



MTF 와 SFR의 비교



글/(주)지엔오 최유화 이사

MTF란?

Modulation Transfer Function의 약어로 현재까지 가장 과학적이고 객관적인 렌즈 및 카메라 모듈의 성능 측정방법으로 알려져 있다. 일반적으로 렌즈 및 카메라모듈의 성능을 알기 위해 사람들이 만들어 낸 표준적 타겟으로 해상력 차트라는 것이 있는데 이는 완전 흰색(반사율 100%)의 배경에 완전히 검은 줄(반사율 0%)이 일정한 간격으로 그어져 있는 것이다. 일정한 간격은 흰 줄과 검은 줄이 한 쌍을 이뤘을 때 1mm 안에 몇 쌍이 들어가는냐에 따라 1쌍이 들어가면 1lp/mm가 되고 10개의 쌍이 들어가면, 즉 각각의 흰색 줄 또는 검은색 줄이 0.05mm의 두께로 뻗곡히 20개가 들어가면 10lp/mm가 된다. (여기서 lp/mm는 Line Pair per millimeter이다.) 이렇게 하면 이 해상력 차트의 종류는 무수히 많을 수 있지만 일반적으로 600lp/mm를 넘어가는 경우는 없다. 인간의 나안으로 구분할 수 있는 lp의 한계는 통상 10lp/mm라고 한다.

한편, 차트 또는 타겟에 선이 그어져 있는 모양에 따라 차트의 중심에서 자전거 바퀴살 모양으로 선이 그어지는 것이 있고 원

형으로 수렴하는 모양처럼 그어진 것이 있다. 전자는 렌즈의 중심축 또는 광축에서 봤을 때 어떤 형체를 형성하는 수평적인 요소가 되고 후자는 원형의 수직적인 요소가 된다.

MTF에서 이런 해상력 차트 이야기를 하는 것은 이걸 알아야

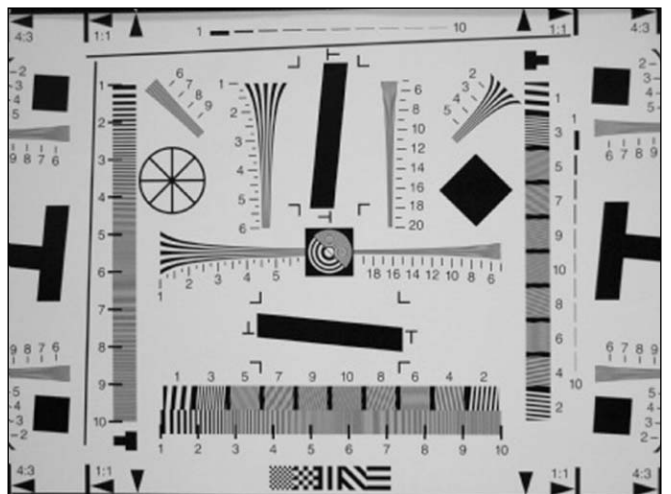
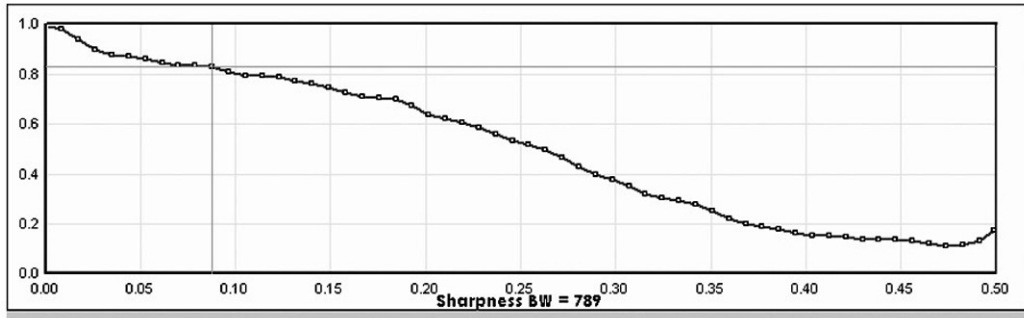


그림 1. PIMA / ISO 12233

테일이 정교해진다는 것인데 따라서, lp/mm단위가 높은 경우의 테스트(예를 들어 40lp/mm 또는 60lp/mm 등)는 그 렌즈 및 카메라모듈의 해상력 또는 정밀한 묘사력 정도를 보여주는 자료

가 된다. 즉 필름원판을 아주 크게 확대(35mm원판의 경우 최소 12R이상으로의 확대)할 요량이면 유의미한 정보가 될 수 있다. 인간이 형체를 구분할 수 있는 최소한의 콘트라스트가 20%라고

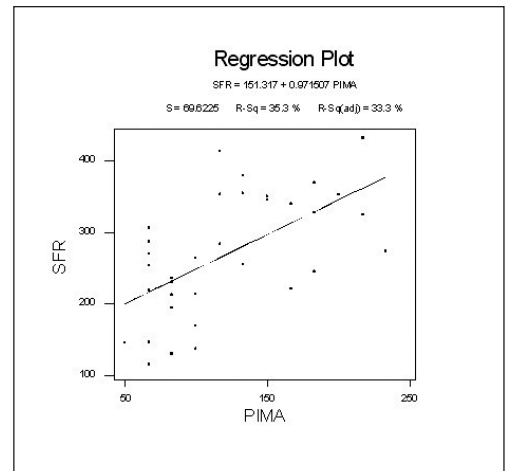
그림 4. 해상도 분석결과



< PIMA vs SFR 상관관계 분석 >

그림 5. PIMA/SFR 비교 data(샘플1)

NO	SFR 모듈 1 0.7Field					PIMA					
	평균		최대-최소			중심	주변				
	H	V	H	V	MAX		중앙	좌상	우상	좌하	우하
1	530	618	202	284	284	617	500	467	583	500	117
2	542	653	181	213	213	650	550	517	550	483	83
3	556	623	279	414	414	617	600	517	500	483	117
5	605	737	104	115	115	633	517	483	550	550	67
6	493	586	152	169	169	633	417	400	500	500	100
7	532	636	236	157	236	617	517	483	483	467	83
8	530	622	297	328	328	633	533	417	550	383	183
9	560	653	377	433	433	650	617	500	483	400	217
10	491	585	124	145	145	617	467	467	500	467	50
11	528	618	252	355	355	633	550	467	550	417	133
12	631	695	380	30	380	617	583	483	583	467	133
13	627	721	99	130	130	650	483	517	567	533	83
14	529	673	124	137	137	650	433	500	467	533	100
15	599	671	351	334	351	617	567	517	500	417	150
16	596	673	336	341	341	633	533	383	517	433	167
17	563	627	325	324	325	617	533	350	567	417	217
18	635	178	354	281	354	617	550	450	567	517	117
19	597	707	105	231	231	617	533	483	517	450	83
20	570	675	184	270	270	617	517	450	500	450	67
21	595	687	346	345	346	650	550	500	517	417	150
22	583	671	370	644	370	617	550	367	550	483	183
23	558	690	142	307	307	617	517	483	467	450	67
24	558	666	141	194	494	650	483	483	533	550	83
25	500	612	128	287	287	650	517	467	450	467	67
26	534	626	225	246	246	617	467	400	583	483	183
27	546	617	353	326	353	667	533	350	550	400	200
28	554	638	251	254	254	650	517	483	500	467	67
29	549	658	112	146	146	633	517	450	483	500	67
30	551	587	229	274	274	633	217	350	583	417	233
L#1	734	806	214	186	214	617	600	600	500	583	100
L#2	730	824	219	214	219	650	600	600	567	633	67
L#3	701	736	199	221	221	650	567	567	400	483	167
L#4	737	827	255	217	255	633	633	617	583	500	133
L#5	649	733	264	191	264	650	567	500	483	533	100



Correlations : SFR.PIMA
Pearson correlation of SFR and PIMA= 0.594

하나까 MTF그래프에서의 재생율 곡선이 20% 아래로 내려가면 곤란해진다는 결론이 되는데 lp/mm단위를 높일수록 특히 주변부에서는 20%이하로 내려가는 렌즈 및 카메라모듈이 발생할 수 있다. 그러나 PIMA 차트의 화상측정을 통한 렌즈 및 카메라모듈의 해상력 평가는 검사자별 객관적인 결과를 도출하기 어렵고 재현성에도 한계가 있다는 단점이 있다. 따라서 렌즈 및 카메라모듈의 해상력 측정방법에 있어 객관성을 높이고 수치적으로 확인할 수 있는 방법을 모색할 필요가 있다.

먼저 PIMA 해상도차트를 이용하여 측정을 하는 경우 측정위치를 결정해야 하는 현실적인 문제가 있다. 테스트 위치를 무한정으로 선정할 수 없기 때문에 상의 위치를 결정해야 한다. 여기서는 측정을 상의 중심과 주변 4부분으로 지정하여 측정했다. 보통의 MTF는 5lp/mm, 10lp/mm, 20lp/mm, 그리고 40lp/mm 정도에서만 MTF를 측정하게 된다. 스웨덴의 Hasselblad Lab에서 실시하는 MTF테스트의 경우 10, 20, 40을 표준으로 하고 있다. 보통의 경우 렌즈 및 카메라모듈의 해상도는 중심보다는 주변의 의미가 크기 때문에 중심부와 주변부의 해상력 차이를

보여주기 위해 측정지점은 렌즈 및 카메라모듈의 정중앙부(또는 광축이 될 것이다) 에서 일정한 간격을 두고 주변부까지 측정하는 것이다.

- SFR 해상도 측정은 차트가 복잡하지 않다.
- 차트의 경사각 변동에 따른 오차의 발생이 심하게 왜곡되지 않는다.
- 렌즈 및 카메라 해상도의 변동에 따라 차트의 크기에 영향을 받지 않는다.

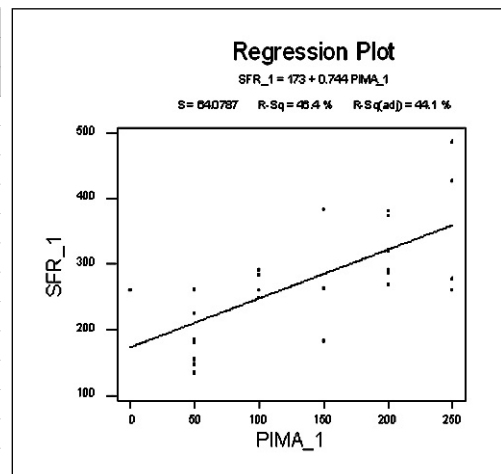
동일 샘플을 사용하여 그림 3의 각 측정위치에서 SFR용 차트를 측정 후 SFR 프로그램을 이용한 해상도 분석결과는 그림 4와 같다.

결론적으로, PIMA 차트를 통한 주변 해상도 검토시 측정인별 차이가 발생하며 객관적인 결과 도출이 어려운 단점이 있다. PIMA차트 주변 해상력 편차와 SFR 측정결과 사이에 상관관계가 존재하며 SFR 프로그램을 이용하는 경우 수치화 가능성이 크다는 것을 알 수 있다.

< PIMA vs SFR 상관관계 분석 >

그림 6. PIMA/SFR 비교 data(샘플2)

NO	PIMA						SFR(0.7Field)				
	중심	주변					평균		최대-최소		
	C	LU	RU	LB	RB	편차	H	V	H	V	MAX
1	650	550	600	400	600	200	544	638	120	287	287
2	650	600	600	550	600	50	757	779	31	134	134
3	700	550	600	600	600	50	596	696	185	172	185
4	700	600	600	550	500	100	737	765	229	259	259
5	700	500	650	400	600	250	585	692	427	421	427
6	700	600	600	550	600	50	592	694	103	224	224
7	700	400	500	500	550	150	544	635	140	182	182
8	700	600	600	600	600	0	568	664	217	259	259
9	700	600	600	550	550	50	620	723	140	181	181
10	700	550	550	600	600	50	644	738	147	77	147
11	650	600	650	400	500	250	553	572	217	277	277
12	700	650	650	400	400	250	437	663	373	486	486
13	700	600	550	600	600	50	670	736	154	143	154
14	700	500	550	450	550	100	571	660	283	133	283
15	700	650	650	500	500	150	685	751	262	224	262
16	600	600	600	500	500	100	579	709	135	248	248
17	700	600	500	500	400	200	572	638	290	248	290
18	700	500	550	550	600	100	620	719	259	199	259
19	700	600	500	550	400	200	598	675	268	198	268
20	700	500	600	400	400	200	541	611	234	319	319
21	650	500	500	400	300	200	543	625	232	381	381
22	700	500	600	400	400	200	545	654	368	373	373
23	700	400	400	400	500	100	491	569	290	201	290
24	700	600	600	550	600	50	767	800	177	261	261
25	700	600	600	550	600	50	797	800	177	261	261
26	700	650	600	500	600	150	679	723	257	383	383



Correlations : SFR_1, PIMA_1
Pearson correlation of SFR_1 and PIMA_1 = 0.681

- MTF는 두가지 패턴의 무늬를 가진 해상력 차트를 lp/mm 별로 투사해서 원본과 투사본의 콘트라스트 차이를 보고 재생 정도를 %로 나타낸 것인 반면, SFR은 독립된 해상도 측정 차트를 통하여 그 비율을 계산할 수 있다.
- SFR의 경우 수치화가 가능하여 측정결과에 따른 오차 범위를 현저하게 줄일 수 있는 장점이 있다.

도표 1. SFR 측정결과(샘플1)

#	Center		0.7FIELD								평균		최대-최소	
			LB		RB		RT		LT		0.7FIELD		0.7FIELD	
	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V
#1	821	849	627	746	425	554	462	462	617	708	630.3	617.5	202.0	284.0
#2	839	880	614	708	443	562	487	558	624	775	642.0	653.3	181.0	213.0
#3	822	861	605	554	439	434	462	557	718	848	656.0	623.3	279.0	414.0
#5	814	864	602	707	548	673	619	778	662	788	606.3	736.5	104.0	115.0
#6	799	874	691	664	455	611	439	485	488	592	493.3	585.5	152.0	169.0
#7	747	798	686	695	413	673	482	550	649	717	632.3	636.3	236.0	157.0
#8	828	898	636	694	381	476	423	615	678	804	629.5	622.3	297.0	328.0
#9	825	859	610	572	385	445	479	713	753	879	559.5	652.5	377.0	433.0
#10	785	825	554	644	440	554	443	439	517	634	491.0	535.3	124.0	145.0
#11	820	865	692	645	413	471	443	529	565	825	628.3	618.0	252.0	355.0
#12	809	835	724	750	455	533	508	534	835	863	630.5	695.0	380.0	330.0
#13	830	905	686	779	557	687	605	549	628	767	625.5	720.5	99.0	130.0
#14	845	910	492	598	557	641	596	715	472	735	629.3	672.5	124.0	137.0
#15	792	838	691	640	430	502	494	704	781	835	599.0	670.5	351.0	334.0
#16	789	837	697	639	430	499	492	712	755	840	595.3	672.5	336.0	341.0
#17	827	884	719	772	397	617	414	448	722	770	653.0	625.8	325.0	324.0
#18	825	885	754	798	459	617	612	688	813	869	634.5	718.0	354.0	281.0
#19	852	887	678	652	522	593	588	750	627	824	578.8	707.3	105.0	231.0
#20	840	897	615	674	455	557	645	542	550	827	559.5	675.0	184.0	270.0
#21	838	870	691	697	433	615	477	575	779	861	635.0	687.3	345.0	345.0
#22	855	905	735	782	423	599	402	480	772	824	583.0	671.3	370.0	344.0
#23	895	908	552	615	478	544	572	751	620	851	558.0	690.3	142.0	307.0
#24	875	900	638	719	497	621	439	554	599	758	558.3	655.5	141.0	194.0
#25	834	909	487	567	422	479	640	534	550	766	499.8	611.5	128.0	287.0
#26	882	913	650	738	444	595	425	492	615	679	533.8	625.0	225.0	245.0
#27	840	847	705	771	355	615	395	445	718	735	645.3	617.0	353.0	325.0
#28	821	864	635	655	427	640	475	554	678	794	653.8	638.3	251.0	254.0
#29	817	852	615	655	504	605	530	511	544	751	548.5	658.0	112.0	145.0
#30	833	871	642	598	417	497	413	440	571	714	510.8	587.3	229.0	274.0
L#1	848	859	774	792	525	688	695	874	839	858	733.5	805.5	214.0	185.0
L#2	847	855	779	823	618	688	685	884	837	902	729.8	824.3	219.0	214.0
L#3	844	859	730	654	601	623	673	821	800	844	701.0	735.5	199.0	221.0
L#4	838	855	817	841	502	685	670	903	857	877	735.5	825.8	255.0	217.0
L#5	817	825	740	751	512	644	557	592	775	835	648.8	733.0	254.0	191.0

도표 2. SFR 측정결과(샘플2)

NO	Center		0.8FIELD								평균		최대-최소	
			LB		RB		RT		LT		0.7FIELD		0.7FIELD	
	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V	H	V
1	885	897	491	487	502	598	611	691	571	774	543.8	637.5	120.0	287.0
2	921	885	744	704	742	779	773	794	768	838	756.8	778.8	31.0	134.0
3	903	913	648	667	491	731	569	607	676	779	596.0	696.0	185.0	172.0
4	924	905	679	625	608	672	823	878	837	884	736.8	764.8	229.0	259.0
5	924	898	406	437	611	713	833	858	489	759	584.8	691.8	427.0	421.0
6	859	872	549	590	586	663	652	708	581	814	592.0	693.8	103.0	224.0
7	941	905	585	569	587	751	555	607	447	614	543.8	635.3	140.0	182.0
8	876	876	681	736	513	715	464	477	614	726	568.0	663.5	217.0	259.0
9	927	924	707	641	626	729	581	701	567	822	620.3	723.3	140.0	181.0
10	891	897	632	697	681	774	704	726	557	756	643.5	738.3	147.0	77.0
11	667	656	463	412	503	506	680	680	565	689	552.8	571.8	217.0	277.0
12	944	930	537	430	389	471	61	833	762	916	437.3	662.5	701.0	486.0
13	883	884	754	762	674	781	650	638	600	763	669.5	736.0	154.0	143.0
14	927	915	501	592	644	725	710	671	427	650	570.5	659.5	283.0	133.0
15	928	910	718	643	527	688	705	807	789	867	684.8	751.3	262.0	224.0
16	935	913	642	605	507	693	546	686	621	853	579.0	709.3	135.0	248.0
17	905	909	599	571	437	561	524	610	727	809	571.8	637.8	290.0	248.0
18	925	912	548	612	676	811	757	751	498	703	619.8	719.3	259.0	199.0
19	931	894	674	602	468	641	512	658	736	800	597.5	675.3	268.0	198.0
20	928	923	624	489	414	486	479	663	648	805	541.3	610.8	234.0	319.0
21	932	922	627	487	415	484	483	664	647	865	543.0	625.0	232.0	381.0
22	932	935	413	430	517	621	781	803	470	763	545.3	654.3	368.0	373.0
23	889	875	408	497	624	698	598	574	334	508	491.0	569.3	290.0	201.0
24	884	887	655	635	703	801	877	896	856	918	772.8	812.5	222.0	283.0
25	903	906	683	642	678	800	855	855	853	903	767.3	800.0	177.0	261.0
26	897	911	523	511	711	730	780	758	773	894	696.8	723.3	257.0	383.0

도표 3. PIMA 측정결과(샘플1)

NO	측정자1						측정자2						측정자3						평균					
	C	LT	RT	LB	RB	편차	C	LT	RT	LB	RB	편차	C	LT	RT	LB	RB	편차	C	LT	RT	LB	RB	편차
1	650	500	500	600	550	100	600	450	450	550	450	100	600	550	450	600	500	150	617	500	467	583	500	117
2	650	550	550	600	500	100	600	500	450	500	450	50	700	600	550	550	500	100	650	550	517	550	483	83
3	650	600	550	500	500	100	600	600	500	500	450	150	600	600	500	500	500	100	617	600	517	500	483	117
5	650	550	550	600	600	50	600	500	450	550	550	100	650	500	450	500	500	50	633	517	483	550	550	67
6	700	450	450	550	550	100	600	400	400	450	450	50	600	400	350	500	500	150	633	417	400	500	500	100
7	650	550	500	600	500	100	600	500	450	450	450	50	600	500	500	400	450	100	617	517	483	483	467	83
8	700	600	400	600	450	200	600	500	450	550	350	200	600	500	400	500	350	150	633	533	417	550	383	183
9	700	650	550	550	450	200	600	600	500	450	400	200	650	600	450	450	350	250	650	617	500	483	400	217
10	650	550	500	550	500	50	600	400	400	450	450	50	600	450	500	500	450	50	617	467	467	500	467	50
11	700	600	500	600	450	150	600	550	450	550	400	150	600	500	450	500	400	100	633	550	467	550	417	133
12	650	650	500	650	500	150	600	600	450	550	450	150	600	500	500	550	450	100	617	583	483	583	467	133
13	700	550	550	650	600	100	650	450	500	550	500	100	600	450	500	500	500	50	650	483	517	567	533	83
14	700	500	550	500	600	100	650	350	450	450	500	150	600	450	500	450	500	50	650	433	500	467	533	100
15	600	600	550	550	500	100	650	550	500	500	350	200	600	550	500	450	400	150	617	567	517	500	417	150
16	650	550	500	600	500	100	650	550	350	450	400	200	600	500	300	500	400	200	633	533	383	517	433	167
17	650	550	400	600	500	200	600	550	350	600	350	250	600	500	300	500	400	200	617	533	350	567	417	217
18	650	600	500	650	600	150	600	550	450	550	450	100	600	500	400	500	500	100	617	550	450	567	517	117
19	650	600	550	550	500	100	600	500	450	500	400	100	600	500	450	500	450	50	617	533	483	517	450	83
20	650	550	500	550	500	50	600	500	450	500	450	50	600	500	400	450	400	100	617	517	450	500	450	67
21	650	650	500	550	450	200	650	550	500	500	400	150	650	450	500	500	400	100	650	550	500	517	417	150
22	650	600	400	600	500	200	600	550	350	550	450	200	600	500	350	500	500	150	617	550	367	550	483	183
23	650	550	550	500	500	50	600	500	450	450	450	50	600	500	450	450	400	100	617	517	483	467	450	67
24	700	500	500	600	550	100	600	450	450	500	500	50	650	500	500	600	600	100	650	483	483	533	550	83
25	650	500	500	500	500	0	600	500	450	400	400	100	700	550	450	450	500	100	650	517	467	450	467	67
26	650	500	400	600	500	200	600	400	400	550	450	150	600	500	400	600	500	200	617	467	400	583	483	183
27	700	550	400	600	450	200	600	550	300	550	350	250	700	500	350	500	400	150	667	533	350	550	400	200
28	650	550	500	550	500	50	600	500	450	500	400	100	700	500	500	450	500	50	650	517	483	500	467	67
29	700	550	500	550	550	50	600	500	400	400	450	100	600	500	450	500	500	50	633	517	450	483	500	67
30	650	550	400	600	450	200	600	500	350	550	400	200	650	500	300	600	400	300	633	517	350	583	417	233
L#1	650	650	650	550	600	100	600	550	550	450	550	100	600	600	600	500	600	100	617	600	600	500	583	100
L#2	650	600	600	600	600	0	600	600	600	600	600	0	700	600	600	500	700	200	650	600	600	567	633	67
L#3	650	600	600	450	550	150	600	600	600	400	400	200	700	500	500	350	500	150	650	567	567	400	483	167
L#4	650	650	650	650	650	0	600	600	600	500	450	150	650	650	600	600	400	250	633	633	617	583	500	133
L#5	650	650	550	600	650	100	600	550	450	450	450	100	700	500	500	400	500	100	650	567	500	483	533	100

도표 4. PIMA 측정결과(샘플2)

PIMA					
중심	주변				
C	LT	RT	LB	RB	편차
650	550	600	400	600	200
650	600	600	550	600	50
700	550	600	600	600	50
700	600	600	550	500	
700	500	650	400	600	250
700	600	600	550	600	50
700	400	500	500	550	150
700	600	600	600	600	0
700	600	600	550	550	50
700	550	550	600	600	50
650	600	650	400	500	250
700	650	650	400	400	250
700	600	550	600	600	50
700	500	550	450	550	100
700	650	650	500	500	150
600	600	600	500	500	100
700	600	500	500	400	200
700	500	550	550	600	100
700	600	500	550	400	200
700	500	600	400	400	200
650	500	500	400	300	200
700	500	600	400	400	200
700	400	400	400	500	100
700	650	600	550	600	100
700	600	600	550	600	50
700	650	600	500	600	150