



본 '기획'은 미국원자력학회와 유럽원자력학회의 2000년도 공동 학술 대회에 맞춰 <Nuclear News>가 세계 원자력계의 중추적 지도자들의 기고를 모아 「21세기의 원자력 발전 전망」이라는 주제로 엮은 특집 (2000.11) 중 4편을 편집한 것으로 제3회분이다. (편집자)

미래의 원자력 전망

John W. Simpson*

우 리들 중 많은 사람들은 전세계에 좀 더 향상된 수준의 생활을 제공하기 위해 필요한 에너지 수요의 증가에 대처하기 위해서는 장기적으로 원자력 발전이 필요하리라는 점을 믿고 있다.

세계 인구가 증가함에 따라 원자력은 단지 우리가 현재보다 낮은 수준의 생활을 유지하기 위해서만이 아니라 필수적이 될 것이다. 하지만 그러기 위해서는 우리가 극복해야 할 많은 장애물들이 있다.

먼저 우리는 원자력이 현재에 이르기까지 어떤 길을 밟아 왔으며 어디에서 실패했는지를 알기 위해서 원자력의 과거와 현실을 간단히 살펴보기로 한다.

그렇게 함으로써 우리는 그간 제기되어 왔던 일련의 문제들 속에서 미래를 예측할 수 있을 것이다.

원자력의 과거

미국에서는 현재 22%의 전기가 원자력으로 공급되고 있으며, 프랑스와 일본 그리고 몇몇 국가들에서는 이 비율이 훨씬 높고 전세계적으로 약 20% 정도이다. 그러나 특히 미국 민주당의 경우에 더 이상의 전기 설비 확충 계획은 없으며 되도록 빨리 현재의 원자력발전소들을 폐기하는 방법을 모색하고 있다. 어떻게 이런 일이 발생했을까?

엔리코 페르미와 그의 팀이 최초의 임계 상태 원자로를 운영할 그 처음 시기부터 원자력 발전은 공공의 에너지 수요를 담당할 막대한 양의 에너지를 생산하리라고 인식되었었다.

미국의 하이만 리코버 장관은 미국 해군에 있어서의 원자력의 이점을 알고 원자력에너지공동위원회

(당시에는 원자력에너지위원회와 밀접한 관계를 유지했던)의 도움을 받아 이에 필요한 예산을 확보할 수 있었다. 리코버는 이 원자력 에너지 개발에서 웨스팅하우스와 제너럴 일렉트릭이라는 미국 산업계의 거대한 두 회사로부터 협력을 얻었다.

이러한 미국의 원자력발전소 개발을 통해 현재 세계에 퍼져 있는 웨스팅하우스와 제너럴 일렉트릭사의 기본 설계가 완성되었다. 그 당시 원자력 발전은 신으로부터의 축복이라는 공통적인 믿음이 있었고 미국의 아이젠하워 대통령은 원자력의 평화적 이용 프로그램을 1953년 제네바에서 발표하기에 이른다. 그러나 미국 원자력에너지위원회와 원자력에너지공동위원회는 에너지에 대한 공공의 요구를 만족시켜 주지 못했고 거대한 정부와 산업계의

* 전 웨스팅하우스 전력시스템 사장, 미국원자력협회(NEI) 회장(1973~1974)

대리자로 인식되었다.

이것이 원자력 발전을 매력적인 목표로 만들었다. 당시 대부분의 사회운동가들은 베트남 전쟁에 반대하고 있었고 반핵 운동가는 없거나 거의 드물었다. 많은 종류의 원자로형이 개발되었으나 경수로형이 우세를 점하는 상태에서 최종적으로는 가압경수로형이 시장을 점유하게 되었다.

이들 형태의 원자로들은 각기 많은 잠재력을 가지고 있었으나 내가 오랫동안 믿어왔던 대로 여타의 조건들이 거의 비슷하다면 최악의 조건에서 운전되었던 원자로가 최고 원자로일 것이며 단연코 그것은 바로 현재의 경수로형이다.

해군의 개발 계획과 쉬핑포트 원전 건설은 부품 생산 업체로 이루어진 상당한 원자력산업 인프라의 건설과 원자력발전소의 원자로 이론, 제작 기술, 유체 흐름 등에 대한 필수적인 기초 기술 개발을 가능케 하였다.

일반적으로 위험 회피 성향이 매우 강한 미국 전력 산업계는 초기에 웨스팅하우스와 제너럴 일렉트릭이 대부분의 재정적 위험을 제거한 턴키 프로젝트 방식으로 원자력발전소를 제공할 의사를 보임으로써 원자력발전소를 받아들일게 된다. 이러한 턴키 방식의 발전소가 성공적으로 운영된 것에 용기를 얻어서 전력 산업계는 추가로 많은 수의 발전



OECD/NEA의 방사선 방호 관련 연구. 방사능에 대한 공포에도 불구하고 여론 조사는 대부분의 사람들이 원자력은 충분히 안전하고 장래에도 필요하다고 생각하고 있는 것으로 나타났으나, 이런 필요성을 충분히 인식한 사람들도 다른 사람들이 그들의 생각에 찬동한다고는 생각하지 않는다. 반면에 반핵 운동가들은 그들의 의견을 주장하기에 주저하지 않는다.

소를 건설하였다.

1973년경 OPEC의 석유 생산량 감산 조치는 전기 사용량의 증가를 둔화시켰고 더욱이 많은 수의 발전소 건설과 추가적인 전기의 필요량이 감소됨에 따라 그 이후로 미국에서는 새로운 발전소의 건설이 요구되지 않았다.

1987년 값싼 천연 가스의 발굴과 폐회로 가스 터빈의 개발은 새로운 전원 개발에 있어서 가스를 선택하게 만들었다.

현존하는 원자력발전소(그 중 백여 개 이상은 미국에 위치)들은 여러 해 동안 성공적으로 운전을 해왔으며 과거의 운전 경험에 근거하여 신뢰성·유용성·안전성 등의 요소들을 개선해 왔다.

그러나 증기발전기 관 누설 현상과 같은 혁신적인 설계 변경이 요구되는 몇몇 주요한 문제점들이 발생한 것도 사실이다.

원자력발전소 사고

일반의 원자력에 대한 불신을 부채질한 유명한 두 건의 사고가 있었는데, 트리마일 아일랜드 원전과 체르노빌 원전의 사고가 바로 그것이다.

트리마일 아일랜드 사고는 그 위험성보다는 원자력발전소의 안전을 증명하는 사고로 보아야 한다.

이 사고에서 운전자는 사고 초기부터 사고의 정도를 완화시키거나 막기 위한 정확한 조치를 취하지 못하였고 그 결과는 원자로 대부분의 완전한 용융이었다. 이런 상황이었음에도 발전소의 외부 차단 방호벽 덕분에 어떠한 유해 방사능도 외부에 유출되지 않았다.

실제 사고 발전소 외부 경계선의 방사능 준위는 원자력발전소의 사고에 대한 청문회가 열렸던 국회 건물의 화강암에서 방출되는 방사선의 양보다 작았다.



펜실베이니아주의 조사 결과는 발전소 주변 주민에 대해 통계적으로 측정 가능할 정도의 영향이 없었음을 보여주고 있으나, 가장 악영향은 주변 주민들이 두려움에 떠는 것이었다. 그러나 어떠한 공학적 사고들도 기술 개발에 일조했던 것처럼 이 사고 경험은 원자력발전소 운전 관행을 개선하는 데 유용하게 사용되었다.

체르노빌 사고는 외부 차단 방호벽의 결여로 사고가 더욱 악화된 경우다. 사고 원자로형은 노형 고유의 온도 불안정성과 외부 방호벽의 결여로 미국에서는 운영 허가를 획득하지 못했다. 체르노빌 노형은 오늘날 러시아에서도 허용되지 않으며 대체 에너지원이 가능할 경우에는 체르노빌 노형은 모두 폐쇄될 예정으로 있다.

이 사고는 매우 심각하여 당시에 32명의 인근 주민과 제염 작업 요원이 사망했다. 상당한 방사능이 유럽의 광대한 지역에 퍼져나갔으며 주된 위험은 어린이에게 발병한 백혈병이었다. 확실히 이런 일들은 나쁜 일이긴 하지만 이런 일에 대한 대처 방법은 여러 가지가 있다.

방사선 피폭 피해는 장기간의 잠복기로 인하여 정확한 사고 평가에 오랜 시간이 걸린다. 더욱이 체르노빌 발전소의 사고를 평가하는 데에는 정확한 통계 자료의 부족, 우크라이나 지역의 빈약한 의료 서비스,

발전소 사고를 서방에서의 외화 도입 촉진의 기회로 사용하려는 시도 등의 여러 가지 이유로 인하여 복잡함을 띠게 되었다. 또 체르노빌 원전 사고는 반핵 운동가들에 의해 대중의 원자력에 대한 공포심을 유발하기 위한 도구로 악용되었다.

반핵 운동가들의 이런 활동은 그 당시 유럽의 수천 명에 달하는 산모들이 그들의 아이들을 유산시키는 결과를 초래한 것으로 추정되고 있다. 원자력 발전이 위험하지 않다고 설득하기보다는 이미 인지하고 있는 위험에 대해 사람들을 흥분하게 만드는 것은 훨씬 쉬운 일이다.

미디어도 이런 상황을 이용하는 데, 이는 나쁜 뉴스가 시선을 끌기 때문이며 산업계 자신이 대중에게 직접 올바른 사실을 홍보하는 것이 얼마나 어려운지를 직접적으로 증명하고 있다.

방사선에 대한 국민의 인식

반핵 운동가들이 대중에게 공포심을 불러일으키고 이를 악화시키는 주된 방법 중의 하나는 일정 수준의 방사선에 대한 공포심을 심어주는 데 있다.

인공 방사선 사용시 문제점 중 하나는 아주 적은 양의 방사능이라도 측정할 수 있다는 데 있으며 측정될 수 있는 한 많은 사람들은 그것이 위험하다고 믿게 된다.

우리는 일정 수준 이하의 방사선은 전혀 해가 없으며 오히려 인간에게 유용하다고 하는 내용을 뒷받침해주는 정확한 일단의 통계 자료를 가지고 있다.

그러나 원전 내에서 검출되는 방사능의 수백, 수천 배에 달하는 방사능에 피폭되는 경우(원자폭탄에 의한 피폭)를 제외하고는 방사선의 유해도에 대해 신뢰할 수 있는 어떠한 정보도 존재하지 않고 있다.

방사선 규제를 담당하는 위원회들은 오랜 기간 동안 어떤 수준의 방사능도 유해하다는 관점을 견지해왔으며 이들이 이런 관점을 바꾸도록 하기는 어려운 것으로 생각되는데, 그 이유는 이런 위원회들이 자기 연속성을 가지고 있기 때문이며, 방사선 규제의 비상식적으로 낮은 방사선 규제 수준도 변화하지 않을 것이다.

방사능에 대한 공포에도 불구하고 여론 조사는 대부분의 사람들이 원자력은 충분히 안전하고 장래에도 필요하다고 생각하고 있는 것으로 나타났으나, 이런 필요성을 충분히 인식한 사람들도 다른 사람들이 그들의 생각에 찬동한다고는 생각하지 않는다. 반면에 반핵 운동가들은 그들의 의견을 주장하기에 주저하지 않는다.

원자력의 미래

미래에는 어떻게 될 것인가? 오

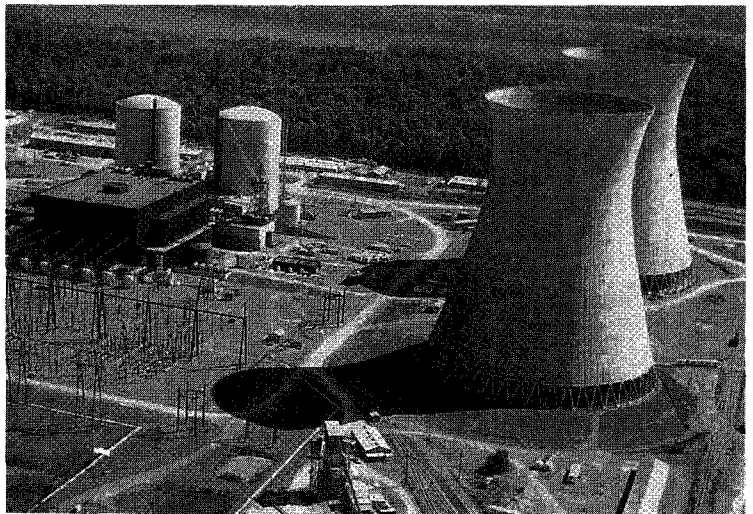
늘날 현존하는 원자력발전소는 언제나 높은 이용률을 기록하며 운전되고 있으며 kW당 소요 비용을 낮추어서 전력 생산에 있어서 원자력 에너지 이용을 증대시켜 왔다.

몇몇 막강한 기업들은 경쟁력 있는 가격을 제공할 수 있는 원자력발전소들을 사들이고 있다. 현재 일시적으로 원자력발전소에 의해 생산되는 전력 비율이 증가하고 있으나, 이 수치는 곧 몇 개의 원전이 폐기됨에 따라 크게 줄어들 것이다.

다른 원자력발전소 제작사와 함께 웨스팅하우스와 제너럴 일렉트릭은 새로운 기준의 설계, 즉 훨씬 간단하고 저렴한 가격으로 이전 발전소보다 단기간에 허가를 취득하고 부품의 표준화를 통해서 건설 기간을 단축할 수 있는 설계를 완성했다.

그러나 어떤 전력 회사도 새로운 원전을 건설하기란 쉽지 않을 것인데, 이는 예상되는 격렬한 원자력발전소 건설 반대로 인해 허가 취득이 연기되고 건설 공기가 연장되어서 경제적으로 경쟁력을 갖기 힘들 것으로 보이기 때문이다.

가장 가능성 있는 시나리오는 미국이 설계한 새로운 원자력발전소가 일본·중국과 기타 환태평양 연안 국가들에 건설되어 성공적으로 운영되는 것이며, 미국 혹은 다른 외국기업이 독립적으로, 또는 공동으로 발전소를 건설하는 것이다.



미국의 Bellefonte 원전. 오늘날 현존하는 원자력발전소는 언제나 높은 이용률을 기록하며 운전되고 있으며 kW당 소요 비용을 낮추어서 전력 생산에 있어서 원자력에너지 이용을 증대시켜 왔다.

그런 시나리오는 이미 일본의 가시와자키가리와 6호기와 7호기로 실현되고 있다. 이들 개량형 비등수형 원자로들은 각기 도시바와 GE 원자력에너지, 그리고 히다치와 GE 원자력에너지에 의해서 건설되었으며, 동경전력에 의해서 운영되고 있는데, 각각 1996년과 1997년에 상업 운전에 들어갔다.

이 개량형 원자로는 많은 피동형 원자로형의 특징을 가지고 있지만 이들이 진정한 피동적 원자로형으로서 안전한 것은 아니다. 진정한 피동형 원자로에 필요한 연구와 개발이 행해질지는 의심스러운 것이 현실이다.

만약 정치와 대중의 성향이 바뀌어서 원자력발전소 건설에 호의적이 되고 원자력 발전의 필요성이 명확하다면 현재 개발된 개량형 설계가 받아들여질 것이다.

미국 인구의 4배에 달하는 인구를 가진 중국은 생활 수준을 끌어올리기 위해서 에너지, 주로 전기를

필요로 하고 있다. 양쯔강 유역의 새로운 삼협댐은 현재 중국 전체 전력 수요량의 17%를 공급할 것이며, 원자력발전소는 나머지 대부분의 전력 공급을 담당하게 될 것이다.

몇 개의 발전소는 건설중이고 서방의 공급자들은 새로운 설계를 판매하고 건설과 운영을 도와주려고 노력하고 있다. 중국은 최근 몇 개의 프로젝트를 일시적으로 중지했지만 이는 안전성을 문제삼은 것이 아니라 저렴한 가격으로 건설을 모색하고 있기 때문이다.

미국의 개량형 원자로 설계 가격이 중국에서 경쟁력 있는 수준으로 내려가기 전에는 우리가 중국에서 이를 선보일 기회를 갖지 못할 것이다. 전세계적인 원자력 발전의 이용 확대는 피할 수 없는 현실이나 앞으로 수십 년 안에 이루어질 것 같지는 않다. 그 동안에 현재의 원자력 발전소 등은 그들의 운영 허가를 갱신하게 될 것이다.

그 때가 되면 원자력 발전의 연료



공급 문제가 발생할 것이다. 만약 많은 원자력발전소가 단기간에 건설된다면 경쟁력 있는 가격의 우라늄은 귀해질 것이다. 고속증식로가 필요하게 되고 이것은 물론 새로운 문제를 야기할 것이다.

작은 증식로들이 많이 건설되고 운영되고 있지만 거대한 상용 액체고속증식로가 건설되기 위해서는 사전에 많은 개발이 이루어져야 할 것이다. 왜냐하면 고속증식로는 많은 시간과 금액이 소요되는 문제들을 야기할 것으로 예상되기 때문이다.

현재 미국이 거의 경험이 없는 재처리를 포함한 핵연료 개발에 대한 여러 가지 의문도 있다. 현재 개발되어 건설되고 있는 재처리 공장은 그 경제성과 기술적 어려움으로 인해 완성, 운영되고 있지는 않다. 재처리의 경험은 벨기에·영국·프랑스 등이 보유하고 있다.

예상되는 인구 증가에 대응하기 위한 모든 종류의 가능한 연료 공급에 대한 대부분의 예측에 따르면, 향후 30년 내에 건설될 고속증식로의 개발이 즉각적으로 이루어져야 한다고 보고 있다.

만약 이런 극심한 에너지와 연료 부족이 고속증식로를 필요로 한다면 대중의 분위기도 변화할 것이다. 아마도 의심할 여지없이 이런 변화를 연기하여 비용 증가를 초래하는 그런 사람들이 존재할 것이며 사실

그들의 그런 능력은 무한하다.

반핵 운동가들의 태도를 분석한 최근의 자료는 그들은 어떠한 형태의 에너지 사용도 거부하고 있으며 그들의 그런 태도는 에너지 부족 사태가 오더라도 변하지 않을 것이라는 것을 보여주고 있다.

핵융합은 어떤가? 핵융합은 반핵 운동가들에게 기다릴 가치가 있는 것으로 추앙받고 있는데, 이는 실제로는 현재의 핵분열 발전을 저지하기 위한 전략에 지나지 않는다.

핵융합 연구와 개발은 50년 전부터 이루어졌으나 가장 열렬한 핵융합 지지자들조차도 앞으로 40년 이내에 이를 상용화할 가능성은 없는 것으로 보고 있다. 또한 그때가 되더라도 매우 복잡한 기계를 사용할 핵융합 에너지는 고속증식로를 통해 생산된 에너지 가격보다 높을 것이다.

그러므로 나는 핵융합 프로젝트가 새로운 엔지니어들에게 도전할 만한 과제를 제공하는 것 외에는 미래의 에너지원으로서의 고려 대상에서 제외되어야 한다고 믿는다.

그러면 이러한 고속증식로와 재처리 사이클의 개발 자금은 어디서 오는가? 먼저 내가 보기에는 가까운 미래에 여론이 고속증식로에 우호적으로 되거나 고속증식로의 절실한 필요성을 갖게 될 확률은 거의 없어 보인다.

또한 지역적인 문제 대응에 보다

관심을 보이고 있는 전력 회사들이 국가적 혹은 국제적인 요구 사항에 많은 자금을 투입하기는 어렵게 보인다. 정부가 연구 개발에 필수적인 자금을 투입할 것인가 하는 점은 정치적·사회적으로 변화 가능하며 지금으로서는 판단하기 어렵다고 본다.

방사성 폐기물

산업계가 당면한 가장 큰 문제점 중 하나는 방사성 폐기물의 처리 및 보관 문제이다. 수십 억의 자금이 심층 처분 방식의 Yucca Mountain 처리 시설의 안전성을 규명하기 위해 투자되었다.

환경 보호 당국의 편협적인 반응으로 처분 시설이 앞으로 만년에 걸쳐 최고 십만년 동안 (또 한번의 빙하기가 올만한 기간) 안전하다는 것을 증명해야 할 것이다.

또한 처분장의 안전이 증명되더라도 폐기물을 이동하는 것은 불가능할 것이다. 유럽의 여러 원자력 발전 국가 등에서는 일상적으로 이루어지고 있는 사용후 연료의 이동이 미국에서는 '움직이는 체르노빌'이라는 이름으로 반핵 운동가들에게 불리고 있다. 이동 컨테이너는 가장 엄격한 시험에도 견딜 수 있도록 개발·제작되었으나 이것만으로는 부족하다.

이 사용후 연료는 지방 자치 단

체의 여러 조직들, 즉 시·군·주들을 통과하여야 하며 그들 각각은 이들의 이동을 지연시키거나 정지시킬 가능성이 있다. 최근에는 냉전의 유산인 핵무기의 폐기물이 같은 루트를 통해서 뉴멕시코의 WIPP 처분장으로 이동된 적이 있으며 이것은 대중에게 이동의 안전성을 설득할 수 있는 좋은 사례가 될 것이다.

그러나 개인적으로는 가까운 장래에 있어서 폐기물 문제의 가장 좋은 해결책은 단순히 발전소에 사용 후 연료를 보관하는 것이라고 생각한다. 이미 국가폐기물기금이 적립되어 있으므로 이것을 활용하여 저장 비용을 충당해야 할 것이다.

핵확산

핵확산 문제는 어떤가? 냉전 기간 동안 '상호 확정 파괴' 이론은 현실적으로 미국과 소련이 핵무기를 사용하기 어렵게 만들어왔다. 소련의 붕괴 후에는 러시아는 군사적인 힘보다는 핵확산 문제의 위협 요소로 떠올랐다.

러시아 군대의 보수가 열악하고 소련보다는 중앙의 통제 능력이 확실하지 않아서 이익을 위한 핵물질의 확산 위험이 점증된 것이다. 발생 가능성은 낮지만 그런 확률도 완전히 무시할 수는 없을 것이다. 대량 파괴 핵무기의 폐기는 어느 정도

진전되어 왔으나 일부 위협은 아직도 남아있다.

불량 국가들에 의한 위협도 완전히 무시할 수는 없다. 사담 후세인이 지도자로 있는 이라크 같은 국가들을 무시할 수는 없으며 이스라엘도 이라크의 핵위협을 감쇄시킬 핵무기를 가지고 있는데 이는 핵무기 사용의 가장 큰 억제책은 보복 가능성이기 때문이다.

그러나 우리는 얼마나 많은 국가들이 핵무기를 보유하고 있는지 모른다. 이것은 특히 심각한 문제인데 우리는 인도나 파키스탄이 그들의 핵무기를 실험할 때까지 그런 무기를 가지고 있다는 것을 몰랐었다.

위험 국가들에 있어서 가장 제조 확률이 높은 것은 플루토늄으로 만든 핵무기가 아니라 고농축 우라늄으로 생산해낸 핵무기이다. 이것은 결코 우리에게 위안거리가 되지 못한다. 고농축 우라늄 무기를 가진 국가는 그것이 사전 실험 없이도 작동하리라고 확신할 수 있기 때문이다.

거의 모든 국가가 외부에 알려지지 않고 고농축 우라늄을 생산할 수 있는 분리 공장을 개발할만한 충분한 지식을 갖고 있다. 여기에 필요한 지식들은 공개된 도서관에서 얼마든지 구할 수 있는 것이다. 플루토늄을 생산하는 것은 조금 더 까다롭지만 불가능하지는 않다. 다만 탐지되기 쉬울 뿐이다.

열 핵무기 제조 기술은 훨씬 진보된 기술이 요구되며 위협 국가들이 제조하려고 시도하지도 않을 듯하고 물론 필요하지도 않을 것이다. 그러므로 장래의 원자력 에너지 개발 계획은 IAEA의 원조를 받아서 핵확산이 어려운 방향으로 계속되어야 할 것이다.

개요

나는 원자력의 선택이 점증하는 세계 인구에 대응하기 위해서는 필수적이라고 믿고 있다. 또한 물의 순환 시스템에 기초한 충분히 안전한 설계가 현재 존재한다고 믿고 있지만 이러한 발전소가 건설될 기회를 갖기 위해서는 비용면에서 경제적 우위를 갖도록 해야 한다.

우라늄의 양은 제한적이고, 새롭게 만들어지는 원자력발전소의 용량은 증가될 것이므로 세계는 증식로도 필요로 할 것이며 그 개발은 현재 시급한 문제이다.

여론 조사 결과는 대부분의 사람들이 현재 원자력 발전이 충분히 안전하고 더 많은 원자력 발전이 필요하다고 보고 있으나 그들은 다른 대다수의 사람들이 자신의 생각에 찬동하지 않는다고 생각하고 있다. 미래의 무공해 에너지 제공 계획에 대한 공공의 협력 획득에 있어서는 다수의 대중의 생각에 근거하여야 한다. ☞