

沃川帶의 變形特性과 그 形成 過程 —忠北 南西端을 例로 하여—

李 炳 柱* · 朴 奉 淳**

The Deformation Properties and their Formative Processes in Ogcheon Terrain around Ogcheon Town, North Chungcheong Province, Korea

Byung-Joo Lee · Bong-Soon Park

Abstract: The studied area is situated in the southern part of the Ogcheon fold belt, where the "Ogcheon Group" is widespread with Jurassic and Cretaceous intrusions. The regional stratigraphy may be divided into three formations, the lower pebble bearing phyllitic, the middle dark grey phyllitic, and the upper black phyllitic formations.

For the purposes of the present study, the area has been partitioned to three structural subareas based on major fold axes and fault line. The main subjects of the research have been discussed from two different points, multiple deformation and minor-micro fold styles. The former is analyzed by pebble elongation, folding and lineation in a pebbly formation as well as schistosity, crenulation cleavage and crenulated lineation in the phyllitic formation. The later describes the characteristic features of fold style in each formation and structural subarea.

Although minor fold axes within broad pelitic rocks usually tend to trend northeast and to plunge northward, most of these were probably formed by two stages, first a similar fold phase and second a kink fold phase. Measured structural elements indicate that crenulation cleavage in phyllite formed parallel to fold axes of folded pebble followed a NE phase of first deformation and a fold axes of pebbles diagonal to bedding of phyllite are represented by a NW phase of a second deformation.

Microscopically, quartz and mica grains form a micro fold enabling one to establish tectonic levels which occur in different deformation modes in each stratigraphic sequence. Microtextures such as crenulation cleavage, kink band, aggregate band of mica and pressure shadows of porphyroblast of quartz related to garnet and staurolite may suggest the time relation of crystallization and tectonism.

The result of this study may conform that three deformation phase, NE first phase-NE second phase-NW phase, occurred in the area.

I. 序 言

範圍 및 目的; 本稿의 研究調查 對象地域은 韓半島의 構造帶區分上 沃川地尙斜의 變成帶(Kobayashi, T., 1953, Lee, S. M., 1972) 中 南部地域의 一部로서 堆積源變成岩으로 構成된 沃川層群이 分布한다. 行政區域上으로는 忠淸北道 沃川邑과 郡西面, 郡北面과 忠淸南道 大德郡 東面一圓이며 地球座標上으로는 東經 127°30'~127°36', 北緯 36°15'~36°25'10''間이다(Fig. 1).

*韓國動力資源研究所 · 圖幅研究室
**高麗大 · 地質學科

本研究의 主題는 이地域에 分布하는 沃川層群의 變形時相에 關하여 野外에서 測定한 諸面構造와 線構造를 처리하여 그 變形特性을 說明하고 露頭規模(mesoscopic scale) 내지 顯微鏡下의 規模(microscopic scale)의 小褶曲 形式과 그 階層性을 밝히는 것을 第一主義의 目的으로 하였다.

研究方法; 野外調查時에 層理面, 片理面, 各種 Cleavage 面, 褶曲軸面等의 面構造와 伸張된 礫의 長軸方向, crenulated lineation, 褶曲軸等의 線構造 및 小褶曲의 波長과 波高를 測定하였다. 調查時 變形을 심하게 받은 露頭마다 定向試料를 80개 채취하여 微小構造觀察을 위한 薄片製作用으로 사용하였고 含礫千枚岩質

Table 1. 層序對比表

本 研 究	孫致武(1970)	金玉準外(1977)	金東鶴外(1978)	Fletcher(1976)
時代未詳 黑色千枚岩 一漸移的一 暗綠色千枚岩 …關係未詳… 含礫千枚岩質岩	트라이아스紀 [黃江里層] ~不整合~ 오오도비스紀 雲谷里層 西倉里層 文周理層	沃川層群 페름석탄紀 [國師峰層] 平安系 [馬老里層] 斷層接觸 黃江里層 ~不整合~ 倉里層 文周里層	時代未詳 [文周里層] 沃川累層群 [黃江里層] 錦江石灰岩 倉里層	Black phyllite Gray phyllite Tillite formation (Hnang-gang ri formation)

암의 伸張礫의 各지름을 測定하기 위해 硅岩礫을 中心으로 채취하였다.

室內作業은 野外에서 測定한 面構造와 線構造를 統計적으로 처리하여 構造解析을 하였고 褶曲의 波長과 波高의 比가 地域別로 變化하는 樣相을 大構造와 關連시켜 解析하였다. 채취된 礫은 長軸, 中間軸 및 短軸의 長이를 測定하여 地域別로 伸張率의 차이를 검토하였다. 채취된 試料는 構造軸(tectonic axes)을 設定하여 定向的인 薄片을 58개 제작하였고 顯微鏡下에서 觀察한 자료를 바탕으로 微小褶曲을 分類하여 層序別階層을 設定하였다. 鑛物粒子의 變形 狀態는 石英과 雲母의 再結晶 狀態 및 變形을 中心으로 한 變成過程과 斑狀 變晶組織의 進化 過程을 觀察하였다.

II. 地質概要

II-1. 層序 및 岩相

本地域에 分布하고 있는 變成堆積岩의 層序를 既調査 資料와 對比하여 圖示하였다(Table 1). 各層의 分布 및 岩相의 特徵을 各說하면 다음과 같다(Fig. 1).

1) 含礫千枚岩質岩; 本域의 變成堆積岩中 最下位層으로 地形的으로 대개 낮은 部位에 分布하며 風化된 表面은 검은색을 띤다. 本岩은 增若里를 中心으로 北東方向으로 또 梨坪里를 中心으로 역시 北東方向으로 分布하는 것이 主된 分布地로 이들 양곳은 岩相은 같으나 變形相이 서로 다른점을 알수 있다. 增若里를 中心으로 한 本岩은 伸張된 礫과 基質(matrix)이 심히 變形되어 小褶曲을 보이거나 梨坪里를 中心으로 分布하는 本岩은 礫이 伸張되어 있을뿐 小褶曲 構造는 觀察하기 어렵다. 즉 環山을 中心으로 分布하는 暗綠色千枚岩의 東側과 西側에서의 含礫千枚岩質岩의 變形相에 差異가 있음을 보여준다.

礫의 種類는 硅岩 및 石灰岩質岩의 礫이 가장 많고

그의 花崗岩, 片麻岩, 片岩 및 千枚岩의 礫도 소수 觀察된다. 基質은 대개 石灰分이 含有된 千枚岩質이며 곳에 따라 非石灰質인 部分도 있다. 礫의 크기는 매우 多樣하여 長徑이 수 mm에서 60cm 이상의 것까지 있어서 分級 상태가 매우 불량하다.

鏡下에서 本岩의 基質(matrix)을 觀察하면 主로 石英, 方解石, 黑雲母, 白雲母, 綠泥石으로 構成되어 있고 곳에 따라 電氣石이 産出된다. 電氣石의 産出은 海成環境이나 閉鎖湖에서 堆積된 堆積岩의 碎屑粒이 再結晶에 依해 産出된다(Zussman, 1962). 鑛物의 배열 방향은 뚜렷하지 않으며 石英粒子는 주위에 再結晶된 細粒의 石英이 aggregate 되어 있다.

2) 暗綠色千枚岩; 含礫千枚岩質岩의 上部에 해당하는 地層으로 本岩과의 相互 關係는 밝히지 못하였다. 本域에서의 主分布地는 環山을 中心으로 北東方向으로 分布하는 곳과 二柏里 西南部 및 本域 西側에 分布한다.

二柏里 西南쪽에 分布하는 本岩은 下部의 含礫千枚岩質岩과의 境界部에서 不連續的으로 石灰岩의 薄層이 産出된다. 沃川圖幅 調査者金東鶴外(1978)는 이石灰岩을 錦江石灰岩으로 命名한바 있다. 本岩은 主로 暗綠色의 千枚岩으로 構成되나 部分的으로 砂質岩도 分布한다.

鏡下의 觀察에 依하면 石英, 黑雲母, 白雲母, 綠泥石으로 主로 構成되며 여러곳에서 柘榴石의 斑狀變晶도 觀察된다. 石英은 大部分 再結晶되어 있으며 雲母類는 變形이 심한 곳에서 單結晶이 부러져서 kink band를 形成하고 있다.

3) 黑色千枚岩; 本域 北部 沙灘里의 中心으로 分布하는 地域과 本域 西側이 主分布地이다. 本域에 分布하는 變成堆積岩層中 最上部인 本岩은 下部의 暗綠色千枚岩과는 漸移的인 境界를 보이고 있다. 이 岩體內에

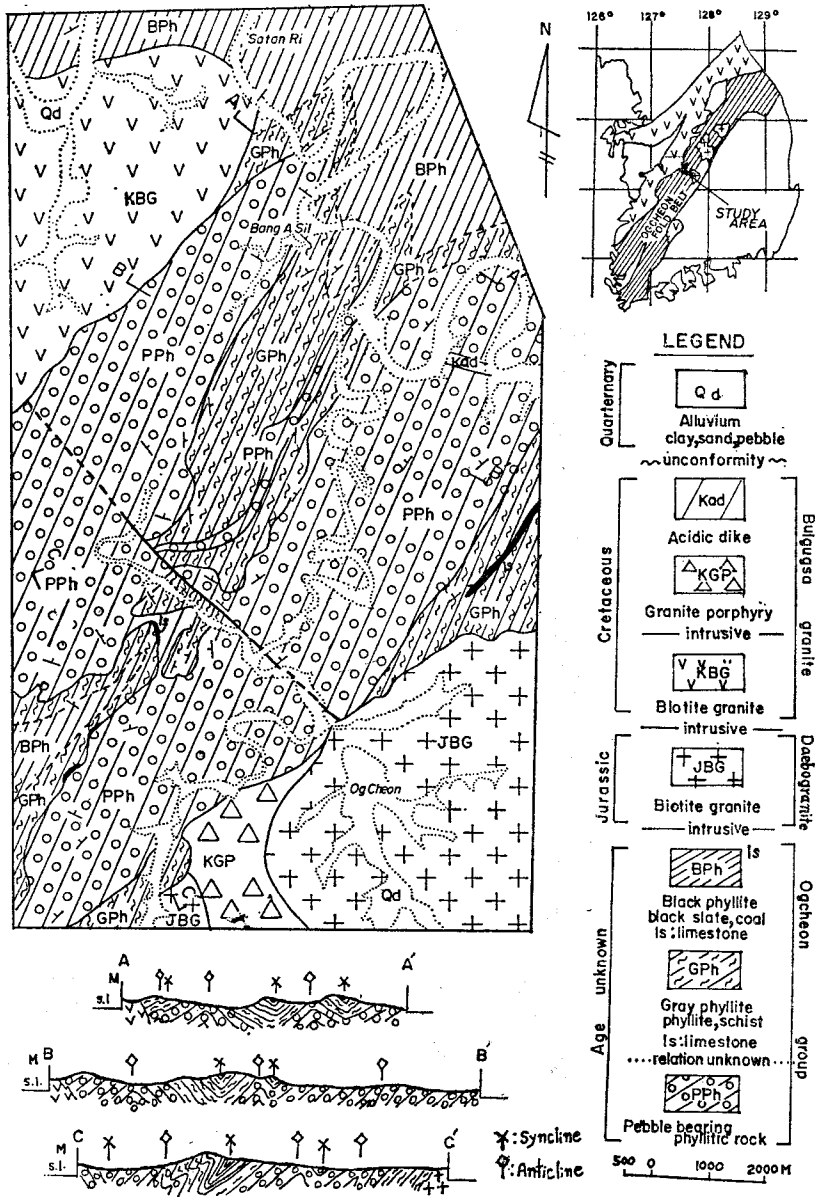


Fig. 1 Geological map

는 石炭層이 挾在하는데 沙灘里 주위의 여러곳에 炭鑛이 있어 開發中에 있다. 本岩內에도 역시 石灰岩이 挾在하는데 延長은 不良하다.

鏡下 觀察에 依하면 主로 石英, 黑雲母, 白雲母, 絹雲母, 綠泥石으로 構成되며 柘榴石이 곳곳에 産出되며 쥬라기 花崗岩體의 境界部인 內塔 北部에서 채취된 試料에서는 十字石이 觀察되었다.

II-2. 地質構造

沃川帶의 南部 一域을 橫切하고 있는 本域은 前項에서 言及한 最下部層과 中部層이 거의 全域에 걸쳐 褶曲으로 反復 分布하며 北쪽에 分布하는 黑色千枚岩層은 大褶曲軸이 北斜한 構造의 패턴을 地層의 分布가 잘 反影해 주고 있다. 本域에서 EEN-WWS 方向으로 橫走하는 京釜高速道路에 거의 一致하는 斷層에 연하여 매우 복잡한 構造相을 보이고 이 斷層의 南部 地域과 北部 地域의 變形樣相도 매우 다르다(Fig. 1, Fig. 2).

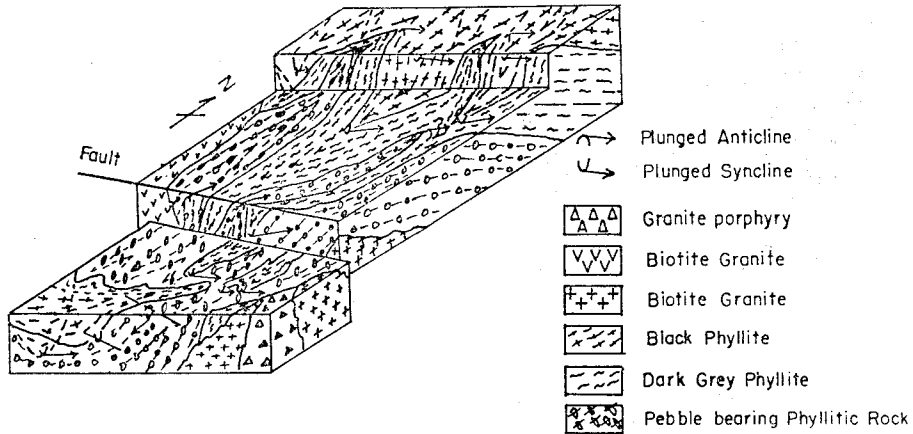


Fig. 2 Schematic Block Diagram

下部層인 含礫千枚岩質岩은 褶曲의 背斜部에서 露出되어 있고 向斜部에서는 暗綠色千枚岩이 놓여 있으며, 北側의 黑色千枚岩은 3회의 褶曲을 反復하면서 北으로 軸斜하여 있다. 대부분의 褶曲軸은 北東方向으로 軸斜하고 있으며 南西部에서는 北東方向의 褶曲軸을 가로 지르는 北西方向의 褶曲軸을 가지는 褶曲도 있다.

京釜高速道路에 거의 平行한 斷層을 境界로 하여 南西部가 下落되어 있고 (Fig. 2) 이백리 부근에서 暗綠色千枚岩이 左廻走向轉移를 하여 複雜한 構造를 보이고 있다. 이 斷層을 中心으로 兩부쪽의 뚜렷한 差異는 暗綠色千枚岩과 含礫千枚岩質岩의 境界部에 薄層의 石灰岩의 挾在 與否이다. 즉, 南西部쪽의 兩層間에는 石灰岩이 挾在되나 北側 部쪽의 境界面에는 石灰岩이 産出되지 않고 暗綠色千枚岩內에 不連續인 石灰岩이 本城東部에서 發達하고 있다. 특히 南西部쪽은 NW性의 再變形이 심하게 나타나 二次내지 三次的 變形的 諸樣相이 北側부쪽보다 뚜렷하다.

本地域을 斷層과 大褶曲軸을 基準으로 하여 構造解析을 위한 構造分區로 便宜上 I, II, III地域과 이들을 다시 各各 a 및 b의 亞地域으로 細分하였다(Fig. 3-a).

crenulation cleavage의 分布는 構造分區別로 特徵을 보이고 있다. I 및 II地域에서는 cleavage가 褶曲軸을 基準으로 兩翼部의 傾斜方向에 反對되는 convergent fan cleavage樣相을 보이나 III地域은 傾斜方向이 서로 같은 Axial plane cleavage 또는 divergent fan cleavage (Knull, 1960)의 樣相을 보인다. crenulated lineation은 全地域을 通해 大개 北東方向으로 軸斜하고 있다. 含礫千枚岩質岩中 伸張된 礫의 長軸方向은 I地域의 北部에서는 北東方向으로 軸斜하나 다른 地

域은 北西方向으로 軸斜하고 있다. 특히 II-b地域에서 잘 發達하는 斷裂은 II-b地域 西側에서는 傾斜角이 50°~70°로 매우 크나 東側에서는 斷裂面의 傾斜角이 片理面의 傾斜角보다 大개 작다(Fig. 3-b).

이와같은 小構造要素는 大構造의 形成機構와 매우 밀접한 關係를 갖고 있으며, 小構造의 重複性과 微小構造의 層序別變形樣式의 差는 全體 造構解析에 重要한 關鍵이 된다.

III. 變形構造의 特性

III-1. 面構造, 線構造와 그로 解析한 褶曲構造

測定한 片理面의 極을 構造分區 I, II, III地域別로 等面積網에 plot한뒤 Contour diagram을 作成하여 檢討하였다(Fig. 4). I, II, III地域 모두가 두지점에서 maximum area가 나타나는데 이들 maximum area의 대표적인 위치를 圖表化하면 表 2와 같다. 이들 各分區에서 얻어진 兩 maximum area에서의 大圓을 作圖하여 modal limb을 구하였으며 兩大圓의 교차점은 I地域에서는 N23°E方向에 48°軸斜하며 II地域은 N9°E方向에 45°軸斜, III地域은 N21°E方向에 40°軸斜하는 점으로 表示된다(表 3). 또 이들 각기 세지역에서 측정된 微褶曲을 plot하면 modal limb의 교차점 周圍에 적힌

Table 2. 分區別 maximum area의 位置

位置 分區	兩 maximum area의 位置			
	Trend	plunge	Trend	plunge
I	S 15°E	30°	S 38°W	45°
II	S 38°E	39°	S 31°W	45°
III	S 30°E	43°	S 58°W	55°

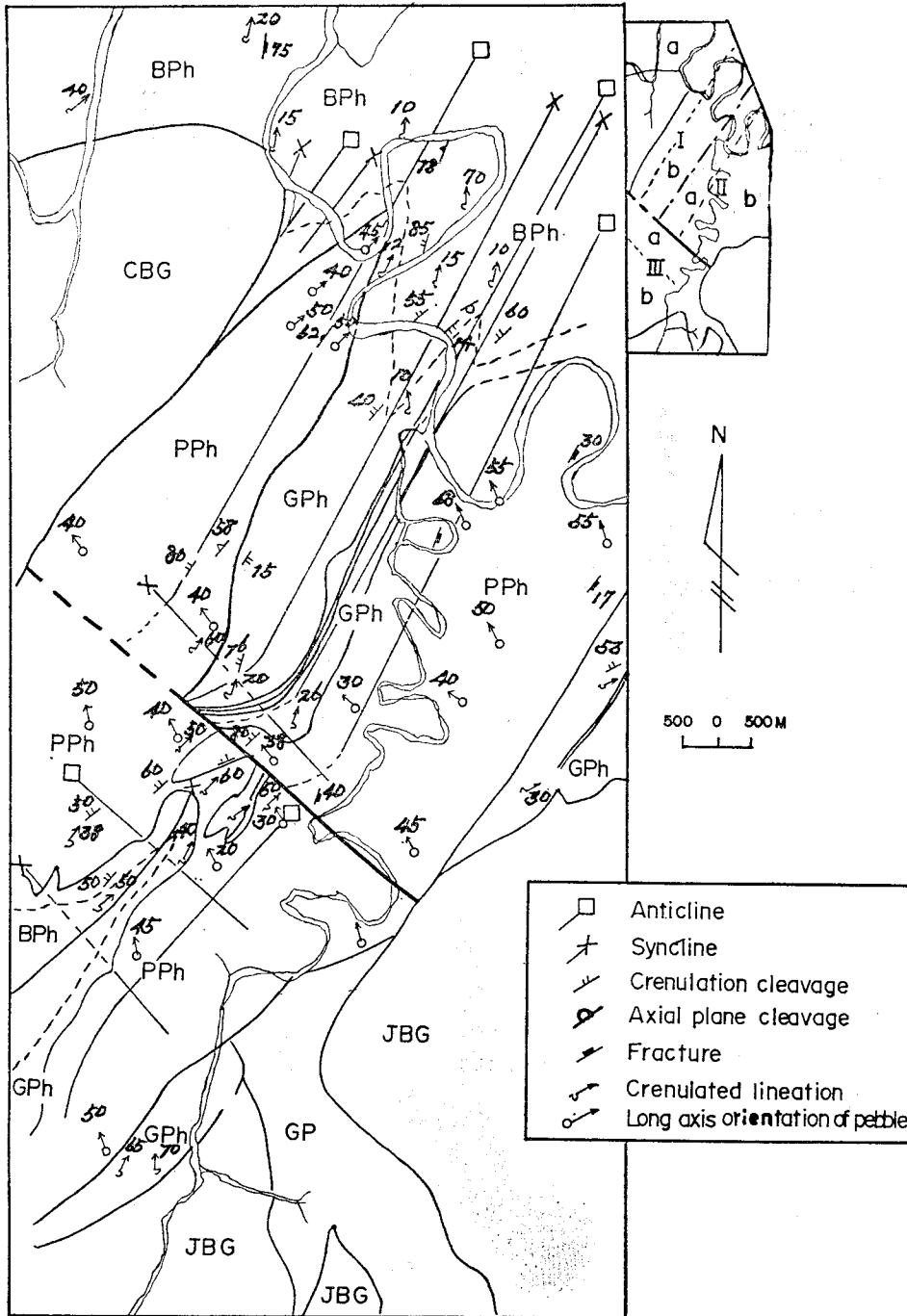


Fig. 3-b a : Structural domain b : structural map

Table 3. 分區別 Modal limb의 Attitude와 Cross Point

要素 分區	Modal limb		Cross point
	1	2	
I	N80°E, 50°NW	N44°W, 45°NE	N30° EL45°
II	N54°E, 52°NW	N58°W, 46°NE	N10° EL45°
III	N64°E, 44°NW	N30°W, 42°NE	N31° EL36°

다.

I 지역의 contour diagram의 girdle는 大圓上에 놓이고 이大圓의 π極은 前述한 modal limb의 交叉點에 一致하고 있다. 그러나 II地域과 III地域의 girdle은 小圓上에 分布하며 III地域은 小圓이 더 작아지고 있다. 이들 關係를 종합한 synoptic diagram(Fig. 5)은 各構造分區別로 片理面의 轉化상태를 表示한 것으로

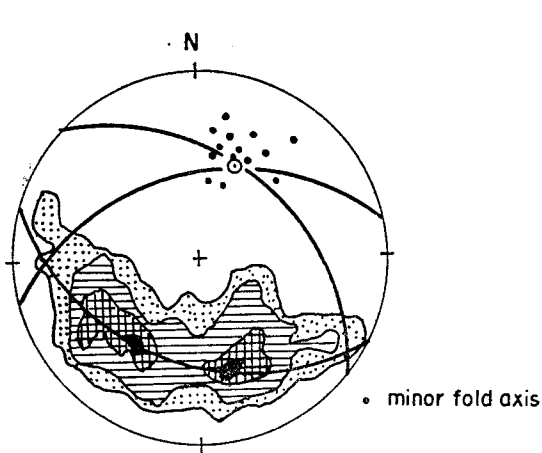


Fig. 4-a Countour diagram of schistosity in area I. 9.8 % , 8.2% , 4.9% , 1.6% , per 1% area

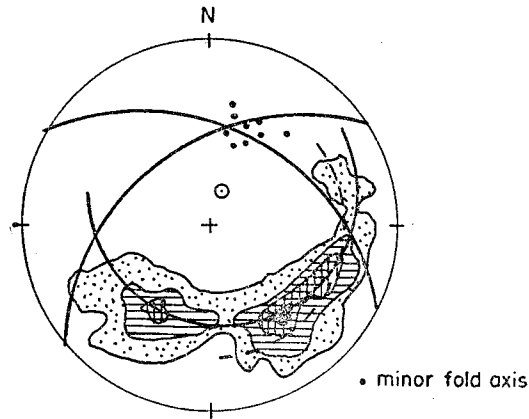


Fig. 4-b Countour diagram of schistosity in area II. 14.8 % , 11.5% , 8.3% , 3.3% per 1% area

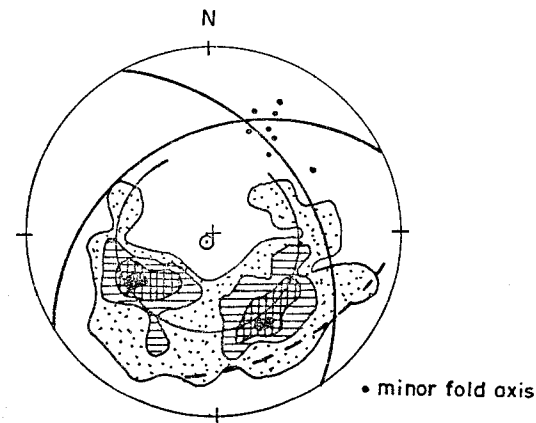


Fig. 4-c Countour diagram of schistosity in area III. 12.7 % , 9.5% , 6.3% , 3.2%

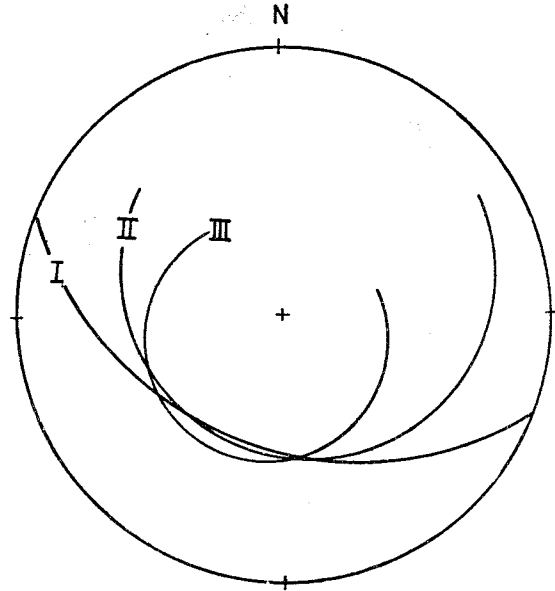


Fig. 5 Cylindricity of area I, II, III

이는 III地域에서 I地域으로 갈수록 cylindricity의 變化를 보여준다. 이와같은 cylindricity는 褶曲의 幾何學的 形態를 나타내어 cylindrical fold→cylindroidal fold→conical fold에의 轉移를 나타낸다고 한다면 I地域은 圓筒型 褶曲이며 III地域은 圓錐型 褶曲임을 알 수 있으나 本地域에서는 I地域보다는 II地域이, II地域 보다는 III地域이 더 重複된 變形作用에 依해 片理面의 girdle이 大圓上에 놓이지 못한다는 것을 보여준다. II, III地域에서의 片理面 girdle (Fig. 4-b, 4-c)은 一部가 分散되어 또다른 小圓을 類推할수 있다. 즉 III地域에서는 뚜렷한 경향으로 極點이 北西方向으로 向하는 小圓(Fig. 4-C)을 그릴수 있으며 II地域은 III地域 보다는 경향이 뚜렷하지 않고 I地域은 이러한 경향이 전혀 表示되지 않는다. 이것은 I地域에서 III地域으로 갈수록 重複變形을 심하게 받았고 특히 初期의 NE時相을 교차하는 後期の 變形作用이 뚜렷했음을 보여 준다.

crenulation cleavage와 褶曲軸面의 態位(attitude)는 거의 비슷한 경향을 보인다. I地域과 II地域에서는 뚜렷이 두지점에 이들 面構造가 密集하고 있으나(Fig. 6-a, Fig. 6-b). III地域은 단지 한곳에만 密集되어 있고 一部는 이에 直角인 方向에 놓인다(Fig. 6-c). 이는 I地域과 II地域의 crenulation cleavage는 大褶曲의 兩翼部의 傾斜方向에 反對로 傾斜져 發達하는 convergent fan cleavage가 우세하고 III地域은 傾斜方向이 같거나 軸面에 平行한 axial plane cleavage나 divergent fan cleavage라는 것을 알 수 있다. 이들 面構造의 위치

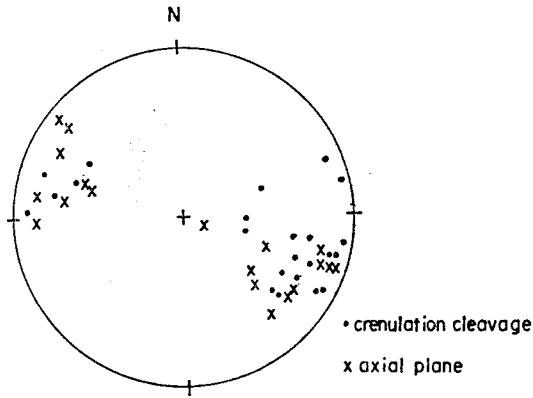


Fig. 6-a The pole of crenulation cleavage and fold axial plane in area I

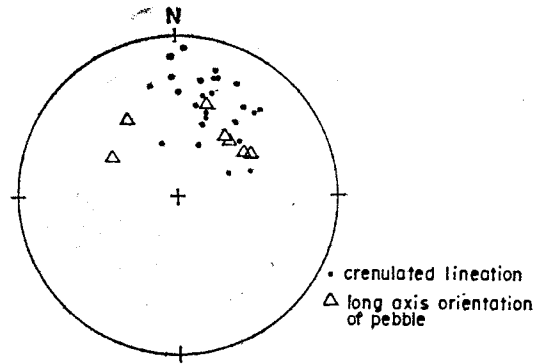


Fig. 7-a Crenulated lineation and long axis orientation of pebble in area I.

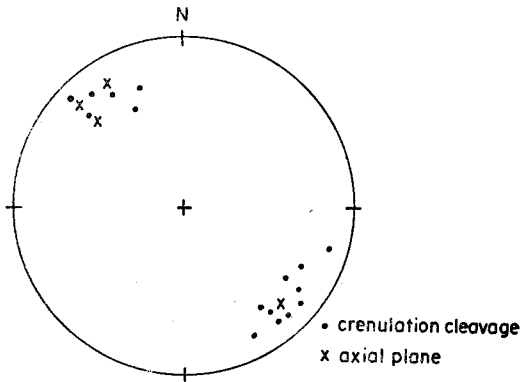


Fig. 6-b The pole of crenulation cleavage and fold axial plane in area II.

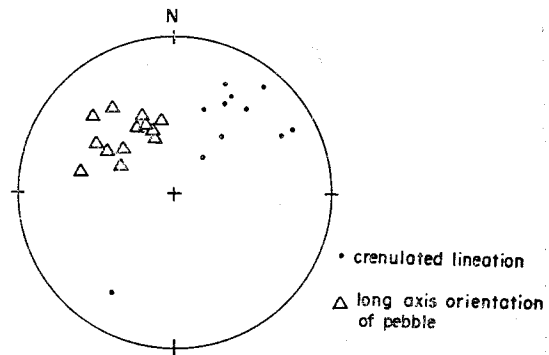


Fig. 7-b Crenulated lineation and long axis orientation of pebble in area II

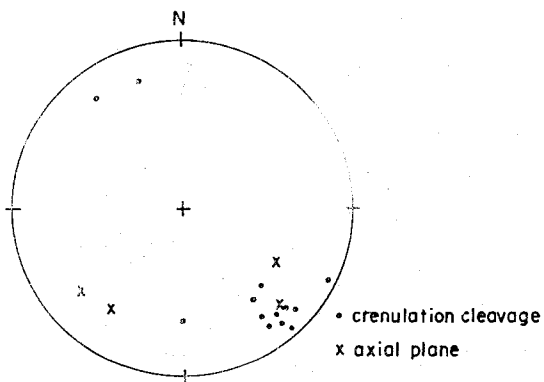


Fig. 6-c The pole of crenulation cleavage and fold axial plane in area III

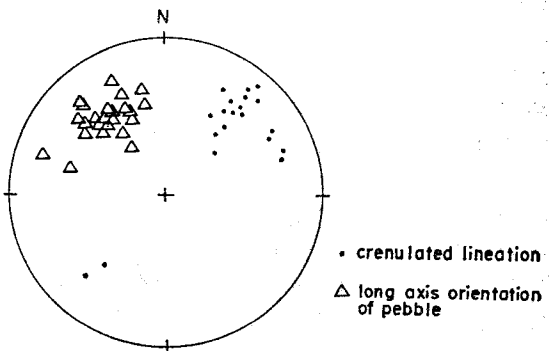


Fig. 7-c Crenulated lineation and long axis orientation of pebble in area III.

Table 4. 含礫千枚岩質岩의 重複變形 考察

Area		planar, Linear Structure 간의 관계		考 察
I	北部	pebble의 長軸//pelitic rock의 crenulation cleavage//bedding	pebble의 fold axis//pebble의 長軸	1. pelitic rock의 crenulation cleavage 形成과 pebble의 褶曲作用은 同一 Phase; NE phase 2. bedding을 斜交하는 pebble의 變形 Phase; NW phase
	南部	pebble의 長軸∠pelitic rock의 crenulation cleavage//bedding //pebbly rock 中の crenulation cleavage	pebble의 fold axis⊥, ∠pebble의 long axis	
II				
III				

※ // : 平行, ⊥ : 直交, ∠ : 斜交

는 分區別로 약간의 差異를 보이는데 I地域은 NNE 走向에, WWN-EES 傾斜, II地域은 NE 走向에 NW-SE 傾斜, III地域은 NEE-NE 주향에 NNW-SE 傾斜와 이에 垂直하는 NW 走向에 SW 傾斜의 것으로 대표된다. 즉 I地域에서는 II地域으로 東向 할수록 面構造의 走向이 時計方向으로 偏向하는 것을 나타내고 III地域의 두가지 경향은 重複變形에 의한 것으로 볼수 있다.

含礫千枚岩 中の 伸張礫의 長軸方向과 暗綠色千枚岩, 黑色千枚岩 中の crenulated lineation을 主로한 線構造들을 等面積網에 點記하여 分析하였다 (Fig. 7-a,b,c). I地域에서도 礫의 長軸方向과 crenulated lineation이 NNE-NE 方向으로 거의 一致하나 (Fig. 7-a), II地域에서는 伸張된 礫의 長軸方向은 NNW-NW 方向이나 crenulated lineation은 NE 方向으로 나타나 差異를 보이고 (Fig. 7-b), III地域 역시 이러한 경향이 더욱 뚜렷하여 두 lineation의 方向은 각각 NW와 NE 方向이다 (Fig. 7-c). 즉 I地域 北部에서는 礫의 長軸 方向, crenulation cleavage의 方向 및 層理의 走向 方向이 모두 平行하여 伸張된 礫이 再褶曲된 경우 그 褶曲軸과 礫의 長軸方向이 平行하게 나타난다. 그러나 I地域 南部 및 II, III地域에서는 礫의 長軸方向이 千枚岩類 內의 crenulation cleavage와 斜交하며 이 crenulation은 層理의 走向과 平行하다. 또 伸張된 礫이 褶曲된 褶曲軸과 長軸方向은 直交내지 斜交하며 含礫千枚岩質岩 內의 cleavage crenulation은 千枚岩類 內의 것과 平行하다. 따라서 이와 같은 觀點에 依하면 千枚岩類 內의 crenulation cleavage가 形成된 時期와 礫의 褶曲作用은 同一한 初期의 NE 時相이며 層理를 斜交하는 礫의 變形時相은 後期の NW 時相이라는 결론을 유

도 할수 있다. 이상에서 論한 바를 圖示하면 表 4와 같다.

III-2. 伸張礫의 變形特性

野外에서 採取한 含礫千枚岩質岩 中에서 12個의 硯岩 礫에 對해 長軸, 中間軸, 短軸을 測定하여 各 地域間의 變形 程度를 알아 보았다. 測定한 세축의 상관관계는 Brace (1955) Dunnet (1969), Hossack (1968) 등의 研究方法도 있으나 Flinn (1956)이 作成한 圖表에 點記하였다 (Fig. 8). 이 圖表에서 X는 長軸, Y는 中間軸, Z는 短軸의 길이를 表示하며 d는 X, Y, Z를 軸으로 하는 橢圓體와 體積이 같은 球의 直徑을 나타낸다. 그리고 X의 d에 對한 伸張率을 $X=d$ 에서 부터 $X=300\%$

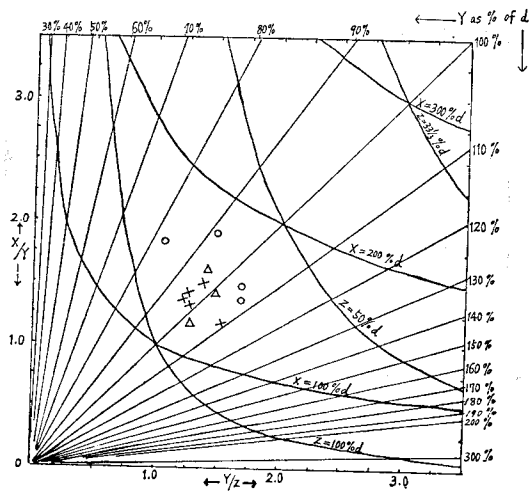


Fig. 8 plot of quartzite pebble shape

× area I
○ area II
△ area III

d까지 곡선으로 표시했으며 Y의 d에 대한 伸張率은 右側에, d에 대한 縮小率 上側에 表示하여 $X/Y=0$, $Y/Z=0$ 인 점과 직선으로 연결되어 있다. Z의 d에 대한 縮小率 역시 $Z=d$ 인 곡선에서 $Z=33\frac{1}{3}\%$ d까지 곡선으로 表示하고 있다.

I地域에서의 標品 4개는 X/Y비가 1.1에서 1.4까지이며 Y/Z비는 1.2에서 1.4까지 나타나고 X의 d에 대한 伸張率은 120%에서 140%까지이며 한 標品을 제외하고는 Y의 d에 대한 變形率은 94%에서 97%까지이며 Z의 d에 대한 縮小率은 80%에서 70% 사이이다. II地域에서의 標品 4개는 X/Y비가 1.3에서 1.9까지이며 Y/Z비는 1.1에서 1.75까지며 X의 d에 대한 變形率이 140%에서 180%까지고 Z는 70%에서 60% 사이이다. III地域의 標品 3개는 X/Y비가 1.1에서 1.7, Y/Z비는 1.2에서 1.35이며 X의 d에 대한 變形率은 120%에서 140%, Y는 98%에서 105%, Z는 80%에서 70%이다. 이관계에서 II地域에서 礫의 變形程度가 다른 두地域에 비해 가장 크며 III地域이 하나의 例外는 있으나 中間程度이며 I地域이 다른 두地域에 비해 가장 變形程度가 작음을 알수 있다.

III-3. 小褶曲과 微小褶曲의 特性

1) 小褶曲의 形態

本域에서 露頭 規模의 小褶曲 形態는 層序別로 差異를 보이고 있다(李炳柱, 李昌範1975., 李炳柱 1976). 本域의 中部層인 暗綠色千枚岩層의 小褶曲은 本層이 分布하는 二柏里 앞 高速道路邊에서 褶曲 中 翼部가 hi-

nge보다 두께가 얇은 similar fold가 發達하고 있다. 暗綠色千枚岩의 上部가 分布하는 北部地域과 本域의 最上部層인 黑色千枚岩에서는 kink fold가 發達한다. 이들 두 褶曲軸은 모두 北東方向으로 軸斜하나 南部의 similar fold는 대개 $N30^{\circ}\sim50^{\circ}E$ 의 trend를 가지나 kink fold는 褶曲軸의 trend가 $N10^{\circ}\sim20^{\circ}E$ 이다. 이들 關係에서 similar fold의 軸이 kink fold의 軸에 依해 斷切되거나 彎曲된 樣相의 露頭는 野外에서 직접 觀察되지 않았으나 $N10^{\circ}\sim20^{\circ}E$ 의 trend를 가지는 crenulated lineation이 $N30^{\circ}\sim50^{\circ}E$ 의 trend를 가지는 crenulated lineation을 방아실 北東測 約 1 Km 地點인 暗綠色千枚岩 內에서 斷切하고 있다. 이로 미루어 볼때 similar fold가 前期에 形成되었고, kink fold는 이를 干涉하며 後期에 形成되었을 것이다.

本域의 梨坪里 附近에서 暗綠色千枚岩이 심하게 變形된 露頭가 觀察된다(Fig. 9). 이 露頭에서 測定한 片理面과 小褶曲의 軸面과 軸을 等面積網에 點記하면 各 褶曲의 翼部에서 片理面의 走向은 同一하나 傾斜가 東側이 西側보다 약간 급하여 集中點을 極(π -pole)으로 하는 modal lime을 구하여 그 交叉點을 求한바, 實測한 褶曲軸과 대개 一致하고 있는 것을 볼수 있다. 이는 모두 NE時相의 變形에 依한 similar fold의 좋은 例가 된다. 그리고 이들 similar fold의 翼部를 再變形시킨 非對稱形態의 褶曲이 觀察되는데 軸面은 NW後期 變形相으로 區別된다.

本域의 各層에 形成된 小褶曲의 波長(L)과 波高(A)

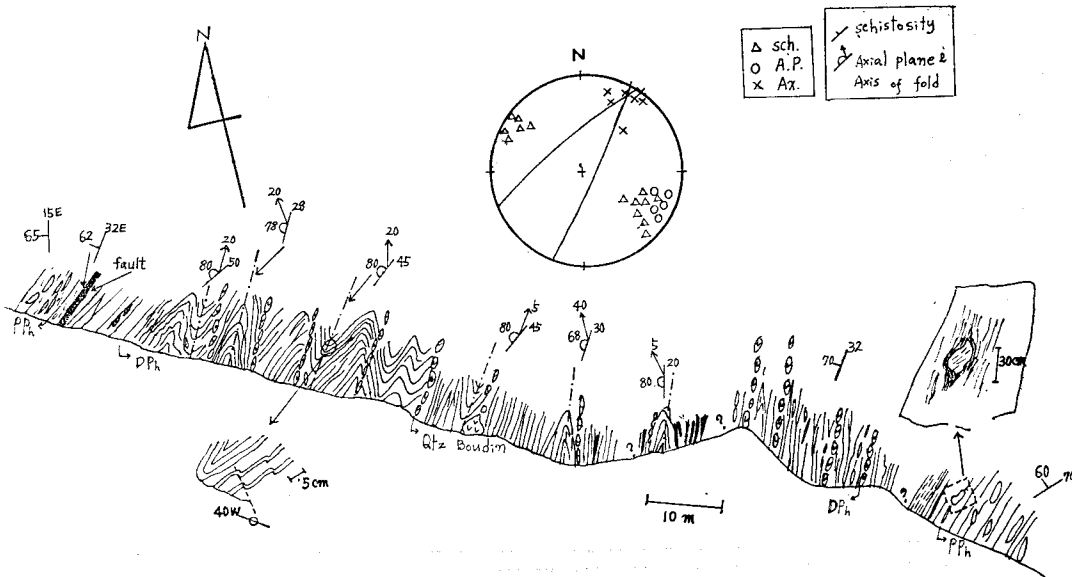


Fig. 9 Route map in vicinity of Ipyeong Ri

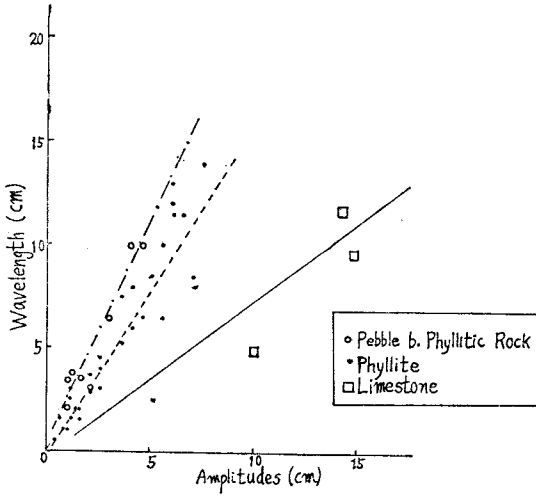


Fig. 10 Amplitude(X)-Wavelength(Y) Diagram

를測定하여 相關關係를 糾明하였다(Fig. 10). 이關係는 岩質이나 岩相이 同質일 때에는 變形作用이 進行할 당시의 深度나 溫度等의 諸條件에 크게 支配되어 褶曲의 「Tightness」가 層의 上下部에 따라 뚜렷한 差異를 보인다. 本域에서는 下部의 含礫千枚岩質岩層과 上部의 千枚岩層 또는 이에 挾在된 石灰岩層에 따라 相關性이 달라지는 것은 層序의 差異에 따른 變形條件의 差異보다도 岩質의 差가 重要한 要素가 되었던 것으로 추측된다. Fig. 10의 岩質別 3개의 回歸直線은 含礫千枚岩 內의 褶曲이 tightness가 가장 「open」(Fleuty, 1964)하고 石灰岩 內의 褶曲이 가장 「close」(Fleuty, 1964)하다. 이와같이 深度, 즉 層序에 관계없이 千枚

岩層內나 含礫千枚岩質岩과의 境界部에 협재하는 石灰岩이 上下의 것보다 褶曲이 가장 Tight하다는 것은 가장 塑性이 큰 岩石의 物性 때문일 것이다.

本域 北部에 分布하는 黑色千枚岩 內에서 小褶曲의 波長과 波高가 大構造의 部位別로 어떤 關係가 있는지를 밝히기 위하여 波長과 波高의 比를 全層을 橫切하는 方向에 따라 檢討하였다 (Fig. 11). 沙灘里를 基點으로 S17°E 方向에 따라 L/A 比가 增減하는 경향은 大褶曲의 軸部에서는 減少하고 翼部에서는 增加하고 있다. 黑色千枚岩이 褶曲의 部位別로 받은 應力分布의 差異를 나타낸 것으로 大構造解析을 위한 資料가 된다.

2) 微小褶曲의 階層의 分布

本域의 暗綠色千枚岩層과 黑色千枚岩層에서 變形이 심하게된 露頭에서 試料를 無作為로 採取하여 定向薄片을 제작하고 偏光顯微鏡으로 觀察 記載한 뒤 微小褶曲을 分類하였다(Fig. 12). 分類 基準은 (1)翼部와 軸部에서의 形態 (2)crenulation cleavage의 發達程度 및 褶曲部位와의 關係 (3)interlimb angle의 크기(Fleuty, 1964) (4)strain의 增加로 미루어 본 Kinking의 程度等이다. 暗綠色千枚岩層帶의 南部인 二柏里 附近에서 層序別로 採取한 試料中 微小褶曲은 下部階層이 crenulated strain-slip fold, 上部階層이 similar fold를 보이고 이 階層性은 下部層일수록 crenulation cleavage가 잘 발달되고 strain-slip을 보이면서 褶曲되어 있고 특히 이 Cleavage의 密度가 上向할수록 減少한다는 것은 深度에 따른 進化의 程度를 잘 暗示하고 있다. 또, 上部階層의 similar fold도 下部에서 上部로 갈수록 兩翼이 이루는 角度가 減少하고 있어 tightness의 程度가 深度와 關聯이 있음을 보여 주고 있다.

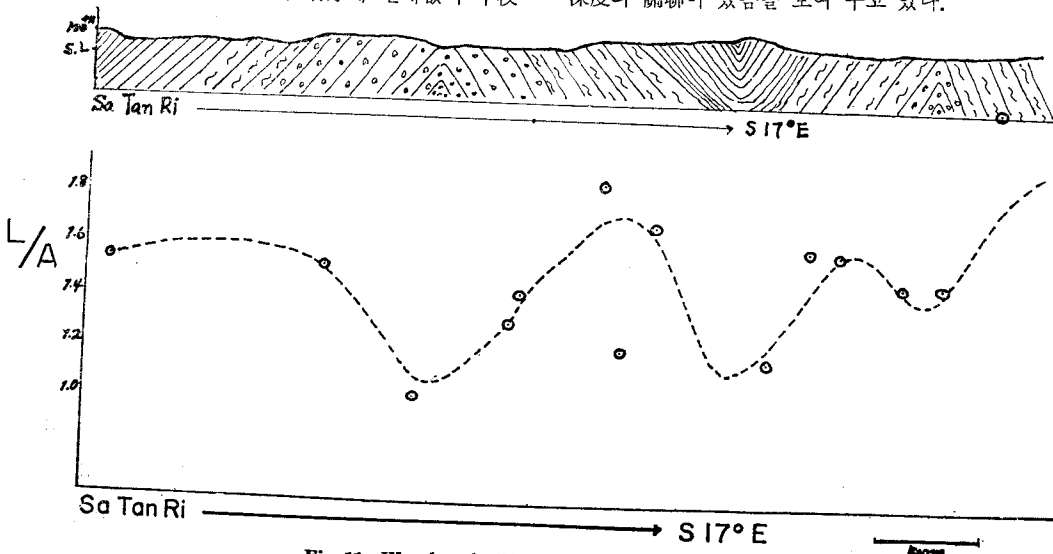


Fig. 11 Wavelength (L)/amplitude(A) ratio diagram

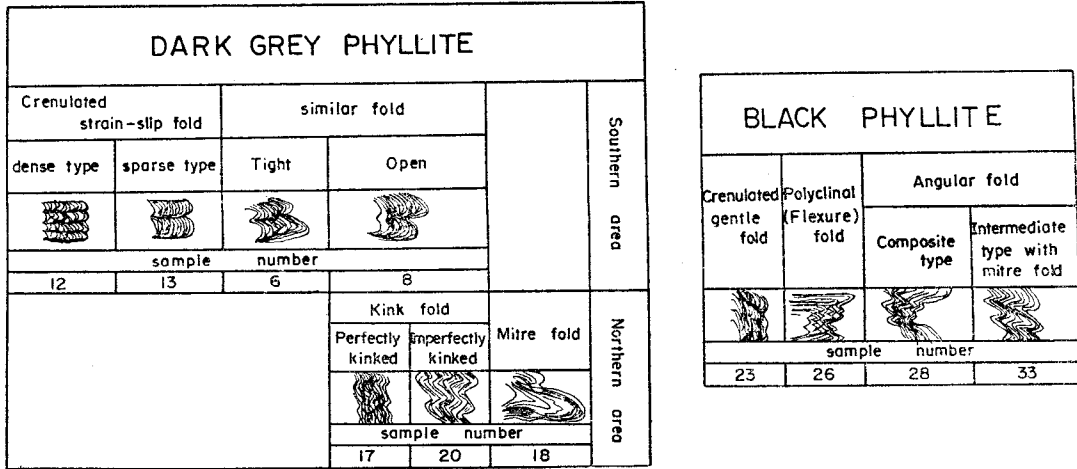


Fig. 12 Classification of micro fold style

방아실 北部地域의 暗綠色千枚岩層은 Kinking의 程度가 Strain의 增加와 相關性을 갖는다는 理論(Paterson & Weiss, 1966)을 微小褶曲의 階層性이 나타내고 있다. 크게 下部의 Kink fold와 上部의 mitre fold로 分類되는 이 kink fold zone은 上向 할수록 Kink band가 連續的이고 完全한 것으로 부터 不連續的이고 不完全한 것으로 遷移함을 보여 준다. 上部의 mitre fold는 더욱 kinking이 未熟한 것으로 深度 및 層位에 따른 系列의 微小褶曲 形式變化는 소위 構造階層(Kimura, T, 1968, 朴奉淳, 1976)의 特性을 잘보여 주고 있다. 上部層인 黑色千枚岩帶에서는 石湖里를 中心으로 한 微小褶曲의 階層性을 觀察하였다. 下部階層은 crenulated gentle fold, 中部階層은 Polyclinal fold, 上部階層은 Angular fold로 設定하였다. crenulated gentle fold는 매우 좁은 crenulated cleavage zone을 形成할 뿐 거의 褶曲되지 않고 있으며 polyclinal fold는 flexure fold의 形態를 보이고 上下部の 變形樣相이 매우 調和的이면서 褶曲되지 않은 同一 時相으로 보이는 많은 軸面이 發達하는 것이 특징이다. 下部階層의 angular fold는 kinking이 未備된 strain에 依한 것으로 推測되는데, 한 褶曲單位의 包絡面을 연결해 보면 全體의 褶曲을 하고 있는 複褶曲型과 mitre fold와의 中間型으로 兩分 할수 있다. 이와같이 下部의 暗綠色千枚岩層과 上部의 黑色千枚岩層의 諸 微小褶曲의 形態는 (1)下部層에서는 ㉠ crenulated cleavage 내지 strain slip이 發達되고 ㉡ similar fold type이 우세하며, ㉢ kinking의 정도가 높고, ㉣ interlimb angle이 작은데 반하여 (2) 上部層에서는 ㉤ flexure fold type의 徵候가 있고, ㉥ interlimb angle이 매우 큰 gentle-open fold type이고, ㉦ kinking이 덜된 Angular-mitre

fold가 우세하다. 이는 대략 비슷한 岩質인 千枚岩의 小褶曲樣式이 層序의 深度差에 따라 階層性을 띠는 것을 反映하고 있다(Fig. 12).

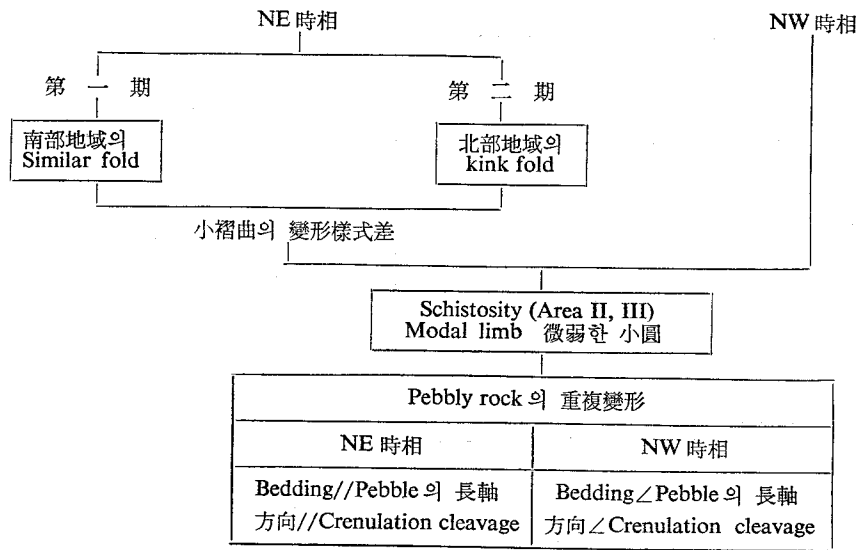
IV. 變形構造의 形成過程

IV-1. 形成段階의 確認方法

變形이란 物理的인 外力에 依한 原形의 空間的位置의 變化를 의미하며(Ramsay and Wood, 1973) 變形量(벡터量)이나 變形傾向(面과 4線構造의 空間的位置變化)을 認知하기 위해서 面構造와 線構造의 實測值를 解析하게 된다. 이때 變形時相의 差別에 依하여 變形이 重複되어 일어나는 경우, 위의 實測值는 매우 多樣하게 나타나고 傾向의 追跡은 測定한 諸要素의 演繹의 分析으로 可能하다. 그리고 變形量의 糾明은 실지로 異質體(Heterogeneous body)인 地層에 異質的인 外力(Heterogeneous stress)가 加해진 상태에서 밝히기가 매우 어렵다. 여기에서는 주로 對象地域의 變形의 傾向에 主眼點을 두고 野外調査나 室內作業時에 이를 자세히 分析하였다. 時期別로 다른 變形體가 生成되었을 경우 각기 다른 傾向의 構造性을 띠고 있을 것이고 初期의 要素는 後期の 要素에 再變形(干涉相)되었을 것이라는 幾何學의 原則(Ramsay, 1967)下에 變形의 重複性을 解明하였다. 이를 糾明하기 위한 方法으로는 다음 사항을 注目하였다.

(1) 褶曲軸과 褶曲軸面の 灣曲; 露頭 規模의 褶曲이 再變形되어 再褶曲作用을 받았을당시, 初期의 褶曲과 後期の 褶曲相互間의 軸 및 軸面을 區別하여 測定 하였다. (2) 各 面構造와 線構造의 斷切 및 灣曲; 特히 泥質岩中에 나타나는 crenulated lineation이 後期の 線構造에 依하여 斷切되거나 灣曲되어 있으며 層面一片

Table 5. 變形構造의 形成段階



理面—cleavage의 空間的 相互關係는 變形의 重複性을 糾明하는 資料가 된다. 또 線構造의 配列을 하는 含礫千枚岩質岩層의 伸張된 礫의 長軸方向의 變化, 또는 礫自體의 小褶曲도 重複變形의 증거로 처리하였다. (3) 立體投影圖法에 依한 解析; 立體投影한 測定資料는 重複變形된 地層인 경우에 S面의 π 極이 지극히 分散되어 나오며 線構造의 集中性도 重複變形 與否를 確認하는 要素가 된다.

IV-2. 構造要素의 形成段階

本域의 變成堆積岩中 泥質源인 千枚岩層에서는 (1) 小褶曲의 變形樣式 (2) 褶曲의 軸과 軸面 (3) 片理面과 crenulation cleavage와 lineation을, 含礫千枚岩質岩은 (1) 層理面 및 片理面과 cleavage, (2) 伸張된 礫의 長軸方向과 褶曲된 礫의 褶曲軸등을 重複變形을 確認하는 要素로 하여 그 時相을 밝히도록 하였고, 그결과 前期의 NE時相中에는 第一期의 similar food 形成期, 第二期의 kink fod 形成期로 再分되고 後期の NW時相이 있어 全體的으로 3번의 變形相이 있음을 類推하였다.

小褶曲의 變形 樣式的 差에 依하면 南部地域에서 보이는 similar fold는 第一期의 產物이며 北部地域에서의 kink fold는 第二期에 形成된것으로서 이들은 모두 NE時相이다. II地域과 III地域에서 測定된 各要素를 統計的으로 分析한바 片理面의 modal limb이 보인 NE時相과 미약한 小圓에 의한 NW時相을 認智할 수 있다. 含礫千枚岩의 重複變形은 層理面과 礫의 crenulation cleavage가 서로 平行한 前期의 NE時相과 層理

와는 斜交하고 伸張된 礫의 長軸方向과 crenulation cleavage가 平行한 後期の NW時相을 볼수 있다. 이와 같은 關係를 圖表化하면 表5와 같이 要約할 수 있다.

V. 變形史의 考察

이미 說明한 바와 같이 沃川帶의 一部分인 本地域內에서의 變形史는 크게는 NE時相과 NW時相으로 나누었으며 NE時相은 褶曲形態의 差에 따라 similar fold를 形成시킨 第一期와 kink fold를 形成시킨 第二期로 나누었다. 各時相의 應力場은 地域을 支配하는 重要 構造線을 검토하여 設定하였다. NE時相에서의 應力場의 σ_h 方向은 NW-SE이고 NW時相에서의 σ_h 方向은 NE-SW로 類推된다.

Table 6. 變形史 考察

Deformation phase	NE		NW
	1st	2nd	
Fold style and pebble long axis	Similar fold	Kink fold	Major transverse trend
	Major longitudinal trend		
Stress field (σ_h)	NW-SE		NE-SW
Micro fold style	Symmetry ←—————→		
Major fold style	Cylindricity ←—————→		

※ σ_h ; horizontal principal stress

微小褶曲의 形態에 따른 分類에서 考察해 보면 NE 時相에서 NW 時相으로 갈수록 對稱性은 없어지며, cylindricality는 NW 時相으로 갈수록 大褶曲이 conical 形態로 되어간다.

再結晶作用은 NE 相에서 NW 相으로 갈수록 더욱 심해지며 微小褶曲은 잘 발달되고 crenulation cleavage도 잘 발달된다. 鑛物은 이들 crenulation cleavage를 따라 다시 再配列하고 있다. 斑狀變晶으로 觀察되는 石榴石은 Zwart (1960), Spray (1963) 등의 理論에 맞추어볼때 變形作用이 시작되기 前에서부터 變形作用 後까지도 成長하였다. 이들 相互 關係들을 圖表化하면 表 6과 같다.

參 考 文 獻

- 金東鶴·張泰雨·金源泳·黃載河(1978), 韓國地質圖, 沃川圖幅, 資源開發研究所.
- 金玉準·李大聲·李河榮(1977), 韓國地質圖, 報恩圖幅, 資源開發研究所.
- 朴奉淳(1976), 變形樣式에 의한 構造區分, 慶大論文集 (自然科學), Vol. 21, pp. 213-222
- 孫致武(1970), 沃川層群의 地質時代에 關하여, 광산지질, Vol. 3, No. 1, pp. 9-16
- 李炳柱·李昌範(1975), 忠北 北部地域의 沃川層群의 構造解析, 북한지질, 창간호, pp. 4-7.
- 李炳柱(1976), 忠北南西端部의 沃川褶曲帶重複變形과 小褶曲樣式, 慶北大碩士論文 pp. 1-47.
- Brace. W. F.(1955), Quartzite pebble deformation in Central Vermont., Am. J. Sci., Vol. 253. pp. 129-145
- Dunnet. D. (1969), A technigue of finite strain analysis Using elliptical particles, Tectonophysics, Vol. 7, pp. 117-136
- Fletcher. C. J. N. (1976), The geological structure of the Ogcheon area and its relationship to the development of the intracratonic Ogcheon fold belt, Anglo-Korean mineral experiation group, pp. 1-29.
- Fluty. M. J. (1964), The Description of Folds, Geol. Assoc. Proc., Vol. 75, pp. 461-492.
- Flinn. D. (1956), On the deformation of the Funzie Conglomerate, Feltar, Shetland, J. Geol., Vol. 64, pp. 480-505.
- Hossak. J. R. (1968), Pebble deformation and thrusting in the Bygdin area (Sauth Norway), Tectonophysics, Vol. 5, pp 315-339.
- Kobayash. T. (1953), Geology of Sovoth Korea, Tokyo Univ. Press., To Kyo.
- Kimura. T. (1968), Some folded structures and their distribution in Japan, Jap. Jour. Geol. Geogr. Vol. 39, pp. 1-26.
- Knill. J. L. (1960), A Classification of cleavage with special references to the Craignish district of the Scottish Highlands, Int. Geol. Congr. 21st. Norden. C. R. pt. 18. Scottish Highlands, Int. Geol. Congr. 21st. Norden. C. R. pt. 18, pp. 317-325.
- Lee S. M. (1972), Metamorphic Facies and Facies Series is Relation to Tectonics of South Korea, 24th Int. Geol. Congr. Sect. 2, pp. 81-87.
- Paterson. M. S. and Weios. L. E. (1966), Experimental deformation and folding in Phyllite, G. S. A. Bull., Vol. 77, pp. 343-374.
- Ramsay. J. G. (1967), Folding and Fracturing of Rocks, Mc Graw-Hill, Inc. pp 1-568,
- Ramsay. J. G and Wood. D. S. (1973), The geometric effects of Volume change during deformation prcesses, Teetonophysics, Vol. 16, pp. 263-277.
- Spray. A. (1963), Chronological analysis of Crystallization and deformation of some Tasmanian Precambrian rocks, JI. Geol. Soc. Aust., Vol. 10, pt. 1, pp. 193-208.
- Zussman. D. H. (1962), Rock-forming minerals, Longmans, Vol. 1, pp. 300-319.
- Zwart. H. J. (1960), Relations between Folding and metamorphism in the Central Pyrenees, and their chronological succession, Geologie en mijnbouw 39e JAARGANG, pp. 163-180.