

뉴헤브리디스 해분의 지질·지구물리학적 특징에 관한 연구

박 충 화

대전대학교 공과대학 지질공학과

Geological and Geophysical Characteristics of the New Hebrides Basin

Chung-Hwa Park

Department of Engineering Geology, College of Engineering,
Taejon University, Taejon 300-716, Korea

Abstract: The New Hebrides Basin is an inactive non back-arc basin located at the convergent boundary of the Pacific and Indo-Australian plates. This basin was formed from 46 Ma to 60 Ma. The basin has two spreading episodes with rates of 34 mm/a for 42 to 47 Ma and 17 mm/a for 47 to 60 Ma. The sediments covered in the basin has uniform thickness of 0.65 sec. The age-depth correlation curve of the New Hebrides Basin can be represented by the following equation: $Depth (m) = 2689 + 312\sqrt{Age (Ma)}$ The coefficient of 312 in this equation is close to that for major oceans, 350. This suggests that the cooling processes of the lithospheres in the New Hebrides Basin and major oceans are similar to each other. Free-air gravity anomalies of the basin varying from -22.3 mgal to +59.0 mgal. The mean value is +30.2 mgal higher than those of the normal oceans. Moderately large free-air gravity anomalies in the New Hebrides Basin are presumably owing to its location on a marginal swell along the New Hebrides Trench. It is generally observed that the ocean floor is very gently uplifted in a zone about 200 km oceanward of the trench axis. Positive free-air gravity anomalies amounting to 50~60 mgal are usually observed on the crest of the swell. This topography is presumably by bending of the oceanic lithosphere so as to dynamically maintain nonisostatic states for some duration.

Key words: inactive non back-arc basin, age-depth correlation curve, free-air gravity anomaly, marginal swell, bending of the oceanic lithosphere.

요 약: 뉴헤브리디스 해분은 태평양판과 인도-오스트레일리아판의 경계부에 위치한 고령의 비활동적 비배호상 해분이다. 46 Ma에서 60 Ma 사이에 형성된 뉴헤브리디스 해분은 형성과정상 34 mm/a(42 Ma~47 Ma)와 17 mm/a(47 Ma~60 Ma)의 두가지 상이한 확장율을 보이며, 해분의 표층은 0.65 sec 두께의 퇴적층으로 전반적으로 고르게 피복되어 있다. 본 연구에서 산출된 해분의 성장·발달 곡선은 $Depth(m) = 2689 + 312\sqrt{Age(Ma)}$ 라는 수식으로 표현될 수 있으며, 여기서 냉각계수 312는 일반대양저의 350과 매우 유사함을 보이는 것이 특징이다. 이러한 특징은 해분의 암권의 성장·발달과정이 일반대양저와 유사할 가능성을 강력히 시사하고 있는 것으로 사료된다. 해분의 전반적인 후리-에어 중력 이상치는 -22.3 mgal에서 +59.0 mgal까지 심한 변화폭을 보이고 있다. 평균 중력이상치는 +30.2 mgal로 일반대양저에 비해 현저히 높은 값을 나타내고 있다. 이는 일반적으로 잘 나타나지 않는 매우 특이한 현상이다. 이것은 해분 자체가 섭입하는 판경계에 위치해 있어 marginal swell의 형상을 취하고 있기 때문인 것으로 해석된다. 이 swell들은 일반적으로 해구축상에서 대양저를 향해 약 200 km 범위내에서 관찰되어지며, 이들의 후리-에어 중력이상치는 평균 +50~+60 mgal을 보이는 것이 일반적이다. 해분의 높은 양의 중력이상치는 이러한 지형적인 특수성에 기인하는 것으로 보여진다. 해분의 위치적 특성 및 암권 자체의 구부러짐에 따른 불안정성은 뉴 헤브리디스 해분의 대표적인 지질·지구물리학적 특징이라고 할 수 있다.

주요어: 고령의 비활동적 비배호상 해분, 성장·발달 곡선, 후리-에어 중력 이상, marginal swell, 암권의 구부러짐.

서 론

전 세계에는 약 40여개의 연해 해분(marginal sea basin)들이 존재한다. 이들 연해 해분들은 그들의 형성 과정상 보여지는 특징들에 의해 활동적 혹은 비활동적인 것, 또는 배호상(back-arc basin) 혹은 비 배호상 해분(non back-arc basin) 등으로 구분지을 수 있

다(Taylor and Karner, 1983). 일반적으로 배호상 해분들은 일반 대양저와 그들의 형성 과정상 많은 차이 점을 보이고 있으나 비 배호상 해분들은 일반 대양저와 유사한 지질·지구물리학적 특징들을 가지고 있다(Karig, 1971). 뉴 헤브리디스 해분의 경우는 오스트레일리아 대륙의 우측 남서 태평양양역에 위치하고 있는 비활동적, 비 배호상 해분에 속한다(Taylor and

Karner, 1983; Park *et al.*, 1990; 1994). 뉴 헤브리디스 해분은 주변의 코랄(Coral), 뉴 칼레도니아(New Caledonia), 북 피지(North Fiji), 남 피지(South Fiji)해 분들에 의하여 둘러 쌓여져 있다(Fig. 1). 해분 자체는 역삼각형 모양의 특이한 형태를 취하고 있는 고령의 해분이다. 뉴 헤브리디스 해분과 북 피지 해분의 사이에는 뉴 헤브리디스 호상열도 및 섭입대가 발달해 있다. 인도-오스트레일리아 판의 북서 선단에 해당하는 뉴 헤브리디스 해분은 현재 해분자체가 섭입하고 있는 연해 해분중 상당히 독특한 지형적 특색이 있는 곳이다.

본 연구는 뉴 헤브리디스 해분의 생성연대 및 성장·발달 과정, 중력, 자력, 지진 탐사자료들의 해석 결과 등을 바탕으로 해분 자체가 보유하고 있는 지질학적 특성을 고찰, 제반 지질환경을 파악하고자 하는 것이 주목적이다. 뉴 헤브리디스 해분은 고령의 비활동적, 비배호상 해분으로서 일반적으로 일반대양저와 많은 유사성을 지닐것으로 추정되어져 왔으나, 본 연구의 결과는 일반대양저와 비교되는 차이점들을 제시할 것이다. 본 연구를 통하여 뉴 헤브리디스 해분의 생성연대 자료의 종합적 해석 결과, 그리고 지자기 자료, 기반수심 자료, 중력 및 지진 자료들의 통계적 처리 및 해석결과들이 상세히 보여지게 될 것이며, 이에

따라 일반대양저와는 물론이고 타 해분과도 상당한 차이점을 보이는 고유의 지질·지구물리학적 환경특성이 밝혀지게 될 것이다.

연구방법

본 연구를 위해 뉴 헤브리디스 해분에 관한 대규모의 지질학 및 지구물리학적 자료들이 통계학적으로 처리되었다. 사용된 자료들은 1960년대에서 1980년대 사이에 얻어진, NOAA/NGDC(National Oceanic and Atmospheric Administration/National Geophysical Data Center), JODC(Japan Oceanographic Data Center of the Hydrographic Office of Japan) 및 동경대학교 해양연구소가 보유하고 있는 전 세계 항해 탐사자료, 즉 기반수심, 자력, 중력, 국제지진, 탄성과 탐사자료들이 주를 이루고 있다.

연구는 다음과 같은 방법과 수순에 의거하여 진행되었으며, 연구과정에서는 자료처리를 위한 독창적 프로그램의 개발 및 해석기법이 사용되어졌음을 밝혀둔다. 연구방법을 간단히 기술해 보면 다음과 같다.

1) 해분에 대한 기존의 연구자료인 지자기호상이상 곡선(Magnetic anomaly lineation)의 동정결과 자료 및 심해굴착(Deep Sea Drilling) 자료를 종합 분석하여 우선적으로 해분의 생성연대를 파악한다. 또한 해분의 확장축(Spreading Axis), 확장방향(Spreading

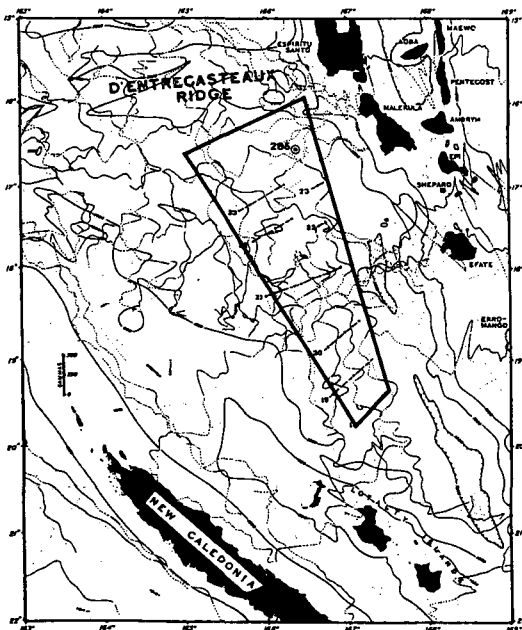


Fig. 1. Location of the New Hebrides Basin [a solid rectangular] bordered by Loyalty islands, D'Entrecasteaux Ridge.

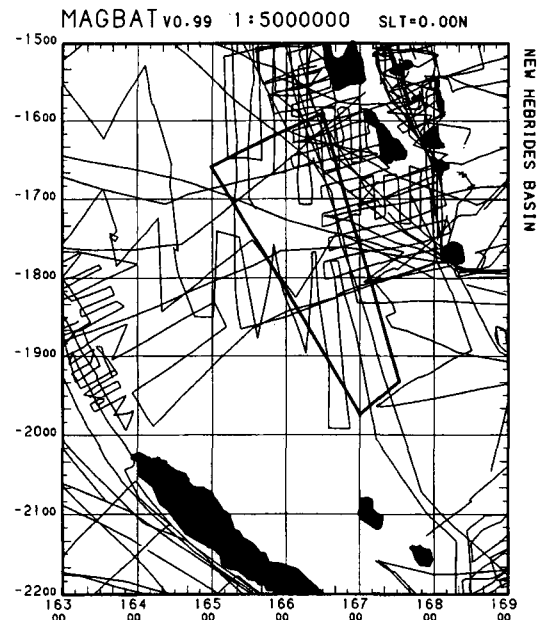


Fig. 2. Ship's tracks in the New Hebrides Basin used for the present study.

Direction), 확장속도(Spreading rate)도 결정한다. 뉴헤브리디스 해분의 지자기호상이상곡선의 동정결과 자료 및 심해굴착 자료는 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

2) 확장축을 중심으로 생성연대에 따른 확장방향 및 속도에 의거하여 동일한 지구조운동을 보이고 있는 구역을 하나의 단위로 해분내의 영역을 구분한다. 나누어진 각각의 영역들에 대한 전 자료의 수심 보정, 퇴적물 하중보정 등을 실시한다. 기반수심 자료에 대한 수심 보정은 음향 측심 보정표(Echo-Sounding Correction Tables(Carter, 1980))을 사용하여 전 자료에 걸쳐 실행되어졌다. Fig. 2는 본 연구에서 사용된 항해 자료 및 굴착 자료를 보여주고 있다. 퇴적물 하중보정에 있어서는, 먼저 해분내의 퇴적층 두께를 탄성과 자료의 해석을 통해 결정지어, 각각의 자료들에 대하여 하중보정을 실시하였다(Crough, 1983). Fig. 3에서 보는 바대로 해분의 퇴적층 두께의 결정은 탄성과 탐사자료의 해석 결과를 바탕으로 한 것이다.

3) 획득된 전 자료를 생성연대, 확장축, 확장방향

및 속도에 따라 변환시켜 확장축을 중심으로 재구성한다.

4) 해분내의 각 영역별로 생성연대-기반수심 단면, 생성연대-중력이상 단면 등을 작성하고, 각 단면들을 합성하여, 생성연대-기반수심 단면, 생성연대-중력이상에 대한 총체적 단면을 작성한다. 그리고 각각의 통계처리 및 분석을통해, 생성연대-기반수심 상호 관계(Age-depth correlation) 곡선의 산출 및 수식화, 생성연대-중력변화 상호 관계(Age-Free-air gravity anomaly correlation) 곡선의 산출 및 변화량을 계산한다.

5) 위 결과 및 각종 요소들의 고찰을 바탕으로, 일반 대양저 및 타 고령의 해분들과의 비교를 통해 뉴헤브리디스 해분이 지니고 있는 제반 지질·지구물리학적 환경특성을 밝힌다. 일반 대양저와의 비교를 위해 일반대양저의 전형적인 영역에 대한 중력이상치의 변화 양상도 산출하였다.

연구결과

해분의 생성연대, 확장축, 확장방향과 속도

뉴 헤브리디스 해분의 생성연대는 타 해분의 생성연대 측정과 동일한 방법으로, 지자기호상이상곡선의 동정결과(Weissel *et al.*, 1982)와 심해굴착계획(DSDP site 286)에 의해 얻어진 자료의 분석을 바탕으로 결정되어졌다. 그 결과 뉴 헤브리디스 해분은 42 Ma에서 60 Ma 사이에 남동에서 북서방향으로 확장된 것으로 결정되었다. 해분의 확장방향 및 속도는 생성시기에 따라 두가지 양상을 보인다. 42 Ma에서 47 Ma 사이에는 34 mm/a의 속도로 N40°W 방향으로 확장했으며, 47 Ma 이후에는 17 mm/a의 속도와 N20°W 방향을 가지고 확장되었다. 해분의 기반수심은 뉴 헤브리디스해구 쪽으로 갈수록 전반적으로 깊어져 가는 경향이 있다. 해분의 퇴적층 두께는 Fig. 3의 탄성과 탐사자료에 나타나 있는것과 같이 0.65 sec.로 해분 전반에 걸쳐 균일한 양상을 보이고 있다.

해분의 생성연대-기반수심 상호 관계(Age-Depth Correlation)

해분의 성장·발달사를 추정하기 위해서 해분의 생성연대에 따른 기반수심의 상호관계 곡선을 산출(Fig. 4, 상단)하고 그것을 수식화하였다. 그 결과 다음과 같은 뉴 헤브리디스 해분의 생성연대-기반수심 상호 관계식이 얻어졌다.

$$\text{Depth (m)} = 2689 + 312\sqrt{\text{Age (Ma)}}$$

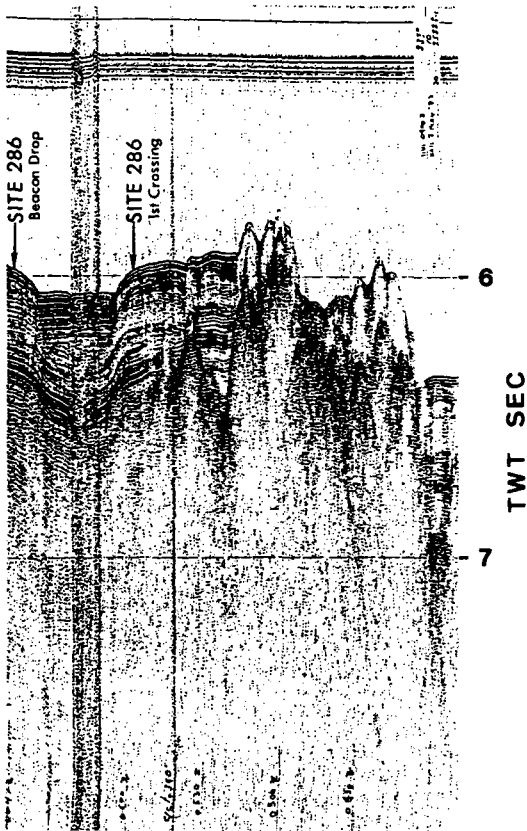


Fig. 3. Seismic reflection profile taken on board the D/V Glomar Challenger on approach to site 286 (Andrews *et al.*, 1975b). See Fig. 1 for location.

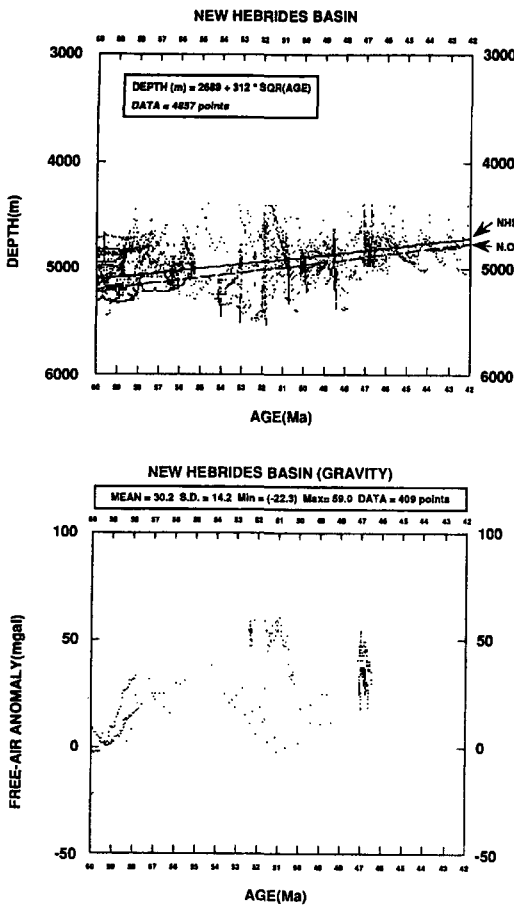


Fig. 4. Top; Stacked bathymetric profile of the New Hebrides Basin after correction of sediment loading. Age-depth curves are obtained from 42 to 60 Ma. Bottom; Free-air gravity anomalies in the New Hebrides Basin. Note that gravity anomalies are very variable so that the average value does not represent general tectonic characteristics of the whole basin.

이러한 결과는 일반 대양저의 관계식인

$$\text{Depth (m)} = 2500 + 350\sqrt{\text{Age (Ma)}} \quad (\text{Parsons and Sclater, 1977})$$

과 매우 유사함을 보이고 있다. 두 식의 Zero age depth인 2500과 2689, 냉각계수인 350과 312 모두 거의 흡사한 수치로써 해분의 성장 발달이 일반 대양저의 양상을 따르고 있음을 명확히 보여주고 있다.

해분의 생성연대-후리 에어 중력이상(Age-Free-air gravity anomaly Correlation)

해분의 기반 안정성 문제를 검토하기 위하여, 해분의 생성연대에 따른 중력이상치(Free-air gravity anomaly)의 변화를 산출하였다. 그 결과, Fig. 4의 하단에

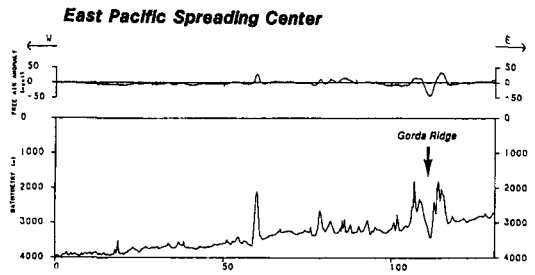


Fig. 5. Free-air gravity anomalies in the East Pacific Rise with topographic profiles.

서 보여지는 바대로 변화폭이 매우 큰 것으로 나타났다. 중력이상치의 최저치는 -22.3 mgal, 최대치는 +59 mgal로 그 변화폭은 81.3 mgal을 보이고 있다. 평균 +30.2 mgal을 나타냄으로써 양의 중력 이상이 현저한 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과는 생성연대-기반수심 상호 관계식을 통해서 보여졌던 일반적 해양저의 형태와는 상반된 결과를 나타내고 있다. 생성연대-기반수심 상호관계식으로부터 유추해 볼 때에는 뉴 헤브리디스 해분의 경우는 중력 이상이 거의 나타나지 않을 것으로 기대되고 있었다. 일반 대양저의 경우 중앙 해령 부근을 제외하고는 암권의 중력 이상치는 Fig. 5와 같이 거의 0 mgal에 가깝기 때문이다. 또한 특이한 경우라 하더라도 ±20 mgal 범위를 벗어나지 않는 것이 일반적인 특징으로 알려져 왔다. 그러나 고령임에도 불구하고 뉴 헤브리디스 해분의 경우는 현저한 양의 중력 이상치를 보임으로써 기반의 불안정성을 시사하고 있다.

논 의

뉴 헤브리디스 해분은 전형적인 비배호상해분에 속한다. 생성연대도 고령으로서 일반적으로 일반대양저의 지질·지구물리학적 특성과 유사점이 많을 것으로 추정되어 왔다. 그러나 본 연구결과는 해분의 새로운 지질·지구물리학적 특성을 제시함으로써, 해분 자체가 매우 불안정한 상태에 있음을 보여주고 있다. 수식화된 생성연대-기반수심 상호 관계곡선의 산출 결과를 바탕으로 암권의 발달 과정을 유추해 보면, 일반 대양저의 발달 과정과 매우 유사한 성장 과정을 보임으로써, 해분 자체의 성장·발달 과정이 안정적이었던 전형적인 비 배호상 해분이었음으로 추정된다. 그러나, 해분의 양의 중력 이상치는 해분의 지형적 특성의 영향으로 기반이 불안정한 상태에 있음을 강력히 시사하고 있다. 예외적으로 확장축과 같은 고지형의 경우에는 양의 중력 이상을 보일 수 있

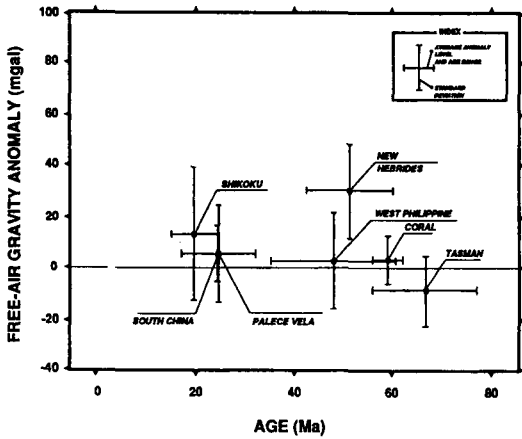


Fig. 6. Free-air gravity anomalies of old marginal basins versus age.

나, 일반적으로 고령의 안정된 암권이 보여주고 있는 중력이상치는 거의 0에 가깝다. Fig. 6과 같이 일반대양저는 물론, 다른 고령의 해분들은 안정된 중력이상치를 보여주고 있다. 그러나 뉴 헤브리디스해분의 경우는 일반적인 형태를 현저히 벗어나고 있음을 본 연구결과에 의해 알 수 있다. 중력이상치가 거의 나타나

지 않을 것으로 추정되던 고령이고 비활동적 해분임에도 불구하고 이러한 높은 중력이상치를 보여준다는 것은 기반 자체가 어떠한 불안정한 상태에 놓여 있다고 추정할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 Fig. 7과 같이 해분과 섭입대를 포함하는 기반 수심 단면도 및 중력이상도를 작성해 보았다. 그 결과 해분 전체가 뉴 헤브리디스 해구 쪽으로 섭입하며 돛형태로 상승되어 있는 지형적 특성을 확인할 수 있었다. 일반 대양저에서 흔히 나타나는 하나의 지질학적 현상이 있다. 일반적으로 해양저 자체가 섭입하고 있을 경우에 해구와 만나는 경계부 부근에 나타나는 고도의 지형이 있다. 이를 "Outer Swell" 혹은 "Marginal Swell"이라고 칭한다. 이러한 특수 지형은 기반 자체가 섭입하는 과정에서 구부러짐(bending)에 의해 활모양의 단면으로 들어 올려지게 되는 것에 의하여 형성되는데, 이 때 작용하는 지구조적 운동에 의하여 중력이상치가 평균 +50 mgal 정도를 나타내게 된다. 그런데, 공교롭게도 뉴 헤브리디스 해분 자체가 인도-오스트레일리아 판의 북서 끝단에 해당하며, 북 피지 해분의 밑으로 섭입해 들어가는 양상으로 발달해 있다. 또한 양의 중력이상을 보이고 있다. 따라서, 뉴 헤브리디스 해분은 원래 고령의 안정적

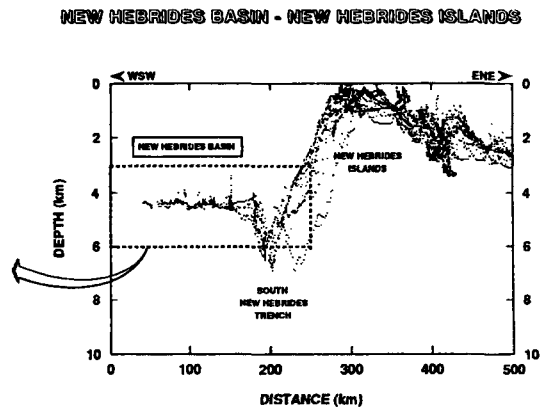
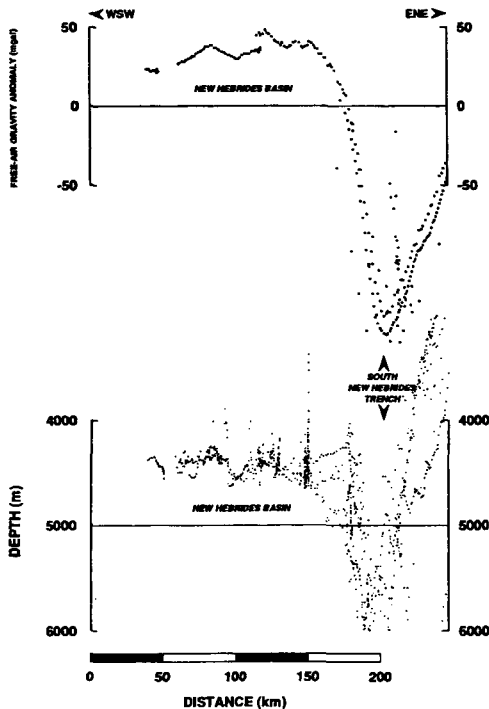


Fig. 7. Cross-sections of topography (right & bottom, left) and free-air gravity anomalies (top, left) traversing in a direction nearly perpendicular to the New Hebrides Arc-Trench-Basin illustrating features of the marginal swell. Note that these profiles are perpendicular to those shown in Figs. 1 & 4.

해분으로서 발달해왔으나, 해분자체가 인도-오스트레일리아 판의 "Outer Swell"에 해당하고 있는 지형적 특수성때문에, 양의 중력이상을 갖는 불안정한 양상을 보이게된 것이라고 추정된다.

결 론

1) 산출된 뉴 헤브리디스 해분의 생성연대-기반수심 상호 관계 곡선(Age-depth correlation curve)은 $Depth(m) = 2689 + 312\sqrt{Age(Ma)}$ 라는 수식으로 표현되어졌다. 이는 일반 대양저의 암편의 안정된 성장·발달 과정과 유사한 성장·발달 과정을 통해 형성된 해분임을 강력히 시사하고 있는 것이다. 따라서 뉴 헤브리디스 해분은 42 Ma에서 60 Ma 사이에 형성된 고령의 비 배호상 해분에 속한다고 볼 수 있다.

2) 뉴 헤브리디스 해분은 일반적인 고령의 해양저와는 달리 현저한 양의 중력이상치를 갖는다. 중력이상치의 최저치는 -22.3 mgal, 최대치는 +59 mgal로 그 변화폭은 81.3 mgal을 보이고 있다. 평균 +30.2 mgal을 나타냄으로써 양의 중력상이 현저한 것으로 밝혀 졌다. 따라서 기반은 일반적인 고령의 해양저의 특징에서 벗어나 있으며, 현재 불안정한 상태에 놓여 있을 것으로 추정된다.

3) 위의 두 결과를 종합해 볼 때, 뉴 헤브리디스 해분은 타 고령의 해분처럼 안정된 상태에서 일반대양저와 유사한 형태로 형성되어졌으나, 그 후 해분 전체가 인도-오스트레일리아 판의 "Outer Swell"에 해당하는 지형적 특수성에 의해, 현저한 양의 중력이상을 보이며 기반이 불안정한 상태에 있는 것으로 추정된다.

사 사

본 연구를 위해 자료 제공 및 전반적인 토의에 많

은 도움을 주신 일본 해양과학기술센터의 Kobayashi Kazuo 선생님과 동경대학교의 Tamaki Kensaku 교수님께 먼저 진심으로 감사 드립니다. 본 논문의 논의를 위해 많은 귀중한 시간을 내주신 경상대학교 좌용주 교수님과 한국해양연구소 이종익 박사님, 그리고 본 논문의 투고 과정에서 아낌없는 도움을 준 대전대학교 지질공학과 동료 및 학생들께 도 감사드립니다.

참고문헌

- Andrews, J. E., Packham, G., *et al.*, 1975. Initial Report of the Deep Sea Drilling Project, Washington (U.S. Govt. Printing Office), 30, 69-131.
- Carter, D. J. T., 1980. Echo-sounding correction tables third edition. The Hydrographic Department Ministry of Defence Taunton, pp. 1-150.
- Crough, S. T., 1983. The correction for sediment loading on the seafloor. *J. Geophys. Res.*, 88, 6449-6454.
- Karig, D. E., 1971. Origin and development of marginal basins in the western Pacific. *J. Geophys. Res.*, 76, 2542-2561.
- Park, C-H, Tamaki, K. and Kobayashi, K., 1990. Age-depth correlation of the Philippine Sea back-arc basins and other marginal basins in the world. *Tectonophy.*, 181, 351-371.
- Park, C-H, Tamaki, K. and Kobayashi, K., 1994. Age-depth correlation of marginal basins in the world. *The Monthly Earth*, 9, 103-110.
- Parsons, B. and Sclater, J. G., 1977. An analysis of the variation of ocean floor bathymetry and heat flow with age. *J. Geophys. Res.*, 82, 803-827.
- Taylor, B. and Karner, G. D., 1983. On the evolution of marginal basins. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 21, 1727-1741.
- Weissel, J. K., Watts, A. B. and Lapouille, A., 1982. Evidence for Late Paleocene to Late Eocene seafloor in the southern New Hebrides Basin. *Tectonophy.*, 87, 243-251.