 하는 기업의 경제성 측면 등을 고려해 볼 때, 중요한 기술적 특성으로 간주될 수 있다. 따라서, 막기술을 핵심기술로 하지 않는 재래의 폐수처리공정의 기술적 성능이 사회경제적 요구조건에 부합될 가능성은 더욱 적어질 것임을 의미한다.

폐수처리공정의 설계시, 고려해야 할 주요인들은 적용산업 분야에 따라 차이는 있지만, 일반적인 사항은 다음과 같다(유성환 외, 1998).

- (1) 폐수량 및 오염도에 따라 폐수위탁지리 대상여부
- (2) 해당수역의 폐수배출허용기준
- (3) 처리대상 폐수의 생분해성 정도에 따른 생물학적 처리 적용여부
- (4) 폐수처리시설의 성능과 처리 효율
- (5) 폐수처리시설 설치비 및 운영비 등 경제성
- (6) 폐수처리장 부지확보 가능 면적
- (7) 오·폐수 병합처리 여부
- (8) 재활용 처리계획
- (9) 외국의 신기술일 때 국내 유사업종 적용에 따른 성공여부 확인

표 1. 폐수처리방식별 특성

주요처리방식		생물학적처리법	물리, 화학적처리법	막처리법
비교항목				
제거효과	BOD 부유물질 색도 취기(냄새) 염류	대 중 소 중 중	소 대 중 중 어렵다	중 특대 대 대
운전관리	부하변동 장기운전정지 연속운전의 안정성 보수관리작업	가능 약간 어렵다 있다 용이	가능 가능 있다 약간 어렵다(약품용태작업)	가능 가능 있다 용이
장치	설치면적 소음 취기(냄새) 외관	대 블로워실을 설치함으로써 작다 근소 양호	중 중 없다 양호	소 고압펌프실을 설치함으로써 작다 없다 우수
슬러지처리	발성슬러지 슬러지성상 탈수성 탈수Cake함수율	있다 유기슬러지 양호 80~85%	있다 무기슬러지 양호 80~85%	업사(농축수)
비용	초기비용 운전비	1 1	1~1.1 1.5	1.2~2.0 1.5
기타	병원균에 대한 대책	불과(별도의 멸균처리)	불과(최동)	우수(세균류 및 바이러스 류는 막을 투과할 수 없다)
장점 · 단점		① 물리, 화학적처리법, 막 처리법에 비해 BOD 제거율이 높다 ② 취기 및 처리수의 색 도가 약간 남는다. ③ 회수율이 높다.	① 간헐운전이 가능하다. ② 응집침저처리보다 발생하 는 슬러지가 문제가 된다. ③ 회수율이 높다.	① 장치전체를 콤팩트화 할 수 있어 장치공간이 작아 도 된다. ② 간헐운전 가능 ③ 무색, 무취이며 염류도 제 거되는 양질의 물을 얻을 수 있다. ④ 회수율이 낮다.

(10) 운전관리의 난이도

(11) 처리장 가동시간

각종 산업현장에서 공업용수를 확보하기 위한 방법으로 공 정수의 재활용은 오래 전부터 실시해 오고 있다. 이 재활용 방 법은 특별히 정제공정을 거치지 않고 공정에서 사용되었던 물 을 그대로 재순환시키는 경우도 있으며, 간단한 처리공정을 거친 후 재순환하기도 하는데, 이 방법은 제품의 품질에 수질 이 영향을 미치지 않는 냉각수, 세척수 및 난방용에 주로 적용 된다.

일본의 경우, 각 산업별 물의 순환 재사용 현황을 분류하면 3 가지 유형으로 구분할 수 있다. 화학, 철강 및 수송 기계업체는 80% 이상을 재사용, 재순환하고 있으며 식품, 음료 및 제지업

체는 재활용률이 50% 미만이고 나머지 업체는 50~70%를 재 활용하고 있다. 이는 화학과 철강업체에서 사용하는 대부분의 용수는 냉각용으로 사용되기 때문에 재사용이 쉬운 반면, 식 품, 제지업계는 용수가 직접 제품과 접촉하기 때문에 수질이 제품의 품질에 영향을 미치게 되므로 재사용에는 처리공정이 필수적으로 요구됨에 따라 수질을 향상시키기 위한 고도의 수 처리 기술이 필요하게 된다. 따라서, 효율적인 용수의 재이용 방법을 고려하기 위해서는 각 공정에서 사용되는 용수의 수질기 준을 정하여야 하며, 막기술을 이용한 폐수처리기술이 절실히 필요하게 되었다.

막분리 공정(membrane process)은 막을 이용하여 기상 또는 액상의 혼합물을 막 양단의 농도차, 압력차, 전위차 등의 추진 력에 의해 분리, 농축, 정제하는 공정을 말한다. 이 기술은 용액

중의 분자, 콜로이드, 세포 등의 농축, 정제, 탈수 공정으로써 가정 및 전 산업체에 걸쳐 그 적용성이 날로 확대되고 있다. 특히, 최근에는 막분리가 오염감소 및 오염방지에 있어 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며 폐수 및 수처리 분야에의 이용이 확대되고 있다.

폐수 및 수처리 분야에서 이용되고 있는 막분리 공정은 배제되는 입자의 크기에 따라 역삼투법, 한외여과법, 정밀여과법, 전기투석법의 네 가지로 분류된다. 전기투석법과 역삼투압법은 폐수 중의 염류 제거 즉, 탈염분야에 많이 쓰이고 있으며, 이온성 물질 및 미생물뿐만 아니라 많은 유기화합물을 제거할 수 있는 장점을 가지고 있다. 한외여과법과 정밀여과법은 고분자, 콜로이드, 부유고형물의 제거에 유용하다.

필터와 막은 용질의 제거 메커니즘이 서로 다르다. 마치 종이와 같은 필터는 입자들을 섬유로 이루어진 망사구조 안에 잡아두게 되므로 결국 막힘(plugging)이 생겨 flux를 저하시키게 된다. 모래여과는 고형입자를 여재상으로 이동시켜 여재상에 부착하여 분리한다. 반면에 막은 용액과 접하는 discrete pore size opening이 있는 얇은 skin과 그 아래의 다공성 구조로 이루어져 있어 입자들이 막 내부에 잡히지는 않는다. 고분자에 대한 막의 배제능이 이러한 체거름 메커니즘에 기초한다. 따라서 입자의 크기와 형상은 그 입자의 막투과여부를 결정하는 중요한 인자가 되는 것이다.

과거에는 오염발생 후의 처리 및 관련기술개발에 주력해 왔으나, 오염규제가 강화되어 가는 추세이기 때문에 대기업을 중심으로 오염물질을 배출원에서 완벽하게 처리하려는 노력을 하고 있다. 그러나 중소기업의 경우, 폐수 배출량은 적은데 오염부하가 높다는 점을 감안하면, 업종 중에서 중소기업이면서 오염물질 다량 배출업소를 중심으로 공단을 형성하여 공단 폐수 종말처리시설을 함으로써 현실적으로 오염물질을 보다 완벽하게 처리할 수 있을 것이다. 1994년말을 기준으로 총 23개 공단 폐수 종말처리시설이 운영중이며 하루에 415,000 톤을 처리하고 있다(고도정수처리기술개발, 1996).

폐수종말처리시설의 처리방법으로는 물리적, 화학적, 생물학적 2차 처리 외에 고도처리를 요구하는 경우가 점차 증가하고 있다. 특히, 1996년부터 시행된 질소·인에 대한 규제 때문에 폐수처리장 중에 질소·인의 농도가 높은 폐수를 받는 경우는 방류수 수질기준 이하로 방류하기 위하여 탈인·탈질 기술이 시급히 요구되고 있다.

그러나 실용적이고 경제적인 탈인·탈질 기술은 실용화 단계가 아니라 연구개발 단계에 있기 때문에 당분간 탈인·탈질에 어려움이 예상되고 있다. 또한 향후에 요구되는 기술 중의 하나는 폐수의 재활용 기술이다.

전술한 바와 같이 1차 급속제조시설의 경우처럼 발생하는 폐수의 90%를 재활용하듯이 용수의 수질이 특별히 요구되지 않는 업종이라면 폐수처리를 고도화하여 방류하는 대신에 그 물을 재이용하는 것이 기본개념이고, 이런 부류에 포함될 수 있는 용도로서는 냉각수, 세척수, 청소수 등에 사용될 수 있

을 것이며, 나아가 자원의 부분적 회수라는 부수적 효과도 올릴 수 있을 것이다.

분리막을 이용한 수처리 기술은 해수의 담수화에서 제일 먼저 상업화되었다. 수자원이 절대적으로 부족한 중동지역이나 미국의 남부 플로리다 지역에서 생활용수와 공업용수를 확보하기 위한 수단으로 해수 담수화 시설을 건설하였다. 발전소와 동시에 운전이 가능한 지역은 발전소의 폐열을 이용, 해수를 증발시켜 담수를 생산함으로써 경제성을 확보할 수 있으나 그렇지 못한 지역은 별도의 열원을 확보해야 하는 어려움이 있어 분리막 기술을 채택하였다.

분리막 공정은 고분자 필름형태의 막과 이를 상업적으로 사용할 수 있도록 한 모듈이 중요한 요소기술이며 이를 시스템화시키는 엔지니어링 기술이 결합되어 하나의 분리공정이 된다. 따라서 막의 재질, 형태에 따라 여러 분야에 응용할 수 있으며 엔지니어링 기술이 개발됨에 따라 적용범위가 확대되어 있어 새로운 분리기술로서 각광을 받고 있다.

우리나라에서 분리막이 가장 먼저 사용된 분야는 반도체의 초순수 제조분야이며 서해안 지역의 공업용수 확보를 위하여 대형 수처리 시설이 건설되었다. 그 후 의료 및 제약업계에서 무균수의 제조에 응용되기 시작되면서 그 장점 때문에 여러 분야에서 적용되고 있다. 폐수의 처리 및 재활용 분야에의 응용은 수자원의 오염과 부족현상을 동시에 해결하고자 하는 것이 목적이나, 이 분야는 폐수의 종류나 형태가 너무 다양하고 기존의 상업화된 분리막에 해결해야 할 문제점이 다소 있지만, 우리나라의 수자원 문제를 고려해 볼 때, 많은 연구개발이 진행되어야 할 첨단기술 분야라고 하겠다.

최근에 와서, 폐수의 재활용이라는 경제적인 이유로 공업폐수의 정화기술 가운데 고도처리기술에 대한 요구가 증가함에 따라 정화공정의 핵심기술인 막기술의 합리적 선택을 통하여 공정 전체의 적정 성능을 결정하기 위한 방법론이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 기술적 측면 이외에 경제성과 운영유지 측면 등을 종합적으로 고려하여 공업폐수의 고도정화처리 공정 도입에 있어서 중요한 기술요소인 분리막 기술 선정을 합리적으로 할 수 있도록 AHP를 응용한 평가·선정의 의사결정 모형을 제시하고자 한다.

3. AHP 모형

1970년대 초반 Saaty에 의하여 개발된 계층분석과정(AHP)의 사결정 모형은 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교(pairwise comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는, 의사결정을 지원하는 하나의 새로운 방법론이다. 이 모형은 이론의 단순성 및 명확성, 적용의 간편성 및 범용성이라는 특징으로 여러 의사결정분야에서 널리 응용되어 왔으며, 이론구조 자체에 관해서도 활발한 연구가 진행되고 있다(Saaty, 1980).

AHP는 일반적으로 다음과 같은 4단계의 작업으로 수행된다.

<단계 1> 의사결정문제를 상호관련된 의사결정 사항들의 계층으로 분류하여 의사결정계층(Decision Hierarchy)을 설정한다. AHP 모형의 적용에서 가장 중요한 단계라 할 수 있는 첫번째 단계에서 의사결정분석자는 상호 관련되어 있는 여러 의사결정 사항들을 계층화한다. 계층의 최상층에는 가장 포괄적인 의사결정의 목적이 놓여지며, 그 다음의 계층들은 의사결정의 목적에 영향을 미치는 다양한 속성들로 구성된다. 계층 내의 각 요소들은 서로 비교 가능한 것이어야 하며, 계층의 최하층은 선택의 대상이 되는 의사결정 대안들로 구성된다.

<단계 2> 의사결정 요소들 간의 쌍대비교로 판단자료를 수집한다. 이 단계에서는 상위계층에 있는 목표를 달성하는 데 공헌하는 지계 하위계층에 있는 요인들을 쌍대비교하여 행렬을 작성한다. 쌍대비교를 통하여 상위항목에 기여하는 정도를 9점 척도를 사용하여 부여한다.

<단계 3> 고유값 계산방법을 사용하여 의사결정요소들의 상대적인 가중값을 산정한다. 이 단계에서, 판단의 일관성을 일관성 비율(consistency ratio: CR) 지수를 통하여 체크할 수 있다. 통상, CR이 10% 이내에 들 경우, 해당 쌍대비교 행렬은 일관성이 있다고 본다.

<단계 4> 평가대상이 되는 여러 대안들에 대한 종합순위를 얻기 위하여 의사결정 사항들의 상대적인 가중값을 종합화한다.

AHP 모형과 절차에 관한 자세한 사항은 Satty(1980, 1986)를 참조할 것.

4. 모형의 적용

4.1 기술 대안

분리막은 막의 재료, 운전형태 및 모듈의 형태에 따라 구분하고 있다. 일반적으로 물에 함유되어 있는 것은 크기가 큰 부유물질과 불에 용존되어 있는 무기, 유기물질들이다. 전자의 부유물질은 콜로이드성 입자나 미생물 등이며, 후자는 칼슘, 나트륨, 망간과 같은 이온성 물질에서부터 크롬, 구리와 같은 중금속류와 다양한 유기물질들이다. 이들 물질을 제거하고자 하는 목적에 따라 사용하는 분리막의 종류도 달라지게 된다. 막기술을 선정할 때, 산업분야별 폐수 발생량 및 대상물질에 따라 그 선정의 기준이 달라질 수 있다. 식료품 제조시설, 가죽 및 모피제품 제조시설, 축산시설 등은 유기오염물질의 농도가 매우 높은 폐수가 발생되며, 제1차 금속 제조시설 가공금속 제품·기계 및 장비제조시설, 석유정제시설 등에서 발생하는 폐수에서는 유기오염물질농도가 낮은 대신 다른 오염물질들이 발생되고 있다. 특히 중금속류 및 시안 등 무기오염물질들은 가공금속제품·기계 및 장비제조시설 및 비금속광물 제조업소에서 많이 발생되고 있으며 비금속광물 제조시설에서는 부유물질 또한 많이 발생되고 있다.

석유 정제시설에서는 어느 업종보다도 높은 *n*-Hexane 추출 물질이 발생되고 있으나 발생과정에서 분리수거를 실시하면 최종폐수에서는 그 농도를 크게 낮출 수 있다. 그리고 가죽 및 모피제품 제조시설과 식료품 제조시설 중 도축시설에서는 동물의 혈액에 의한 높은 유기물 농도의 폐수가 발생되나 혈액을 분리수거할 경우 그 농도는 매우 낮아질 수 있다. 전형적인 막시스템의 흐름도(typical membrane system flow)는 다음과 같다 (이창소, 1998).

1) 해수담수설비

해수→Membrane Filter→R/O→Use

해수→Membrane Filter→ED(EDR)→Use

2) 순수처리설비

공업용수→Membrane Filter→R/O

→Mixed Ion Exchanger→CORS→Use

공업용수→Membrane Filter→R/O→MDI

→CORS→Use

공업용수→Membrane Filter→ED(EDR)→MDI

→CORS→Use

3) 폐수재이용설비

폐수처리방류수→Membrane Filter→R/O

→Reuse

폐수처리방류수→Membrane Filter→ED(EDR)

→Reuse

지금까지 개발되어 온 막분리 기술은 정밀여과, 한외여과, 역삼투, 기체분리, 투과증발, 전기투석, 액막 등으로 다양하지만, 본 연구는 산업폐수 처리를 위하여 일반적으로 상용화된 정밀여과막, 한외여과막, 역삼투막, 전기투석막의 네 가지 막 기술 대안을 고려하기로 한다.

정밀여과막(microfiltration)은 입자가 작은 물질부터 수 μm 정도의 콜로이드성 물질의 분리에 상용되는데 특히, 기체 분리인 경우는 0.02nm~0.3mm범위에 분자를 분리하는 데 이용되고 있다. 막분리 공정 중에서 정밀여과막의 세공의 크기는 비교적 큰 편에 속하여 주로 분자 크기에 의한 선택적 분리를 위하여 사용하고 있다. 역사적으로 정밀여과막은 상업적으로 사용되고 있는 가장 오래된 투석막만큼 오랜 역사를 갖는데, 1846년 니트로셀룰로오즈 발견으로부터 기술발전이 계속되어 왔으며, 최근, 고분자 물질의 발전 속도에 힘입어 생물학적 분야인 균수의 분리에서부터 음용수의 정화에 이르기까지 현재에는 사용처가 계속 늘어나 관련기술이 급속히 발전하고 있다.

한외여과막(ultrafiltration)은 압력차를 추진력으로 하는 막분리법으로써 원리상 막세공과 용질간의 크기 차에 의해 특정 물질을 분리하는 조작으로써 분자 크기 0.005 - 0.5 μm 정도의 범위를 처리할 수 있다. 한외여과의 기본원리는 1936년에 정립되었으나, 이 기법이 실제 분리공정에 사용되기 시작한 것은

1970년대 중반 이후 우수한 막재로 및 막모들이 개발된 후의 인로서 현재 그 응용분야가 급속히 확대되어 가고 있다. 이 기술은 분자량 300~300,000 dalton 정도의 중분자 및 고분자량을 갖는 당류·단백질 등의 생체물질, 고분자 물질 등의 분리에 주로 사용된다. 역삼투의 경우에는 분리대상 물질인 염류 및 무기이온들이 포함된 용액은 상당히 높은 삼투압을 갖고 있어 이 삼투압 이상으로의 고압(보통 수십 atm) 조작이 요구되나, 상대적으로 분자량이 큰 물질들을 분리대상으로 하는 한외여과인 경우에는, 물질들이 포함된 용액의 삼투압을 거의 무시할 수 있어 상대적으로 낮은 압력(보통 수 atm)에서 운전된다. 여기서, 삼투관 반투막을 경계로 저농도의 용매가 고농도의 용액 쪽으로 이동하는 현상을 말한다. 만일 삼투압보다 큰 압력을 반대로 고농도 용액 측에 가하면 고농도 용액의 용매는 저농도의 용액 측으로 이동하게 되는데 이를 역삼투압 현상이라고 한다.

역삼투압법(reverse osmosis)은 이러한 자연상태에서 나타나는 삼투현상을 응용하여 과학적인 방법으로 처리하는 첨단기술로서 삼투압력을 초과하는 높은 압력을 인위적으로 농도가 높은 용액에 가하고 특수제작된 반투막을 통하여 반대방향으로 용액의 흐름을 유도하여 분리시키는 방법으로 막의 특성, 폐수의 물리·화학적 특성 그리고 압력에 따라 효과가 발생한다. 이 방법은 반투막과 정수압을 이용해서 염용액으로부터 물과 같은 용매를 분리하는 것이다. 역삼투법은 붉은 통과시키고 물 이외의 분자나 이온들은 통과시키지 않기 때문에 산업폐수나 정수처리에 용이한 분리방법이다. 그동안 역삼투압 공정은 도금 폐수처리공정에 적용해 왔는데 200~300 lb/in²의 압력하에서 카드뮴, 구리, 니켈, 크롬을 제거할 수 있다. 그 밖에 재지폐수 및 오일폐수, 염색폐수 등 여러 산업폐수의 처리에 역삼투법을 비롯하여 한외여과, 전기투석 등 막공정을 적용하여 유기물의 제거 뿐 아니라 물질회수 등의 목적으로 다양하게 이용되고 있다.

전기투석법(electrodialysis)은 액상에서 상변화를 동반하지 않는 분리기술로서 이온 교환막을 이용한 전기투석 시스템에는 electro dialysis(ED)와 electro dialysis reversal(EDR)이 있으며 전해질 용액의 농축 및 탈염 또는 각종 용액의 탈염정제 등에 실용화 되어 담수설비, 폐수처리 및 의약, 식품공업뿐만 아니라 분리정제에 이르기까지 많은 곳에 적용되고 있다. 국내에서는 전기투석장치를 제염공장에서 해수를 농축하는 곳에 적용하고 있으며, 일본이나 미국 등 선진국에서는 공업용수처리, 해수담수설비 및 폐수처리공정에도 적용하고 있다.

이온교환수지로 만든 양이온 막과 음이온 막을 경계로 전하를 띤 오염물질을 선택적으로 통과시키면 이온의 속도는 양이온 및 음이온 투과막에 전압을 부여함으로써 양극에 가까운 막은 양이온을 통과시키고 음극에 가까운 막은 음이온만 통과시켜 수중의 이온성 물질을 제거한다. 께이온성 물질이나 콜로이드상 유기물은 막이 폐쇄되면서 침전되는 단점이 있으므로 이를 보완한 새로운 reversal type이 소개되고 있으나 근본적

해결을 위해서는 이를 제거시킬 수 있는 화학적 처리방법이 전처리로 실시되어야 한다.

4.2 평가 기준

어느 막기술을 선정할 것인가의 판단기준으로는 이에 소요되는 비용과 그 기술적 성능 그리고 운영, 관리상의 전문성 정도 등을 고려할 수 있다. 막기술을 채택하기 위한 의사결정은 "어떤 기술을 선정하는 것이 폐수처리에 가장 효율적인 것인가"라는 문제의 속성상 기업의 대외적 파급효과 측면보다는 기업 자체의 대내적 효율성 측면에서 그 평가기준을 선정해야 한다. 이에 따라 소요되는 제반비용을 모두 경제성이라는 기준으로, 기술적 성능을 기술성으로, 운영 및 유지관리상의 문제들을 운용성으로 보는 세 가지의 평가기준을 선정하였다.

경제성은 폐수관리 시설의 운전이 에너지 자원에 크게 의존하기 때문에 그 요구량을 사실적으로 산정하는 것이 중요하다. 처리장에서 시설 운전시 가장 많은 에너지가 소모된다. 상이한 단위공정과 운전시의 에너지 소비량은 아주 가변적이고, 또한 무수한 공정조합이 가능하기 때문에 각각의 처리공정 또는 운전시 에너지 자료가 있어야 한다. 주된 에너지 자원은 전력, 천연가스나 프로판 가스, 디젤연료나 가솔린이다. 전력은 공정장비의 전기모터 구동과 여러 가지 보조시설의 조명과 동력원으로 사용된다. 천연가스와 프로판가스는 건물과 소화조의 난방 그리고 예비발전기의 엔진연료로 사용된다. 디젤연료 또는 가솔린은 예비발전기와 차량의 연료로 사용된다.

연간 운전 및 유지비용 역시 처리공정의 평가에 중요한 요소이다. 세부비용 요소로는 인건비, 에너지비, 약품비, 자재 및 보급비를 들 수 있다. 각 요소의 비용 상승률이 다르기 때문에 가능하다면 각 요소의 비용추정을 별도로 해야 한다. 에너지 비용은 공정설비의 에너지 예상 사용량과 에너지를 공급하는 동력회사의 적정 에너지 효율에 기초하여 추정하여야 한다.

기술성을 평가하기 위한 기준으로는 막의 특성을 결정짓는 대상분리물질과 잔류물질, 그리고 막의 수명과 회수율을 대상으로 하였고, 막기술의 특성상 재래식 정화기술에 비해 전처리에 대한 요구도가 높은 편이기 때문에 전처리 요구도를 포함시켰다.

운용성은 설치 후, 운전하는 데 소요되는 전반적인 운영상의 편리성, 내지는 용이성과 문제발생시 보수하는 데 요구되는 기술적인 어려움의 정도를 포함시켰다.

지금까지 살펴본 기술대안에 대하여 각 평가기준별로 기존의 자료를 바탕으로 정리한 막기술간의 상호비교결과는 <표 2>와 같으며, 선호도 평가를 위하여 설계된 계층구조의 모형은 <그림 1>과 같다.

4.3 쌍대비교 평가

<표 3>에서 <표 7>에 나타난 기준간 쌍대비교는 앞 절의

표 2. 평가기준에 따른 각 대안별 특성

대안		정밀여과막	한외여과막	역삼투막	전기투석막
경제성	초기투자비 (원/m ³)	500,000	450,000	850,000 ~ 1,200,000	900,000
	운용단가 (원/m ³)	250 ~ 300	200 ~ 250	700	750
	회수기간 (년)	1.58	1.60	2.87	2.55
기술성	분리물질	콜로이드성 물질 (부분적), 병원균 - 막투과 물질: 물, 용제	콜로이드성 물질 (부분적), 병원균 - 막투과 물질: 물, 저분자 유기물	콜로이드성 물질 병원균 유기질 무기질 - 막투과 물질: 물	콜로이드성 물질 무기질 - 막투과 물질: 이온성 무기질
	잔류물질	부유물	현탁물질, 콜로이드, 고분자 유기물	염이온	비이온성 유기물질
	수명	4년 물리적노화 부착물 눈막힘	4년 물리적노화 부착물 눈막힘	7년 이상 물리적노화 부착물	5 ~ 7년
	회수율	70%	60%	75 ~ 90%	85%
	전처리 요구도	보통	낮음	높음	높음
	응용분야	- 용액중의 부유물 분리 - 공기중 분진분리	- 수용액중 유기물 분리	- 해수중 염분리 수용액 중 이온 분리	- 전해질 용액의 농축 및 탈염 또는 각종 용액의 탈염 정제
운용성	운전용이성	부하변동가능 연속운전의 안정성	부하변동가능 연속운전의 안정성	유량통제필요	유량통제필요 암페어통제 전문인 필요
	보수관리	보수관리작업용이	보수관리작업용이	디스크청소, 교체용이	Membrane 청소 주기가 길다

자료를 토대로 평가자의 주관적 선호도가 반영되면서 수행된다. 본 연구에서는 모형의 적용과정을 보이기 위하여 기술대안의 특성을 충분히 파악한 필자들이 관련 전문가²⁾와 함께 평가작업을 수행하였으나, 현장적용시, 평가주체에 따라서 이들 쌍대비교 데이터는 달라질 수 있으므로 ECpro가 제공하는 감도분석 기능을 이용하여 평가의 신뢰성과 일관성을 사전에 분석하여야 한다. <표 2>에서 정량적 자료의 경우, Saaty(1980)가 제안한 가중값 부여방법을 통하여 기술대안간 특성들을 고려하면서 우선순위의 쌍대비교 근사값을 구하였고, 정성적 자료의 경우, <표 2>를 토대로 전문가의 자문을 받아 팀원간의 주관적 평가를 통해 산출하였다. <표 3>은 주기준간의 선호도

를 평가한 것으로서, 막기술 시스템 도입 주체가 갖는 주기준별 선호도의 패턴이 어떻게 평가에 반영되는가를 살펴보기 위하여 이와 같은 네 가지 시나리오를 고려하기로 한다. <표 4>, <표 5>, <표 6>은 주기준의 하위기준간 선호도 평가의 결과이며, <표 7>은 본 모형에서 고려된 각 기준간에 대한 기술대안들의 선호도 평가의 결과이다. CR값은 모두 0.1보다 작게 나타나 평가의 일관성이 확보되었다.

4.4 적용 결과

막기술의 분석 및 선정을 위하여 이 논문에서는 네 가지 시나

2) 아태수기 엔지니어링(주), 성균관대학교 토목공학과 환경수질 연구실

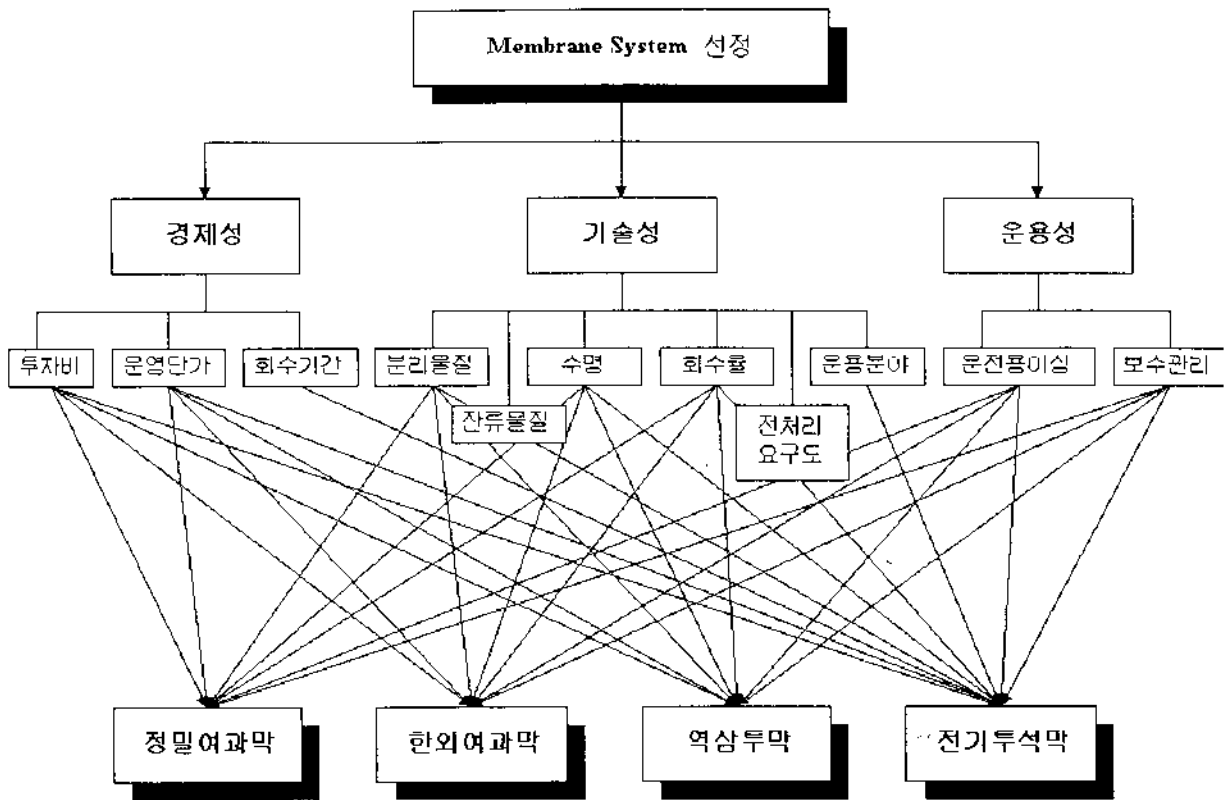


그림 1. 계층구조의 설계.

표 3. 주기준간 선호도 시나리오

동등한 중요도, CR: 0.00			경제성 중시, CR: 0.00				
	경제성	기술성	운용성		경제성	기술성	운용성
경제성	1	1	1	경제성	1	2	2
기술성	1	1	1	기술성	3	1	1
운용성	1	1	1	운용성	1/2	1/2	1

기술성 중시, CR: 0.00			운용성 중시, CR: 0.00				
	경제성	기술성	운용성		경제성	기술성	운용성
경제성	1	1/2	1	경제성	1	1	1/2
기술성	2	1	2	기술성	1	1	2
운용성	1	1/2	1	운용성	2	1/2	1

표 4. 경제성의 하위기준간 선호도 평가결과(CR: 0.05)

	초기투자	운영단가	회수기간
초기투자	1	1/2	2
운영단가	2	1	2
회수기간	1/2	1/2	1

표 5. 기술성의 하위기준간 선호도 평가결과(CR: 0.08)

	분리 물질	잔류 물질	수명	회수율	전처리 요구도	응용 분야
분리 물질	1	2	2	2	1/2	1
잔류 물질	1/2	1	1/2	1	2	1/2
수명	1/2	2	1	2	1/2	1/2
회수율	1/2	1	1/2	1	1/2	1/2
전처리 요구도	2	1/2	2	2	1	1/2
응용 분야	1	2	2	2	2	1

표 6. 운용성의 하위기준간 선호도 평가결과(CR: 0.00)

	운전용이성	보수 관리
운전용이성	1	2
보수 관리	1/2	1

표 7. 기술대안 선호도 평가결과

			정밀여과막	한외여과막	역삼투압	전기투석막
경제성	초기투자비 CR: 0.00	정밀여과막	1	1	2	2
		한외여과막	1	1	2	2
		역삼투압	1/2	1/2	1	1
		전기투석막	1/2	1/2	1	1
	운용단가 CR: 0.06	정밀여과막	1	1	3	3
		한외여과막	1	1	3	1
		역삼투압	1/3	1/3	1	1
		전기투석막	1/3	1	1	1
	회수기간 CR: 0.00	정밀여과막	1	1	2	2
		한외여과막	1	1	2	2
		역삼투압	1/2	1/2	1	1
		전기투석막	1/2	1/2	1	1
기술성	분리물질 CR: 0.01	정밀여과막	1	2	1/4	2
		한외여과막	1/2	1	1/5	1
		역삼투압	4	5	1	5
		전기투석막	1/2	1	1/5	1
	잔류물질 CR: 0.06	정밀여과막	1	2	1/3	1
		한외여과막	1/2	1	1/4	2
		역삼투압	3	4	1	4
		전기투석막	1	1/2	1/4	1
	수명 CR: 0.00	정밀여과막	1	1	2	2
		한외여과막	1	1	2	2
		역삼투압	1/2	1/2	1	1
		전기투석막	1/2	1/2	1	1
회수율 CR: 0.01	정밀여과막	1	2	1/2	1/3	
	한외여과막	1/2	1	1/3	1/4	
	역삼투압	2	3	1	1	
	전기투석막	3	4	1	1	
전처리 요구도 CR: 0.00	정밀여과막	1	1/2	2	2	
	한외여과막	2	1	3	3	
	역삼투압	1/2	1/3	1	1	
	전기투석막	1/2	1/3	1	1	
응용분야 CR: 0.01	정밀여과막	1	2	1/2	1/3	
	한외여과막	1/2	1	1/3	1/4	
	역삼투압	2	3	1	1	
	전기투석막	3	4	1	1	
운용성	운전용이성 CR: 0.00	정밀여과막	1	1	2	3
		한외여과막	1	1	2	3
		역삼투압	1/2	1/2	1	2
		전기투석막	1/3	1/3	1/2	1
	보수관리 CR: 0.00	정밀여과막	1	1/2	2	2
		한외여과막	2	1	3	3
		역삼투압	1/2	1/3	1	1
		전기투석막	1/2	1/3	1	1

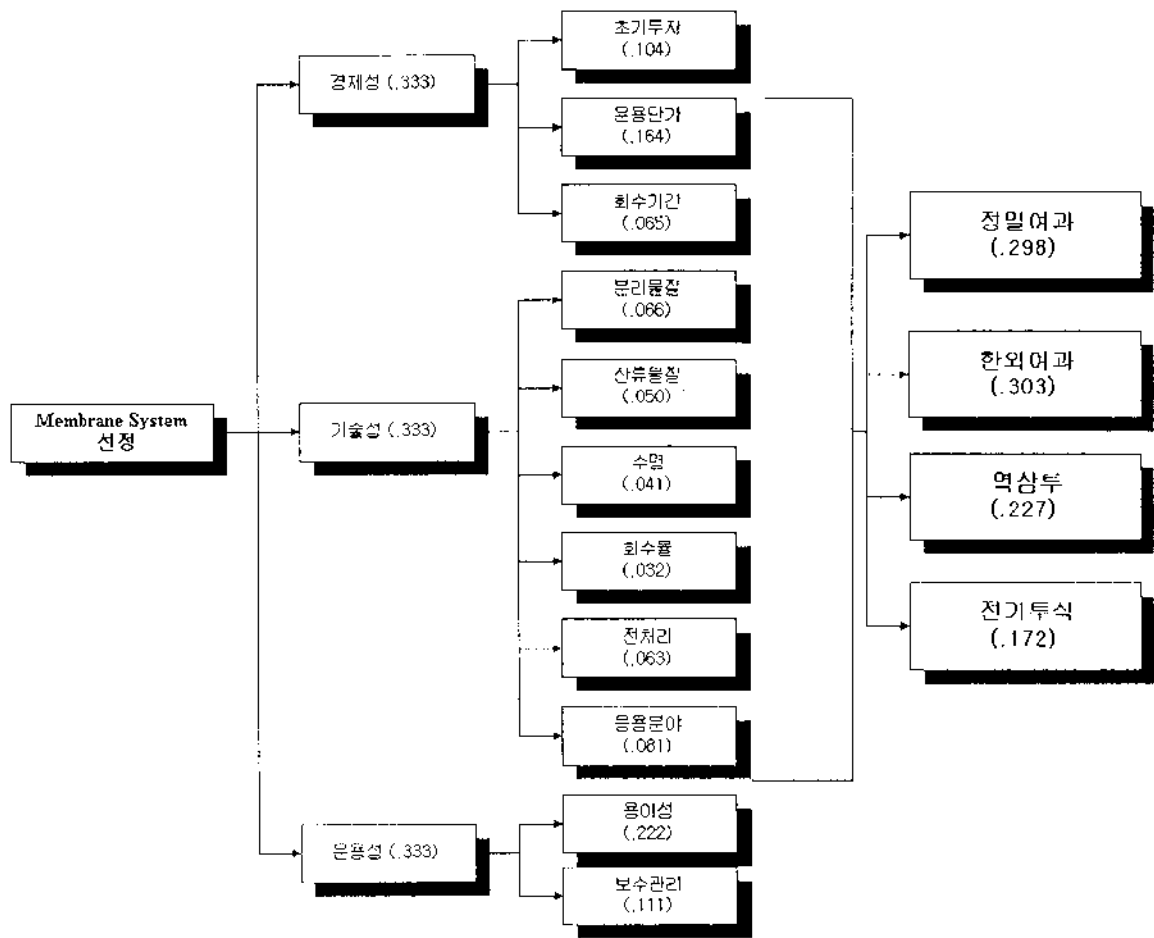


그림 2. 계층별 가중값(동등한 중요도).

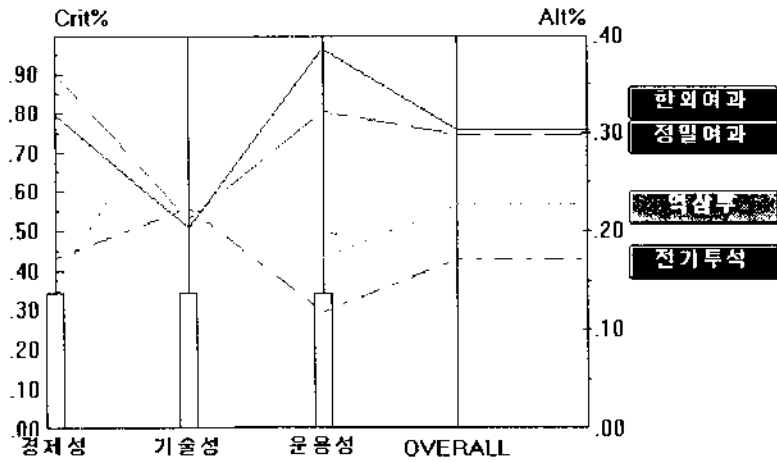


그림 3. 대안별 중요도(동등한 중요도).

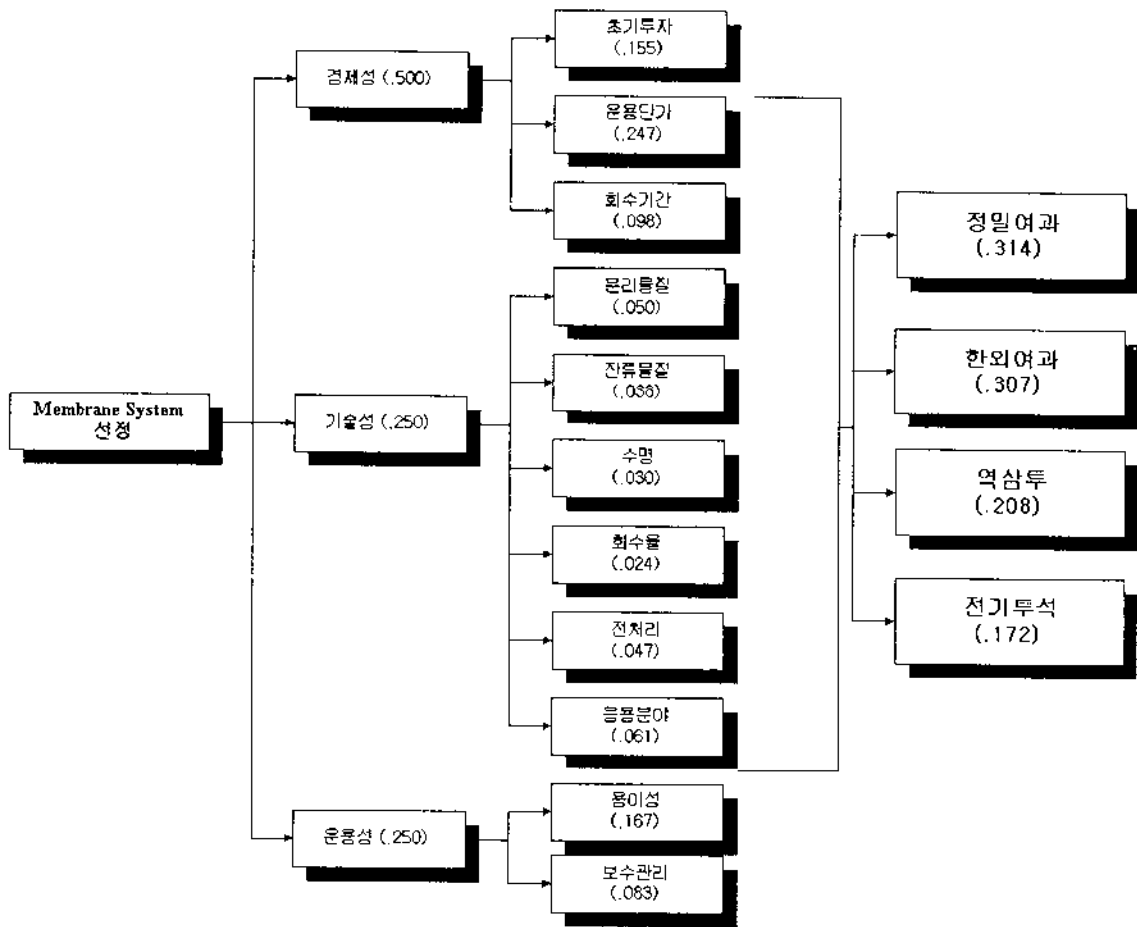


그림 4. 계층별 중요도(경제성 중시).

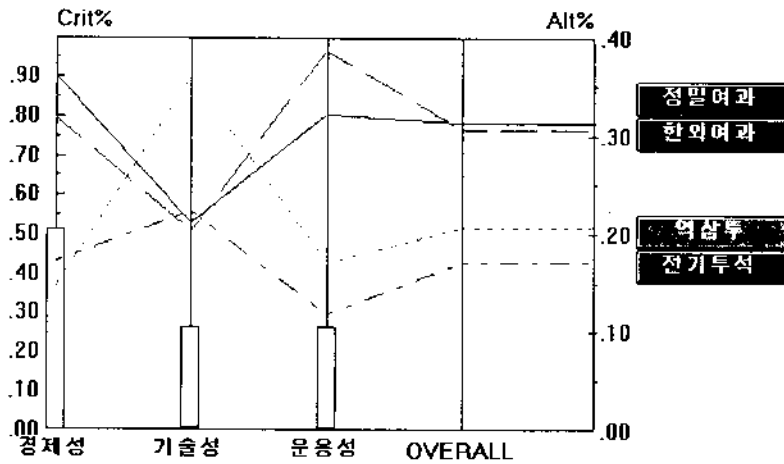


그림 5. 대안별 중요도(경제성 중시).

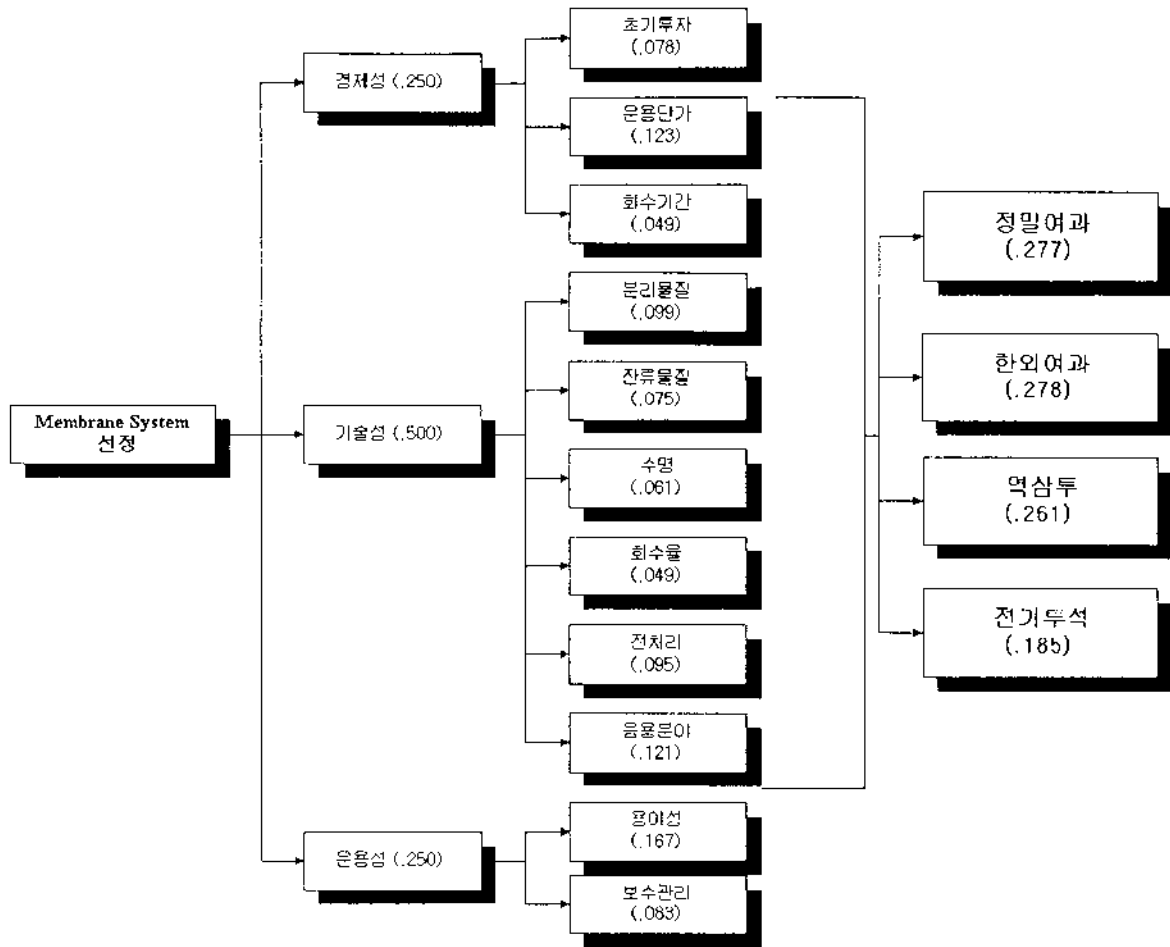


그림 6. 계층별 중요도(기술성 중시).

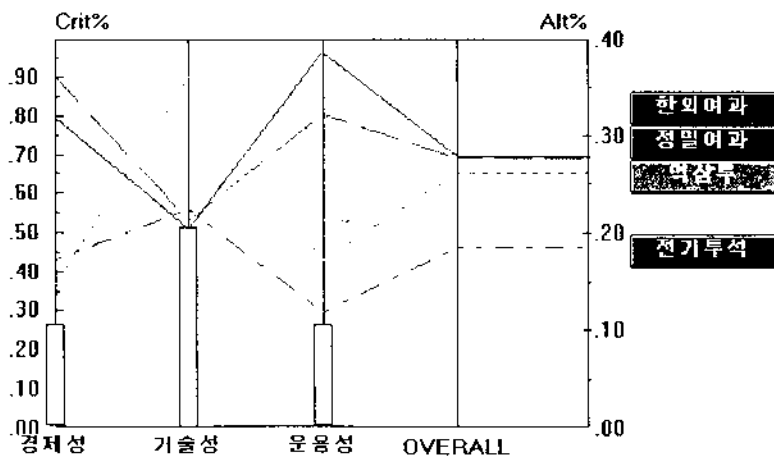


그림 7. 대안별 중요도(기술성 중시).

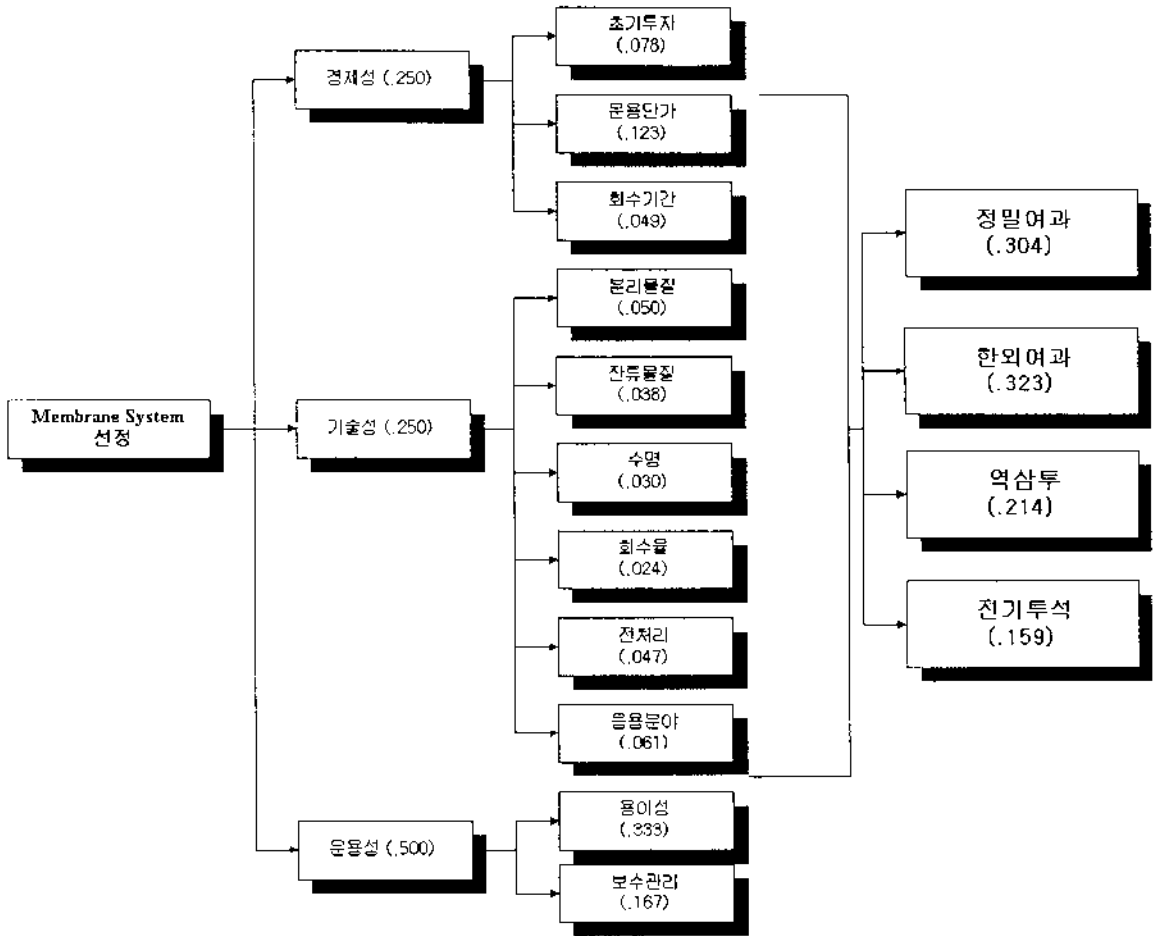


그림 8. 계층별 중요도(운용성 중시).

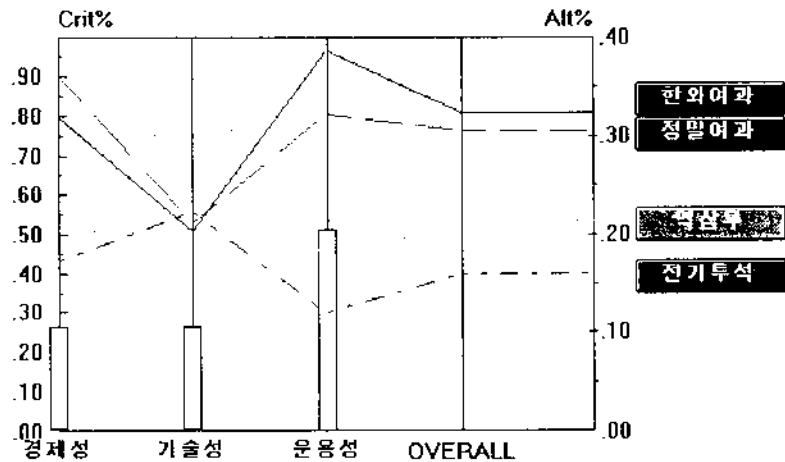


그림 9. 대안별 중요도(운용성 중시).

리오 즉, 평가의 주기준에 동등한 가중값을 두는 경우, 경제성을 중시하는 경우, 기술성을 중시하는 경우, 운용성을 중시하는 경우에 대하여 각각 분석하였다. 이를 위하여 중시되는 특정기준에 대한 가중값은 0.5로 하고, 나머지 기준의 가중값은 동등하게 하는 방법을 취한다. 각 시나리오별로 평가되고 감도분석된 결과가 <그림 2>에서 <그림 9>에 나타나 있다.

먼저, 경제성, 기술성, 운용성의 중요도를 동등하게 두었을 경우 최적대안은 한외여과막(0.303)으로 나타났다. 근소한 차이를 나타내지만 그 다음 대안이 정밀여과막, 그리고 약간의 차이를 두고 역삼투막, 전기투석막의 순으로 최종 중요도가 평가되었다. 경제성에 높은 중요도를 둔 경우에는 최적대안이 정밀여과막(0.314)으로 나타났다. 약간의 중요도 차이를 두고 그 다음 대안이 한외여과막, 그리고 역삼투막, 전기투석막의 순으로 최종 중요도가 평가되었다. 기술성에 높은 중요도를 두고 나머지를 같게 둔 경우, 정밀여과막(0.277)과 한외여과막(0.278)은 거의 동등한 순위를 갖고, 그 다음 대안으로 역삼투막, 전기투석막의 순으로 최종 중요도가 평가되었다. 마지막으로 운용성에 높은 중요도를 둔 경우, 한외여과막(0.323)이 가장 높게 평가되었고, 그 다음으로 정밀여과막, 역삼투막, 전기투석막의 순으로 최종 중요도가 평가되었다. 결론적으로 한외여과막이 경제성, 기술성, 운용성 모든 측면에서 대부분 높게 평가됨을 알 수 있다.

5. 결론

일반적으로 알려져 있는 역삼투막의 기술적 우수성에도 불구하고 본 연구에서는 한외여과막이 대체적으로 높은 중요도를 나타내었다. 하지만, <표 3>과 같이 결정된 주기준간의 중요도에 따라 결과는 달라질 수 있다. 실제로 기술성의 선호도를 높게 들수록 역삼투막의 중요도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다(<그림 3, 5, 7, 9> 참조). 역삼투막은 일반적으로 전처리가 요구되는 고도처리분야에 적합한 기술로, 폐수의 재활용을 위한 3차 처리에 많이 이용되고 있는 기술이다. 반면에 한외여과막은 1차 내지는 2차 처리에 적합하다고 볼 수 있다. 따라서 고도처리에 의한 고품질의 정화수를 재활용하기 위한 정화공정에서는 한외여과막으로 물리, 화학적 전처리를 가한 후에 역삼투막을 이용하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다.

전기투석막은 한외여과막, 정밀여과막, 역삼투막에 비해 전체적인 면에서 뒤떨어진 것으로 나타났다. 이는 전기투석막이 가격면에서 특별한 장점도 없으며 기술특성상 폐수의 성상에 이용의 제한을 받기 때문이다. 하지만 기업체에서는 폐수의 성상이 이온성 성격이 강한 경우 역삼투막 기술보다 우월한 대안이 될 수 있음에 유의해야 한다.

폐수처리공정의 설계시 고려해야 할 사항은 매우 복잡적이며, 변동인자가 많다. 그러한 공정선정이 그 부분을 이루는 특정기술의 평가로 최종 판결이 이루어질 수 없음은 당연하다. 그러나 본 연구의 의도는 오늘날 폐수정화기술과 이를 재활용하려는 움직임이 활발하다는 측면에서 핵심정화기술로 각광을 받고 있는 폐수정화공정의 막기술 선정 및 도입에 대한 문제에 초점을 맞추어 AHP의 성공적인 적용 가능성을 모색하고 보이는 것이었다. 즉, 폐수의 재활용을 주목적으로 하는 공업 폐수정화공정의 도입은 처리공정 단위로 검토되지만, 어느 공정이든지 막기술은 고도처리를 가능하게 해주는 가장 중요한 요소기술이므로 본고에서 고려된 네 가지 막기술 대안은 기술적 측면에서 공업폐수정화공정에 공통적으로 채용될 수 있기 때문에 AHP 접근이 가능하였다. 이와 같이 다기준 의사결정 방법 가운데 하나인 AHP를 통하여 시스템기술 자체에 대한 검토를 경제성, 기술성, 운용성 등 다수의 기준하에 통합적으로 고려하고 평가할 수 있는 모델을 제시했다는 점에서 본 연구의 의의가 있다고 하겠다. 다만, 폐수처리기술을 포함한 포괄적 폐수처리공정을 대안으로 다룰 수 있도록 다양하고 세부적인 평가기준 및 그들간의 상호관련성의 연구가 앞으로 필요한 것이다.

참고문헌

- 기문봉, 김낙주, 이시진 (1997), *산업폐수처리*, 도서출판 동화기술.
 김인환, 이덕길 (1998), *신환경 정책론*, 박영사.
 김훈기 (1994), *지속가능한 개발과 환경기술*, 환경논의의 쟁점들, 도서출판 나라사랑.
 사득환 (1997), *한국환경정책의 이해*, 환경정책의 형성과정, 비봉출판사.
 유성환 외 (1998), *기초 폐수처리*, 도서출판 동화기술.
 이창소 (1998), 공업용수 처리공정에서의 전기투석장치와 촉매식 용존산소 제거장치, *첨단환경기술*, 1월호.
 정규영 (1997), 막분리기술을 이용한 수처리 시스템의 운전인자에 관한 연구, *성균관대학교 대학원 박사학위논문*.
 정길환 (1993), 기술대체안의 전략적 평가를 위한 개량 AHP 의사결정보형의 설계, *성균관대학교 대학원 석사학위논문*.
 조형준, 홍성태 (1994), *우리 강동의 미래*, 새물결.
 최광호 (1997), 공업용수 처리의 최신기술 현황, *첨단환경기술*, 6월호.
 한국막학회 (1996), *막분리*, 자유아카데미.
 환경부 (1997), 폐수관리대책, 환경정책기술.
 환경부 (1997), 폐수배출 부과금, 환경정책기술.
 환경부 (1997), 폐수배출 업소 현황 및 배출량, 환경정책기술.
 환경부 (1996), G-7 환경공학 기술개발 1단계 사업 평가 및 전망.
 환경부 (1996), 건설교통부, 고도정수처리기술개발: 처리수 재이용 시스템 기반 기술개발, 한국과학기술원.
 Saaty, T. L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New-York.
 Saaty, T. L. (1986), Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process, *Management Science*, 32(7).



홍순욱
 성균관대학교 산업공학과에서 학사(1986년), R&D시스템 전공으로 석사(1988), 개발공학 전공으로 박사학위(1993년)를 취득함. 한국이동통신(주) 전략기획실에서 근무.
 현재: 영동대학교 건설공학부 산업공학전공 조교수
 관심 분야: 연구개발관리, 기술경영, 의사결정시스템 등



김태현
 성균관대학교 시스템경영학부 졸업(1999)
 현재: 성균관대학교 R&D시스템 전공 석사 재학중
 관심 분야: 신제품/신사업 개발, R&D시스템, 의사결정시스템 분야



김강민
 성균관대학교 시스템경영학부를 졸업(1999)
 현재: 성균관대학교 R&D시스템 전공 석사 재학중
 관심 분야: 기술경영, 의사결정시스템, 신상품/신사업 기획분야

조근태
 성균관대학교 산업공학과 학사(1988년), R&D 시스템 전공으로 석사(1990년), 개발공학 전공으로 박사(1995년)를 취득함. University of Pittsburgh Post-Doc(1996-1998)
 현재: 한국보건산업진흥원 책임연구원*
 관심 분야: 기술예측, 연구개발관리, 의사결정시스템 등