

원전 계속운전을 위한 한수원 활동

서 두 석 · 한국수력원자력(주) 정비기획처장

_e-mail : suhds@khnp.co.kr

이 글에서는 한국수력원자력(주)(이하 '한수원')의 장기가동원전에 대한 안전성 향상 활동, 계속운전 추진배경, 해외사례, 필요성, 관련 법령, 고리1호기 계속운전 안전성평가보고서 심사수검 및 설비개선 사항, 국제원자력기구의 전문가 검토 등을 소개하고자 한다.

고리1호기는 웨스팅하우스 2루프 가압경수로형 원자력발전소이며, 전력 생산량은 58만 7,000kW이다. 고리1호기는 1969년에 건설계획이 확정되어, 1977년 6월 19일 최초 임계에 도달하였으며, 이듬해인 1978년 4월 29일 상업운전을 시작하였다. 당시 고리1호기는 부산시

연간 전력소비량인 31억 kWh보다 많은 47억 kWh를 생산해 내는 획기적인 에너지설비였다.

원자력발전소의 가동연수가 증가함에 따라 장기가동원전에 대한 종합적이고 체계적인 연구가 필요하였다. 고리1호기를 대상으로 하는 원전수명관리연구 1단계가 1993년 11월부터 1996년 11

월까지 시행되었다. 발전소 수명 관리의 기술적, 경제적, 규제적 관점에서 계속운전의 타당성을 평가하였다. 그 결과 적절한 경년 열화(經年劣化) 관리를 통하여 안전성을 확보할 수 있고 설계수명 이후 20년 이상의 계속운전은 기술적으로 가능하며, 경제적 이익이 있음을 확인하였다.

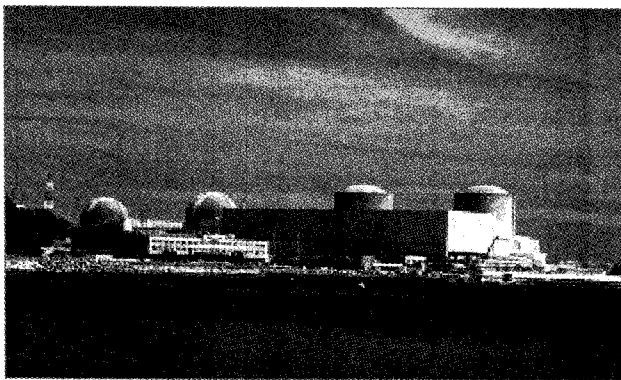


그림 1 고리원자력본부(고리1호기는 오른쪽 첫 번째)

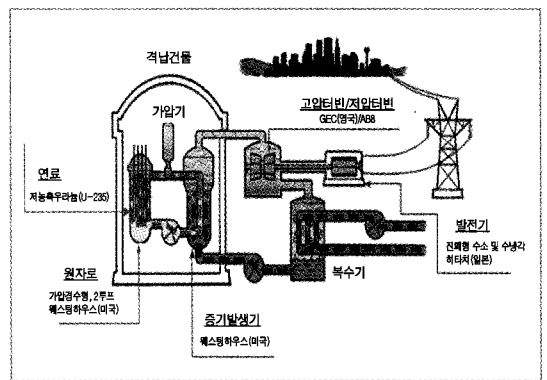


그림 2 고리1호기의 개요도

원전수명관리연구 II 단계는 1998년 7월부터 2001년 6월까지 시행되었다. 경년열화된 계통·구조물·기기의 수명평가, 진단, 감시를 위한 기술과 방법을 개발하였다. 수명평가 결과와 국내외 경험을 반영하여 경년열화관리 프로그램을 도출하였다. 이 프로그램을 통해 계속운전기간 동안에도 안전성이 유지됨을 확인하였다.

주기적 안전성평가¹⁾ 관련 원자력법령은 2001년 1월에 개정되었다. 이는 가동 중인 원자력발전소에 대하여 주기적으로 종합적인 안전성을 평가하기 위함이다. 우리나라에서 처음으로 실시된 고리1호기 주기적 안전성평가는 2000년 5월부터 2002년 11월까지 시행되었다. “고리1호기는 현재 적용되는 유효한 기술기준에 적합하게 운영되고 있어 운전 안전성이 확인되었다”고 2004년 5월 21일 원자력안전위원회는 평가하였다.

고리1호기는 다른 원전보다 많은 107건(2006년 기준)의 불시정지를 하였다. 대부분의 불시정지는 상업운전 초기 10년 이내에 80%가 발생하였다. 이는 1978년 상업운전 개시 이후 초기운영시 기술습득 과정에서 주로 발생

하였다. 2001년 이후 최근에는 세계 타원전은 1년에 1회 정도 불시정지하나, 고리1호기는 이보다 적은 3년에 1회 정도 불시정지가 발생하고 있다. 연간 이용률도 90.6%로 향상돼 2006년 세계평균 79.5%를 훨씬 상회하고 있다. 특히 최근 10년 동안 한주기무고장안전운전을 7회나 달성했으며 이는 국내 최고의 기록이다. 이 모든 결과는 설비의 신뢰성과 안전성이 시간이 갈수록 향상되고 있음을 보여주는 것이다.

설계수명기간이 지난 후에도 안전성이 입증된다면 계속운전을 하는 것이 세계적인 추세이다. 계속운전이란 원자력법에 따라 장기 가동한 원전을 대상으로 원자력발전 사업자가 안전성을 종합적으로 평가하여 보고서를 제출하고, 과학기술부가 이를 심사해 안전기준에 만족할 경우 설계 당시 계획했던 수명 이후에도 원전의 운전을 계속하도록 허가해주는 제도이다. 우리나라의 계속운전 안전성 평가기준은 국제원자력기구에서 권고한 주기적 안전성평가 기준에 미국의 운영허가갱신규정을 추가로 적용하여 다른 해외 원전보다 강화된 기준으로 계속운전의 안전성을 평가하고 있다.

영국, 일본, 스페인 등은 주기

적 안전성평가 제도에 따라 계속운전 안전성을 평가하고 미국은 독자적으로 개발한 운영허가갱신제도에 따라 계속운전을 하고 있다. 미국은 기존 40년에서 60년으로 운영허가기간을 연장하고 있으며, 48기가 승인을 받았다. 영국은 울드베리 발전소 등 4기, 일본은 쓰루가 1호기, 미하마 1·2·3호기 등 13기, 캐나다는 2기, 러시아는 18기가 계속운전 중에 있다. 2007년 12월 말 현재, 전 세계적으로 총 85기가 계속운전을 승인 받았거나 계속운전 중에 있다.

계속운전이 가능하게 된 까닭은 최초 설계 당시에 운전경험과 데이터가 부족하여 보수적으로 설계되어 안전 여유도를 충분히 가지고 있기 때문이며, 또한 가동 중 성능예측과 진단·검사기술이 발달되어 예측·예방정비가 가능해져 이상 징후, 혹은 노후화 설비나 기기를 미리 개선 또는 교체함으로써 설계수명이후에도 충분한 안전성을 확보할 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라 원전의 운영경험과 규제정보를 공유하는 네트워크가 형성되어 국제수준의 규제가 국내에도 적용됨으로써 계속운전 안전성을 세계적인 수준으로 유지할 수 있기 때문이다.

1) 주기적 안전성평가 : 가동 중인 원전에 대해 경년열화, 시설변경, 운전경험, 기술발전 등의 누적영향을 고려, 수명기간 동안 안전수준 유지를 보증하기 위하여 일정주기로 수행되는 체계적 안전성평가

- 평가주기 : 10년
- 평가범위 : 물리적 상태, 안전성분석, 기기검증, 경년열화, 안전성능, 운전경험/연구결과활용, 절차서, 조직 및 행정, 인적인자, 비상계획, 환경영향 등 11개 인자
- 평가주체 : 원자력발전사업자가 수행하고, 규제기관이 심사

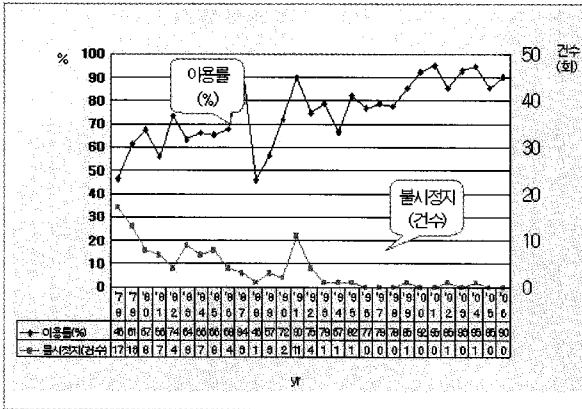


그림 3 고리1호기 이용률 및 불시정지건수 추이

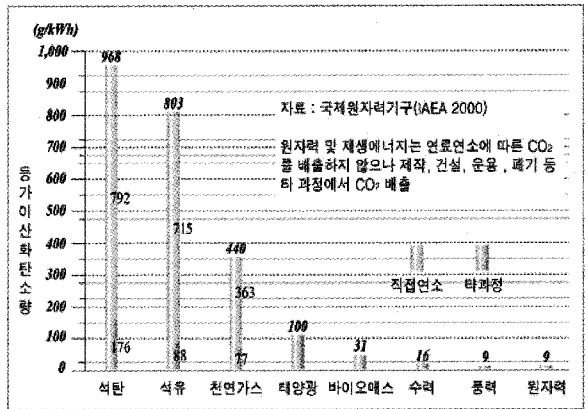


그림 5 발전원별 이산화탄소 배출량

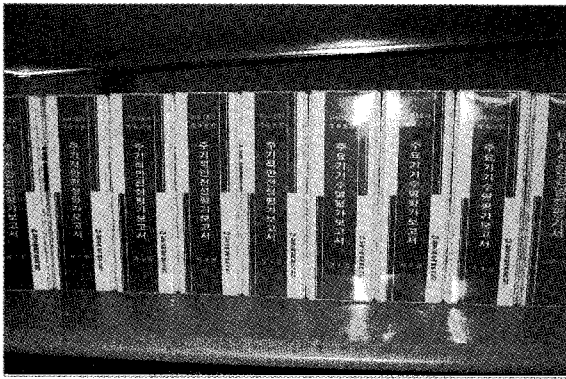


그림 4 고리1호기 계속운전안전성평가보고서

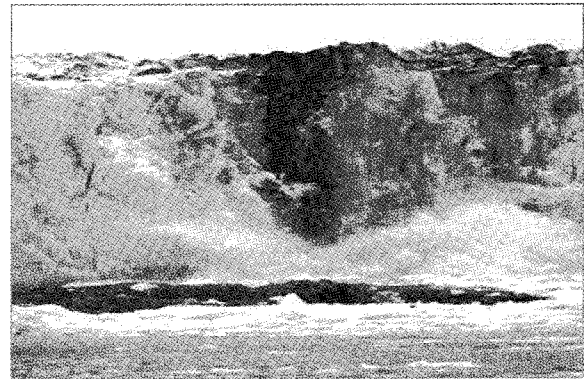


그림 6 무너지는 북극빙하

계속운전이 필요한 이유는 다음과 같다.

첫째, 국가에너지자원을 효율적으로 활용할 수 있기 때문이다. 고리1호기의 설계수명은 30년이지만 고리1호기와 동종(同種)의 원자력 발전소인 미국의 긴네이²⁾나 포인트비치 1·2호기³⁾는 설계수명이 40년이다. 이들 원자력발전소는 이미 계속운전을 승인받아 60년을 가동하게 될 예정이다. 이 경우를 볼 때, 운영 실적이 우수한 고리1

호기를 30년만 가동하고 중단한다면 절반만 쓰고 폐기하는 것으로 더 쓸 수 있는 발전소를 버린다면 국가적으로 큰 손실이다.

둘째, 신규 발전소 건설 대체효과가 있다는 것도 함께 고려해야 한다. 고리1호기의 2006년도 전기 생산량은 47억 6,000만 kWh이다. 이를 다른 생산수단으로 각각 환산할 경우 석유 90만 톤, 석탄 132만 톤, LNG 66만 톤이 필요하다. LNG로 고리1호

기 1일 발전량을 생산할 경우 2006년 말 수입가격 기준 하루에 13억 원을 더 지출해야 한다.

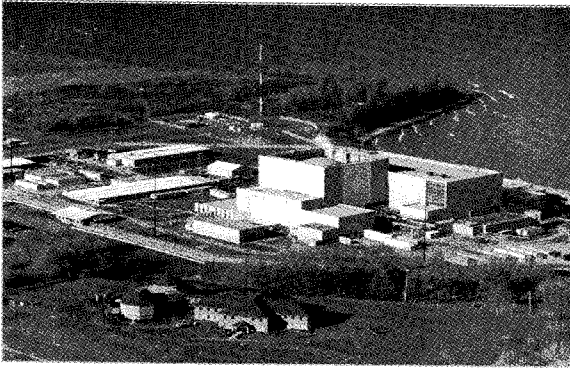
셋째, 원자력은 친환경에너지의 장점을 가지고 있다. 1kWh의 전기를 생산하는 데 이산화탄소 배출량이 9g으로 석탄화력이 배출하는 968g에 비해 100분의 1 수준에 지나지 않는다.

계속운전 관련 법령⁴⁾의 주요 내용은 다음과 같다. 계속운전 신청기한은 원전설계수명 만료일

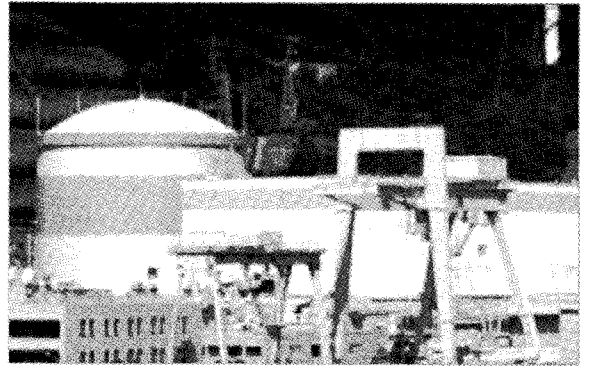
2) 긴네이(Robert E. Ginna) : 최초임계일 1969년 11월 9일, 38년 동안 전력생산 중

3) 포인트 비치(Point Beach) 1/2호기 : 최초임계일 1970년 11월 2일/1972년 5월 30일, 37년/35년 동안 전력생산 중

4) 계속운전 관련 법령 : 원자력법시행령 제42조의 2, 3, 4, 5, 동법 시행규칙 제19조의 2 제2항, 제19조의 3 제4항 2005년 9월 개정



미국 긴네이 원전



일본 쓰루가 원전

2~5년 전이며, 신청서류는 주기적 안전성평가보고서, 주요기기사명평가보고서, 방사선환경영향평가보고서이다. 심사항목은 경년열화, 안전성능 등 16개 분야 총 112개 항목으로 심사처리 기간은 신청접수 후 18개월 이내이다.

고리1호기 계속운전에 적용한 세부 기술기준은 과학기술부 고시 제2005-31호⁵⁾이다. 기술기준은 최신 운전경험 및 연구결과 반영사항과 최신 기술기준에 따른 방사선환경영향평가로 이루어져 있다. 최신 운전경험 및 연구결과 반영사항은 경년열화관리 대상선정 평가, 경년열화관리 계획평가, 계속운전을 위한 수명평가 운전경험, 연구결과 반영 필요사항으로 구성되어 있다. 방사선환경영향평가는 계속운전 계획, 환경 현황, 발전소 현황, 계속운전으로 인한 영향, 사고로 인한 영향, 환경감시계획을 포함한다.

한수원은 원전수명관리연구

1·II 단계, 1차 주기적 안전성평가의 결과를 활용하였고, 긴네이 운영허가갱신신청서를 참조하였으며, 2005년 말까지 운전자료를 종합하여 계속운전안전성평가를 하였다. 이 평가에는 한전전력연구원, 한국전력기술(주), 한국원자력연구원 등이 참여하였다. 이 안전성평가의 목적은 고리1호기가 계속운전기간 동안 안전성을 확보하는지 확인하는 것이었다. 여러 전문가들의 평가와 검토를 거쳐 5,200여 쪽의 방대한 계속운전안전성평가보고서를 작성하였고, 2006년 6월 과학기술부에 제출하였다.

고리1호기는 2007년 6월 9일 계속운전을 위한 계획예방정비를 착수하였고, 최초입계일로부터 30년이 지난 2007년 6월 18일에 설계수명이 만료되었다. 계획예방정비기간 중 내환경검증 케이블 교체, 내진검증 기기교체, 발전기 차단기 설치, 역변환기 교체, 공기조화설비 교체 등 47건

의 설비개선을 하였다.

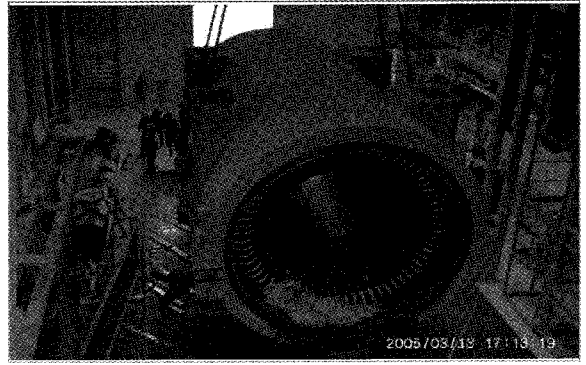
18개월의 심사기간 중, 한국원자력안전기술원은 약 100여 명의 전문인력을 투입하여 관련 서류검토를 하였다. 또한 기기의 수명평가, 계속운전이 환경에 미치는 방사선환경영향평가를 중심으로 심사하였고, 원자로압력용기 건전성 확인시험, 내환경검증 관련 케이블 시험, 모터구동밸브 내환경시험 등 안전성 실증실험입회와 현장점검을 병행 실시하였다. 한수원은 3회에 걸쳐 심사질의 1,029건에 대해 답변했고, 3차례의 종합현장점검과 수시점검을 받았다.

과학기술부는 2007년 7월 23일부터 8월 3일까지 2주 동안 국제원자력기구를 통해 고리1호기 계속운전 전문가검토(Peer Review)를 시행하였다. 이는 국제적인 원자력전문가검토를 통하여 계속운전 안전성 심사결과의 객관성을 높이고, 계속운전 준비상태가 국제적 기준에 부합되는

5) 제2005-31호 : 설계수명이 만료되는 원자로시설의 계속운전평가를 위한 기술기준 적용에 관한 지침, 2005년 12월 1일에 제정됐고, 2007년 10월 22일에 개정되어 '제2007-18호'로 변경됨.



국제원자력기구 전문가검토 수검



고리1호기 발전기 교체공사

지 확인하기 위함이었다. 전문가의 검토분야는 기본원칙, 계속운전 중 안전성확보 여부, 계속운전을 위한 선행조건, 기계·전기·계측기기 및 토목구조물에 대한 경년열화관리, 방사선환경영향평가였다. 전문가들은 국제원자력기구 표준과 국제적으로 인정되는 시행기준에 근거하여 계속운전 프로그램과 활동들을 검토하였고, 계속운전 신청서류 심사 중 도출된 현장 확인 필요사항에 대해 현장을 방문하여 직접 확인하였다. 전문가검토 수검 결과, 15건의 우수사례가 나와 고리1호기의 우수성이 다시 확인되었고, 3건의 권고⁶⁾와 2건의 제안⁷⁾을 보완하여 설비 신뢰성을 향상시켰다.

과학기술부는 고리1호기 계속운전안전성평가에 대한 심사결과를 심의하기 위해, 2007년 11월 21일부터 28일까지 5개 전문분과위원회를 개최하였고, 12월 7일 원자력안전위원회에서 의결을

한수원은 고리1호기 계속운전을 2006년 6월 16일에 과학기술부에 신청하였다. 18개월 동안 심사수검을 받고, 2007년 12월 11일에 허가를 받아, 2008년 1월 9일에 발전재개를 하였다.

하여 '고리1호기가 계속운전기간 동안 안전성을 유지할 수 있다'는 결론을 내렸다. 계속운전 심사가 끝난 후 2007년 12월 10일 과학기술부는 원자력안전위원회 심사결과보고서를 한국원자력안전기술원 고리1호기 계속운전 홈페이지에 공개하였다. 한수원은 과학기술부로부터 12월 11일 고리1호기 계속운전 허가를 받아, 2008년 1월 9일 발전재개를 하였다. 고리1호기 계속운전 성공적 사례는 향후 장기가동원전에 대한 밝은 전망을 제시하였으며, 월성1호기 계속운전 추진에 밑거름이 될 것이다.

한수원은 계속운전 추진에 있어 안전성과 함께 지역사회의 수

용성 확보가 매우 중요하다는 점을 인식하여 모든 노력을 다하였다. 계속운전에 대한 지역주민과 환경단체의 궁금한 사항을 해소하고 신뢰와 협조를 얻기 위해 심사수검 현황을 회사 홈페이지에 공개하였고, 질의응답을 통하여 계속운전에 대한 질문사항을 성실하게 답변하였다. 지난 2년 동안 고리민간환경감시기구 설명회, 계속운전 소규모 설명회, 세미나, 워크숍 등 1,131회 8,650명에게 홍보를 하여 계속운전의 필요성과 안전성에 대한 지역사회 공감대를 이끌어냈다.

물론 처음부터 일사천리로 서로의 의견을 모았던 것은 아니다.

6) 권고 : IAEA 및 국제적 관행 혹은 기준에 근거하여 개선이 필요한 사항
7) 제안 : 기존의 활동이 더욱 우수한 사례가 되도록 개선을 제안하는 사항

표 1 고리1호기 계속운전 추진경위

일 정	수검 내용
○ '06. 6.16	계속운전·신청서 과학기술부 제출
○ '06. 8.29	신청서류 적합성검토결과 통보접수
○ '06.10.24	정보공개를 위한 계속운전 홈페이지 운영(http://www.khnp.co.kr/03_info)
○ '06.11.24	1차 심사답변서 제출(604건)
○ '07. 1.22	1차 현장점검 수검(~1. 26)
○ '07. 3. 2	FSAR 개정관련 운영변경허가 신청서 제출
○ '07. 3.29	2차 심사답변서 제출(327건)
○ '07. 5.14	2차 현장점검 수검(~5. 18)
○ '07. 6. 9	계획예방정비를 위한 발전정지
○ '07. 7.16	3차 심사답변서 제출(98건)
○ '07. 7.23	IAEA Peer Review 수검(~8. 3)
○ '07. 7월	3차 현장점검 수검(~10월)
○ '07.11.21	원자력안전전문위원회 심의 및 원안가결(~11. 28)
○ '07.12. 7	원자력안전위원회 의결 및 원안가결
○ '07.12.11	고리1호기 계속운전 허가 취득
○ '07.12.18	기장군 지역주민 대표와 계속운전 합의
○ '07.12.21	울주군 서생면 지역주민 대표와 계속운전 합의
○ '07.12.21 ~ 23	연료장전
○ '08. 1. 3	과학기술부 임계전회의
○ '08. 1. 9	발전재개

표 2 국제원자력기구 전문가검토 결과(제안·권고)

번 호	제 안	내 용
1(제안)	주기기 피로평가 보완	가압기 하부헤드 Insurge/Outsurge 열피로 평가 피로관리절차서의 연계성 보완 환경피로평가(NUREG/CR-6260) 수행
2(제안)	격납건물 전기관통부집합체의 제어/계측 케이블 연결을 스프라이스 방식으로 교체	
3(권고)	비안전 관련 설비의 위치영향 분석	
4(권고)	가압기 샬수 헤드에 대한 일회검사 수행	
5(권고)	지하수위의 관측 시스템 구축	

초기에 지역주민들은 고리1호기 안전성에 우려를 나타냈고, 계속운전이 지역발전에 걸림돌로 작용하는 것은 아닌가 하는 걱정을 내비치며 반대집회, 탄원서 제출 등 반발이 매우 컸다. 이 같은 우려를 불식시킬 수 있었던 데는 수십 차례의 협의를 거쳐 지역주민과 한수원이 함께 참여해 만들어진 지역협의회 역할이 큰 역할을 하였다. 자칫 지역의 단기이

익에만 치우치거나 사업자만의 입장을 앞세워 문제를 더욱 어렵게 만들 수 있었던 상황에서 신의 성실을 바탕으로 고리1호기 계속운전과 연계하지 않고 지난 30년간 그린벨트 지정에 따른 지역주민의 불만을 해소하는 숙원사업 지원 등 장기적 지역발전과 국가적 이익을 위한 대승적 차원의 합의를 이끌어내는 성과를 이루었다.

지역협의회를 통한 이러한 노

력은 참여한 이해관계가 대립되는 사회적 현안에 관해 외부의 개입을 배제하고, 법과 원칙에 따라 자발적으로 논의하고 민주적으로 문제를 해결했다는 점에서 그간 국내에서 겪어왔던 많은 사회적 갈등과는 확연히 다른 갈등해소의 대표적인 선례로 그 의미가 매우 크다고 할 수 있다.