

## 활동적 배호상 해분의 비대칭적 지형과 그들의 구조적 해석

박 충 화\*

### Asymmetric Topography of Active Young Back-arc Basins and Tectonic Implications

Chung-Hwa Park\*

**ABSTRACT** : Active young back-arc basin such as Mariana, Havre, Lau, Manus, East Scotia basins have asymmetric topography of two types in respect to the spreading axis. The arc-trench wing of Mariana Trough, Lau basin and Havre Trough are shallower toward the active arc, whereas those Manus and East Scotia basins are nearly symmetric to the opposite wings. The other asymmetry which shows the spreading axis deviated from the geographic axis toward the active arc is observed in each basin. Active young back-arc basins show a large variety of asymmetry rates ranging from the lowest East Scotia Basin to the highest Mariana Trough. The asymmetric topography of these young back-arc basins seems to be caused by the rollback rate of downgoing slab under the basin. As the rollback rate increases, the asymmetry rate systematically decreases.

#### 서 론

전 세계의 대륙과 해양의 경계부에는 연해 해분 (marginal sea basin)이라 불리는 다수의 소규모 해분이 분포하고 있다. 일부 몇 개의 해분들을 제외하고는 대부분 서태평양 연안에 집중적으로 발달해 있으며, 북에서 남으로 길게 "S"자 형태를 취하고 있다. 일반적으로 이들 연해 해분은 성장 발달 과정에 따라 배호상 해분 (back-arc basin)과 비배호상 해분 (non-back-arc basin)으로 나눌 수 있다. 배호상 해분은 대게 호상열도 및 해구를 수반하고 자체적인 해양저 확장 (sea-floor spreading)을 통해 형성되어진 것으로 정의되어지고 있으며, 그 이외의 것은 비배호상 해분으로 분류하고 있다 (Taylor, Karner, 1983). 연해 해분들은 대부분 복잡한 생성과정을 통하여 형성되어지며, 고해령 (paleoridge), 도호 (island arc), 해구 (trench), 해산 (seamount), 열곡 (rift) 등의 특징적 지형들이 해분 내에 혹은 그 주변에 잘 발달해 있음을 보여주고 있다. 본 연구는 배호상 해분과 비배호상 해분들 중 특히 젊고 활동적인 배호상 해분들의 형성 과정에서 보여주는 비대칭성에 대한 지질, 지구물리학적 해석을 주

목적으로 하고 있다.

과거부터 다수의 연해 해분들의 확장축이 어느 한 쪽으로 치우쳐져 있다는 것은 간혹 보고 되어지고 있었으나, 정량적으로 그 원인이 규명된 연구는 없었다. 태평양을 비롯한 대서양, 인도양 등 일반 대양저의 경우에도 중앙해령 (Mid-Oceanic Ridge)들이 대양의 지형적 정 중앙에 위치하고 있지 않은 현저한 비대칭성을 보이고 있다. 해양저 전반에 걸쳐 보여지고 있는 이러한 비대칭적 발달이 해양저 암권의 본질적인 특징인지에 관한 의문점은 지질, 지구물리적으로 매우 중요한 문제로 대두되어져 왔다.

본 연구는 대규모의 지질, 지구물리학적 자료에 대한 정량적인 통계학적 처리에 의하여 배호상 해분들의 정확한 성장·발달 곡선을 구하고, 이들에 대한 해석을 통하여 특히 젊고 활동적인 해분들에 대한 비대칭적 형성과정과 그들이 지니고 있는 구조적 특징을 밝힐 것이다. 또한 본 연구의 결과는 일반대양저의 암권의 성장, 발달에 관한 본질적인 문제를 해결하기 위한 중요한 기초적인 자료가 될 것이다.

연해 해분들은 그들의 생성연대가 젊은 해분에서 고령의 해분으로 갈수록 그들의 기반이 비대칭에서 대칭성에 가깝게 진화하는 성장, 발달과정을 가지고 있다 (Park *et al.*, 1990)고 보고된 바 있다. 또한, 그들 중에서도 비배호상 해분들은 생성연대가 젊어도 대칭적 발달을 하는 경우가 있

\* 대전대학교 공과대학 지질공학과 (Department of Engineering Geology, College of Engineering, Taejon University, Taejon 300-716, Korea)

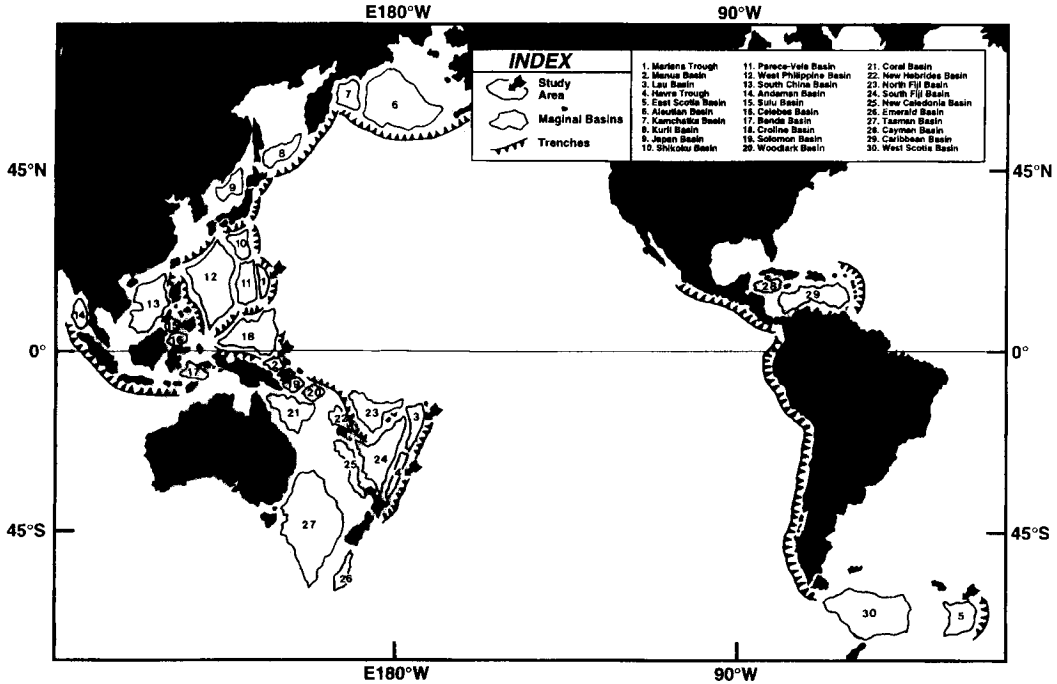


Fig. 1. Index map of active young back-arc basins treated in the present study.

으나, 배호상 해분들의 경우는 비대칭적 형성과정을 보이고 있는 해분들이 많으며, 특히 젊고 활동 중인 배호상 해분들의 경우에는 극단적인 비대칭적 형성과정을 가지고 있는 것들이 다수 존재한다고 알려져 있다 (Park *et al.*, 1990).

Fig. 1은 전 세계에 분포하고 있는 크고 작은 40여개의 연해 해분들 중에서 주요한 해분들의 분포를 보여주고 있으며, 특히 본 연구의 대상인 0~10 Ma 사이에 형성된 젊은 배호상 해분들의 위치를 나타내고 있다. East Scotia Basin을 제외한 모든 본 연구 대상 해분들은 서태평양 해역에 위치하고 있는 것이 특징적이다.

본 연구는 젊고 활동적인 배호상 해분들의 생성연대에 따라 그 단면 구조도를 제시함으로써, 각 해분들의 비대칭성을 정량적으로 보여 줄 것이다. 또한 많은 지질학적 혹은 지구물리학적 요인들과의 상호 연관성도 함께 고찰 되어 질 것이다.

**연구방법**

본 연구에서는 총 5개의 활동적 배호상 해분들에 대한 통계학적 처리 및 분석이 이루어져 있다. 비대칭적 해분들의 정확한 단면을 얻기 위하여, 각 해분의 정밀 수심 자

료를 비롯한 각종의 지질, 지구물리학적 자료들이 사용되어 졌다. 1960~1990 년대 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 전세계 향해 탐사자료를 중심으로, 국제 지진자료, 탄성과 탐사자료, 중력 탐사자료 등 대규모 지질, 지구물리학적 자료가 통계학적으로 처리되고 분석되어 졌다.

본 연구의 구체적인 연구방법 및 그 순서를 밝히는데 있어서 편의상 하나의 대표적인 해분을 예로서 제시한다.

Lau Basin은 Tonga Island arc system 뒤에서 해양저 확대에 의하여 생성된 전형적인 배호상 해분들 중의 하나로서 (Barazangi, Isacks, 1971; Eguchi *et al.*, 1989) 현재 활동 중에 있으며, 생성연대도 비교적 잘 알려져 있어 그 예로서 제시하고자 한다.

**각 해분들의 생성연대 및 확장축, 확장방향, 확장속도의 결정**

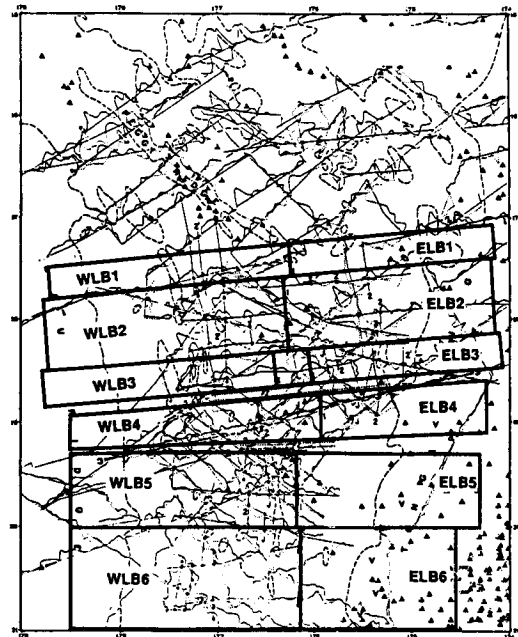
해분의 생성 연대를 결정하는 것은 해분의 모든 지구조적 운동을 해석하는데 있어서 가장 중요한 기초적 작업이

다. 가능한 한 모든 자료를 종합적으로 해석하여 해분내에 있어서 확장방향 및 확장속도에 의거하여 세분화 되어진 각 영역별로 정밀하게 결정하였다. 일반적으로 해양지의 생성연대는 지자기호상이상곡선의 동정결과와 심해굴착계획의 결과보고 (Hawkins, 1974; 1976; Lawver *et al.*, 1976; Weissel, 1977; Burns, Andrew, 1973)를 종합하여 결정짓는다. Lau Basin의 생성연대는 0 Ma~7 Ma로 결정되어 졌으며, 밝혀진 해분의 확장축은 해분의 지형적 정 중앙에서 오른쪽인 도호쪽으로 치우쳐져 남북으로 발달되어 있다. 확장속도는 38 mm/a 이며, Fig. 2에서 보여지는 것처럼 확장방향은 대체로 동서 정방향을 보이고 있다. 타 해분들의 생성연대의 결정도 Lau Basin에서 처럼 지자기호상이상곡선의 동정결과와 심해굴착계획의 결과 보고에 바탕을 둔 것이며, 그 밖의 생성 과정상에서 보여지는 각종 정보들은 Table 1에 종합해 놓았다.

**해분내의 구체적 영역구분**

앞서 결정된 확장축, 확장방향 및 속도에 의거하여 같은 방향성을 보이고 있는 영역들로 세분화하여 자료를 처리하였다. Fig. 2에서 보여지는 바대로 Lau Basin 내에서 나누어진 소규모 영역들은 총 12개이다. 해분의 확장축을 중심으로 왼쪽에서는 WLB1에서 WLB6까지 총 6개, 해분의 오른쪽 해구측에서는 ELB1에서 ELB6까지 총 6개의 영역들로 세분화되어 졌다.

**해분내의 각 영역에 대한 기반 단면도 작성 및 총체적 합성 단면도 작성**



**Fig. 2.** Index map of the Lau Basin. Magnetic anomalies identified by Weissel (1977) are also shown. Six segments LB1 to LB6 (E & W) are defined according to the anomaly patterns.

각각의 소규모 영역들인 WLB1~WLB6, ELB1~ELB6 대한 기반의 단면도가 Fig. 3과 같이 얻어 졌다. 각각의 기반수심 단면을 얻기 전에 자료들은 모두 본 연구를 위해 개발된 특수 자료 처리 시스템을 사용하여 수심 보정 (Carter, 1980)과 기반이 받는 퇴적물 하중 보정 (Crough, 1983)을 거치게 된다. 이렇게 얻어진 정밀 자료

**Table 1.** Parameters of back-arc basins used for the data processing

Back-arc Basin		*Age (Me)	**Spreading Rate (mm/a) and Direction						Number of segments analysed	Referemces
Basin	Segment		Phase1			Phase2				
			Rate	Direction	Age(Ma)	Rate	Direction	Age(Me)		
Mariana	N	0~6	33.0	N60°E	0~?				8	Hussong, Uyeda (1981) Lonsdale (in prep.) Karig <i>et al.</i> (1978)
			33.0	N70°E	0~6					
Havre	S	0~6	33.0	N90°E	0~6				6	Malahoff <i>et al.</i> (1982)
Havre	W	0~18	27.0	N65°w	0~1.8				6	Malahoff <i>et al.</i> (1982)
Lau	W	0~7	38.0	N90°E	0~7				12	Hawkins (1974), Lawver <i>et al.</i> (1976) Weissei (1977)
Manus	NW	0~3.5	65.7	N60°W	0~3.5				4	Taylor (1979), Connelly (1976)
East Scotia	W	0~7	25.5~28.4	N90°E	0~4.5	31.9~33.2	N90°E	4.5~7	6	Weissel <i>et al.</i> (1982)
East Scotia	E	0~4.5	31.2~36.9	N90°E	0~4.5				6	Luyendyk <i>et al.</i> (1973)

\* Ages are inferrd from identified magnetic anomalies, using the reversal time scale of LaBrecque *et al.* (1977).

\*\* The spreading rate and direction with age range adopted and computed in this study based on the hypotheses of several authors.

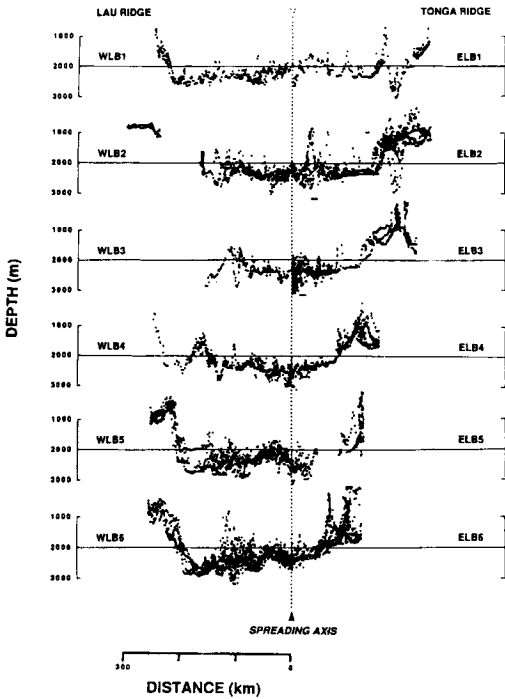


Fig. 3. Stacked bathymetric profiles of each segment in the Lau Basin in respect to the spreading axis.

에 의해 그려진 단면도들은 확장축을 중심으로 모두 겹쳐져 종합화되며, Fig. 4와 같이 Lau Basin의 총체적인 기반 단면도가 작성된다.

해분의 성장곡선의 산출

해분의 성장곡선의 산출은 각 해분의 형성 과정상 보여

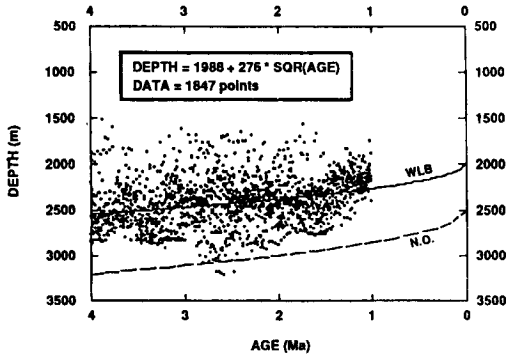


Fig. 5. Age-depth correlation curve of the Lau Basin. Each point corresponds to a bathymetric value in the cruise files corrected for sediment load. The data plotted are taken from all projected and stacked profiles of the Lau Basin. The age for each datapoint was calculated from the spreading rates.

지는 기반의 발달을 가장 잘 알 수 있는 방법이다. Fig. 4에서 보여지는 것처럼 Lau Basin의 좌측부는 일반 대양저와 마찬가지로 전형적인 암권 (lithosphere)의 성장, 발달과정을 갖고 있으나, 우측부에서는 도호쪽으로 갈수록 점점 알아지는 비정상적인 발달과정을 보여주고 있다. 따라서 해분의 좌측부에 대해서만 최소자승법을 사용하여 생성연대에 따른 기반수심의 상관곡선을 산출하였다. 산출된 Lau Basin의 생성연대-기반수심 상관 곡선을 수식으로 표현하면  $Depth (m) = 1988 + 276 \times Age(Ma)^{1/2}$ 로 나타낼 수 있다. Fig. 5는 실제의 Lau Basin의 종합화된 자료 위에 산출된 생성연대-기반수심 상관 곡선을 묘사해 놓은 것이다. 일반 대양저와의 비교 검토를 위해 일반 대양저의 생성연대-기반수심 상관 곡선도 도시하였다. 일반 대양저의 생성연대-기반수심 상관 곡선은 Parsons, Sclater

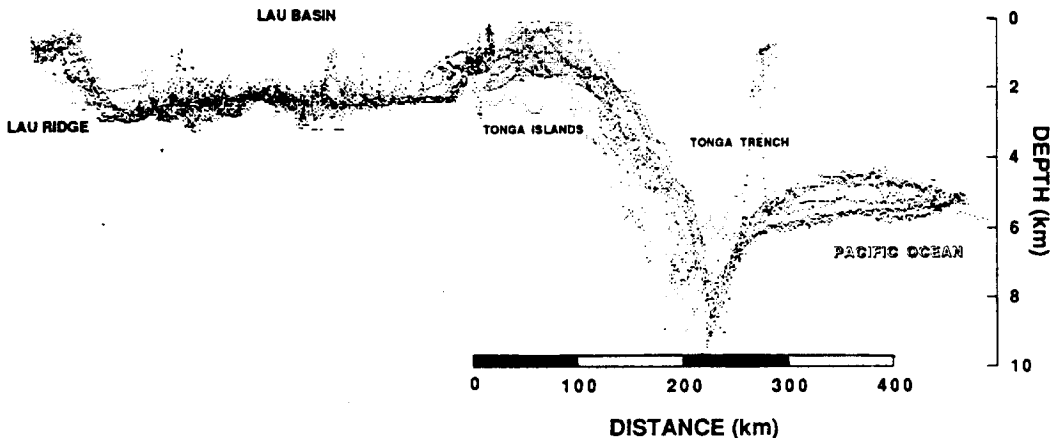


Fig. 4. Stacked bathymetric profile of the Lau Basin and Tonga arc-trench system.

**Table 2.** Parameters related to the variation of asymmetry rates of back-arc basins

Back-Arc Basin	<sup>1</sup> Zer-Age Depth (m)		<sup>1</sup> Cooling Coefficient		Asymmetry rates (%)	<sup>2</sup> Slab Dip (deg.)	<sup>3</sup> Spreading Rate (mm/a)			Rollback (mm/a)	<sup>4</sup> Convergence Rate (mm/a)				
	*AT	*PA	*AT	*PA			*AT	*PA	Total		**C	CR		CRB	
												**C	**MJ	**C	**MJ
Mariana		3222		366	25	90	33.0	33.0	66.0	10.0	60.0	34.0	103.0	77.0	
Havre		2805		197	24	65	27.0	27.0	54.0	29.0	51.0	47.0	105.0	101.0	
Lau		1988		276	23	45	38.0	38.0	76.0	38.0	75.0	72.0	125.0	122.0	
Manus	1815	2001	363	198	17	45	40.0	65.7	105.7	46.0	43.0	45.0	147.0	149.0	
East Scotia	3157	3221	164	60	8	71	34.5	28.1	62.6	66.0	9.0	9.0	79.0	79.0	

<sup>1</sup>The zero-age depth and cooling coefficient were obtained from the equation of age-depth curve calculated in this study.  
<sup>2</sup>Dipping angle of the slab was obtained by synthesis if proposition made by Brooks *et al.* (1984) and the Wadati-Benioff zone geometry plotted by using ISC data base in this study.  
<sup>3</sup>The spreading rates are the computed value by using the age inferred from identified magnetic anomalies.  
<sup>4</sup>"CR" is the convergence rate between the underthrusting plate and the major overriding plate. "CRB" is convergence rates between the underthrusting plate and the forearc sliver.  
 \* "AT" means the active arc-trench side and "PA" means the opposite side of the spreading axis in each basin.  
 \*\* "C" is the value suggested by Chase (1978) and "MJ" is the value proposed by Minster, Jordan (1978).

(1977)에 의해 수식화된  $Depth (m) = 2500 + 350 \times Age (Ma)^{1/2}$ 를 사용하고 있다.

**해분의 비대칭성 산출**

위에서 얻어진 생성연대-기반수심 상관 곡선을 바탕으로 해분의 정확한 단면도를 산출해 내고, 해구쪽으로 갈수록 비정상적인 발달을 보이는 부분은 평균수심 곡선으로 표시해 놓았다. 각 해분의 생성연대-기반수심 및 평균수심 상관 곡선에 의하여 Lau Basin에서는 두 가지 형태의 비대칭성이 발견되었다. 첫째는 해분의 도호쪽에서 일반 대양저의 성장, 발달 형태와는 다르게 도호쪽으로 갈수록 기반수심이 점점 알아지는 비대칭성이 발견되어 왔으며, 둘째는 해분의 확장축이 해분의 지형적 중앙 (geometric center)에 놓여 있지 않고 도호쪽으로 치우쳐져 있음이 밝혀졌다. 확장축에 대한 비대칭율의 산출은 전체 해분의 확장거리에 대해서 확장축이 해분의 중심으로부터 이주한 거리의 비로 산출하였다. Lau Basin의 경우 해분의 총 확장거리는 310 km로, 해분의 중심거리는 155 km에 해당한다. 해분의 확장축은 지형적 중앙 (geometric center)으로부터 35 km 해구쪽으로 이주 되어 있어서 비대칭율은 22.5 %를 보이고 있다. Lau Basin 밑으로 섭입하는 슬랩의 섭입각은 45°로 연해 해분의 평균적 형태를 취하고 있으며 판의 길이는 650 km로 비교적 깊숙이 섭입되어 있는 양상이다. 다른 해분들의 각각의 비대칭율 및 해구의 생성에 직접적으로 깊은 관련을 보이고 있는 섭입하는 슬랩에 대한 여러 정보는 Table 2에 종합적으로 정리해 놓았다.

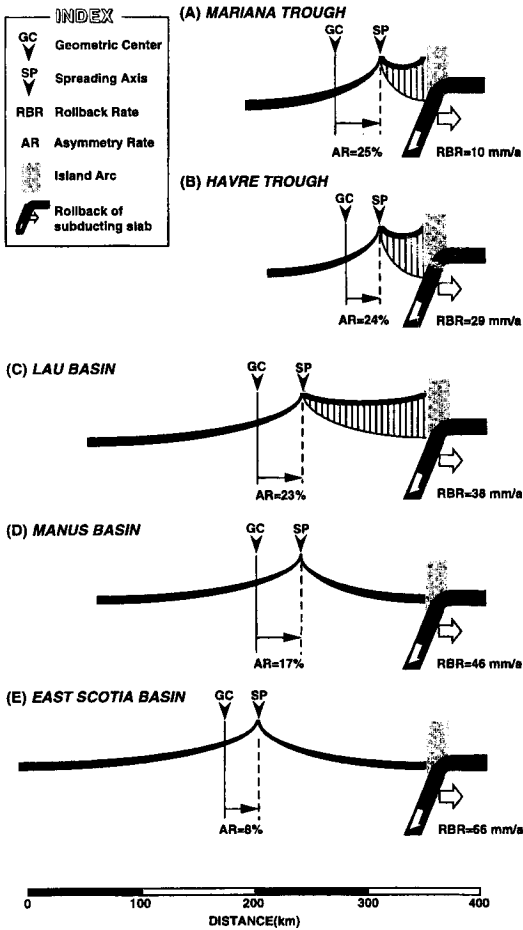
**각종 지질, 지구물리학적 자료를 바탕으로 한 구조적 해석**

위와 같은 과정을 통해서 얻어진 각 해분의 단면을 정밀하게 고찰하고, 각각의 해분에서 보여지는 비대칭성의 차이와 연관성을 갖을 수 있는 각종 지구물리학적 요소들과의 연관성을 파악하여, 비대칭성에 대한 종합적인 해석을 행하게 된다.

**연구결과**

Fig. 6은 5개 해분들로 부터 얻어진 연구결과들을 종합해 놓은 것이다. 연구 지역에 해당하는 젊고 활동적인 해분들은 본 연구에 의해 크게 두 가지 비대칭성을 가지고 있음이 밝혀졌다. 먼저 해분의 지형적 중앙 (geometric center)으로 부터 실제의 확장축 (spreading axis)이 해구쪽으로 치우쳐져 있는 확장축의 비대칭성이 전 연구영역에서 현저하게 보인다. 그리고, 또 다른 하나는 해양저의 생성연대가 증가하면 할수록 그 기반수심 (basement depth)은 점점 깊어지는 것이 해양저의 암권의 성장, 발달 과정상 보여지는 일반적인 특징인데 반해, 본 연구 지역중 Mariana Trough, Havre Trough, Lau Basin은, 오히려 해구쪽으로 갈수록 비정상적으로 점점 알아지는 비대칭적인 발달을 보이고 있다는 것이다.

젊고 활동적인 해분들은 생성연대가 0 Ma~7 Ma사이에 형성된 것들이 대부분으로 생성기간이 비교적 짧은 편이다. 해분의 확장폭은 Havre Trough가 약 150 km로 가장 협소하게 발달해 있으며, East Scotia Basin이 약 400



**Fig. 6.** Asymmetry rates of each basin. The rollback rates of each basin were referred to the suggestion by Chase (1978).

km로 가장 광범위하게 발달해 있다. 해분의 지형적 중앙으로부터 실제의 확장축이 편승되어 있는 상태를 고찰해보면 30~50 km 정도의 변화를 보이고 있다. 이것들을 근거로 산출된 각 해분의 비대칭율을 살펴보면, Marina Trough가 25%로 가장 높고, Havre Trough가 24%, Lau Basin이 23%, Manus Basin이 17%, 그리고 East Scotia Basin이 8.3%로 가장 낮은 치를 보여주고 있다. 그들의 배후에 있는 섭입하는 슬랩의 섭입각들은 45~90° 사이로 매우 다양한 각도를 유지하며 섭입하고 있다. 각 해구에서의 섭입하는 슬랩의 후퇴율은 10~66 mm/a로 그 변화폭이 심하다. 확장률은 East Scotia Basin에서 Manus Basin에 이르기까지 25.5 mm/a~65.7 mm/a로 높은 변화폭을 보이고 있다.

각 해분들의 비대칭율의 변화에 따른 각종의 지구물리

학적 요인들의 변화 사이에 보여지는 상관관계를 조사해 본 결과, 각 해분에서 보여지는 비대칭율과 상관성이 가장 강한 것은 후퇴율로 보여진다. 비대칭율이 작아지면 질수록 후퇴율이 점점 증가하는 매우 명료한 정의 상관관계가 확인되었다. 비대칭율이 가장 큰 Mariana Trough의 후퇴율은 10 mm/a로 가장 작은 값을 보이며, Havre Trough가 29 mm/a, Lau Basin이 38 mm/a, Manus Basin이 46 mm/a, 그리고 비대칭율이 가장 작은 East Scotia Basin은 66 mm/a로 가장 높은 값을 보여주고 있다. 여기서 한가지 특징적인 것은 Marina Trough, Havre Trough, Lau Basin 등은 해분의 지형적 중앙에 대한 확장축의 비대칭성 뿐만이 아니고, 그들의 도호쪽은 일반적 압권의 발달과정을 따르지 않고 일정시기가 지나면 오히려 도호쪽으로 가면서 점점 알아지는 기반수심의 비대칭성도 보이고 있다. 이들 두 가지 형태의 비대칭성이 모두 현저하게 나타나는 해분들은 후퇴율이 40 mm/a이하로 낮은 값을 보여주는 해분들이다. 그러나 Manus Basin이나 East Scotia Basin은 각각 해분의 양쪽 구역 모두 비교적 생성연대가 증가함에 따라 점점 깊어지는 정상적인 생장 형태를 보이고 있으며, 후퇴율은 40 mm/a이상으로 높은 값을 나타내고 있고, 확장축에 대한 비대칭율은 낮은 편이다.

그 외에 확장율, 섭입하는 슬랩의 섭입각 등과 해분의 비대칭성과의 사이에는 그다지 명료한 상관관계는 보이지 않고 있다. 따라서, 젊은 활동적인 해분들의 비대칭적 형성과정은 섭입하는 슬랩의 후퇴에 기인하는 역학적 지지력의 영향에 의한 것으로 보여진다.

## 논 의

젊고 활동적인 배호상 해분들의 비대칭적 발달에 대해서는 현재까지 정량적으로 해석된 예는 거의 없다. 본 연구에서 밝혀진 바대로 해분들의 비대칭성은 현저하게 두 가지 형태로 나타나고 있다. 일반 대양저에서 보여지는 정상적인 압권의 발달과정은 생성연대-기반수심 상관 곡선에 따라 생성연대가 증가하면 할수록 해양저의 기반수심은 생성연대의 평방근에 비례해서 점점 깊어져 가는데, 젊고 활동적인 배호상 해분들의 도호쪽은 비정상적으로 점점 알아져 가는 비대칭적 생장 과정을 보이고 있다. 또한 해분의 확장축이 해분의 지형적 중앙에 위치하지 않고, 그 어느 한쪽으로 치우쳐져 있는 비대칭성을 보인다는 점이다. 과거부터 연해 해분들은 그들의 형성 과정상의 많은 문제점들이 지적되어져 왔다. 그 하나의 예로서, Park *et al.* (1990; 1994) 에 의하면 동 연대의 일반대양

저와 연해 해분들 사이에는 기반수심의 차이가 매우 명료하게 나타나는데, 이 기반수심의 차이는 섭입하는 슬랩의 섭입각과 연관되는 역학적 지지력과 밀접한 상호 연관 관계를 갖는다고 한다. 해분들의 비대칭성 또한 본 연구결과에 의하여 섭입하는 슬랩의 후퇴율과 밀접한 관계를 갖는 것으로 나타났다. 따라서, 해분들의 형성과정상 나타나는 많은 복잡한 문제들이 섭입하는 슬랩과 필연적인 연관성을 갖고 있음이 재 확인되었다.

Mariana Trough에서 East Scotia Basin에 이르기까지 해분의 확장축에 대한 비대칭율이 점점 감소하는데, 이에 따라 섭입하는 슬랩의 후퇴율은 점점 증가한다. 또한 40 mm/a를 기점으로 낮은 후퇴율을 보이는 Mariana Trough, Havre Trough, Lar Basin 등은 본 연구에서 밝혀진 두 가지 비대칭성을 동시에 보유하고 있으며, 높은 후퇴율을 보이는 Mariana Trough, East Scotia Basin 들은 확장축에 대한 비대칭성만이 현저히 나타난다.

일반적으로 후퇴율의 차이는 곧 섭입하는 슬랩의 역학적 지지력에 기인하는 영향력의 차이를 의미 한다고 볼 수 있다. 슬랩의 후퇴율이 낮으면, 그만큼 슬랩의 역학적 지지력이 증가하고, 슬랩의 후퇴율이 높으면, 슬랩의 역학적 지지력에 의한 영향력은 감소한다. 따라서 해분의 비대칭율은 섭입하는 슬랩의 후퇴율에 의하여 그 크기가 좌우 된다고 볼 수 있다. 위의 사실들을 종합해 보면 결론적으로, 슬랩의 후퇴율이 낮아 슬랩이 배호상 해분들의 기반을 역학적으로 지지하고 있을 때에는 현저하게 기반수심 및 확장축의 비대칭성이 모두 보이고, 슬랩의 후퇴율이 점점 높아져 상대적으로 기반에 대한 슬랩의 지지력이 감소하면 대칭적인 형태를 취해 간다고 추정된다. 본 연구에서 밝혀진 이러한 사실들은 해분 개개의 특징들로부터 종합된 것이지만, 만약 하나의 해분에 대하여 후퇴율의 변화가 집중적으로 일어난다면, 시간이 지남에 따라 현재 보여지는 비대칭성은 약화되어 대칭적인 지형을 형성해 갈 가능성도 있다고 사료된다. 즉, Mariana Trough와 같이 비대칭율이 매우 높은 해분도 Mariana Trench에서 섭입하고 있는 슬랩의 후퇴율이 증가 한다면, 임의의 시간이 경과한 후에는 대칭적인 형태로 발전해 갈 가능성이 있다고도 볼 수 있을 것이다 (Fig. 7). Fig. 7에서 보는 바대로 초창기의 젊고 활동적인 상태에서는 확장축이 해분의 지형적 정 중앙축과 상당한 차이를 보이는 비대칭성과 확장축을 중심으로한 도호쪽 기반이 일반적 압권의 발달 형태에서 벗어나 오히려 점점 호쪽을 향해 기반수심이 낮아져 가는 좌우 생장·발달상의 비대칭성을 모두 가지고 있다가 시간의 흐름과 동시에 섭입하는 슬랩의 후퇴율 (rollback rate)의 증가에 기인하여 두

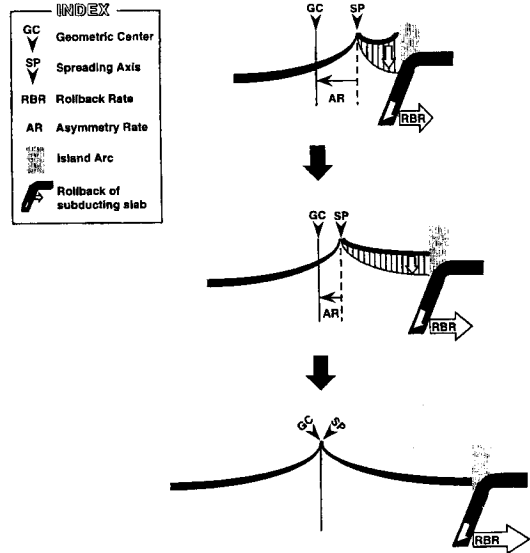


Fig. 7. Modeling of back-arc spreading in active young basin in response to rollback rate changes.

가지 형태의 비대칭성이 대칭성으로 바뀌며 해분은 안정적 형태를 취하게 될 것으로 추정된다. 추후 장기간에 걸친 배호상 해분의 형성사를 연구함에 있어서, 위와 같이 지대한 영향력을 미치는 후퇴율에 관한 자료들은 지질, 지구물리학적으로 반드시 간과해서는 안될 중요한 요소로 작용될 것이다. 그 외 다른 지질, 지구물리학적 요소들과의 연관성 검토에서는 해분들이 보유하고 있는 비대칭성과 직접적으로 정의 상관관계를 보이는 것은 아직 발견되지 않은 실정이다. 그러나, 더 많은 자료의 획득과 정밀한 분석이 행해진다면, 최소한 섭입하는 슬랩에 관계되는 또 다른 요소들과의 연관성은 발견되어질 것으로 추정된다.

## 결론

1. 젊고 활동적인 배호상 해분들은 크게 두 가지 형태의 비대칭성을 가지고 있다. 하나는 확장축을 중심으로 도호쪽 기반들의 기반수심이 도호를 향하여 점점 낮아지는 기반수심의 비대칭성이고, 또 다른 하나는 해분의 확장축이 해분의 지형적 정 중앙 (geometric center)로부터 도호쪽으로 치우쳐져 있어 확장축과 지형적 정 중앙과의 불일치를 보이는 비대칭성이다.

2. 해분들의 비대칭성은 섭입하는 슬랩의 후퇴율과 정의 상관관계가 있다. 후퇴율이 증가하면 할수록 해분의 확장축에 대한 비대칭율은 점점 감소하며, 증가함에 따라 기반수심의 비대칭성 또한 약화되어 가며, 후퇴율이 40 mm/a를 초과하면 거의 대칭에 가까운 형태로 전환

해 간다. 따라서 슬랩의 후퇴율이 낮아 섭입하는 슬랩의 역학적 지지력이 강할 때에는 두 가지의 비대칭성 전부 보이며 비대칭을 또한 매우 높으나, 후퇴율이 높아져 섭입하는 슬랩의 역학적 지지력이 약화될 때에는 비대칭성은 현저하게 저하하여 해분의 기반은 대칭에 가까워져 간다.

## 사 사

본 논문의 내용에 대하여 많은 지도를 해 주신 동경대학교의 Kazuo Kobayashi 교수님과 Kensaku Tamaki 교수님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 또한 본 논문에 대한 토론에 많은 시간을 할애해 주신 경상대학교 좌용주 교수님과 한국해양연구소의 이종익 박사님께도 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Barazangi, M. and Isacks, B.L. (1971) Lateral variation of seismic-wave attenuation in the upper mantle above the inclined earthquake zone of the Tonga Island Arc. *J. Geophys. Res.*, v. 76, p. 8493-8516.
- Brooks, D.A., Carlson, R.L., Harry, D.L., Melia, P.J., Moore, R.P., Rayhorn, J.E. and Tubb, S.G. (1984) Characteristics of back-arc regions. *Tectonophysics.*, v. 102, p. 1-16.
- Burns, R.E. and Andrews, J.E. (1973) Regional aspects of Deep Sea Drilling in the southwest Pacific. In: R.E. Burns, J.E. Andrews, *et al.* (Editors), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., v. 21, p. 897-906.
- Carter, D.J.T. (1980) Echo-sounding correction tables third edition. The Hydrographic Department Ministry of Defence Taunton, p. 1-150.
- Chase, C.G. (1978) Plate kinematics: The Americas, East Africa and the rest of the world. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 37, p. 355-368.
- Connelly, J.B. (1976) Tectonic development of the Bismarck Sea based on gravity and magnetic modeling. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, v. 46, p. 23-40.
- Crough, S.T. (1983) The correction for the sediment loading on the seafloor. *J. Geophys. Res.*, v. 88, p. 6449-6454.
- Eguchi, T., Fujinawa, Y. and Ukawa, M. (1989) Micro-earthquakes and tectonics in an active back-arc basin: the Lau Basin. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 56, p. 210-229.
- Hawkins, J.W. Jr. (1974) Geology of the Lau Basin, a marginal sea behind the Tonga Arc. In: C.A. Burk and C.L. Drake (Editors), *The geology of continental margins*, Springer-Verlag New York Inc., p. 505-520.
- Hawkins, J.W. Jr. (1976) Petrology and geochemistry of basaltic rocks of the Lau Basin. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, v. 28, p. 283-297.
- Hussong, D.M. and Uyeda, S. (1981) Tectonic process and the history of the Mariana Arc: a synthesis of the results of Deep Sea Drilling Project Leg 60. In: D.M. Hussong and S. Uyeda, *et al.* (Editors), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., v. 60, p. 909-929.
- Karig, D.E., Anderson, R.N. and Bibeau, L.D. (1978) Characteristic of back arc spreading in the Mariana Trough. *J. Geophys. Res.*, v. 83, p. 1213-1226.
- Lawver, L.A., Hawkins, J.A. and Sclater, J.G. (1976) Magnetic anomalies and crustal dilation in the Lau Basin. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 33, p. 27-35.
- LaBrecque, J.L., Cande, S.C. and Kent, D.V. (1977) Revised magnetic polarity time scale for Late Cretaceous and Cenozoic time. *Geology*, v. 5, p. 330-335.
- Lonsdale, P., in prep. Structural geomorphology of the back-arc spreading center in Mariana Trough.
- Luyendyk, B.P., MacDonald, K.C. and Bryan, W.B. (1973) Rifting history of the Woodlark Basin in the southwest Pacific. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 84, p. 1125-1134.
- Malahoff, A., Feden, R. and Fleming, H. (1982) Magnetic anomalies and tectonic fabric of marginal basins north of New Zealand. *J. Geophys. Res.*, v. 87, p. 4109-4125.
- Minster, J. B. and Jordan, T.H. (1978) Present-day plate motions. *J. Geophys. Res.*, v. 83, p. 5331-5354.
- 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. *Tectonophysics.*, v. 181, p. 351-371.
- Park, C-H., Tamaki, K. and Kobayashi, K. (1994) Age-depth correlation of marginal basins in the world. *The Monthly Earth.*, v. 9, p. 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.*, v. 82, p. 803-827.
- Taylor, B. (1979) Bismarck Sea: Evolution of a back-arc basins. *Geology*, v. 7, p. 171-174.
- Taylor, B. and Karner, G.D. (1983) On the evolution of marginal basins. *Rev. Geophys. Space Phys.*, v. 21, p. 1727-1741.
- Weissel, J.K. (1977) Evolution of the Lau Basin by the growth of small plates. In: M. Talwani and W. C. Pittman III (Editors), *Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-arc Basins*, Maurice Ewing Ser., AGU, Washington, D.C., v. 1, p. 429-436.
- Weissel, J.K., Taylor, B. and Karner, G. D. (1982) The opening of the Woodlark Basin, subduction of the Woodlark spreading system, and the evolution of northern Melanesia since mid-Pliocene time. *Tectonophysics.*, v. 87, p. 253-277.