

重力探査에 依한 馬山—釜山間의 地下構造 研究

閔 庚 德* · 金 楨 雨*

Gravity Measurement and Interpretation of the Subsurface Structure of the Kyongsang Basin between Masan-Busan Area

Kyung Duck Min and Jeong Woo Kim

Abstract: The gravity measurement has been conducted at 69 points with an interval of about 1km along the national road between Masan and Busan through Kimhae to study on the subsurface geology and structure of Kyongsang basin.

The Bouguer gravity anomalies were obtained from the observed gravity values, and interpreted by means of the Fourier-series method and Talwani method for 2-dimensional body.

The depth of Conrad discontinuity is about 14.8km at the west end of survey line, and increases smoothly to about 13.6km at the east end. But it is uplifted by about 500m between Yangsan and Dongnae faults.

The depth of the basement of Kyongsang basin is about 4.8km at the west end. It decreases gradually passing Masan, and reaches the maximum depth of 5.6km at the 15km east of Masan. Hereafter, it starts to increase to 4.3km at the east end. It is also uplifted by about 500m between Yangsan and Dongnae faults.

The Bulgugsa granites which cause two low Bouguer gravity anomaly zones are distributed in the vicinity of Masan at depth of about 3.5km and Kimhae area at depth of about 5.3km. Diorite, granodiorite, aplite, and felsite are distributed with various depth of about 1~1.7km, and Jusasan andesitic rocks, except porphyritic one located at the west of Kimhae, are distributed with depth of about 1km.

Three fracture zones associated with faults are located at the places where v-shaped Bouguer gravity anomalies are appeared.

序 言

慶尙層群에 對한 研究는 Tateiwa(1929)以後 層序, 岩石, 堆積 및 古生物學的으로 活潑히 進行되어 왔으며, 이상만(1974),金玉準外(1980),閔庚德外(1982) 등에 依해서 地質構造의인 側面에서의 研究도 이루어졌다. 한편 地球物理學的인 研究가 이천훈外(1972),李基和(1979),金性均(1979),金昭九外(1983) 등에 依해 이루어졌으나,慶尙盆地의 基盤構造에 對한 研究는 倭館—浦項間에 對한 閔庚德·鄭鍾大(1985) 外에는 거의 遂行된 바 없다.

이에 本 研究에서는 馬山에서 釜山에 이르는 約 75km 의 國道를 測線으로 設定하여 總 69點에서 重力을 測

定하여 부계重力異常(Bouguer Gravity Anomaly)을 求하고, Fourier 級數方法과 Talwani 方法을 利用하여 慶尙層群의 基盤構造와 地質構造를 밝히고자 한다.

本 研究의 遂行을 爲하여 研究費를 支援하여 준 韓國科學財團과 重力測定時 많은 도움을 준 日本 京都大學 地質礦物學敎室의 여러분들께 感謝드린다.

地 質

本 研究地域을 包含하는 慶尙盆地의 西쪽과 北쪽은 主로 先캠브리아紀의 片麻岩復合體로 構成된 堆積基盤인 嶺南陸塊와 接한다. 慶尙盆地는 白堊紀 初에서 末에 이르는 慶尙層群이 主軸을 이루며, 主로 陸成層과 火山岩 및 深成岩類로 構成되어 있다.

慶尙盆地의 層序는 最初로 Tateiwa(1929)가 下部로

* 延世大學校 理科大學 地質學科

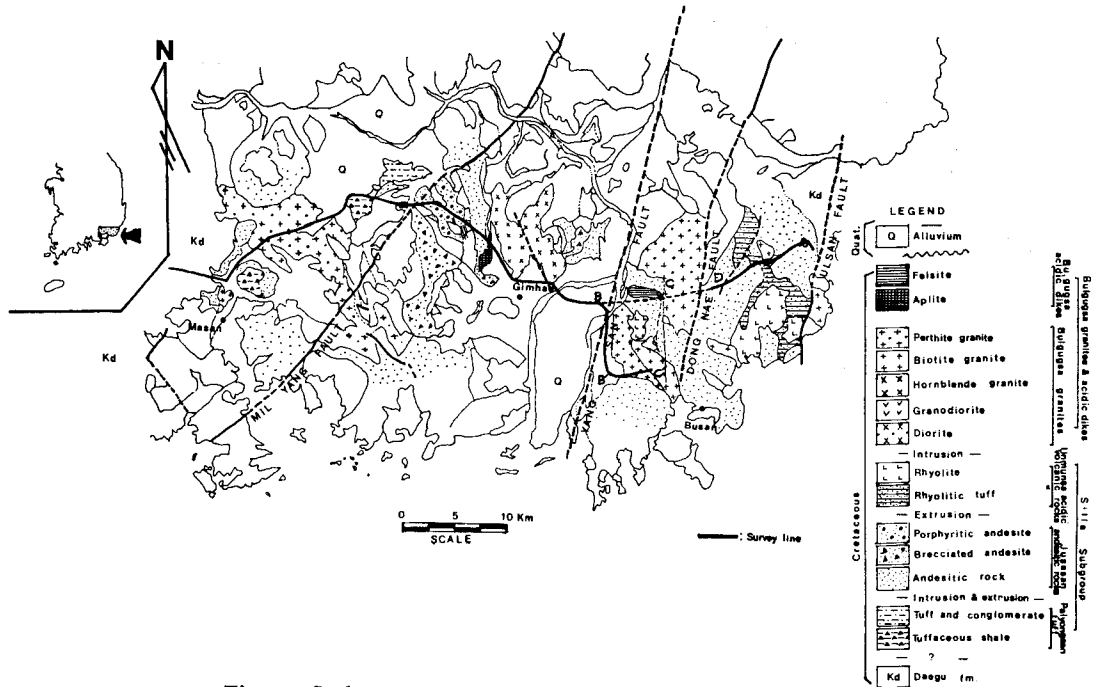


Fig. 1 Geologic map (from Min et al., 1982).

부터 洛東統, 新羅統, 佛國寺統으로 分類하였으며, 그以後 章基弘(1975, 1978) 등의 分類가 있으나, 本 研究에서는 Tateiwa의 分類를 다소 修正한 閔庚德 外(1982)를 參考하였다.

慶尙盆地 中에서 本 研究地域은 新羅亞層群의 堆積岩類가 分布하며, 大邱層이 基底를 이루고 그 위에 八龍山凝灰岩類가 關係未詳으로 接하고, 이들을 貫入, 噴出한 朱砂山安山岩質岩과 다시 이들을 貫入한 佛國寺花崗岩類 및 酸性脈岩類들로 이루어져 있다.

本 域의 特徵인 地質構造는 北東-南西 方向의 走向을 갖는 斷層들로서 西쪽으로 부터 密陽斷層, 梁山斷層, 東萊斷層, 蔚山斷層이 發達하고 있다(Fig. 1).

Fig. 1은 本 研究地域의 地質圖로서 閔庚德 外(1982)등을 參考하였다.

基盤岩類

基盤岩은 本 域에 露出되어 있지는 않지만 嶺南陸塊를 構成하고 있는 先캄브리아紀의 片麻岩類 및 片狀花崗岩이며, 慶尙盆地의 西쪽과 北쪽 境界에 連하여 分布한다.

慶尙層群

(1) 新羅亞層群

大邱層: 本 域의 最下位層으로서 赭色 및 黃褐色의 泥岩, 세일 및 砂岩으로 構成되어 있으며, 두께는 約 2km이다, 本 研究地域에서는 西側端, 진영군과 東側端

에 小規模로 分布하고 있다.

八龍山凝灰岩: 本 域에서는 진영군 附近에 小規模로 나타나는데, 主로 綠灰色凝灰岩과 세일로 이루어져 있으며, 朱砂山安山岩質岩의 貫入을 받고 있다.

朱砂山安山岩質岩: 本 域에 넓게 分布하며, 安山岩質岩을 主로하여 角礫質, 斑狀質 등이 隨伴된다. 本 岩의 噴出時期는 K-Ar年代測定에 依하던 77.3~16.7 million year로서 적어도 몇 차례에 걸쳐 噴出된 것으로 보인다(閔庚德 外, 1982).

운문사酸性火山岩類: 主로 流紋岩質凝灰岩類로서 緻密한 塊狀이고 斑狀組織을 보인다. 本 域의 東側端에 小規模로 分布한다.

(2) 佛國寺花崗岩類 및 酸性脈岩類

層序上으로는 新羅亞層群 上部에 놓이는 火成岩類이나 이들은 모두 貫入岩體로서 層群으로 區分하기가 模糊하여 閃綠岩類, 花崗岩類 및 酸性脈岩類로 區分하였다.

閃綠岩類: 진영군에서 小規模의 岩脈狀으로 나타나며 安山岩質岩 內部에 發達하고 있다.

佛國寺花崗岩類: 本 域에서 白堊紀花崗岩은 花崗閃綠岩, 角閃石花崗岩, 黑雲母花崗岩 및 퍼어다이트花崗岩 등이다.

퍼어다이트花崗岩은 主로 馬山과 釜山 附近에, 角閃石花崗岩은 金海 附近에, 黑雲母花崗岩은 釜山 附近에 各各 分布하고 있다.

酸性脈岩類：主로 花崗斑岩과 玢長岩이며, 半花崗岩, 石英斑岩과 長石斑岩이 隨伴된다. 本 域에서는 몇 몇 地域에서 小規模의 岩柱狀 또는 脈狀貫入體로서 나타 난다.

重力探査

重力測定 및 補正

本 研究에서는 馬山에서 北西쪽으로 約 7km되는 곳 에서 부터 釜山까지, 그리고 東萊에서 始作하여 東海 岸에 이르는 約 75km의 國道를 測線으로 設定하고 約 1km 間隔으로 總 69개의 測點에서 重力을 測定하였다 (Fig. 1).

重力測定器는 Lacoste & Romberg Land Gravimeter Model G이며 測定된 相對重力値는 釜山大學校內의 重力基點의 標準重力値(979, 759.931mgal)를 利用하여 絶對重力値로 換算하였다.

또한 重力基點을 往復測定함으로써 重力의 日變化 및 重力器의 時間에 따른 變化를 補正하였으며, 地球와 天體(主로 太陽과 달)의 相對的인 運動에 依한 引力의 時間에 따른 變化도 補正하였다. 또한 大氣補正, 高度補正, 부게補正, 地形補正 等を 通하여 測定位置에 다른 重力의 變化를 補正하였다. 各 測點의 高度는 水準點을 利用한 閉合方法으로 水準測量을 通하여 測定하였으 며, 地形補正에는 1/50,000 地形圖와 Hammer's Zone Chart(Hammer, 1939)를 使用하였다.

測定重力値에 對하여 위의 모든 補正을 實施하여 부 게重力異常(Bouguer Gravity Anomaly)을 產出했으며, 이를 爲하여 標準重力式 GRS(Geodetic Reference System) 1967을 使用하였다.

解析方法

重力資料의 解析을 爲하여 地表地質調査結果와 부게 重力異常曲線을 土臺로 하였다. 또한 부게重力異常曲線의 一部 또는 全部를 Fourier 급수로 展開하고 이로부터 地下에 密度變化가 있는 境界面의 平均深度를 求하는 Fourier 級數方法과 任意의 地下地質構造나 岩石의 分布樣相에 對한 模型을 設定하고 이에 對應되는 부게重力異常値를 計算한 後, 測定된 부게重力異常과 比較하여 이들이 서로 一致하는 模型을 찾는 Talwani 方法을 利用하였다(閔庚德·鄭鍾大, 1985).

또한 解析斷面은 Fig. 1에서 굵은 實線으로 表示된 實測線에서 L字形으로 구부러진 部分(BB'/C')을 直線化(BCD)하였다. 즉 測線區間 BB' 사이의 地質이 均質 하며 B에서의 Bouguer 重力異常値가 B'에서의 것과 거의 同一하므로 BB'部分을 제거하였다. 또한 B'/C'區間 사이의 地質이 BC 사이와 유사하며, 특히 C'點과

C點 下部의 地質이 同一하여 B'/C' 區間사이의 Bouguer 重力異常値를 BC 區間の 값으로 대치하였고, CD 區間에서는 C點과 D點의 값을 利用하여 線型補間法으로 Bouguer 重力異常値를 계산하였다.

또 Fig. 2에서와 같이 부게 重力異常曲線 中에 局部的으로 屈曲이 甚한 部分(點線部分)에 對해서는 Spencer's 21-term Function(John C. Davis, 1973)을 利用하여 屈曲을 줄여서 解析하였으며, 그 結果는 그림에서 實線으로 나타내었다.

解析結果

부게重力異常曲線의 考察結果：Fig. 2의 부게重力異常曲線을 보면, 測線의 左側端에서 그 값이 顯著하게 높으며, 右側으로 가면서 異常値는 全體의 大體로 增加하고 있다. 이와 같은 傾向은 地下深部に 있는 Conrad 不連續面이 測線 左端으로부터 東쪽으로 가면서 다소 깊어지다가 20km되는 지점에서부터 서서히 알아지기 때문인 것으로 解析된다. 왜냐하면 Conrad 不連續面의 上部地殼인 花崗岩質層은 平均密度가 2.67 g/cm³로서 낮고, 그 下部地殼인 玄武岩質層은 平均密度가 3.00g/cm³로서 높기 때문이다.

또한 馬山 東部와 金海—釜山 區間에서 나타나는 큰 規模의 低異常帶는 密度가 낮은 佛國寺花崗岩類(Table 1 參照)가 大規模로 分布하고 있기 때문인 것으로 解析되며, V字形의 低異常帶는 斷層과 그 周圍에 發達된 破碎帶에 依한 것으로 思料된다.

Fourier 級數方法에 依한 解析結果：Fig. 2의 부게 異常曲線 中에서 Fourier 級數展開가 가능할 것으로 判斷되는 B1, C1~C3 및 D1의 測線區間에 對하여 Fourier 級數方法을 適用하여, 各 測線區間別로 平均深度를 產出하고 그 結果를 該當되는 深度에 測線 區間名과 함께 圖示하였다. 測線區間 B1으로 부터 Conrad 不連續面으로 解析되는 平均深度는 約 14.6km 이며, 基盤岩의 平均深度는 C1~C3로부터 5.5km, 5.2km, 4.4km로서, 基盤岩은 測線의 左側端에서 알다가 馬山을 지나면서 약간 깊어지고 그 以後로는 점차 알아진다. 또한 測線區間 D1으로 부터 求한 平均深度 3.3km는 金海附近의 大規模 花崗岩의 平均深度인 것으로 解析된다.

Fig. 3와 Fig. 4는 測線區間 C1과 C3에 對한 logarithmic power spectrum 및 이로부터 求한 相關係數 r, 直線의 기울기 b 및 平均深度 D에 對한 結果圖 이다.

Talwani 方法에 依한 解析結果：地下地質 및 構造에 對한 定量的인 解析을 爲하여 地表地質調査와 부게重力異常曲線의 考察結果 및 Fourier 級數方法에

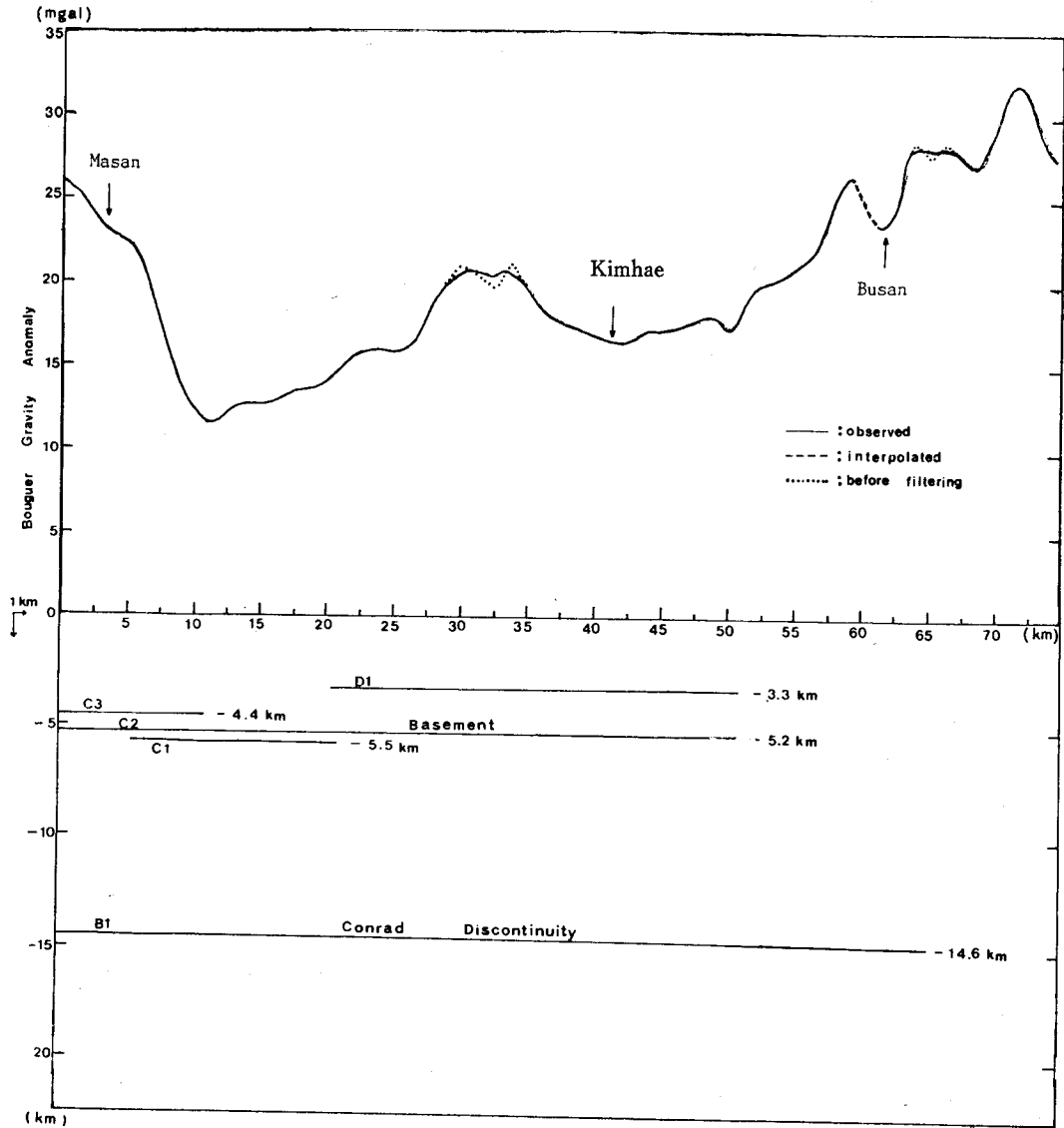


Fig. 2 Bouguer gravity anomaly and mean depth calculated by Fourier series method. B1, C1-C3 & D1 indicate region of survey line for the Fourier series analysis, and their locations mean depth, respectively.

依한 解析結果를 綜合하여 地下地質 및 構造에 對한 모델을 設定한 後, Talwani 方法에 依해 이 모델에 依한 부계重力異常을 計算하고, 그 結果를 實測부계重力異常과 比較하여 이들 사이의 最大誤差가 1mgal을 넘지 않을 때까지 모델을 修正하여 反復 計算하였다 (Talwani, 1969, 1982).

Talwani 方法을 利用하기 爲해서는 地殼의 平均密度와 本域을 構成하고 있는 各岩石들의 平均密度를 알아야 한다. 이들의 平均密度는 Table 1에서와 같이 動

力資源研究所에서 本域의 岩石들에 對한 測定資料(이천훈外, 1972)를 引用하였으며, 測定資料에 없는 것은 가정하였다.

Fig. 5는 Talwani 方法에 依하여 얻은 結果圖로서 本 研究의 最終의 地下地質 및 構造解析圖이다.

그림에서 보는 바와 같이 Conrad 不連續面의 深度는 測線의 西側端에서 14.8km이고, 東쪽으로 갈수록 直線的인 趨勢로 알려져서, 釜山에서는 約 13.9km이며, 測線의 東側端에서는 13.6km이다. 그리고 梁山斷層과 東

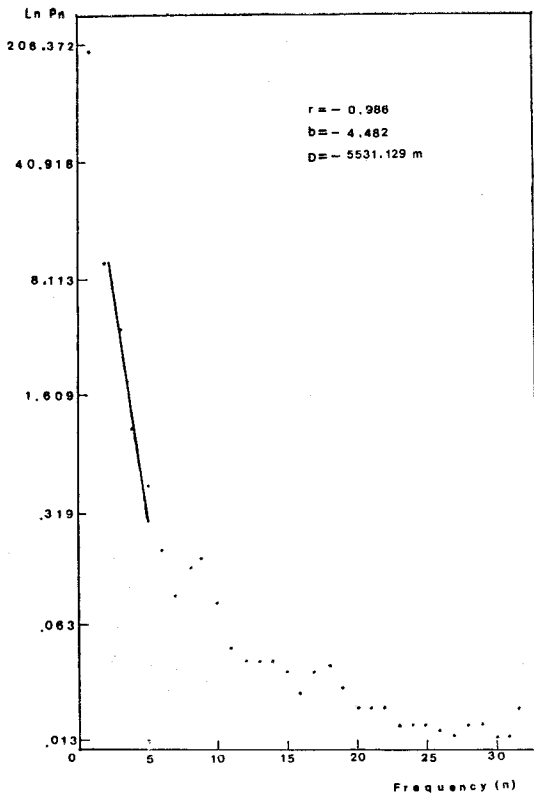


Fig. 3 Logarithmic power spectrum along line C1.

Table 1 Density of rocks. (Lee, Chunhun et al., 1972)

Rock name	Density (g/cm ³)
Kyongsang basin sedimentary rocks	2.60*
Pre-Cambrian gneiss	2.58*
Granites	2.55*
Andesites	2.61*
Basaltic layers	3.00**
Diorite and granodiorite	2.72*
Tuff	2.70**
Felsite and aplite	2.53**
Fracture zone	1.50~2.50**

* Lee Chunhun et al., 1972 **assumed

萊斷層사이에서는 周圍보다 約 500m 上昇한다.

慶尙盆地 基盤岩의 深度는 測線의 西側端에서는 4.8km이며 馬山을 지나면서 깊어지기 始作하여 測線의 西側端으로 부터 約 18km되는 地點에서 最大深度 5.6km에 달하고 以後 서서히 增加하여 釜山 附近에서 約 4.5km, 測線의 東側端에서는 4.3km이다. 基盤岩

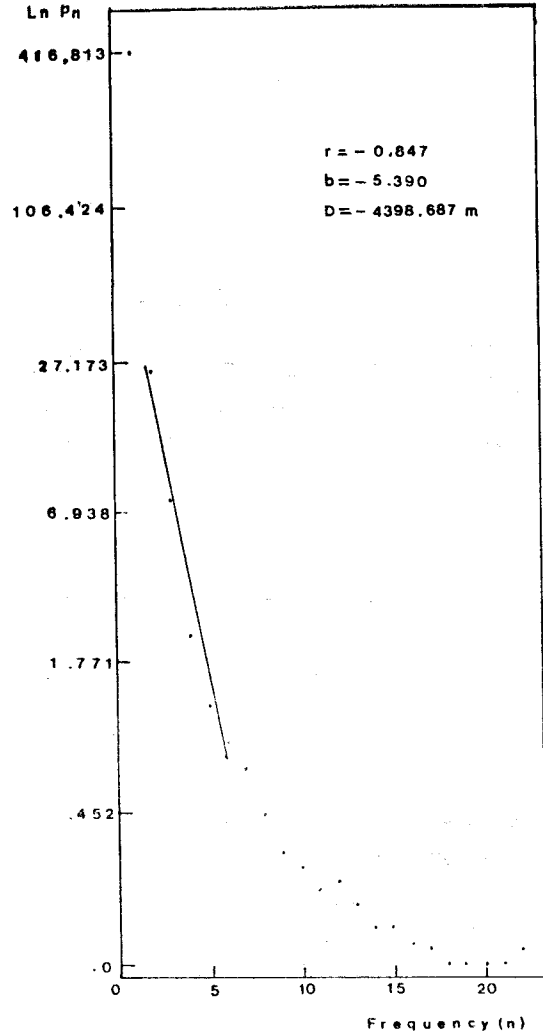


Fig. 4 Logarithmic power spectrum along line C3.

역시 Conrad 不連續面과 마찬가지로 두 斷層사이에서는 約 500m 上昇한다.

두 곳의 커다란 무게低異常帶의 原因이 되는 佛國寺 花崗岩類는 馬山 附近에서는 約 3.5km 深部까지, 그리고 金海 附近에서는 約 5.3km 深部까지 分布한다. 또한 到處에 分布하는 安山岩類들 가운데, 測線의 左側端으로 부터 約 30km되는 地點에는 斑狀質安山岩이 深度 約 2.5km까지 分布하고 있으며, 그 나머지는 深度 1km 内外로 分布한다. 또 이와 噴出關係인 流紋岩 質凝灰岩은 約 500m 두께로 分布하며 그 밖에 閃綠岩, 花崗閃綠岩과 酸性脈岩類인 半花崗岩 및 珪長岩이 各 各 1~1.7km 深度까지 岩柱狀으로 存在한다.

부게重力異常曲線에서 V字形의 低異常帶가 곳곳에서

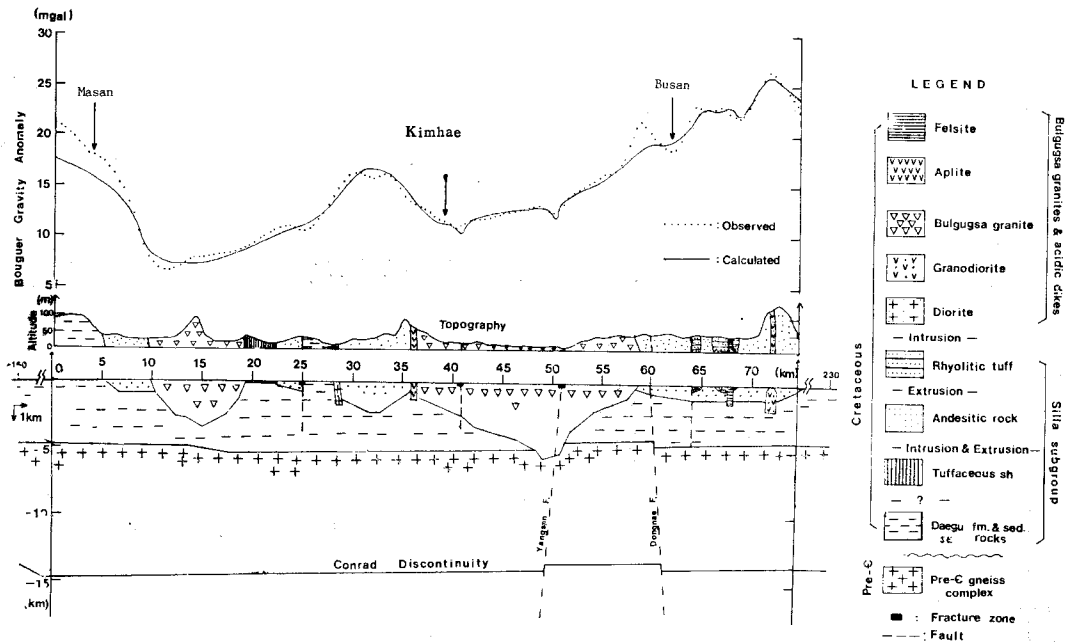


Fig. 5 Bouguer gravity anomaly and cross-sectional model.
upper: observed and calculated Bouguer gravity anomaly,
middle: topography, lower: subsurface model

나타나는데, 이들은 모두 破碎帶를 隨伴한 斷層에 依한 影響으로서, 測線의 西側端으로 부터 25km 地點의 것은 密陽斷層으로, 50km地點의 것은 梁山斷層으로 解析되며, 그 外의 것들도 小規模의 斷層으로 解析된다.

本 域의 西側端에서 計算된 무게重力異常值보다 實測值가 더 큰 값을 보이는데 이는 本 域 西側 外部에서 Conrad 不連續面이 갑자기 上昇한 것에 따른 影響으로 思料된다.

結 論

慶尙層群의 基盤構造와 地質構造를 研究하기 爲하여 馬山에서 金海를 거쳐 釜山을 지나 東海岸에 이르는 約 75km의 國道를 測線으로 하여 總 69點에서 重力을 測定하여 무게重力異常을 求하고 이를 Fourier 級數方法과 Talwani 方法을 通하여 解析한 結果는 다음과 같다.

1. 本 域에서 Conrad 不連續面의 深度는 馬山附近에서 14.8km이고 釜山쪽으로 가면서 점점 淺어져서 釜山에서는 13.9km, 그리고 測線의 東側端에서는 13.6km이며, 梁山斷層과 東萊斷層사이에서는 約 500m 정도 上昇하였다.

2. 慶尙盆地 基盤岩의 深度는 本 域 西側端에서 約

4.8km이며, 馬山을 지나면서 淺어지기 시작하여 馬山에서 東쪽으로 約 15km되는 地點에서 最大 5.6km이며, 그 以後로는 서서히 淺어져서 釜山附近에서는 約 4.5km이며 東側端에서는 4.3km이다. 또한 Conrad 不連續面과 마찬가지로 梁山斷層과 東萊斷層사이에서는 約 500m 上昇하였다.

3. 本 域에는 斷層과 이에 隨伴되는 破碎帶로 인한 V字形의 무게低異常帶가 곳곳에 나타나며, 이 中 西側端으로 부터 25km되는 地點의 것은 密陽斷層으로, 50km 地點의 것은 梁山斷層으로 解析된다.

4. 佛國寺花崗岩類는 馬山附近에서는 地下 約 3.5km까지, 金海附近에서는 約 5.3km에 까지 分布하며, 測線 中央部의 斑狀質安山岩(約 2.5km)을 除外한 安山岩은 約 1km의 深度로 分布한다. 그 外에 閃綠岩, 花崗閃綠岩 및 酸性脈岩類들도 各各 1~1.7km에 까지 岩柱狀으로 存在한다.

參 考 文 獻

金性均(1979) Geodetic & Geophysical Analysis of Gravity Data in Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., v. 12, p.17-28.
金昭九·金尙照(1983) 地震波를 利用한 南韓의 地殼構

- 造研究. 鑛山地質, v. 16, p. 51-61.
- 金玉準·鄭鳳日·嚴相鎬·章基弘·朴奉淳·姜必鍾(1980) 韓半島의 地震地體構造分析에 관한 研究. 과학기술 지, 159p.
- 閔庚德·金玉準·尹碩奎·李大聲·朱承煥(1982) 韓國 南部의 白堊紀末 以後의 火成活動과 鑛化作用에 對한 板構造論의 適用性 研究(I). 鑛山地質, v. 15, p. 123-154.
- 閔庚德·鄭鍾大(1985) 重力探査에 依한 慶尙層群內 倭館—浦項間의 地下構造研究. 鑛山地質, v. 18, p. 321-329.
- 李基和(1979) 韓半島의 地殼均衡에 관한 研究. 地質學會誌, v. 15, p. 134-140.
- 이천훈·이도영(1972) 慶尙盆地 重力探査報告書. 國立地質調查所, 地球物理化學探査 研究報告, v. 6(1), p. 71-81.
- 章基弘(1975) 韓半島 東南部의 白堊系層序. 地質學會誌, v. 11, p. 1-23.
- 章基弘(1978) 慶尙盆地의 層序, 堆積 및 地構造(III). 地質學會誌, v. 14, p. 120-135.
- 장경진·박종남(1971) 慶尙盆地에 對한 重力探査 中間報告. 國立地質調查所, 地球物理化學探査 研究報告, v. 5(1), p. 79-89.
- Hammer, S. (1939) Terrain Correction for Gravimeters Stations. Geophysics, v. 4, p. 184-194, Sec.
- John C. Davis (1973) Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons, Inc., p. 222-231., p. 256-271.
- Lee, S.M. (1974) The Tectonic Setting of Korea with relation of Plate Tectonics. CCOP. Tech. Bull., Vol. 80.
- Tateiwa (1929) Gyeongju, Yeongcheon, Daegu and Waeguan Sheets. Geol. Atlas Chosen, No. 10, Geol. Surv. Chosen.
- Talwani, Worzel and Landisman (1969) Gravity Computations for Two-dimensional Bodies. Journal of Geophysical Research, v. 64, No. 1, p. 49-59.
- Talwani, M. (1982) Computer Usage in Computation of Gravity. Methods in Computational Physics, v. 13, p. 343-389.