

## 제공수익률 그래프와 TGARCH 모형을 이용한 비대칭 변동성 분석\*

박진아<sup>1)</sup> 송유진<sup>2)</sup> 백지선<sup>3)</sup> 황선영<sup>4)</sup> 최문선<sup>5)</sup>

### 요약

일반적인 ARCH 형태의 모형들은 자산수익률의 급침 (leptokurtic; heavy-tail) 성질과 변동성 집중 (volatility clustering) 현상 등의 특징을 잘 포착해내는 반면, 수익률의 부호에 따른 비대칭 레버리지 효과 (leverage effect)는 반영할 수 없다는 단점을 가진다. 따라서 최근 금융 시계열 분야에서는 비대칭-조건부-이분산 시계열 모형에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 연구에서는 국내 금융 시계열자료 (KOSPI, KOSDAQ, 환율, 채권, 주요종목의 주가)의 수익률 제곱을 그래프화 하여 비대칭 이분산성을 시각적으로 탐지하고 이를 바탕으로 비대칭 TGARCH(1,1) 모형을 적합한 후 기존의 대칭 GARCH(1,1) 모형과 비교분석하고자한다.

주요용어: 비대칭 이분산성, 제공수익률, TGARCH(1,1).

### 1. 서론

주가, 이자율, 환율 등과 같은 금융시계열 자료는 시간의 추이에 따라 변동성이 매우 심한 특징을 가지고 있다. 이와 같은 변동성은 투기성향을 가진 투자자들이 위험을 감수하고 수익률이 높은 자산에 투자하거나 군중심리에 의해 투자자들의 선호도가 급속히 하나의 자산으로 몰리는 현상에 의해 나타난다. 금융 경제학에서 위험과 불확실성이 차지하는 비중이 커짐에 따라 시간에 따라 변하는 조건부 2차 적률, 즉 분산과 공분산의 시계열적 특성을 모형화 하는 분석기법이 필요하게 되었다. 이 같은 특성을 Engle (1982)이 처음 ARCH 모형을 제안한 이후에 다양한 ARCH-type 모형이 개발되었다. Bollerslev (1986)는 일반화된 ARCH

\* 이 연구는 SRC (KOSEF, R11-2000-073-00000)의 지원에 의해 연구되었음.

백지선의 연구는 한국학술진흥재단 (KRF, 2005-070-C00022)의 지원에 의해 연구되었음.

- 1) (140-742) 서울특별시 용산구 청파동 2가, 숙명여자대학교 통계학과, 박사과정  
E-mail: mukabi@sookmyung.ac.kr
- 2) (140-742) 서울특별시 용산구 청파동 2가, 숙명여자대학교 통계학과, 석사과정  
E-mail: cong715@sookmyung.ac.kr
- 3) (140-742) 서울특별시 용산구 청파동 2가, 숙명여자대학교 통계학과, 박사 후 연구원  
E-mail: jsbaik98@sookmyung.ac.kr
- 4) (교신저자)(140-742) 서울특별시 용산구 청파동 2가, 숙명여자대학교 통계학과, 교수  
E-mail: shwang@sookmyung.ac.kr
- 5) (140-742) 서울특별시 용산구 청파동 2가, 숙명여자대학교 통계학과, 박사과정  
E-mail: snrndi82@sookmyung.ac.kr

(Generalized ARCH : GARCH) 모형으로 확장하였고, Nelson (1991)은 조건부 분산에 오차의 크기와 방향을 함께 고려한 EGARCH (Exponential GARCH) 모형을 제시하였다. 이어서 변동성에 대한 정보의 비대칭성을 강조하는 모형으로 Rabemananjara와 Zakoian (1993), Glosten 등 (1993)이 개발한 TGARCH (Threshold GARCH) 모형 등 여러 형태의 모형들이 개발되어져 왔다. 본 논문에서는 국내 13개의 금융 시계열 (주가지수, 선물지수, 환율, 이자율 등)에 내재된 비대칭 이분산성을 알아보기 위해 먼저 제곱수익률 그래프를 통해 시각적으로 비대칭성을 확인한 후 TGARCH(1,1) 모형을 적용시켜 보고, Coverage Percentile과 RMSE (root mean square error)를 계산하여 기존의 대칭 GARCH(1,1) 모형과 적합력을 비교분석하고자 한다.

## 2. TGARCH 모형과 레버리지 효과

ARCH 모형 (Engle, 1982)은 현재시점의 조건부 분산을 과거시점의 오차항 제곱의 선형 함수로 표현한 모형이다. ARCH 모형을 일반화한 GARCH( $p, q$ ) 모형이 Bollerslev (1986)에 의해 제시되었으며, 정의식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \varepsilon_t | F_{t-1} &\sim N(0, h_t), \\ h_t &= \alpha_0 + \sum_{k=1}^q \alpha_k \varepsilon_{t-k}^2 + \sum_{l=1}^p \beta_l h_{t-l}. \end{aligned}$$

여기서  $\alpha > 0$ ,  $\alpha_k \geq 0 (k = 1, 2, \dots, p)$ ,  $\beta_l \geq 0 (l = 1, 2, \dots, q)$ 이며  $F_{t-1}$ 는  $(t-1)$ 까지의 정보를 의미한다.

GARCH 모형 중에서 가장 많이 사용되는 일차모형인 GARCH(1,1) 모형은 다음과 같다.

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1}. \quad (2.1)$$

GARCH 모형은 자산수익률의 급침 (leptokurtic; heavy-tail) 특징과 변동성 집중 (volatility clustering) 현상 등의 특징을 잘 포착해내는 장점을 가지고 있다. 그러나 GARCH 모형에서 조건부 분산은 단지 과거 오차항들의 크기에만 의존할 뿐 그 부호와는 무관하므로 비대칭 레버리지 효과 (leverage effect)를 반영할 수 없다는 단점을 가진다. Black (1976)에 의해 처음 소개된 레버리지 효과 (leverage effect)란 주식 수익률의 하락이 가격 변동성을 증가시킨다는 가설을 말한다. 다시 말해, 가격을 하락시키는 정보 (news; 일반적으로 재무이론에서 예기치 못한 수익률 변화와 같은 새로운 정보의 도래를 news 라고 부른다)가 가격을 상승시키는 정보보다 가격변동에 더 큰 영향을 주는 것을 의미한다. 그러나 GARCH 모형은 오차항의 평균 0을 중심으로 대칭적이어서 좋은 정보 (good news)와 나쁜 정보 (bad news)에 대해 같은 크기의 변화만을 반영하기 때문에, 좋은 정보 ( $\varepsilon_{t-1} > 0$ )에 대한 가격변동은 과대추정하고 나쁜 정보 ( $\varepsilon_{t-1} < 0$ )에 대한 가격변동을 과소추정하는 경향을 갖는다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 오차항의 부호에 따른 비대칭적 효과를 GARCH 모형에 반영할 필요가 있다. 이러한 점을 고려하여 Rabemananjara와 Zakoian (1993), Glosten 등 (1993)은

조건부 분산을 다음과 같이 표현한 TGARCH (Threshold GARCH) 모델을 제시하였다.

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_{i1}[(\varepsilon_{t-i}^+)^2 + \alpha_{i2}(\varepsilon_{t-i}^-)^2] + \sum_{j=1}^p \beta_j h_{t-j}.$$

여기서, 모수는  $\beta_j > 0$ ,  $\alpha_0 > 0$ ,  $\alpha_{11} \geq 0$ ,  $\alpha_{12} \geq 0$  조건을 만족하며

$$\varepsilon^+ = \max(\varepsilon, 0), \quad \varepsilon^- = \max(-\varepsilon, 0)$$

을 의미한다.

TGARCH 모델에서 가장 많이 사용되는 TGARCH(1,1) 모델은 다음과 같다.

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_{11}(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + \alpha_{12}(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + \beta_1 h_{t-1}. \tag{2.2}$$

### 3. 우리나라 금융시계열의 제공수익률 그래프

본 논문에서는 먼저 6년간 (2001.1.1 ~ 2005.12.31) 한국의 13가지 금융시계열 자료 (KOSPI, KOSPI200, KOSDAQ, KOSDAQ50, 회사채, 국고채 3년, 국고채 5년, 원/일본엔, 원/유로, 삼성전자 주가, SK텔레콤 주가, 현대자동차 주가, 포스코 주가)의 제공수익률 그래프를 통한 변동성 비대칭성을 시각적으로 확인하고자 한다. 제공수익률의 기댓값이 변동성 (조건부 분산)이므로 데이터에서 수익률의 비대칭 레버리지효과 (leverage effect)를 알아보기 위해, 수익률의 제공한 값을 이용하여 양의 수익률은 (+)축에 표시하고 음의 수익률은 (-)축에 표시하여 그래프로 나타내었다. 이 그래프는 양의 수익률과 음의 수익률의 변동성을 하나의 그래프에 나타내어 수익률의 부호에 따른 변동성의 비대칭적 효과를 시각적으로 파악할 수 있으며 각 자료에 대한 제공수익률 그림은 그림 3.1과 3.2에 나타내었다. 이어서 각각의 자료에 대해 조건부 이분산 모형인 대칭-GARCH(1,1) 모형과 비대칭-TGARCH(1,1) 모형에 적합 시킨 후 추정된 모형 식을 이용하여 추정치와 추정치에 대한 95% 신뢰수준의 예측구간을 1 시차 후 예측 (one-step ahead forecast) 방법을 이용하여 구한 뒤, 실제 데이터가 예측구간에 들어가는 비율 (coverage probability)과 RMSE (root mean square error)를 계산하여 두 모형에 대한 적합력을 비교 분석하였다. 분석 과정은 모든 자료에 대하여 동일하므로 KOSPI 자료에 대해서만 기술하고 나머지 자료에 대해서는 결과를 요약하여 표 3.2에 수록하였다. 각 자료의 수익률을 모형에 적합 시키기 위하여 로그 차분한 로그-수익률 (log-return; 이를  $\nu_t$ 라 하자)을 분석에 이용하였다. 최근에, 박진아 등 (2007)은 다양한 국내 시계열 자료의 변동성에 누적 (integrated)성이 존재함을 실증 분석한 바 있다.

#### 3.1. 사례분석

2000년 1월부터 2005년 12월까지 6년간 KOSPI 지수의 일별 데이터를 이용하여 로그 수익률( $\nu_t$ )을 구한 후 이를 제공하여 원래 부호에 따라 그래프로 표현한 것이 그림 3.1이다. 이를 통해 음의 수익률과 양의 수익률 사이의 비대칭적인 효과를 확인할 수 있으며

따라서 비대칭 모형인 TGARCH 모형분석이 의미 있을 것으로 판단되어 GARCH(1,1)과 TGARCH(1,1) 모형을 적합 시켜 보았다. 각각의 모형에 대한 추정 결과는 아래와 같다.

$$\text{GARCH} : \nu_t = 0.001188 + \varepsilon_t$$

$$h_t = 0.000002 + 0.067342\varepsilon_{t-1}^2 + 0.928836h_{t-1}$$

$$\text{TGARCH} : \nu_t = 0.000825 + \varepsilon_t$$

$$h_t = 0.000004 + 0.023638(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.092662(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.916736h_{t-1}$$

GARCH(1,1), TGARCH(1,1) 모형의 적합력을 비교하기 위하여 모형에서 조건부 분산  $h_t$ 를 이용하여 1 시차 후 예측 (one-step ahead forecast) 방법으로 추정된  $\nu_t$  값의 95% 신뢰수준의 예측구간을 구한 후 실제  $\nu_t$  값이 예측구간 내에 존재하는 비율과 RMSE (root mean square error)를 계산하였다. 예측 결과(표 3.1)를 살펴보면, Coverage Probability(%)와 RMSE 모두에서 GARCH(1,1) 모형보다는 TGARCH(1,1) 모형이 좋은 적합력을 가진다는 것을 알 수 있으며 이는 제공수익률 그림에서 예상할 수 있는 결과이다.

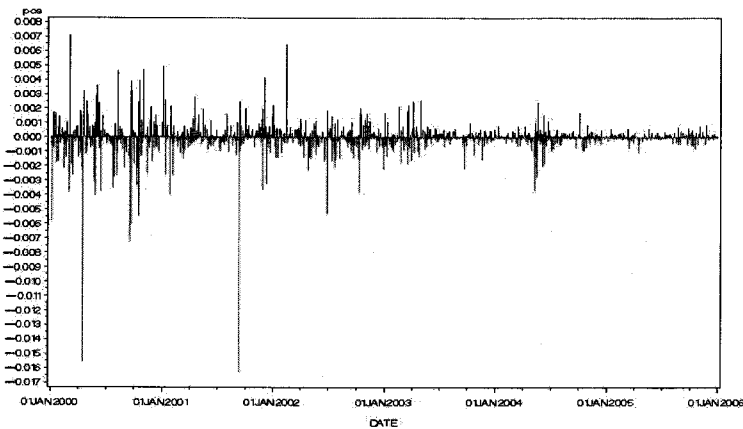


그림 3.1: KOSPI 제공수익률의 부호에 따른 시계열 그림  
(양의 수익률 제공 : (+)축, 음의 수익률 제공 : (-)축)

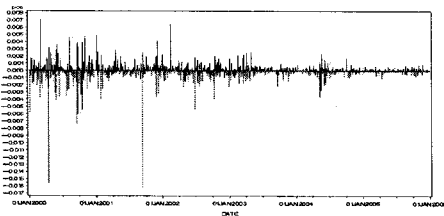
표 3.1: KOSPI 데이터의 적합력 비교 결과

	GARCH(1, 1)	TGARCH(1, 1)
Coverage Probability(%)	95.32%	95.39%
RMSE(%)	1.958	1.956

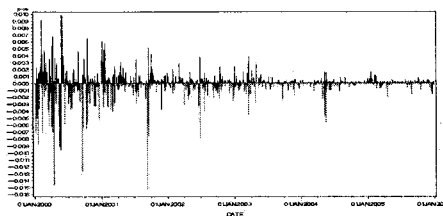
위와 같은 방법으로 다른 국내 금융 시계열 자료에 대해서도 분석을 하였다. 각각의 데이터에 대한 변동성의 비대칭적인 효과를 확인하기 위한 그래프는 그림 3.2에 정리하였으며

변동성  $h_t$ 가 평균 0 을 중심으로 비대칭적으로 표현되고 있음을 시사하고 있다. 각각의 데이터에 대한 비대칭 모형인 TGARCH(1,1) 적합 결과는 아래 표 3.2와 같다. 표 3.3과 표 3.4는 모형의 예측력을 Coverage Probability와 RMSE 기준으로 비교한 결과이다. 종합주가지수와 삼성전자의 경우 Coverage Probability 기준으로 보면, GARCH(1,1) 모형보다는 TGARCH(1,1) 모형이 좋은 적합력을 가진다는 것을 보여준다. 그 밖의 나머지 데이터들은 TGARCH(1,1) 모형보다는 GARCH(1,1) 모형이 적합함을 알 수 있다. 그러나 RMSE 기준으로 보면, 원/유로, 원/엔 환율 데이터를 이외의 모든 데이터에서 GARCH(1,1) 모형보다는 TGARCH(1,1) 모형의 적합력이 좋음을 보여준다.

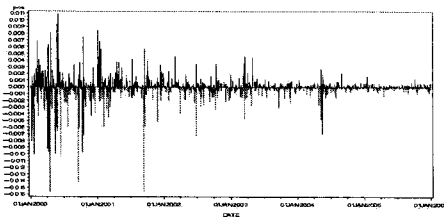
(1) KOSPI200



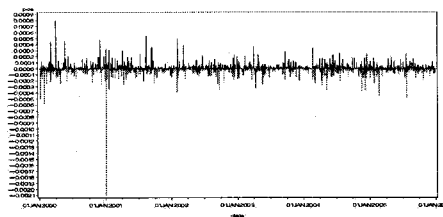
(2) KOSDAQ



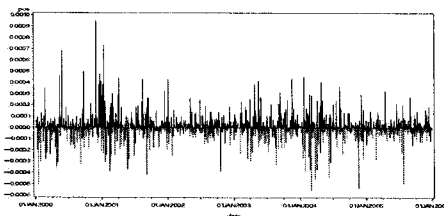
(3) KOSPI200



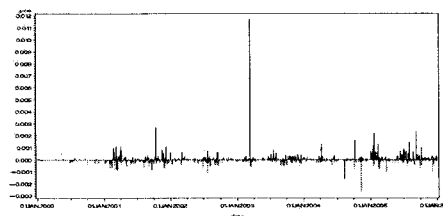
(4) 원/엔 환율



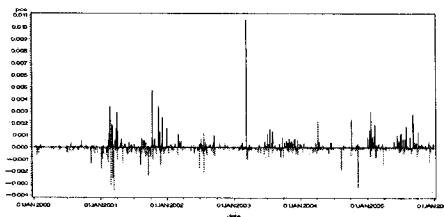
(5) 원/유로 환율



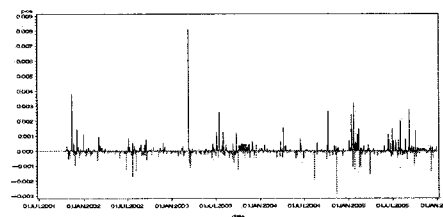
(6) 회사채



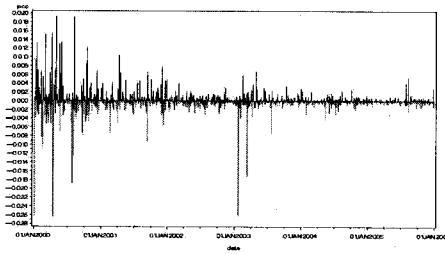
(7) 국고채 3년



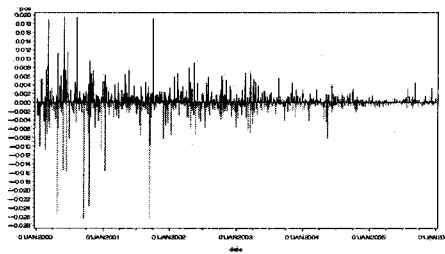
(8) 국고채 5년



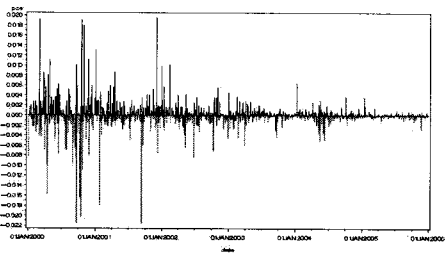
(9) SK 텔레콤 주가



(10) 현대자동차 주가



(11) 삼성전자 주가



(12) POSCO 주가

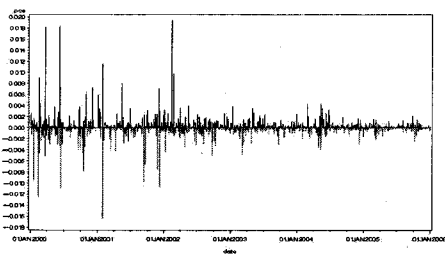


그림 3.2: 국내 금융시계열 제공수익률의 부호에 따른 시계열 그림  
(양의 수익률 제공 : (+)축, 음의 수익률 제공 : (-)축)

표 3.2: 국내 금융시계열에 대한 사례분석 결과

코스피 200	<p>GARCH :</p> $\nu_t = 0.001169 + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000002 + 0.061286\varepsilon_{t-1}^2 + 0.935158h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = 0.000787 + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000003 + 0.018139(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.094552(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.93303h_{t-1}$
코스닥	<p>GARCH :</p> $\nu_t = 0.155195\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000005 + 0.093507\varepsilon_{t-1}^2 + 0.899628h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = 0.16399\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000008 + 0.041714(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.142095(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.886407h_{t-1}$

코스닥 50	<p>GARCH :</p> $\nu_t = 0.108029\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000004 + 0.067492\varepsilon_{t-1}^2 + 0.926427h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = 0.11023\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000005 + 0.017419(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.086189(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.935836h_{t-1}$
원/유로	<p>GARCH :</p> $\nu_t = -0.000023 + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000001 + 0.021948\varepsilon_{t-1}^2 + 0.965536h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = -0.000006 + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000001 + 0.024138(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.016108(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.967834h_{t-1}$
원/엔	<p>GARCH :</p> $\nu_t = -0.000158 - 0.201377\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000001 + 0.028379\varepsilon_{t-1}^2 + 0.932121h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = -0.000112 - 0.202803\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000002 + 0.05(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.00679(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.919645h_{t-1}$
회사채	<p>GARCH :</p> $\nu_t = -0.001292 + 0.154279\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000008 + 0.393268\varepsilon_{t-1}^2 + 0.626638h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = -0.000925 + 0.155408\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000009 + 0.56(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.2092(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.60934h_{t-1}$
국고채 3년	<p>GARCH :</p> $\nu_t = -0.001233 + 0.14585\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000009 + 0.171407\varepsilon_{t-1}^2 + 0.792949h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = -0.001111 + 0.144077\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.00002 + 0.3125(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.1511(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.7029h_{t-1}$
국고채 5년	<p>GARCH :</p> $\nu_t = -0.001063 + 0.18342\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000019 + 0.164999\varepsilon_{t-1}^2 + 0.725964h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = -0.00068 + 0.18072\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.00003 + 0.3137(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.0625(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.6234h_{t-1}$

SK 텔레콤	<p>GARCH :</p> $\nu_t = -0.000137 + 0.027634\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000004 + 0.032176\varepsilon_{t-1}^2 + h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = -0.000615 + 0.025881\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.00001 + 0.023(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.101(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.928164h_{t-1}$
현대자동차	<p>GARCH :</p> $\nu_t = 0.000157 + 0.087645\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000001 + 0.034407\varepsilon_{t-1}^2 + 0.9644h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = 0.001164\nu_{t-1} + 0.089565\varepsilon_t$ $h_t = 0.000002 + 0.0144(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.0522(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.963494h_{t-1}$
삼성전자	<p>GARCH :</p> $\nu_t = 0.001049 + 0.076492\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000001 + 0.02994\varepsilon_{t-1}^2 + 0.968784h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = 0.000826 + 0.074019\nu_{t-1} + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000001 + 0.017(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.0417(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.968758h_{t-1}$
POSCO	<p>GARCH :</p> $\nu_t = 0.000607 + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000009 + 0.069038\varepsilon_{t-1}^2 + 0.919285h_{t-1}$ <p>TGARCH :</p> $\nu_t = 0.000613 + \varepsilon_t$ $h_t = 0.000009 + 0.069478(\varepsilon_{t-1}^+)^2 + 0.68516(\varepsilon_{t-1}^-)^2 + 0.919437h_{t-1}$



표 3.3: Coverage Probability에 따른 적합력 비교 결과

GARCH	DATA	TGARCH
95.32%	KOSPI	95.39%
95.18%	KOSPI200	95.12%
94.1%	KOSDAQ	93.83%
94.64%	KOSDAQ50	94.57%
90.61%	회사채	90.28%
89.56%	국고채 3년	89.5%
89.09%	국고채 5년	89%
94.22%	원/유로	94.17%
82.5%	원/엔	81.72%
86.5 %	삼성전자	86.57%
85.62%	SK 텔레콤	84.8%
85.69%	현대자동차	85.35%
94.64%	POSCO	94.64%

표 3.4: RMSE에 따른 적합력 비교 결과

GARCH	DATA	TGARCH
1.958	KOSPI	1.956
2.037	KOSPI200	2.036
2.381	KOSDAQ	2.38
2.56	KOSDAQ50	2.559
0.971	회사채	0.969
1.286	국고채 3년	1.285
1.228	국고채 5년	1.226
0.700	원/유로	0.700
0.606	원/엔	0.606
3.0439	삼성전자	3.0436
2.9295	SK 텔레콤	2.9296
3.3118	현대자동차	3.3116
2.5767	POSCO	2.5767

## 참고문헌

- 박진아, 황선영, 백지선 (2007). 국내 금융시계열의 누적(integrated)이분산성에 대한 사례 분석, <응용통계연구>, 20, 53-60.
- Black, F. (1976). Studies of Stock Price Volatility Changes, *Proceedings of the 1976 Meeting of the Business and Economic Statistics Section, American Statistical Association*, 177-181.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity, *Journal of Econometrics*, 31, 307-327.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation, *Econometrica*, 50, 987-1007.
- Nelson, D. B. (1991). Conditional heteroskedasticity in asset returns: A new approach, *Econometrica*, 59, 347-370.
- Rabemananjara, R. and Zakoian, J. M. (1993). Threshold ARCH models and asymmetries in volatility, *Journal of Applied Econometrics*, 8, 31-49.
- Glosten, L. R., Jagannathan, R. and Runkle, D. E. (1993). On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks, *The Journal of Finance*, 48, 1779-1801.

[ 2007년 7월 접수, 2007년 8월 채택 ]

## Squared Log-return and TGARCH Model : Asymmetric Volatility in Domestic Time Series\*

J. A. Park<sup>1)</sup> Y. J. Song<sup>2)</sup> J. S. Baek<sup>3)</sup> S. Y. Hwang<sup>4)</sup> M. S. Choi<sup>5)</sup>

### ABSTRACT

As is pointed out by Gouriéroux (1997), the volatility effects in financial time series vary according to the signs of the return rates and therefore asymmetric Threshold-GARCH (TGARCH, henceforth) processes are natural extensions of the standard GARCH toward asymmetric volatility modeling. For preliminary detection of asymmetry in volatility, we suggest graphs of squared-log-returns for various financial time series including KOSPI, KOSDAQ and won-Euro exchange rate. Next, asymmetric TGARCH(1,1) model fits are provided in comparisons with standard GARCH(1.1) models.

*Keywords:* Asymmetric heteroscedasticity, squared log-return, TGARCH(1,1).

---

\* This work was supported by the SRC program of KOSEF (R11-2000-073-00000).

J. S. Baek's work was supported by a grant from KRF (2005-070-C00022).

- 1) Doctoral student, Department of Statistics, Sookmyung Women's University, Chungpa-dong 2-ga, Yongsan-gu, Seoul 140-742, Korea  
E-mail: mukkabi@sookmyung.ac.kr
- 2) Graduate student, Department of Statistics, Sookmyung Women's University, Chungpa-dong 2-ga, Yongsan-gu, Seoul 140-742, Korea  
E-mail: cong715@sookmyung.ac.kr
- 3) Post Doctor, Department of Statistics, Sookmyung Women's University, Chungpa-dong 2-ga, Yongsan-gu, Seoul 140-742, Korea  
E-mail: jsbaik98@sookmyung.ac.kr
- 4) (Corresponding author) Professor, Department of Statistics, Sookmyung Women's University, Chungpa-dong 2-ga, Yongsan-gu, Seoul 140-742, Korea  
E-mail: shwang@sookmyung.ac.kr
- 5) Doctoral student, Department of Statistics, Sookmyung Women's University, Chungpa-dong 2-ga, Yongsan-gu, Seoul 140-742, Korea  
E-mail: snrndi82@sookmyung.ac.kr