

제4기 읍천 1단층의 특성

최성자¹⁾, 최위찬¹⁾, 정창식²⁾

1. 서 론

대부분의 제4기 단층은 제3기 단층이 재활동한 것들으로써, 신기 조구조적 단층 여부를 규명하려면, 제4기에 형성된 단구(段丘, Terrace)의 변위가 수반 증명되어야한다. 대표적인 단층은 읍천단층과 수렴단층을 들 수 있다. 특히 읍천단층은 기반암단층으로 언급될 경우에는 읍천단층이라 하고, 제4기에 재활동한 부분을 거론할 경우에는 제4기 읍천단층이라고 구분하여 혼란을 피하도록 하였다. 향후, 읍천단층의 분절화가 규명되고, 각 분절단층에서의 제4기 단층 재활동이 모두 확인되면, 읍천단층이나 제4기 읍천단층에 각각 번호를 부여함이 타당하며, 특별한 의미가 있는 분절단위에는 단층이름을 부여해도 된다고 본다. 이는 다른 단층의 경우에도 마찬가지로 적용되어야 한다고 본다. 특히 읍천단층의 제4기 재활동에 관해서는 한수원에서 전문분야별로 다목적 접근조사를 수행하였으므로, 트렌치와 물리탐사 자료(한수원, 2002.12)를 참조하여 종합분석을 하였다.

제4기 읍천단층은 제4기 후기의 제3단구 퇴적층을 절단하고 월성원자력 발전소에서 근접한 거리에 위치함을 고려하여, 1998년에 지자연(KIGAM)에서 나산초등학교 건설용 옹벽 절개사면 상에 트렌치를 수행한 바 있으나, 이 단층의 규모와 특성에 관해 학계의 논의가 재연되어, 2002년 초 한수원(KHNP)에서 한전사택과 나산초등학교 사이 섭터에 트렌치를 실시하였다. 트렌치조사 수행은 한기(KOPEC)에서 주관하였으며, 트렌치 위치는 과거의 옹벽 절개사면에서 남남서 방향으로 12 m 떨어진 곳이었다. 1998년도에 한국지질자원연구에서 수행한 절개사면상의 트렌치를 T-1998, 2002년도에 한기(KOPEC)에서 수행한 것을 T-2002로 구분하였다.

2. 특 성

경주시 양남면 읍천리 일대에 발달하는 제4기 읍천단층(최위찬 외,1998a,b)은 당초 제3기 전기에 형성된 읍천단층이 제4기후기의 제3해안단구(12만5천년 전 형성)와 단구퇴적층을 모두 절단한 재활동성 역단층(Reactivated Reverse Fault)이다. 제3기초부터 단속적으로 활동하였던 읍천단층은 제3기말 플라이오세~홀로세에 가해진 동-서 압축응력에 의해 제4기에 재활동하면서 제4기 읍천단층을 형성하였고, 아울러 읍천단층의 단층비지가 심부로부터 제4

주요어 : 읍천제1단층, 단구 퇴적환경변화, 운동횟수 1회, 수심m-200m, 격자석정밀물리탐사

1) 한국지질자원연구원 (sichoi@kigam.re.kr, chwae@naver.com)

2) 한국 기초과학연구원

기 읍천단층 속으로 적출(extraction)되었으며, 미고결 상태인 제4기층에 들어서서는 갑작스런 압축응력의 감소현상에 의해 단층면의 발달상태가 심부에서 지표로 향해 감쇄되다가 지표에서는 침멸하는 현상을 보인다. 읍천단층의 전체적인 주향은 N30°~35°E, 경사 60°~70°SE이다. 단층하반의 백악기 세립사암층과 상반의 제3기 암설류(岩屑流)간의 지질경계에 의한 읍천단층의 총연장은 1.5km, 제3~4기 재활동을 포함한 단층의 폭은 제4기층 부정합면의 심도에서 지표쪽으로 수십cm~수cm~0cm(최위찬 외, 1998)를 나타냈다. 제4기층 수직변위는 나아리(羅兒里) 나산(羅山)초등학교 옹벽 절개사면에서 제4기층 부정합면의 수직변위가 6m로 측정되었으나, 단층폭의 경우와 마찬가지로 상위로 갈수록 4m~2m~수cm~0cm를 보였다(최위찬 외, 1998). 이런 현상은 항상 일정한 것은 아니며, 제4기 퇴적층의 부정합면이나 단구퇴적층의 측방 연장상의 두께변화가 수평으로 수m의 거리 안에서도 m급으로 변하는 양상이 많으므로, 부정합면의 심도를 기준으로 한 수직변위는 시추자료의 평균값인 4.5~4m(한수원 시추자료 참조, 2002)로 정하였다.

퇴적환경: 단구퇴적환경변화를 알기위해 트렌치-B의 남쪽단면을 예로 들어보면, 하부로부터 하구언에 쌓인 하성퇴적층, 해침에 의한 해빈퇴적층, 점진적 해퇴성 하구언의 상향세립화 퇴적층, 소택지(swamp) 형성직후에는 빙기의 하성퇴적층 순서로 고기후를 고려한 퇴적환경은 3번 바뀌었다.

이질층은 beach ridge에 의하여 후배지의 소택지(작은 습지/swamp)가 하구언에서 형성된 것이다. Beach ridge의 형성은 단구의 융기나 혹은 해수면 변동에 의하여 해안선이 바다 쪽으로 이동하였음을 의미한다. 따라서 이질층과 그 직상위의 하성기원 퇴적층은 단구 형성시기보다는 해퇴의 시기를 지시한다. 또한, 하구언에서 소택지가 형성되기 위해서는 직하위의 퇴적층은 하성이거나 해퇴성의 하성이어야 한다.

운동횟수: 제4기 읍천1단층의 운동시기는 swamp를 절단한 OSL 연대인 6만~8만년전 이후이고, 운동회수는 1회가 확실하나, 2회의 개연성은 확실하지 않다. 제4기 읍천단층의 운동시기는 3단구를 절단한 5e 이후가 확실하나, 제4기 읍천1-2단층의 경우로 보아 5a보다 젊어질 수 있다.

분절: 한전사택단지 내에서 수행된 물리탐사 자료(한수원, 2002)에 근거하여 단층의 분포양상을 검토하여 보면, 읍천단층의 분절길이는 수십m~200m 미만으로 추정된다. 이는 기반암단층의 분절을 의미한다. 향후 분절단위가 규명이 되었을 경우, 읍천단층, 제4기 읍천단층과 분절단위 및 분기되었거나 절단한 단위의 명칭은 혼란을 피하기 위해서 구분되어야 한다. 예를 들면, 현재 트렌치에 의해 논의되고 있는 분절단위는 제4기 읍천1단층으로 명명(命名)한다. 이런 짧은 분절현상은 읍천단층을 서쪽의 변으로 갖는 장방형의 기반암 블록(block)이 제3기 동안에 겪은 변형(전단단층운동 등)의 영향으로 다수의 수반 전단단층을 형성했기 때문으로 해석된다.

제4기 단층운동은 기반암단층의 각 분절단위마다 전부 또는 부분적으로 재활동하였을 것이며, 기존의 단층면을 따라서 움직였으므로, 재활동성 역단층의 변위량은 가해진 압축응력의 크기에 비해서 훨씬 크다고 해석된다.

제4기 읍천1단층은 지표상으로 12m 거리와 심도별로 수m의 간격을 두고 스플레이(splay)

현상을 나타냈다. T-1998의 단면에서 나타났던 단층은 북쪽에 위치하며, 지표로부터 심도가 수m 아래이다. T-2002의 단면에 나타난 고각도 단층은 T-1998의 단층보다 남남서쪽으로 12m 떨어진 곳에 위치하며, 지표로부터 심도가 T-1998 보다 수m 위에 있다. 이 2조의 단층은 읍천1단층에서 각각 분기된 수반단층으로써, 위로 볼록한 모양의 역단층운동감각을 나타냈다. 이 단층들은 형성과정상 읍천1단층으로부터 분기되었으므로, T-1998의 것을 읍천 1-1단층, T-2002의 것을 읍천1-2단층이라고 정한다. 이들은 읍천1단층이 서쪽을 향해 가해진 압축응력을 받았을 때, 심부에서 천부 또는 읍천1단층면에서 멀어질수록 이동벡터의 변화를 보였으며, 강도도 약해졌다. 이는 읍천1단층이 좌수향 경사이동 역단층운동을 한 산물로 보여지며, 한전사택단지 내에서 수행된 물리탐사 9개 축선단면상에서 이상대로 나타난 단층들을 수평으로 연장시켜보면, 좌수향의 전단단층의 분포모양이 우세하게 나타남은 좌수향 경사이동을 지지한다.

읍천1단층의 겹보기 변위는 평균 4.5~4m이나 지표상에서는 침멸하였다. 읍천1-2단층은 층서적으로 단층 상·하반의 대비가 불확실하며, 부정합면의 심도에서 지표사이의 중간경도의 심도이나, 대체로 2~3m의 수직변위가 인정되며, 지표로의 연장은 아파트와 초등학교 건설 당시 지표상의 자연지형이 훼손되었으므로 정확히 알 수는 없으나, 토양층으로 피복된 것으로 보인다.

지진성단층: 한편, 단층의 변위량을 지진성 단층운동에 의한 것으로 가정해보면, 분절단층의 최대길이가 200m인 점을 고려해볼 때, 변위량이 너무 커서 논리적이 못되며, 읍천단층의 총 길이인 1.5km와 변위량을 비교해보아도 지진성으로만 보기에 비논리적이다. 즉, 지진성 단층이 되려면, 과거 10만년전 이후부터 강지진의 발생회수가 최소한 5회 이상이 되어야 하며, 이런 증거로 미고결 상태인 단구퇴적층의 층리가 교란을 받거나, 액상화 현상이 수반되어야 하나, 실제로는 그러한 증거가 없으므로, 지진성이라기보다는 천천히 누적된 압축응력의 산물로 규제된다.

단층 연장: 읍천1-2단층이 절단하고 있는 3단구와 하구언 주변부 5a-퇴적층의 북쪽 연장은 하구언의 중심부인 나아리(羅兒里)이다. 나아리에는 홀로세의 하구언퇴적층으로 형성된 지형면(地形面)만이 발달하고 있으며, 나아리보다 더 북쪽 연장은 현재의 월성원전이 건설되던 당시(1976) 절삭되었다. 그러므로 단구지표조사를 통하여 제4기 읍천1단층의 북쪽 연장이 3단구를 끊고 있는지를 규명하는 것은 불가능하다.

나아리 하구언을 동북동 주향으로 통과하는 단층과 인접 북쪽의 나아천을 따라서 동서주향의 피복단층이 추정된다. 읍천1단층은 이들 피복단층들에 의해 규제되어, 원전부지 내에서 분절되었거나, 나아리에서 침멸한 것으로 보인다. 만약에 분절되었을 경우에는, 월성원전부지 내에서 단층이 인지되어야 한다. 일부 학계에서 원전부지내의 부등침하에 대한 논의가 제기되었던 이유는 부등침하의 원인을 읍천1단층의 연장으로 고려하였던 것이나, 이는 암상차이에 의한 부등침하로 정량적인 수치가 제시되었으므로, 읍천1단층의 연장이라는 가정은 그 의미를 잃었다. 또한 원전건설 당시, 부지 안에서 시행한 트랜치 'T-5A'의 단층여부에 대한 논의가 제기되어, T-5A에서 나타났던 불연속면의 연장부에 트랜치를 하였으나, 단층연장의 증거는 없었으며, 3단구 해빈층(5e)의 최하부 일부가 출현하였다. 현재 월성원전은

건설과정에서 훼손·변형된 2단구 퇴적층의 지표면 상에 위치한다.

제4기 읍천1단층의 남쪽연장은 현재 한전사택이 위치하고 있는 곳으로 원래의 자연지형이 훼손되어 있으며 분절단위에 따른 차별적 단구변위 여부는 지표조사에 의해서는 불가하다.

3. 결 론

- 읍천단층은 기반암단층을 읍천단층이라 명명하고 제4기 퇴적층을 끊고 있는 단층은 제4기 읍천 단층, 분절에 따라 출현하는 단층들은 제4기읍천1-1등으로 명명한다.
- 읍천단층의 운동회수는 1회가 확실하나, 2회의 개연성은 확실하지 않다. 제4기 읍천단층의 운동시기는 3단구를 절단한 5e 이후가 확실하나, 제4기 읍천1-2단층의 경우로 보아 5a보다 짧어질 수 있다.
- 현재까지 다목적별 접근조사가 이루어졌으나, 주택단지 형성 등으로 인한 자연지형의 훼손으로 인해, 자세한 정량적 자료를 확보하지 못한 편이다. 읍천단층에 대한 격자(格子, grid)식의 정밀물리탐사 자료가 확보되면, 제4기 읍천단층의 각 분절길이가 파악될 수 있다고 본다.
- 제4기 단층을 평가할 때, 단구퇴적층의 지표면을 변위시켰으면, 현세에 움직인 증거이므로, 단층재활동주기에 따라서 오히려 안정한 쪽으로 볼 수도 있다. 그러나, 지표변위가 없이 표토층 직하위까지 도달했을 경우에는 주기에 따라서 불안정할 수도 있다. 여태껏 발견된 제4기 단층이 대체로 후자의 경우에 속하므로, 향후에는 주기를 알아냄이 관건이라고 본다.