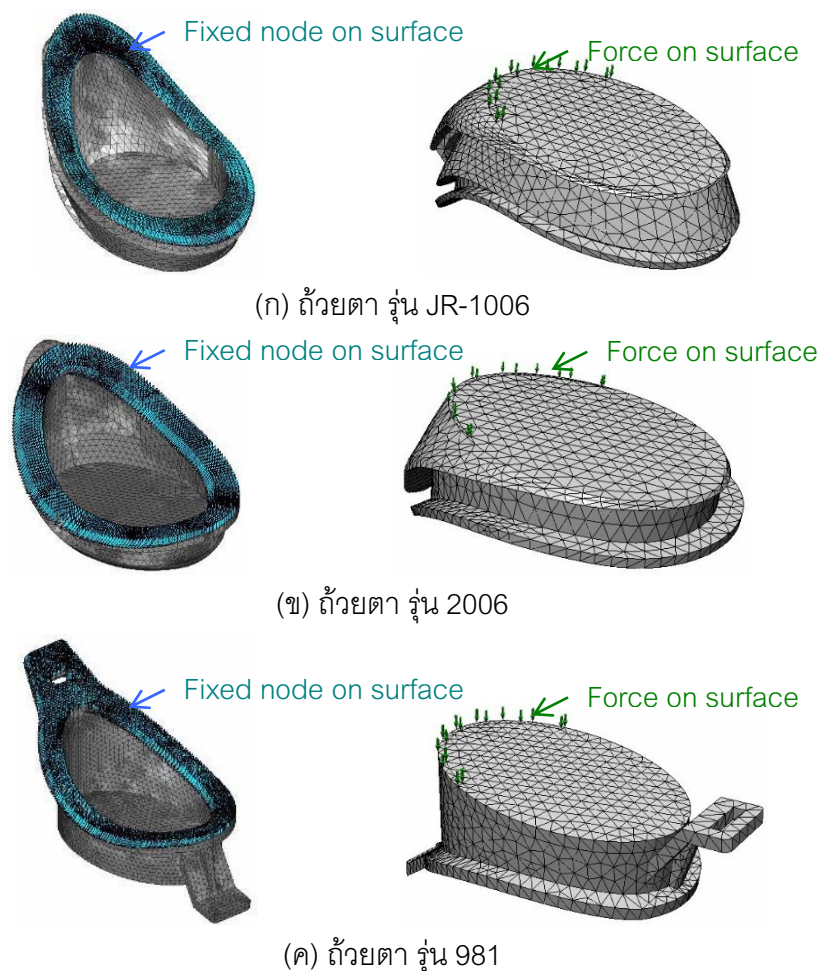


5.1.2 การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง FEM สำหรับการทดสอบการอัดแบบ ข

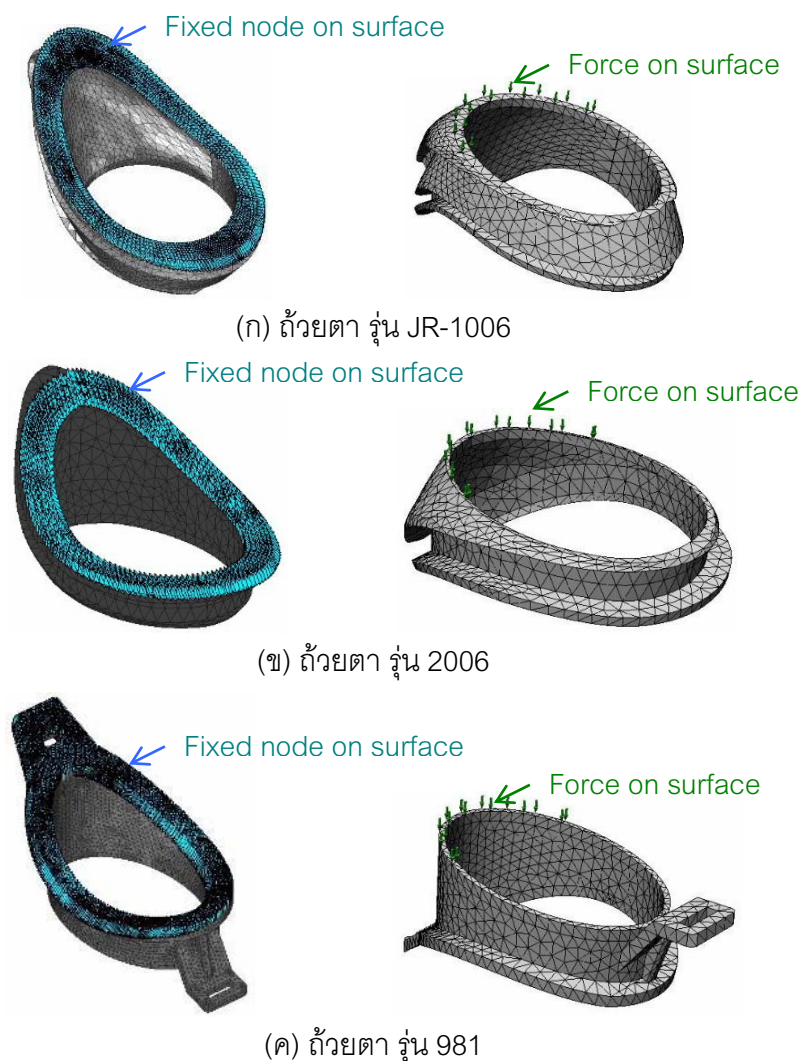
ภาพที่ 73 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ทิศทางและบริเวณพื้นผิวของแรงอัดที่กระทำบนถ้วยตาของการทดสอบแรงอัดแบบ ข ของถ้วยตา รุ่น JR-1006 (ภาพที่ 73 ก) รุ่น 2006 (ภาพที่ 73 ข) และรุ่น 981 (ภาพที่ 73 ค) โดยกำหนดให้พื้นผิวที่รับแรงอัดเฉพาะบริเวณขอบของกรอบลำตัวด้านฝั่งหู โดยมีแรงอัดกระทำเป็นพื้นที่ประมาณ 1/4 ของผิวเลนส์

5.1.3 การกำหนดเงื่อนไขการจำลอง FEM สำหรับการทดสอบการอัดแบบ ค

ภาพที่ 74 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ทิศทางและบริเวณพื้นผิวของแรงอัดที่กระทำบนถ้วยตาของการทดสอบแรงอัดแบบ ค โดยใช้แบบจำลอง FEM ที่ไม่รวมเลนส์ของถ้วยตา รุ่น JR-1006 (ภาพที่ 74 ก) รุ่น 2006 (ภาพที่ 74 ข) และรุ่น 981 (ภาพที่ 74 ค) โดยการกำหนดแรงอัดใช้เงื่อนไขเดียวกันกับของเงื่อนไขการทดสอบแรงอัดแบบ ข



ภาพที่ 73 เงื่อนไขขอบเขตและทิศทางแรงอัดสำหรับการทดสอบการอัดแบบ ข



ภาพที่ 74 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและทิศทางสำหรับการทดสอบการอัดแบบ ค

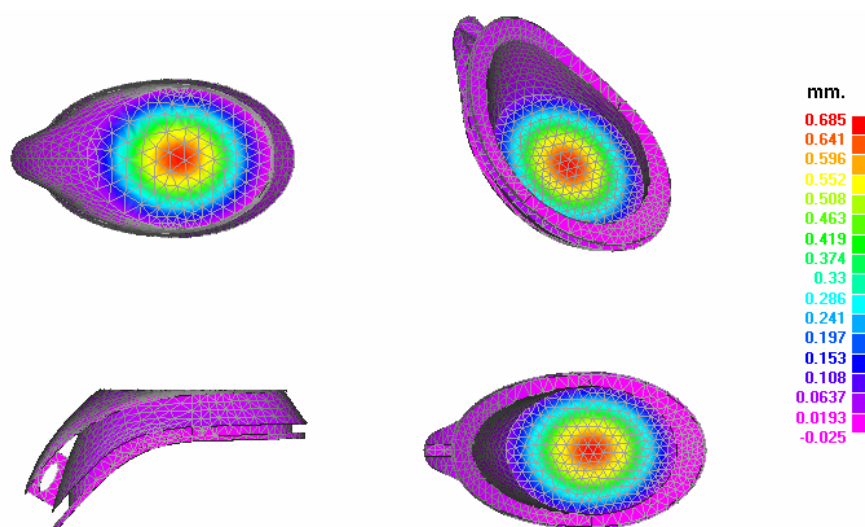
5.2 ผลการวิเคราะห์การยุบตัวของถ้วยตาโดยใช้ FEA

5.2.1 ผล FEA ของการจำลองการทดสอบการอัดแบบ ก

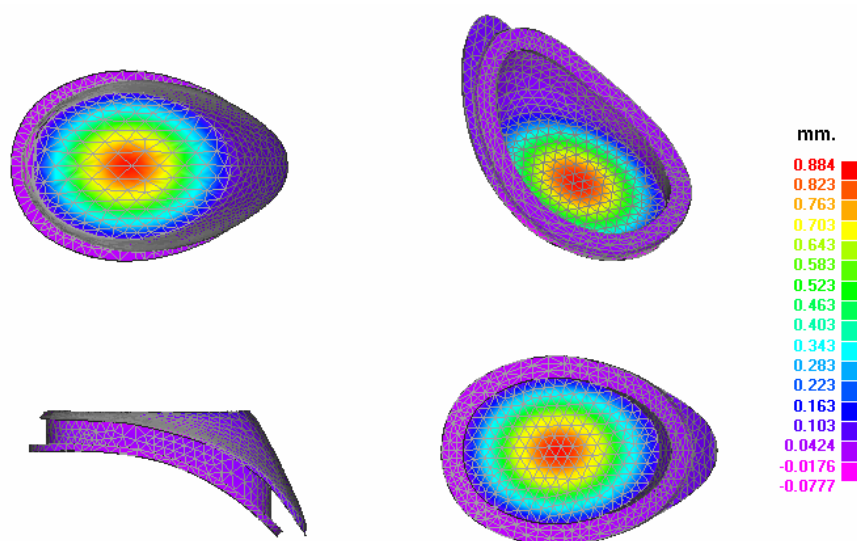
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ FEA ของการยุบตัว หรือการเปลี่ยนแปลงรูปทรง ของถ้วยตา แสดงเป็นระดับชั้นสี ที่เกิดจากแรงอัด 600 N ของการทดสอบการอัดแบบ ก ได้แสดงในภาพที่ 75, 76 และ 77 สำหรับถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ ขั้นตอนการวิเคราะห์ ได้สรุปไว้ในภาคผนวกที่ 5

ผลการวิเคราะห์ FEA ของการยุบตัว จากแรงอัดทุกๆ 100 N โดยเริ่มจากแรงอัดที่ 200 N ถึง 1000 N ได้ผลเช่นเดียวกับภาพที่ 75 ถึง 77 โดยแสดงการยุบตัวสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของเลนส์ เนื่องจากกระยะยุบตัวที่วัดได้ในการทดสอบทางกล เป็นการวัดที่ผิวบนของกรอบลำตัวของถ้วยตา ดังนั้นระยะยุบตัวที่นำมาเปรียบเทียบจึงใช้ค่าเฉลี่ยของ 25 จุด ระยะห่างเท่าๆ กัน

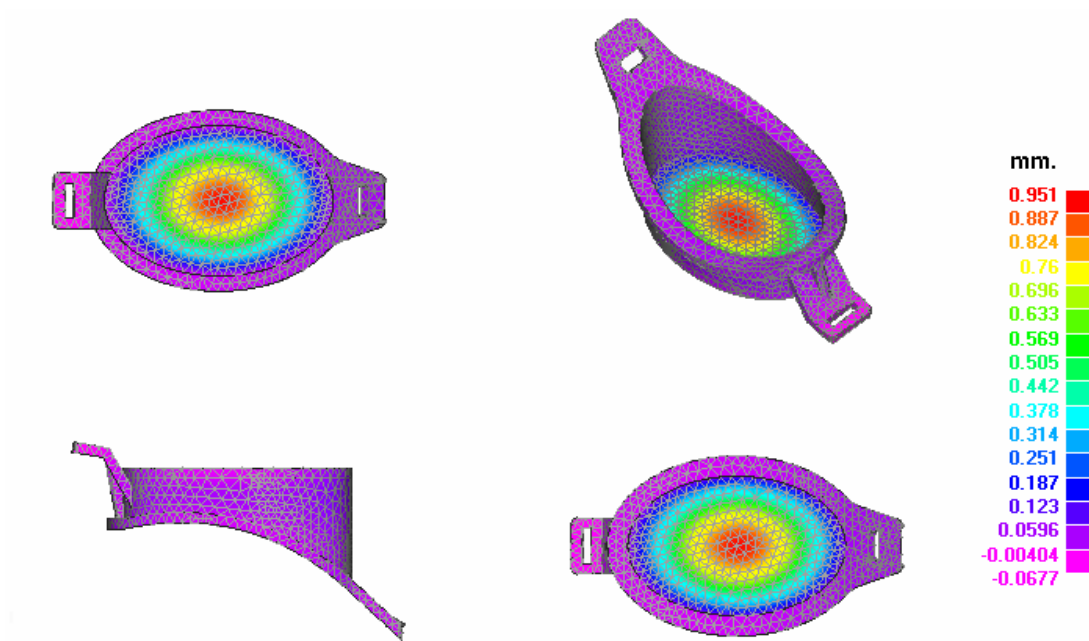
ตามขอบนอกของกรอบลำตัวและผิวเลนส์ กราฟในภาพที่ 78, 79 และ 80 เปรียบเทียบระยะยุบตัวของถ้วยตา ระหว่าง ผลการทดสอบทางกลและผลจาก FEA ของถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ โดย $\Delta_{\text{FEA-MAX}}$ เป็นระยะยุบตัวสูงสุดที่กลางเลนส์ และ $\Delta_{\text{FEA-EDGE}}$ เป็นค่าเฉลี่ยของระยะยุบตัวตามขอบและผิวเลนส์ (25 จุด)



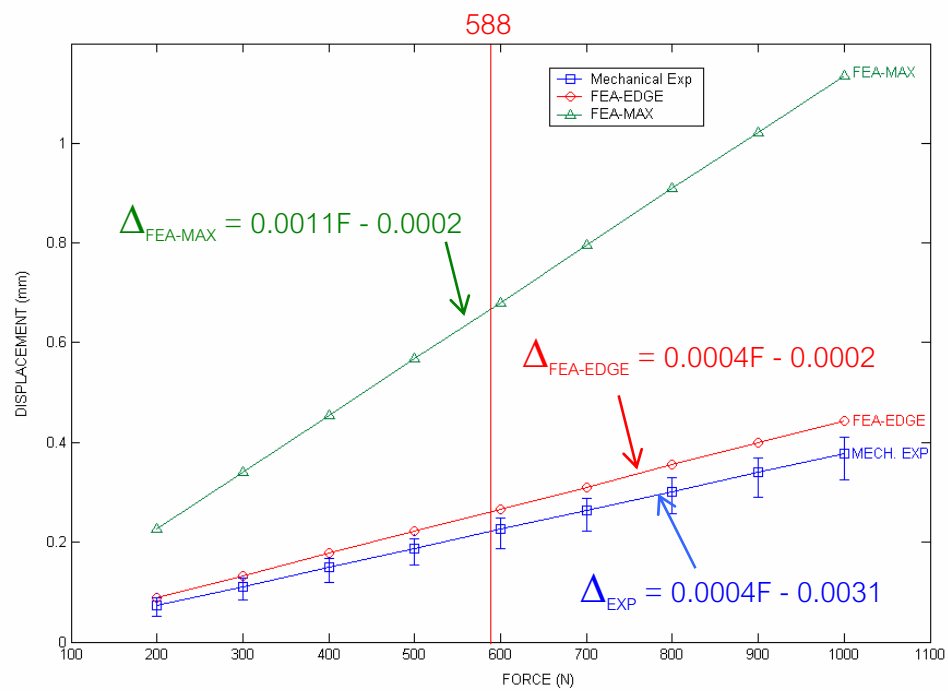
ภาพที่ 75 ผล FEA แบบ ก ของระยะยุบตัวของถ้วยตารุ่น JR-1006 ที่แรงอัด 600 N



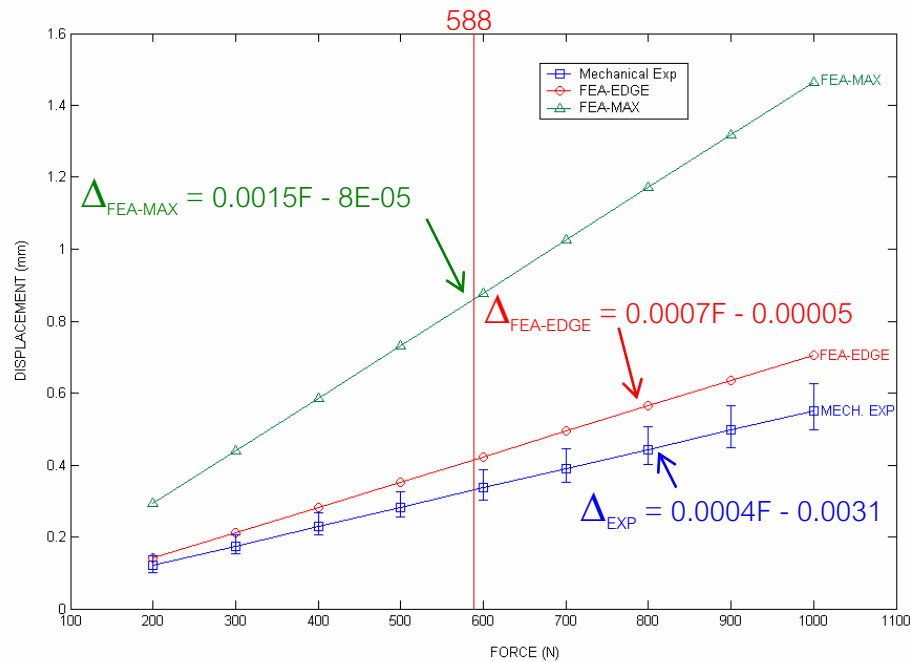
ภาพที่ 76 ผล FEA แบบ ก ของระยะยุบตัวของถ้วยตา รุ่น 2006 ที่แรงอัด 600 N



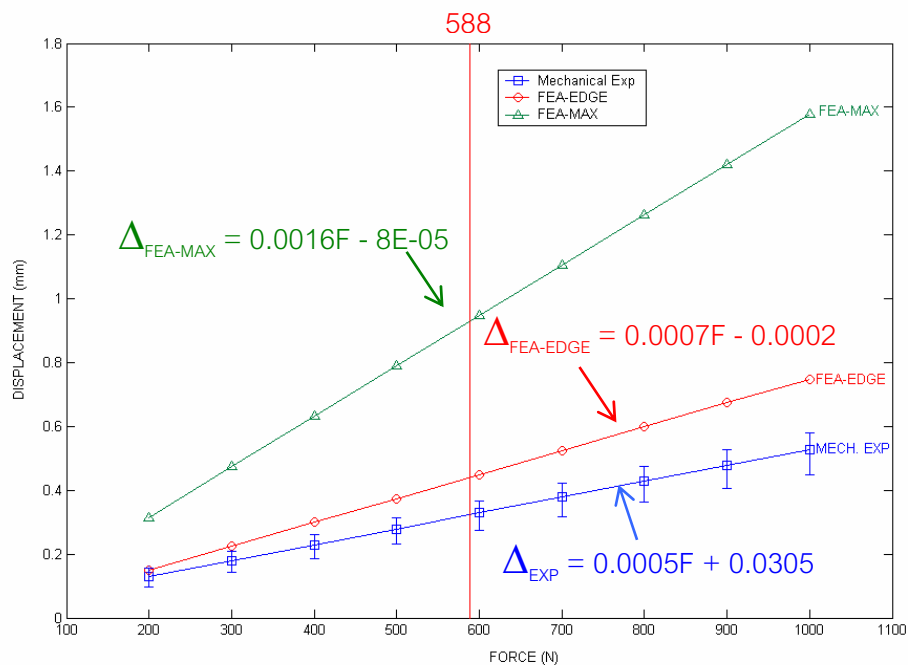
ภาพที่ 77 ผล FEA แบบ ก ของระยะยวบตัวของถั่วยตา รุ่น 981 ที่แรงอัด 600 N



ภาพที่ 78 กราฟเปรียบเทียบระยะยวบตัว (Displacement) จากผล FEA กับผลการทดสอบทางกล ของการทดสอบการอัดแบบ ก ในช่วง 200 N ถึง 1000 N ของถั่วยตา รุ่น JR-1006



ภาพที่ 79 กราฟเปรียบเทียบระยะยุบตัว (Displacement) จากผล FEA กับผลการทดสอบทางกล ของการทดสอบการอัดแบบ ก ในช่วง 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตารุ่น 2006

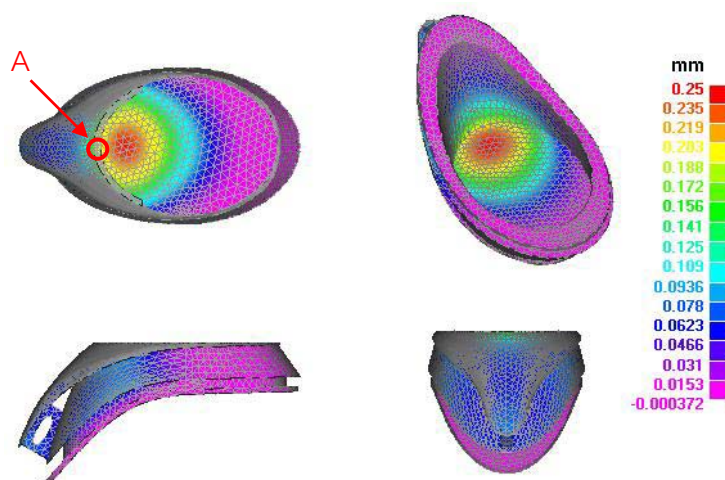


ภาพที่ 80 กราฟเปรียบเทียบระยะยุบตัว (Displacement) จากผล FEA กับผลการทดสอบทางกล ของการทดสอบการอัดแบบ ก ในช่วง 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตารุ่น 981

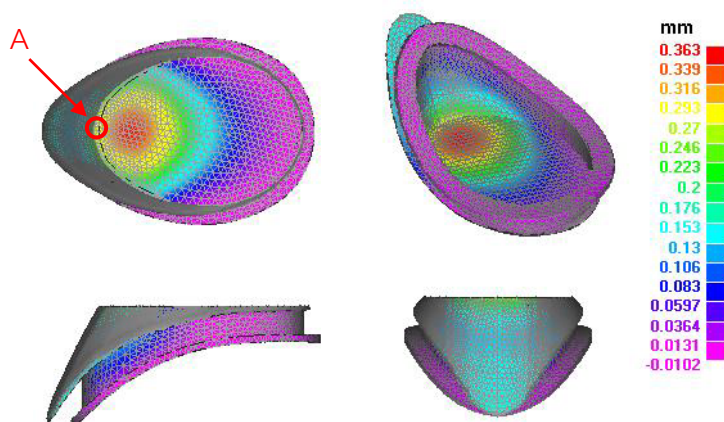
5.2.2 ผล FEA ของการจำลองการทดสอบการอัดแบบ ข

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ FEA ของการยุบตัวของถ้วยตาแสดงเป็นระดับชั้นสีที่เกิดจากแรงอัด 600 N ของการทดสอบแรงอัดแบบ ข ได้แสดงในภาพที่ 81, 82 และ 83 สำหรับถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ

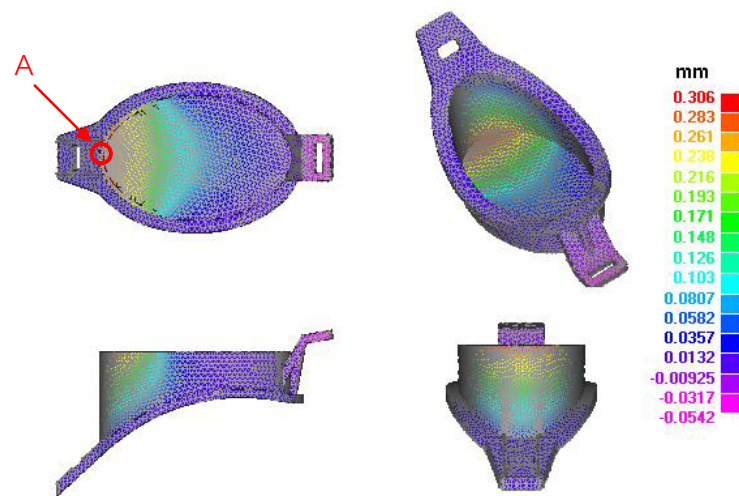
ผลการวิเคราะห์ FEA ของการยุบตัว จากแรงอัดที่ 200 N เพิ่มทุกๆ 100 N ถึง 1000 N แสดงระยะยุบสูงสุดบนเลนส์ฝั่งเดียวกับแรงกระทำ ระยะยุบสูงสุดนี้ไม่ได้เกิดบนขอบของกรอบลำตัว เช่นเดียวกับผลที่ได้จากการจำลองการทดสอบการอัดแบบ ก ดังนั้นระยะยุบตัวที่ใช้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบทางกล คือ ระยะยุบตัวที่จุด A ของภาพที่ 81 ถึง 83



ภาพที่ 81 ผล FEA แบบ ข ของระยะยุบตัวของถ้วยตา รุ่น JR-1006 ที่แรงอัด 600 N



ภาพที่ 82 ผล FEA แบบ ข ของระยะยุบตัวของถ้วยตา รุ่น 2006 ที่แรงอัด 600 N

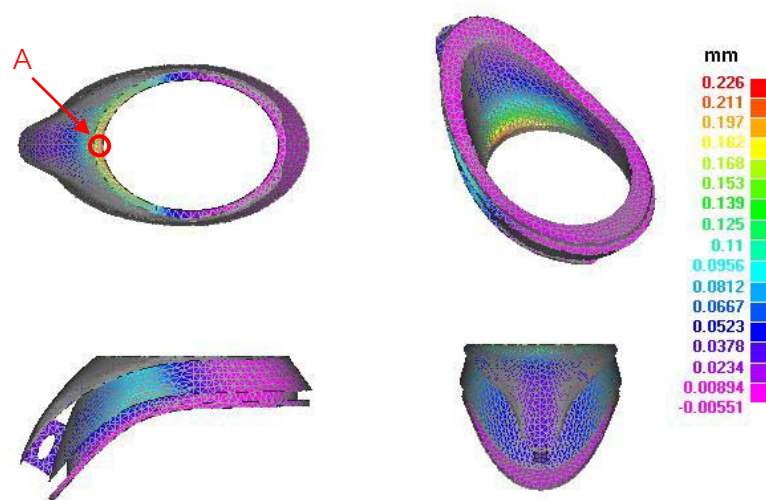


ภาพที่ 83 ผล FEA แบบ ข ของระยะยุบตัวของถ้วยตา รุ่น 981 ที่แรงอัด 600 N

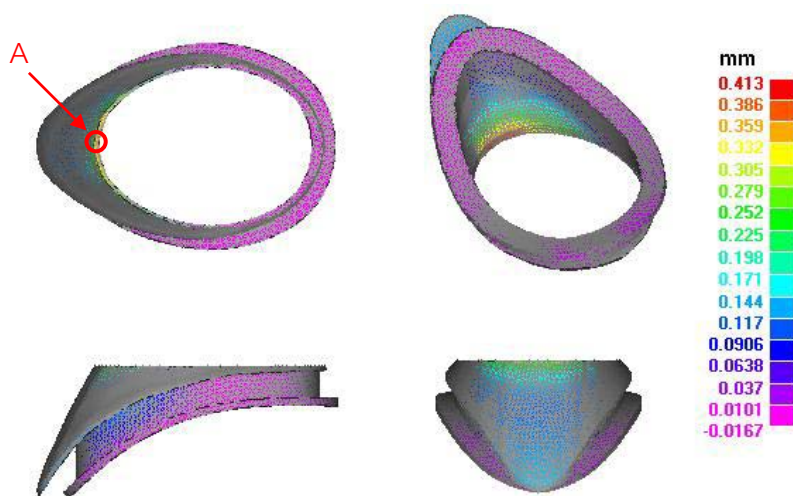
5.2.3 ผล FEA ของการจำลองการทดสอบการอัดแบบ ค

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ FEA ของการยุบตัวของถ้วยตาแสดงเป็นระดับชั้นสีที่เกิดจากแรงอัด 600 N ของการทดสอบแรงอัดแบบ ค ได้แสดงในภาพที่ 84, 85 และ 86 สำหรับถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ

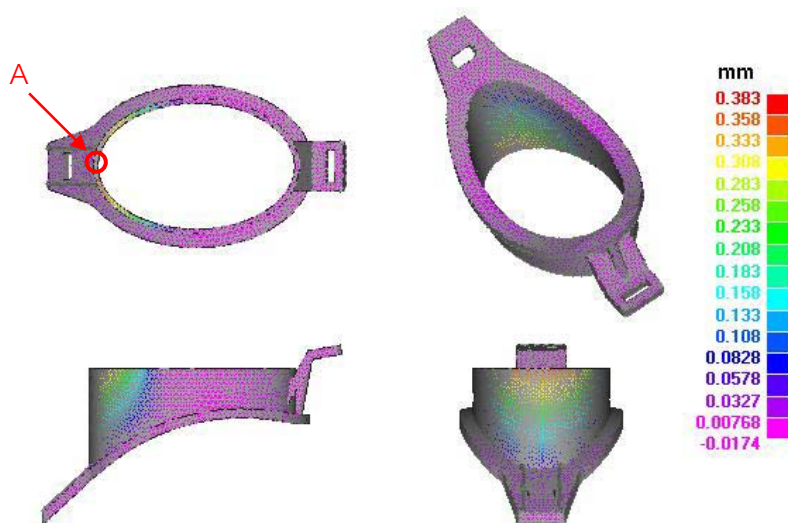
ผลการวิเคราะห์ FEA ของการยุบตัว จากแรงอัดที่ 200 N เพิ่มทุกๆ 100 N ถึง 1000 N แสดงตำแหน่งการยุบตัวสูงสุดที่ขอบบนของกรอบลำตัวด้านที่มีแรงมากกระทำ (จุด A)



ภาพที่ 84 ผล FEA แบบ ค ของระยะยุบตัวของถ้วยตา รุ่น JR-1006 ที่แรงอัด 600 N



ภาพที่ 85 ผล FEA แบบ ค ของระยะยุบตัวของถ้วยตา รุ่น 2006 ที่แรงอัด 600 N



ภาพที่ 86 ผล FEA แบบ ค ของระยะยุบตัวของถ้วยตา รุ่น 981 ที่แรงอัด 600 N

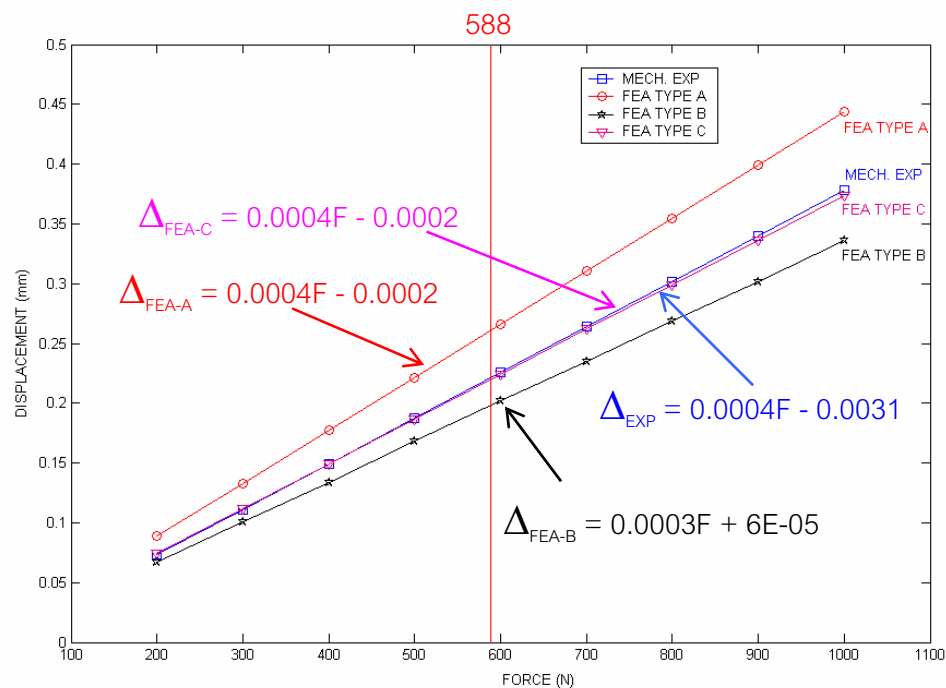
5.2.4 การเปรียบเทียบผล FEA ของแบบจำลองการทดสอบการอัด

กราฟแสดงระยะยุบตัวของการทดสอบการอัดเพิ่มจากแรงอัดที่ 200 N เพิ่มทุกๆ 100 N ถึง 1000 N เปรียบเทียบกับผลการทดสอบทางกล ของผล FEA จากการทดสอบแรงอัด แบบ ก ($\Delta_{\text{FEA-A}}$) แบบ ข ($\Delta_{\text{FEA-B}}$) และแบบ ค ($\Delta_{\text{FEA-C}}$) โดยตำแหน่งของระยะยุบตัวที่ใช้เปรียบเทียบเป็น

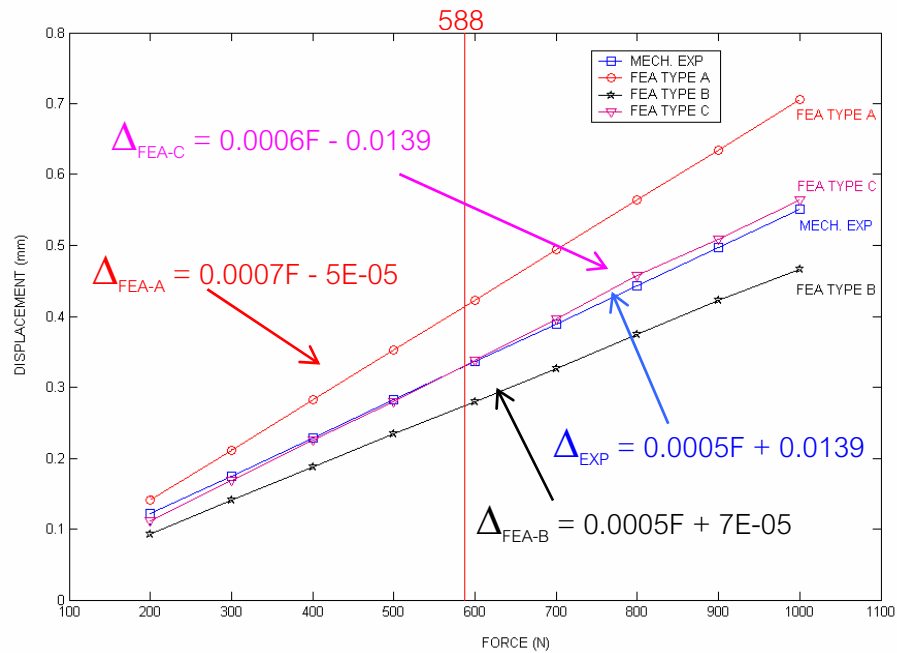
ตำแหน่งเดียวกันของทั้ง 3 แบบ คือ จุด A (ภาพที่ 84 ถึง 86) ซึ่งเป็นโหนดอยู่ตรงกลางที่ขอบบนของกรอบลำตัวของถ้วยตา (ด้านฝั่งหู)

ภาพที่ 87 แสดงผลเปรียบเทียบระยะยุบตัว (Δ) ของถ้วยตารุ่น JR-1006 ภาพที่ 88 ของรุ่น 2006 และภาพที่ 89 ของรุ่น 981 ตารางที่ 12, 13 และ 14 สรุปความคลาดเคลื่อนของผล FEA เมื่อเทียบกับผลทดสอบทางกลของระยะยุบตัว ของถ้วยตา รุ่น JR-1006 รุ่น 2006 และรุ่น 981 ตามลำดับ

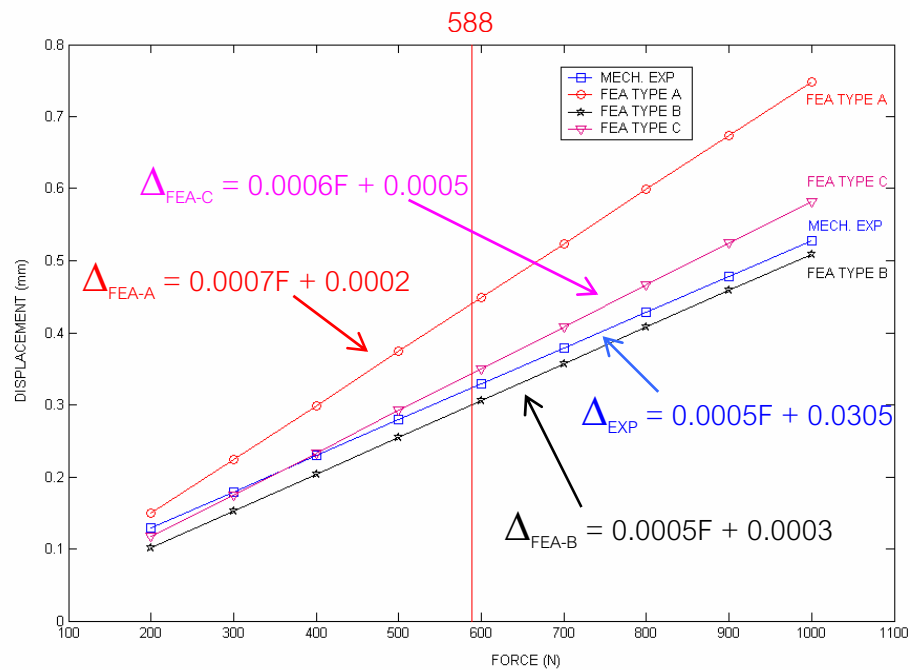
ผลจากกราฟและตารางดังกล่าว แสดงการจำลอง FEA ของการทดสอบแบบ ค ในถ้วยตารุ่น JR-1006 รุ่น 2006 และ 981 ให้ผลใกล้เคียงกับการทดสอบทางกล โดยรุ่น JR-1006 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย $|e|_{AVG} = 0.903$ รุ่น 2006 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย $|e|_{AVG} = 2.613$ และรุ่น 981 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย $|e|_{AVG} = 6.969$



ภาพที่ 87 กราฟเปรียบเทียบระยะยุบตัว (Displacement) จากผล FEA กับผลการทดสอบทางกล ของการทดสอบการอัดในช่วง 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตารุ่น JR-1006



ภาพที่ 88 กราฟเปรียบเทียบระยะยุบตัว (Displacement) จากผล FEA กับผลการทดสอบทางกล ของการทดสอบการอัดในช่วง 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตารุ่น 2006



ภาพที่ 89 กราฟเปรียบเทียบระยะยุบตัว (Displacement) จากผล FEA กับผลการทดสอบทางกล ของการทดสอบการอัดในช่วง 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตารุ่น 981

ตารางที่ 12 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของผล FEA เทียบกับผลทดสอบทางกลของระยะยวบตัว (Δ) จากการทดสอบการอัดของถั่วตา รุ่น JR-1006

แรงอัด (Force) N	การทดสอบ ทางกล Δ_{EXP}	การทดสอบการอัดแบบ ก			การทดสอบการอัดแบบ ข			การทดสอบการอัดแบบ ค		
		Δ_{FEA-A}	e (mm)	e_p (%)	Δ_{FEA-B}	e (mm)	e_p (%)	Δ_{FEA-C}	e (mm)	e_p (%)
200	0.0731	0.089	-0.0155	-21.1375	0.067	0.006	8.121	0.0747	-0.002	-2.133
300	0.1113	0.133	-0.0217	-19.5183	0.101	0.010	9.238	0.112	-0.001	-0.647
400	0.1494	0.177	-0.0280	-18.7257	0.134	0.015	10.320	0.149	0.000	0.281
500	0.1876	0.222	-0.0341	-18.2022	0.168	0.020	10.429	0.187	0.001	0.299
600	0.2257	0.266	-0.0404	-17.8999	0.202	0.024	10.501	0.224	0.002	0.753
700	0.2638	0.311	-0.0467	-17.6850	0.235	0.029	10.931	0.262	0.002	0.697
800	0.3019	0.355	-0.0529	-17.5243	0.269	0.033	10.921	0.299	0.003	0.987
900	0.3401	0.399	-0.0592	-17.4066	0.302	0.038	11.203	0.336	0.004	1.206
1000	0.3783	0.444	-0.0654	-17.3003	0.336	0.042	11.172	0.374	0.004	1.126
เฉลี่ย		e_{AVG}	-0.0404	-18.3778		0.024	10.315		0.002	0.285
		$ e _{AVG}$	0.0404	18.3778		0.0241	10.315		0.002	0.903

ตารางที่ 13 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของผล FEA เทียบกับผลทดสอบทางกลของระยะยุบตัว (Δ) จากการทดสอบการอัดของถ้วยตา รุ่น 2006

แรงอัด (Force) N	การ ทดสอบ ทางกล Δ_{EXP}	การทดสอบการอัดแบบ ก			การทดสอบการอัดแบบ ข			การทดสอบการอัดแบบ ค		
		Δ_{FEA-A}	e (mm)	e _p (%)	Δ_{FEA-B}	e (mm)	e _p (%)	Δ_{FEA-C}	e (mm)	e _p (%)
200	0.1212	0.141	-0.0198	-16.3366	0.093	0.028	22.950	0.112	0.009	7.606
300	0.1749	0.212	-0.0366	-20.9262	0.141	0.034	19.383	0.169	0.006	3.373
400	0.2286	0.282	-0.0534	-23.3596	0.187	0.042	18.198	0.225	0.004	1.575
500	0.2823	0.353	-0.0703	-24.9026	0.234	0.048	17.098	0.28	0.002	0.801
600	0.3360	0.423	-0.0871	-25.9226	0.280	0.056	16.657	0.338	-0.002	-0.607
700	0.3896	0.494	-0.1040	-26.6940	0.327	0.063	16.076	0.396	-0.006	-1.632
800	0.4433	0.564	-0.1208	-27.2502	0.375	0.068	15.411	0.457	-0.014	-3.086
900	0.4970	0.635	-0.1376	-27.6861	0.422	0.075	15.091	0.509	-0.012	-2.414
1000	0.5507	0.705	-0.1545	-28.0552	0.467	0.084	15.193	0.564	-0.013	-2.423
เฉลี่ย		e _{AVG}	-0.0871	-24.5704		0.055	17.339		-0.003	0.355
		e _{AVG}	0.0871	24.5704		0.055	17.339		0.008	2.613

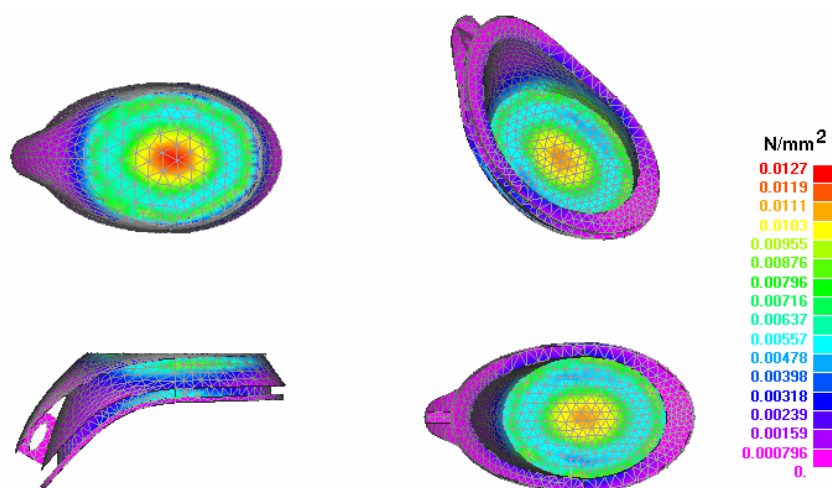
ตารางที่ 14 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของผล FEA เทียบกับผลทดสอบทางกลของระยะยวบตัว (Δ) จากการทดสอบการอัดของถั่วตา รุ่น 981

แรงอัด (Force) N	การ ทดสอบ ทางกล Δ_{EXP}	การทดสอบการอัดแบบ ก			การทดสอบการอัดแบบ ข			การทดสอบการอัดแบบ ค		
		Δ_{FEA-A}	e (mm)	e_p (%)	Δ_{FEA-B}	e (mm)	e_p (%)	Δ_{FEA-C}	e (mm)	e_p (%)
200	0.1299	0.150	-0.0196	-15.1240	0.102	0.028	21.454	0.117	0.013	9.903
300	0.1795	0.224	-0.0448	-24.9443	0.153	0.027	14.773	0.175	0.005	2.518
400	0.2292	0.299	-0.0700	-30.5410	0.204	0.025	10.995	0.233	-0.004	-1.658
500	0.2789	0.374	-0.0951	-34.1079	0.255	0.024	8.563	0.292	-0.013	-4.705
600	0.3285	0.449	-0.1204	-36.6431	0.306	0.023	6.855	0.35	-0.021	-6.538
700	0.3782	0.524	-0.1456	-38.5128	0.357	0.021	5.596	0.408	-0.030	-7.891
800	0.4278	0.599	-0.1708	-39.9187	0.408	0.020	4.633	0.467	-0.039	-9.158
900	0.4775	0.674	-0.1960	-41.0412	0.459	0.019	3.878	0.525	-0.047	-9.943
1000	0.5272	0.748	-0.2211	-41.9493	0.509	0.018	3.445	0.582	-0.055	-10.403
เฉลี่ย		e_{AVG}	-0.1204	-33.6425		0.0226	8.9101		-0.021	-4.208
		$ e _{AVG}$	0.1204	33.6425		0.0226	8.9101		0.025	6.969

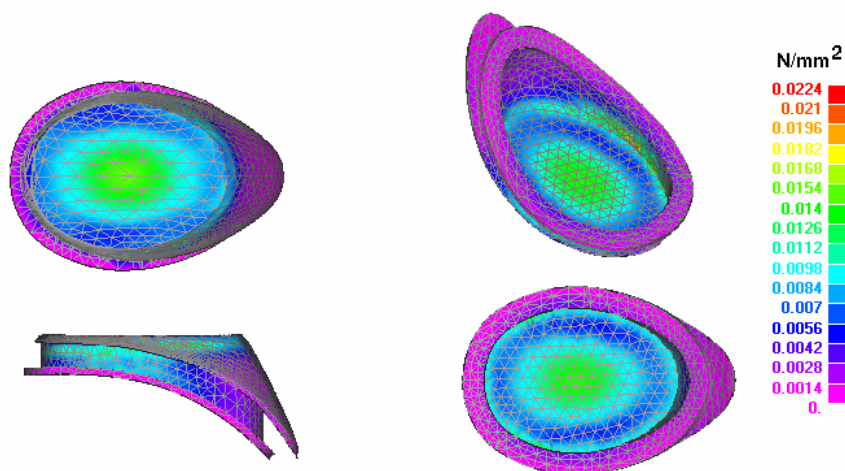
5.3 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของถ้วยตาภายใต้แรงอัดโดยใช้ FEA

5.3.1 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ก

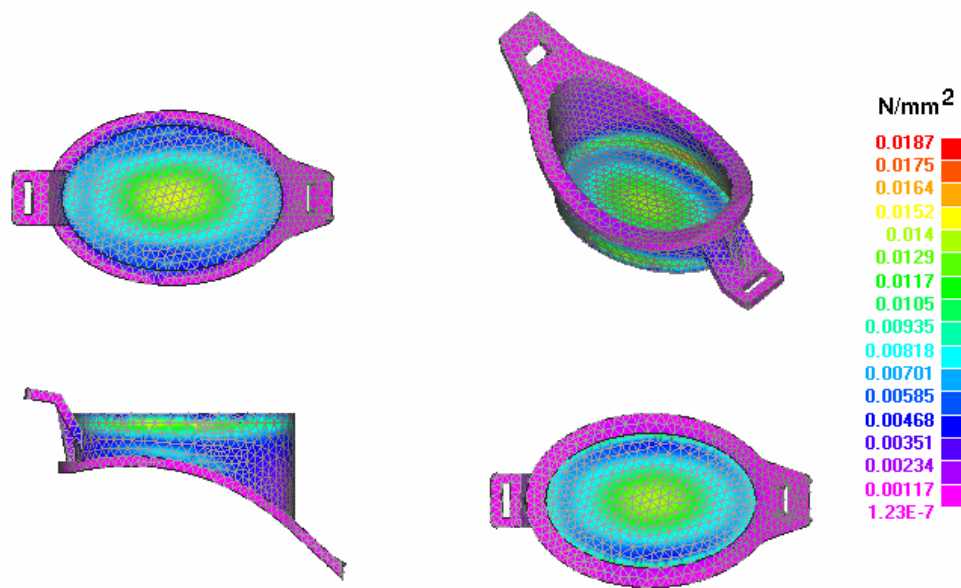
ภาพที่ 90, 91 และ 92 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความเค้นโดยใช้ FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ก แสดงเป็นระดับชั้นสี ภายใต้แรงอัดที่ 600 N ของถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ ในการจำลองการทดสอบ FEA แบบ ก นี้แสดงถึงความเค้นสูงสุดของถ้วยตา รุ่น JR-1006 เกิด ณ บริเวณกึ่งกลางของเลนส์ เช่นเดียวกับตำแหน่งของการเกิดระยະยุบตัวสูงสุดแต่สำหรับรุ่น 2006 และ 981 มีค่าสูงสุดบริเวณกรอบลำตัวใกล้แผ่นเลนส์ ภาพที่ 93 แสดงกราฟของความเค้นสูงสุดของถ้วยตา ที่แรงอัด 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ



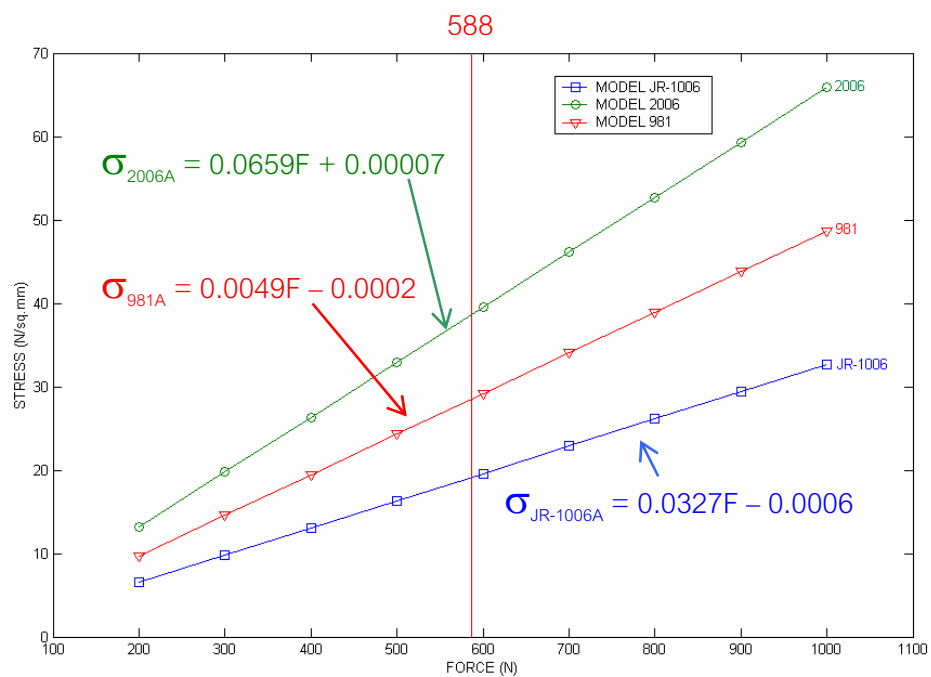
ภาพที่ 90 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ก ที่แรงอัด 600 N ของถ้วยตา รุ่น JR-1006



ภาพที่ 91 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ก ที่แรงอัด 600 N ของถ้วยตา รุ่น 2006



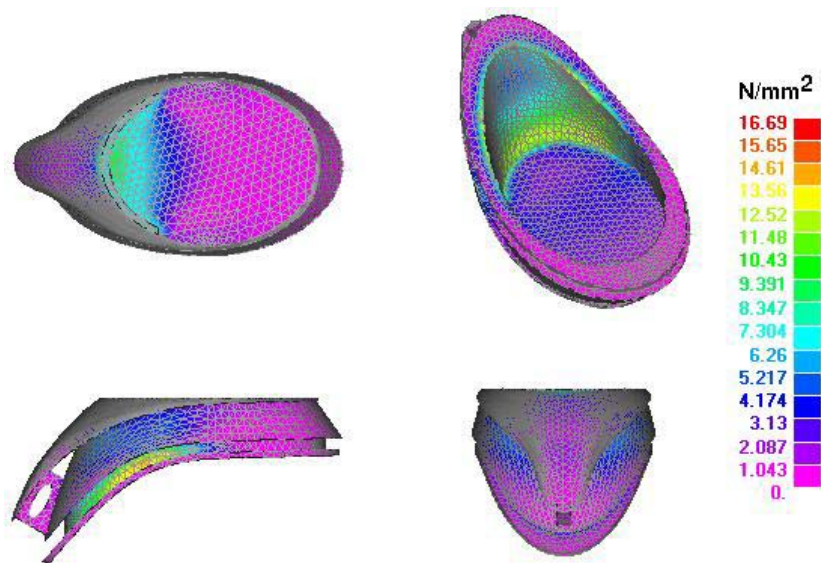
ภาพที่ 92 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ก ที่แรงอัด 600 N ของถ้วยตารุ่น 981



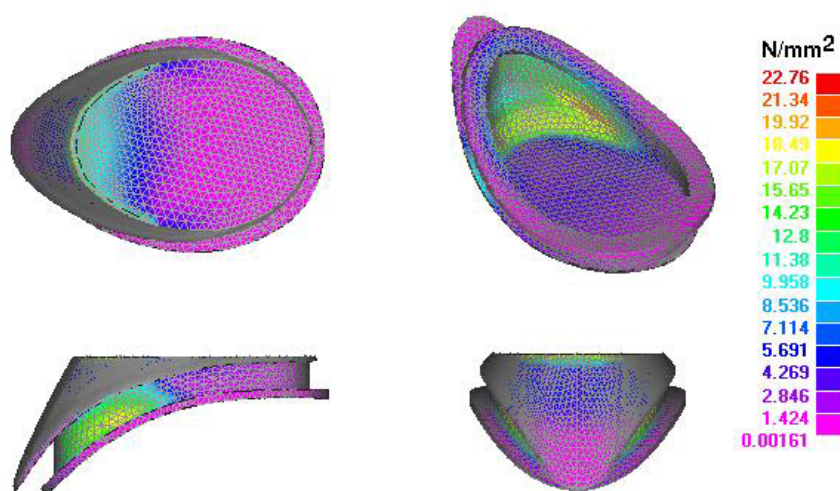
ภาพที่ 93 กราฟของความเค้นสูงสุดจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ก ในช่วง 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตาทั้ง 3 รุ่น

5.3.2 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ข

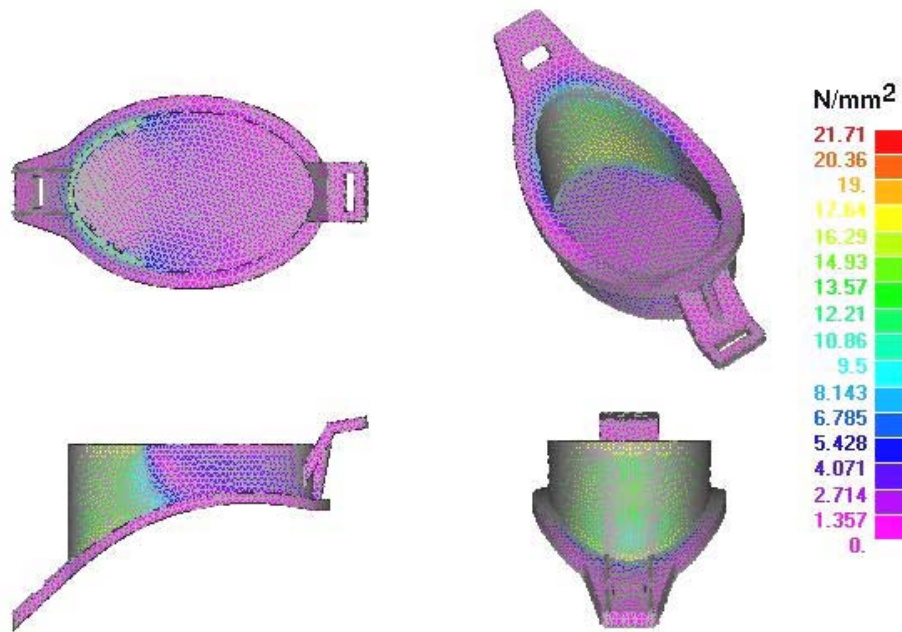
ภาพที่ 94, 95 และ 96 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความเค้นโดยใช้ FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ข แสดงเป็นระดับชั้นสี ภายใต้แรงอัดที่ 600 N ของถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ ความเค้นสูงสุดปรากฏที่กรอบลำตัวของถ้วยตาทั้ง 3 รุ่น ภาพที่ 97 แสดงกราฟของความเค้นสูงสุดของถ้วยตารุ่น JR-1006 รุ่น 2006 และรุ่น 981 ที่แรงอัด 200 N ถึง 1000 N



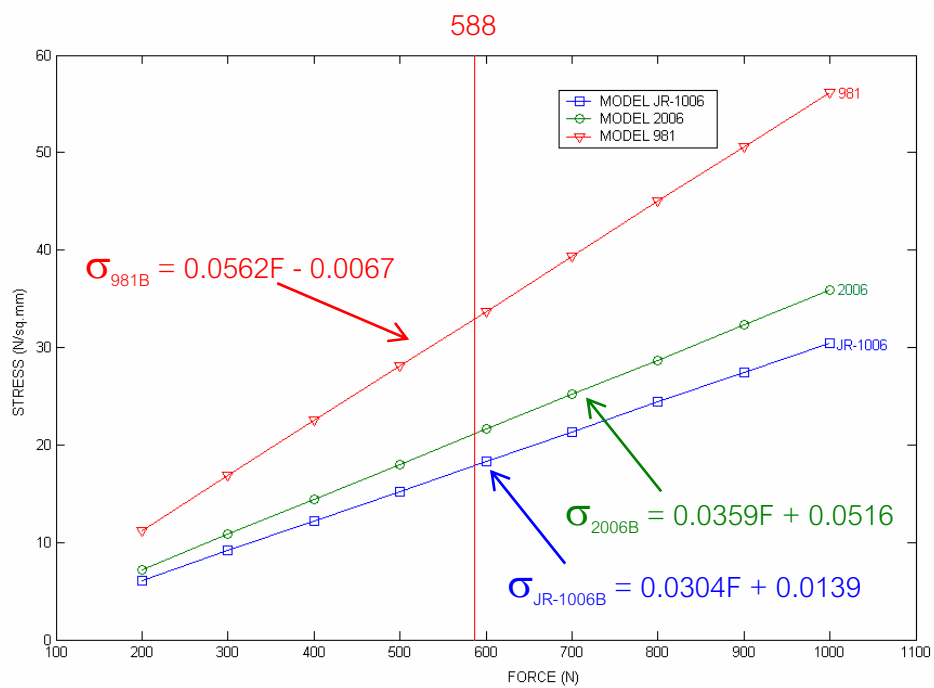
ภาพที่ 94 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ข ที่แรงอัด 600 N ของถ้วยตารุ่น JR-1006



ภาพที่ 95 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ข ที่แรงอัด 600 N ของถ้วยตารุ่น 2006



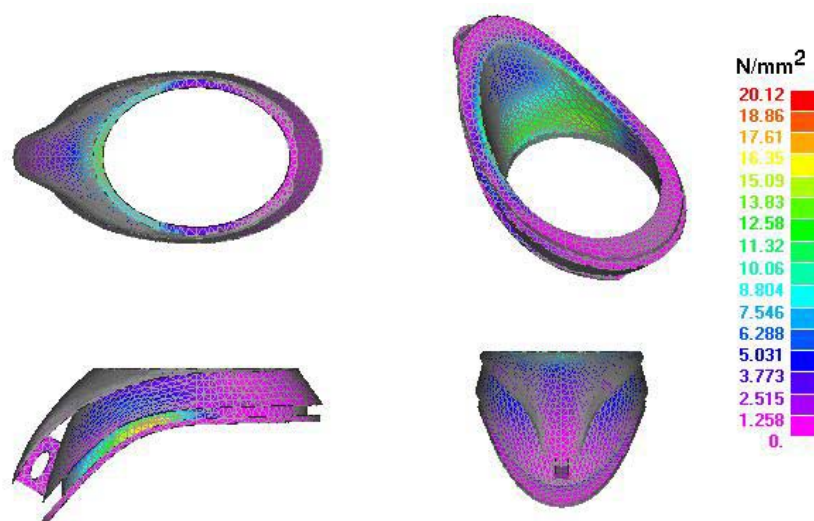
ภาพที่ 96 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ข ที่แรงอัด 600 N ของถ้วยตารุ่น 981



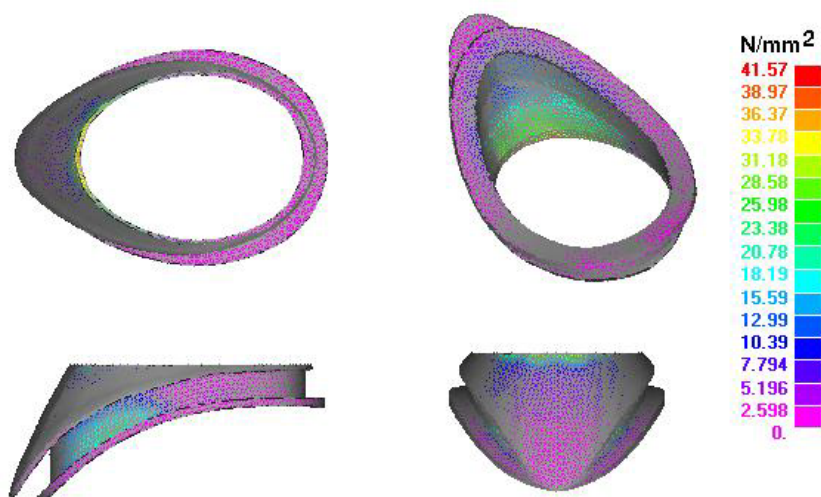
ภาพที่ 97 กราฟของความเค้นสูงสุดจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ข ในช่วง 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตาทั้ง 3 รุ่น

5.3.3 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ค

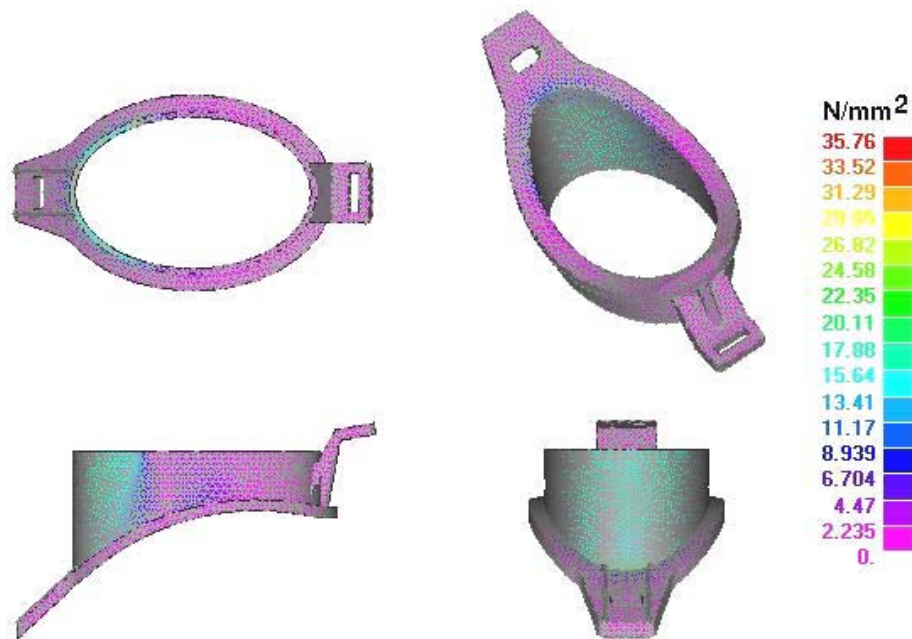
ภาพที่ 98, 99 และ 100 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์ความเค้นโดยใช้ FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ค แสดงเป็นระดับชั้นสี ภายใต้แรงอัดที่ 600 N ของถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ ความเค้นสูงสุดปรากฏที่ขอบลำตัวของถ้วยตาทั้ง 3 รุ่น เช่นเดียวกับการทดสอบแบบ ข ภาพที่ 101 แสดงกราฟของความเค้นสูงสุดของถ้วยตา ที่แรงอัด 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ



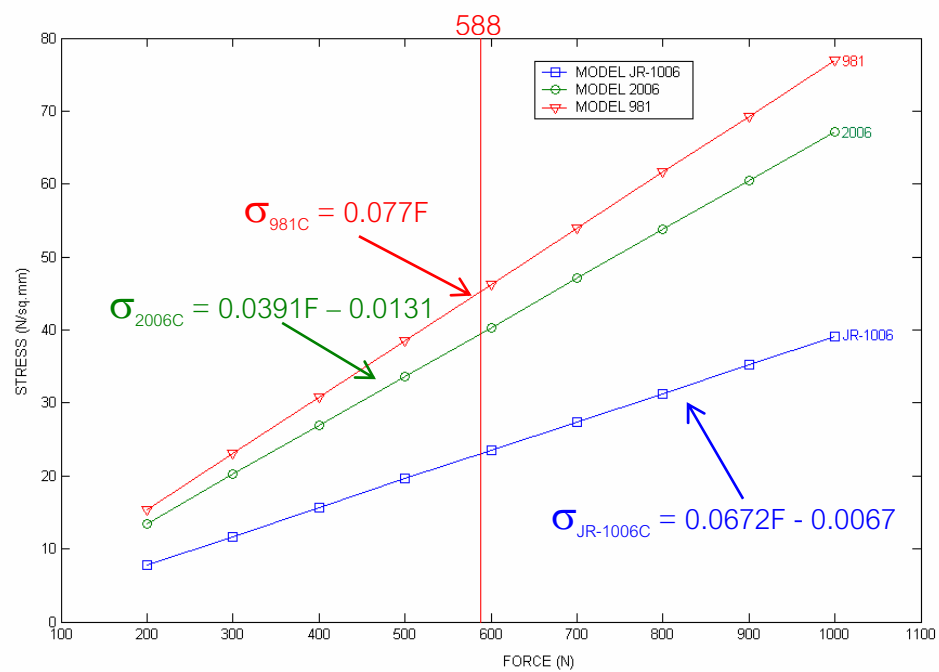
ภาพที่ 98 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ค ที่แรงอัด 600 N ของถ้วยตารุ่น JR-1006



ภาพที่ 99 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ค ที่แรงอัด 600 N ของถ้วยตารุ่น 2006



ภาพที่ 100 ความเค้นจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ค ที่แรงอัด 600 N ของถ้วยทารุ่น 981

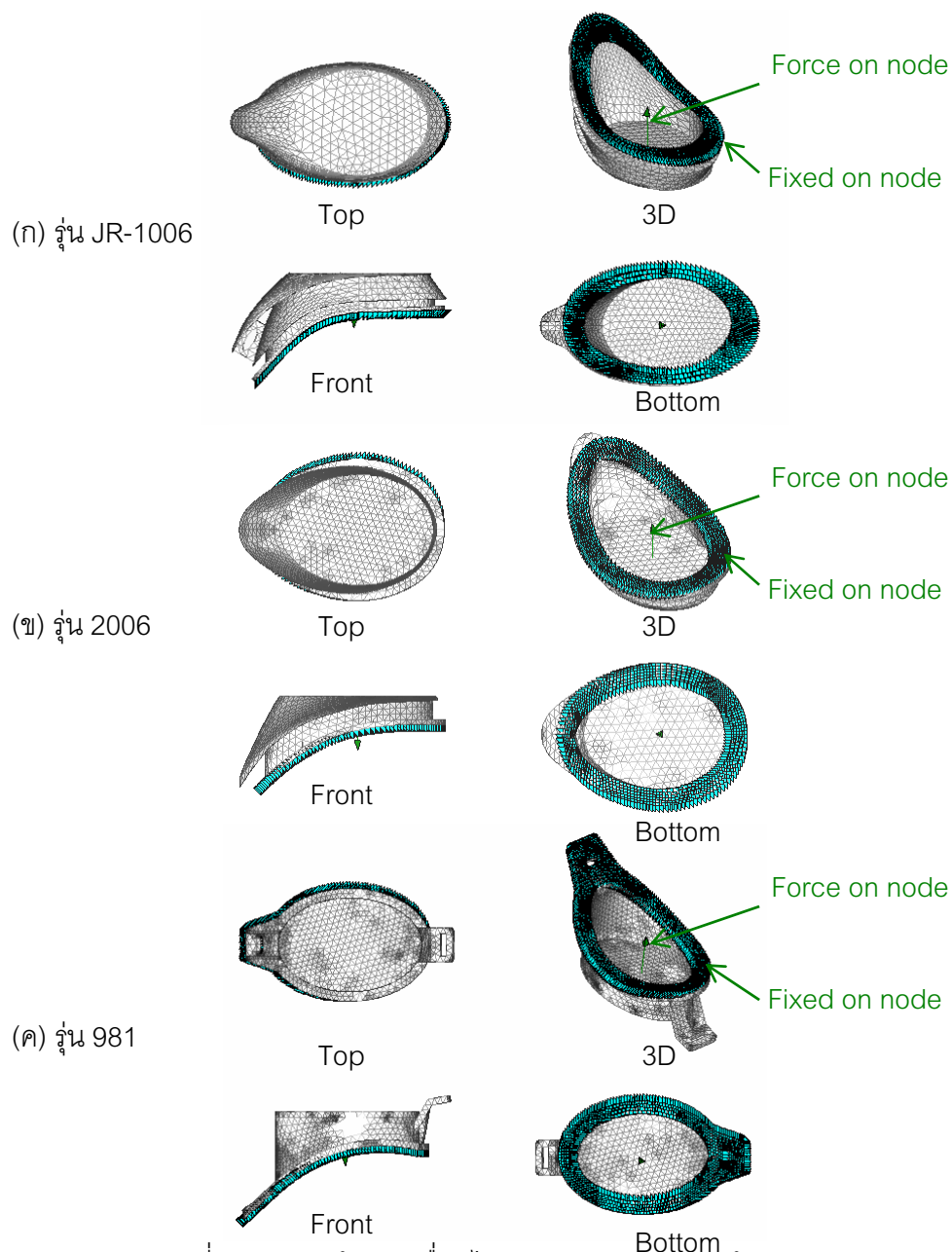


ภาพที่ 101 กราฟของความเค้นสูงสุดจากผล FEA ของการทดสอบการอัดแบบ ค ในช่วง 200 N ถึง 1000 N ของถ้วยตาทั้ง 3 รุ่น

6. ผลการวิเคราะห์การทดสอบการกระแทกเลนส์ถ้วยตาโดยใช้ FEA

6.1 ผลการสร้างแบบจำลอง FEM สำหรับวิเคราะห์การกระแทก

แบบจำลอง FEM ของถ้วยตาที่ใช้ในการวิเคราะห์ FEA ใช้แบบจำลองเดียวกันกับ ที่ใช้ในการทดสอบการอัด (ภาพที่ 68) โดยภาพที่ 102 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ตำแหน่ง และทิศทาง ของแรงกระแทกที่เกิดจากการตกกระแทกของลูกบอลโลหะ บนผิวเลนส์ของถ้วยตา รุ่น JR-1006 (ภาพที่ 102 ก) รุ่น 2006 (ภาพที่ 102 ข) และ รุ่น 981 (ภาพที่ 102 ค)



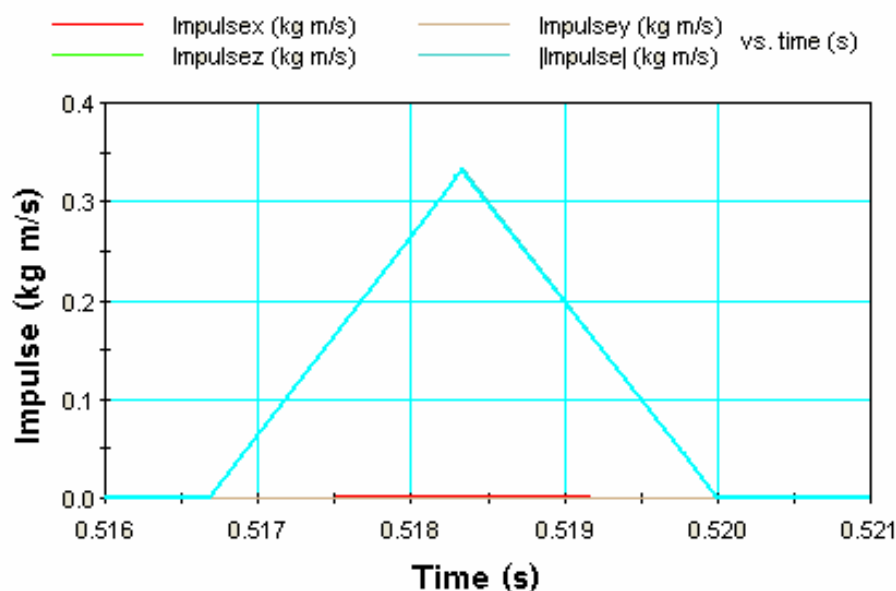
ภาพที่ 102 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ทิศทางและตำแหน่งของแรงกระแทกของเลนส์ถ้วยตารุ่น JR-1006 (ก) 2006 (ข) และ 981 (ค)

6.2 การวิเคราะห์แรงกระแทก

การกำหนดแรงกระแทก มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ ขั้นตอนแรกทำการวิเคราะห์ หา ค่า อิมพัลส์ (Impulse) และเวลาที่ลูกบอลโลหะสัมผัสกับผิวหน้าเลนส์ โดยใช้ ซอฟต์แวร์ MSC.Working Model จำลองการปล่อยลูกบอลโลหะตกลงมากระแทกผิวหน้าเลนส์ของแว่นตา ว่ายน้ำ ขั้นตอนที่สองคำนวณค่าแรงที่กระแทกบนผิวหน้าเลนส์จาก อิมพัลส์ ที่เกิดขึ้นแล้วจึงนำ ค่าแรงกระแทกที่ได้มาทำการวิเคราะห์แบบ Static

ภาพที่ 103 แสดงกราฟของอิมพัลส์ที่วิเคราะห์ได้จากการจำลองลูกบอลโลหะหนัก 44 กรัม ตกจากที่สูง 1.3 เมตร ซึ่งได้ค่าอิมพัลส์เท่ากับ 0.333 kg.m/s และเวลาที่ลูกบอลโลหะ สัมผัสกับกับเลนส์ เท่ากับ 0.00333 วินาที แรงกระแทกคำนวณได้จาก อิมพัลส์หารด้วยเวลาซึ่ง ได้ค่าแรงเท่ากับ 100 N สำหรับการปล่อยลูกบอลโลหะตกจากที่สูง 0.7, 1 และ 1.6 เมตร ขนาด ของแรงกระแทกเท่ากับ 73 N, 88 N และ 111 N ตามลำดับ

แรงกระแทกที่วิเคราะห์ได้จากอิมพัลส์นี้ ได้นำไปใช้กำหนดเป็นแรงกระทำบนโนหนด ณ จุด ที่ลูกบอลตกกระแทกผิวเลนส์ตามเงื่อนไข ได้แสดงไว้แล้ว ในภาพที่ 102 ขั้นตอนการวิเคราะห์ CAE ได้สรุปไว้ในภาคผนวกที่ 6

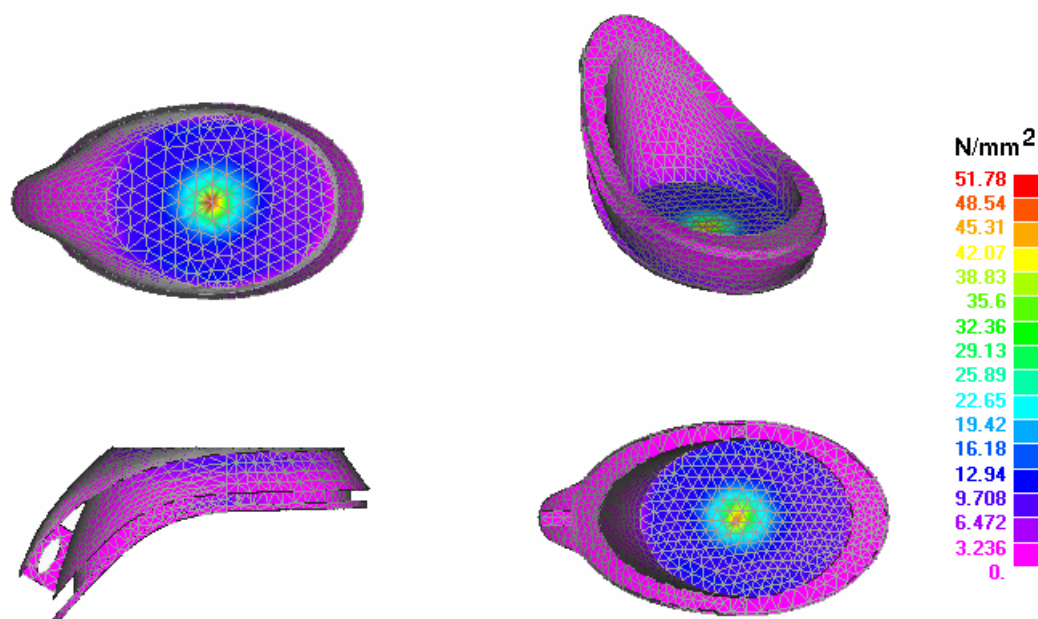


ภาพที่ 103 กราฟของอิมพัลส์ ที่เกิดจากลูกบอลโลหะตกกระแทกผิวหน้าเลนส์ถ้วยตา จากที่สูง 1.3 เมตร

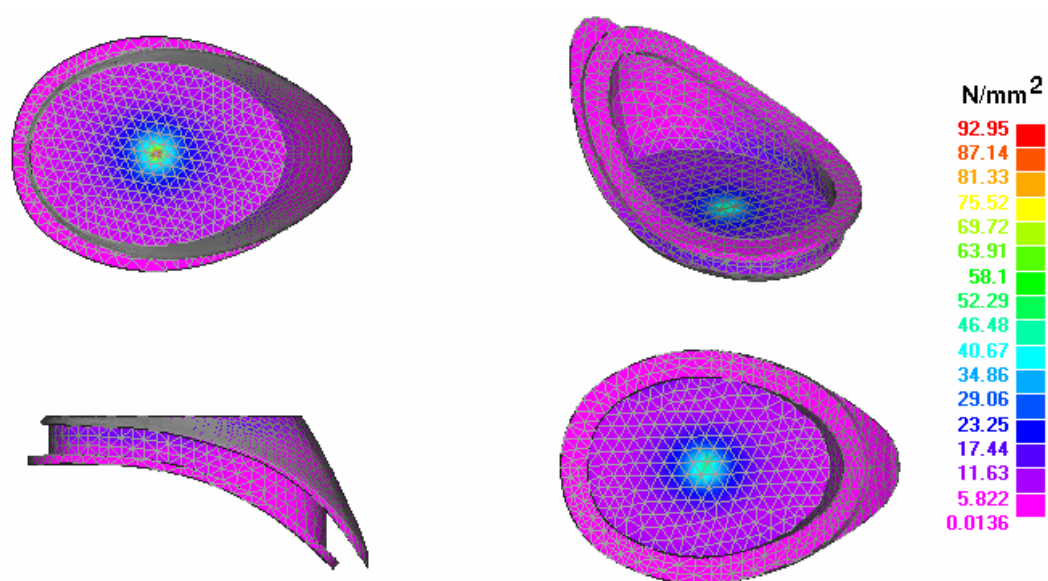
6.3 การวิเคราะห์ความเค้นของการทดสอบการกระแทกโดยใช้ FEA

ผลการวิเคราะห์ FEA แสดงความเค้นที่เกิดจากการปล่อยตกของลูกบอลโลหะหนัก 44 กรัมได้แสดง ในภาพที่ 104 ถึง 106 สำหรับถ้วยตารุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่เลนส์ถ้วยตา รุ่น JR-1006 มีค่าเท่ากับ 42.4 N/mm^2 รุ่น 2006 เท่ากับ 43.04 N/mm^2 และ รุ่น 981 เท่ากับ 43.42 N/mm^2 ความเค้นที่เกิดขึ้นกับเลนส์ถ้วยตา ทั้ง 3 รุ่นนี้ไม่เกินค่าความเค้นสูงสุดของวัสดุ (PC) ที่ใช้ทำเลนส์ถ้วยตา (ภาพที่ 52) ซึ่งมีค่าความเค้นสูงสุดเฉลี่ย เท่ากับ $53 \text{ N/mm}^2 (\pm 5)$ และค่า Yield อยู่ที่ $52 \text{ N/mm}^2 (\pm 7)$ โดยความเค้นที่ได้ต่ำกว่าค่า Yield แสดงว่าวัสดุไม่ยุบตัวหรือเกิดรอยร้าวสอดคล้องกับผลการทดสอบทางกล

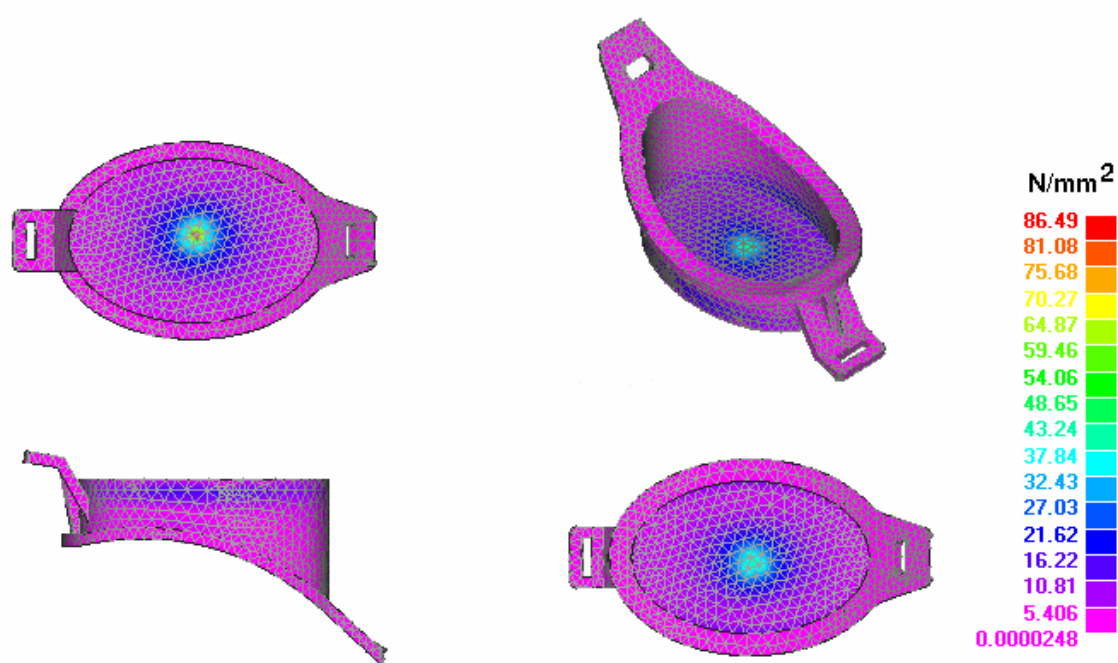
ภาพที่ 107 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเค้นสูงสุดจากผล FEA กับความสูงในช่วง 0.7 ม. ถึง 1.6 ม. ของการปล่อยลูกบอลโลหะตกกระแทกเลนส์



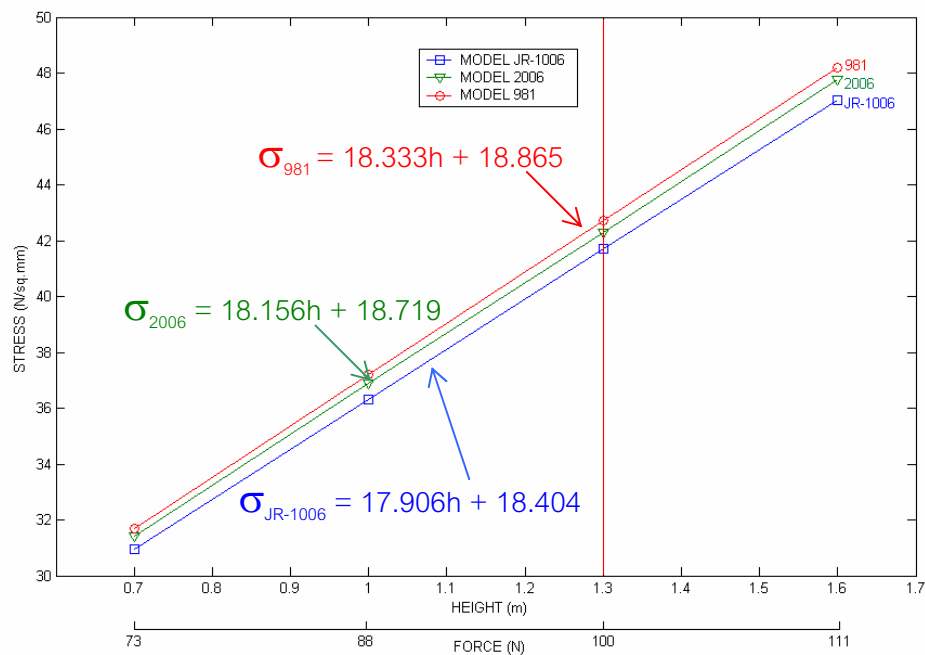
ภาพที่ 104 ความเค้นจากผล FEA ของการกระแทกบนเลนส์ถ้วยตารุ่น JR-1006
(ความสูง 1.3 เมตร)



ภาพที่ 105 ความเค้นจากผล FEA ของการกระแทกบนเลนส์ถ้วยตารุ่น 2006
(ความสูง 1.3 เมตร)



ภาพที่ 106 ความเค้นจากผล FEA ของการกระแทกบนเลนส์ถ้วยตารุ่น 981
(ความสูง 1.3 เมตร)



ภาพที่ 107 กราฟของความเค้นสูงสุดจากผล FEA ของการกระแทกในช่วงความสูง 0.7 ม. ถึง 1.6 ม. ของเลนส์ถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981

6.4 การวิเคราะห์ความเครียดของการทดสอบการกระแทกโดยใช้ FEA

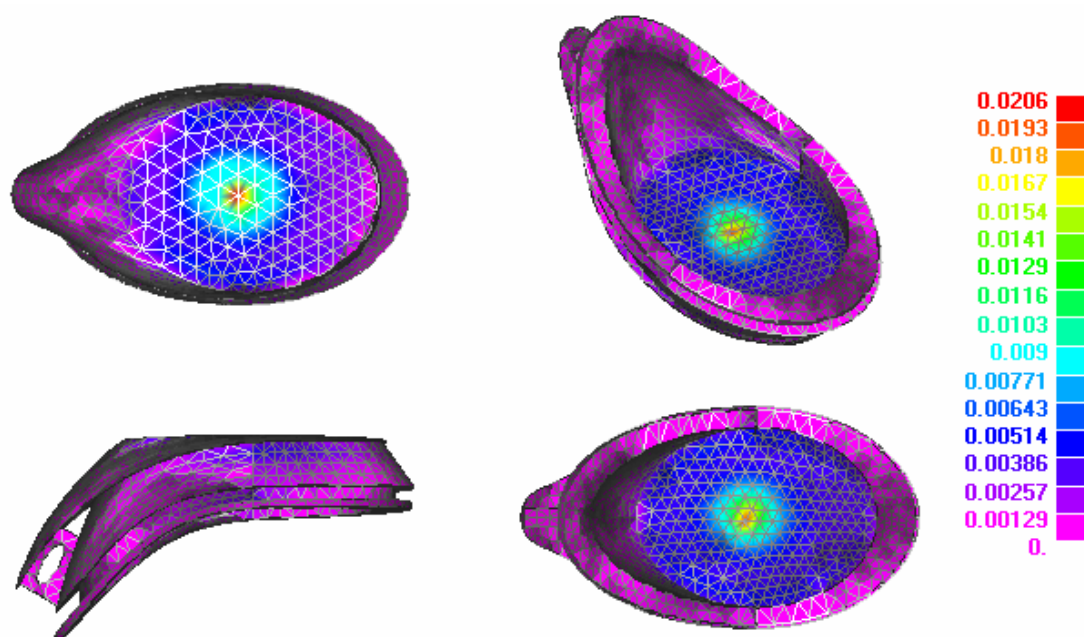
ผลการวิเคราะห์ FEA ของความเครียด (Strain) ของการปล่อยลูกบอลโลหะตกกระแทกเลนส์ เมื่อให้ลูกบอลตกกระแทกเลนส์จากความสูง 1.3 ม. ได้แสดงเป็นระดับชั้นสีในภาพที่ 108 ถึง 110 สำหรับถ้วยตารุ่น JR-1006, 2006 และ 981 ตามลำดับ

ภาพที่ 111 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดสูงสุดจากผล FEA กับความสูงในช่วง 0.7 ม. ถึง 1.6 ม. ของการปล่อยลูกบอลโลหะตกกระแทกเลนส์

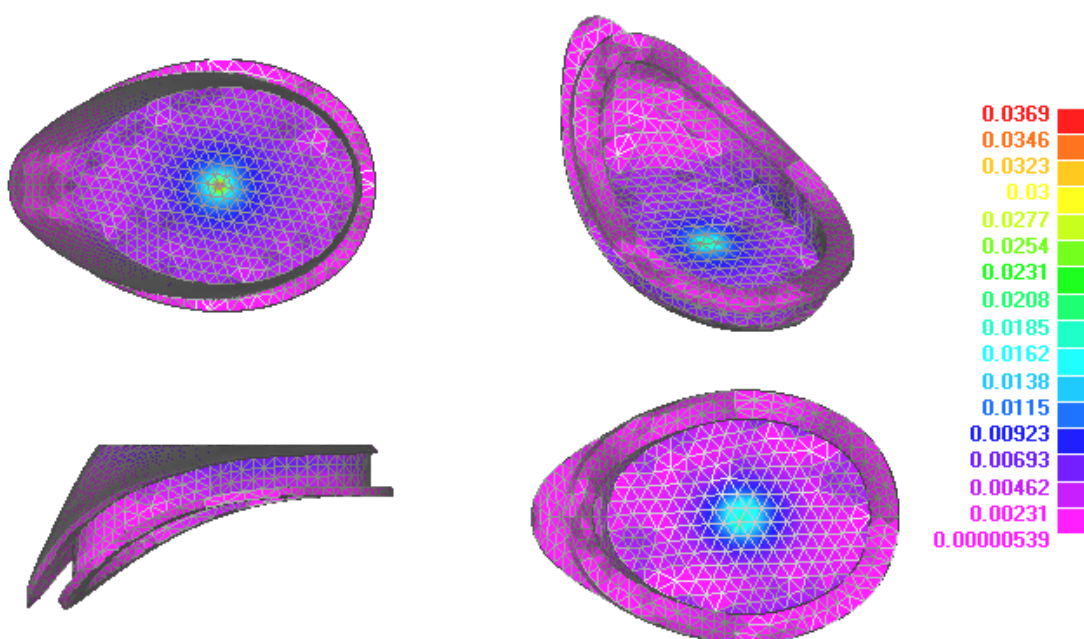
7. ผลการทดสอบความสบายในการสวมใส่โดยใช้ FEA

7.1 ผลการสร้างแบบจำลอง FEM

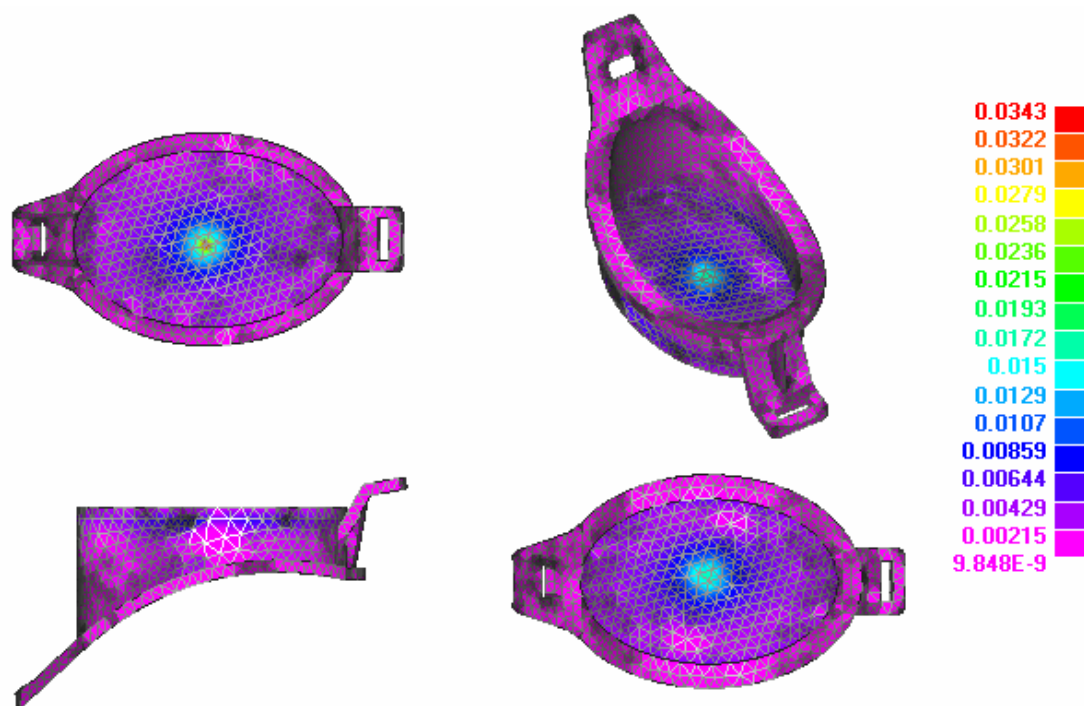
ใบหน้ารูปปั้นศีรษะตามแสดงในภาพที่ 23 เป็นใบหน้าและศีรษะที่ใช้ในการจำลอง FEM ของใบหน้า สำหรับประเมินความสบายในการสวมใส่แว่นตาว่ายน้ำ โดยวิเคราะห์ระยะที่ผิวหนังโดนกดลึกและความเค้นที่เกิดจากการกดบนใบหน้าของส่วนฐานและปะเก็นกันน้ำของแว่นตาว่ายน้ำ



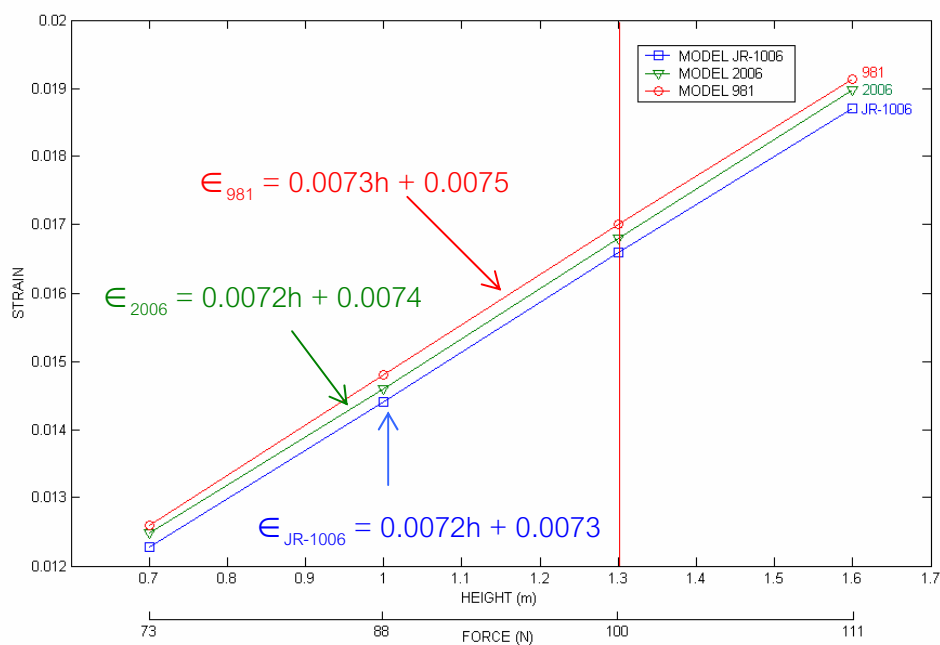
ภาพที่ 108 ความเครียดจากผล FEA ของการกระแทกบนเลนส์ด้วยตารุ่น JR-1006
(ความสูง 1.3 เมตร)



ภาพที่ 109 ความเครียดจากผล FEA ของการกระแทกบนเลนส์ด้วยตารุ่น 2006
(ความสูง 1.3 เมตร)

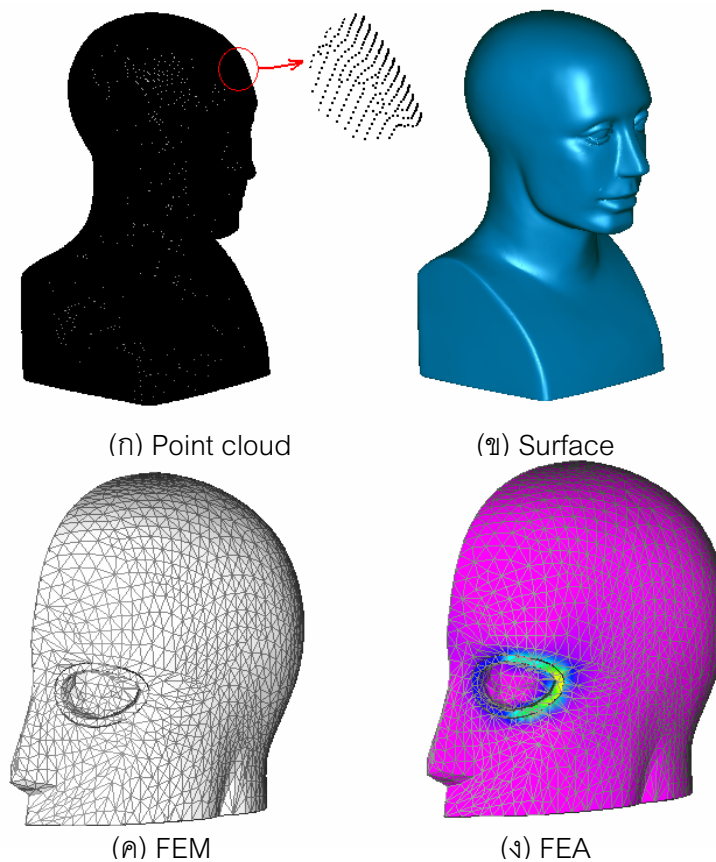


ภาพที่ 110 ความเครียดจากผล FEA ของการกระแทกบนเลนส์ถ้วยตา รุ่น 981
(ความสูง 1.3 เมตร)

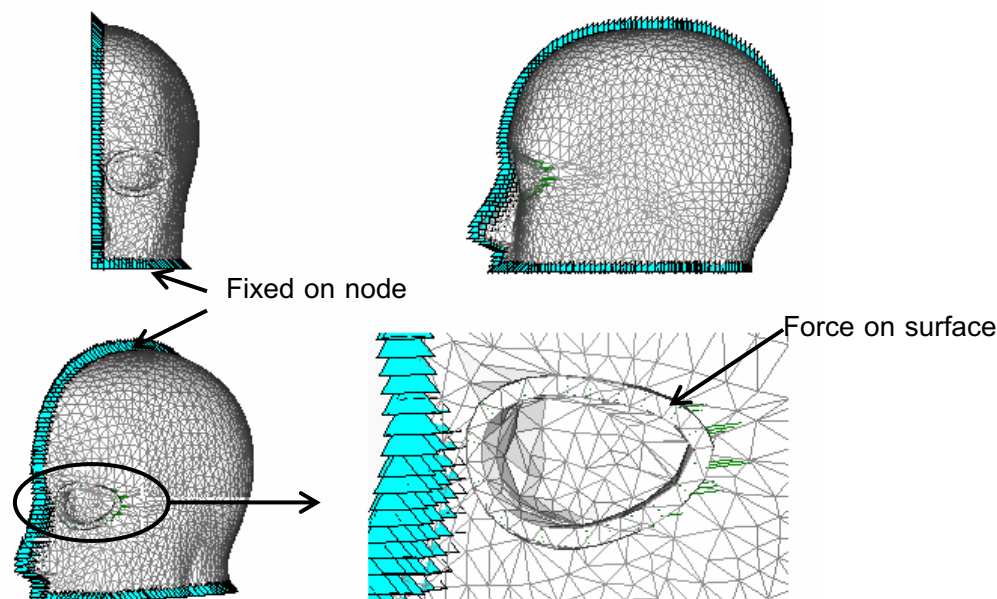


ภาพที่ 111 กราฟของความเครียดสูงสุดจากผล FEA ของการกระแทกในช่วงความสูง
0.7 ม. ถึง 1.6 ม. ของเลนส์ถ้วยตา รุ่น JR-1006, 2006 และ 981

แบบ CAD ของศีรษะสร้างได้จากการสแกนด้วยเครื่อง Optical Scanner (ภาพที่ 24) ภาพที่ 112 ก แสดงจุดไคออไดเนต หรือ Point Cloud บนผิวของรูปปั้นศีรษะที่ได้จากการสแกน ภาพที่ 112 ข แสดงผลการจำลอง CAD ของใบหน้าแบบพื้นผิว (Surface model) ของศีรษะ โดยการเชื่อมต่อจุดที่ได้จากการสแกน จากความเป็นสมมาตรของศีรษะจึงแบ่งครึ่งแบบจำลอง CAD ของศีรษะและนำด้านซ้ายของศีรษะมาใช้ในการวิเคราะห์ FEA บริเวณเบ้าตาบนใบหน้า แบบจำลองครึ่งศีรษะนี้ยังคงเป็นแบบพื้นผิว จึงได้แปลงให้เป็นแบบจำลองโซลิดโมเดล แล้วจำลองส่วนฐานและปะเก็นกันน้ำของแว่นตาบนใบหน้า ภาพที่ 112ค แสดงการจำลอง FEM ของใบหน้าครึ่งซ้ายพร้อมส่วนฐานเป็นขอบของฐานถ้วยตาที่แนบติดบนใบหน้า แบบจำลอง FEM สำหรับถ้วยตารุ่น 2006 ประกอบด้วย 28,598 โหนด และ 18,066 เอลิเมนต์ และของถ้วยตารุ่น 1006 ประกอบด้วย 11,054 โหนด และ 6,609 เอลิเมนต์ ภาพที่ 113 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและทิศทางของแรง



ภาพที่ 112 แบบจำลอง CAD และ FEM ของใบหน้า



ภาพที่ 113 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและทิศทางของแรงสำหรับวิเคราะห์ความสบายในการสวมใส่

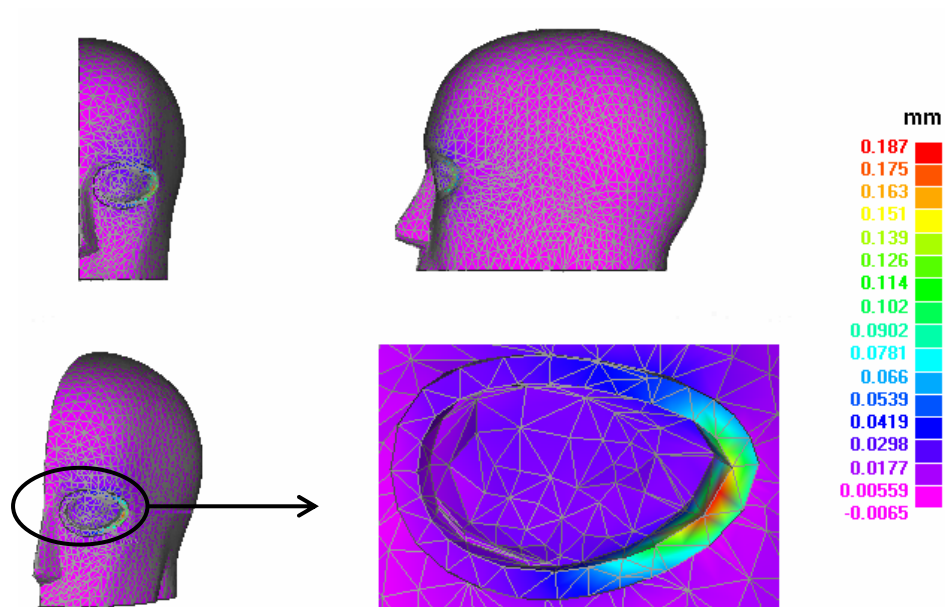
7.2 ผลการวิเคราะห์ระยะยุบบนใบหน้าโดยใช้ FEA

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ การยุบที่เกิดขึ้นบนใบหน้าตามขอบของแว่นตาว่ายน้ำที่แรงเท่ากับ 5 N ของแว่นตาว่ายน้ำรุ่น 2006 และรุ่น 1006 ได้แสดงเป็นระดับชั้นสีในภาพที่ 114 และ 115 ตามลำดับ โดยกำหนดค่า E ของผิวหนังเท่ากับ 13.7 N/mm^2 ภาพที่ 116 และ 117 แสดงกราฟของระยะยุบที่ผิวหนัง 4 ตำแหน่ง (a, b, c และ d) ตามขอบแว่นที่แนบบนใบหน้าเมื่อเทียบกับแรงที่ 3, 5, 7 และ 9 N ของแว่นตาว่ายน้ำรุ่น 2006 และรุ่น 1006 ตามลำดับ

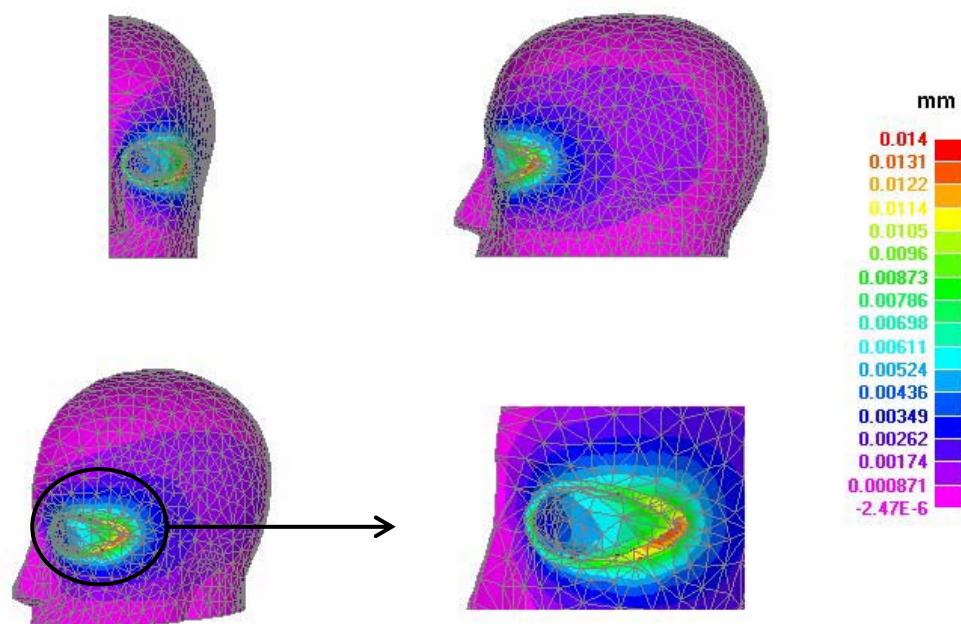
7.3 ผลการวิเคราะห์ความเค้นบนใบหน้าโดยใช้ FEA

ภาพตัวอย่างแสดงระดับชั้นสีของความเค้นจากผล FEA จากแรงกดบนขอบของถ้วยตาเท่ากับ 5 N ของแว่นตาว่ายน้ำรุ่น 2006 และรุ่น 1006 ได้แสดงในภาพที่ 118 และ 119 ตามลำดับ ภาพที่ 120 และ 121 แสดงกราฟของความเค้นที่ 4 ตำแหน่ง บนฐานของแว่นตาว่ายน้ำรุ่น 2006 และ 1006 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแรงที่ 3, 5, 7 และ 9 N จุดที่มีความเค้นมากที่สุดได้แก่จุด C

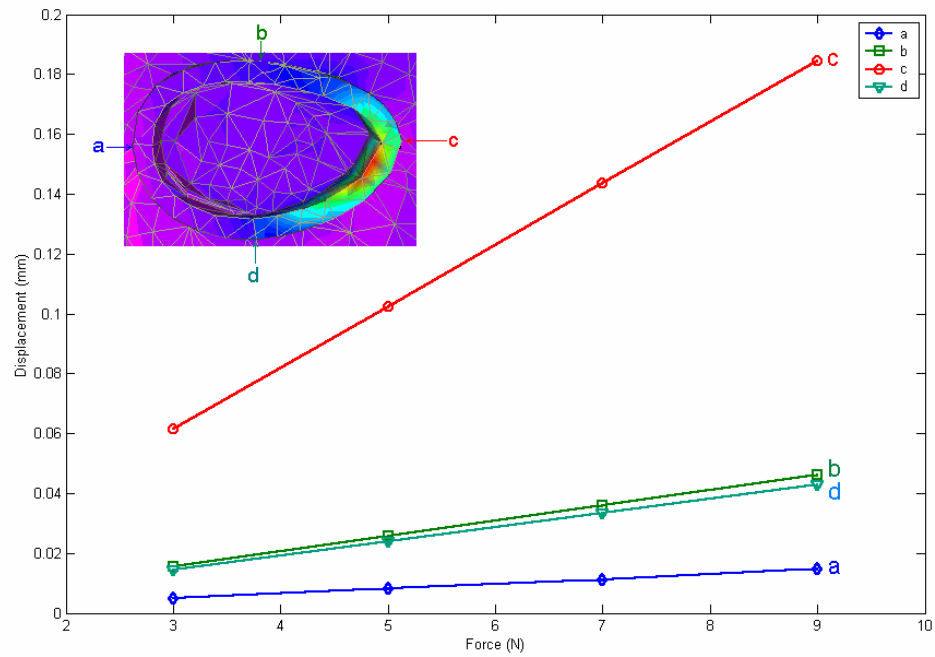
จากการประเมินจากแบบสอบถามจากผู้ทดสอบการสวมใส่จำนวน 50 คน พบความเจ็บปวดอยู่ที่ตำแหน่ง ระหว่าง C กับ D มากที่สุด (70%) ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับผลที่ได้โดย FEA



ภาพที่ 114 ผล FEA ของระยะที่ผิวหนังบนใบหน้ายุบเมื่อมีแรงเท่ากับ 5 N ของถ้วยทารุ่น 2006



ภาพที่ 115 ผล FEA ของระยะที่ผิวหน้าบนใบหน้ายุบเมื่อมีแรงเท่ากับ 5 N
ของถ้วยตารุ่น 1006



ภาพที่ 116 กราฟของระยะยุบ 4 บริเวณบนผิวหน้าจากผล FEA ของแรง
ในช่วง 3 N ถึง 9 N ของการสวมใส่ถ้วยตารุ่น 2006