

## PV모듈 발전성능 비교시험과 계측편차 요인 분석

강기환\*, 김경수\*, 유권종\*, 안형근\*\*, 한득영\*\*

\*한국에너지기술연구원(ghkang@kier.re.kr, kskim@kier.re.kr, y-gj@kier.re.kr),  
\*\*건국대학교(hkahn@konkuk.ac.kr, dyhan@konkuk.ac.kr)

### Analysis of Comparison Test and Measurement Error Factor for I-V Performance of Photovoltaic Module

Kang, Gi-Hwan\* Kim, Kyung-Soo\* Yu, Gwon-Jong\*  
Ahn, Hyung-Keun\*\* Han, Deuk-Young\*\*

\*Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr, kskim@kier.re.kr, y-gj@kier.re.kr),  
\*\*Dept. of Electrical Eng. Konkuk University(hkahn@konkuk.ac.kr, dyhan@konkuk.ac.kr)

#### Abstract

In this experiment, we did sampling 6 kinds of photovoltaic modules and analyzed the discrepancy of measurement results between 1 laboratory and 4 PV makers to have performance repeatability at Standard Test Condition (STC) condition.

From the KIER's results, Korea's standard test laboratory, other laboratory showed -10% measurement variation. The causes came from correction of reference cell, test condition and the state of skill.

Form the comparison test, we analyzed the problems. But three PV maker reduced measurement variation, other one PV maker and one test laboratory didn't improve the problems of correction of reference cell, test condition and the state of skill.

Also, High Efficiency Module had a big discrepancy of -10.0 ~ -6.2% among 3 laboratories which have a less than 10msec light pulse duration time. This made low spectrum response speed so the Fill Factor decreased maximum output power under 10msec light pulse duration time

Keywords : 태양전지모듈(Photovoltaic Module), 발전성능시험(Performance Test), 비교시험(Comparison Test), 계측오차(Test Error), 솔라시뮬레이터(Solar Simulator), 시험환경(Environment for Test)

#### 1. 서 론

PV모듈의 성능시험기준은 전 세계적으로 IEC 국제규격을 적용하여 운영되고 있다.

특히, 시험의 합부 판결을 결정하게 되는 STC (Standard Test Condition)에서의 PV모듈 발전성능시험 기준은 온도 25°C, 광원의 세기 1kW/m<sup>2</sup>의 표준시험조건에서 성능시험을 수

투고일자 : 2009년 03월 30일, 심사일자 : 2009년 04월 02일, 게재확정일자 : 2009년 04월 21일  
교신저자 : 강기환(ghkang@kier.re.kr)

행하게 되며, 자연광이나 인공광원에서 시험하도록 규정하고 있다<sup>1)</sup>).

이러한 PV모듈의 발전성능시험은 자연광에서 시험하는 방법이 가장 정확한 스펙트럼을 얻을 수 있으나, 일사강도 및 온도 등 잦은 시험환경의 변화로 재현성 있는 시험이 불가능하여, 일반적으로 인공광원에서 시험을 수행하게 된다.

인공광원에서 PV모듈의 발전성능 시험을 수행하기 위해서는 시험장치 자체의 성능 조건에 따라서도 많은 변수가 따르지만, PV모듈과 기준전지(reference cell)의 온도 조건 등 시험환경에 따라서도 성능의 차이가 크게 나타날 수 있다. 이러한 이유로 시험결과에 대해서 의뢰자와 시험기관간에 분쟁 소지가 있을 수 있기 때문에 시험결과 값에 대한 신뢰도는 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 PV모듈 발전성능시험에서 계측편차에 영향을 줄 수 있는 요인들을 분석하고, 그러한 문제점을 상호 공유하기 위하여 6종류의 PV모듈을 채취 한 후 국내에 시험 장치를 보유하고 있는 시험기관과 4개의 제조사를 대상으로 비교시험을 수행한 후 계측편차에 대한 원인을 분석하였다.

## 2. 연구의 배경

### 2.1 국제 시험기관의 비교시험 결과

본 연구에 사용된 시험 시료는 각각 최대 출력 66.92W, 67.30W의 정격 사양을 갖는 단결정 실리콘 PV모듈로써, 총 10개의 국제 시험기관이 본 시험에 참여 하였다<sup>2)</sup>.

표 1에서 보는바와 같이 2개의 비교시험 시료에 대한 개방전압, 단락전류, 곡선율, 최대출력에 대한 세부사양은 21.65V, 21.77V, 4.277A,

4.432A, 72.2%, 71.2%, 66.92W, 67.30W이다. 이때, 각각의 시험기관에서 측정된 결과에 대한 편차율은 그림 1에서 보는바와 같이 최대 출력의 경우 -4.4%~3.0%를 나타내고 있다.

표 1. 국제 시험기관 PV모듈 비교시험 결과

Mono-Si (nominal)	Voc(V)		Isc(A)		F.F		Pmax	
	SIE 0577	SIE 0586	SIE 0577	SIE 0586	SIE 0577	SIE 0586	SIE 0577	SIE 0586
	21.65	21.77	4.277	4.342	72.2	71.2	66.92	67.30
SNL	0.6	0.3	1.9	2.5	0.6	0.0	3.0	2.8
ASU	0.7	1.1	0.5	0.2	0.0	-0.1	1.5	1.2
FSEC	-0.7	-0.8	0.8	-0.3	-4.4	-3.1	-4.4	-4.3
ESTI	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.4	0.6	0.3	0.3
LEEE	0.8	1.0	-1.6	-1.4	0.4	1.0	-0.3	0.4
TUV	-0.2	-0.3	-0.6	-0.5	0.7	-0.1	-0.3	-0.7
ISE	0.1	0.0	-0.4	-0.4	1.1	1.0	0.7	0.6
JET	-0.1	-0.1	0.9	0.7	0.6	1.0	1.2	1.5
NREL	-0.9	-0.8	-2.3	-2.0	0.6	-0.1	-2.7	-2.9
AIST	-0.3	-0.4	0.8	1.3	0.7	0.1	1.0	1.0

※ 공칭사양 대비 측정결과의 편차율

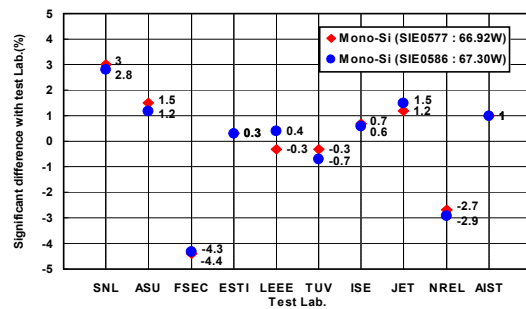


그림 1. 국제 시험기관 PV모듈 비교시험 결과

### 2.2 표준시험조건

IEC 국제기준에서 요구하는 PV모듈의 발전성능 표준시험 조건은 표면온도 25℃, 광원의 세기 1kW/m<sup>2</sup>으로써, 광원의 세기와 스펙트럼은 일반적으로 시험장치에서 기본적으로 결정되지만, 시험온도 조건은 시험자 또는 시험환경에 따라서 차이가 날 수 있기 때문에 온도에 따른 계측 편차를 줄이기 위해서는 PV모듈에 대한 온도계수의 정확한 보정계수가 요구된다.

1) IEC 61215 2nd Edition, "Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic(PV) Modules - Design Qualification and Type Approval", International Standard, 2005

2) S.Rummel et al, Results From the Second International Module Inter-Comparison, 4th WCPEC Waikoloa Hawaii, May 7-12, 2006.

일반적으로 태양전지의 온도특성은 온도가 증가하게 되면 출력 특성이 변화하게 되는데, 온도가 증가 할수록 식(1)에서와 같이 개방전압은 감소하고, 단락전류는 캐리어 수의 증가로 미세하게 증가하게 된다.

이러한 이유로 온도가 증가하게 되면 그림 2에서와 같이 태양전지의 최대 출력이 감소하게 되는데, 대략 1°C 변화 할 때 마다 약 0.5%의 출력 감소가 발생하게 된다.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_S} + 1\right) \cong \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_S}\right) \quad (1)$$

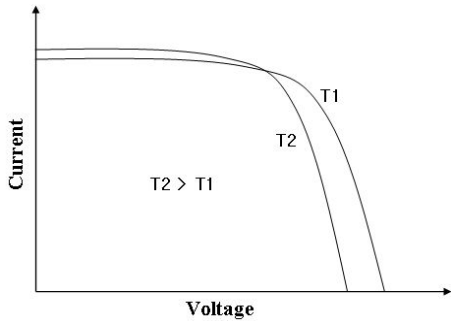


그림 2. 온도 변화에 따른 I-V 특성의 변화

따라서, 표준시험 조건에서의 최대 출력 값을 얻기 위해서는 식(2)에 의해 온도계수 값을 이용하여 표준시험 조건의 결과 값으로 산출할 수 있다. 여기서  $V_2$ ,  $I_2$ ,  $I_{SR}$ ,  $T_2$ 는 표준시험 조건에서의 전압, 전류, 일사강도 및 온도를 나타내고,  $V_1$ ,  $I_1$ ,  $I_{MR}$ ,  $T_1$ 은 실제 계측된 전압, 전류, 일사강도 및 온도를 나타낸다.

$$I_2 = I_1 + I_{SC} \left( \frac{I_{SR}}{I_{MR}} - 1 \right) + \alpha (T_2 - T_1) \quad (2)$$

$$V_2 = V_1 - R_S (I_2 - I_1) - K I_2 (T_2 - T_1) + \beta (T_2 - T_1)$$

이때, PV모듈의 출력전류 온도계수  $\alpha$ 와 출력전압 온도계수  $\beta$ 를 얻기 위해서는 태양전지 출력전류 온도계수  $\alpha_c$ 와 출력전압의 온도계수  $\beta_c$ 를 근거로 하여 식(3)에 의해 산출

하게 된다<sup>3)4)</sup>.

$$\alpha = n_p \cdot \alpha_c \quad (3)$$

$$\beta = n_s \cdot \beta_c$$

그러나 일반적으로 시험시료에 대한 정확한 온도계수를 고려하지 않고, 발전성능시험을 실시한 후 식(2)와 식(3)에 의해 표준시험 조건으로 변환하여 발전성능에 대한 결과를 얻고 있기 때문에 시험장치 및 시험환경에 따라서, 계측의 편차가 크게 나타나고 있다.

### 3. 실험 방법

#### 3.1 실험 장치

본 연구에서는 1개의 시험기관과 4개의 제조사에서 보유하고 있는 솔라시뮬레이터를 사용하여 비교시험을 실시하였다.

여기에서 1개의 시험기관을 표준시험기관(Standard Test Lab. : STL)으로 정하였다.

인증시험을 위해 구축된 STL의 솔라시뮬레이터는 Balval사의 PasanIIIb로써, 이 장치를 표준시험 장치로 정의하고, 비교성능 시험을 실시하였다.

표준시험 장치로 지정된 PasanIIIb 솔라시뮬레이터는 시험 가능한 시료면적이 2.0m x 2.0m이고, 광원의 균일도 및 광원의 안정도는  $\pm 0.58\%$  및  $\pm 0.30\%$ 로 성능이 매우 우수한 발전성능 시험 장치이다.

$$Uniformity(\%) = \pm \frac{(\max Value - \min Value)}{(\max Value + \min Value)} \times 100$$

$$= \pm \frac{(111.8 - 110.5)}{(111.8 + 110.5)} \times 100 = \pm 0.58\% \quad (4)$$

3) G.H.Kang et al, Comparison Analysis of Performance at STC with Modules of Solar Simulator and Photovoltaic Module, 22nd European PVSEC, pp.2593~2597, Sep 3-7, 2007.

4) W.Herrmann et al, Results of European Performance Project on PV Module Testing, 17th Crystalline Silicon Solar Cells & Modules Workshop Proceeding, pp.151~156, August 5-8, 2007.

$$\begin{aligned} \text{Stability}(\%) &= \pm \frac{(\max \text{Value} - \min \text{Value})}{(\max \text{Value} + \min \text{Value})} \times 100 \\ &= \pm \frac{(1 - 0.994)}{(1 + 0.994)} \times 100 = \pm 0.30\% \end{aligned} \quad (5)$$

시험에 함께 참여한 4개의 제조사에서 보유하고 있는 솔라시뮬레이터에 대한 주요사양은 표 2에서 보여주고 있다.

표 2. 비교성능시험에 사용된 Solar Simulator 사양

Part	Model Name	Test Area (m)	Class	Light Uni. (%)	Light Sta. (%)	Pulse D.T. (ms)
STL	PasanIIIb	2.0x2.0	A	±1	±1	10
	SPI 350i	1.6x1.0	A	±2	±1	1
Maker	SPI 460i	2.0x1.37	A	±2	±1	1
	PasanIIIb	2.0x2.0	A	±1	±1	10
	Quicksun 700A	1.3x1.6	A	±2	±1	2

### 3.2 실험 방법

본 실험에서는 시험품으로 총 6종류의 PV모듈을 선정하여 각각 1매씩 채취한 뒤 STL로부터 순차적으로 발전성능 시험을 수행하였다.

본 실험에 사용된 6종류의 시험시료는 표 3에서 보는바와 같다.

표 3. 시험시료 사양

Maker	Pmax. (W)	Cell Type
Maker-1	125	p-Si
Maker-2	173	m-Si
Maker-3	168	m-Si
Maker-4	120	p-Si
Maker-5	167	p-Si
Maker-6	200	HIT

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 온도에 따른 계측 편차

PV모듈의 발전성능은 온도 및 일사량에 매우 민감하다. 따라서, 시험 결과 값에 대한 재현성을 확보하기 위하여 표준시험조건을

온도 25℃, 일사량 1kW/m<sup>2</sup>로 정하여 사용하고 있다.

그러나 솔라시뮬레이터는 제조사 또는 모델마다 광원의 안정도, 시험 유효면적, 스펙트럼, 온도, 기준전지의 교정 등 서로 다른 각각의 다양한 특성을 갖고 있다.

본 연구에서는 그 중 계측 값에 가장 영향을 줄 수 있는 시험온도에 대한 계측편차를 분석하였다.

PV모듈의 발전성능은 온도에 매우 민감하여 온도계수 값을 먼저 알아내고, 표준시험 조건인 25℃와 차이가 날 경우에는 식(2)와 식(3)에서와 같이 표준시험 조건으로 결과 값을 산출해야 한다.

하지만, 솔라시뮬레이터에서는 기준전지에 대한 온도 값을 기준으로 표준시험 조건의 결과 값으로 산출하기 때문에 PV모듈의 온도가 기준전지 온도와 다를 경우에는 계측의 편차가 매우 클 수 있다.

그림 3은 STL의 PasanIIIb 솔라시뮬레이터를 사용하여 기준전지와 PV모듈의 온도를 변화시키면서 시험한 결과 값을 보여주고 있다.

그림 3에서 보는바와 같이 기준전지의 온도와 PV모듈의 온도가 서로 다를 경우에는 3.21~4.67%의 계측 편차를 나타내고 있다.

이러한 결과는 계측 값에 대해서 표준시험 조건으로 변환할 때 기준전지의 온도 값을 기준으로 하지만, 시험할 때 PV모듈의 온도가 서로 다를 수 있기 때문에 시험온도 25℃ 조건에서 측정된 결과에 비해 큰 편차를 나타내고 있다.

그러나 그림 4에서 보는바와 같이 기준전지와 PV모듈의 온도가 서로 동일할 경우에는 0.41~0.92%로 계측의 편차는 1% 이내로 매우 근접한 시험 결과를 얻을 수 있다.

따라서 재현성 있는 발전성능 시험 결과를 얻기 위해서는 기준전지의 온도와 PV모듈의 온도를 동일한 조건으로 유지시키고 온도계수 값을 정확하게 산출하는 것이 바람직하지

만, 온도계수 값을 알 수 없을 경우 기준전지와 PV모듈의 온도를 표준시험 조건인 25℃로 유지시키는 것이 가장 신뢰할 수 있는 시험 결과를 얻을 수 있다.

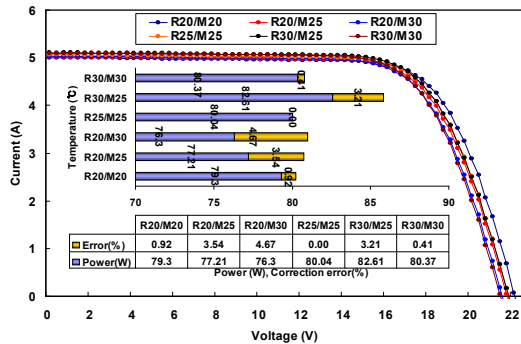


그림 3. 기준전지와 시료의 온도차에 따른 발전 성능 (R20/M25, R20/M30, R30/M25)

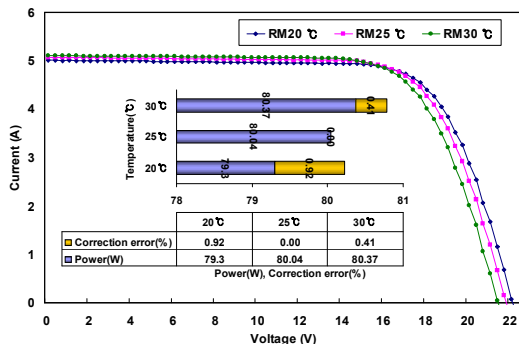


그림 4. 동일한 온도변화에 따른 발전 성능 (RM20℃, RM25℃, RM30℃)

#### 4.2 비교시험 결과

비교시험에서는 표 3에서 나타난 6종류의 PV모듈을 1개의 시험기관과 4개의 제조사에서 보유하고 있는 솔라시뮬레이터를 이용하였다.

표 4와 그림 5, 그림 6은 시험기관과 4개의 제조사가 순차적으로 실시한 비교속련도 시험 결과를 보여주고 있다.

표 4에서 보는바와 같이 정격출력 대비 STL PasanIIIb 솔라시뮬레이터에서는 일반 단결정과 다결정 모듈의 경우 -1.3%~+1.3%

의 계측편차를 나타내었으며, 고효율 태양전지로 제조된 HIT모듈의 경우 -2.4%의 계측편차를 나타내었다.

표 4. 비교 시험 결과

Pmax (W)	STL <sup>1)</sup>		Maker-1 <sup>2)</sup>		Maker-2 <sup>2)</sup>		Maker-3 <sup>2)</sup>		Maker-4 <sup>2)</sup>	
	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)	(W)	(%)
125.0	126.7	1.3	124.1	-2.1	127.5	0.61	116.5	-8.8	124.1	-2.1
173.0	175.5	1.4	169.3	-3.7	172.2	-1.9	170.1	-3.2	172.2	-1.9
168.0	165.8	-1.3	164.9	-0.5	166.1	0.2	161.9	-2.4	165.9	0.1
120.0	120.6	0.5	118.3	-1.9	120.3	-0.2	116.0	-4.0	119.9	-0.6
167.0	165.7	-0.8	163.1	-1.6	165.8	0.1	153.6	-7.9	165.2	-0.3
200.0 <sup>3)</sup>	195.3	-2.4	177.5	-10.0	177.6	-10.0	191.7	-19	183.9	-6.2

- 1) Comparison of peak power(Pmax) measurement in percent from nominal peak power
- 2) Comparison of peak power(Pmax) measurement in percent from STL
- 3) High Efficiency Cell(HIP in Sanyo)

그러나, 4개의 제조사에서는 STL PasanIIIb 솔라시뮬레이터 결과 값과 비교했을 때 일반 단결정과 다결정 모듈의 경우 -8.8%~0.61%로 매우 큰 계측편차를 나타내었으며, 고효율 HIT모듈의 경우 -10.0~-1.9%의 계측편차를 나타내었다.

이렇게 시험장치마다 계측편차가 큰 것은 대부분의 제조사에서는 기준전지의 교정과 솔라시뮬레이터의 광원의 세기에 대한 교정이 부정확하여 발생되었으며, 또한, 시험환경 특히 PV모듈 온도에 대한 유지관리에 많은 문제점이 발견되었다.

그 외 시험장치의 시험 유효면적과 광원의 펄스타임에 의해서도 계측편차에 영향을 주는 것이 확인되었다.

특히, 고효율 HIT PV모듈의 경우 일반 단결정과 다결정 PV모듈에 비해 분광응답속도가 느려 광원의 펄스 타임이 10ms 미만에서는 곡선율의 감소현상으로 인해 최대출력이 감소하는 것을 알 수 있었다<sup>5)6)</sup>.

5) D.L.King, J.M.Gee et al, Measurement Precautions for High-Resistivity Silicon Solar Cells, IEEE, pp.555~559, 1987

6) Yoshihiro HISHIKAWA, Precise Performance Measurement of High-Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells, IEEE, pp.1279~1282, 2006

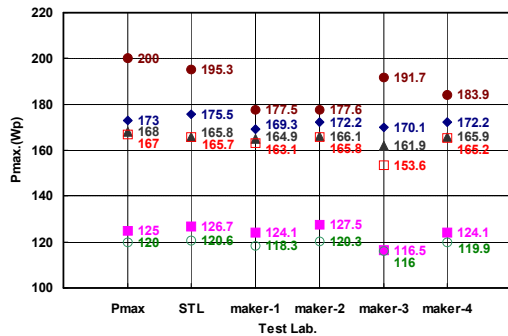
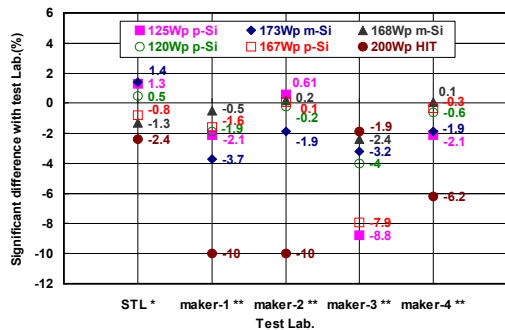


그림 5. 최대출력 비교시험 결과



\* Comparison of peak power(Pmax) measurement in percent from nominal peak power  
 \*\* Comparison of peak power(Pmax) measurement in percent from STL

그림 6. STL대비 솔라시뮬레이터 계측편차

## 5. 결론

본 연구에서는 PV모듈의 발전성능 시험결과에 영향을 미칠 수 있는 기준전지와 PV모듈의 온도편차에 따른 최대출력의 계측편차를 실험으로 증명하였으며, 6종류의 PV모듈을 5개의 솔라시뮬레이터에서 비교시험을 실시하여 계측편차와 그 원인을 분석하였다.

그 결과로부터, STL의 시험결과에 비해서 특정 제조사의 경우 일반 단결정과 다결정 PV모듈에서 약 -8.8%~0.61%의 계측편차를 나타내었으며, 그 원인은 기준전지의 교정상태 미흡과 시험환경, 시험자의 숙련도 등의 문제점으로 분석되었다.

또한, 고효율 HIT 모듈의 경우 -10%의 큰

계측 편차를 나타내었으며, 광원의 펄스 타임이 10ms 미만인 3개의 제조사에서 -10.0~-6.2%로 큰 계측 편차를 나타내었는데, 그 원인으로서는 일반 단결정과 다결정 PV모듈에 비해 분광응답속도가 느려 광원의 펄스 타임이 10ms 미만에서는 곡선율의 감소에 의해 최대출력이 감소하는 것을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : 2007-N-PV12-P-01)

## 참 고 문 헌

1. IEC 61215 2nd Edition, "Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic(PV) Modules -Design Qualification and Type Approval", International Standard, 2005
2. S.Rummel et al, Results From the Second International Module Inter-Comparison, 4th WCPEC Waikoloa Hawaii, May 7-12, 2006.
3. G.H.Kang et al, Comparison Analysis of Performance at STC with Modules of Solar Simulator and Photovoltaic Module, 22nd European PVSEC, pp.2593~2597, Sep 3-7, 2007.
4. W.Herrmann et al, Results of European Performance Project on PV Module Testing, 17th Crystalline Silicon Solar Cells & Modules Workshop Proceeding, pp.151~156, August 5-8, 2007.
5. D.LKing, J.M.Gee et al, Measurement Precautions for High-Resistivity Silicon Solar Cells, IEEE, pp.555~559, 1987
6. Yoshihiro HISHIKAWA, Precise Performance Measurement of High-Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells, IEEE, pp.1279~1282, 2006