

# 에폭시 유리전이 온도상승에 따른 LED 수명의 변화

## The Life Span of LED by the Rising Glass Transitions Temperature of Epoxy

반재삼<sup>1,✉</sup>, 정용호<sup>2</sup>, 양현삼<sup>3</sup>, 김선진<sup>4</sup>  
Jae Sam Ban<sup>1,✉</sup>, Yong Ho Jung<sup>2</sup>, Hyun Sam Yang<sup>3</sup> and Sun Jin Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 전남대학교 치의학과 (School of Dentistry, Chonnam National Univ.)

<sup>2</sup> 전남대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chonnam National Univ.)

<sup>3</sup> 전남대학교 금속공학과 (Department of Metallurgical Engineering, Chonnam National Univ.)

<sup>4</sup> 서영대학교 소방행정과 (Department of Fire Safty, Seoyeong Univ.)

✉ Corresponding author: bjs@gjtp.or.kr, Tel: 062-602-7111

Manuscript received: 2011.8.17 / Accepted: 2011.10.4

*The LED failure rate greatly depends on the physical properties of packaging materials (epoxy). The glass transitions temperature (Tg) of the epoxy is one of the most important physical properties. Therefore, in the present study, various epoxies with high Tg were prepared and their failure shapes were analyzed. In addition, the failure shapes depending on the amount of epoxy and the wire bonding structure were measured. As a consequence, the lower failure rate was obtained with the smaller amount of epoxy. The safety of LED was improved with increasing the Tg of the epoxy.*

Key Words: Lighting Emitting Diode (엘이디), Glass Transitions Temperature (유리전이온도), Epoxy (에폭시), Failure Late (실패율), LED Chip (엘이디발광체), Failure Shape (파괴형상)

### 1. 서론

현재 사용되고 있는 LED 는 크게 중저휘도 LED 와 고출력 LED 로 대별될 수 있다. 고출력 LED 의 용도는 주로 카메라의 플래쉬, 자동차의 전조등, 실내 맵(map)등, 일반 플래쉬, 조경, spot lighting 용으로 사용되고 있으나, 현재 그 수량기준으로 보면 비교적 매우 적다. 이에 반해 약 10cd 이내의 램프형 LED 와 SMD LED 는 단순표시등에서부터 전광판, 광고판, 간판, 휴대폰, 교통 표시등, 자동차 실내외등까지 그 응용범위가 매우 넓으며 수요 역시도 급증하고 있는 추세이다. 현재 기술 개발의 주요 방향은 주로 고효율 칩의 개발과 이들 칩이 안정하게 냉각되고 또한 발생하는 응력을 최소화 시키기 위한 봉지재 개발에 집중되는 경향이 있다.<sup>1,7</sup> 때문에 시장이 매우 큰 중·저휘도 LED

의 중요 문제점들은 매우 시급한 문제임에도 불구하고 상대적으로 배제되는 경향이 있다. 특히, 저가의 외국산 LED 와 경쟁해야 하는 국내 LED 산업의 입장에서는 보다 기술우위의 차별화된 제품 개발을 통하여 시장에서 경쟁해야 함에도 이해의 부족이나 문제의 심각성이 아직 크게 부각되지 않아 이에 관한 연구가 크게 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 중저휘도 LED 의 파괴원인이 상당부분 LED 봉지재인 에폭시에 있다고 판단되는 바, 국내에서 사용되고 있는 LED 패키징 수지(Epoxy : Ep)를 분석하고 이의 개선을 위해 유리전이 온도(Tg : glass transitions temperature)가 높은 에폭시 를 적용하여 기존 LED(C.P : Commercial products)와의 파괴(Fail) 모드 및 파괴율을 비교 분석하여 LED 의 신뢰성을 분석 연구 하는데 목적이 있다.

2. 실험방법

2.1 높은 유리전이 온도를 갖는 에폭시 설계

높은 유리전이온도(Tg)를 갖는 에폭시를 개발하기 위하여 Table 1 에서와 같이 다양한 배합방식으로 주체와 경화제를 혼합하여 Tg 온도를 상승시켰다. 본 논문에서는 Tg 온도의 영향이 LED 신뢰성에 미치는 영향을 알아보는 것을 중점 고찰하는 것으로 에폭시를 제조하는 핵심 재료를 동일하게 하였다.

Table 1 Various compound condition of epoxy

Items	C.P		Sample 1		Sample 2		Sample 3		Sample 4	
	Ep.	H.D.	Ep.	H.D.	Ep.	H.D.	Ep.	H.D.	Ep.	H.D.
Viscosity	2500	600	4100	700	8000	200	14000	200	13000	200
S.G	1.17	1.17	1.18	1.17	1.2	1.18	1.19	1.18	1.19	1.18
Color	J.D	Tr.	J.D	Tr.	J.D	Tr.	J.D	Tr.	J.D	Tr.
Tg	125-130		127		146		150		151	
M.R.	50:50wt%		50:50wt%		50:50wt%		50:50wt%		50:50wt%	
Viscosity (after mixing)	1200 (cps)		700 (cps)		1100 (cps)		1300 (cps)		1300 (cps)	
hardening condition	135℃ x 4.5 Hrs		125℃ x 4 Hrs		125℃ x 4 Hrs		125℃ x 4 Hrs		125℃ x 4 Hrs	

\* C.P : Commercial products, H.D: Hardener, Ep.: Epoxy, S.G: Specific gravity, M.R.: Mixing ratio, J.D: Jade green, Tr: Transparency

다양한 유리전이 온도를 갖는 봉지체를 이용하여 LED 를 제조하고 이를 20mA 의 정격부하를 가하면서 -30℃~80℃까지 100 회씩 반복하여 열충격 시험을 실시하였다. 시료는 5 가지의 조건조건에서 각 10 개씩 선별하여 광도(cd)를 기준으로 표준편차에 따라 유리전이 온도가 높으면서도 안정적인 조건을 찾기 위해 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 Table 1 의 결과에서와 같이 에폭시 재료의 다양한 조합에 따라 최대 151℃의 유리전이 온도를 얻을 수 있었고 이들을 토대로 열충격 실험을 행한 결과 Table 2 에서와 같이 ‘Sample 4’의 경우(Tg:151℃)의 광도변화가 크게 발생되지 않음에 따라 유리전이 온도가 가장 큰 차이를 보이는 대조군과 sample 4 를 대상으로 유

리전이 온도 강화에 따른 LED 신뢰성을 비교 평가하였다.

Table 2 The test results for thermal shock

No.	Commercial products (0.600 ~ 1.000 cd) [@20 mA, cd]			Sample 1 (0.600 ~ 1.000 cd) [@20 mA, cd]			Sample 2 (0.600 ~ 1.000 cd) [@20 mA, cd]		
	Thermal shock		Gap	Thermal shock		Gap	Thermal shock		Gap
	Before	After		Before	After		Before	After	
1	0.749	0.702	-0.047	0.778	0.703	-0.075	0.713	0.692	-0.021
2	0.765	0.735	-0.030	0.778	0.670	-0.108	0.726	0.751	0.025
3	0.741	0.001	-0.740	0.655	0.498	-0.157	0.735	0.729	-0.006
4	0.772	0.782	0.010	0.778	0.591	-0.187	0.744	0.753	0.009
5	0.781	0.708	-0.073	0.701	0.619	-0.082	0.665	0.645	-0.020
6	0.778	0.677	-0.101	0.720	0.730	0.010	0.674	0.641	-0.033
7	0.806	0.579	-0.227	0.787	0.785	-0.002	0.664	0.701	0.037
8	0.721	0.798	0.077	0.736	0.647	-0.089	0.708	0.733	0.025
9	0.781	0.679	-0.102	0.760	0.574	-0.186	0.718	0.708	-0.010
10	0.699	0.802	0.103	0.694	0.719	0.025	0.727	0.693	-0.034
Min	0.699	0.001	-0.740	0.655	0.498	-0.187	0.664	0.641	-0.034
Avg	0.759	0.646	-0.113	0.739	0.654	-0.085	0.707	0.705	-0.003
Max	0.806	0.802	0.103	0.787	0.785	0.025	0.744	0.753	0.037
S.D	0.032	0.237	0.240	0.045	0.086	0.078	0.029	0.039	0.025

No.	Sample 3 (0.600 ~ 1.000 cd) [@20 mA, cd]			Sample 4 (0.600 ~ 1.000 cd) [@20 mA, cd]		
	Thermal shock		Gap	Thermal shock		Gap
	Before	After		Before	After	
1	0.775	0.673	-0.102	0.722	0.614	-0.108
2	0.802	0.680	-0.122	0.776	0.636	-0.140
3	0.765	0.723	-0.042	0.744	0.628	-0.116
4	0.815	0.775	-0.040	0.812	0.703	-0.109
5	0.794	0.762	-0.032	0.799	0.688	-0.111
6	0.799	0.790	-0.009	0.821	0.700	-0.121
7	0.785	0.749	-0.036	0.799	0.688	-0.111
8	0.723	0.721	-0.002	0.816	0.740	-0.076
9	0.751	0.641	-0.110	0.797	0.679	-0.118
10	0.825	0.659	-0.166	0.862	0.750	-0.112
Min	0.723	0.641	-0.166	0.722	0.614	-0.140
Avg	0.783	0.717	-0.066	0.795	0.683	-0.112
Max	0.825	0.790	-0.002	0.862	0.750	-0.076
S.D	0.031	0.052	0.055	0.040	0.045	0.016

2.2 LED 파괴(fail) 실험

본 논문에서는 Lamp type LED 의 기본 파괴 모드를 분석하기 위하여, 기존제품에 주로 사용되는 유리전이온도가 130℃인 에폭시(Epoxy)를 봉지체로 한 LED 를 제조하여 비교 분석하였다.

LED 의 파괴(Fail) 형태의 분석은 다양한 방법이 있으나, 본 논문에서는 에폭시 주입 양에 따른 불량률 분석과 칩의 본딩조건(1bonding, 2bonding)에 따른 고장률을 분석하였다. 그리고 이들 분석의 결과를 기초로하여 고장률이 높은 조건을 선정한 후, 유리전이 온도를 150℃로 높인 에폭시를 적용하여 기존 제품과 고장률 평가를 수행하였다. LED 고장률 시험을 위한 시험은 국제 표준(Mill-STD) 시험방식을 적용하여 고온고습(85℃,85%), 저온동작(-40℃), 열충격 테스트를 수행하였으며, 테스트 전후 LED 광도(cd)를 비교 측정하기 위하여 LED 측정기(SP320, Instrument system)를 사용하였다. 또한 파괴부 분석을 위하여 주사전자 현미경(SEM)을 이용하였다. 실험에 사용된 에폭시의 물리적 특징

은 Table 3 과 같다.

Table 3 Properties of Epoxy molding compound

Items	C.P		HTg-Epo (hi-Tg)	
	Epoxy	Hardener	Epoxy	Hardener
Viscosity	2,500	600	13,000	200
S.G	1.17	1.17	1.19	1.18
Color	J.D	Tr	J.D	Tr
Tg-temp(°C)	130		151	
Mixing ratio	50 : 50 wt%		50 : 50 wt%	
Viscosity (after mixing)	1,200(cps)		1,300(cps)	
hardening condition	135°C x 4.5 Hrs		125°C x 4 Hrs	

### 2.3 에폭시 양에 따른 고장률 평가

일반적으로 에폭시 봉지재는 외경이 3~5mm 를 사용하고 있으며, 본 연구에서는 4mm 와 5mm 를 기준으로 원형 LED 를 제조하여 시험하였다. 에폭시는 주체와 경화제를 1:1 로 배합한 소재로서 기존 에폭시(Epo)와 높은 유리전이 온도(HTg-Epo)를 갖는 에폭시를 사용하여 실험하였고 광도 감소율을 비교 평가하였다.

### 2.4 칩의 본딩조건에 따른 고장률 검토

LED 용 에폭시의 성능평가 시 와이어(Wire) 본딩 형태 및 횡수에 따라 많은 실험적 차이가 있을 수 있고 또한 칩의 종류에 따라서도 변화가 있을 수 있기 때문에 본 연구에서는 단일 본딩으로 가능한 Red LED(660nm, AlGaAs)와 2 회 본딩이 요구되는 Green LED(525nm, InGaN)를 선정하였으며, 이들 중 보다 더 신뢰성 시험에 취약한 조건을 선택하여 기존 에폭시와 고 Tg 에폭시의 고장률을 검토하였다.

### 2.5 LED 수명평가 시험

에폭시 유리전이 온도 변화에 따른 LED 의 수명의 변화를 평가하기 위하여 상술된 시험 중 가장 취약하다고 판단된 항온항습 시험을 통하여 수행하였다. 시험에 사용된 LED 는 각 조건별 40 개의 시료를 사용하였으며, 인가전류는 20, 50, 100mA 를 각각 인가하였고, 총 800 시간동안 85°C, 85%습도를 유지하였다. LED 수명의 평가는 LED 가 완전히 Off 된 경우를 육안으로 판단하여 기록

하였으며, 검사는 50 시간을 주기로 하여 총 16 회 실시하여 분석하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 외경 및 본딩조건에 따른 광도변화 분석

유리전이 온도가 130°C인 일반 에폭시를 사용할 경우 가장 취약한 환경조건을 결정하기 위하여 상술한 바와 같이 외경을 4mm, 5mm 인 LED 를 각각 40 개씩 제조하였고, 1 분당 및 2 분당 조건을 갖는 LED 를 각각 40 개씩 제작하였다. 제작된 LED 에는 정격 인가전류 20mA 를 적용하였으며, 각 LED 간 회로적 독립성을 위하여 각각에 저항과 및 정전류 회로를 설계하여 적용하였다. 실험은 Table 4 에 나타난 바와 같이 다양한 환경시험을 수행하였으며, 각각 독립적으로 LED 를 40 개씩 실험하였고, 시험 시간은 500 시간이었으며, 시험 전후의 광도(cd)를 테스트하여 그 차이를 비율로 나타내었다.

Table 4 The influence of Epoxy volume

Control (Epo)	Mean decreased rate (cd at 20mA)			
	4Φ LED		5Φ LED	
Color	Red	Green	Red	Green
Hi-Tem & Hi-Humi	16.7%	6.8%	17.6%	6.6%
Hi-Tem & Turn on	5.6%	8.6%	10.6%	10.6%
Low-Tem & Turn on	6.5%	8.4%	12.5%	7.5%
Thermol shock	6.7%	6.6%	4.8%	8.1%
Mean	8.88%	7.60%	11.38%	8.20%

에폭시의 양에 따른 결과를 고찰해보면, 4 파이 LED 가 5 파이 LED 보다 외부 열변화 조건에 더 좋은 특성을 보였다. 이러한 이유는 이번 실험 결과만으로도 정확히 규명할 수는 없으나, 비교적 열팽창 계수가 낮은 에폭시 층과 칩 그리고 리드프레임 등의 팽창 관계가 온도 차단 층이 얇을수록 자유롭게 전달되기 때문에 외부 물리적인 충격을 고려하지 않는다면 상대적으로 더 안정적인 것으로 평가되었다. 그리고 본딩 횡수에 따른 결과를 비교해 보면 Red(1 분당)가 green(2 분당)보다 광도

감소율이 높은 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

Green 칩은 열팽창 계수로 인해 리드프레임과 칩 사이에서 이격이 발생하였다 할지라도 양 전극의 본딩부가 끊어지지 않는기 때문에 상대적으로 안정된 전류가 공급되게 되므로 휘도의 감소가 비교적 적은 것으로 판단되나, Red 의 경우에는 상단의 본딩 공정부와 하단의 칩 부착부가 상호 열팽창 계수의 차이로 이격될 경우 전류의 흐름이 차단되기 때문에 열변화에 비교적 취약한 것으로 판단된다. 특히 고온고습의 경우에 약 17%의 광도 하락율을 보임에 따라 유리전이 온도 차이에 따른 LED 특성비교는 5 파이 형태의 Red LED 를 사용하여 분석하는 것이 타당하다고 판단된다.

**3.2 유리전이 온도차에 따른 광도변화 분석**

Fig. 1 에는 유리전이 온도가 130℃와 151℃인 에폭시로 Red LED 를 각각 20 개씩 제작하여 500 시간 동안 85℃에서 고온동작 실험을 수행하여 측정된 광도시험 결과를 표시하였다. 130℃인 경우와 151℃인 경우, 500 시간 후의 광도 평균 변화율을 비교해보면 20mA 와 50mA 에서는 큰 차이를 보이지 않으나, 100mA 를 인가한 경우에는 현격한 차이를 보여주었다. 기존 130℃ 에폭시의 경우, 500 시간이 경과한 후의 광도는 0.5cd 정도까지만 감소가 일어났지만 100mA 의 경우에는 약 0.3cd 까지 급격한 광도 감소를 나타내었다. 이는 151℃ 에폭시가 내구성이 크게 향상되었음을 보여주는 결과이다.

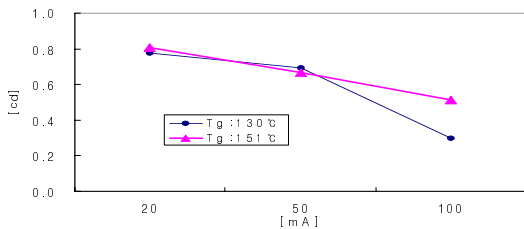


Fig. 1 The influence of current strength on the luminous intensity of LED

이러한 결과를 보다 더 장기적이고 여러 개의 시편으로 평가하기 위하여 동일한 조건으로 40 개씩 LED 를 다시 선정하고, 전류는 각각 100mA 에서 800 시간 동안 고온고습조건에서 지속적으로 인가하였다. LED 수명판단은 광원이 완전히 라이트 오프(light off) 상태를 기준으로 파괴되었다고 평가하였으며, 그 결과를 Fig. 2 에 나타내었다.

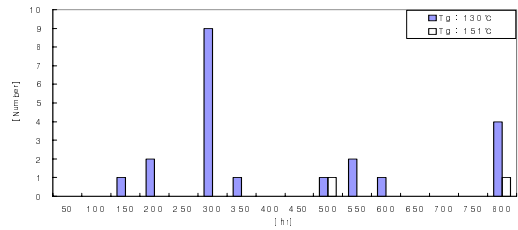


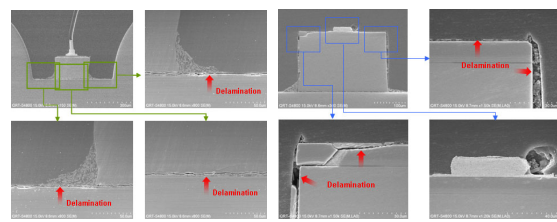
Fig. 2 The influence of LED reliability on the aging time at 100mA, 85℃ conditions

약 300 시간이 경과되는 시점에서 유리전이 온도가 130℃인 에폭시 시료 40 개 중 12 개가 고장이 발생하였고 이후 총 800 시간이 경과된 후에는 21 개가 고장으로 판정되었다. 반면, 유리전이 온도가 151℃인 에폭시를 사용한 시료의 경우에는 약 500 시간과 800 시간에 각각 1 개씩만이 고장으로 판정되어 상대적으로 매우 높은 안정성을 보였다.

특히 300 시간에서 LED 파괴의 숫자가 비교적 높은 실패율을 보였으나, 이는 일반적으로 초기에 높은 고장률을 보이는 LED 의 특성에서 기인한 것으로 보인다.

**3.3 파괴면 정밀 분석**

본 연구에서는 유리전이 온도 변화에 따른 파괴 형태를 정밀분석하기 위하여 SEM 사진을 통한 정밀분석을 수행하였다. Fig. 3 의 (a)에는 Aging 시험도 중 파괴된 유리전이 온도 130℃ 에폭시의 파괴 사진을 나타내었고 (b)에는 151℃ 에폭시의 파괴 사진을 나타내었다.



(a) Tg : 130℃ (b) Tg : 151℃  
Fig. 3 SEM micrographs of chip failure shape with (a)130℃ and (b)151℃ of Tg

에폭시의 Tg 가 130℃인 LED 파단면의 SEM 사진을 분석해 보면, 칩의 상태는 거의 변형이 없는 원래의 상태를 유지하고 있으나 칩 하단의 Pasted 본딩부를 정밀 고찰해보면, 리드프레임 칩

과 칩 계면에서 Delamination 이 발생된 것을 볼 수 있다.

이는 일반적인 Red LED 에서 자주 나타나는 현상으로서 리드프레임과 칩의 열팽창계수가 다르기 때문에 상호 팽창량의 차이에 따라 균열이 발생되고 시간이 진행됨에 따라 에폭시에 수분이 지속적으로 공급되어 유동성이 커짐에 따라 균열 진전이 확대된 결과로 분석될 수 있다. 따라서 이러한 유형의 고장을 줄이기 위해서는 칩을 보다 견고하게 고정하는 방법이 고려되어야 함을 알 수 있다.

반면 Tg 가 151°C 인 에폭시를 사용한 LED 의 경우에는 열팽창 계수의 차이에 의한 변형 외력을 유리전이 온도가 높은 봉지재가 견고하게 외부에서 강제로 고정시켜주기 때문에 LED 칩이 변형을 일으키기 어려워 고장률이 현저하게 낮게 나타나고 있음을 알 수 있었다. 그러나 강제로 억제된 변형 에너지는 한계에 이를 경우 급격한 전기적 충격에 의한 폭발성 파괴를 일으키며 칩이 Fail 되는 형태를 보이고 있다. 이러한 결과로부터 강제 변위 고정을 위한 유리전이 온도의 상승은 LED 신뢰성에 보다 유리한 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

LED 봉지재로서 사용되고 있는 에폭시의 유리전이 온도(Tg)를 상승시킨 LED 와 기존의 에폭시를 사용한 LED 를 비교 실험하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 4 파이보다는 5 파이 LED 가 고온 고습 평가시 상대적으로 높은 광도 저하율을 나타내었으며, 이는 에폭시 양에 따른 열응력의 영향은 크지 않음을 알 수 있었다.

2) 1-bonding(Red chip) 보다는 2-bonding(Green chip)의 경우가 보다 높은 신뢰성 특성을 나타내었다. 이는 2-bonding 의 경우, 열팽창 계수의 차이에 따른 칩 계면이 리드프레임과 이격되더라도 LED 수명은 유지되기 때문으로 판단된다.

3) 유리전이 온도가 높은 에폭시를 적용할 경우, 낮은 에폭시를 적용할 경우보다 신뢰성이 크게 상승함을 알 수 있었다.

4) 유리전이 온도가 낮은 에폭시 경우의 LED 파괴는 칩과 리드프레임 경계면에서 열팽창계수의 차이에 의한 상대 변형의 차이에 의해 크랙이 진전하여 발생되고, 유리전이 온도가 높은 에폭시의

경우, 억제된 내부 응력의 폭발적 팽창에 의해 파괴가 발생되었다.

#### 참고문헌

1. Lee, M. C. and Han, S., "Viscosity behaviors of Epoxy molding compound for the semiconductor microchip encapsulant," HwaHak KongHak, Vol. 40, No. 3, pp. 310-315, 2002.
2. Kim, W., Bae, J.-W., Kang, H.-Y., Lee, M.-J. and Choi, I.-D., "Studies on molding conditions and Physical properties of ENC(Epoxy Molding Compounds) filled with crystalline SiO<sub>2</sub> for microelectronic encapsulation," J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol. 8, No. 3, pp. 533-542, 1997.
3. Noh, B. I., Lee, J. B. and Jung, S. B., "Characteristic of underfill with various Epoxy resin," J. of the Microelectronics & Packaging Society, Vol. 13, No. 3, pp. 39-45, 2006.
4. Seo, J. U., Kim, C. Y., Kim, H. S. and Noh, S. J., "A study of violet LED chips and white LED lamps," J. of the Korean Vacuum Society, Vol. 12, No. 4, pp. 235-238, 2003.
5. Song, M. J, Kim, H. K, Kang, J. J. and Kim, K. H., "Finite Element Analysis of Residual Stress Evolution during Cure Process of Silicone Resin for High-power LED Encapsulant," J of KSPE, Vol. 28, No. 2, pp. 219-225, 2011.
6. Lee, K. S., Yun, D. H. and Goun, Y. N., "Thermal analysis of 0.3W single-chip LED package," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 1117-1118, 2010.
7. Lee, J. I. and Ko, B. G., "Thermal stress of semiconductor IC package," J. of Korean Soc. of Mechanical Technology, Vol. 9, No. 2, pp. 9-14, 2007.