Proceedings of the Korean Nuclear Society Spring Meeting Cheju, Korea, May 2001

원전부지선정관련 단층의 활동성 평가를 위한 체계화된 자료수집방안연구

Fault Capability Decision using a Methodical Data Collection related to NPP Siting

Hyunwoo Lee, Chang Bock Im, and Taek Mo Shim

Korea Institute of Nuclear Safety

19 Gusung-dong, Yusung-gu, Taejeon, 305-338, Korea

요약

한반도는 미국의 서부나 일본과는 달리 지체구조적으로 안정된 곳으로 여겨져 왔으나 최근들어 일어나는 중급 규모의 지진들과 새로 제기된 활동성 단층들의 존재유무에 관한 논란이 원전부지의 지진안전성에 대한 국민적 우려를 낳고 있다. 이에 본 연구는 지표단층들의 활동성 여부를 결정하는데 있어 체계화된 Database를 사용할 것을 제안한다. 이 Database는 단층의 위치와 발전소부지로부터의 거리, 모암특성, 관찰/계산된 단층의 연장(길이), 단층과 절대연령 측정용 시료채취 위치를 나타내는 노두사진과 스케치, 단층면과 조선의 방향성 및 단층의 운동감각, 단층대(비지와 파쇄대)의 변위량과 폭, 단층비지에 대한 미세구조분석자료, 그리고 지질연대자료들이다. 또한 제안된 Database 체계를 최근 발견되어 조사가 진행중인 입실단층에 사용해 본 결과 그 적용가능성을 확인할 수 있었다.

Abstract

Korean peninsular has been considered as reasonably stable and safe tectonic region from earthquake, unlike the western US and Japan, however recently occurred earthquakes recording moderate magnitudes near Korean NPP sites have been raising national concerns for the safety of the power plants. Therefore, this paper suggests using a methodical, and/or systematic data collection for surface fault capability decision related to NPP Site. This includes location and distance from the site, nature of country rocks, detected and/or calculated fault extension (length), photos and illustration of the fault outcrop(s) with sampling points for the age dating on, orientations (fault planes and striations) and sense of movement, size of displacement and width of the fault zone (e.g., gouge, fractured zone), micro-structural analysis results of the fault gouge, and geologic ages. This also turned out to be applicable from the test on the Ipsil fault near Kyungju, Korea.

1. 소개

우리나라는 지구조적인 환경에서 볼 때 미국 서부 및 일본과는 달리 비교적 안정된 지역에 속한다고 볼 수 있다. 그러나 근래에 영월지진(1996. 12), 경주지진(1997. 6), 울산지진(1998. 1) 등 중간규모의 지진이 수 차례 발생하였으며 양산단층 및 주변지역에서 제4기 단층이 확인되고 있어 인근에 위치한 원전부지의 지진안전성에 대한 국민적 우려가 제기되고 있다. 지난 약 30년 동안 관련 기초자료의 축적과 과학기술의 발전으로 인해 국내 기반기술은 어느 정도 확보되었으며

최근에는 양산단층 활동성 조사결과로 양산단층 및 주변지역의 국부적인 신기 지구조에 대한 자료가 제시되어 있으나 이 지역에 대한 정밀조사 자료는 아직 미비한 상태이다. 그러므로 원전부지를 중심으로 한 인근지역에 대한 지질 및 지진특성을 정밀 분석하고 원전부지에 적합한 고유의 지진안전성 평가기준에 대한 기술 개발이 시급한 실정이다.

따라서 본 논문의 목적은 지진의 원인 중 하나이며 지각표면 변형의 잠재성을 내재하고 있는 지표 단층들에 대하여 현행 원자력 법에 근거하여 그 활동성 여부를 결정하는데 있어서 필요하다고 판단되는 조사 항목들을 제안하고자 한다. 또한 이것을 경주인근에 발달하는 입실단층에 적용해보았다. 또한 이를 통하여 국내 부지특성에 적합한 원전시설 설계지진 결정시 기초입력자료로서 제공 하는데 있다.

2. 활동성 단층의 정의

현재 한국에서의 원자력발전소부지 선정 기준은, 과학기술부 고시 제 2000-8호에 따라, 미국의 연방법 10CFR part100 “Reactor Site Criteria”를 준용하고 있다. 1997년 1월 개정된 10CFR part100는 기존 법의 적용과 연구에서 습득된 경험을 활용하고, 해석상의 의문을 해결하며 지구과학 및 지진공학 분야의 최신 기술을 이용하는 데 필요한 규제적 유연성을 부여하고 있으며, 보다 포괄적인 전문용어를 반영하고 있다. 그리고, 개정된 규정에서 활동성 단층에 대한 정의는, 다른 상세한 지침들과 더불어, 하위 규정인 Regulatory Guide 1.165 “Identification and Characterization of Seismic Sources and Determination of Safe Shutdown Earthquake Ground Motions” (US NRC, 1997)로 이전되었으며, 기존의 활동성 단층(Capable Fault)이라는 용어는 활동성 지구조원(Capable Tectonic Source)으로 변경되었다. 이 곳에서 정의하고 있는 활동성 지구조원이란 다음과 같다:

Capable Tectonic Source - A capable tectonic source is a tectonic structure that can generate both vibratory ground motion and tectonic surface deformation such as faulting or folding at or near the earth’s surface in the present seismotectonic regime. It is described by at least one of the following characteristics:

a. Presence of surface or near-surface deformation of landforms or geologic deposits of a recurring nature within the last approximately 500,000 years or at least once in the last approximately 50,000 years.
b. A reasonable association with one or more moderate to large earthquake activity that are usually accompanied by significant surface deformation.
c. A structural association with a capable tectonic source having characteristics of either section a or b in this paragraph such that movement on one could be reasonably expected to be accompanied by movement on the other.

3. 지표단층의 활동성 여부평가를 위한 methodological data collection

원자력발전소부지 주변에 위치하는 지표 단층들에 대한 분석 및 해석 그리고 활동성 여부의 결정은 아래에 나열된 것과 같이 location and distance from the site, country rocks, detected and/or calculated extension (length), photos and illustration of the fault outcrop(s) with sampling points for the age dating on, orientations (fault planes and striations) and sense of movement, size of displacement and width of the fault zone (e.g., gouge, fractured zone), micro-structural analysis of the fault gouge, and geologic ages 등에 대한 상세기술을 근거로 이루어져야 한다. 위에 명시된 활동성단층 기준의 두 번째 항목(항목b)에 해당하는 지진은 연구 대상지역에는 해당되지 않으므로 본 논문에서는 고려 하지 않았다.

a. Location and distance from the site. 먼저 단층이 발견된 곳의 지리적 위치와 더불어 GPS좌표가 필요하다. 특히 GPS 좌표의 사용은 최근 수년사이에 활성단층 조사에 쓰이기 시작 했는데, 이는 GIS를 이용한 지질/단층 데이터베이스 구축에 없어서는 안될 중요한 인자이다. 지표 단층들은 대체로 여러 요인들에 의해 전체 연장 중 상당 부분이 지표상에 드러나 있지않은데, 이러한 경우 지형도상 혹은 GPS좌표상에 정확히 기재된 단층 노두들은 한 단층의 지표상 연장성을 유추하는데 유용하게 쓰여질 것이다. 그리고 더 나아가서, 한 지역에 분포하는 단층들에 대한 정확한 기재는 그들 단층들간의 기하학적 상호관련성과 가능한 단층체계(fault system)의 파악에도 크게 기여를 할 것이다.

b. Nature of country rocks. 단층 작용의 한 결과물이면서 그것을 유추 분석할 수 있게 하는 중요한 단서가 바로 단층인데, 시간적으로 극히 제한된 지진자료를 제외한다면, 이 단층작용을 확인할 수 있는 유일한 곳은 바로 그 단층이 절단하여 변위시킨 모암 혹은 퇴적층이 될 것이다. 여기서 중요한 것은, 모암을 이루는 각각의 지질 암층들은 절대 혹은 상대연대측정을 통하여 대개의 경우 그 생성 연대가 구해질 수 있는 것들이어서 그곳에 발달된 단층(들)과 지질 암층들 간의 관계를 밝혀낼 수 있다면 그것은 바로 단층작용의 시기를 알 수 있다는 것을 의미하는 것이다. 그러므로, 지표 단층이 나타나는 지역에서의 암질과 층서 그리고 층리(bedding)의 주향과 경사(strike & dip)를 빠짐없이 기재하여야 한다.

c. Detected and/or calculated extension (length). 발전소 부지 예정지에서 발견된 지표단층의 연장(길이)은 그것의 활동성 여부를 결정하는데 있어 그 단층의 연대와 재활성 여부 만큼 중요하게 작용 하지는 않는다. 하지만, 활동성으로 밝혀진 상태의 단층에 대해서는 그 규모에 따라 다시 지진성(seismic) 여부를 결정하게 되는데, 이 또한 원자력 발전소 부지 적합성을 결정하는데 중요한 요인이 된다. 단층연장 측정에 사용될 수 있는 방법은 크게 세가지가 있는데, 지구물리 탐사법, 최대변위-거리 계산법, 그리고 Trench법이 있다.
먼저, 여러 가지 탐사에 의해 구해진 값을 처리하게 되면 그림 1과 같은 단면도가 얻어지고, 이를 근거로 단층의 유무를 조사하게 된다. 바다나 호수지역과 같이 정상적인 지표지질조사가 거의 불가능 한 곳에 주로 사용된다. 하지만, 비록 육지 지역이라 하더라도, 조사대상의 단층이 지표상에 전부 드러나 있는 경우에는 실측이 가능하나 이는 드물고, 대부분의 경우 퇴적물이나 식생 등에 의해 단층들이 덮여있어서 극히 일부분만 관찰이 가능하다. 따라서, 일부 지표에 드러난 단층의 부분으로부터 특정 정보들을 수집한 후 전체 단층의 연장을 구하는 '최대변위-거리' 계산법이 사용된다(Peacock and Sanderson, 1996). 자세히 말하자면, 한번의 단층작용 시 미끄러짐이 일어난 지역을 특정한 2차원의 면으로 나타냈을 때 그 중심부에서 가장 큰 변위가 일어나며, 가장자리로 갈수록 줄어들다가, 결국은 변위가 0이 된다. 여기서 단층면의 중심점에서 가장자리로 가면서 변위량은 그림 2 에서 와 같이 포물선형태로 감소 하게 된다(Cowie et al., 1993; Dawers and Anderson, 1995; Cowie and Sipton, 1998).

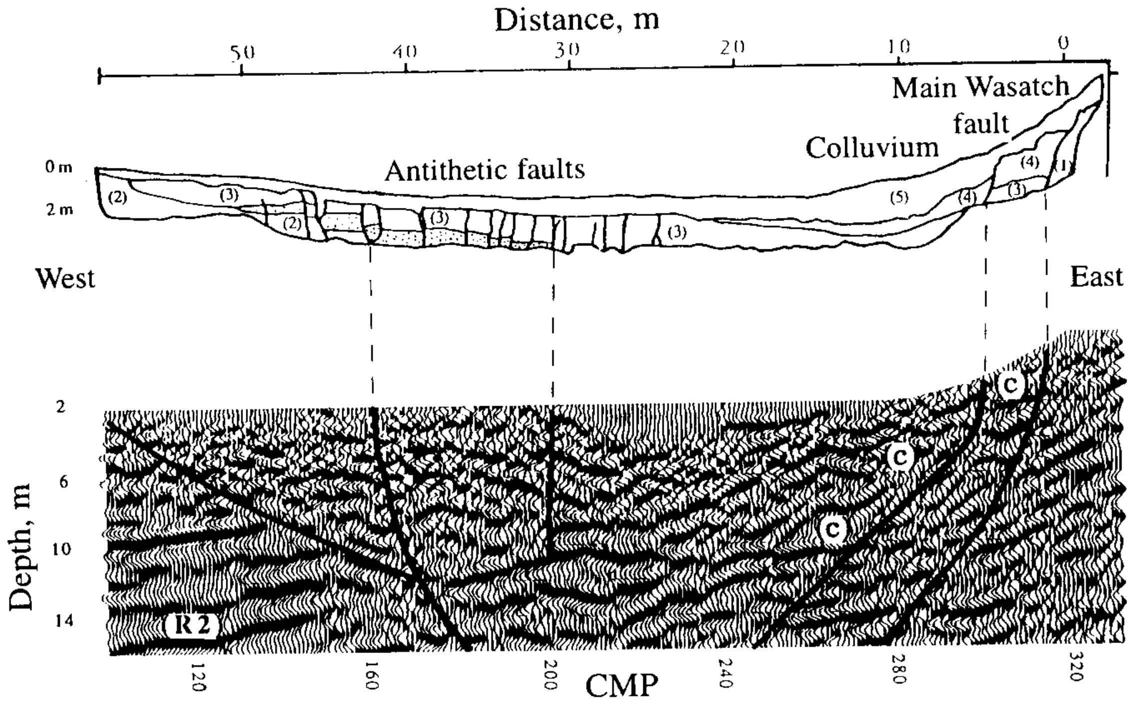


그림 1. 미국 Utah주 Wasatch단층대에서의 고해상도 탄성파 단면과 트렌치기록(현창헌, 2000).

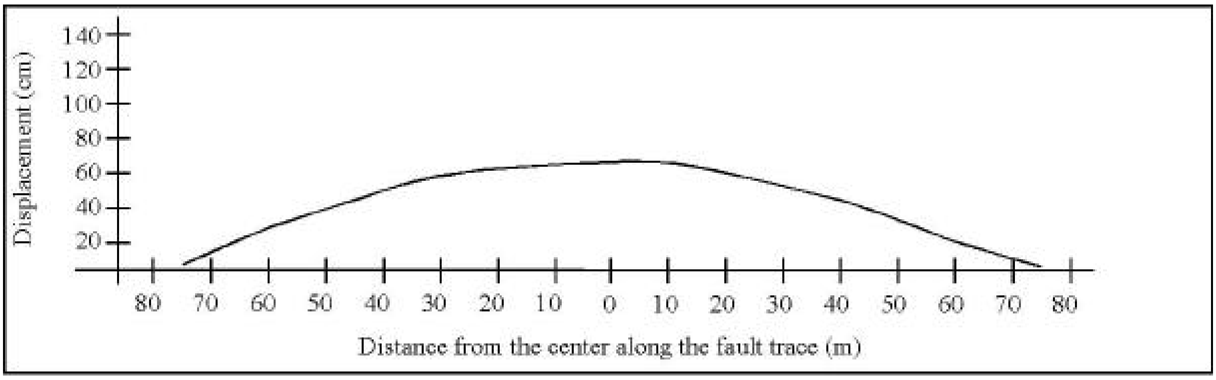


그림 2. 단층을 따라 나타나는 displacement profile의 모식도 (e.g., Cowie and Shipton, 1998).

따라서, 한 단층의 연장에 대해 적어도 2개의 노두로부터 단층 변위량과 그 단층 노두들간의 거리를 재야 하며, 위의 관계를 이용하여 그 단층의 길이를 구할 수 있다. 하지만, 이때 염두에 두어야 할 것은, 모암의 물성, 단층의 형태 등과 그밖에 단층 자체가 갖는 여러 가지 고유 특성들에 따라 포물선의 형태는 다르게 나타날 것이므로, 단층의 실제 연장은 이 계산에서 나온 값보다 적어도 크다는 것이다(e.g., Peacock and Sanderson, 1996). 마지막으로, trench법은 말 그대로 예상되는 단층의 연장을 따라 굴착하는 방법이다. 최근 경주시 양남면 수렴리의 ㈜현대자동차 연수원부지에서 발견된 수렴단층의 연장을 구할 목적으로 이 trench법이 적용 되었다. 이 방법은 실제 단층노두의 노출상태가 불량한 지역에서 지표단층과 제 4기 미고결 퇴적층간의 관계를 밝힐 목적으로 많이 사용되어오고 있으며, 이 경우 예상 단층주향에 직각방향으로 trench를 한다.

d. Photos and illustration of the fault outcrop(s) with sampling points for the age dating on. 이 항목은 단층의 활동성을 판단하는데 직접적으로 필요한 것은 아니다. 하지만, 이들 단층관련, 특히 제 4기 지층과 관련된, 물질들은 지질학적으로 대개가 불안정한 상태이며, 차 후 인위적 개발에 의해 자료를 수집한 노두가 묻히거나 깎이어서 사라져 버릴 수가 있으므로 반드시 증거 자료로 남겨놓아야 한다. 또한 단층 작용과 관련한 절대연령 측정을 위한 sampling point들은 해석차에 의한 논란의 가능성이 있으므로 사진과 적당한 스케치의 형태로 보관할 필요가 있다(e.g., 그림 3).

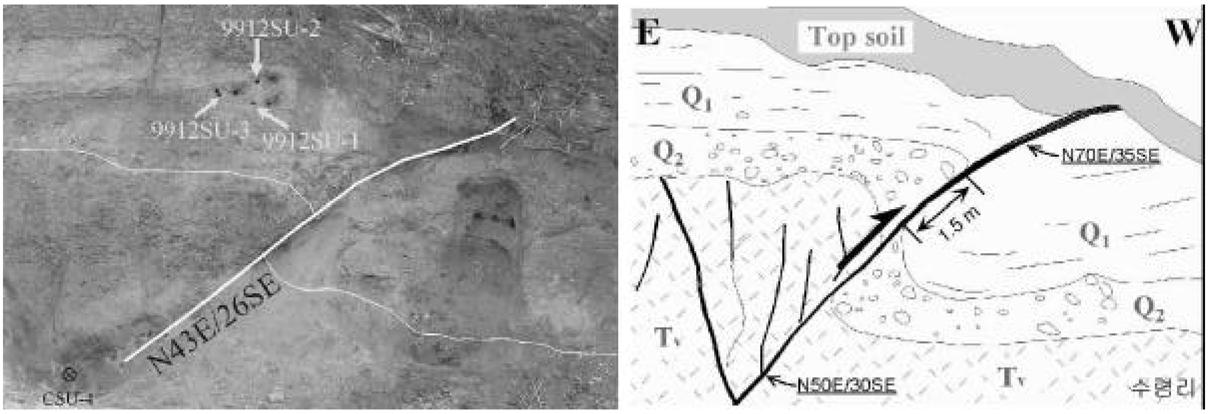


그림 3. 수렴리 단층의 노두사진과 스케치. 절대연령을 위한 시료채취 위치도 함께 포함.

e. Orientations (fault planes and striations) and sense of movement. 단층의 기본적이면서도 중요한 물리적 특성이다. 단층의 방향성으로부터 거꾸로 그 단층을 형성시킨 고응력장을 유추해낼 수 있으며 나아가서는 공존하는 다른 단층들과의 공간 기하학적/역학적 관계를 밝힐 수 있게 해준다. 여기서 기재해야 할 것들은 단층면의 주향과 경사각, 그 위에 발달하고 있는 단층조선의 선주향과 경사각 및 이들간의 상호관계, 그리고 각 조선들을 따라 움직인 운동 감각이다. 이때 이들이 하나 이상 존재할 경우, 그들 간의 상호관계(relative timing)를 찾아내서 기재해야 한다. 상호 관계를 보이는 두개 이상의 단층들이 존재하는 곳에서는 그것들 간의 그리고 그것들과 모암간의 관계를 정확히 기술하여야 하는데, 이는 단층의 재활성 여부를 결정하는데 중요하다. 참고로, 각 단층운동의 운동감각은 단층면상의 끌림 흔적(striations)과 단층 주변에 발달하는 second order fractures의 pattern을 이용하여 결정할 수 있다(e.g., Hancock, 1994).

f. Size of displacement and width of the fault zone (e.g., gouge, fractured zone). 단층작용 시 단층면 상에 가해지는 횡압력에 의해 그 주변이 파쇄 되거나 분쇄되어서 단층파쇄대(fault fracture zone)나 단층비지대(fault gouge zone)를 형성한다. 그러므로 이들 zone의 변위(displacement)와 폭(width)은, 몇몇 다른 요인들도 작용 하겠지만, 단층운동의 세기 내지는 규모와 가장 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 실제 단층의 변위를 정하기 위해서는 모암의 수직변위와 이와 관련된 단층조선의 선주향과 경사(plunge & plunge angle)를 알아야 한다. 이때 만약 수직변위를 측정할 때 특정 퇴적층의 경계부를 이용하였다면, 그 경계면의 방향성을 알아야 한다. 왜냐하면, 기준이 된 경계면과 단층면 그리고 단층조선간의 각관계에 따라서 가시 변위량이 과장도 축소도 되기 때문이다. 단층대의 폭을 기재할 때는 최대, 최소 및 평균 값을 각각 측정하여 기재하며, 그

폭들이 모암물질과는 어떠한 관계를 가지고 변화하는지도 기재해둘 필요가 있다.

g. Micro-structural analysis of the fault gouge. 단층비지(fault gouge)는 기반암의 반상쇄편과 극미립의 분쇄물질 및 점토광물의 기질로 구성되어있는 미고결 물질이다. 이것에 대한 미세구조분석은 크게 두 가지 이유에서 중요한데, 그 하나가 단층운동의 전단감각(shear sense)의 결정이고, 다른 하나가 단층운동의 중첩가능성 관찰이다. Takagi, et al.(1996)은 단층비지시료의 채취에서부터 박편제작에까지 자세히 설명해 놓고있다.

h. Geologic age for the youngest geologic unit cut by the fault, the oldest geologic layer covering the fault, and materials interpreted to be generated from the faulting. 단층운동(들)의 시기는 절대연령 측정에 의하여 얻어질 수 있지만, 이에 앞서 단층 물질과 모암과의 관계를 먼저 충분히 분석한 후에야 이것이 이루어져야 한다. 그렇지 않은 경우, 단층비지에 대한 절대연대측정에서 얻어진 값은 단층작용 훨씬 후에 단층면을 따라 관입한 열수에 의한 모암의 변질시기를 나타낼 수도 있기 때문 이다. 이러한 경우를 방지하기 위하여서는, 단층비지물질뿐만 아니라 반드시 단층에 의해 절단되는 지층 중 가장 젊은 지층과 단층을 덮고있는 지층 중 가장 오래된 것의 연대도 함께 구하여 서로의 값들을 검증하여야 한다. 또한, 제 4기 단층 연구에서 연구자와 방법에 따라 단층 시기가 서로 다른 범위를 보여주기도 하였다. 예를 들자면, 경주시 외동읍 양남면에 위치한 입실단층의 단층비지에 대한 절대연대 분석에서 2737±877ka, 1953±107ka 그리고 1375±126ka 등의 ESR연대(한국지질자원연구원, 1998), 약 30ma, 28ma 및 23ma 등의 Rb-Sr 연대(한국기초과학지원연구원, 2000년 3월 KINS 위탁보고서), 그리고 약 36 ~ 39ma의 K-Ar연대(한국기초과학지원연구원, 2000년 3월 KINS 위탁보고서)를 각각 얻었다. 따라서, 가능하다면 한가지 이상의 방법을 적용하여 이들 값들 간의 비교/검증이 가능케 하는 것이 합리적이다.

4. 단층자료의 해석 및 활동성여부의 평가

이렇게 하여 얻어진 자료들을 근거로 해당 단층에 대한 종합/분석/해석이 이루어 지게 되며 그 결과 해당 단층작용에 대한 종합적인 지질연대 및 구조 역사(Chronological/structural history)가 도출이 된다(그림 4). 이는 단층작용의 시작부터 마지막 움직임에 이르는 동안에 일어난 시간/공간적인 단층 발달을 설명할 것이다. 여기서 위의 ‘2. Capable fault’가 정하는 활동성 단층의 범주에 속하는지를 판단할 수 있다. 자료가 불충분 하거나 아니면 자료들간에 서로 이견이 있어 단층의 활동성여부를 결정할 수 없을 때는 활동성단층 정의 중 c.항에 의거하여 활성 여부가 결정된 인접한 다른 단층들이나 거대 조구조 단층들과의 연관성을 살펴봄으로써 가능케 할 수 있다.

원자력 발전소 부근에 존재하는 지표 단층들의 활동성 여부를 결정하기 위하여 위에서 제안한 Methodical Data Collection을 경주시 주변에서 발견된 소위 입실단층에 적용하여 보기로 하자. 입실단층은 입실리에서 북동방향으로 뻗어있는 도로를 따라 약 2km를 가면, 본 단층이 산사태에 의하여 발달한 자연사면에 잘 노출되어있다. GPS좌표로 볼 때 북위 35도 43분 19.3초에 동경 129도 21분 08.7초의 지점에 위치하고있으며 인근 월성원자력발전소부지로부터 약 10km의 거리에 위치한다. 단층면을 경계로 노출 사면의 하부에서는 동쪽에 안산암이 그리고 서쪽은 불국사 화강암이 접하며, 노출사면의 상부에서는 안산암과 화강암을 부정합으로 피복하는 제4기의

미고결 퇴적물이 동쪽의 안산암과 단층접촉을 하며 약 5m의 수직 분리(vertical separation)를 보이며 변위 되어있다. 주 단층면의 방향성은 N12° E의 주향에 82° NW의 경사를 갖는다. 단층면상의 미끄럼선은 노출사면의 상부에서는 제4기 자갈층 표면에서 65°/046° 을 나타내지만 그 하부 계곡 바닥에서는 35/004를 가리킨다. 그리고, 노두상에서 단층면과 약 20 ° 정도 사각으로 현저한 P 엽리를 발달시키는데 이로부터 우수향 단층운동 감각을 읽을 수 있다. 단층을 중심으로 변위는 남쪽을 바라볼 때 약 7m의 수직낙차를 보인다. 단층자취를 따라 황갈색의 단층비지대와 단층파쇄대가 약 40cm 폭으로 발달하며 아마도 후자의 미끄럼은 제4기 단층운동 이전의 산물로 간주된다. 특히 하부사면의 단층비지대는 단층면을 경계로 화강암쪽에서 약 20cm, 안산암쪽에서 약 20cm의 비지대를 발달시킨다. 그리고 실측은 불가능하나, 항공영상사진 분석을 통하면 약 5km는 될 것으로 추정이 된다(Personal comm., 한국 지질자원연구원). Fault gouge 물질은 현미경 하에서 20 ~50 μm정도의 석영, 장석이 아원형으로 존재하며 소량의 화산암편이 존재한다. Gouge 물질 전체의 약 80%가 기질을 이루는 점토광물들이며 이것에 의해 점토엽리가 우세하게 발달한다. 절대연대로는, 모암인 화강암과 안산암이 각각 49.7±0.1ma(Rb-Sr 전암, 한국기초과학지원연구원)과 48.8±1.6ma(K-Ar, 한국지질자원연구원)을 보이고, 단층비지의 경우 2737±877ka, 1953±107ka 그리고 1375±126ka(이상 ESR연대, 한국지질자원연구원), 약 30ma, 28ma 및 23ma(Rb-Sr 연대, 한국기초과학지원연구원), 그리고 약 36 ~ 39ma(K-Ar연대, 한국기초과학지원연구원)등을 얻을 수 있었다. 위의 결과를 종합하여 볼 때 입실단층은 적어도 약 39ma에 최초로 단층이 형성되었으며 가장 어리게는 1375±126ka에 한번 더 단층운동이 기존 단층을 따라 재발 하였을 것으로 추정된다. 그리고 단층주변에 발달한 P fracture에 의해 드러난 우수향의 운동감각, 동측 상반의 수직상승, 그리고 두껍게 발달한 단층 파쇄대 등을 종합해 볼 때 제 4기 단층운동은 우수향 역단층 운동을 한 것으로 볼 수 있다. 본 단층은 울산 단층대를 따라 발달하는 여러 다른 제 4기 단층들과 방향성이나 운동감각이 유사하며, 현재까지 밝혀진 지질연대자료를 고려해 볼 때 비활성인 것으로 사료된다(그림 4).

5. 결언

원자력 발전소 부지주변에 발달하는 지표 단층들에 대한 활동성 여부평가는 부지의 적합성을 결정하는데 있어서 중요한 결정 인자가 된다. 이에 표준화된 Database의 구축과 이를 기반으로 한 단층 활동성의 평가가 바람직하다. 제안된 자료수집방법을 실제 원전 부근에 발달하는 제 4기 단층에 적용해 본 결과 적절한 것으로 나타났다. 그리고, 현재 한국의 원자력법은 이에 대하여 미국의 연방법인 10CFR Part100와 그 하위 규정인 Regulatory guide를 준용해오고 있다. 여기에, 미국과 한국의 지체구조적 상황이 서로 다른 바, 한국 실정에 맞는 활동성단층 평가기준을 개발하기 위하여 한국원자력안전기술원은 “원전부지 지진안전성 평가기술개발”과제를 수행해 오고있다. 본 논문에 제안된 안들은 그간 진행되어온 연구결과의 일부를 토대로 만들어진 것으로, 계속적인 보완 및 수정 예정이다.

6. 사사

본 연구는 과학기술부 원자력 중장기과제 (과제명: 지진안전성평가기반 및 기술개발)의 일환으로 수행되었다.

FAULT NAME

Ipsil Fault

FAULT AND GEOLOGY

GPS							ADDRESS
N	35°	43'	19.3"	E	129°	21' 08.7"	경상북도 경주시 입실리

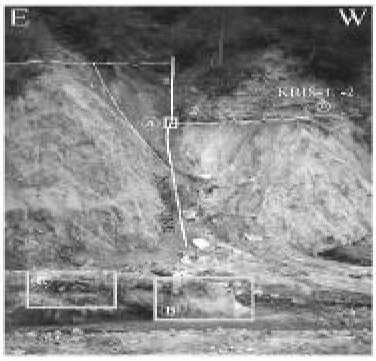
GEOLOGY & ABSOLUTE AGES

	plunge direction	plunge angle	lithology	absolute age (ka)	method	source
Lower-most layer covering the fault			sandy soil			
Fault gouge2			clay minerals, quartz, plazioclase	1,375±126	ESR	KIGAM
Fault gouge1			clay minerals, quartz, plazioclase	39,000	K-Ar	KBSI
Upper-most layer cut by the fault	288	48	pebble-bearing sand			
other layer			andesite	48,800±1.6	K-Ar	KIGAM
other layer			granite	49,700±0.1	Rb-Sr Whole rock	KBSI

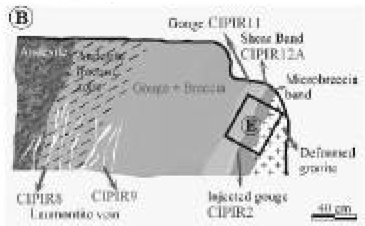
map

Input data

outcrop1



outcrop2



FAULT DESCRIPTION

Orientations

	PD	PA	sense
fault plane	282	82	reverse-dextral
striation1	046	65	reversel
striation2	004	35	dextral
striation3			

PD = plunge direction PA= plunge angle

Dimensions (cm)

	minimum	average	maximum
gouge width	20		40
width of fractured zone	20		40
displacement		500	

INTERPRETATIONS

Fault movements (ka)

1	39,000
2	1,375±126
3	

Fault extension (m)

minimum	
average	5,000
maximum	
bigger than	

Related macro-scale faults

Ulsan Fault zone

Fault Capability

Not capable

NOTE

Hyunwoo Lee, KINS 2001. 1.

그림 4. 제안된 data collection 방법을 적용하여 만든 활성동성 평가표.

7. 참고문헌들

[1] **한국자원연구소**, 2000, **신기지각변형연구**, **과학기술부**. pp. 480

[2] **한국원자력안전기술원**, 2000, **원전부지 지진안전성 평가기술 개발**, **과학기술부**, pp. 500.

[3] Cowie, P. A., Vanneste, C. and Sonette, D., 1993, Atatistical physics model for the spatio-temporal evolusion of faults, Journal of Geophysical Research, 98, 21809-21822.

[4] Cowie, P. A. and Sipton, Z. K., 1998, Fault tip displacement gradients and process zone dimensions, Journal of Structural Geology, 20, 983-997.

[5] Dawers, N. H. and Anderson, M. H., 1995, Displacement-length scaling and fault linkage, Journal of Structural Geology, 17, 607-614.

[6] Hancock, P. L., 1994, Continental deformation, Pergamon press, pp. 421.

Peacock, and Sanderson, 1996,