

울산단층 주변 제4기 단층의 유형분류와 분절화

Classification of Quaternary fault types and segmentation around the Ulsan Fault System

최원학* 장천중* 신정환*
Choi, Weon-Hack Chang, Chun-Joong Shin, Jung-Hwan

ABSTRACT

Quaternary faults found around the Ulsan Fault System can be divided into 4 types based on the fault outcrop features : Type I fault cuts basements and Quaternary deposits of which remain on both hangwall and footwall. Type II fault is developed only in Quaternary deposit. Type III fault has inclined unconformity after Quaternary faulting. Type IV fault is common type around the Ulsan fault system and has horizontal unconformity surface after cutting earlier Quaternary deposit. After erosion, later Quaternary deposit overlays on both old deposit and basement. The Ulsan Fault System consists of three segments at large scale from north to south based on the lineament rank and shape, Quaternary fault location, and slip rate. The segment boundaries are identified by the existence of the two intervals which show no lineaments and Quaternary faults. But, if detail fault parameters could be obtained and used in segmentation, it can be divided into more than three segments.

1. 서론

1990년대부터 한반도에서의 제4기 단층운동의 존재 여부에 대한 논란과 1996년에 경기도 서해상의 굴업도주변에서 활성 단층이 인지되면서⁽¹⁾ 우리나라에서도 제4기 단층 운동과 관련된 신기 지체구조 운동(Neotectonics)에 대한 관심이 고조되었다. 특히, 1997년 경주에서 발생한 경주지진을 계기로 하여 제4기 단층의 활동성 여부에 대한 논란과 함께 지진성 단층에 대한 관심도 높아졌다. 이후에 한반도 남동부 지역에 대한 지속적인 조사와 연구의 결과로 양산단층과 울산단층을 따라서 수십여 개의 제4기 단층들이 보고되었다^{(2), (3), (4)}. 이러한 제4기 단층에 대한 연구는 국내에서의 연구 연혁이 짧은 관계로 인하여 노출된 단층의 노두에 대한 단편적인 조사와 보고가 대부분을 이루고 있다. 다만, 최근에 울산단층 동측에 발달하고 있는 왕산, 마동, 감산사, 원원사, 개곡 및 입실 단층 등의 제4기 단층에 대한 자료들을 종합하여 이들 단층에 의한 제4기 지구조 운

* 한국전력공사 전력연구원, 정회원

동에 대하여 논의한 바 있다⁽⁴⁾.

이 연구에서는 울산 단층계의 동측에서만 발달하고 있는 제4기 단층의 발달 특성에 따라 단층을 종류를 분류하였으며, 이에 따른 각 특성을 살펴보았다. 또한, 기존에 보고된 제4기 단층 특성과 선형구조 등급 및 발달상태, 제4기 단층분포 등의 여러 가지 특성을 기준으로 하여 울산단층계의 분절화를 시도하였다.

2. 제4기 단층의 특성과 유형분석

울산 단층계의 동측 지역에 노출되어 있는 제4기 단층에 대하여 주향/경사, 단층의 종류, 길이, 기반암, 후기 제4기 퇴적물의 피복 여부, 단층의 노두 양상, 변위량, 변위율, 연대측정 자료 및 측정 방법, 대상 물질 및 변위기준 등을 종합되어 있다⁽⁵⁾. 또한 측정된 연대자료를 이용하여 각 노두에 대한 단층 변위율(slip rate)의 범위를 계산하고, 제4기 단층의 노두와 선형구조와의 연관성에 대하여서도 논의한 바 있다⁽⁶⁾.

울산 단층계의 동측에 노출되어 있는 제4기 단층들은 그 수에 있어서는 10여개를 넘고 있으나, 이들에 대한 종합적인 해석은 아직 이루어진 바 없다. 울산 단층계의 동측에 발달하고 있는 제4기 단층의 일반적인 특성들 중의 하나는 단층의 주향방향이 대체로 남-북방향을 이루고, 개곡 제4단층을 제외하고는 모두 동에서 서로 이동한 역단층의 성질을 보이고 있다. 장태우 (2001)는 제4기 단층의 주향과 경사, 이동 방향과 단층 조선을 분석하여 제4기 단층이 형성될 당시의 압축 응력의 방향이 동-서 방향이었음을 추정하였으며, 제4기 단층 운동과 지진활동이 플라이스토세 이후부터 현재에 이르기까지 동서 방향의 압축응력에 의해 규제된다고 해석한 바 있다.

또한, 대부분의 제4기 단층들은 단층 비지, 단층 점토와 단층각력이 포함되는 단층대 (fault zone)로 구성되어 있는데, 이는 지표에서 형성되기 어려운 단층대의 물질로서, 이들이 제4기 단층운동에 의한 직접적인 산물로 보기가 어렵다. 또한 단층대에 대한 여러 가지 방법에 의한 연대 측정 결과에 의하면, 기반암내의 단층의 형성 시기는 암석의 연대와 비슷한 경우도 있으나, 대부분이 이보다 상당히 오래되었음을 보여주어 단층들이 제4기에 들어 와서 재활성 되었음을 암시하고 있다.

지금까지 울산 단층계의 동측에서 관찰된 거의 모든 단층들의 노두는 현재의 하천 유로와 밀접하게 관련이 되어 있다. 즉, 단층의 노두가 현재 하천의 남쪽이나 북쪽의 벽면이나 하상에 노출되어 있으며, 이와 단층의 노두만이 하천의 남북 양 벽면에서 관찰된다. 이는 단층의 발달과정 중에서 하천이 제4기층의 퇴적과 침식에 있어서 중요한 역할을 하였음을 지시한다. 단층이 발달하고 있는 기반암이 하천에 의해 침식이 되고, 하상퇴적물이 퇴적된 후에 단층활동이 있었으며, 다시 동일한 하천에 의해 침식과정을 거쳐서 단층 노두의 일부가 침식되었거나 상, 하반 모두 침식되고, 노두에 따라서는 다시 재퇴적이 일어났음을 추정할 수도 있다.

이에 대하여, 단층의 초기 발달과정을 제외하고 제4기 노두의 진화과정을 모식적으로 살펴보면, 기반암내의 기존 단층이 발달하고 있거나 또는 없는 부정합면에 제4기의 하상퇴적층 또는 선상지 퇴적층이 퇴적된다. 이후에 역단층 성격의 단층운동에 의해 이 단층이 재활성되거나 새로운 제4기 단층이 생성되어 제4기층을 절단하게 된다 (그림 1). 지표에 형성된 제4기 단층의 절벽을

이루고 있는 지형은 기후, 강우, 사면 붕괴 및 붕락 등에 의해 침식과정을 거치게 되어 지형이 평탄화되거나 부분적인 침식만 일어날 수도 있으며, 하천의 영향을 받을 경우에는 제4기 층과 기반암까지 삭박되기도 하는데 그 주변 환경조건에 따라서 그 속도가 달라질 수 있다⁽⁷⁾.

침식작용 후에 형성된 부정합면 위에 후기의 제4기층이 퇴적되거나 고토양이 형성되는 과정을 거쳐서 현재 상태의 제4기 단층의 노두상태에 이르게 되는데, 울산 단층계 동측의 제4기 단층 중에는 후기의 제4기층 퇴적 후에 단층 운동이 일어난 증거가 거의 관찰되지 않는다. 이러한 제4기 단층의 노두 양상은 이들의 단층운동과 제4기층의 퇴적과 관련된 진화과정을 겪은 정도에 따라서 네 가지 유형으로 구분할 수 있다 (그림 1; 표 1).

Type I의 형태는 기반암내에 기존의 단층운동이 이미 있었으며, 하부에는 거력이 포함되는 역암층이 분포하고 상향 세립화 현상을 보이는 제4기 층이 5-10 m 이상 퇴적되었다. 그 이후에 제4기 동안에 기존의 단층이 재활동하고, 단층의 상반과 하반에 모두 제4기층이 잔존하는 단층의 유형으로, 이러한 유형의 예가 왕산 및 입실 단층이다. 이러한 노두의 유형은 단층의 상반이나 하반의 제4기층에 대하여 연대측정을 하고, 상반과 하반의 제4기 건층 (key bed)이나 부정합면을 이용하여 변위량을 결정할 수 있으며, 단층 변위율 (slip rate)도 계산할 수 있다.

Type II의 형태는 제4기 단층에 의한 변위를 제4기 지층내에서만 관찰이 가능한 경우로서, 단층의 노두가 제한적이나 제4기층의 층후가 두꺼워서 기반암내의 단층을 관찰하기 어렵다. 이러한 단층의 유형은 제4기층 내의 단층 변위가 단층 절벽과 같은 지형적인 불연속선으로 나타나기 쉬우며, 상대적으로 최근에 이동한 특성을 보여 준다⁽²⁾. 그러나, 제4기 지층내에서 건층이 관찰되고 연대측정이 이루어질 수만 있다면, 단층에 따른 변위율을 계산할 수도 있으며, 두 번 이상의 단층 활동에 의한 누적변위도 구할 수 있다. 이에 해당하는 제4기 단층이 갈곡과 말방 단층이다.

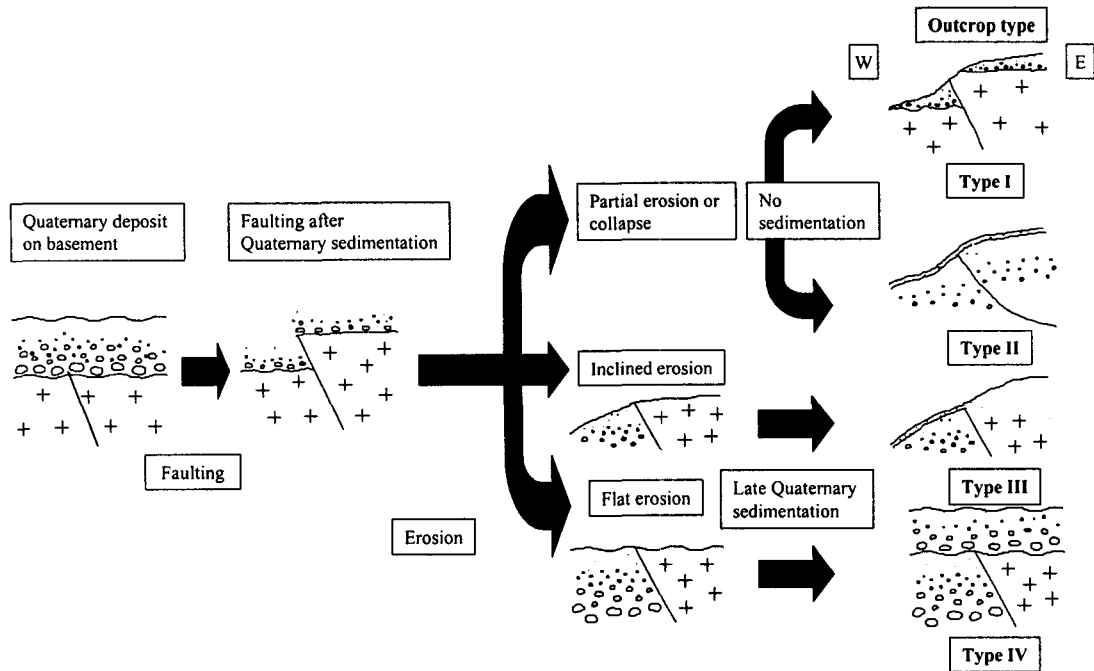


그림 1. Schematic diagram of evolution of Quaternary faults and types classified by fault outcrop features.

표 1. Classification of types of Quaternary faults based on the outcrop features.

Outcrop type	Quaternary fault	Remarks
Type I	Wangsan, Ipsil	Slip rate can be calculated by comparison between Quaternary deposit on hanging wall and footwall.
Type II	Galgokri, Malbang	Slip rate can be calculated by comparison between Quaternary deposit on hanging wall and footwall.
Type III	Gaegok 3, Wonwonsa	Slip rate can be roughly calculated.
Type IV	Madong 1, Madong 2, Shingye, Whalseong, Gamsansa, Jinhyun, Gaegok 1, Gaegok 2, Iwha	Generally long erosion period is needed.

Type III의 형태는 앞에서 언급한 Type I과 같은 과정을 초기에는 겪었지만, 침식과정이 오랫동안 지속되어 상반의 제4기층이 완전히 삭박되어 없어지거나, 서로 대비하기 어려운 제4기층만이 남아 있는 경우로 부정합면이 일반적으로 경사져 있다, 이러한 유형에 속하는 단층으로는 개곡 3 단층과 원원사 단층이 있다. Type III의 단층들은 상반과 하반의 제4기 층간에 대비를 할 수 없기 때문에 단층에 의한 변위량을 알기 어려우며, 제4기층의 지질연대가 결정되더라도 개략적인 변위율만을 계산할 수 있다. 특히, 개곡 3 단층의 경우에는 상반의 제4기층 연대가 ^{14}C 에 의해 상대적으로 젊은 $2,410 \pm 80 \text{ yr BP}$ 로 추정되었으며⁽²⁾, 퇴적층이 봉락되거나 이후의 산록 쇄설성 퇴적물 ($730 \pm 90 \text{ yr BP}$)이 단층의 상반과 하반을 덮고 있어서 단층 운동의 하한은 결정할 수 있다. 원원사 단층의 경우에는 하반의 제4기 퇴적층의 부정합면이 경사져 있고, 단층면이 거의 수평인데 비하여 상반의 제4기층의 부정합면은 불규칙하긴 해도 수평의 양상을 보여주고 있어 단층운동에 의해 형성된 지형으로는 보기 어려운 측면도 있다. 따라서, 원원사 단층의 경우에는 그 형성기원에 대하여 많은 논란이 있지만, 노두 양상에 의해서는 type III로 분류될 수도 있다.

Type IV는 기반암내에 단층이 형성되고 침식에 의해 거의 수평으로 부정합면이 형성된 이후에 단층의 상반과 하반이 하천에 의해 거의 수평에 가까울 정도로 침식이 진행된 경우로서, 상반과 하반의 침식량을 알기는 어렵지만 현 하상의 높이와는 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다. 이에 해당하는 단층들로는 마동 1, 마동 2, 신계, 활성리, 감산사, 진현, 개곡 1, 2 및 이화 단층들이 이 유형의 전형적인 예이다. 이들 단층들은 대부분이 현재의 울산 단층계 동측의 산록으로부터 동에서 서로 흐르는 하천의 연변부에 발달하고 있으며, 마동 1과 2 및 진현 단층들을 제외하고는, 모두 부정합면이 현재의 하상보다 1 m 내외로 높으며, 단층대 주변에서는 불규칙한 면을 보인다. 부정합면 상부에 분포하는 후기의 제4기 퇴적층은 거력을 포함하는 상향 세립화 경향의 하상 퇴적층 (이화, 마동 2, 감산사, 활성리, 진현 및 개곡 2 단층)이 대부분으로 개곡 1 단층과 같이 거력이 일부 포함되지만 그 상부에는 토탄층을 포함하고 있는 모래층과 점토층이 수평으로 분포하기도 한다. 하상 퇴적층의 층후는 일반적으로 1~2 m 내외이나 개곡 2 단층의 경우에는 4~5 m 에 이르며 마동 2 단층은 10 m 를 넘기도 한다. Type IV 단층의 경우에는 제4기 단층을 중심으로 하여 단층의 상반과 하반이 모두 침식과정을 거쳤기 때문에 상호대비가 가능한 층준을 발견하기가 어려우며, 하반의 퇴적층에서도 유기물이나 OSL에 의한 연대측정 기록도 없어 대략적인 변위량이나 변위율조차 계산하기 어렵다.

노두 양상에 의해 분류한 4가지 유형의 제4기 단층들은 하천의 발달 양상에 따른 하상의 고

도와 하천의 규모, 단층 노두의 고도, 제4기 퇴적층의 재퇴적 여부 등에 의하여 외형적으로는 서로 다른 양상을 보이고 있지만, 전체적인 단층 형성과정은 동일한 것으로 해석된다. 다만, 단층의 하반에 분포하고 있는 제4기층의 퇴적연대의 결정시에 Type I과 Type II의 경우에는 ^{14}C 이나 OSL 방법에 의하여 그들의 연대측정이 가능하다. 그러나, Type III과 Type IV의 단층 하반에서 절대연대를 측정할 수 있는 유기물이나 모래층이 관찰되지 않고 있다. ESR 방법에 의한 단층의 운동 시기에 의하면, 마지막 단층의 운동시기가 유기물에 의한 연대측정 (50 ka)이나 OSL방법에 의한 연대측정의 범위 (200 ka)를 넘기 때문에 Type III과 Type IV의 운동시기가 상대적으로 Type I과 II 보다도 더 오래되었을 것으로 판단된다.

3. 울산 단층계의 분절화

국내에서도 대규모 단층에 대한 분절의 시도는 양산 단층에 대하여 Lee and Jin (1991)⁽⁸⁾에 의하여 이루어졌으며, 이들은 역사 지진과 계기 지진을 이용하여 양산 단층을 북부, 중앙 및 북부의 3개 지역으로 구역화 하였다. 울산 단층계에 대하여는 Lee and Um (1992)⁽⁹⁾이 지전기 탐사 결과를 이용하여 울산 단층계가 가장 좁아지는 모화역을 중심으로 하고, 남쪽과 북쪽 방향으로 넓어지는 것을 근거로 하여 남부와 북부의 2개 구역으로 나누었다.

울산 단층계의 분절화를 위하여 현재까지 제시된 분절의 기준을 분석하고 (표 1)⁽¹⁰⁾ 앞에서 기술한 울산 단층계 주변에 발달하고 있는 선형구조의 분포와 특성, 제4기 단층의 분포와 변위 속도, 미소 지진의 진앙분포와 위치 등의 자료들을 분절의 기준에 따라서 적용하였다.

지진에 의하여 두세 번 이상 분명히 지표의 파열을 일으킨 단층의 분리된 부분을 “지진 분절 (earthquake segment)” 이라고 한다⁽¹¹⁾. 단층대를 따라서 지표에서 파열이 관찰되지 않거나, 추정되는 증거가 없는 경우에는 정적인 거동 특성, 구조적 특성, 형태적 기준 또는 지질학적 기준에 의해 단층을 분절화 하여 이를 세분할 수 있다 (표 2). 이러한 부분을 “분절 (segment)”이라고 할 때, 어떤 종류의 분절인지와 정의된 근거를 분명하게 밝혀야 한다. 따라서 단층분절 (fault segment)은 정적 지질학적 기준에 의해 구분되는 단층의 일부에 대한 일반적 용어로 사용되고, “지진 분절”과는 다르므로 단층 구획 (fault section)이라는 용어가 더 적합하다. 표 2에서 지진 분절과 일치하는 대략적인 순서로 분절의 종류를 세분하고 있는데, 이에 따르면 거동 특성 기준, 구조적 특성, 지질학적 구분 및 형태적 기준의 순서로 지진 활동과의 일치성이 떨어진다.

이 연구에서는 울산 단층계를 분절하기 위하여 각각의 특성에 따라서 적용을 하지 않고 이들의 거동 특성, 구조적 특성, 지질학적 특성, 기하학적 특성의 네 가지 특성을 종합하여 울산 단층계를 분절화하였다. 울산 단층계 주변의 선형구조의 연속성, 선형구조의 등급 및 분포 특성을 포함하고, 지형, 수계, 침식 및 활동도를 고려하여 울산 단층계를 8개 구간으로 나누었다. 8개 구간 중 2개 구간은 선형구조가 발달하고 있지 않다. 이 장에서는 제4기 단층의 분포와 변위율을 조합할 수 있으며, 이를 각 구간에 대하여 자세히 살펴보면 다음과 같다 (그림 2).

그림 2에서, 울산단층계의 북쪽으로부터 남쪽으로 ① 구간은 갈곡리에서 덕동호까지 약 5 km 구간으로 2개의 별도 선형구조가 L-B와 L-C 등급으로 발달하고 있다. 갈곡 단층과 관련해서 서쪽으로 휘는 남-북 방향의 선형구조로 L-B 등급이 북쪽에 일부 분포하고, 남쪽에서는 L-C 등급

이 주로 발달하고 있다. 왕산 단층의 주변 일대에는 L-A 등급의 선형구조가 관찰되며, 남서쪽의 산록 사면을 따라서 N30°E 방향의 거의 직선상의 L-C 등급의 선형구조가 발달한다. 제4기 단층의 변위속도는 갈곡리 단층에서 0.08~0.1 mm/yr, 왕산 단층에서 0.3~0.6 mm/yr 로 계산된다. ② 구간은 덕동호 주변 남-북방향 4 km 구간으로 이 남쪽 끝에 마동 1과 마동 2 단층 등 제4기 단층이 발달하고 있다 (그림 2). ③ 구간은 마동에서 구어리에 이르는 12 km 구간으로 L-B와 L-C 등급의 선형구조가 불연속적으로 남-북 또는 북동 방향으로 발달하며, 남-북 방향의 선형구조는 서로 평행하게 발달하기도 한다. 울산 단층계의 주변에 발달하고 있는 대부분의 제4기 단층이 이 구간에 분포하고 있는데, 이 구간내에는 진현, 쾌룡, 신계, 활성, 말방, 개곡 1, 2, 3, 4 및 입실 단층이 발달하고 있다. 제4기 단층의 변위 속도는 Type II에 해당하는 말방 단층에서는 변위속도가 0.08~0.1 mm/yr, Type I에 해당하는 입실 단층에서는 변위속도가 0.2~0.26 mm/yr이다. 지형 변위로만 계산된 불국사 단층선에서의 변위속도는 0.03~0.043 mm/yr이다. ④ 구간은 구어리에서 화정까지 2.5 km 구간으로 송계교 동쪽에서 남-북 방향으로 100 m 길이의 L-D 등급의 선형구조를 제외하고는 선형구조가 분포하지 않는 구간이며, 제4기 단층도 발달하지 않는다 (그림 2). ⑤ 구간은 화정리에서 약수리를 지나 신천리까지 5 km 구간으로, L-A 등급의 선형구조가 7번 국도 상에 N10°W 방향으로 발달하고 있으나 최근의 인위적인 지형변화로 인하여 야외에서 이를 관찰하기가 어렵다 이 구간의 남쪽 끝에 울산 단층을 따라서 발달하고 있는 마지막 제4기 단층인 이화 단층이 위치하고 있으며, 길이 1 km 미만의 L-A 선형구조가 연장된다. ⑥ 구간은 신천에서 송정까지의 3 km 구간으로 선형구조가 분포하지 않는다 (그림 2). ⑦ 구간은 송정에서 연암동까지 3.5 km 구간으로 남-북 방향의 L-B 등급의 1.5 km 길이의 선형구조가 7번 국도를 따라서 관찰되며, 이와 평행하게 동측의 산록 사면을 따라서는 남-북 방향의 L-D 등급의 선형구조가 평행하게 발달한다 (그림 2). 마지막으로 ⑧ 구간은 연암동 남쪽으로 울산만까지 바다로 연장되는 5 km 이상의 구간으로, 이 구간에서는 충적층의 분포와 도시화로 인하여 더 이상의 선형구조와 제4기 단층이 발달하지 않는다. 이와 같이 울산 단층계를 모두 8개 구간으로 나눌 수 있다. 울산 단층계를 8개 구간으로 나눌 경우에, 선형구조와 제4기 단층의 노두가 나타나지 않는 ④와 ⑥ 구간을 분절경계로 하여 울산 단층계를 남-북 방향으로 구분이 가능하다. 그러나, 제4기 단층이 발달하고 있는 ①, ②와 ③ 구간은 왕산단층을 제외한 평균적인 변위 속도가 0.08~0.1 mm/yr 로 큰 차이가 없기 때문에, 이들 세 구간을 하나의 분절로 구분할 수 있으며, 선형구조의 형태적 모양과 등급을 기준으로 보면, 각각을 개별적인 분절로도 볼 수 있다.

표 2. Types of fault segments and the characteristics used to define them⁽¹⁰⁾.

Types of segment	Characteristics used to define the segment	Likelihood of being an earthquake segment
1. Earthquake	Historic rupture limits.	By definition, 100%
2. Behavioral	1) Prehistoric rupture limits defined by multiple, well-dated paleoearthquakes. 2) Segment bounded by changes in slip rates, recurrence intervals, elapsed times, sense of displacement, creeping versus locked behavior, fault complexity	High Mod.(26%)
3. Structural	Segment bounded by fault branches, or intersections with other faults, folds, or cross-structures	Mod.-High(31%)
4. Geologic	1) Bounded by Quaternary basins or volcanic fields 2) Restricted to a single basement or rheologic terrain 3) Bounded by geophysical anomalies 4) Geomorphic indicators such as range-front morphology, crest elevation	Variables ^d (39%)
5. Geometric	Segments defined by changes in fault orientation, stepover, separations, or gaps in faulting	Low-Mod(18%)

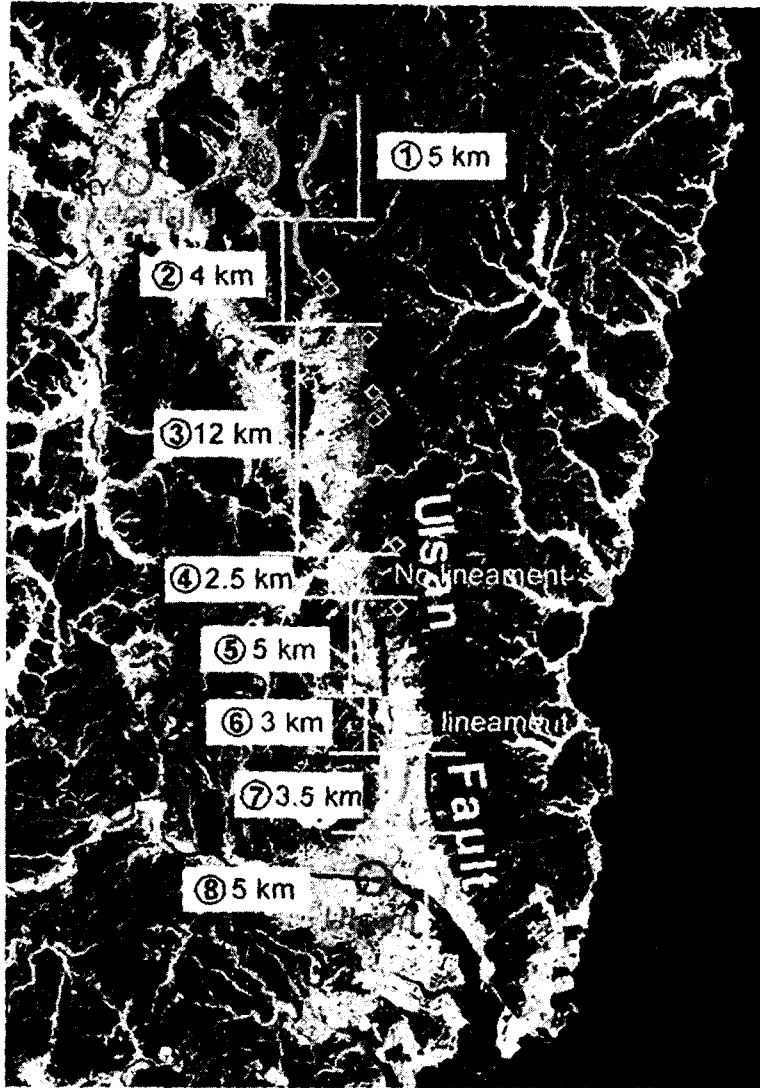


그림 2. Lineament map with epicenters of small earthquakes (closed red circles) monitored by KIGAM since 1992, location of Quaternary faults (blue lozenges) and segmentation of fault around the Ulsan Fault System.

따라서 트렌치 조사를 통하여 고지진학적 증거와 누적 변위, 단층의 운동 시기, 재발주기와 변위 속도 등과 같은 여러 가지 단층의 특성이 정확하게 밝혀지기 전까지는 이들의 ①, ② 및 ③ 구간을 각 분절로 보아 세 개의 분절로 보거나 ①-②와 ③으로의 두개의 분절, ①과 ②-③의 두개 분절, ①-②-③의 구간을 모두 연결하여 하나의 분절로 볼 수 있는 분절의 조합 구성도 가능하다. 울산 단층계의 중남부지역에 대하여서는 선형구조와 제4기 단층이 분포하지 않는 ④와 ⑥의 구간을 기준으로 하여 구분할 수 있으며, ⑦과 ⑧ 구간도 개별 분절 또는 조합이 가능하다. 결론적으로 울산 단층계는 크게 ①-②-③, ⑤와 ⑦-⑧의 세 개 분절로 나눌 수 있다. 결국 각 구간의 제4기 단층의 거동 특성과 구조적 특성을 밝힘으로써 각 구간에 대하여 세분할 수도 있다.

4. 결 론

울산 단층계 주변의 제4기 단층의 특성을 검토하고, 그 특징에 따라서 기반암 위의 제4기 층을 절단하는 단층(Type I ; 왕산, 입실단층), 제4기 층내에 발달하는 단층(Type II ; 갈곡, 말방 단층), 기반암과 제4기 층이 단층으로 접촉하며 경사진 부정합면을 보이는 단층(Type III ; 개곡 3, 원원사 단층) 및 기반암과 제4기 층이 단층 접촉하는 수평의 부정합면 위에 후기 제4기 층이 퇴적된 단층(Type IV ; 마동1, 2, 활성, 패릉, 신계, 개곡 1, 2와 4 단층)으로 분류하였다. 이 단층 유형중에서 Type I과 II의 단층에 대해서만 단층 변위율을 구할 수 있으며, 단층의 진화 과정상, 침식조건이 비슷하다면 Type III과 IV의 운동 시기가 상대적으로 오래되었다. 울산 단층계를 선형구조 등급, 제4기 단층의 위치, 단층의 변위율, 기하학적 모양을 이용하여 8개 구간으로 구분하고, 선형구조나 제4기 단층이 분포하지 않는 2개 구간을 분절경계로 하였다. 따라서, 울산 단층은 크게 세 개로 분절될 수 있으며, 상세한 제4기 단층자료가 확보된다면 그 이상의 세분도 가능하다.

참고문헌

1. Park, K. S., Han, H. C., Kim, W. S., Jin, J. H. and Kim, W. Y., "Identification of capable faults on the surrounded offshore area of Gulupdo Island in the Yellow Sea", in 1996 Symposium on Seismology in East Asia, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 1996, pp. 48-54.
2. Okada, A., Watanabe, M., Sato, H., Jun, M. S., Jo, W. R., Kim, S. K., Jeon, J. S., Chi, H. C. and Oike, K., "Active fault topography and trench survey in the central part of the Yangsan fault, southeast Korea", Jour. Geography 103, 1994, 111-126 (in Japanese).
3. 최위찬, 최성자, 조등룡, 이영준, 류충렬, 고인세, 신형모, 송미주, 신기지가변형연구. 과학기술부, 한국자원연구소, 2000, 278p.
4. 장태우, "울산단층 동쪽지괴의 제4기 조구조 운동", 지질학회지 37, 2001, pp. 431-444.
5. 최원학, "경주-울산간 신기 지체구조 운동의 연구", 박사학위논문, 서울대학교, 2003. pp. 205.
6. 최원학, 장친중, 이종립, "연대측정자료를 이용한 단층활동주기 산정방법", 한국지진공학회 학술발표회 논문집, 제5권, 제1호, 2001, pp. 74-80.
7. Ota, Y., Azuma, T. and Kobayashi, M., "Monitoring degradation of the 1995 Nojima earthquake fault scarps at Awaji Island, Southwestern Japan", Journal of Geodynamics 24, 1997, pp. 185-205.
8. Lee, K. and Um, R. Y., "Geoelectric survey of the Ulsan fault : Geophysical studies on major faults in the Kyeongsang Basin", Jour. Geol. Soc. Korea 28, 1992, 32-39.
10. McCalpin, J. P., "Paleoseismology", Academic Press, 1996. pp. 439-493.
11. de Polo, C. M. and Slemmons, D. B., "Estimation of earthquake size for seismic hazards", in E. L. Krinitzsky and D. B. Slemmons eds, Neotectonics in earthquake evaluation. Geological Society of America, Review in Engineering Geology 8, 1990, pp. 1-28.